IV. *Ueber die Abstossung der optischen Axen der Krystalle durch die Pole der Magnete;*

von Plücker.

Professor der Physik in Bonn.

1) **I**n der gegenwärtigen Abhandlung beabsichtige ich eine Reihe neuer Beobachtungen mitzutheilen, die sich an die neuesten Entdeckungen des Hrn. Faraday anschliessen und durch diese hervorgerufen worden sind, Beobachtungen, die, wenn wir sie in einen allgemeinen Ausdruck zusammenfassen, zu dem folgenden empirischen Gesetze führen.

Wenn man einen beliebigen Krystall mit einer einzigen optischen Axe zwischen die beiden Pole eines Magneten bringt, so wird diese Axe von jedem der beiden Pole abgestossen. Wenn der Krystall zwei optische Axen hat, so wird jede dieser beiden Axen von jedem der beiden Pole mit derselben Kraft abgestossen.

Die Kraft, welche diese Abstossung hervorbringt, ist unabhängig von der magnetischen oder diamagnetischen Beschaffenheit der Masse des Krystalls; sie nimmt mit der Entfernung von den Magnetpolen langsamer ab, als die, von diesen Polen aus, auf den Krystall wirkenden magnetischen oder diamagnetischen Kräfte.

2) Um den Ueberblick und die Beurtheilung meiner Beobachtungen und der daraus gezogenen Folgerungen möglichst zu erleichtern, erscheint es mir am angemessensten für die Darstellung ganz denselben Weg einzuschlagen, der mich selbst zu den vorstehenden Resultaten geführt hat. Zuvor aber wird es unerlässlich seyn, über die Art und Weise, wie ich meine Versuche angestellt habe, mit kurzen Worten zu berichten.

Zunächst in der Absicht, die Faraday'schen Versuche über Magnetismus und Diamagnetismus, so wie über die Drehung der Polarisationssebene des Lichtes durch magnetische Einwirkung zu wiederholen, liefs ich unter meinen

Augen durch den Universitäts-Mechaniker, Hrn. Etter, einen starken Elektromagneten construiren, und, um sicher wenigstens die gleiche Wirkung zu erhalten, wählte ich dabei für den Eisenkern dieselben Dimensionen, die Hr. Faraday für seinen grossen Hufeisenmagneten angiebt, nur dafs ich das englische Fufsmaafs mit dem *Pariser* vertauschte. Die Flächen der Polenden sind demnach Kreise, deren Durchmesser 102^{mm} ($3\frac{3}{4}$ Par. Zoll) betragen, und deren Mittelpunkte 284^{mm} ($9\frac{3}{4}$ Par. Zoll) von einander abstehen. Der Eisenkern wiegt 84 Kilogramm, und jeder seiner beiden senkrecht stehenden Schenkel ist mit vier Lagen von Kupferdraht umwickelt, deren jede aus 92 Windungen besteht. Dieser Draht ist $4^{\text{mm}},36$ dick (2 rhein. Linien, während der Draht des Faraday'schen Magneten 0,17 engl. Zoll beträgt), indem ich aus theoretischen Gründen die grösste Drahtdicke wählte, bei welcher der gut ausgeglühte und umspinnene Draht sich noch leicht genug handhaben läfst. Das Gewicht des Drahtes beträgt ungefähr 35 Kilogramm. Die Drahtumwicklung erstreckt sich bis zu den Polflächen; auf jede von diesen ist ein Aufsatz von weichem Eisen, der denselben Querschnitt hat und 48^{mm} hoch ist, aufgeschliffen. Die beiden Aufsätze sind in der Mitte ihrer Höhe durchbohrt, und in die Durchbohrungen, die 20^{mm} im Durchmesser haben, werden zwei darin passende, verschiebbare, an einem ihrer Enden konisch zugespitzte, Cylinder von weichem Eisen eingesteckt und durch Schrauben festgehalten. Die konischen Zuspitzungen, in welchen die magnetische Wirkung sich concentrirt, können beliebig einander genähert und von einander entfernt, und auch mit [den Aufsätzen und ohne dieselben fortgenommen werden. Eine Tischplatte, die höher und tiefer gestellt werden kann, und mit zwei runden Oeffnungen versehen ist, durch welche die Schenkel des Elektromagneten hindurchgehen, trägt einen Glaskasten mit der Coulomb'schen Drehwaage. Auf der Welle dieser letzteren wickelt sich ein starker Faden, der aus einer gröfseren Anzahl nebeneinanderliegender einzelner Confäden besteht, auf und ab, und an diesen können schwe-

rere Massen bis zu einem halben Kilogramm und mehr unmittelbar aufgehängt werden, etwa in einem leichten Schiffchen an einem kleinen Haken. Was die Aufhängung leichter Körper betrifft, so habe ich ein solches Schiffchen, in welches derselbe gelegt wird, bei meinen magnetischen und diamagnetischen Versuchen gleich von Anfang verwerfen zu müssen geglaubt, weil ich keine Materie fand, die sich nicht zwischen den beiden Polen meines Elektromagneten magnetisch oder diamagnetisch einstellte. Ich hänge jeden solchen leichten Körper unmittelbar in eine doppelte Schleife eines einzelnen oder doppelten Coconfadens, der eine Länge von 60 bis 300^{mm} hat und mit etwas Wachs an dem freien Ende des dickeren, über die Welle der Drehwage gehenden Fadens befestigt wird. Am besten macht man die Aufhängungen in dem Glaskasten selbst, weil da der einzelne Coconfaden leichter zu sehen ist, und bei einiger Uebung gelangt man leicht dahin, in einer Stunde in derselben Schleife eines solchen Coconfadens 20 bis 30 verschiedene Aufhängungen zu machen. Zugleich ist man auf diesem Wege im Stande, Körper, die nicht gröfser und schwerer sind als etwa ein einzelner Staubfaden einer Kirschblüthe, auf Magnetismus und Diamagnetismus zu prüfen.

Um den Magnetismus im Elektromagnet hervorzurufen, habe ich mich bei allen in dem Nachstehenden angeführten Versuchen blofs drei oder vier kleiner Grove'schen Elemente bedient und diese als Kette verbunden. Das Platin tauchte in käuflicher concentrirter Salpetersäure, das Zink in eine Mischung von 1 Th. concentrirter Schwefelsäure und 9 Theilen Wasser.

3) Im Laufe des Monates Mai hatte ich eine grofse Menge von Versuchen angestellt, die das allgemeine Resultat zu liefern scheinen, dafs in jedem Pflanzen- (und vielleicht auch Thier-) Individuum constante magnetische und diamagnetische Gegensätze sich zeigen, die mit der physiologischen Entwicklung desselben zusammenhängen. Das Nähere behalte ich einer späteren Mittheilung vor, und bemerke nur, dafs diese Versuche mich dahin führten, zu un-

tersuchen, ob auf die Stellung der zwischen den beiden Magnetpolen aufgehängten Pflanzentheile die Faserrichtung Einfluß habe, und hier trat mir beiläufig die Frage entgegen, ob, wenn in gleicher Weise ein Krystall aufgehängt wird, dessen krystallographische Structur von Einfluß sey. Gleich der erste Versuch gab eine entscheidende Antwort.

4) Ich nahm nämlich eine grüne Turmalinplatte, wie sie Hr. Soleil zur Polarisation des Lichtes liefert. Die Dicke der Platte beträgt 3^{mm}; ihre größeren Begrenzungsflächen bilden annäherungsweise ein Rechteck, 12^{mm} lang und 9^{mm} breit. Die Längenrichtung der Platte fällt mit der Richtung ihrer optischen Axe zusammen. Wenn diese Platte an einem Coconfaden so aufgehängt wurde, *dafs die Richtung des Fadens mit der Richtung der optischen Axe zusammenfiel*, so stellte sie sich, wie es jeder magnetische Körper von gleicher Form gethan haben würde, in der Weise, *dafs ihre Breitenrichtung mit derjenigen geraden Linie, welche die beiden Polspitzen verbindet, zusammenfiel*, und die Platte behauptete diese Stellung entschieden auch dann noch, nachdem die Polspitzen fortgenommen worden waren. Dieses Resultat hatte ich erwartet, weil die Turmalinplatte so stark magnetisch war, *dafs sie in der unmittelbaren Nähe einer Polspitze aufgehängt, von dieser angezogen wurde.*

5) Dieselbe Turmalinplatte wurde nun so aufgehängt, *dafs ihre Breitenrichtung mit der Richtung des Coconfadens zusammenfiel, und die optische Axe also in der Horizontalebene frei schwingen konnte.* Die Polspitzen waren einander nicht zu nahe und wurden zuletzt ganz fortgenommen. Als magnetischer Körper hätte sich die Platte so stellen müssen, *dafs ihre Längen- und Axenrichtung mit der Linie der Polspitzen zusammenfielen.* Sie stellte sich aber, wie ein diamagnetischer Körper von gleicher Form gethan haben würde, nämlich mit ihrer Längen- und Axenrichtung *senkrecht gegen die Linie der Polspitzen.*

6) Dieselbe Turmalinplatte wurde endlich auch so noch

aufgehängt, daß sie selbst, und mithin auch ihre optische Axe, horizontal schwingen konnte. Sie nahm wiederum mit Entschiedenheit, wie bei der zweiten Aufhängung, diejenige Lage ein, die ein diamagnetischer Körper von gleicher Form eingenommen haben würde; ihre Breitenrichtung stellte sich in die Linie der Polspitzen, ihre Längen- und Axenrichtung *senkrecht gegen dieselbe*.

7) Durch Oeffnen und Schließen der Kette konnte man bei jeder der drei Aufhängungen den Turmalin herumwerfen und in der gerade entgegengesetzten Lage festhalten.

8) Wenn wir annehmen, daß von jedem der beiden Pole des Elektromagneten aus eine gleiche Abstofsung auf die Axenrichtung der Turmalinplatte stattfindet, und daß diese Abstofsung stärker ist, als die Anziehung, die von denselben Polen aus, in Folge der magnetischen Vertheilung in der eisenhaltigen Turmalinmasse, auf dieselbe Axe ausgeübt wird, so erhalten wir einen allgemeinen Gesichtspunkt, unter welchem wir die beschriebenen Erscheinungen auffassen können.

Da bei der Stellung, welche die Turmalinplatte in den Versuchen der 5. und 6. Nummer annimmt, durch die neue, die Abstofsung hervorbringende, Kraft die magnetische Anziehung der Materie zuvor überwunden werden muß, so war vorauszusehen, daß die fraglichen Erscheinungen sich modificiren würden, wenn die magnetische Richtkraft dadurch wächst, daß der Krystall eine solche Form hat, wobei die Dimension desselben nach der Axenrichtung gegen seine anderen Dimensionen sehr überwiegend ist, und daß die beiden Polspitzen einander möglichst genähert werden. Nachdem ich mich daher nochmals von der Richtigkeit der früheren Versuche überzeugt und dieselben durch eine zweite Turmalinplatte von ähnlichen Dimensionen bestätigt gefunden hatte, wählte ich einen dunkelbraunen, fast undurchsichtigen Turmalinkrystall, in der Form einer sechsseitigen Säule, die ungefähr 36^{mm} lang und 4^{mm},5 dick war, und brachte die Polspitzen einander so nahe, daß er nur eben noch frei dazwischen schwingen konnte. Der Turmalin stellte sich, der magne-

tischen Anziehung folgend, so, daß die Axe der Säule, die auch seine optische Axe ist, mit der Linie der Polspitzen zusammenfiel. Je weiter man die Polspitzen von einander entfernte, mit desto geringerer Kraft richtete sich der Kry-
stall, und wenn die Entfernung derselben mehr als 80^{mm} betrug, so drehte er sich um 90°, als wenn er diamagnetisch geworden wäre, so daß nun seine Axe gegen die Linie der Polspitzen senkrecht stand. Bei größserer Entfernung der Polspitzen nahm die Kraft, welche ihn in der beschriebenen Lage festhielt, zu; in welcher er auch dann noch entschieden beharrte, nachdem die Polspitzen ganz fortgenommen worden waren.

Die Spitzen wurden wieder eingesteckt und so weit vorgeschoben, daß der Turmalin sich axial (in der Linie der Spitzen) stellte. Wenn man ihn dann, durch Auf- oder Abwicklung des Fadens, an welchem er aufgehängt war, hob oder senkte, so drehte er sich, bei einer gewissen Hebung oder Senkung, um 90°, indem er sich äquatorial (senkrecht gegen die Linie der Polspitzen) stellte. Bis zu der Gränzlage, wo diese Drehung stattfindet, nahm die axiale Richtkraft bis zum Verschwinden ab, wo dann die äquatoriale Richtkraft hervortrat, bei einer größseren Hebung oder Senkung sich steigerte, dann wieder abnahm, aber noch in einer Entfernung von 200 bis 250^{mm} von der Linie der Polspitzen deutlich sich zeigte.

Auch hier konnte man bei allen beschriebenen Versuchen durch Oeffnen und Schließen der Kette den Turmalin um 180° herumwerfen und in der entgegengesetzten Lage festhalten.

9) Der Uebergang von einer Stellung des Turmalins in die andere schien auch dann noch ganz an derselben Stelle zu erfolgen, nachdem die Kraft des Elektromagneten verstärkt oder geschwächt wurde.

10) Wenn wir die Hypothese einer abstossenden Wirkung der Magnetpole auf die Axenrichtung beibehalten, so müssen wir nach den Versuchen, über welche in den vorigen beiden Nummern berichtet worden ist, nothwendig an-
neh-

nehmen, daß die Kraft, welche diese Abstofsung hervorbringt, *langsamer mit der größeren Entfernung abnimmt*, als die von denselben Polen ausgehende Kraft der magnetischen Anziehung.

10) Bevor ich andere Krystalle in gleicher Weise als den Turmalin untersuchte, schien es mir angemessen, bei diesem Mineral, das die beschriebenen, mich überraschenden Erscheinungen zuerst zeigte, diese Erscheinungen mit ihren Modificationen möglichst vollständig zu untersuchen. Zwei andere Turmalinkrystalle, demjenigen der zu dem Versuche der 7. Nummer gedient hatte ähnlich, nur schwerer, der eine 47^{mm} lang und etwa 3^{mm} dick, der andere bei gleicher Länge etwa 5^{mm} dick, zeigten im Allgemeinen ganz dasselbe. Alle diese Turmaline wurden in der unmittelbaren Nähe eines Magnetpols mit ihrer ganzen Masse angezogen.

12) Ein Rubellit, 9^{mm} lang und 6 bis 7^{mm} dick, stellte sich, wenn die Polspitzen 13^{mm} von einander entfernt waren, in der Linie der Spitzen axial, drehte sich aber schon nach einer Hebung von ungefähr 20^{mm} oder einer Senkung von ungefähr 30^{mm} um 90°, indem er sich aequatorial stellte.

Ein roth durchscheinender Turmalin, 30^{mm} lang, verhielt sich entsprechend.

Dann untersuchte ich vier kleinere Turmalinkrystalle von der Insel Elba, 4 bis 9^{mm} lang, einer halb hell- und halb dunkelgrün, ein zweiter ganz hellgrün, ein dritter in der Mitte hell- an beiden Enden dunkelgrün, und der vierte roth. Alle waren, wie auch die beiden früheren, stark magnetisch, der erste an dem dunkelgrünen Ende stärker als an dem hellgrünen. Sie gaben sämmtlich die in der 7. Nummer beschriebenen Erscheinungen, nur daß der dritte und kleinste durchaus nicht in die axiale Lage gebracht werden konnte, weil er, wenn man die Polspitzen in dieser Absicht näher rückte, bevor er in diese Lage gelangen konnte, an eine der Polspitzen ansprang.

13) Endlich muß ich noch eines wasserhellen Turmalins erwähnen, dessen Längendimension mit der Axenrich-

tung zusammenfiel, der übrigens aber unregelmäßig war. Die Masse desselben zeigte sich *diamagnetisch*, wonach es scheint, daß überhaupt, sowohl die rothe, als auch die grüne Färbung desselben, von Eisen herrühre. Hiernach mußte die diamagnetische Kraft, die von den Polen des Elektromagneten ausging, übereinstimmend mit der Abstossung auf die Axenrichtung wirken, um den Krystallaequatorial zu stellen.

14) Was den Turmalin anbetrifft, hielt ich mich nach dem Vorstehenden für berechtigt, das Gesetz als feststehend zu betrachten, daß die Axenrichtung desselben von den Polen eines Magneten abgestossen wird, und daß diese Abstossung in dem gewöhnlichen Falle, daß die Masse des Turmalins magnetisch ist, bei gehöriger Entfernung der Pole selbst die, bei überwiegender Dimension des Krystalls nach der Axenrichtung, hervorgebrachte magnetische Anziehung der Axe überwindet.

Hier drängt sich ganz natürlich der Gedanke auf, ob nicht vielleicht die beobachteten Erscheinungen mit der bekannten Thatsache, daß der Turmalin bei der Erwärmung und Erkaltung elektrische Polarität zeigt, in unmittelbarer Beziehung stehe. Doch das muß entschieden in Abrede gestellt werden.

15) Es wäre freilich leicht möglich gewesen, daß durch die Berührung des Turmalins bei der Aufhängung elektrische Strömungen in der Masse desselben hervorgerufen worden wären. Aber der Turmalin zeigte, nachdem er vier und zwanzig Stunden ruhig unter dem Glaskasten der Drehwage gehangen hatte, und dann der Elektromagnet wieder in Thätigkeit gesetzt wurde, ganz dieselben Erscheinungen, und auch dann war in denselben durchaus kein Unterschied wahrzunehmen, wenn er, durch Erwärmung zwischen den Magnetpolen, an seinen Enden elektrisch wurde.

16) Wenn der Turmalin unter Wasser aufgehängt wurde, so stellte er sich ebenfalls mit ganzer Entschiedenheit, und hierbei änderte sich nichts, wenn das Wasser bis in die Nähe des Siedepunkts erwärmt wurde. Bei der hier statt-

findenden Benetzung der Oberfläche des Krystalls kann zwar auf der Oberfläche desselben keine elektrische Spannung hervortreten; wenn diese Spannung aber die Folge von inneren elektrischen Fluctuationen ist, so wäre vielleicht zu erwarten, daß diese durch die continuirliche Ableitung der auf der Oberfläche hervortretenden freien Electricität befördert würden.

17) Der entscheidendste Beweis gegen die Annahme, daß überhaupt *elektrische Strömungen im Inneren des Krystalls, welche nicht erst durch den Magneten hervorgerufen werden*, der Grund der fraglichen Erscheinungen seyen, liegt in dem Umstande, daß solche Ströme, welche Richtung wir ihnen auch zuschreiben mögen, eine *polare* Abstossung der Axenrichtung hervorbringen würden. Diesem widerspricht aber die Beobachtung auf das Bestimmteste.

18) Da die Abstossung der Axenrichtung durch die Magnetpole hiernach nicht pyro-elektrischen Ursprungs ist, so stand zu erwarten, daß sie auch nicht auf den Turmalin, den ich zufällig zuerst genommen hatte, und auf einige wenige Krystalle sich beschränkte. Nachdem ein vorläufiger Versuch mit einem Stückchen Bergkrystall dieselbe auch bei diesem nachgewiesen hatte, unternahm ich die Prüfung der verschiedenen Krystalle, und zwar zunächst der *einaxigen*. Bei dieser Prüfung war vor Allem auf eine Unterscheidung Rücksicht zu nehmen, darauf nämlich, ob die Substanz der Körper *magnetisch* oder *diamagnetisch* sich verhielt. Namentlich kam es darauf an, neben dem in Folge des Eisengehaltes magnetischen Turmalin einen Krystall von diamagnetischer Substanz zu prüfen. Um hierbei eine Wirkung zu erhalten, die durchaus nicht dem Diamagnetismus zugeschrieben werden könnte, mußte eine solche Krystallform gewählt werden, oder dem Krystall mußte künstlich eine solche Form gegeben werden, daß die kürzeste Dimension derselben mit der Axenrichtung zusammenfiel. Die Form des wasserhellen diamagnetischen Turmalins der 13. Nummer entspricht nicht der Anstellung eines entscheidenden Versuchs.

19) Ich untersuchte hiernach zuerst den Doppelspath, dessen Masse entschieden diamagnetisch ist. Ein von natürlichen Spaltungsflächen begränzter, wasserheller Krystall, dessen Kantenlängen 60^{mm} , 50^{mm} , 28^{mm} betrug, wurde ohne Anwendung der Polspitzen so aufgehängt, daß seine Axe zwischen den Polen horizontal schwingen konnte. Diese Axe stellte sich genau aequatorial, wobei der Krystall eine solche Lage einnahm, in welcher weder eine magnetische noch eine diamagnetische Masse von gleicher Form, in Folge der magnetischen und diamagnetischen Einwirkung der Pole des Elektromagneten, zur Ruhe gekommen seyn würde.

20) Dann nahm ich einen kleineren Krystall in der Grundform, der sich zwischen den genäherten Polspitzen, den Diamagnetismus überwindend, mit seiner Axenrichtung genau aequatorial stellte.

Ein zweiter größerer solcher Krystall, dessen Kantenlänge 15^{mm} war, und dessen stumpfe Ecken senkrecht gegen die optische Axe so weit abgeschliffen worden waren, daß die Dicke des Krystalls nach der Axenrichtung nur noch 10^{mm} betrug, wurde, wie die beiden früheren, aufgehängt und stellte sich mit seiner Axe, wie diese. Wenn die Polspitzen indess so weit genähert wurden, daß derselbe mit seinen größeren Dimensionen sich nicht mehr in die Linie der Polspitzen stellen konnte, so richtete er sich, indem er eine Drehung von 90° nahm, wie ein diamagnetischer Körper, so daß seine Axenrichtung mit der Linie der Polspitzen zusammenfiel, und die diamagnetische Abstofsung der Masse die Lage des Krystalls bestimmte.

21) Dann untersuchte ich noch mehrere senkrecht gegen die Axe geschliffene Platten, die sich alle entsprechend verhielten. Eine solche Platte, die 26 bis 30^{mm} breit und lang und 6^{mm} dick war, stellte sich, in gleicher Weise aufgehängt und frei schwingend, wie eine diamagnetische Masse; bei einer größeren Entfernung der Pole aber, oder bei einer Verkürzung oder Verlängerung des Cocoufadens, stellte sie sich nach einer Drehung von 90° so, als ob sie magnetisch geworden wäre, die Axe senkrecht gegen die Linie der Polspitzen gekehrt.

22) Die in dem Vorstehenden beschriebenen Versuche beweisen übereinstimmend, daß von den Polen des Magnets eine Abstofsung auf die Axenrichtung des Doppelspaths ausgeübt wird, und daß, wenn durch Verkürzung der Dimension nach dieser Richtung aus der diamagnetischen Abstofsung der Masse des Krystalls eine Anziehung auf die Axenrichtung resultirt, bei gehöriger Entfernung der Pole, diese Anziehung kleiner wird, als jene Abstofsung.

23) Während der wasserhelle Doppelspath diamagnetisch ist, ist ein weißer undurchsichtiger Kalkspathkrystall *magnetisch*, und ein solcher verhielt sich analog wie Turmalin.

24) Der Bergkrystall ist diamagnetisch wie der Doppelspath, und zeigte wie dieser die Abstofsung der Axenrichtung. Nur ist diese Abstofsung *weniger* stark. Wenn eine, senkrecht gegen die Axe geschnittene Platte (die die Drehung der Polarisationssebene zeigt) etwa drei Mal länger und breiter als dick ist, so stellte sie sich, mit der Axe horizontal aufgehängt, wie ein diamagnetischer Körper und war nicht mehr durch Entfernung der Pole um 90° zu drehen, was bei Platten, deren Dimension nach der Richtung der Axe weniger zurücktrat, entschieden stattfand.

25) In einem Soleil'schen Apparate sind, um die conjugirten Hyperbeln im polarisirten Lichte zu zeigen, zwei gleiche Säulen aus Bergkrystall geschliffen, deren Gesamthöhe 50^{mm} beträgt, und deren Basis ein fast regelmäßiges Achteck ist, dessen zwei gegenüberstehenden, 26^{mm} von einander entfernten, Seiten von der optischen Axe rechtwinklig geschnitten werden. Die beiden Säulen sind so zu einer einzigen Säule zusammengekittet, daß in den beiden Hälften die Axenrichtungen auf einander senkrecht stehen. Wenn die ganze Säule so aufgehängt wird, daß ihre Axe (die Axe der Säulenform) mit der Richtung der Coconfäden zusammenfällt, und demnach die optischen Axen horizontal schwingen können, so nimmt sie, in der Art gehoben oder gesenkt, daß einmal die untere, das andere Mal die obere Säulenhälfte sich zwischen den Polspitzen befindet, nach einander zwei verschiedene Stellungen an, deren eine in die andere durch eine Drehung von 90° übergeht,

wobei jedesmal die Richtung der optischen Axe der in der Linie der Polspitzen schwingenden Hälfte sich senkrecht gegen diese Linie stellt.

26) Als solche Krystalle, deren Substanz magnetisch war, und die sich in Folge ihrer Form durch die magnetische Anziehung der Pole des Elektromagneten, wenn sie in der Linie der Polspitzen aufgehängt wurden, wie die Turmaline nach dieser Linie richteten, aber, wenn sie gehoben oder gesenkt wurden, sich nach einer Drehung von 90° aequatorial stellten, bewiesen sich ganz entschieden:

1. ein undurchsichtiger vollständig auskrystallisirter *Quarz* von Hagen, dessen Längen- und Axendimension 10^{mm} betrug;
2. ein *Zirkon*-Quadratocäeder mit abgestumpften Ecken und Kanten aus Sibirien;
3. ein *Beryll*-Krystall aus Sibirien, in einer sechsseitigen Säule, 41^{mm} lang und 11 bis 13^{mm} dick;
4. zwei *Smaragd*-Krystalle, gelblichgrün durchscheinend, der eine 27^{mm} lang und 14^{mm} dick, der andere viel größer und mehrere hundert Gramm wiegend;
5. ein schwarzer *Idokras* aus Sibirien, ganz auskrystallisirte quadratische Säule, die Kanten abgestumpft, die Enden zugespitzt und eine Zuspitzung wieder abgestumpft;
6. ein großer *Korund*.

27) Ich fand zwei Krystalle, welche stark magnetisch waren, und aus der axialen Lage, in welcher der Magnetismus sie festhielt, auch durch eine Entfernung der Pole nicht gebracht werden konnten. Bemerkenswerth ist, daß diese Krystalle beide *magnetische Polarität* zeigten). Es ist mir wahrscheinlich, daß bei Anwendung eines stärkeren Stromes, der eine größere Entfernung der Polenden gestattet, auch diese Krystalle, den Magnetismus der Substanz überwindend, sich aequatorial stellen würden, was

- 1) Auch eine der früher erwähnten Turmalinplatten zeigte sich ebenfalls polarisch, aber nur schwach, und nach einer Richtung, welche nicht mit der Axe zusammenfiel.

sie eben so wahrscheinlich auch dann gethan haben würden, wenn ich, was mir nicht gestattet war, ihre Längen- und Axendimension verkürzt hätte.

Diese beiden Krystalle waren die folgenden:

1. ein undurchsichtiger bräunlicher *Pinit*-Krystall aus der Auvergne, eine regelmässige sechsseitige Säule, 12^{mm} lang, 6 bis 7^{mm} dick;
2. ein kleiner *Sapphir*-Krystall.

28) Nach den bisher mitgetheilten Versuchen scheint mir das in der ersten Nummer ausgesprochene empirische Gesetz, so weit es die einaxigen Krystalle betrifft, hinlänglich begründet, und zwar gilt es ohne Unterschied sowohl für *positive* Krystalle, als auch für *negative*.

29) Hiernach war ferner mit Bestimmtheit vorauszusetzen, daß auch bei *Krystallen mit zwei optischen Axen* eine analoge Wirkung stattfinden werde, wie bei einaxigen Krystallen. Als eine solche konnte man entweder eine Abstossung der *beiden optischen Axen* erwarten, oder auch bloß eine Abstossung auf ihre *Mittellinie*, das heisst auf diejenige Richtung, welche den von den optischen Axen gebildeten *spitzen Winkel* halbirt. Die Versuche sprechen für die erste allgemeinere Annahme, welche die zweite einschließt.

30) Ich schnitt aus einer *Glimmertafel* eine kreisrunde Scheibe von ungefähr 22^{mm} Durchmesser, und hängte dieselbe an einem Coconfaden so auf, daß sie horizontal schwingen konnte. Es liegen bekanntlich die beiden optischen Axen des Glimmers in einer Ebene, die auf dem Blätterdurchgange desselben senkrecht steht, indem sie mit der Normalen zu beiden Seiten derselben Winkel bilden, die ich auf $22^{\circ} \frac{1}{2}$ schätzte. Bei der obigen Aufhängung konnten sich also die Ebenen der beiden Axen um ihre vertical stehende Mittellinie drehen. Zwischen den beiden Magnetpolen nahm das Glimmerblättchen eine solche Stellung an, daß diese Ebene mit der Aequatorialebene zusammenfiel. In dieser Stellung wurde nämlich auf dem Glimmerblättchen die aequatoriale Richtung verzeichnet, und es fand

sich nachher, daß die beiden optischen Axen, das heißt diejenigen beiden Richtungen, welchen beim Hindurchsehen im polarisirten Lichte die Mittelpunkte der beiden Ringsysteme entsprechen, in derjenigen Ebene lagen, welche auf dem Glimmerblättchen in der aequatorialen Richtung senkrecht steht.

Der Glimmer verhält sich wie ein magnetischer Körper.

31) Um den Versuch der vorigen Nummer, mit Rücksicht auf die Schlufsbemerkung derselben, abzuändern, wurde auf einer Glimmertafel die Ebene der beiden optischen Axen bestimmt, und aus derselben ein Sechseck mit parallelen gegenüberliegenden Seiten so geschnitten, daß die längere Dimension von 26^{mm} in die eben bestimmte Ebene fiel, während die Breite des Blättchens nur 18^{mm} betrug. Das Glimmerblättchen wurde wiederum wie vorhin aufgehängt, und stellte sich, wenn die Polspitzen möglichst genähert wurden, mit seiner Längenrichtung, also mit der Ebene der beiden Axen in die Linie der Pole. Wurde das Glimmerblättchen gehoben oder gesenkt, so drehte es sich um 90°, so daß die Ebene der beiden optischen Axen sich senkrecht gegen diese Linie stellte.

32) Dann nahm ich einen aus Schottland mitgebrachten wasserhellen *Topas*, der so geschliffen ist, daß er annäherungsweise eine gerade rhombische Säule bildete, deren beiden Paare gegenüberliegender Seitenflächen auf den beiden optischen Axen senkrecht stehen. Die Länge des Krystalls beträgt 19^{mm}, seine Dicke, nach der Richtung jeder der beiden Axen genommen, 10^{mm}. Die Mittellinie zwischen den beiden optischen Axen fiel hiernach mit der kürzeren Diagonale der rhombischen Säule zusammen. Auf zwei an einander stoßenden Seitenflächen waren zwei dünne Turmalinplättchen gekittet (die für sich durchaus keinen merklichen Einfluß übten), so daß polarisirtes Licht, das durch den Krystall nach jeder seiner optischen Axen und dann durch das entsprechende Turmalinplättchen hindurchging, eines der beiden Ringsysteme gab. Die Substanz des Krystalls war diamagnetisch.

1. Wenn der Krystall so aufgehängt wurde, daß die Ebene seiner beiden optischen Axen sich vertical um die Mittellinie derselben drehen konnte, so stellte sich, bei möglichster Annäherung der Polspitzen, diese Ebene in Folge des Diamagnetismus axial, drehte sich aber, den Diamagnetismus überwindend, um 90° , und stellte sich aequatorial, sobald der Krystall gehoben oder gesenkt wurde.

2. Wenn der Krystall so aufgehängt wurde, daß die Ebene seiner beiden optischen Axen horizontal schwingen konnte, so stellte sich die Mittellinie, bei der beschriebenen Form des Krystalls, wiederum axial, und nach einer Hebung oder Senkung, den Diamagnetismus überwindend, aequatorial.

33) Bei den Versuchen der vorigen Nummer können wir den Topas auch durch den krystallisirten Zucker ersetzen. Diejenigen Ebenen nämlich, nach welchen ein Zuckerkrystall sich am leichtesten spalten läßt, sind auf einer seiner beiden optischen Axen senkrecht, und wenn man zwei solcher Durchgangsflächen polirt (ein bloßes Abschaben durch ein Glasstück reicht hier hin) und zwischen zwei gekreuzte Turmalinplatten bringt, so erkennt man schon aus der Lage des das Ringsystem durchschneidenden schwarzen Streifens die Ebene der beiden optischen Axen, und weiß dann aus dem bekannten Winkel von ungefähr 50° , den diese Axen mit einander bilden, die Richtung der zweiten Axe und der Mittellinie zwischen beiden.

34) Krystalle von brasilianischem *Topas*, *Arragonit*, *Salpeter*, *Glaubersalz* und von vielen anderen Substanzen, die sich diamagnetisch verhielten und in entschiedener Säulenform krystallisirten, stellten sich zwischen den Polspitzen, so wie in jeder Entfernung von denselben, aequatorial mit ihrer Längen- und Säulenaxe, die (wo nicht in allen Fällen, doch durchschnittlich) zugleich die Mittellinie zwischen ihren optischen Axen ist. Diese Erscheinungen haben an sich, der diamagnetischen Wirkung wegen, keine Beweiskraft; nur durften sie nicht anders sich zeigen. Beweisend aber war der Versuch mit einem *Stauroolithkrystall*,

der magnetisch sich verhielt, und in der Linie der Polspitzen sich axial, gehoben und gesenkt aber aequatorial stellte. Dieser Versuch wurde gleich anfangs, noch vor dem Versuche mit dem Topas, mit dem entschiedensten Erfolge, später aber zu meinem Befremden mit fast zweifelhafter Wirkung angestellt, und zum Schlusse dieser Experimentaluntersuchungen unter neuem Gesichtspunkte wiederholt, so dafs ich auch noch in einer späteren Nummer (40) ausführlich darauf zurückkommen werde.

Ein *Lepidolith*krystall war so stark magnetisch, dafs er bei einer Erhebung nicht herumgeworfen werden konnte, eben so ein schön ausgebildeter *Hornblendekrystall* (eine dicke, an beiden Enden zugespitzte sechsseitige Säule). Ersterer zeigte durchaus keine magnetische Polarität, letzterer sehr entschieden.

35) Es ist noch zu bemerken, dafs man alle zweiaxigen Krystalle, wie alle einaxigen, die in den beschriebenen Versuchen mit einer bestimmten Dimension sich axial oder aequatorial stellten, durch Oeffnen und Schliessen der Kette, um 180° herumwerfen und in der neuen Lage festhalten konnte.

36) Die in der 30. bis 35. Nummer angeführten Erscheinungen finden ihre vollständige Erklärung in der Annahme, dafs von den Magnetpolen aus eine Abstofsung auf die beiden optischen Axen ausgeübt werde, und dann müssen wir, in Folge des zweiten Versuches mit dem Topas (33), zu dieser Annahme noch die Voraussetzung hinzufügen, dafs die Abstofsung auf die beiden optischen Axen gleich grofs ist. Die beiden Glimmerversuche (30, 31), so wie der erste Topasversuch (32), gestatten nicht, dafs wir, statt der Abstofsung auf beide Axen, blofs eine Abstofsung auf die Mittellinie zwischen beiden annehmen.

In dem zweiten Versuche mit dem Glimmerblättchen überwand die Abstofsung auf die Axen die *magnetische*, in dem Fall der Versuche mit dem Topas und dem Zucker die *diamagnetische* Kraft, welche jedesmal den Krystall, in Gemäfsheit seiner Form, in eine um 90° verschiedene Stellung zu bringen strebte.

37) Durch eine theoretische Combination hervorgerufen, wurden noch zwei Versuche angestellt, die für zweiaxige Krystalle charakteristisch sind und unsere Aufmerksamkeit vorzugsweise in Anspruch nehmen. Bevor ich aber über dieselben berichte, schicke ich, zur Erleichterung der Uebersicht der Erscheinungen bei zweiaxigen Krystallen, wie sie durch Magnetismus und Diamagnetismus, durch die Lage der beiden Axen, durch die äufsere Form des Krystalls und durch die Richtung der Aufhängung in Beziehung auf diese Axen bedingt werden, die folgenden allgemeinen Erörterungen voraus.

Wir können bei einem zweiaxigen Krystall drei Normalaufhängungen unterscheiden, nach drei auf einander senkrechten Richtungen:

1. nach einer Richtung Z , die auf der Ebene der beiden optischen Axen senkrecht steht;
2. nach der Mittellinie Y zwischen den beiden optischen Axen;
3. nach derjenigen Richtung X , welche in der Ebene der beiden optischen Axen auf der Mittellinie derselben senkrecht steht.

In dem ersten Falle schwingt die Ebene XY der beiden optischen Axen horizontal, und es stellt sich, in Folge der Abstossung der Axen, die Mittellinie Y aequatorial). Diese Wirkung wird:

- 1) Im Texte haben wir stillschweigend vorausgesetzt, dafs die Neigung der beiden Axen gegen einander nicht grofs sey. Strenge genommen giebt es nach unserer Auffassungsweise auch bei einaxigen Krystallen, wenn sie senkrecht gegen die Axe aufgehängt werden, in Folge der blofsen Axenwirkung eine doppelte Gleichgewichtslage, eine stabile und eine labile. Wenn wir annehmen, dafs die einzige Axe sich in zwei theile, die in der Horizontalebene gleich weit zu beiden Seiten von der ursprünglichen Axe sich entfernen, so dafs diese nun zur Mittellinie Y wird, so wird das labile Gleichgewicht allerdings ein stabiles, aber die Stabilität desselben ist anfangs nur eine geringe, wird aber gröfser, wenn die beiden Axen sich weiter öffnen, und wenn diese Axen mit einander einen Winkel von 90° bilden, so ist die Stabilität der beiden Gleichgewichtslagen dieselbe, gleichviel ob wir den Krystall nach der Richtung X oder Y aufhängen. Wahrscheinlich wird ein Isenvitriolkrystall, dessen beide optische Axen auf einander senkrecht stehen, wenn wir ihm eine solche

- a) wenn der Krystall magnetisch und seine Dimension nach der Mittellinie Y kleiner ist als senkrecht darauf, nach X ;
 - b) wenn er diamagnetisch und seine Dimension nach Y gröfser als nach X ist;
- einmal durch die magnetische Anziehung, das andere Mal durch die diamagnetische Abstofsung der Masse verstärkt. Wenn umgekehrt:

- c) der Krystall magnetisch und seine Dimension nach Y gröfser als nach X ;
 - d) der Krystall diamagnetisch und seine Dimension nach nach Y kleiner als nach X ist,
- so mufs die magnetische Anziehung und diamagnetische Abstofsung der Masse erst überwunden werden, bevor die Abstofsung der Axen hervortreten kann.

In der zweiten und dritten Normalaufhängung schwingt die Ebene XY der beiden optischen Axen so, dafs sie beide Mal immer vertical bleibt, und beide Mal wird sie, in Folge der Axenabstofsung, in die aequatoriale Lage getrieben. In der zweiten Aufhängung schwingt die Richtung X , in der dritten die Mittellinie Y horizontal und stellt sich aequatorial. Die Axenwirkung wird, wenn:

- a) der Krystall magnetisch und seine Dimension im zweiten Falle nach X und im dritten Falle nach Y kleiner ist als nach Z ;
- b) der Krystall diamagnetisch und seine Dimension bezüglich nach X und Y gröfser ist als nach Z ,

äußere Form geben, bei welcher die magnetische Anziehung keine Drehung hervorbringt, zwei gleich stabile Gleichgewichtslagen zeigen. Bei einem Versuche mit einer dünnen kreisrunden (diamagnetischen) Tafel von schwefelsaurem Kalk von etwa 18^{mm} Durchmesser, in derer Ebene die beiden optischen Axen einen Winkel von 60° bilden, konnte ich nur mit Mühe dieselbe in der zweiten, weniger stabilen Gleichgewichtslage festhalten. Der Versuch ist mit einer gröfseren Tafel oder bei gröfserer Zuspitzung der Polflächen zu wiederholen; zugleich aber zu berücksichtigen, dafs wenn in Folge der Form die diamagnetische Richtkraft nicht ganz verschwunden ist, diese natürlich die Stabilität des Gleichgewichtes schwächt.

durch die magnetische Anziehung und diamagnetische Abstofsung der Masse verstärkt. Diese Kräfte müssen vorher überwunden werden, wenn die Axenabstofsung sich zeigen soll, wenn

- c) der Krystall magnetisch und seine Dimension nach X oder Y gröfser ist als nach Z ;
- d) der Krystall diamagnetisch und seine Dimension nach X oder Y kleiner ist als nach Z .

38) Der *Arragonit* krystallisirt in geraden rhombischen Säulen, die durch Entschärfseitung in der Regel zu sechsseitigen werden. Aus einer solchen Säule, die vollkommen durchsichtig war, liefs ich ein Stück senkrecht gegen die Axe schleifen und poliren, und bestimmte dann, um vollkommen sicher zu seyn, die beiden Axen durch Hindurchsehen im polarisirten Lichte. Es bilden diese Axen, wie bekannt, mit einander einen Winkel von stark 18° , und die Mittellinie, die diesen Winkel halbirt, fällt mit der Axe der Säulenform zusammen. Die Ebene der beiden optischen Axen fand sich senkrecht auf denjenigen beiden parallelen Seitenflächen, deren Abstand von einander der kleinste war und 10^{mm} betrug. Die Höhe der Säule betrug $12^{\text{mm}},5$, und die gröfste Diagonale ihrer Endflächen, die auf der Ebene der beiden optischen Axen senkrecht steht, 22^{mm} . Die Richtungen, nach welchen diese drei Dimensionen genommen sind, fallen bezüglich mit den Richtungen, die wir in der vorigen Nummer durch X , Y und Z bezeichnet haben, zusammen, und es ist also, indem wir durch dasselbe Zeichen zugleich auch die entsprechende Dimension bezeichnen:

$$Z > Y > X.$$

Die Substanz des Arragonits ist stark diamagnetisch. Nach der Richtung Z aufgehängt, stellte sich der Krystall mit der Richtung Y aequatorial, und diese Wirkung wurde, da $Y > X$, durch die diamagnetische Wirkung auf die Masse des Krystalls verstärkt.

In Folge der diamagnetischen Wirkung wirft sich der Krystall, wenn er so aufgehängt wird, dafs er mit seiner Längenrichtung Z horizontal schwingen kann, so herum,

dafs diese Richtung sich senkrecht gegen die Linie der Polspitzen stellt, und die Kraft, mit welcher diefs geschieht, ist offenbar (mit Vernachlässigung von Gröfsen, die hier nicht in Betracht kommen) *dieselbe, gleichviel, nach welcher Richtung der Ebene XY der Krystall aufgehängt wird.* In den beiden Normalaufhängungen nach X und Y ist aber, wenn wir eine Abstofsung, die von den beiden Polen auf die beiden Axenrichtungen ausgeübt wird, annehmen, die dadurch hervorgebrachte Wirkung eine, der Intensität nach, sehr verschiedene. Es kann dieselbe beide Mal nur in einer Drehung der beiden Axenrichtungen um die jedesmalige Linie der Aufhängung bestehen, wobei jede durch einen beliebigen Punkt des Krystalls gehende optische Axe ein einschaliges Rotations Hyperboloid, oder, wenn sie insbesondere die Linie der Aufhängung schneidet, eine Kegelfläche beschreibt. Das Drehungsmoment ist aber bei der Aufhängung nach Y kleiner, als bei der Aufhängung nach X, und zwar um so mehr, je spitzer der Winkel ist, den die beiden optischen Axen mit einander bilden, so dafs zugleich mit diesem Winkel (wenn der Krystall ein einaxiger ist) das erste Drehungsmoment ganz verschwindet. Es folgt hieraus, dafs, wenn, wie bei den Versuchen mit Topas und Zucker (32, 33), die Axenwirkung die diamagnetische Wirkung, welche (weil $Z > X$ und $Z > Y$) beide Mal in entgegengesetztem Sinne stattfindet, bei einer Entfernung der Polspitzen überwältigen soll, dieses bei der Aufhängung nach der Mittellinie Y *später* erfolgen mufs, als bei der Aufhängung nach X.

Bei möglichster Annäherung der Polspitzen stellte sich der Krystall beide Mal, wie ein diamagnetischer Körper, mit der Längenrichtung Z aequatorial, und warf sich, bei einer Verkürzung des Coconfadens, beide Mal um 90° herum. *Diefs geschah aber, bei der Aufhängung nach der Mittellinie Y, wenn der Krystall ungefähr 40^{mm} über die Linie der Polspitzen gehoben wurde; bei der Aufhängung nach X fand dieses aber schon nach einer Erhebung von 11^{mm} statt.*

39) Ein zweiaxiger Krystall, der die Säulenform hat, und dessen Masse magnetisch ist, muß sich, zwischen den Polspitzen schwingend aufgehängt, nothwendig anders verhalten als ein einaxiger Krystall von ungefähr gleicher äußerer Form. Die Kraft nämlich, mit welcher der einaxige Krystall in die aequatoriale Lage getrieben wird, bleibt unverändert dieselbe, gleichviel wie wir denselben aufhängen, so lange seine Längenrichtung in der Horizontalebene schwingen kann. Ich fand dieses durch einen directen Versuch bestätigt, indem ich mit demselben Turmalin den Versuch der 8. Nummer in der Art drei Mal wiederholte, daß ich, während die Polspitzen unverrückt blieben, den Turmalin nach drei verschiedenen, in einer auf der Säulenaxe senkrechten Ebene liegenden Richtungen aufhängte. Jedesmal war eine Erhebung von genau 24^{mm} nothwendig, um den Turmalin um 90° herumzuwerfen, so daß er sich aequatorial stellte.

Bei einem zweiaxigen Krystall kann dieß, welches auch die Lage der beiden optischen Axen seyn mag, *nicht* der Fall seyn. Wir wollen annehmen, daß bei einem solchen Krystalle die Mittellinie Y mit der Axe der Säule zusammenfalle. Nach welcher Linie in der Ebene XZ wir den Krystall alsdann auch aufhängen mögen, die magnetische Wirkung hält ihn immer mit derselben Kraft in der axialen Lage fest, während die von den Polen ausgehende Abstofsung der beiden Axen ihn aequatorial zu stellen strebt, aber mit verschiedener Kraft. Wenn der Krystall nämlich nach der Richtung Z aufgehängt wird, und demnach die beiden optischen Axen horizontal schwingen, so streben die von jedem Magnetpole auf die beiden Axen wirkenden Kräfte Drehungen in entgegengesetztem Sinne hervorzubringen. Wenn aber der Krystall nach der Axe X aufgehängt ist, und demnach die Ebene der beiden Axen während der Schwingung des Krystalls immer vertical bleibt, so summiren sich die von jedem Magnetpole ausgehenden Kräfte, und die resultirende Kraft ist augenscheinlich größer als bei der vorigen Aufhängung. Ueberdieß ist klar, daß das Drehungs

moment um so mehr wächst, je mehr sich die Richtung des Coconfadens von der Richtung *Z* entfernt und der Richtung *X* nähert.

40) Die vorstehenden Erwägungen führten mich zu dem Staurolithversuch der 34. Nummer zurück, und ich zweifelte nicht, daß gerade dasjenige, was mir früher als eine unerklärte Anomalie Verlegenheit bereitet hatte, nun eine schöne Bestätigung meiner theoretischen Auffassungsweise abgeben würde.

Der Staurolithkrystall war durchscheinend und stark magnetisch. Er bildete eine 18^{mm} lange Säule, deren Querschnitt ein unregelmäßiges Sechseck *ABCDEF* war. Die gegenüberliegenden parallelen Seitenflächen hatten ungefähr denselben Abstand von einander, und dieser betrug 6^{mm}. Die Polspitzen wurden möglichst genähert, und bei allen Versuchen unverrückt in derselben Lage gehalten. Der Krystall wurde *erstens* senkrecht gegen die Seitenflächen *AF* und *CD*, dann *zweitens* senkrecht gegen die Seitenflächen *AB* und *DE* aufgehängt. In beiden Fällen war eine Erhebung von genau 25^{mm} über die Linie der Polspitzen erforderlich, damit der Krystall sich aequatorial stellte. Dann wurde *drittens* aber der Krystall senkrecht gegen die Seitenflächen *BC* und *EF* aufgehängt, und es war, bei der angewandten Stromstärke, nun nicht mehr möglich durch eine Hebung den Krystall um 90° herunzuwerfen; bei 100^{mm} Erhebung behauptete er wenigstens noch seine axiale Stellung. Hiernach wurden noch zwei Aufhängungen gemacht, die *vierte* nach der Halbirungslinie des Winkels bei *A*, welche auf der Linie der dritten Aufhängung senkrecht stand, und die *fünfte* nach der Halbirungslinie des Winkels bei *B*. Bei der vierten Aufhängung wurde der Krystall bei einer Erhebung von 23^{mm}, bei der fünften bei einer Erhebung von 50^{mm} bis 55^{mm} herungeworfen. Das stärkste Drehungsmoment in Folge der Abstosung der optischen Axen fand also bei der vierten und das schwächste bei der dritten Aufhängung statt. Wir ziehen hieraus die Schlußfolge, daß die allgemein durch *X* bezeichnete Richtung den

Win

Winkel bei *A* halbirt, während die Richtung *Z* auf den Seitenflächen *BC* und *EF* senkrecht steht.

Es wurden hierauf die Winkel der Säule gemessen, und es fanden sich die Winkel bei *A* und *D* ungefähr 129° . Die Grundform aber ist bekanntlich eine gerade rhombische Säule, in welcher die stumpfen Winkel dem gemessenen gleich sind. Die Ebene der optischen Axen geht also durch die beiden stumpfen Kanten der Grundform. Die beiden Flächen *BC* und *DF*, durch welche die beiden spitzen Kanten abgestumpft sind, sind der Ebene der bei den optischen Axen parallel.

Es möchte vielleicht die oben gemachte Voraussetzung, daß die Axe der Säule die Mittellinie zwischen den bei den optischen Axen ist, noch der Bestätigung bedürfen. Zu diesem Ende hängte ich die Staurolithsäule nach ihrer Längenrichtung auf; sie stellte sich mit der durch die bei den stumpfen Kanten gehenden Ebene aequatorial. Nach diesem Versuche kann kein Zweifel mehr über die gemachte Voraussetzung stattfinden.

41) Wir können die in der vorigen Nummer angewandte Beobachtungsweise auch dahin abändern, daß wir die Staurolithsäule, statt sie bei den verschiedenen horizontalen Aufhängungen über die Linie der Polspitzen zu heben, um die Lage des Gleichgewichts in der Linie der Pole schwingen lassen, und aus der verschiedenen Schwingungsdauer die Axenwirkung bestimmen. Ich nahm zu diesem Ende die Polspitzen ganz fort, dann stellte sich die Säule bei der dritten Aufhängung axial, bei der vierten aequatorial; dann steckte ich die beiden Spitzen wieder ein und schob sie so weit vor, daß auch bei dieser Aufhängung die aequatoriale Stellung in eine axiale überging. Da die magnetische Kraft, bei derselben Entfernung der Spitzen, bei den verschiedenen Aufhängungen unverändert dieselbe bleibt, so wird die Säule jedesmal durch eine Kraft gerichtet, die dieser constanten Kraft, *weniger* der veränderlichen auf die Axen wirkenden Kraft, gleich ist. Das Verhältniß dieser letzten Kraft bei verschiedener Aufhängung läßt sich auf diesem

Wege ermitteln. Je mehr die Richtung der Aufhängung der oben durch *X* bezeichneten Richtung sich nähert, desto langsamer oscillirt der Krystall.

Diese Beobachtungsweise, die, wo es blofs darum handelt, Anschauungen zu geben, weniger bequem ist, weil sie gröfsere Sorgfalt fordert, hat ihrerseits den Vortheil einer gröfseren Anwendbarkeit; sie kann auch dann eintreten, wenn der Krystall so stark eisenhaltig ist, dafs die Axenwirkung die magnetische Anziehung nicht mehr überwältigen kann, wie dies zum Beispiel bei einem Lepidolithkrystall der Fall war. Sie ist auch dann anwendbar, wenn der Krystall diamagnetisch ist und sich schon in Folge seiner Form aequatorial stellt. Eine Topassäule würde ein passendes Beispiel liefern. Hier *summiren* sich die diamagnetische Abstofsung und die Wirkung auf die Axen, um die beobachtete Wirkung hervorzubringen.

42) Die letzten Nummern enthalten das erste Beispiel, wie man durch Hülfe eines Magneten die optischen Axen eines Krystalls bestimmen kann, und überraschend mufs es erscheinen, dafs hierbei der Krystall undurchsichtig und jede Spur der Krystallform verwischt seyn kann.

Auf demselben Wege können wir eine Beantwortung auf die Frage erhalten, ob eine derbe, durchsichtige, oder undurchsichtige, einaxig oder zweiaxig krystallisirende, Masse aus Elementarkrystallen besteht (es sey mir dieser nicht mineralogische Ausdruck hier gestattet), in denen eine Axenrichtung vorherrscht, oder wo dieses nicht der Fall ist, wie z. B. das optische Verhalten beim geschmolzenen Zucker kurz nach der Erstarrung letzteres, nach Verlauf längerer Zeit aber ersteres nachweist.

43) Wenn wir eine Kugel (oder auch einen Rotationscylinder mit seiner Axe vertical) zwischen den beiden Polspitzen aufhängen, so kann dadurch keine Drehung hervor gebracht werden, dafs die Masse entweder magnetisch oder diamagnetisch ist. Die *einzige* Wirkung, die hier hervortreten kann, ist die Abstofsung der Axen. Ist die Kugel aus der Masse eines einaxigen Krystalls genommen, so wird sich, bei jeder Aufhängung, die Axe in die aequatoriale

Ebene stellen. Ehe sie aber in dieser Lage festgehalten wird, macht sie Oscillationen um dieselbe, die um so rascher sind, je weiter die Richtung der Aufhängung von der Richtung der Axe abweicht. Ein vorläufiger Versuch mit einer Bergkrystallkugel von 57^{mm} Durchmesser hat gezeigt, daß wir hier zu genauen Maafsbestimmungen gelangen können).

Verzeichnen wir, bei irgend zwei verschiedenen Aufhängungen, auf der Kugel die beidesmalige Aequatorialebene, so bestimmt der Durchschnitt der beiden Ebenen die Axenrichtung des Krystalls.

Bei dieser letzten Bestimmung ist die äufsere Form ganz gleichgültig, sobald wir uns nur überzeugt haben, daß bei der zu untersuchenden Masse die Axenwirkung den Magnetismus oder Diamagnetismus derselben überwunden hat.

Wenn die Masse endlich aus einem zweiaxigen Krystall genommen ist, so tritt bei dieser Bestimmung die Mittellinie zwischen den beiden Axen an die Stelle der einzigen Axe.

44) Schon Hr. Faraday hat auf die Modificationen aufmerksam gemacht, die eintreten, wenn ein Körper, statt zwischen Polspitzen, zwischen zwei Polflächen aufgehängt wird. Was die diamagnetischen Körper betrifft, so ist der folgende Versuch charakteristisch.

Ich legte auf jeden Pol einen parallelepipedischen, 189^{mm} langen Anker so auf, daß die Polflächen, die ein Rechteck bildeten, das 67^{mm} breit und 27^{mm} hoch war, einander in solcher Entfernung gerade gegenüberstanden, daß ein Wismuthcylinder, 34^{mm} lang und 6^{mm} dick, noch frei dazwischen schwingen konnte. Dieser Wismuthcylinder, so aufgehängt, daß sein Schwerpunkt in die horizontale Mittellinie zwischen den beiden Polflächen fiel, stellte sich so lange *axial*, als der Schwerpunkt innerhalb der beiden Ebe

1) Ich bemerke hierbei nur, daß zu solchen Bestimmungen besser aus einer andern Krystallmasse genommen wird. Denn der Bergkrystall zeigte überhaupt die Axenwirkung gegen alle Erwartung schwach, und die Erscheinungen waren in mehreren Versuchen wenig hervortretend, weniger als bei allen übrigen Versuchen.

nen der Seitenflächen der Anker sich befand. Sobald er eine dieser beiden Ebenen überschritt, zeigten sich *zwei* stabile Gleichgewichtslagen, die eine nach der Mittellinie (*axial*), die andere senkrecht dagegen (*aequatorial*); rückte der Schwerpunkt weiter noch fort, so blieb bloß die zweite dieser beiden stabilen Gleichgewichtslagen noch übrig. Alle diese Erscheinungen erklären sich vollständig aus einer nicht polaren Abstofung der Wismuthmasse durch die Pole des Elektromagneten.

45) Auf diese Erscheinungen, so wie auf die Stellung, welche eine magnetische Masse zwischen den Polflächen annimmt, müssen wir Rücksicht nehmen, wenn wir einen Krystall zwischen den Polflächen schwingen lassen, und die alsdann eintretenden Erscheinungen im Voraus bestimmen wollen. Die Turmalinsäule der 8. Nummer, in gleicher Weise wie der Wismuthcylinder aufgehängt, stellt sich in der Mitte *axial*, in den Ebenen der Seitenflächen der Anker *aequatorial*, und weiter hinweg wiederum *axial*. Die größere Doppelspathplatte der 20. Nummer stellte sich, in *allen* Aufhängungen mit ihrer Axe nach der Mittellinie, innerhalb der beiden Ebenen der Seitenflächen der Anker den Diamagnetismus der Masse überwältigend, außerhalb derselben vom Diamagnetismus unterstützt.

46) Es möchte wohl kaum noch der Bestätigung bedurft haben, daß der Elektromagnet, in den beschriebenen Erscheinungen, ganz in derselben Art wie ein *permanenter Magnet* wirkt. Interessant aber war zu untersuchen, ob ein solcher Kraft genug besitze, um die Abstofung der Axen der Krystalle zur Anschauung zu bringen. Auf meine Veranlassung wiederholte Hr. vom Kolke, der mir mit Talent und Ausdauer bei meinen sämtlichen Experimentaluntersuchungen als Assistent zur Seite stand, die Versuche der 4. bis 6. Nummer zuerst mit dem Magnete eines Ettinghausen'schen magnetoelektrischen Rotationsapparates, und später sogar mit einem kleinen Hufeisenmagnet, der an je dem seiner Pole kaum ein Kilogramm trug. Um die Pole zu nähern, legte er auf jede Endfläche des liegenden Mag

neten einen, einige Millimeter dicken Eisenstab, dessen Enden er in passende Entfernung brachte, um zwischen den selben, in freier Luft, die Turmalinplatte schwingen zu lassen. Der Erfolg war ganz entschieden.

47) Die Versuche, die ich in der gegenwärtigen Abhandlung mitgetheilt habe, sind, nach meiner Meinung, hinreichend, um das in der ersten Nummer ausgesprochene allgemeine Gesetz und das Vorhandenseyn einer neuen Kraft, die bisher durch keine Erscheinung inducirt war, zu begründen. Die Beziehung der dadurch neu gewonnenen Resultate zu den beiden, Epoche machenden, Entdeckungen des Hrn. Faraday liegt zu nah, als dafs ich sie hier ganz unbertührt lassen sollte.

Es scheint mir, dafs die Physiker der einen dieser beiden Entdeckungen, dafs nämlich *alle* Körper ohne Ausnahme entweder magnetisch oder diamagnetisch sind, noch nicht allgemein diejenige Wichtigkeit beilegen, die sie wirklich hat. Hr. Faraday hat nicht einzelne Erscheinungen beobachtet und beschrieben wie Andere vor ihm, die nur halb dieselben erkannt haben mußten, wenn sie dieselben als Transversalmagnetismus bezeichneten, sondern er hat ein *allgemeines Gesetz* ausgesprochen, und, wozu ich mich ganz unumwunden bekenne, eine ganz neue Wirkung der Magnete im Diamagnetismus nachgewiesen, wodurch allerdings die Natur der an und für sich schon so räthselhaften magnetischen Anziehung vorerst nur noch räthselhafter wird. Ich habe viele, aber vergebliche Versuche gemacht, um eine diamagnetische Polarität oder eine Reaction der diamagnetisch erregten Materie aufzufinden. Es scheint mir bis jetzt noch, namentlich wenn wir die hergebrachten Ideen über magnetische Vertheilung retten wollen, die einfachste Hypothese, dafs wir daneben den Diamagnetismus als eine allgemeine Abstoßung der Masse ansehen.

Was die andere Faraday'sche Entdeckung betrifft, so schliesse auch ich mich der allgemeinen Ansicht an, dafs in der beobachteten Drehung der Polarisationssebene keine directe Einwirkung des Magneten auf das Licht stattfindet,

sondern daß diese erst durch eine magnetische oder diamagnetische Wirkung auf die kleinsten Massentheilchen hervorgerufen wird, wie sie von der Natur schon auf permanente Weise vielen Körpern, unter den Krystallen aber bloß dem Bergkrystall, und diesem nur nach der Richtung der Axe, eingeprägt ist.

48) Nach den von mir beschriebenen Erscheinungen geht von den Polen eines Magneten auf jeden ein- oder zweiachsigem Krystall eine eigenthümliche Einwirkung aus, die ihre Erklärung findet, wenn wir, als resultirende Wirkung, eine Abstossung der Axenrichtungen annehmen, die von der magnetischen und diamagnetischen Beschaffenheit der Materie unabhängig ist. Diese Abstossung hängt offenbar mit der Form der kleinsten Theilchen des Krystalls zusammen, und scheint da einzutreten, wo der Magnetismus nicht im Stande ist, eine vorübergehende Molecularveränderung hervorzubringen, welche die von Hrn. Faraday entdeckte Drehung der Polarisationssebene zur Folge hat.

Sollen wir annehmen, daß die neue abstossende Kraft eine durch die Form der kleinsten Massentheilchen hervorbrachte Modification des Diamagnetismus ist? Auffallend wäre dann aber, daß diese Kraft so stark ist, daß sie, bei einer Aufhängung des Krystalls, die aus seiner Form hervorgehende, ursprünglich viel stärkere magnetische oder diamagnetische Richtkraft zu überwältigen im Stande ist, wenn die Magnetpole weiter entfernt werden. Die Versuche beweisen, daß die neue Kraft langsamer mit der Entfernung abnimmt, als diese Richtkraft.

Jedenfalls stehen die Formen der kleinsten Massentheilchen und magnetischen Kräfte in gegenseitiger Beziehung, was uns zu dem merkwürdigen Resultate geführt hat, daß wir Krystallisationsformen durch einen Magneten bestimmen können. Hierbei ist ferner eine Verwandtschaft derjenigen Kräfte, welche bei der Krystallisation wirksam sind und der magnetischen Kräfte als höchst wahrscheinlich in Aussicht gestellt. Der wichtigste Gesichtspunkt ist hier aber offenbar darin zu setzen, daß die Richtungen, deren Ab

stofsung aus der neuen Kraftäufserung resultirt, gerade diejenigen sind, welche zu dem Lichte in eigenthümlicher und ausschließlicher Beziehung stehen, nach welchen dasselbe, beim Hindurchgehen, keine doppelte Brechung erleidet. Diese Beziehung wird nicht lange isolirt dastehen.

Bonn, den 25. Juli 1847.

V. *Ueber das Verhältniß zwischen Magnetismus und Diamagnetismus; von Plücker.*

1) **H**r. Faraday hat die von anderen Physikern aufgestellte Ansicht, *dafs der Diamagnetismus nur ein anderes Auftreten des gewöhnlichen Magnetismus sey*, durch die einzige Thatsache vollständig widerlegt, dafs während ein (nach Art des Eisens) magnetischer Körper, seiner ganzen Masse nach, von jedem der beiden Pole eines Magneten angezogen wird, ein diamagnetischer Körper von jedem Pole, seiner ganzen Masse nach, eine Abstofsung erfährt.

2) Hiernach wäre die einfachste Voraussetzung diejenige, *nach welcher magnetische und diamagnetische Kräfte entgegengesetzte, sich neutralisirende Zustände der Materie hervorrufen*: eine Voraussetzung, die auf den ersten Blick durch die von Hrn. Faraday durchgehends beobachtete Erscheinung unterstützt wird, dafs bei der Mischung einer magnetischen und einer diamagnetischen Substanz ein intermediärer Zustand hervorgebracht wird, der von dem Verhältnisse der Mischung abhängt, wobei nur zu erwägen ist, dafs die magnetischen Kräfte in den gewöhnlichen Fällen unvergleichlich viel stärker sind als die diamagnetischen. Jeder diamagnetische Körper zeigt sich bei allmählicher Beimischung einer verhältnißmäfsig geringen Quantität eines eisenhaltigen Körpers anfänglich immer schwächer diamagnetisch und wird bald magnetisch. Umgekehrt wird es nur in den Fällen sehr schwach magnetischer Substan-