Einige neue

Versuche und Beobachtungen

über

Spiegelung und Brechung des Lichtes,

vom

Dr. SEEBECK.

Die erste mir nach einer zweijährigen Unterbrechung zu physikalischen Untersuchungen wieder gewährte Mufse, seit der Mitte des August vorigen Jahres, habe ich benutzt, die merkwürdigen Entdeckungen des Herrn Malus über Spiegelung und doppelte Strahlenbrechung zu prüfen und weiter zu verfolgen. Ich sah mich hierzu um so mehr aufgefordert, da Hr. Malus die von ihm beobachteten Erscheinungen einer Polarität des Lichtes zuschreibt, und ich schon früher das Licht in der Farbenerscheinung, — deren wahrhaft polarische Natur von Hrn. v. Göthe begründet worden ist, — in der Wirksamkeit auf Körper untersucht, und darin gleichfalls ein polarisches Verhalten durch entscheidende Versuche erwiesen hatte. In dem Sinne dieser Polarität hatte ich bereits 1804 auch mehrere Versuche mit Prismen von Doppelspath angestellt, um zu erforschen, ob die doppelten und vierfachen Bilder des Kalkspathes ein verschiedenes, und vielleicht entge-

gengesetztes Verhalten an denjenigen Substanzen offenbarten, welche eine chemische Veränderuug durch die Wirkung des Lichtes erleiden. Diese Erwartung war nicht erfüllt worden; ich habe vielmehr gefunden, dafs jedes dieser Bilder sich gegen jene Prüfungsmittel vollkommen so verhalte, wie die Farbenbilder (spectra) von gewöhnlichen Glasprismen. Es war nun zu untersuchen, ob die Doppelspathe in den Malusschen Apparaten, da ihre Bilder in diesen verändert werden, andere Resultate geben, hauptsächlich aber, ob der Gegensatz, welcher sich in den von Malus beobachteten Phänomenen zeigt, mit der Polarität, welche mich früher beschäftigt hatte, in irgend einer Verbindung stehe, und überhaupt als ein wahrhaft polarer anzusehen sey.

Die Theorie in der Polaritätslehre des Hrn. Malus beruht vornämlich auf der Annahme von *vierseckigen einfachen Lichtstrahlen* und *Lichtmoleculs von octaëdrischer Form* u. s. w., eine Ansicht, welche einer naturphilosophischen Schule angehört, die immer weniger Beifall finden kann, je weiter man in der Naturforschung vorschreitet. Die fernere Seite dieser Malusschen Theorie ist die verschiedene Wirksamkeit jedes Paares der Seitenflächen dieser vierseckigen Strahlen. Das verschiedene Verhalten des Lichtes bei der Spiegelung und Brechung, vornämlich der doppelten Strahlenbrechung, ist der eigentliche Inhalt seiner Untersuchungen, und dieser ist gänzlich unabhängig von der Vorstellung der Vierseitigkeit des Lichtes. Ich nehme defshalb auf das Hypothetische dieser Theorie keine Rücksicht, ja es werden die Grundlagen desselben durch meine Beobachtungen widerlegt.

Die mehresten Versuche der Herren Malus, Arago und Biot sind von mir nach einem eigenen Plane wiederholt worden, indem ich von den beiden im 1ten und 2ten §. dieser Abhandlung angeführten Hauptversuchen ausging, und erst nachdem der gröfste Theil des vorgesetzten Kreises von Versuchen durchlaufen war, auf die übrigen Entdeckungen meiner Vorgänger Rücksicht nahm. Hierdurch wurden denn oft die Versuche derselben, von einer andern Seite her bestätigt, manche berichtigt, und es glückte mir noch einiges zu entdecken, was uns besonders über das Verhalten des Lichtes zu den durchsichtigen Körpern neue Aufschlüsse giebt. Hauptsächlich von diesen werde ich hier eine kurze Nachricht geben, die ausführliche Beschreibung für ein eigenes Werk versparend, welches meine sämmtlichen optischen Untersuchungen enthalten wird, und in kurzen erscheinen soll. Ich werde mich bemühen, die Phänomene dort so vollständig als sie bekannt sind, und in der Ordnung, wie sie am leichtesten übersehen werden können, nebst den einfachen Gesetzen, welche sich aus ihnen ergaben, vorzutragen. Ich bemerke hier nur vorläufig, dafs sich die sämmtlichen Erscheinungen, auch die verwickelteren, auf wenige Hauptfacta zurückführen lassen, und dafs durch die Entdeckungen von Malus so wenig, als durch die von Newton eine Zerlegung oder *eine Polarität des Lichtes* erwiesen sey.

Das Licht ist einfach, und nur durch das was in und an den Körpern, welche mit demselben in Wechselwirkung treten, Nichtlicht ist, kommt eine Polarität am Lichte hervor.

Alle bisher bekannte Erscheinungen bestätigen diesen Lehrsatz, welcher als einer der ersten in der Optik immer mehr anerkannt werden wird, und und auch die hier folgenden Beobachtungen dienen ihm zum Beweis.

1. Herr Malus *) hat entdeckt, dafs das Sonnenlicht, wenn es in der Mittagsebene in der Richtung *a b* Fig. 1. unter einem Winkel von 19° mit dem Horizont *h o* auf ein unbelegtes Spiegelglas *G G* fällt, und von diesem, unter einem Winkel von ungefähr 35° mit der Fläche des Glases, vertikal nach *c* auf ein zweites unbelegtes Spiegelglas *H H* reflectirt wird, von diesem, wenn es dieselbe Neigung gegen den Horizont hat, als das erste Glas, zwar nach Süden und Norden, (der Einfallsebene von *a b*) weiter reflectirt werde, hingegen in einer Ebene, welche die Einfallsebene unter 90° durchschneidet, hier also in Osten und Westen, kein gespiegeltes Bild hervorbringe. Wird nämlich der Spiegel *H H*, bei unveränderter Neigung gegen den Horizont, von Süden nach Osten gedreht, so nimmt das reflectirte Licht in *c d* an Intensität allmählig ab, ist in Osten auf einem entgegenstehenden Schirm zuletzt nicht mehr zu erkennen, wird dagegen wieder sichtbar, wenn man *H H* gegen Norden hin weiterdreht, ist hier am lebhaftesten, und nimmt von Norden nach Westen wieder ab u. s. w. Es ist diefs um so merkwürdiger, da belegte Spiegel und Metallspiegel in allen Richtungen des Strahles *c d* ein reflectirtes Bild geben.

---

*) s. dessen Théorie de la double réfraction, Paris 1810.

Ferner hat Hr. Malus gefunden, dafs ein Prisma von Kalkspath in dem von *G G* reflectirten Lichte *b c* nicht wie im directen Sonnenlichte nach allen Seiten ein Doppelbild erzeuge, sondern dafs es nur ein einfaches Bild hervorbringe, wenn der Hauptschnitt desselben sich in der Einfallsebene, oder in einer Ebene, welche mit jener 90° macht, befindet, (hier also von N. nach S., oder von O. nach W. gerichtet ist.) und zwar sey in der ersten Lage des Hauptschnittes das Bild von der gewöhnlichen Brechung einfach, und in der zweiten das von der ungewöhnlichen oder specifiken Brechung. In allen Zwischenlagen erscheine ein Doppelbild.

Diefs sind die von Hrn. Malus aufgestellten Erfahrungen, welche durch vielfältig wiederholte Versuche bereits bestätigt waren. Ich mufs jedoch die Bemerkung hinzufügen, dafs streng genommen, die in Osten und Westen aufgehobene Spiegelung nur als eine Schwächung des Lichtes angesehen werden kann. Der deutliche Beweis hievon ist, dafs selbst dann, wenn auf einem weifsen Schirm kein gespiegeltes Bild von *H H* in Osten wahrnehmbar ist, doch das in der Richtung des Strahles *c d* befindliche Auge im Spiegel *H H* ein schwaches Bild der hellen Oeffnung im Schirm, durch welchen das Licht auf das erste Glas fällt, sieht.

Es ist noch anzuführen, dafs schwarze Gläser gleiche Erscheinungen hervorbringen, als die unbelegten.

2. Hr. Arago entdeckte bald nachher, dafs Tafeln von Glimmer, späthigen Gyps und Bergkrystall in gewissen Richtungen zwischen den Gläsern *G G* und *H H* gehalten, die in Osten und Westen feh-

lende Spiegelung von *H H* wieder herstellen *), ferner, dafs auch das einfache Bild des Kalkspathprisma in *b c* durch Glimmer oder Gyps, zwischen *G G* und dem Prisma gehalten, wieder doppelt werde, dafs jedoch in einer horizontalen Umdrehung des Glimmers um *b c* wie um eine Achse, während der Kalkpath unverändert liegen bleibt, das hergestellte Bild viermal wieder verschwinde.

3. Diefs hat sich mir bestätigt, und ich habe noch dazu bemerkt, dafs Glimmer, Gyps, Bergkrystall, und so auch rhomboëdrischer Kalkspath in den Lagen, in welchen sie die in Osten und Westen nicht vorhandene Spiegelung von *H H* herstellen, das in Süden und Norden reflectirte Licht *c d* schwächen, hingegen diesem Lichte in Süden und Norden die vorige Intensität wiedergeben, in den Richtungen, in welchen sie das Bild in Osten und Westen verschwinden machen. So z. B. stellt das Kalkspath-Rhomboëder in *b c* über *H H* gehalten, die Spiegelung in O. her, wenn dessen Hauptschnitt die Einfallsebene unter 45° durchschneidet, (also hier von NO. nach SW. oder von NW. nach SO. gerichtet ist,) und in dieser Lage des Kalkspathes erscheint das in S oder N. gespiegelte Bild geschwächt. Befindet sich dagegen der Hauptschnitt des Kalkspath-Rhomboëders in der Einfallsebene, oder in einer Ebene die mit dieser 90° macht, so ist kein gespiegeltes Bild von *H H* in O. oder W. wahrzunehmen, und nun erscheint das Bild in S. oder N. lebhaft. —

---

*) s. Moniteur 1811. N. 243.

Eben so schwächt der Glimmer wechselsweise die in *b c* schon vorhandenen Doppelbilder des Kalkspathes, wobei noch manches bemerkenswerthe vorkommt, wovon in dem angekündigten Werke mehr angeführt werden soll, wie von manchem andern hierhergehörenden.

4. Hr. Arago bemerkt in dem citirten Aufsatze noch, dafs die vom Glimmer oder Bergkrystall hergestellten Doppelbilder jederzeit entgegengesetzte Farben haben. Diefs ist wohl häufig der Fall, doch habe ich eben so oft gefunden, dafs das eine Bild eine sehr glänzende herrschende Farbe hat, während das andere unverändert blieb. Dafs die verschiedene Dicke der Tafeln oder Blätter nicht als die Ursache dieser Farbenbildung anzusehen sey, ist auch meine Ueberzeugung, indem diefs, auch abgesehen von allen andern Gründen, schon daraus hervorgeht, dafs Glimmertafeln von verschiedener Dicke sämmtliche prismatische Farben hervorbringen, und dafs Tafeln von verschiedener Dicke in gleicher Lage gegen das einfallende Licht übereinstimmende Farben erzeugen. Noch mehr sprechen gegen jene Annahme die weiter unten vorkommenden Erfahrungen.

5. Es war nun zu untersuchen, wie sich Gläser von verschiedenen Sorten und Formen in dem Strahl *b c* zwischen den beiden unbelegten Spiegeln *G G* und *H H* und zwischen *G G* und einem verdoppelnden Krystall verhalten, zumal da schon Hr. Arago, a. a. O. anführt, dafs er an einem etwas prismatischen Flintglase zwischen zwei Doppelspath Prismen ähnliche Erscheinungen wahrgenommen habe, als der Glimmer hervorbringt.

6. Eine fast ganz parallele Tafel von weifsem Glase wurde in *b c* Fig. 1. zwischen den unbelegten Gläsern *G G* und *H H*, während die spiegelnde Fläche des letztern in O. oder W. (also in 90° mit der Einfallsebene) kein Bild gab, befestigt. So lange dieses dritte Glas, welches wir mit *I I* bezeichnen wollen, horizontal lag, wurde die Spiegelung von *H H* von keiner Stelle in *I I* hergestellt; auch nicht wenn *I I* gegen N, S, O. oder W. geneigt wurde, so dafs nun der vertikale Strahl *b c* unter einem kleinern Winkel einfiel. Als aber die Fläche dieses Glases *I I* nach NW., SO., NO. und SW. (also in 45° mit der Einfallsebene) gerichtet war, so erschien ein gespiegeltes Bild von *H H* in O. oder W., und diefs war am lebhaftesten, wenn die Flächen von *I I* mit dem Strahl *b c* einen Winkel von ungefähr 18° machten, obwohl schwächer als ein von Glimmer hergestelltes.

7. Ein dickes Glas von 2 pariser Zoll Höhe, 2 ½ Zoll Länge und ½ Zoll Breite wurde in *b c* über *H H* horizontal gestellt. Wenn es seiner Länge nach von S. nach N. oder von O. nach W. gerichtet war, so wurde das Bild von *H H* in O. nicht hergestellt. Lag hingegen die lange Seite des Glases von SO. nach NW., oder von SW. nach NO., so wurde ein gespiegeltes lebhaftes Bild von *H H* in O. sichtbar.

Befand sich an der Stelle von *H H* ein Kalkspath- oder Bergkrystall-Prisma, welches so gestellt war, dafs es ein einfaches Bild gab, gleichviel ob von der gewöhnlichen oder ungewöhnlichen Brechung, so wurde in den ersten beiden Richtungen

durch dieses Glas das unsichtbare Nebenbild *) nicht hergestellt; hingegen in den letzten beiden Richtungen des Glases, kam es deutlich zum Vorschein.

8. Noch merkwürdiger ist das Verhalten von Glaswürfeln in *b c*. Ein Glaswürfel von 1 $\frac{3}{4}$ pariser Zoll Seite zeigte mir über einem Prisma von Bergkrystall, welches so gestellt war, dafs es entweder in S. oder in O. ein einfaches Bild gab, in allen Dimensionen folgende Erscheinungen.

Wenn der Cubus *A C'* Fig. 2. so stand, dafs die Diagonalen desselben *A C* und *D B* von SO. nach NW., und von NO. nach SW. gerichtet waren, und *b c* mitten durch denselben in α perpendikulär fiel, so blieb das Bild des Bergkrystall-Prisma einfach wie es war. Wurde der Cubus auf seiner horizontalen Unterlage weiter geschoben, doch so dafs die Richtung der Diagonalen nach den angegebenen Weltgegenden nicht verändert wurde, und *b c* durch den Punkt β einer der vier halben Diagonalen, etwa 3 Lin. vom Mittelpunkte fiel, so wurde das Nebenbild hergestellt und es hatten beide Bilder des Bergkrystalls gleiche Intensität. Fiel *b c* durch den Punkt γ so verschwand das Hauptbild, es mochte das von der gewöhnlichen oder von der ungewöhnlichen Brechung seyn, und es blieb nur das in α nicht sichtbar gewesene Nebenbild allein übrig, oder es wurde doch mindestens das Hauptbild sehr

*) Ich werde das einfache Bild des Doppelspathes hier der Kürze wegen das Hauptbild, und das aufgehobene das Nebenbild nennen, abgesehen davon welches von beiden das von der gewöhnlichen oder ungewöhnlichen Brechung sey.

Sk.

schwach. Befand sich *b c* in *δ*, so war das Bild vom Bergkrystall wieder doppelt. In *ε* erschien das Hauptbild wieder einfach, oder das Nebenbild doch mindestens sehr geschwächt; und in *ζ* sah man das Doppelbild deutlich. Doch hatte jedes eine herrschende Farbe, wie denn überhaupt von *γ* an die prismatischen Farben des Bergkrystalls von andern Farben, welche der Glascubus hervorbrachte, verändert wurden.

Wenn man den Strahl *b c*, von der Mitte des Würfels ausgehend auf verschiedene Punkte der Linien *n s* und *o w* fallen liefs, so blieb das Hauptbild einfach, oder es kam nur ein höchst schwaches Nebenbild zum Vorschein, und in diesem letzten Falle sah man deutlich, wenn das Bild des Bergkrystall-Prisma in der Einfallsebene lag, einen dunklen Streifen mitten in diesem schwachen Nebenbilde, wenn der Cubus in der Richtung *n s* (welche mit der Einfallsebene zusammenfiel) hin und her geschoben wurde. War hingegen das prismatische Bild in O. oder W. einfach, so sah man den dunkeln Streifen in dem sehr schwachen Nebenbilde, wenn der Strahl *b c* in den Linien *o w* durch den Cubus ging. So verhielt es sich wenn die Oeffnung in der Unterlage, worauf der Bergkrystall ruhte, etwa 3 Linien im Durchmesser hatte. Ist diese Oeffnung aber klein genug, und also auch das prismatische Bild, so wird man in den ebenbenannten Linien durchaus kein Nebenbild gewahr. Der in der Mitte durch *a* fallende Strahl läfst das Bild des Bergkrystalls jederzeit vollkommen einfach.

Ich übergehe hier wie sich der Strahl *b c* in andern Punkten des Glaswürfels verhält, und be-

merke nur, dafs ein ähnlicher Wechsel der Erscheinungen wie in den Diagonalen auch in mehreren Linien stattfindet, die *A B* und *A D* parallel liegen.

9. Wird der Cubus so gestellt, dafs *A C* oder *B D* in der Einfallsebene liegen, so wird das unsichtbare Nebenbild gar nicht, oder nur höchst schwach in den Linien *A C* und *B D* hergestellt. In der Mitte derselben ist es auch hier vollkommen einfach. In den Linien *α n*, *α o*, *α s* und *α w* hingegen tritt das Doppelbild allmählig hervor und ist am lebhaftesten, nachdem von der Mitte aus $\frac{2}{3}$ der Linie durchlaufen sind. Näher nach den Kanten zu wird erst das Hauptbild und dann das Nebenbild geschwächt; doch nicht so beträchtlich, als in den Diagonalen vorhin.

10. Schon hieran scheitert die Malussche Lehre von den viereckigen Lichtstrahlen. In allen vorigen Versuchen wurde doch die Lage irgend eines in dem Apparat wirksamen Theils gegen die Seiten des hypothetischen viereckigen Strahls verändert, wenn ein Doppelbild oder ein gespiegeltes Bild verschwand oder wieder erschien, was Hr. Malus Polarisation und Depolarisation nennt; hier aber bleiben alle Theile des Apparates, und die Lage der Seiten des sogenannten depolarisirenden Körpers in Beziehung auf die Seiten des Strahls ganz unverändert, und er depolarisirt und polarisirt im Malusschen Sinne wechselsweise, ohne dafs ferner eine Nöthigung dazu aus seiner innern Form nachgewiesen werden könnte, woraus Hr. Malus bei den krystallisirten Körpern die wechselnde Polarisation und Depolarisation ableitet.

Das was in den Glaskörpern wirksam ist, liegt nicht in dem am lebhaftesten erleuchteten Theile derselben allein, sondern vielmehr aufser ihm, wie ich hier nur vorläufig bemerken will. Es wird daher wohl einer neuen Hypothese bedürfen, um den einfachen Strahl auch in den Glaswürfel viereckig zu erhalten.

11. Der Glaswürfel wurde nun über ein unbelegtes Glas *H H* Fig. 1. so gestellt, dafs seine Diagonalen *A C* und *B D* wie in §. 8. die Einfallsebene in 45° durchschnitten, während *H H* in O. oder W. kein gespiegeltes Bild hervorbrachte. Fiel der Strahl *b c* mitten durch den Cubus, in α Fig. 2. so blieb alles unverändert. Wurde aber der Punkt β einer der halben Diagonalen in *b c* gebracht, so fand sich die Spiegelung von *H H* hergestellt, es erschien in O. oder W. ein lebhaftes und farbloses Bild. In γ, δ, ε, ζ blieb das von *H H* in O. oder W. gespiegelte Bild immer sichtbar, doch erschien es nun farbig in folgender Ordnung, erst gelb, dann roth, violett, blau, grün und wieder blau. Wenn der Spiegel *H H* nach S. oder N. gerichtet wurde, so erschien in *c d* Fig. 1. das Bild in der entgegengesetzten Farbe, roth wenn es in O. grün gewesen war, u. s. w. In den Linien *n s* und *o w* kam entweder gar kein gespiegeltes Bild von *H H*, oder doch nur ein höchst schwaches hervor.

Zu allen diesen Versuchen mufs die Oeffnung im Schirm, durch welche das Licht auf das unbelegte Glas *G G* Fig. 1. fällt, klein seyn, im Durchmesser höchstens 2 Linien grofs.

Acht andere Glaswürfel gaben in allen Dimensionen dieselben Erscheinungen mit wenig Abwei-

chung; durch einige wurde kein grün, durch andere kein blau, sondern blos gelb und gelbroth in O. oder W. hervorgebracht.

12. Ich liefs einen dieser Würfel zu einem Cylinder umschleifen. Die Grundflächen desselben waren ganz eben und ziemlich parallel, die Seitenfläche war matt gelassen. Auch dieser brachte in *b c* über dem Bergkrystall-Prisma in allen Radien, welche 45° mit der Einfallsebene machten, dieselben Herstellungen des Doppelbildes, wechselnde Aufhebungen des Haupt- und Nebenbildes hervor, wie vom Glaswürfel in §. 8. angeführt worden. Fiel *b c* durch die Achse des Cylinders, so war das Bild vollkommen einfach. — Die Radien, welche mit der Einfallsebene zusammenfielen, und mit dieser 90° machten, stellten das Nebenbild nicht her.

13. Auf eine der Grundflächen des Cylinders wurde, etwa 3 Lin. von dem Mittelpunkte, eine Stelle, welche in *b c* ein lebhaftes Doppelbild des Bergkrystall hervorrief, mit Dinte umrissen, und mitten durch dieselbe eine feine, den Diameter bezeichnende Linie gezogen. Der Cylinder wurde nun um den Strahl *b c*, welcher perpendiculär durch die bezeichnete Stelle fiel, wie um eine Achse gedreht.

Das Bild des Bergkrystalls wurde dadurch in einer Umdrehung viermal wieder einfach, vollkommen wie durch den Glimmer, Gyps u. s. w. Das Bild des Bergkrystalls war einfach, wenn der bezeichnete Diameter des Cylinders in der Einfallsebene lag, oder diese in einem Winkel von 90° durchschnitt, doppelt hingegen war es, und beide Bilder hatten gleiche Intensität, wenn dieser Diameter unter 45° die Einfallsebene schnitt.

14. Parallelepipeden von Glas, Cylinder mit elliptischen Grundflächen, Prismen mit dreiseitigen Grundflächen zeigten über verdoppelnden Krystallen, oder dem reflectirenden Glase *H H* ein von den Glaswürfeln verschiedenes Verhalten, doch ein eben so gesetzmäſsiges.

Mehrere Parallelepipeden wirkten wie das in §. 7. beschriebene; war deren Grundfläche aber breiter als jenes, so stellten sie, wenn die längere Seite in der Richtung von SO. nach NW., oder von NO. nach SW. lag, die Doppelbilder oder die Spiegelung von *H H* in O. und W. zwar in der Mitte, dem gröſsten Theil der Länge des Glases nach, das aufgehobene Bild her, aber nicht in der Nähe der 4 Ecken, und es wurde auch in Linien, die den 4 Seiten des Parallelepipedons parallel liefen, und diesem bald näher, bald entfernter lagen, je nachdem die Parallelepipeden kleiner oder gröſser waren, die hergestellten Bilder sehr schwach, oder verschwanden fast gänzlich. — Lag die längere Seite des Parallelepipedons der Einfallsebene parallel, so erschienen nun an den 4 Stellen in der Nähe der Ecken, welche sich vorhin unwirksam erwiesen hatten, die aufgehobenen Bilder deutlich und lebhaft, hingegen in der Mitte der ganzen Länge nach nicht.

15. Glascylinder mit elliptischen Grundflächen verhielten sich wie die Parallelepipeden, auch sie stellten, wenn der groſse Durchmesser derselben von NO. nach SW., oder von NW. nach SO. gerichtet war, in beträchtlicher Länge und Breite die verschwundenen Bilder wieder her, u. s. w. An einem solchen Cylinder von 1 ½ Zoll Höhe habe ich gleichfalls den Wechsel in der Schwächung oder Aufhe-

bung des Haupt- und Nebenbildes wahrgenommen, während die grofse Achse seiner Grundfläche in der Einfallsebene lag, oder diese unter 90° schnitt, welches nicht erfolgte, wenn diese Achse sich in 45° mit der Einfallsebene befand.

16. Ein Würfel von Steinsalz von 3 Zoll Seite, brachte, obwohl er ziemlich klar war, in keiner Lage solche Erscheinungen als die Glaswürfel hervor; von keinem Theil desselben wurde die aufgehobene Spiegelung oder das Doppelbild hergestellt.

Eben so wenig bewirkt Wasser, oder irgend eine andere Flüssigkeit, in dem Strahl *b c* eine Herstellung des Doppelbildes, oder der Spiegelung in O. und W. Ich habe solche klar und schwach getrübt, farbig und farblos bis zu 8 Zoll Höhe, und auch gesättigte Auflösungen von Salzen angewendet, deren Krystalle eine doppelte Strahlenbrechung besitzen, und alle erwiesen sich gleich unwirksam.

Eis hingegen verhält sich in *b c* über verdoppelnden Krystallen und dem Glase *H H* wie Glimmer und Gyps, es stellt die aufgehobenen Bilder in einer Umdrehung viermal her, und macht sie viermal verschwinden.

Darstellung der sämmtlichen vorhin beschriebenen Erscheinungen, durch Brechung des Lichtes.

17. Es ist mir gelungen, alle Phänomene, welche die unbelegten Gläser *G G* und *H H* Fig. 1. durch Spiegelung unter den angegebenen Winkeln erzeugen, auch durch Brechung des Lichtes hervorzubringen; völlige Aufhebung der Durchsichtigkeit,

durch die Stellung der brechenden Gläser gegeneinander, Herstellung der Durchsichtigkeit durch Glimmer, Gyps, Glaswürfel u. s. w., Vereinfachung jedes der zwei Bilder des Doppelspathes durch Brechung, ferner eine gänzliche Aufhebung aller Spiegelung von *H H* Fig. 1. durch Verbindung einer Hälfte des Brechungsapparates mit dem Spiegelungsapparat, u. s. w.

18. Hr. Malus theilte in einem Berichte von seiner den 11. Merz im Institut de France vorgelesenen Abhandlung *) folgende später gemachte Entdeckung mit: „Nur ein Theil von dem Sonnenlichte, welches auf das erste unbelegte Glas *G G* Fig. 1. fällt, wird auf *H H* reflectirt und dieser bringt die oben §. 1. beschriebenen Phänomene hervor, der übrige Theil geht durch *G G* hindurch. Fängt man diesen hindurchgegangenen Theil *b f* mit einem dritten *belegten* Glase, *M M* Fig. 1. auf, und zwar so, dafs er gleichfalls vertikal auf ein viertes und wiederum unbelegtes Glas *N N* reflectirt wird, so erhält man einen Strahl *f g*, welcher zwar die nämlichen Eigenschaften besitzt, als der Strahl *b c*, aber in einem gerade entgegengesetzten Sinne; denn von dem Glase *N N* wird zwar nach allen Weltgegenden hin ein Bild reflectirt, es ist aber dasselbe in O. und W. lebhafter als in S. und N., und das von *H H* reflectirte Licht war bekanntlich in S. und N. am lebhaftesten. Hieraus folgert Hr. Malus, dafs das durch *G G* gegangene Licht *f g* aus einer Portion unveränderten Lichtes, und einer Portion im gerade entgegengesetzten Sinne von dem Strahle *b c* polarisirten Lichte bestehe."

---

*) Moniteur 1811. N. 72.

19. Die Beobachtung ist richtig. Das von *N N* reflectirte Bild ist in O. und W. (also in 90° mit der Einfallsebene) lebhafter als in S. und N. wenn *M M* ein belegter Spiegel ist; doch zeigte mir auch schon *H H* die nämlichen Erscheinungen wenn ich in *G G* einen belegten Spiegel aufstellte.

Waren aber alle 4 Reflectoren von unbelegten Spiegelglase (also auch *M M*) so verhielt sich das von *N N* gespiegelte Bild vollkommen wie das von *H H* gespiegelte, d. h. das Glas in *N N* brachte nun in O. und W. eben so wenig ein gespiegeltes Bild hervor als *H H* in O. und W., und die Bilder von beiden waren in S. und N. am lebhaftesten. Da sich nun hier keine Spur von einem Bilde von *N N* in O. und W. zeigte, was doch hätte erfolgen müssen, wenn die in *b f* angenommene Portion des in Malusschen Sinne polarisirten Lichtes von *M M* auf *N N* reflectirt wurde; so konnte auch diese Behauptung von Malus nicht für hinlänglich begründet gehalten werden.

20. Herr Biot machte in einem Berichte von seiner gleichfalls den 11. Merz 1811. im Institut de France vorgelesenen Abhandlung *) folgende Erfahrung bekannt: „Wenn die Flamme einer Kerze durch eine Säule von mehreren parallel über einander geschichteten Gläsern und durch ein hinter denselben befindliches Prisma von Kalkspath betrachtet wird, so erscheinen 2 Bilder von gleicher Intensität, so lange das Licht perpendicular auf die Fläche der Gläser fällt, wird aber der Einfallswinkel des einfal-

*) Moniteur 1811. No. 73.

lenden Strahles mit der ersten Fläche der Gläser verkleinert, so nimmt die Intensität des einen Bildes nach und nach ab, und das Bild verschwindet endlich gänzlich, wenn jener Winkel eine gewisse Gränze erreicht hat. Ferner bemerkt er, dafs der Winkel unter welchem die Gläser, bei gleicher Intensität des Lichtes, das Verschwinden des einen Bildes bewirken von der Zahl der Gläser abhänge, und dafs der Einfallswinkel, in welchem das eine Bild unsichtbar werde, sich um so mehr dem Perpendikel nähere, je gröfser die Anzahl der Glasscheiben ist. Hr. Biot sieht diefs als einen Beweis an, dafs gewisse Theile des Lichtes sich in einer Anwandlung zur leichtern Zurückwerfung (dans un accès de facile réflexion) und die andern in einer Anwandlung zum leichtern Durchgehen (dans un accès de facile transmission) befänden."

21. Die in den 3 letzten §§. erzählten Erfahrungen veranlafsten folgende Reihe von Versuchen, um das Verhältnifs der Spiegelung zur Brechung näher auszumitteln.

Ich schichtete 30 dünne Spiegelgläser von 1 pariser Fufs Länge und 4 Zoll Breite übereinander, und stellte sie wie Fig. 3. angiebt, so, dafs sie mit ihrer Schneide *n o* auf dem Tische ruhten, und *q n* und *p o* perpendikulär standen. In *a* befand sich eine Kerze, in *c* ein Prisma von Kalkspath und in *d* das Auge. Als die erste Fläche der Gläser einen Winkel von etwa 35° mit dem einfallenden Lichte machte, erschien jedes der beiden Bilder des Doppelspathes in einer Umdrehung desselben 2mal einfach. Glimmer zwischen den Gläsern und dem Doppelspathe stellte die verschwundenen Bilder wieder her. Ich

gab dem Prisma die Stellung, dafs das *gewöhnliche* Bild hier durch *Brechung* der Gläser einfach erschien und richtete hierauf das Prisma in unveränderter Lage gegen die erste Fläche der Gläser, so dafs das von *b* Fig. 3. unter ungefähr 35° *reflectirte Licht* durch den Doppelspath ging, und es erschien nur das von der *ungewöhnlichen oder specifiken* Brechung herrührende Bild einfach.

22. Die 30 Gläser wurden hierauf auf die schmale Seite *q n* gestellt, wie Fig. 4. angiebt, und von der Flamme abgekehrt gegen den Horizont so weit geneigt, dafs das Licht wieder unter einem Winkel von ungefähr 35° auf die Fläche der Gläser auffiel. Nun erschien in der vorigen Lage des Doppelspathprismas durch *Brechung* das *ungewöhnliche* Bild, dem Auge in *d* einfach und durch *Spiegelung* von der ersten Fläche der Gläser, wenn das Prisma in die dazu erforderliche Lage gebracht war, das *gewöhnliche* Bild.

Diese Versuche erweisen also entscheidend, 1) *dafs nicht nur Brechung und Spiegelung in Beziehung auf die Aufhebung eines oder des andern der Doppelbilder des Kalkspathes sich entgegensetzt verhalten, sondern auch* 2) *dafs bei der Brechung die Ebenen, welche sich unter* 90° *schneiden in Beziehung auf die Aufhebung jedes der Bilder des Doppelspathes sich eben so entgegengesetzt verhalten, als bei der Spiegelung. Oder allgemeiner ausgedrückt, die Vereinfachung eines oder des andern der Bilder des Kalkspathes hängt ab von der verschiedenen Lage der Gläser, es sey nun der brechenden oder der spiegelnden Gläser, zum Hauptschnitte des Kalkspathes.*

23. Zwei Säulen, jede von 30 dünnen Spiegelgläsern beide in einer Neigung von 35° gegen den Horizont, wurden vor eine Kerze gestellt. Die Flamme erschien dadurch, mit blosen Auge betrachtet, zwar geschwächt, doch noch recht lebhaft. Der Apparat wurde nun so verändert, dafs die eine Säule die vorige Neigung gegen den Horizont behielt, wie *L L* Fig. 5. darstellt; die andere aber wurde perpendikulär auf einen Azimuthalkreis so gestellt, dafs die erste Fläche der Gläser mit dem einfallenden Lichte gleichfalls einen Winkel von ungefähr 35° machte, wie *I I* Fig. 5. angiebt.

Die Flamme einer Kerze in *a*, und selbst die einer Argandschen Lampe durch diese Gläser betrachtet, war nun in *d* durchaus nicht mehr zu erkennen, sie wurde aber sogleich wieder sichtbar, wenn ein Glimmerblatt zwischen die beiden Glas-Säulen gehalten wurde. In einer perpendikulären Umdrehung des Glimmerblattes verschwand die Flamme viermal. Scheiben von Bergkrystall und Gyps, Rhomboëder von Kalkspath u. s. w. stellten gleichfalls die Durchsichtigkeit der Gläser wieder her, Steinsalz und Flufsspath wirkten hier aber eben so wenig, als im Spiegelungsapparat.

Und somit ist es denn von allen Seiten und unwidersprechlich erwiesen, dafs das gebrochene Licht unter ähnlichen Bedingungen dieselben Erscheinungen bewirkt, welche am gespiegelten früher wahrgenommen wurden.

24. Eine Säule von 15 Lagen wurde mit dem Apparat Fig. 1. verbunden. *G G* war von unbelegtem Glase, *M M* ein Metallspiegel und *H H* und *N N*

waren wieder unbelegte Gläser. Die Säule von 15 Gläsern befand sich in dem Strahle *a b*, (welches für directes Sonnenlicht zu nehmen ist), und war mit *G G* parallel *). Das durch dieselben gegangene und von den Spiegeln weiter reflektirte Licht zeigte nun folgende Erscheinungen. Das unter dem Metallspiegel *M M* befindliche Glas *N N*, gab in O. und W. ein recht lebhaftes Bild in S. und N. hingegen keines. Dieser Versuch stellte also das Phänomen, welches laut §. 18 und 19. unvollkommener beobachtet war, entscheidender dar. Ein Glimmerblatt in *b f* oder *f g* gehalten, stellte die Spiegelung von *N N* in S. und N. wieder her, und schwächte in derselben Lage die in O. und W.

25. Die Säule von 15 Gläsern wurde herumgedreht, so dafs sie die Lage zu dem Sonnenstrahl *a b* Fig. 1. erhielt, welche Fig. 3. angiebt, und die Seite *n o* von SW. nach NO., oder von SO. nach NW. gerichtet war. Jetzt verhielt sich alles entgegengesetzt. Das Glas *N N* gab in S. und N. ein lebhaftes Bild und in O. und W. keines. Glimmer in *b f* und *f g* stellte das Bild in O. und W. wieder her, und schwächte das in S. und N.

Hierdurch wird also der §. 18. angeführte Versuch von Malus dahin berichtigt, dafs nur dann eine Schwächung des von dem belegten Spiegel auf das vierte unbelegte Glas reflectirten und von diesem weiter reflectirten Lichtes in S. und N. erfolgen

*) d. h. sie machte einen Winkel von ungefähr 55° mit dem Horizonte, wie *G G* und die übrigen reflectirenden Gläser in allen vorhergehenden Versuchen. *Sk.*

kann, wenn das erste Glas *G G* gegen den Horizont geneigt ist wie in allen seinen Versuchen, aber keinesweges wenn *G G* eine entgegengesetzte Lage hat.

Es ist ferner aus den vorhergehenden Versuchen zu ersehen, dafs mit der vermehrten Zahl der Gläser das entgegengesetzte Verhalten des gebrochenen Lichtes gegen das gespiegelte deutlicher hervortritt. Die Intensität des Lichtes bestimmt die Anzahl der Scheiben.

Aus diesen beiden letzten Versuchen geht zugleich hervor, dafs die Metallspiegel sich hier als indifferente Körper verhalten, von welchen in den Erscheinungen nichts bestimmt wird, und dafs hierbei alles auf das Verhältnifs des ersten und letzten brechenden und spiegelnden Glases zu einander ankommt, und dafs nur durch diese beiden die Erscheinungen hervorgebracht werden.

26. Das Verhalten von den reflectirenden Gläsern *G G* und *H H*, während die brechende Glassäule die Stellung hatte wie in §. 24., war folgendes. *H H* brachte nach keiner Weltgegend hin ein gespiegeltes Bild hervor. Ein Glimmerblatt in *a b* zwischen der Glassäule und *G G* gehalten, stellte die Spiegelung von *H H* in S. und N. wieder her, aber nicht die in O. und W.; um diese hervorzurufen, mufste noch ein zweites Glimmerblatt in *b c* zwischen die Gläser *G G* und *H H* gebracht werden.

Diese Erfahrung zeigte, dafs das von *G G* reflectirte Licht schon durch das Verhältnifs dieses Spiegels zur brechenden Säule so weit geschwächt sey, dafs es nun nicht mehr weiter reflectirt werden könne. Als die Zahl der brechenden

Gläser noch vermehrt wurde, verschwand auch wirklich das von *G G* auf ein weifses Papier reflectirte Bild gänzlich, und Glimmer stellte es wieder her. Wurde nun *G G* herumgedreht, so dafs es im Horizont unter dem vorigen Winkel reflectirte, indem es gegen den Strahl *a b* immer die vorige Neigung behielt, so gab es gegen W. und O. ein lebhaftes Bild. Erhielt *G G* wieder seine vorige Lage und wurde die Glassäule herumgedreht, so dafs sie die Richtung von SO. nach NW. hatte, wie in §. 25. so verhielt sich *H H* vollkommen so, als wenn keine brechenden Gläser sich vor *G G* befunden hätten, es gab in S. und N. ein lebhaftes Bild, in O. und W. dann immer keines.

Hieraus folgt: 1) *dafs die gleichnamige Lage des verbundenen brechenden und spiegelnden Apparats sich verhält, wie die ungleichnamige,* (*d. h. sich kreuzende*) *Lage zweier verbundenen spiegelnden oder zweier verbundenen brechenden Glasapparate und* 2) *dafs umgekehrt die ungleichnamige Lage des verbundenen brechenden und spiegelnden Apparates sich verhält, wie die gleichnamige Lage zweier spiegelnden oder zweier brechenden Apparate.*

27. Aus den sämmtlichen §. 21 bis §. 26. erzählten Versuchen geht deutlich hervor, dafs die gebrochenen und gespiegelten Bilder oder Strahlen sich genau so gegen einander verhalten, wie sich die beiden Bilder eines Doppelspathes gegeneinander verhalten, dafs also jeder durchsichtige Körper als ein verdoppelnder angesehen werden kann, welcher sich nur darin von den verdoppelnden Krystallen unterscheidet, dafs seine beiden Bilder nach entgegen-

gesetzten Richtungen hin fallen. Es wäre nun zu untersuchen, ob nicht entgegengesetzte Spiegelung und Brechung innerhalb der krystallisirten Körper, das begründet, was uns als doppelte Strahlenbrechung erscheint.

28. Ich übergehe hier die Erscheinungen, welche verdoppelnde Krystalle in dem verbundenen Brechungs- und Spiegelungsapparat zeigen, da sie sich nun leicht aus den bereits angegebenen ableiten lassen.

Nur einige Versuche über das Verhalten der Säule von 15 Gläsern in *b c* Fig. 1. zwischen den unbelegten Gläsern *G G* und *H H* will ich noch anführen.

29. Es falle der Strahl *a b* directe auf *G G*, und die Glassäule befinde sich in *b c* über *H H*, während dieses in O. oder W. kein Bild giebt. So lange die Glassäule mit ihrer längern Seite in der Einfallsebene, oder in der Ebene welche diese in 90° durchschneidet, horizontal liegt, oder auch in dieser Ebene gegen den Horizont geneigt wird; so wird die Spiegelung von *H H* in O. oder W. nicht hergestellt. Befindet sich hingegen die längere Seite der Säule in der Ebene, welche mit der Einfallsebene 45° macht, so wird die Spiegelung von *H H* sogleich hergestellt, schon wenn diese Säule *I I* horizontal liegt, es wurde aber das Bild von *H H* in O. oder W. am lebhaftesten als *I I* einen Winkel von ungefähr 55° mit dem Horizont machte.

30. Anders ist es wenn das Glas *H H* in der Einfallsebene, hier in N. oder S. reflectirt. In diesem Falle ändert die Säule *I I* horizontal um *b c* wie um eine Achse gedreht, nicht das mindeste.

Wird aber *I I* in der Einfallsebene so geneigt, dafs dessen Flächen mit *G G* oder mit *H H* parallel werden, so verschwindet das von *H H* in S. oder N. gespiegelte Bild gänzlich. Dagegen ist das Bild von *H H* in S. oder N. am lebhaftesten, wenn *I I* in der die Einfallsebene unter 90° durchschneidenden Ebene bis auf 55° gegen den Horizont geneigt wird. Diefs rührt daher, weil in dieser letzten Lage von *I I* einzig gebrochenes Licht auf *H H* fallt, in der vorigen aber keines. Und diefs ist wiederum eine nothwendige Folge der Action des Glases *G G* mit der Säule *I I*, welche beide zu einem vollständigen Apparat verbunden sind. Denn in dem erstern Falle befanden sich diese beiden Glieder des Apparates in gleichnamiger Lage, und es konnte defshalb laut dem §. 26. aufgestellten ersten Gesetz kein Licht, oder nur ein höchst schwaches zum Glase *H H* gelangen. In dem zweiten Falle war die Lage von *I I* und *G G* ungleichnamig, d. h. die Flächen derselben kreuzten sich rechtwinklig, es konnte also Licht auf *H H* fallen, welches dann weiter reflectirt wurde. Ob die Säule *I I* sich in *a b* Fig. 1. oder in *b c* befindet, ist mithin gleichgültig.

31. Was nun die Action der Säule *I I* zwischen *G G* und *H H* betrifft, während letzteres, in O. oder W. kein Bild giebt, wie in §. 29. so bleibt natürlich nach den beiden verschiedenen Lagen von *I I* gegen *G G* auch hier die Wirkung dieselbe, d. h. das auf *H H* fallende Licht ist am lebhaftesten, wenn die Flächen von *I I* und *G G* *) sich unter einem rech-

*) Versteht sich dafs beide immer einen Winkel von 55° mit dem Horizont machen müssen. *Sk.*

ten Winkel schneiden. Es wird aber hierdurch noch nicht die Spiegelung von *H H* in O. oder W. hergestellt, weil die Aufhebung dieser Spiegelung einzig von der Lage der Gläser *H H* und *G G* gegen einander herrührt, und *I I* in dieser Lage nur den ursprünglichen Zustand unverandert bestehen läſst. Einzig eine mittlere Richtung dieses dritten mittleren Gliedes *I I* im Apparate, vernichtet daher auch hier, wie in allen vorhergehenden Versuchen, das Phänomen, welches die zwei äuſsern sich unter rechten Winkeln kreuzenden Gläser hervorbrachten.

Farbige Figuren durch den brechenden und spiegelnden Apparat.

32. Ich habe nun noch einige merkwürdige Erscheinungen zu beschreiben, welche ich an Glaswürfeln, Cylindern und andern 1 bis 2 Zoll dicken parallelen Glasmassen wahrgenommen habe: Figuren durch Brechung des Lichtes hervorgebracht, welche den Chladnischen Klangfiguren ähnlich sind, und auch so mannigfaltig verändert werden können, als diese.

33. Zwischen den beiden §. 23. beschriebenen Säulen meines brechenden Apparates, welche die Stellung gegen einander hatten, wie Fig. 5. angiebt, wurde ein Glaswürfel von 1 $\frac{3}{4}$ paris. Zoll Seite, auf eine horizontale Unterlage gelegt, so daſs dessen brechende Seiten vertikal standen, und in Beziehung auf *b c* Fig. 5. perpendikulär waren. Wurde nun der Glaswürfel von *d* aus im Tageslichte betrachtet, so sah man in seinem Innern mitten ein schwarzes Kreuz, und in den Ecken vier Ringe in

den lebhaftesten prismatischen Farben. Fig. 8. stellt ein solches Bild, wiewohl nur unvollkommen, dar. Die Folge der Farben war dann, wo sie am vollständigsten erschienen, aufsen gelb, dann roth, violett, blau, grün und mitten wieder gelb; doch hatten einige Glaswürfel kein Gelb und Grün, sondern nur Blau in der Mitte, an andern fehlte auch das Blau, und in einigen Würfeln sah man an diesen Stellen nur gelbe Flecken. Kleinere Glaswürfel von $\frac{3}{4}$ bis $1\frac{1}{4}$ Zoll Seite zeigten gar keine Farben, doch in der Mitte ein deutliches schwarzes Kreuz. Die Streifen in den Gläsern konnten höchst unregelmäfsig und verworren seyn, die Figuren waren jederzeit regelmäfsig. Sehr starke und zugleich regelmäfsige Streifen im Glase, schienen nachtheilig zu wirken. Ins gelbliche ziehende Gläser gaben die Erscheinung minder vollkommen. Die lebhaftesten Farben erzeugten französisches Krystallglas und einige Sorten von ganz weifsem böhmischen Glase. Die verschiedenen Glassorten bedürfen mithin noch einer eigenen Untersuchung.

34. Ein Glimmerblatt zwischen dem Würfel und den spiegelnden Gläsern gehalten, veränderte Fig. 8. folgendermassen: Das schwarze Kreuz wurde in der Mitte hell und durchsichtig, zwei Theile desselben traten bogenförmig in zwei gegenüber liegende Farbenringe und verdunkelten deren äufsere Farben, das mittlere Gelb wurde zugleich gröfser und lebhafter, — die zwei andern Farbenringe zogen sich zusammen und wurden in der Mitte lebhaft blau, vor ihnen blieben die beiden andern Theile des Kreuzes als schwarze Bogen stehen. — So erschien die Figur in derjenigen Lage des Glimmers, in wel-

cher er im Spiegelungsapparate die Doppelbilder, oder die Spiegelungin O. und W. herstellt. In einer Umdrehung des Glimmers um *b c*, wie um eine Achse, kam Fig. 8. viermal zum Vorschein.

35. Erhielt die erste Säule *I I* Fig. 5. gleiche Neigung gegen den Horizont mit der zweiten Säule *L L* und befand sich der Glaswürfel wie vorhin zwischen beiden, so erschien nur in der Mitte ein helles Kreuz. Das vorige schwarze Kreuz hatte sich zerlegt und war bogenförmig in die Farbenringe getreten, welche es aufsen braun machte, wie Fig. 9. darstellt. Die Mitte der Farbenringe, welche vorhin gelb gewesen war, hatte nun die entgegengesetzte Farbe, violett, und der blaue Theil war gelbroth geworden. Glimmer zwischen den Gläsern und dem Würfel brachte wieder eine neue Figur hervor.

36. Hatten die Säulen *I I* und *L L* wieder die Lage gegen einander, wie in Fig. 5., und war der Glaswürfel so befestigt, dafs er auf einer Kante ruhte und die brechenden Flächen vertikal standen, wie vorhin, so wurde Fig. 10. sichtbar. Glimmer veränderte auch diese, wie jede andere Figur.

37. Der in §. 12. beschriebene Glascylinder zwischen den Säulen *I I* und *L L* Fig. 5., bildete eine ähnliche Figur als der Glaswürfel, er hatte in der Mitte ein schwarzes Kreuz, aufsen lief aber ein farbiger Ring um den ganzen Cylinder, welcher innen gelb und aufsen blau war.

Eine andere etwas conische und aufsen gleichfalls matt geschliffene Glassäule gab aufser dem schwarzen Kreuz in der Mitte zwei concentrische farbige Ringe, wie in Fig. 11. abgebildet ist. Dieser

doppelte Farbenring rührte offenbar daher, dafs die eine Grundfläche kleiner als die andere war. Die Ränder der Säule hatten keine Facetten, sondern waren hier ziemlich scharf.

38. In Glascylindern mit elliptischen Grundflächen ist der Theil des schwarzen Kreuzes, welcher im kleinen Durchmesser liegt, breiter als der im grofsen Durchmesser befindliche Theil desselben.

Parallelepipeden verhalten sich eben so. In Fig. 6. ist die Figur eines Parallelepipedons, welches horizontal auf seiner Grundfläche lag, dargestellt. Machte die Grundfläche desselben mit dem Horizont einen Winkel von 45°, so entstand Fig. 7., wo die Mitte hell und durchsichtig war.

Der Cylinder mit elliptischer Grundfläche erscheint gleichfalls in der Mitte durchsichtig, wenn die grofse Achse der Ellipse unter 45° gegen den Horizont geneigt ist.

Prismen mit dreiseitigen Grundflächen gaben wieder andere Figuren, von welchen Fig. 12. eine darstellt.

39. Würfel von klarem Steinsalz zwischen den Gläsern *I I* und *L L* brachten keine Figuren hervor, sie blieben ganz dunkel und stellten auch in keiner Lage die Durchsichtigkeit der Glassäulen her, wie vom Glimmer oben angeführt worden ist. Flufsspath verhielt sich wie das Steinsalz.

40. Auch Wasser und die Flüssigkeiten überhaupt brachten weder Figuren hervor, noch stellten sie die Durchsichtigkeit her, wenn sie in hohlen, aus Glasscheiben zusammengesetzten Würfeln zwischen die Gläsersäulen des Apparates gebracht wurden.

41. Kalkspath Rhomboëder erscheinen zwischen den Säulen *I I* und *L L* Fig. 5. dunkel und undurchsichtig, wenn der Hauptschnitt vertikal oder horizontal liegt, und sie sind vollkommen durchsichtig, so dafs man durch sie und die 60 Gläser der Säulen hinlänglich erleuchtete Gegenstände erkennen kann, wenn der Hauptschnitt 45° mit dem Horizonte macht. Solche Figuren wie das Glas bringt aber weder der Kalkspath noch irgend ein anderer krystallisirter Körper hervor.

Farben zeigen zwar auch einige Krystalle im brechenden Apparate, welche vorher in ihnen nicht zu bemerken waren; diese sind aber von denen der Glasmassen verschieden, es sind epoptische Farben, welche von feinen Trennungen der innern Bruchflächen herrühren, auch bilden sie nie regelmäfsige Figuren. Die Bruchflächen werden zugleich im Apparate sichtbar, wenn sie es vorher nicht waren, wie ich diefs unter andern an einer Scheibe von Bergkrystall bemerkt habe, in welcher mit blosem Auge keine Spalten oder Risse zu bemerken waren.

42. Dafs die Farbenfiguren in den Glaskörpern auch durch Spiegelung erzeugt werden können, ergiebt sich aus allen vorigen Erfahrungen von selbst. Man neige zwei unbelegte Gläser unter einem Winkel von ungefähr 110° gegeneinander *), und stelle einen Glaswürfel oder Cylinder u. s. w. zwischen beide, so dafs die Flächen des brechenden parallelen Glaskörpers gleiche Neigung gegen jedes der beiden

*) Diefs ist der Winkel den die Spiegel in allen vorhergehenden Versuchen mit einander machten. *Sk.*

spiegelnden Gläser haben. Ist das erste Glas vom Tages- oder Sonnenlichte erleuchtet, so sieht man im zweiten Glase eine oder die andere Figur, und zwar, wenn die Flächen der spiegelnden Gläser eine ungleichnamige Lage haben, (d. h. wenn sie sich unter einem rechten Winkel schneiden), die Figur mit dem dunkeln Kreuz in der Mitte; haben aber die spiegelnden Flächen eine gleichnamige Lage, (d. h. sind sie mit einander parallel, oder machen sie mit einander einen Winkel von 110°), so sieht man die Figur mit dem hellen Kreuz in der Mitte. Im ersten Glase sieht man keine Figur, wenn das einfallende directe Licht von dem zweiten Spiegel mittelst eines Schirms abgehalten wird. Stellt man den Versuch aber in Freien an und so, dafs das Tageslicht auf beide spiegelnde Flächen fallen kann, so sieht man die nämliche Figur in dem einen wie in dem andern Spiegel. Denn nun vertritt ein Spiegel gegen den andern die Stelle des ersten Reflectors, was in dem vorhergehenden Falle nicht stattfinden konnte. Die Figuren in den Glaskörpern werden noch vollkommener, die Farben noch glänzender, wenn man Spiegel von schwarzem Glase anwendet *). Die beigegebenen Zeichnungen sind nach den Bildern in schwarzen Gläsern verfertigt. An den übrigen 4 Seiten der Glaswürfel erscheinen durch innere Spiegelung gleichfalls farbige Figuren, deren Beschreibung ich hier übergehe.

---

*) Auch gewöhnliche Spiegelgläser, deren hintere Fläche matt geschliffen, und dann mit einem schwarzen Firnifs überzogen werden, sind brauchbar. *Sk.*

43. Auch ein einfacher schwarzer Spiegel, oder ein einfacher brechender Apparat zeigt unter gewissen Bedingungen die farbigen Figuren in den Glaskörpern. Vor einem schwarzen und gegen den Horizont geneigten Spiegel werde ein Glaswürfel gehalten und so gewendet, dafs nur zwei Seiten desselben vollkommen im Spiegel gesehen werden. Steht nun die Sonne bei unbewölktem Himmel in Osten, und wendet sich der Beobachter gegen Norden oder Süden, und neigt das schwarze Glas in der Richtung gegen den Horizont, dafs die nördliche oder südliche Himmelsfläche als Hintergrund des Glaswürfels im Spiegel erscheint, so wird er die Figur mit dem schwarzen Kreuz in der Mitte Fig. 8. gewahr werden. Stellt sich der Beobachter hingegen so, dafs ihm die Sonne im Rücken steht, und neigt den schwarzen Spiegel gegen den westlichen Himmel, so sieht er im Glaswürfel die 9te Fig. mit dem hellen Kreuz in der Mitte. Wenn die Sonne in Westen steht, so sieht man diese Figur in dem gegen Osten gewendeten Spiegel, und so immer die entgegengesetzten Figuren, je nachdem die Sonne in Beziehung auf den Spiegel zur Seite oder im Rücken steht. Wird aber das Glas directe gegen die Sonne, oder gegen den sie zunächst umgebenden helleren Himmelsraum gerichtet, so erscheint keine Figur in dem gespiegelten Glaswürfel. Eben so wenig zeigt sich eine Figur im einfachen schwarzen Spiegel, bei gleichförmig bedecktem Himmel, wenn der Versuch im Freien oder im offenen Fenster angestellt wird. Eine einfache Glasscheibe vor dem Würfel, bringt aber sogleich, auch bei ganz bedecktem Himmel die farbige Figur hervor, obwohl nur schwach. Lebhaf-

ter wird das Bild, wenn man mehrere Scheiben und dazu in der oben angegebenen Neigung vor dem Würfel stellt.

44. Aus den letzten Beobachtungen geht hervor, dafs bei einer einfachen gleichförmigen Beleuchtung des Glaswürfels und Spiegels die farbigen Figuren nicht entstehen können, sondern dafs der Glaswürfel sich jederzeit zwischen zwei, von einem lebhaften Licht erleuchteten, brechenden oder spiegelnden durchsichtigen Mitteln, oder einem brechenden und einem spiegelnden, befinden müsse; und *hieraus folgt, dafs die Trübung eines lebhaften Lichtes als die erste Bedingung der Figurenbildung angesehen werden mufs.*

Die im vorhergehenden §. zuerst angeführten Beobachtungen nöthigen uns anzuerkennen, dafs der Himmel dort die Stelle des zweiten Spiegels oder brechenden Glases vertritt, und zwar auf eine zweifache entgegengesetzte Weise, je nachdem das Hauptlicht, die Sonne, dem spiegelnden Glase im Rücken, oder zur Seite steht. Im ersten Fall verhält sich die erleuchtete Himmelsfläche wie ein Spiegel in gleichnamiger Lage zu einem zweiten Spiegel, in welchem das Bild gesehen wird; und im letzten Falle verhält sie sich wie ein Spiegel in ungleichnamiger Lage gegen einen zweiten *). Noch mufs ich hier

*) Oder auch im ersten Falle wie ein erleuchtetes brechendes Mittel zu einem Spiegel in ungleichnamiger Lage, und im zweiten, wie ein brechendes Mittel in gleichnamiger Lage mit dem ~~ersten~~ Spiegel. *Sk.*

anführen, dafs jede viertel Umdrehung des schwarzen spiegelnden Glases, während dieses immer einer und derselben Himmelsgegend zugekehrt bleibt, die entgegengesetzte Figur eben sowohl hervorbringt, als wenn der Glaswürfel sich zwischen zwei schwarzen Spiegeln befände, wovon das eine um den perpendikulär durch den Würfel gehenden Strahl eine viertel Umdrehung machte.

45. In den vorhergehenden §. §. haben wir diese Erscheinungen nur als subjective kennen gelernt; dafs sie aber auch wahrhaft objective sind, geht schon aus den §. 8 bis 15 mitgetheilten Beobachtungen hervor, und wird auch vollkommener durch folgende Versuche erwiesen.

Es falle das Sonnenlicht durch eine Oeffnung von etwa 2 bis 3 Linien im Durchmesser auf das unbelegte Glas *G G* Fig. 1. oder noch besser auf einen schwarzen Spiegel, und werde unter dem gewöhnlichen Winkel auf *H H*, gleichfalls von schwarzem Glase reflectirt. Zwischen *G G* und *H H* befindet sich der Glaswürfel in der §. 8. angegebenen Richtung auf einer horizontalen Unterlage, welche gleichfalls eine Oeffnung von etwa 3 Linien hat, und der Strahl *b c* falle durch dieselbe und den Würfel auf *H H*, während diefs in O. und W. kein gespiegeltes Bild giebt. Der Beobachter schaue in der Richtung *c d* in den Spiegel *H H*, so sieht er, wenn der Glaswürfel hin und her geschoben wird, abwechselnd ein helles und trübes, ein farbiges und farbloses Bild im Spiegel, welche genau in der Folge und Ordnung eintreten, wie Fig. 8. darstellt. Es scheint der ganze Würfel von dieser Figur, erfüllt zu seyn, und die Herstellung und Wiederaufhebung der Spie-

gelung einzig davon abzuhängen, ob der Strahl *b c* sich an einer hellen oder dunkeln, an einer farbigen oder farblosen Stelle der Figur im Glaswürfel befindet.

46. Bleibt der Cubus unverändert, und wendet man die Fläche des Spiegels *H H* nach S. oder N so ist das Bild hell, wenn *b c* in der Mitte des Würfels auffallt, es wird trüb und farbig, wenn *b c* sich den Ecken des Würfels nähert, und man sieht den Wechsel und die Folge der Farben in der Ordnung wie Fig. 9. angiebt. Ein ähnliches Verhalten zeigen der Cylinder und die übrigen Glaskörper.

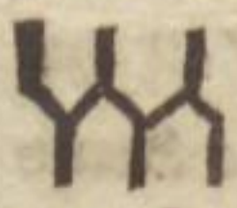
47. Wir ersehen hieraus, dafs es für die Bildung der farbigen Figur im Glaskörper völlig gleichgültig ist, auf welchen Punkt desselben der begränzte helle Strahl *b c* fällt. Ueberall trifft er auf Theile einer, wie es scheint, schon gebildeten Figur, welche seine Wirkung modificiren. Da nun frühere Erfahrungen bereits erwiesen haben, dafs die farbigen Figuren nach der verschiedenen Form der Glaskörper verschieden ausfallen, und da auch hier die äufsern Theile des Glaskörpers, wo sie von dem Hauptlichte *b c* gar nicht directe getroffen werden, doch zur Entstehung der vollständigen Figur mitwirken: so nöthigt uns diefs dem durch den ganzen Körper verbreiteten schwächeren Lichte einen thätigen Antheil an jener Figurenbildung zuzuschreiben. Auch ist nicht zu übersehen, dafs die entgegengesetzte Lage von *H H* gegen *G G* auch die entgegengesetzten Figuren an einem und demselben Glaskörper noch da hervorruft, wo nur ein kleiner Theil von dessen Flächen der unmittelbaren Wirkung der reflectirenden Gläser ausgesetzt ist.

48. Die vollkommenste objective Darstellung der farbigen Figuren der Glaskörper ist folgende. Es falle das Sonnenlicht entweder directe, oder von einem Metallspiegel reflectirt durch eine Oeffnung von 1 ½ bis 2 Zoll auf den schwarzen Spiegel *G G*, und der Würfel werde so befestigt, dafs seine horizontalen Seiten ganz frei und unbedeckt sind, und von dem vollen Lichte in *b c* getroffen werden. Nun reflectirt der unter dem Würfel befindliche schwarze Spiegel *H H* die ganze Figur des Würfels mit dem lebhaftesten prismatischen Farben, auf einen gegenüberstehenden weifsen Schirm; und zwar, wenn die Mittagsebene für die Einfallsebene genommen wird, erscheint in O. und W. die 8te Fig. mit dem schwarzen Kreuz in der Mitte, und in S. und N. die 9te Fig. mit dem hellen Kreuz in der Mitte. Wird der Würfel gedreht, während *H H* unverändert bleibt, so ändert sich die farbige Figur gleichfalls. Entfernt man *H H* gänzlich und fangt das von *G G* reflectirte und durch den Würfel gegangene Licht mit einem Schirm auf, so ist auf diesem keine Spur einer Figur zu entdecken.

Diese Versuche beweisen zugleich, so wie alle vorhergehenden, dafs die 3 Glieder des Apparates, die beiden Spiegel G G und H H und der Würfel oder Cylinder u. s. w. an der Bildung der Figuren gleichen Antheil haben; dafs mithin die Bestimmungen zu jenen Figuren nicht im Strahl b c fertig liegen, sondern dafs sie durch die äufsern Bedingungen an demselben erst als Erscheinungen gesetzt werden. Und die ersten dieser Bedingungen sind eine Beschattung und eine doppelte Beleuchtung.

49. Es war nun zu untersuchen, wie sich Bergkrystall- und Kalkspath-Prismen in Beziehung auf die Figurenbildung in den Glaskörpern verhalten. Vergleicht man Fig. 2. mit Fig 8. und die dazu gehörenden Beschreibungen in §. 8 und §. 35. *), so findet man, dafs die Punkte, wo das Doppelbild wieder erscheint, in die hellen Stellen der Figuren fallen, d. h. in den weifsen zunächst am schwarzen Kreuze gränzenden Raum und in den innern gelben Theil der farbigen Ringe, und dafs das Bild da wieder einfach ist, wo sich die dunkeln Stellen der Figur befinden; α fällt in die Mitte des schwarzen Kreuzes, γ und ϵ in die dunkeln Theile der farbigen Ringe.

50. Ich liefs das durch eine Oeffnung von 1 ½ Zoll einfallende Sonnenlicht von dem Spiegel *G G* Fig. 1. auf den Glaswürfel und ein darunter befindliches Bergkrystall-Prisma fallen. Obwohl beide nun ganz erleuchtet waren, so zeigte sich doch keine der beschriebenen farbigen Figuren. Das vorher einfach gewesene prismatische Farbenbild war aber in der §. 8. beschriebenen Lage des Glaswürfels doppelt, und beide prismatischen Farbenbilder waren mit gebrochenen dunkeln Streifen bedeckt; ungefähr so



Diese Streifen rühren offenbar von einer Figur des Glaswürfels her, welche aber nicht vollkommen erscheinen konnte, weil der brechende Winkel des Bergkrystall-Prismas sehr grofs war. Es erhellet hieraus, dafs die dicken parallelen Glasmassen über-

*) Dort war das Sonnenlicht durch eine Oeffnung von etwa 2 Linien auf den Würfel und das Prisma gefallen.

all, nur nicht da, wo die dunkeln Stellen der Figuren hinfallen, das Doppelbild herstellen.

Scheiben von Bergkrystall von 1 ½ bis 2 Linien Dicke, unter dem Glaswürfel gehalten, brachten keine farbige Figur durch Brechung hervor.

51. Ein ganz klarer Kalkspath-Rhomboëder von 1 Zoll Höhe und 4 Quadratzoll Grundfläche wurde unter den Glaswürfel horizontal gelegt, und das volle durch beide Körper vertikal herabfallende Licht *b c* mit einem weifsen Papier unter demselben aufgefangen. Hier erschien nun deutlich eine farbige Figur, und zwar Fig. 9. wenn der Hauptschnitt des Kalkspathes sich in der Einfallsebene befand, oder in einer Ebene, die diese in 90° durchschnitt. Lag aber der Hauptschnitt in 45° mit der Einfallsebene, so war auf dem unterliegenden Papier eine in der Mitte ganz helle und nur in den Ecken etwas farbige Figur zu sehen. Das Rhomboëder für sich bildete keine Figur, eben so wenig der Würfel für sich allein. — Darüber dafs hier nicht die 8te Fig. mit dem dunkeln Kreuz in der Mitte, sondern die entgegengesetzte 9te Fig. erschien, giebt folgender Versuch nähere Aufklärung.

52. Ich liefs bei einer Oeffnung von 1 ½ Zoll im Laden das von *G G* reflectirte Licht, auf eine Säule von 15 Gläsern fallen, welche sich an der Stelle des Spiegels *H H* befand, und eben dieselbe Neigung gegen den Horizont hatte, als dieses in den vorhergehenden Versuchen. War diese Säule so gestellt, dafs sie in Osten und Westen kein reflectirtes Bild gab und wurde der Glaswürfel, in der §. 8. beschriebenen Richtung, zwischen der Säule und *G G*

gehalten, so erschien auf einem der reflectirenden Fläche gegenüber gestellten Schirm die Figur mit dem schwarzen Kreuz in der Mitte, Fig. 8.; auf dem unter der Säule befindlichen und das gebrochene Licht auffangenden Schirm aber hatte sich die Figur mit dem hellen Kreuz in der Mitte, Fig. 9. gebildet.

Wurde die erste Fläche der Säule gegen Süden oder Norden gerichtet, so entstand durch Spiegelung die 9te Fig. mit dem hellen Kreuz und durch Brechung die 8te Fig. mit dem schwarzen Kreuz in der Mitte.

Diese Erfahrungen beweisen, dafs ein horizontal liegendes Kalkspath-Rhomboëder in dem Strahle *b c*, wenn sein Hauptschnitt sich in der Einfallsebene befindet, oder in einer Ebene, welche diese in 90° durchschneidet, sich gegen den über ihm stehenden Glaskörper verhält, wie eine Glassäule, welche gegen den Horizont unter 54° geneigt ist, und für sich keine Spiegelung in diesem Strahle hervorbringt. Beide erzeugen durch Brechung dieselbe farbige Figur.

55. Noch will ich einige kürzlich gemachte Beobachtungen hier anführen.

In dem ersten schwarzen Spiegel *G G* bemerkte ich gleichfalls eine farbige Figur, wenn der ganze Glaswürfel von *b c* beleuchtet war. Diese war jedoch verschieden von den Taf. II. abgebildeten. Sie hatte in der Mitte ein zusammengedrängtes helles Kreuz, dann zwei farbige Bogen und noch einen Farbenring wie in Fig. 9. in jeder der vier Ecken. Diese Figur entsteht blos durch Zurückspiegelung von dem Glaswürfel gegen *G G*, welches daraus erhellt, dafs diese Figur unverändert bleibt, welche Richtung auch *H H* habe, ja sie bleibt sichtbar

wenn auch *H H* gänzlich entfernt wird, und verändert sich einzig bei jeder halben viertel Umdrehung des Glaswürfels um *b c* wie um eine Achse, wo sie in der Mitte ganz hell wird.

54. Statt *G G* wurde eine Säule von 15 Gläsern im Gestell befestigt, und der unter ihr im vollem Lichte *b c* stehende Glaswürfel durch die Säule betrachtet, (ohne dafs unter jenem der schwarze Spiegel *H H* stand); so erschien wieder die vorige Figur, sie hatte aber noch in der Mitte ein schmales schwarzes Kreuz; kurz diese farbige Figur war als eine Zusammensetzung von Fig. 8 und Fig. 9. anzusehen.

Fortgesetzte Untersuchungen werden über diese merkwürdigen Erscheinungen, so wie über mehrere andere hier erwähnte und noch unvollkommen gekannte, weitere Aufschlüsse geben.

Einige Nachträge
zu der
vorstehenden Abhandlung
vom
Dr. SEEBECK.

1. Zusatz zu §. 43. Wenn die Sonne hoch im Meridian steht, so erscheint im einfachen schwarzen Spiegel, während er gegen N. gerichtet ist, der Glaswürfel in Fig. 9; wird aber der Spiegel gegen den östlichen oder westlichen Himmel gewendet, so sieht man im Spiegel nicht Fig. 8., wie man nach den Erscheinungen am Morgen oder Abend erwarten könnte, sondern die 9te Figur im Uebergange zur 8ten. Durch Drehen des Würfels kann man jedoch hier die 8te Fig. hervorbringen.

2. Einfache convexe und concave Spiegel von schwarzem Glase erzeugen gleichfalls die farbigen Figuren der Glaskörper, nur erscheinen sie verkleinert in den erstern und vergröfsert in den zweiten.

3. Dafs auch einfache brechende Apparate die farbigen Figuren hervorbringen, ist §. 43 angeführt

worden. Durch Brechung entsteht die entgegengesetzte Figur, von der durch Spiegelung in der gleichen Lage des Glases gebildeten, mit wenigen Ausnahmen, wo dann keine Figur durch Brechung erscheint.

4. Auch Metallspiegel bringen die §. 42 und 43 beschriebenen Erscheinungen hervor. Wenn ein einfacher Metallspiegel mit einem Glaswürfel auf die §. 43 angegebene Weise verbunden wird, so erscheinen genau dieselben Figuren, obwohl schwächer, wie in dem schwarzen Glasspiegel Steht die Sonne in O. und ist der Apparat gegen W. gekehrt, so erblickt man im Spiegel Fig. 9. und gegen S. und N. Fig. 8.

Gewöhnliche belegte Glasspiegel verhalten sich wie Metallspiegel, nur ist die farbige Figur minder deutlich als in den trüberen, aus Kupfer und Zinn componirten Spiegeln.

5. Werden 2 Metallspiegel mit einander verbunden wie in §. 42 angegeben worden, ein Glaswürfel zwischen beide gehalten, und der Versuch im Freien um Mittag angestellt, so sieht man im zweiten Spiegel bei ungleichnamiger oder kreuzender Lage der Spiegel Fig. 8. und bei gleichnamiger Lage derselben Fig. 9., nach welcher Weltgegend auch der Apparat gerichtet werde. Die Metallspiegel verhalten sich also hier wie die schwarzen Glasspiegel. Anders ist es wenn die Sonne in O. oder W. steht. Sie befinde sich in W. und der Glaswürfel sey zwischen den Metallspiegeln befestigt, so sieht man, bei ungleichnamiger Lage derselben, im zweiten Spiegel

Fig. 8. wenn der erste Spiegel dem östlichen Himmel zugekehrt ist, und Fig. 9. wenn der erste Spiegel gegen N. und S. gerichtet ist.

6. Ueber das Verhalten der Metallspiegel in dem Apparate Fig. 1. wird man in dem angekündigten Werke mehr finden, unter dem Abschnitte, welcher von den im Moniteur 1811. N. 156 mitgetheilten Versuchen des Hrn. Malus handelt.

Geschrieben im März 1813.

Pf.

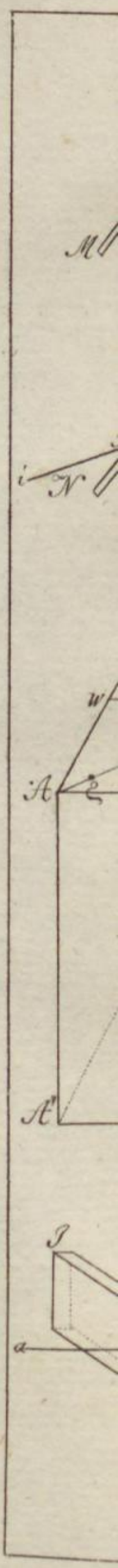

M
N
w
A
e
A'
J
a

Fig. 1.

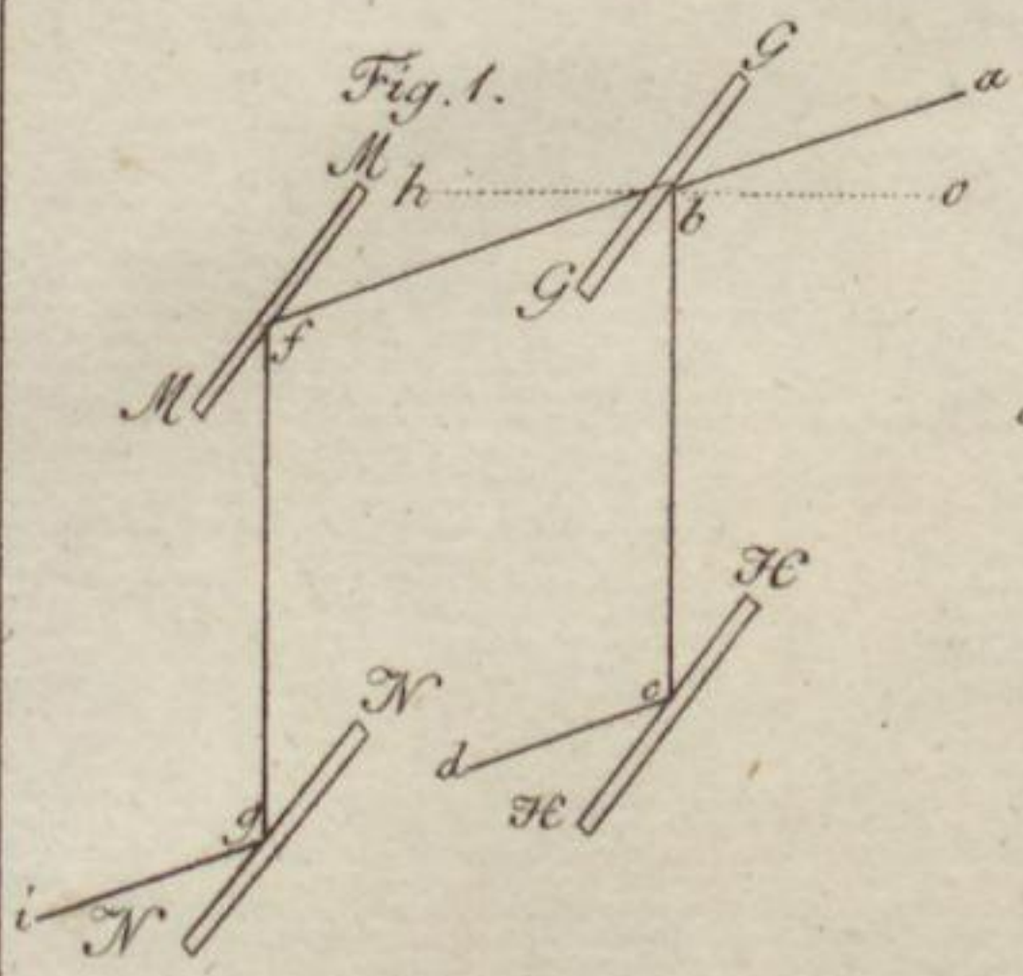


Fig. 3.

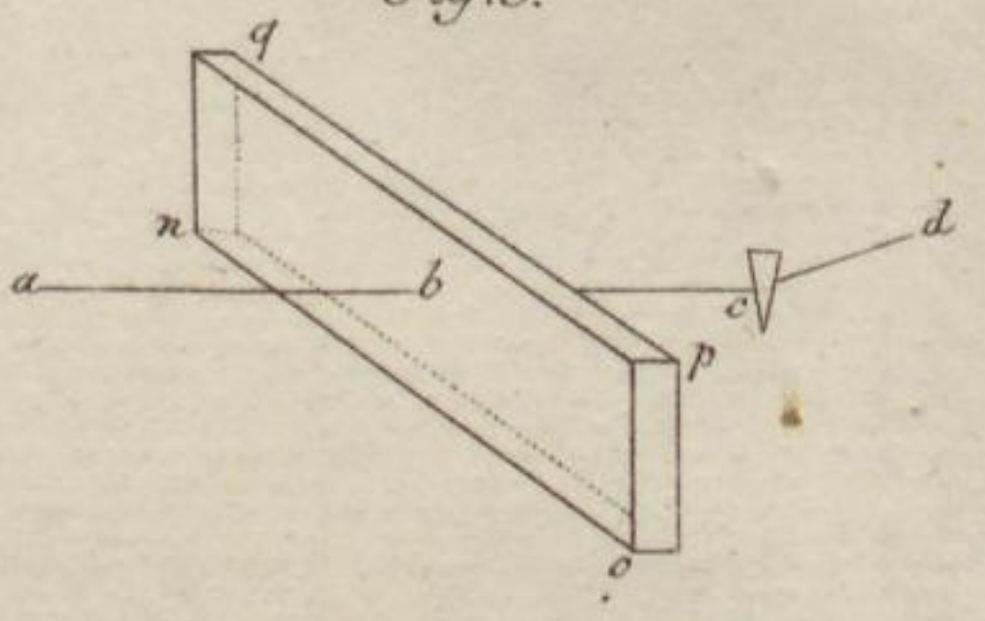


Fig. 4.

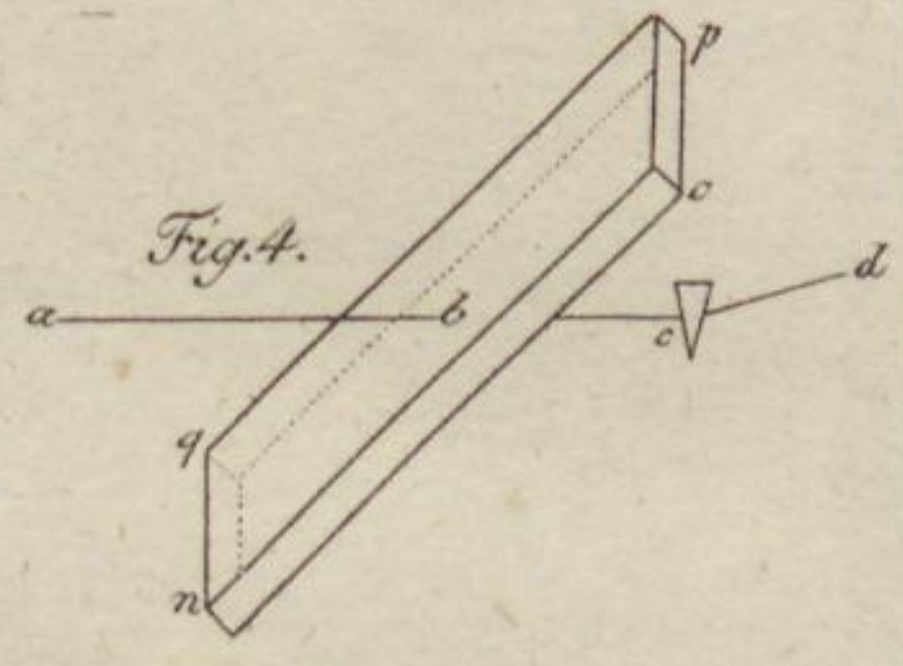


Fig. 2.

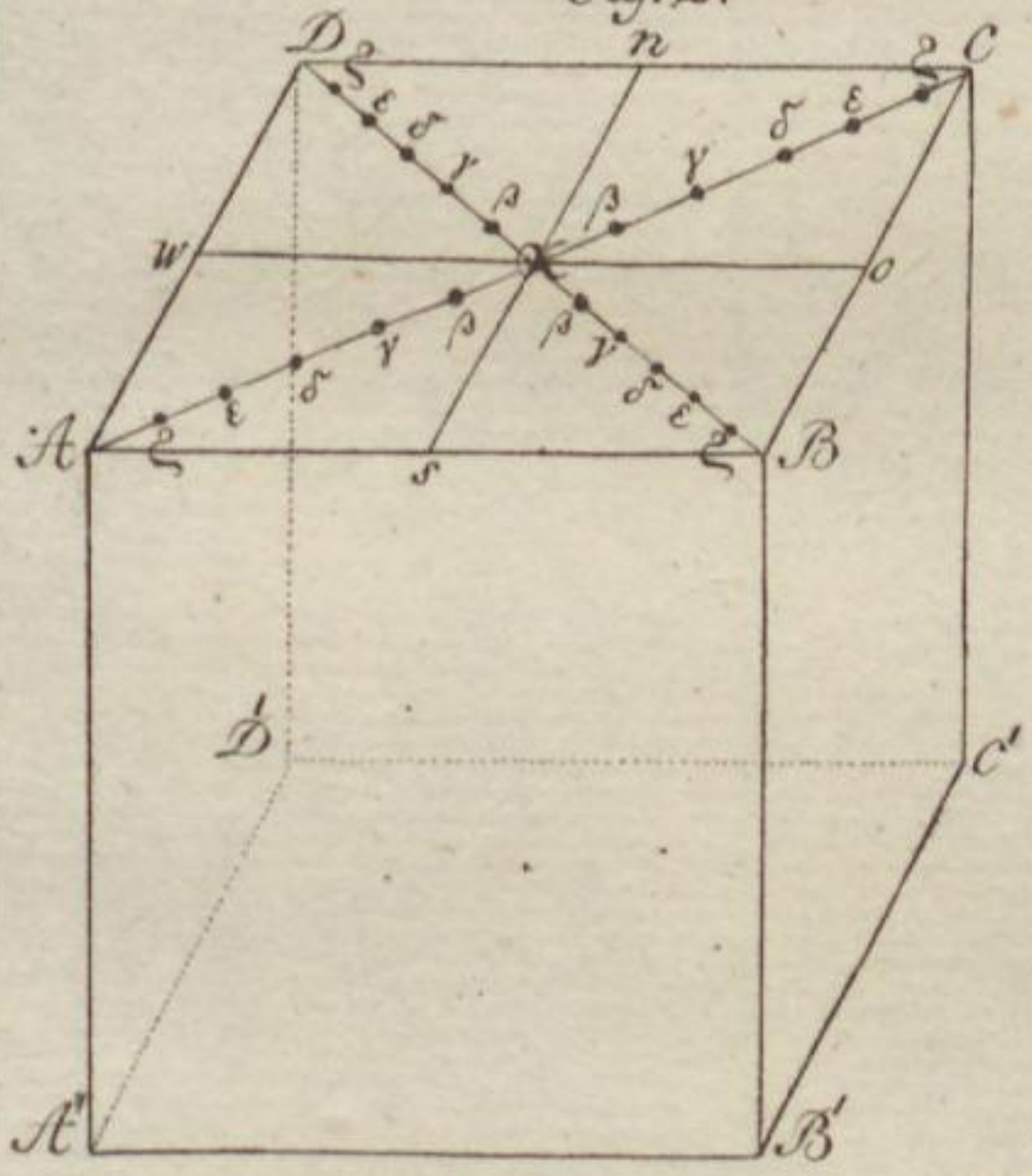


Fig. 6.

Fig. 5.

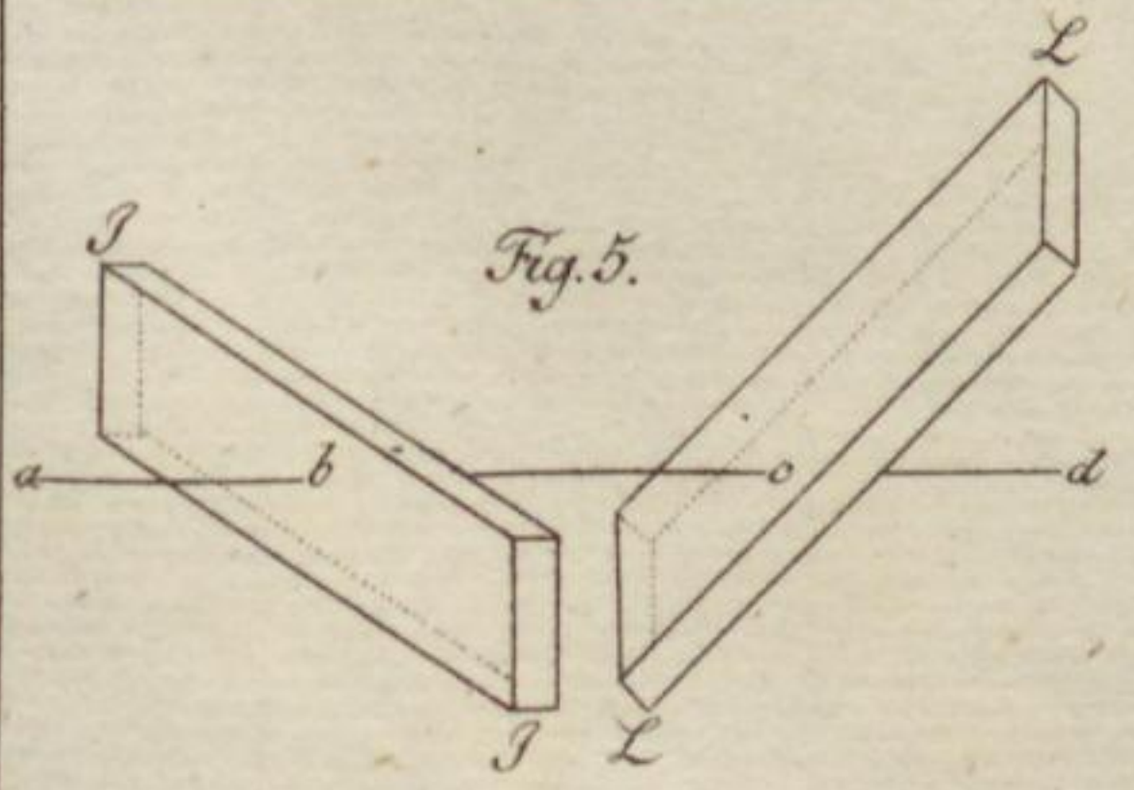


Fig. 7.

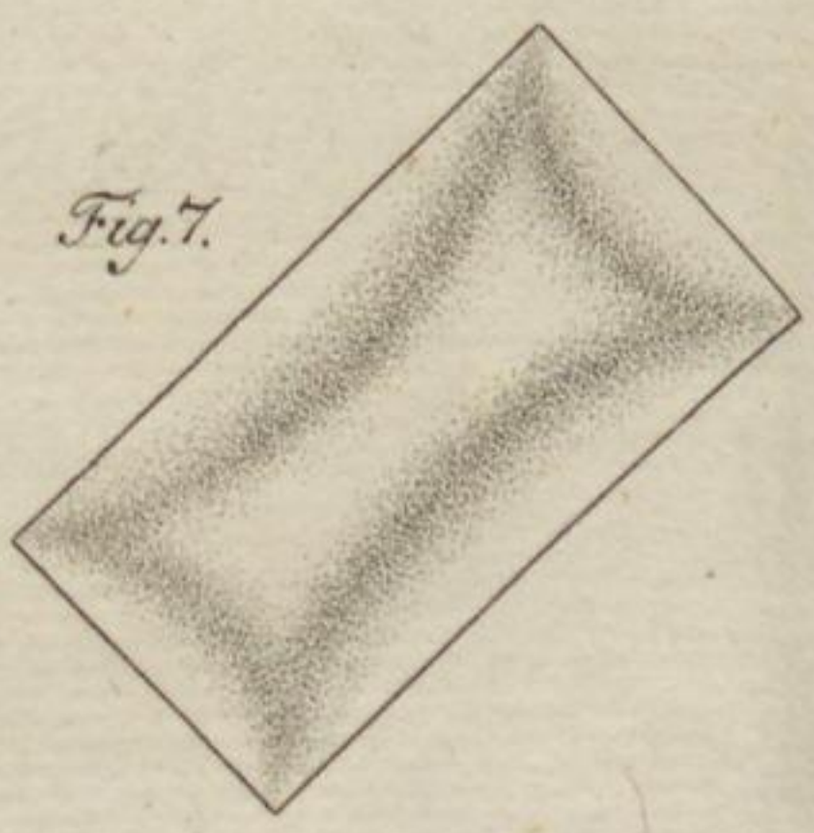


Fig. 8.

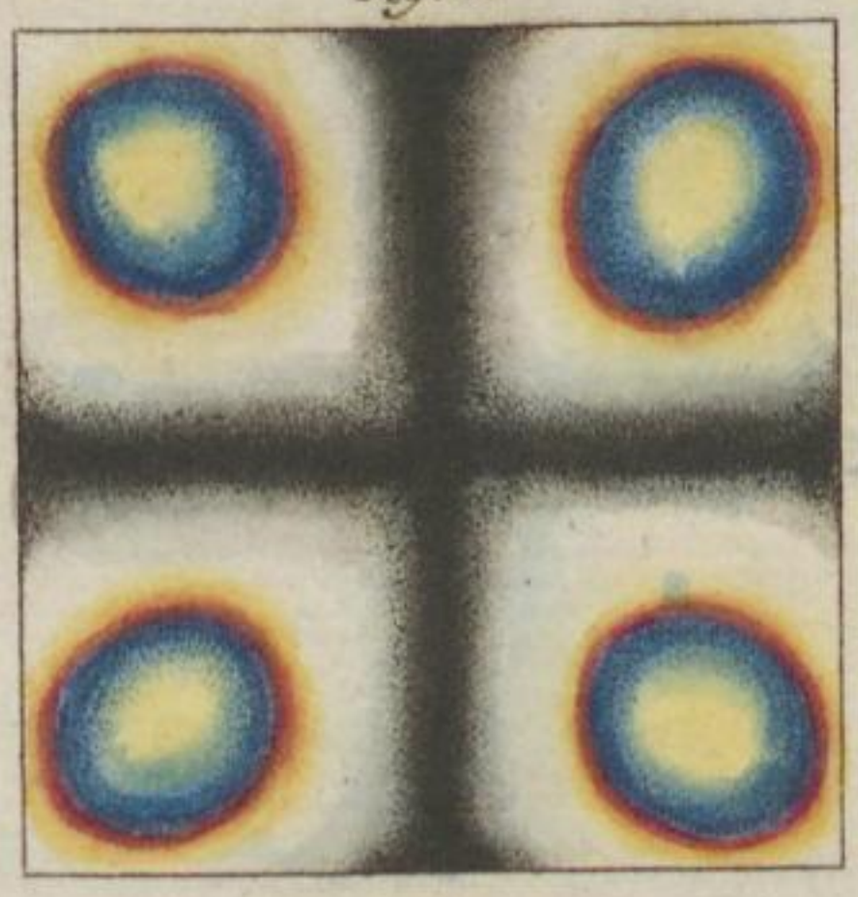


Fig. 9.

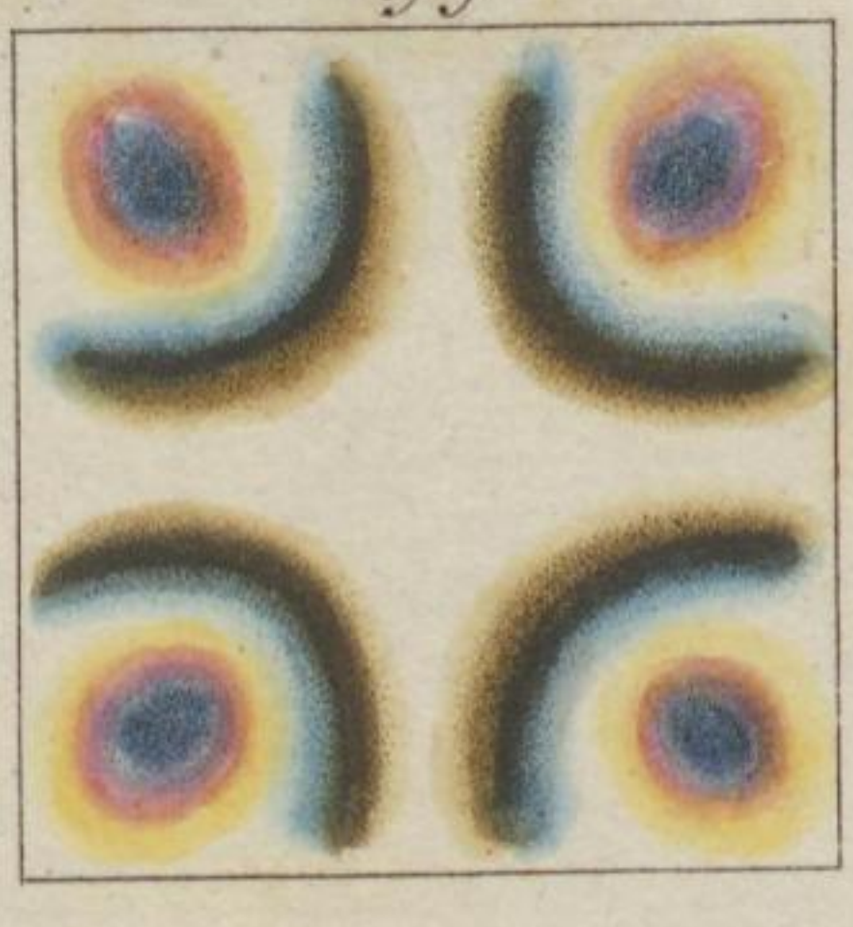


Fig. 10.

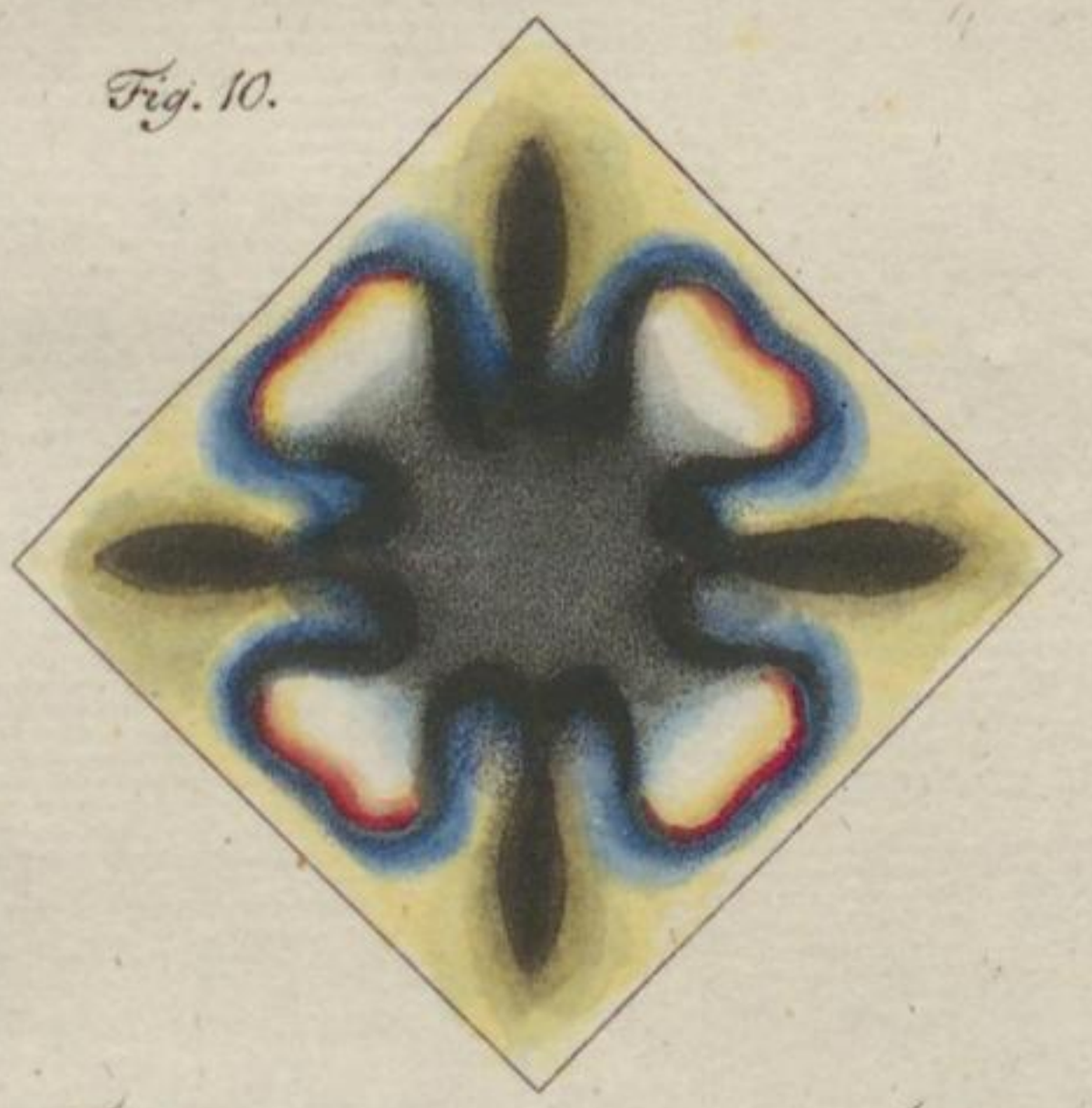


Fig. 11.

Fig. 12.