

**IV. Drei und zwanzigste Reihe von Experimental-
Untersuchungen über Elektrizität;
von Michael Faraday.**

(Mitgetheilt vom Hrn. Verf. aus dem *Philosoph. Transact. f. 1850. pt. I.* — Wir überspringen hiemit in der Reihe der Untersuchungen des berühmten Physikers einstweilen zwei Abhandlungen, nämlich diejenigen, welche den Diamagnetismus der Krystalle betreffen und durch eine Notiz in diesen Ann. Bd. 76, S. 144 in den Hauptzügen schon bekannt sind, werden sie indess den Lesern baldigst zu überliefern suchen. P.)

§. 29. Ueber den polaren oder sonstigen Zustand der diamagnetischen Körper.

2640. **V**or vier Jahren sprach ich die Vermuthung aus, daß alle Erscheinungen bei diamagnetischen Körpern, die den Kräften im magnetischen Felde unterworfen sind, sich erklären lassen würden durch die Annahme, daß sie eine Polarität besitzen von gleicher Art, aber entgegengesetzter Richtung, wie die, welche unter denselben Umständen von Eisen, Nickel und anderen magnetischen Körpern angenommen wird (2429. 2430). Diese Ansicht ward von Plücker, Reich und Anderen, besonders aber von W. Weber ¹⁾, so günstig aufgenommen, daß ich große Hoffnung hegte, sie bestätigt zu finden, wiewohl meine eigenen Versuche (2497) diese Hoffnung nicht erhöhten.

2641. Ob Wismuth, Kupfer, Phosphor u. s. w. im magnetischen Felde polar seyen oder nicht, ist jedoch eine ungemein wichtige Frage, denn darnach müssen in der Wirkungsweise dieser Körper sehr große und wesentliche Verschiedenheiten stattfinden. Ich beschloß daher die Frage, wo möglich durch einen experimentellen Beweis zu entscheiden, und nehme keinen Anstand das Resultat meiner Bemühung,

1) Pogg. Ann., 1848 Bd. 73, S. 60 und 241.

obwohl es ein negatives ist, der K. Gesellschaft vorzulegen. (So ist kurz der Sinn dieses Paragraphen. P.)

2642. Es schien mir, dafs manche der Resultate, die als auf einen polaren Zustand deutend angesehen wurden, nur Folgen des Gesetzes seyen, dafs diamagnetische Körper von stärkern zu schwächern Wirkungsstellen zu gehen suchen (2418); andere dagegen schienen aus Inductionsströmen (26. 2338) zu entspringen. Bei weiterer Betrachtung schienen auch die Unterschiede zwischen diesen Wirkungsweisen und denen einer wirklichen, magnetischen oder diamagnetischen Polarität eine Untersuchungsart an die Hand zu geben, deren Resultate nützlich seyn konnten. Denn, wenn eine Polarität vorhanden ist, mufs sie in den Theilchen vorhanden und eine Zeitlang permanent seyn, sich folglich unterscheiden lassen von der durch temporäre Ströme erzeugten momentanen Polarität der Masse, und ebenso, durch ihre entgegengesetzte Richtung, von der gewöhnlichen magnetischen Polarität.

2643. Ein gerader Holzhebel von 2 Fufs Länge wurde an einem Ende an einer Axe so befestigt, dafs er mittelst Kurbel und Rad in einer Horizontalebene vibriren, und sein freies Ende etwa 2 Zoll hin und her gehen konnte. Cylinder oder Kerne von Metallen oder anderen Substanzen, 5,5 Zoll lang und 0,75 Zoll im Durchmesser wurden nach einander an dem Ende eines 2 Fufs langen Messingstabes befestigt, dessen anderes Ende an dem beweglichen Ende des Hebels angebracht war, so dafs die Cylinder in Richtung ihrer Länge durch einen Raum von 2 Zoll bewegt werden konnten. Es war auch ein großer cylindrischer Elektromagnet vorgerichtet (2192), dessen Eisenkern 21 Zoll in Länge und 1,7 Zoll im Durchmesser hielt; das eine Ende dieses Kerns war auf die Länge von einem Zoll dünner, nämlich nur einen Zoll dick.

2644. Auf diesen dünneren Theil war eine Rolle von 516 Fufs feinem übersponnenen Kupferdraht gesteckt; sie hielt 3 Zoll in Länge, 2 Zoll im äufseren und 1 Zoll im innern Durchmesser; aufgesteckt auf das dünnere Ende des

Elektromagnets nahm dasselbe 1 Zoll von dem innern Raum ein. Der Magnet und die Drahtrolle waren beide concentrisch mit dem oben erwähnten Metallcylinder gestellt und zwar in solcher Entfernung, daß der letztere in der Richtung seiner Axe sich in der Rolle bewegen, in rascher Folge ab oder zu dem Magnet gehen konnte. Der kleinste und größte Abstand des schwingenden Cylinders während des Spiels betrug 0,125 und 2,2 Zoll. Der Zweck hiebei war, zu untersuchen, ob die Rolle des feinen Drahts auf die Metallcylinder, während ihrer Hin- und Herbewegung oder in verschiedenen Abständen von dem Magnet, irgend einen Einfluß ausübten¹).

2645. Die Enden der kleinen Drahtrolle (*experimental helix*) waren verknüpft mit einem sehr empfindlichen Galvanometer, das 18 bis 20 Fufs vom Elektromagnet entfernt stand, damit dieser nicht auf dasselbe einwirke; zugleich war ein Commutator eingeschaltet. Dieser Commutator wurde durch den Holzhebel (2643) bewegt, und da die zu ihm aus der kleinen Rolle, während eines vollständigen Hin- und Herganges des Metallcylinders, gelangenden elektrischen Ströme aus zwei entgegengesetzten Portionen bestanden, so hatte der Commutator den Zweck diese Portionen successive aufzunehmen und entweder in einem gleichgerichteten Strome zu dem Galvanometer zu führen, oder, zu anderen Zeiten, sie gegeneinander zu stellen und ihre Resultate zu neutralisiren. Er war so eingerichtet, daß er zu jeder Zeit oder in jedem Theil der Bewegung verändert werden konnte.

2646. Bekanntlich wird bei einer solchen Einrichtung, wie stark der Elektromagnet, oder wie empfindlich der übrige Theil des Apparats auch seyn mag, keine Wirkung auf das Galvanometer hervorgebracht, so lange der Magnet seine Kraft, oder seine Wirkung auf benachbarte Körper, oder seine Entfernung und Lage zu der kleinen Rolle nicht ändert. Allein die Einführung eines Stückes Eisen oder sonstigen vom Magnet influenzirbaren Stoffs in die Rolle

1) Der Elektromagnet lag also wohl horizontal?

P.

kann oder muß einen entsprechenden Einfluß auf die Drahtrolle oder das Galvanometer ausüben. In der That sollte ich denken, mein Apparat sey im Princip und in der Praxis fast gleich mit dem von Hrn. Weber (2640), aber dennoch gab er mir entgegengesetzte Resultate.

2647. Um zu richtigen Schlüssen zu gelangen ist es höchst nothwendig, die äußerste Vorsicht auf manche Punkte zu verwenden, die anfangs als unwichtig erscheinen können. Alle Theile des Apparats müssen einen vollkommen festen Stand haben, fast wie ein astronomisches Instrument; denn jede Bewegung irgend eines seiner Theile ist, vermöge der Construction, sicher mit der Bewegung des Commutators zu synchronisiren; und unwahrnehmbare kleine Effecte summiren sich auf und machen sich als Ganzes am Galvanometer merkbar. Daher stehen bei mir die Maschine (2643), der Magnet, die Drahtrolle und das Galvanometer auf gesonderten Tischen, und diese wiederum auf einem steinernen Flur, der auf dem Erdboden ruht. Der die Maschine tragende Tisch war gegen die benachbarte Mauer wohl fest gestemmt.

2648. Ferner muß der Apparat selbst vollkommen wackellos seyn und sich dennoch ohne Schlottern frei und leicht bewegen. Zu den beweglichen Theilen darf kein Eisen verwandt werden. Um das Moment des Ganzen theilweis aufzuheben und umzukehren sind an dem Ende der hin- und hergehenden Vorrichtung Springfedern angebracht, die aber nothwendig von gehämmertem Messing oder Kupfer seyn müssen.

2649. Durchaus nothwendig ist, daß der Cylinder oder Kern bei seiner Bewegung den Magnet oder die Drahtrolle nicht im Geringsten hindere oder stofse. Dieß kann leicht stattfinden, und doch wird es, ohne vieles Untersuchen, nicht wahrgenommen. Es ist auch wichtig die Kerne solcher Körper wie Wismuth, Phosphor, Kupfer u. s. w. so groß wie möglich zu nehmen; doch faud ich es nicht gerathen, weniger als $\frac{1}{8}$ Zoll Spielraum zwischen ihnen und der Innenwand der Drahtrolle zu lassen. Um den Kern

gleichsam in Luft schwimmen zu lassen, ist es zweckmäſsig ihn in der Bucht oder Krümme eines einmal herumgeschlungenen feinen Kupferdrahts aufzuhängen, dessen Enden aufsteigen und an zwei gleich hoch aber weit auseinander gelegenen Punkten befestigt sind, so dafs der Draht die Form eines *V* hat. Diese Aufhängung hält den Kern in jedem Theile seiner Bewegung parallel.

2650. Der Magnet wird durch den elektrischen Strom von fünf Grove'schen Plattenpaaren erregt und ist sehr kräftig. Nicht mit der Batterie verbunden bleibt er noch in schwachem Grade magnetisch. In diesem Zustand angewandt, kann seine Kraft als längere Zeit constant angesehen, und die kleine Drahtrolle in jedem Moment mit dem Galvanometer verbunden werden, ohne dafs darin ein Strom entsteht. Wendet man aber den Magnet im erregten Zustand an, so sind gewisse Vorsichtsmafsregeln nothwendig; denn verbindet man den Magnet mit der Batterie, und darauf die kleine Rolle mit dem Galvanometer, so erscheint im letzteren ein Strom, welcher in gewissen Fällen länger als eine Minute anhält und anscheinend aus dem der Batterie entspringt. Er entsteht jedoch nicht also, sondern rührt her von der Zeit, welcher der Eisenkern zur Annahme des Maximums seines Magnetismus gebraucht (2170. 2332), und während dieser ganzen Zeit wirkt er auf die kleine Rolle und erregt einen Strom in ihr. Diese Zeit ist nach Umständen verschieden und ändert sich bei einem und demselben Elektromagnet besonders darnach, wie lange dieser aufser Gebrauch war. Bei erster Anwendung, nach einer Ruhe von zwei bis drei Tagen, beträgt sie achtzig und neunzig Sekunden und mehr. Nach Oeffnung der Batterie und unmittelbarer Schließung derselben, wiederholt sich der Effect, erfordert aber nur zwanzig bis dreissig Sekunden. Bei einer dritten Unterbrechung und Erneuerung des Stroms erscheint er in noch kürzerer Zeit, und wenn der Magnet eine Zeitlang in kurzen Intervallen gebraucht worden ist, scheint er fähig zu seyn, das Maximum seiner Kraft auf einmal anzunehmen. Bei jedem Versuch ist es noth-

wendig zu warten, bis der Effect auf das Galvanometer vorüber ist, sonst können die Ueberreste eines solchen Effects irrthümlich für das Resultat einer Polarität oder andern eigenthümlichen Wirkung des Wismuths oder andern untersuchten Körpers genommen werden.

2651. Das angewandte Galvanometer war von Hrn. Ruhmkorff verfertigt und sehr empfindlich. Die Nadeln waren in ihrer Wirkung verstärkt und so nahe gleich, daß eine einzige Schwingung von der Rechten zur Linken sechszehn bis zwanzig Sekunden einnahm. Beim Experimentiren mit solchen Körpern wie Wismuth und Phosphor wurde die Lage der Nadel durch eine Linse beobachtet. Von der vollkommenen Verbindung aller Theile der Kette überzeugt man sich durch ein schwaches mit den Fingern erwärmtes thermo-elektrisches Paar. Diefs geschah auch bei jeder Lage des Commutators, wo die Oxydschicht nach zwei- oder dreitägiger Ruhe vollkommen hinreichend war, einen schwachen Strom zu unterbrechen.

2652. Um die bei magnetischen und diamagnetischen Körpern vorkommenden Erscheinungen in directe Beziehung zu bringen, habe ich nicht so sehr die in der kleinen Rolle erzeugten Ströme, als vielmehr die am Galvanometer erhaltenen Effecte aufgezeichnet. Als normale Richtung in der Ablenkung wurde immer diejenige genommen, welche ein Eisendraht hervorbrachte, wenn er in gleicher Richtung und unter denselben Umständen des Commutators und der Verbindungsdrähte bewegt wurde wie ein Stück von Wismuth oder einem andern der zu untersuchenden Körper.

2653. Eine dünne Glasröhre von der bedingten Gröfse (2643), 5,5 Zoll lang und 0,75 dick, wurde mit gesättigter Eisenvitriollösung gefüllt und als Kern angewandt. Der Maschine wurde zu dieser und aller übrigen Zeit des Versuchs eine solche Geschwindigkeit gegeben, daß der Kern fünf bis sechs Mal in der Sekunde hin- und her ging. Dennoch erzeugte die Lösung keine merkbare Wirkung auf das Galvanometer. Ein Stück einer magnetischen Glasröhre

röhre (2354) und ein Kern von Propatriapapier, das zwischen den Polen des Elektromagnets auch magnetisch war, waren gleichfalls unwirksam. Eine Röhre, gefüllt mit kleinen Krystallen von Eisenvitriol, erzeugte eine Bewegung der Nadel von etwa 2° und dieselbe Wirkung gaben Kerne bestehend aus einzelnen großen Krystallen oder symmetrischen Gruppen von Eisenvitriol-Krystallen; rothes Eisenoxyd (Colcothar) bewirkte den kleinstmöglichen Effect, Hammer Schlag und metallisches Eisen (als dünner Draht) dagegen einen großen.

2654. Sobald die Nadel sich bewegte, geschah es, in Richtung, übereinstimmend mit der Wirkung eines magnetischen Körpers; allein in vielen Fällen war die Bewegung, bei anerkannt magnetischen Körpern, gering oder Null. Diefs beweist, daß diese Vorrichtung keineswegs ein so gutes Prüfungsmittel auf magnetische Polarität ist als eine einfache oder astatiche Nadel. Die Mangelhaftigkeit in dieser Beziehung benimmt ihr jedoch nicht die Fähigkeit zur Erforschung der in den Versuchen von Reich, Weber und Andern auftretenden Erscheinungen.

2655. Es wurden nun andere Metalle als Eisen untersucht und mit vollständigem Erfolg. Waren sie magnetisch, wie Nickel und Kobalt, so hatte die Ablenkung dieselbe Richtung wie beim Eisen. Waren die Metalle diamagnetisch, so erfolgte die Ablenkung in entgegengesetzter Richtung; bei einigen Metallen, wie Kupfer, Silber und Gold, betrug sie 60° bis 70° und erhielt sich so lange die Maschine in Thätigkeit erhalten ward. Allein die Ablenkung war nicht am größten bei den stärkst diamagnetischen Substanzen, wie Wismuth, Antimon oder Phosphor; im Gegentheil habe ich mich bisjetzt noch nicht zu überzeugen vermocht, ob diese drei Körper irgend eine Wirkung ausüben. Bei vielen war die Wirkung proportional dem *Electricitäts-Leitungsvermögen* der Substanz. Gold, Silber und Kupfer gaben die größten Ablenkungen, Blei und Zinn geringere, Platin eine sehr kleine, Wismuth und Antimon gar keine.

2656. Mithin hatte man allen Grund zu glauben, daß die Wirkungen durch in der Masse der bewegten Metalle inducirte Ströme, und nicht durch eine Polarität ihrer Theilchen entstanden waren. Ich ging also daran, diese Idee durch Abänderung der Kerne und des Apparats zu prüfen.

2657. Zunächst ist klar, daß, wenn es eine Wirkung inducirter Ströme ist, sie meistens in dem dem Magnet näheren Theile des Kerns vorhanden seyn muß, weniger in den entfernteren; wogegen bei einer Substanz, wie Eisen, für die Polarität, welche das Ganze annimmt, die Länge ein wichtigeres Element ist. Ich verkürzte daher den Kupferkern von 5,5 Zoll (2643) auf 2, und fand die Wirkung dadurch nicht verringert; selbst bei 1 Zoll Länge war sie wenig schwächer als zuvor. Im Gegentheil waren die Wirkungen stärker, wenn der als Kern angewandte dünne Eisendraht 5,5 Zoll Länge hatte; sehr viel geringer, wenn er nur 1 Zoll lang war. Es hält nicht schwer, einen Kupferkern mit einem dünnen Eisendraht in seiner Mitte zu verfertigen, der über eine gewisse Länge hinaus die Wirkung des Eisens giebt, und unterhalb derselben die Wirkung des Kupfers.

2658. Wenn ferner die Wirkung aus in der Masse (2642) inducirten Strömen entstände, würde eine Zertheilung der Masse diese Ströme hemmen und damit die Wirkung ändern, wogegen auf die wahre diamagnetische Polarität die Zertheilung der Masse keinen bedeutenden oder wesentlichen Einfluß hätte (2430). Es wurde daher Kupferfeilicht, zur Entfernung von etwa anhaftendem Eisen, einige Tage lang mit verdünnter Schwefelsäure digerirt, dann wohl gewaschen und getrocknet, und darauf erwärmt und in der Luft herumgeschwenkt, bis es durch einen sehr dünnen Ueberzug von Oxyd eine Orangefarbe angenommen hatte. Dann wurde es in ein Glasrohr (2653) gefüllt und als Kern angewandt. Es gab durchaus keinen Effect, war so unwirksam als Wismuth.

2659. Das Kupfer kann jedoch so zertheilt werden,

dafs es die vorausgesetzten Ströme aufkommen läfst oder nicht. Ich schnitt dünnes Kupfer in Stücke von 5,5 Zoll Länge und bildete daraus ein Bündel von 0,75 Zoll Durchmesser (2643); dieses hatte keine Wirkung auf das Galvanometer. Ein anderer Kupferkern dagegen, der aus dünnen Kupferscheiben von 0,75 Zoll Durchmesser gebildet worden, lenkte die Galvanometernadel 25° bis 30° ab.

2660. Uebersponnenen Kupferdraht von 0,75 Zoll Dicke wickelte ich zu einem soliden Cylinder von 2 Zoll auf und brauchte diesen als Kern. Blieben die Enden dieses Drahts unverbunden, so zeigte sich auf die kleine Drahtrolle und folglich auch auf das Galvanometer keine Wirkung; waren aber die Enden zusammengelöthet, so ward die Nadel gut afficirt. Im ersteren Fall konnten die Ströme, welche sich in der Masse des bewegten Metalls zu bilden trachteten, nicht zu Stande kommen, weil der metallische Weg unterbrochen war; im zweiten konnte es aber geschehen, weil diese Unterbrechung nicht vorhanden war.

2661. Dasselbe Resultat wurde mit anderen Metallen erhalten. Ein cylindrischer Kern von Gold, aus Halb-Sovereigns gebildet, wirkte sehr kräftig auf das Galvanometer. Auch ein Silbercylinder aus Six-Penny-Stücken war sehr wirksam; allein ein Cylinder aus gefällttem Silber, das in einer Glasröhre möglichst zusammengestampft war, gab durchaus keine Anzeige von Wirkung. Dieselben Resultate wurden mit Cylindern aus Zinn- oder Bleischeiben erhalten; die Wirkungen waren der schlechten Leitung des Zinns und des Bleis angemessen (2655).

2662. Mit zertheiltem Eisen waren die Wirkungen genau umgekehrter Art. Es war nöthig Galvanometer und Apparat viel unempfindlicher zu nehmen; allein, nachdem diefs geschehen war, zeigte die Anwendung eines soliden Eisenkerns und eines andern, von gleicher Gröfse oder gleichem Gewicht, aus Stücken von dünnem Draht gebildet (2659), dafs die Zertheilung die Wirksamkeit nicht verringert hatte. Die vortreflichen Experimental-Untersu-

chungen von Dove über die Inductions-Elektricität zeigen, das dies der Fall seyn muß¹⁾.

2663. Mithin ist bei diamagnetischen Metallen das Resultat der Zertheilung ganz von der Art, um den Schluss zu bestätigen, das die von ihnen erzeugten Wirkungen aus inducirten, in ihrer Masse circulirenden Strömen hervorgehen und nicht aus einer Polarität, die der im Eisen analog ist, nur entgegengesetzte Richtung hat.

2664. Drittens (2656) läst sich in der Wirkung eines diamagnetischen Metalls, je nachdem sie aus einer wahren Polarität oder aus temporär inducirten Strömen entspringt, noch ein anderer und sehr wichtiger Unterschied experimentell nachweisen; und da in dieser Beziehung zwischen magnetischer und diamagnetischer Polarität keine Verschiedenheit stattfindet, so kann man die Betrachtung am besten beim Eisen anstellen.

2665. Wenn irgend ein Kern dem Magnet mit gleichförmiger Geschwindigkeit genähert und eben so von ihm entfernt wird, läst sich seine Reise (*journey*) in vier Theile zerfallen: *Hingang* (*the to*), *Stillstand* (*the stop*), *Rückgang* (*the from*) und wieder *Stillstand*. Wenn der Eisenkern diese Reise macht, wird sein dem Magnet zugekehrtes Ende ein Pol, dessen Kraft wächst bis zum kleinsten Abstände, und sich verringert bis zum größten Abstände. Diese beiden Effecte und das Vor- und Rückschreiten des Kerns erregen in der umgebenden Drahtrolle Ströme, in der einen Richtung, so wie der Kern vorrückt, und in der entgegengesetzten, so wie er zurückgeht. In Wirklichkeit bewegt sich jedoch das Eisen nicht mit constanter Geschwindigkeit, vielmehr wächst diese, vermöge der durch die rotirende Kurbel mitgetheilten Bewegung, (2643) auf dem *Hingang* allmählig aus dem Zustande der Ruhe bis zu einem in der Mitte des Weges liegenden Maximum und sinkt dann allmählig wieder nahe am Magnet zur Ruhe hinab; auf dem Rückgang durchläuft sie dieselben Veränderungen. Da nun die Maximum-Wirkung auf die umgebende Draht-

1) Taylor's *Scientific Memoirs* V. p. 129.

rolle abhängig ist zugleich von der Geschwindigkeit und der Intensität der Magnetpole an dem Ende des Kerns, so ist klar, daß sie nicht zusammenfällt mit dem in der Mitte des Hin- und Herganges liegenden Maximum der Geschwindigkeit und auch nicht mit der größten Magnetkraft des Kerns beim Stillstand nahe an Magnet, sondern daß sie irgendwo zwischen beiden stattfindet. Nichts destoweniger wird der Kern während der ganzen Zeit des Vorrückens einen Strom in der Drahtrolle erregen, und während des ganzen Rückganges einen anderen in entgegengesetzter Richtung.

2666. Wenn diamagnetische Körper unter dem Einfluß eines Magnets eine Polarität annehmen, so besteht der ganze Unterschied zwischen ihnen und dem Eisen nur darin, daß die gleichnamigen Pole ihre Lage verwechselt haben (2429. 2430); es findet bei ihnen dieselbe Wirkung statt wie beim Eisen, nur haben die erregten Ströme die umgekehrte Richtung gegen die, welche das Eisen hervorruft.

2667. Wenn daher in dem einen oder anderen Fall ein Commutator angebracht wird, um diese Ströme in einem stäten (*consistent*) Strom durch das Galvanometer zu senden, so muß er die Umkehrung in den Momenten der beiden Stillstände (2665) vollziehen und er wird es auch vollkommen bewirken können. Vollzieht dagegen der Commutator die Umkehrung zu den Zeiten des Maximums der Geschwindigkeit oder des Maximums der Intensität oder zu zwei andern von diesem oder jenem Stillstandspunkte gleich abständigen Zeiten, so werden die zwischen den beiden Umkehrungen aufgefangenen Theile der entgegengesetzten Ströme einander genau aufheben, und folglich wird kein Strom durch das Galvanometer gesendet.

2668. Nun ist die Wirkung des Eisens, der Erfahrung nach, von dieser Natur. Wenn unter verschiedenen Umständen des Commutators ein Eisendraht bloß in die Drahtrolle gesteckt oder aus derselben gezogen wird, sind die Resultate genau wie angegeben. Arbeitet die Maschine mit einem Eisenkern und wechselt der Commutator an den Still-

ständen (2665), so ist der zu dem Galvanometer gesendete Strom ein Maximum. Wechselt dagegen der Commutator in den Momenten des Maximums der Geschwindigkeit oder in einem Paar Momenten, die von dem einen oder anderen Stillstand gleich weit entfernt sind, so ist der Strom ein Minimum oder Null.

2669. Zwei oder drei Vorsichtsmafsregeln sind notwendig, um ein Resultat zu erlangen. Zunächst mufs das Eisen weich seyn und vorher nicht magnetisch. Dann hat man sich gegen folgenden Effect zu hüten. Wenn zu Anfang des Versuchs der Eisenkern vom Magnet entfernt ist und man setzt nun die Maschine in Thätigkeit, so sieht man die Galvanometernadel sich auf einige Momente in der einen Richtung bewegen, und darauf, ungeachtet des fortgesetzten Spiels der Maschine, zurückkehren und allmählig ihre Stellung auf 0° wieder annehmen. Ist dagegen der Eisenkern, beim Beginn des Versuchs, in seinem kleinsten Abstände vom Magnet, so bewegt sich die Galvanometernadel in entgegengesetzter Richtung wie zuvor, kommt aber ebenfalls auf 0° zur Ruhe. Diese Erscheinungen rühren davon her, dafs das Eisen, bei grossem Abstände von dem Magnet, in einem schwächeren, und beim kleinsten Abstände von ihm, in einem stärker magnetischen Zustande ist als in dem Mittelzustande, welchen es während der Fortdauer des Versuchs annimmt, und dafs es, während des Auf- und Abschwankens um diesen Mittelzustand, zwei Ströme in entgegengesetzter Richtung erzeugt, welche in den eben beschriebenen Versuchen sichtbar werden. Diese existiren nur in den ersten Momenten und bewirken am Galvanometer eine Schwingung, die allmählig verschwindet.

2670. Noch einer andern Vorsicht mufs ich erwähnen. Sobald der Commutator genau an den gegebenen Punkten des Laufes wechselt, wird bei jedem Wechsel ein kleiner Effect aufgesammelt, der die Nadel in der einen oder andern Richtung permanent ablenken kann. Die Zungen meines Commutators sind rechtwinklich auf der Richtung der Bewegung und etwas biegsam, wodurch sie ein wenig

in die Strecken des Hin- und Hergangs der Reise schleifen; indem sie dieses thun, nähern sie sich, obwohl in geringem Grade, der Bedingung, welche für den Commutator die beste ist, um die Ströme zu sammeln (und nicht aufzuheben), und dadurch erscheint eine Ablenkung nach der Rechten oder Linken (2677). Nachdem ich diese Ursache entdeckt und die Zungen etwas steifer gemacht, um ihre Biegung zu verhindern, verschwand die Wirkung und das Eisen war vollkommen unwirksam.

2671. So sind die Resultate bei einem Eisenkern und so würden sie bei einem Kupfer- oder Wismuthkern seyn, wenn diese vermöge einer diamagnetischen Polarität wirkten. Betrachten wir jetzt, was die Folgerungen seyn würden, wenn ein Kupfer- oder Wismuthkern vermöge Ströme wirkte, die für einige Zeit in seiner bewegten Masse inducirt würden und von der (2642) vermutheten Natur wären. Bewegt sich der Kupfercylinder mit gleichförmiger Geschwindigkeit (2665), so würden, während der ganzen Zeit seiner Bewegung, Ströme parallel seinem Umfang vorhanden seyn und diese würden das Maximum ihrer Kraft dicht vor und dicht nach dem innern Stillstand besitzen, denn dann befände sich das Kupfer an den intensivsten Punkten des magnetischen Feldes. Der wachsende Strom des Kupferkerns während der inneren Strecke seines Ganges würde in der Drahtrolle einen Strom in der einen Richtung erzeugen, während der Stillstand des Kupfers und die darauf folgende Abnahme des Stroms einen entgegengesetzten Strom in der Rolle hervorbrächte. Der erste Augenblick der Bewegung außerhalb des Kerns würde in ihm einen Maximum-Strom von entgegengesetzter Richtung mit dem früheren hervorbringen und in der Drahtrolle einen Strom induciren, der gleiche Richtung mit dem letzten darin hätte; so wie der Kern weiter fortgeht, würde der Strom in ihm abnehmen, und sowohl dadurch als durch seinen endlichen Stillstand einen vierten Strom in der Drahtrolle erzeugen, der gleiche Richtung mit dem ersten hätte.

2672. Die vier in der kleinen Rolle erzeugten Ströme

wechseln paarweise ab, d. h. die beim Sinken des ersten Stroms im Kern und die beim Steigen des zweiten und entgegengesetzten Stroms erregten, haben Eine Richtung. Sie erfolgen vor und nach dem Stillstand des Magneten d. h. von dem Moment des Strommaximums (im Kern) vor, bis zum Moment des Strommaximums nach dem Stillstand; und wenn dieser Stillstand momentan ist, existiren sie nur während dieses Moments und müssen während dieser kurzen Zeit von dem Commutator aufgefangen werden. Diejenigen, welche in der Drahtrolle erzeugt werden, während der zweite Strom im Kerne abnimmt und bei Annäherung dieses Kerns an den Magnet ein dritter (mit dem ersten identischer) Strom entsteht, sind auch von gleicher Richtung, und dauern an vom Anfang des Rückzugs bis zum Ende des Vorrückens (oder vom Maximum zum Minimum) der Kernströme, d. h. während fast der ganzen Reise des Kerns, und diese sollten vom Commutator, bei seinen Umschlägen in den Momenten des Maximums, aufgenommen und zum Galvanometer gesandt werden.

2673. Der Kern bewegt sich indess nicht mit gleichförmiger Geschwindigkeit, vielmehr wie er einerseits seine Richtung plötzlich ändert, erreicht er andererseits (2665) das Maximum seiner Geschwindigkeit in der Mitte seines Hin- und Hergangs vor dem Magnet. Daraus entspringt ein sehr wichtiger Vortheil. Denn sein Stillstand, kann man sagen, beginnt unmittelbar nach dem Eintreten der Maximum-Geschwindigkeit; und wenn dort die Linien der magnetischen Kraft in Lage und Stärke dem gleich wären, was sie näher am Magnete sind, würden die entgegengesetzten Ströme in der Drahtrolle an jenen Punkten des Weges beginnen; allein da der Kern in einen intensiveren Theil des magnetischen Feldes eintritt, nimmt der Strom noch zu, obgleich die Geschwindigkeit abnimmt, und die Folge davon ist, daß das Strommaximum weder an den Orten der größten Geschwindigkeit, noch an denen der größten Kraft eintritt, sondern an einem Punkte zwischen beiden. Dies gilt in Bezug sowohl auf das Vorschreiten, als auf das

Rückschreiten des Kerns, und die beiden Maxima des Stroms erfolgen an Punkten, die von dem Ort der Ruhe nahe am Magnet gleich weit abstehen.

2674. Wenn also mittelst der Ströme, die durch den Einfluss der in dem Eisenkern inducirten Ströme, in der Drahtrolle erregt werden, der grösste Effect auf das Galvanometer hervorgebracht werden soll, so muss der Commutator so eingerichtet werden, dass er an diesen beiden Punkten umschlägt. Der Versuch rechtfertigt diesen Schluss vollkommen. Theilt man die Weglänge von dem äussern Stillstand zum innern, welche zwei Zoll beträgt (2643. 2644) in hundert Theile, und wird der erregende Magnet als rechter Hand liegend angenommen, so wird ein Ausdruck von der Form 50|50 den Ort bezeichnen, wo der Commutator umschlagen muss; und das würde in diesem Beispiel in der Mitte des Hin- und Hergangs oder an den Punkten der grössten Schnelligkeit seyn.

2675. Beim Versuche verschiedener Adjustirungen des Commutators habe ich gefunden, dass er, mit einem Kupferkern, die besten Resultate von 77|23 bis 88|12 giebt. Aus sämmtlichen Versuchen schliesse ich, dass wenn Stärke des Elektromagnets, kleinster Abstand des Kerns von demselben, Länge des ganzen Ganges und durchschnittliche Geschwindigkeit der Maschine die angegebene Grösse haben, 86|14 die Punkte bezeichnen, an denen die im Kern inducirten Ströme ihr Maximum erreichen und wo also der Commutator umschlagen muss.

(Schluss im nächsten Heft.)

sich hervorgerufenen Drehung der Polarisationssebene jeder einzelnen Farbe.

V. *Drei und zwanzigste Reihe von Experimental-Untersuchungen über Electricität; von Michael Faraday.*

(Schluss von S. 89 des vorigen Hefts.)

2676. **A**us dem zuvor (2667) Gesagten wird erhellen, dass dies, sowohl der Theorie als der Erfahrung nach, die Punkte sind, in welchen die Wirkung jeglicher Polarität, der magnetischen oder diamagnetischen, durchaus Null seyn würde. Dadurch vermag man dann mittelst dieser Maschine Metalle und andere Körper dem Versuch zu unterwerfen und die Wirkungen der magnetischen Polarität und der Induction von einander zu sondern, denn dies kann entweder durch den Commutator oder durch die Richtung der Polarität geschehen; auch können sie in verschiedener Weise combinirt werden, um ihre getrennte und vereinte Wirkung zu erläutern.

2677. Gesetzt es stellen in Fig. 4. Taf. II. die Pfeile den Hin- und Hergang vor und die Durchschnitte der Linien *a*, *b*, oder *c*, *d* u. s. w. die Punkte des Ganges, wo der Commutator auswechselt, (in welchem Fall *c*, *d* mit 50|50 und *ef* mit 86|14 übereinkommt), so wird *a*, *b* die Bedingung des Commutators für den Maximum-Effect von Eisen oder irgend einem anderen polaren Körper entsprechen. Wird die Linie *ab* langsam gedreht, bis sie *cd* parallel kommt, so wird sie in jeder Lage Punkte des Commutator-Wechsels anzeigen, welche am Galvanometer den Eisen-Effect durch eine Ablenkung stets in einerlei Rich-

tung geben. Nur wenn die Enden *a* und *b* die Punkte *c* und *d*, entweder oben oder unten, überschritten haben, wird die Richtung der Ablenkung beim Eisen sich ändern. Allein die Linie *a, b* zeigt diejenigen Punkte für den Commutator an, bei welchen durch eine Induction von *Strömen* in der Masse des Kerns keine Wirkung auf das Galvanometer hervorgebracht wird. Neigt die Linie in einer Richtung, wie *ik*, so werden diese Ströme eine Ablenkung des Galvanometers nach der einen Seite bewirken; neigt sie nach der andern Seite, wie *lm*, so wird die Ablenkung die entgegengesetzte seyn. Deshalb können die Wirkungen dieser inducirten Ströme mit denen einer Polarität, der magnetischen oder diamagnetischen, combinirt oder in Gegensatz gestellt werden.

2678. Alle zuvor (2655) erwähnten Metalle, namentlich Gold, Silber, Kupfer, Zinn, Blei, Platin, Antimon und Wismuth wurden, unter der besten Ajustirung des Commutators (2675), der Kraft des Magnets unterworfen. Die Wirkungen stärker als zuvor, waren ein Maximum, aber von gleicher Ordnung. Was Antimon und Wismuth betrifft, so waren sie sehr gering und betrug nicht mehr als einen halben Grad; wahrscheinlich entsprangen sie aus einem Rückstande von unregelmäßiger Wirkung in einigen Theilen des Apparats. Alle Versuche mit zertheilten Kernen (2658 etc.) wurden wiederholt und mit demselben Erfolg wie zuvor. Phosphor, Schwefel und Gutta-percha gaben, weder bei diesem noch bei dem früheren Zustande des Commutators, irgend eine Anzeige von Wirkung auf das Galvanometer.

2679. Um die Weise, in welcher diese Einstellung des Commutators die Trennung der Effecte des Kupfers und Eisens bewirkt, zu erläutern, bereitete ich einen Kupfercylinder von 2 Zoll Länge mit einem Eisendraht in seiner Axe; dieser, in dem Apparat angewandt, gab den reinen Effect des Kupfers mit seinen inducirten Strömen. Allein als Ganzes war dieser Kern stark magnetisch gegen eine gewöhnliche Magnetnadel; und wenn die beiden Auswechs-

lungen des Commutators nicht gleichen Abstand von dem einen oder andern Ruhepunkt (2670. 2677) hatten, trat der Eisen-Effect kräftig hervor, überwältigte den früheren und bewirkte eine starke Ablenkung der Nadel im entgegengesetzten Sinn. Der von mir angewandte Platinkern war ein unvollkommener Cylinder von 2 Zoll Länge und 0,62 Zoll Dicke. Zwischen den Polen eines hufeisenförmigen Elektromagnets (2381) richtete er sich magnetisch, machte eine Schwingung in weniger als einer Sekunde; allein bei der obigen Einstellung des Commutators (2675) gab er 4° Ablenkung, herrührend von inducirten Strömen, da der magnetische Effect vernichtet oder ausgemerzt war.

2680. Zur Bestätigung der früheren Schlüsse (2677) wurden auch einige combinirte Effecte durch schiefe Einstellung der Commutatorpunkte hervorgebracht. Wenn der Commutator so eingestellt wurde, daß jegliche Polarkraft, welche das Wismuth als diamagnetischer Körper besitzen möchte, combinirt war mit jeglichem Leitungsvermögen, welche die Bildung von Inductionsströmen in seiner Masse verstatten würde (2676), so waren die Effecte so klein und unsicher, daß ich genöthigt bin zu sagen: es ist experimentell ohne polare oder inductive Wirkung.

2681. Es läßt sich noch eine andere Unterscheidung aufstellen zwischen den Wirkungen einer wahren, andauernden Polarität, sey es eine magnetische oder diamagnetische, und denen eines vorübergehenden, von der Zeit abhängigen Inductionsstroms. Betrachten wir den Widerstand der Drahtleitung, welche die kleine Rolle und das Galvanometergewinde einschließt, als Null, so wird ein Magnetpol von constanter Stärke, der bis zu einer gewissen Tiefe in die kleine Drahtrolle geschoben wird, einen gleich großen Elektrizitätsstrom hervorbringen, er mag schnell oder langsam hineingeschoben werden. Wird ein Eisenkern angewandt (2668), so ist das erzeugte Resultat dasselbe, sobald nur bei jeder abwechselnden Wirkung der Kern lange genug an den Enden seiner Wanderung gelassen wird, um beim langsamen oder beim schnellen Wech-

sel denselben Zustand anzunehmen. Dieses fand ich wirklich so, wenn kein Commutator oder Elektromagnet angewandt wurde. Ein einmaliges Hineinschieben eines schwachen Magnetpols gab dieselbe Ablenkung, es mochte schnell oder langsam geschehen. Und wenn der Elektromagnet mit rückständiger Kraft (*the residual dominant magnet*), ein Eisendraht-Kern, und der Commutator in seiner Lage *ab* (2677) angewandt ward, gaben vier Hin- und Hergänge *dieselbe* Wirkung am Galvanometer, die Geschwindigkeiten mochten wie 1:5 oder selbst wie 1:10 seyn.

2682. Wird statt des Eisens ein Kern von Kupfer, Silber oder Gold angewandt, so ist die Wirkung ganz anders. Was den Kern selbst betrifft, so hat man keinen Grund zu zweifeln, das durch einen Hin- und Hergang derselbe Betrag von Elektrizität in Form von in ihm circulirenden Inductionsströmen erregt werde, dieser Gang möge schnell oder langsam bewerkstelligt werden. Der obige Versuch (2681) bestätigt in der That einen solchen Schluss. Allein die auf die Drahtrolle ausgeübte Wirkung ist nicht proportional dem ganzen Betrage dieser Ströme, sondern den Maximum-Intensitäten, zu welchen sie sich erheben. Bewegt der Kern sich langsam, so ist die Intensität klein; bewegt er sich rasch, so ist sie groß, und zwar nothwendig, denn ein- und derselbe Elektrizitäts-Strom hat in den beiden verschiedenen Perioden der von der ganzen Reise eingenommenen Zeit zu circuliren. Danach muß der schnell bewegte Kern einen weit höheren Effect auf die kleine Drahtrolle ausüben als der langsam bewegte; und dies fand ich auch wirklich so.

2683. Ich versah den Apparat mit dem kurzen Kupferkern und liefs die Maschine mit der durchschnittlichen Geschwindigkeit arbeiten bis vierzig Hin- und Hergänge vollendet waren. Die Galvanometernadel wich 39° westlich ab. Dann liefs ich die Maschine mit größerer Schnelligkeit ebenfalls 40 Hin- und Hergänge vollziehen; die Nadel wich um 80° oder mehr nach Westen; endlich vollzog sie dieselbe Zahl von Gängen mit geringerer Geschwin-

digkeit, und die Nadel ging nur 21° nach Westen. Die äußersten Geschwindigkeiten bei diesem Versuch verhielten sich wahrscheinlich wie 1:6; die Zeit in dem längsten Fall war bedeutend kürzer als die einer Schwingung der Nadel (2651), so dafs, glaube ich, in dem langsamsten Falle alle Kraft gesammelt war. Die Nadel wird, vermöge der tödtenden Wirkung der unter ihr befindlichen Kupferplatte, sehr wenig durch den Schwung oder das Moment ihrer Theile afficirt, und, mit Ausnahme der Rückkehr zum Nullpunkt, bewegt sie sich nach aufgehörender Bewegung des Apparats sehr wenig. Ein Silberkeru giebt dieselben Resultate.

2684. Diese Effecte inducirter Ströme haben eine Beziehung zu den früher (2310. 2315. 2338) von mir beschriebenen Revulsions-Erscheinungen, indem sie in ihrer erregenden Ursache und ihren Wirkungsprincipien gleich sind, und so bestätigen und erläutern beide Reihen von Erscheinungen einander. Dafs die Revulsions-Phänomene durch Inductionsströme hervorgebracht werden, ist früher (2327. 2329. 2336. 2339) gezeigt worden; der einzige Unterschied ist der, dafs bei ihnen die Inductionsströme erzeugt werden durch die Verstärkung der Kraft eines Magnets, der im festen Abstände von dem afficirten Metall befindlich ist; während bei den vorliegenden Phänomenen, die Kraft des Magnets unverändert bleibt, und nur sein Abstand von dem Metallstück verändert wird.

2685. Dieselben Umstände, welche die Revulsionsphänomene afficiren, thun es auch bei den vorliegenden Erscheinungen. Eine Metallplatte, als Ganzes, erleidet eine gute Revulsions-Wirkung, wird sie aber quer gegen den Lauf der Inductionsströme eingeschnitten (*divided*), so wird sie nicht afficirt (2529). Ein Ringgewinde (*ring helix*) von Kupferdraht zeigt die Erscheinung nicht, wenn seine Enden unverbunden sind, wohl aber, wenn sie verknüpft sind (2660).

2686. Im Ganzen sind die Revulsions-Phänomene ein weit besseres Prüf- und Anzeigemittel für diese Ströme als

die vorliegenden Erscheinungen, besonders wenn man den Vortheil der Zertheilung der Massen in Platten benutzt, um so eine analoge oder bessere Wirkung als mit den cylindrischen Kernen aus Scheiben (2659. 2661) zu erhalten. Platin, Palladium oder Blei, in Blattform, zu Quadraten von einem Zoll in Seite zerschnitten und dann regelmässig zusammengepackt, zeigt die Revulsions-Erscheinungen sehr gut, und zwar gemäß der Richtung der Blätter, nicht nach der äußeren Gestalt. Gold, Silber, Zinn und Kupfer zeigen die Revulsions-Erscheinungen in höherem Grade. Antimon, wie ich bereits nachgewiesen, giebt eine gute Wirkung (2514. 2519). Bei diesem und beim Wismuth lassen sich die erregten Inductionsströme nachweisen, wenn man sie als dünne Platten oder Packete von Platten anwendet, obwohl, um den Einfluß der diamagnetischen Kraft zu vermeiden, etwas Aufmerksamkeit erforderlich ist auf die Momente der Herstellung und Unterbrechung des Contacts zwischen der Volta'schen Batterie und dem Elektromagnet.

2687. Beim Kupfer, wenn es so in Platten zertheilt ist, sind die Revulsions-Erscheinungen in einem Grade gesteigert, wie ich es bis dahin noch nicht gesehen. Ein Stück Kupferfolie, durch Erhitzung angelassen und angelauten, wurde zu einem quadratischen Klötzchen von 0,5 Zoll in Seite und 0,25 Zoll Dicke zusammengefaltet; dieß Klötzchen, welches 72 Lagen enthielt, wurde wie früher (2248) an einem Seidenfaden aufgehängt, und, während es etwa einen Winkel von 30° mit der Aequatoriallinie (2252) bildete, der Elektromagnet erregt; sogleich drehte es sich weiter bis der Winkel etwa 45° oder 50° war; dann stand es still. Bei Unterbrechung des elektrischen Stromes an dem Magnet trat die Revulsion sehr stark hervor, indem der Klotz sich wieder drehte, durch die Aequatoriallinie ging, und dieselbe überschritt bis er auf der andern Seite einen Winkel von 50° oder 60° bildete; allein, statt fortzufahren, in dieser Richtung sich zu drehen wie früher (2315), kehrte er zurück, ging wieder durch die Aequatoriallinie, und erreichte

fast die Axialstellung, ehe er still stand. In der That schwang er als Masse hin und her um die Aequatoriallinie.

2688. Diefs ist jedoch ein einfaches Resultat der früher (2329. 2336) entwickelten Wirkungsprincipien. Die Revulsion entspringt aus der Erregung von Inductionsströmen in der aufgehängten Masse während der Abnahme des Magnetismus im Elektromagnet, und die Wirkung geht dahin, die Axe dieser inducirten Ströme parallel zu stellen der Axe der Kraft in dem magnetischen Felde. Wenn also die Zeit der Abnahme der Magnetkraft und folglich der von ihr abhängigen Ströme gröfser ist als die Zeit, welche die Revulsion des Kupferklötzchens von der Aequatoriallinie aus einnimmt, so wird jede fernere aus dem Moment erfolgende Bewegung durch eine Gegenkraft gehemmt und wenn diese Kraft stark genug ist, kehrt der Klotz zurück. Das Leitvermögen des Kupfers und seine Zertheilung zu Blättern strebt diese Ströme mit grofser Leichtigkeit und ungewöhnlicher Kraft hervorzurufen; und eben diese Kraft macht die Schwingungszeit so kurz, dafs zwei oder selbst drei Schwingungen ausgeführt werden können, ehe die Kraft des Elektromagnets aufgehört hat weiter abzunehmen. Die Wirkung der Zeit, sowohl bei Zu- als bei Abnahme der Kraft, ist schon früher mehrmals (2170. 2650) bemerklich gemacht und hier ist sie sehr schön zu sehen.

2689. Was die angebliche Polarität des Wismuths betrifft, so kann und mufs ich auf einen von Reich angestellten und von Weber beschriebenen Versuch zurückkommen, welcher, wenn ich ihn recht verstehe, folgender ist. Ein starker Hufeisenmagnet ist auf einen Tisch gelegt in solcher Lage, dafs die seine Pole verbindende Linie winkelrecht auf dem magnetischen Meridian ist und als nach einer Seite hin verlängert gedacht wird. In dieser Linie und dem Magnet nahe wird eine kleine kräftige Magnetnadel an einem Seidenfaden aufgehängt, und an der anderen Seite von ihr der Pol eines Magnetstabes angebracht, in solcher Lage und so nahe, dafs er die Wirkung des

Hufeisenmagnets genau aufhebt und die Nadel genau dahin bringt, wo sie bei Anwesenheit beider Magnete seyn würde. Wenn dann eine Wismuthmasse zwischen die Pole des Hufeisenmagnets gelegt wird, soll sie auf die kleine Magnetnadel wirken und sie nach einer gewissen Richtung ablenken; und dieß wird als Anzeige einer Polarität des Wismuths angesehen, da keine solche Wirkung statthat, wenn die Magnete entfernt sind. Ein kleines Stück Eisen, an der Stelle des Wismuths, bewirkt eine entgegengesetzte Ablenkung der Nadel.

2690. Ich habe diesen Versuch aufs Aengstlichste und Sorgfältigste wiederholt, aber niemals die geringste Spur einer Wirkung mit dem Wismuth erhalten. Mit dem Eisen habe ich zwar eine Wirkung bekommen, allein in diesen Fällen war sie weit schwächer als wenn das Eisen aufserhalb zwischen dem Hufeisen und der Nadel angebracht war oder, bei gänzlicher Entfernung der Magnete, allein auf die Nadel wirkte. Bei Anwendung eines Granats oder sonst irgend einer schwach magnetischen Substanz konnte ich durchaus nicht finden, daß diese Vorrichtung, was Schnelligkeit oder Empfindlichkeit der Angabe betrifft, vergleichbar sey mit dem Gebrauch einer gewöhnlichen oder einer astatischen Nadel, und deshalb kann ich nicht begreifen, wie sie zu einem Reagenz auf Polarität des Wismuths werden könne, wenn letztere dieselbe nicht mehr anzeigen. Vielleicht habe ich einen Irrthum begangen, wie wohl ich denselben weder aus der Beschreibung noch aus den Principien der Polarwirkung erkennen kann.

2691. Es giebt einen Versuch, welchen Plücker mir zugeschrieben hat, und welcher auf den ersten Blick eine starke Anzeige von Polarität des Wismuths zu liefern scheint. Wenn ein Stab von Wismuth oder Phosphor horizontal zwischen den Polen eines Elektromagnets aufgehängt wird, so geht er mit einer gewissen Kraft zu der Aequatorial-Lage, begiebt sich also, wie ich gesagt habe, aus stärkeren zu schwächeren Wirkungsorten (2267). Wird etwas unter der Ebene, in welcher der diamagnetische Stab sich

bewegt, ein Eisenstab von gleicher Größe in der aequatorialen Lage befestigt, so wird ersterer mit weit größerer Kraft als zuvor in die aequatoriale Lage gehen; man betrachtet dies als einen Beweis, daß der diamagnetische Körper an der Seite, wo das Eisen nordpolar ist, Südpolarität habe, und daß an der anderen Seite die Südpolarität des Eisens mit einer Nordpolarität des Wismuths zusammenfalle.

2692. Es ist jedoch sehr einleuchtend, daß die Linien der Magnetkraft durch die Gegenwart des Eisens genugsam in ihrer Intensität und Richtung (*Intensity of direction*) abgeändert werden, um die erhöhte Wirkung vollständig zu erklären. Denn betrachten wir den Stab, wie er eben diese axiale Lage verläßt, um in die aequatoriale überzugehen: Im Moment seines Ausganges befinden sich seine Enden an Orten stärkerer Magnetkraft als zuvor, denn es kann nicht einen Augenblick bezweifelt werden, daß der Eisenstab mehr Kraft von Pol zu Pol des Elektromagnets hervorruft als ohne ihn vorhanden ist. Andererseits sind die Enden, wenn er die aequatoriale Lage erreicht hat, einer viel schwächeren Magnetkraft unterworfen als zuvor an denselben Orten; denn der Eisenstab lenkt auf sich viel von der Kraft herab, welche, bei seiner Abwesenheit, in der vom Wismuth eingenommenen Ebene vorhanden wäre. Wenn also der diamagnetische Stab durch 90° geht wird er von einer weit größeren Intensitätsdifferenz der Kraft angetrieben, wenn das Eisen da ist als wenn es fehlt, und daraus entspringt wahrscheinlich die ganze Verstärkung des Resultats. Die Wirkung ist ähnlich vielen anderen, welche ich bei der magnekrySTALLISCHEN Wirkung erwähnt habe (2487 — 97) und liefert, wie ich glaube, durchaus keinen experimentellen Beweis für die Polarität des Wismuths.

2693. Endlich bin ich genöthigt zu sagen, daß ich weder in meinen eigenen Versuchen, noch in der Wiederholung derer von Weber, Reich und Anderen, irgend einen experimentellen Beweis zur Stütze der Hypothese von einer diamagnetischen Polarität finden kann (2640). Ich sage

sage nicht, daß eine solche Polarität nicht existire; und ich würde es für möglich halten, daß Weber durch weit empfindlichere Apparate als die meinigen eine Spur von ihr erhalten habe, wenn er nicht dann auch sicher die weit kräftigeren Wirkungen des Goldes, Kupfers, Silbers und anderer gut leitender diamagnetischer Körper bemerkt haben würde. Wenn Wismuth irgend eine Wirkung gäbe, so müßte sie sich durch die Lage des Commutators, durch Zertheilung oder Pülverung der Masse, durch den Einfluß der Zeit u. s. w. zu erkennen geben. Es scheint mir auch, daß wie die magnetische Polarität des Eisens und Nickels, in sehr geringer Quantität und unter ungünstigen Zuständen, weit leichter durch den Effect auf eine astatiche Nadel oder durch die Einstellung zwischen den Polen eines Hufeisenmagnets als durch Vorrichtungen, wie die von mir oder Weber oder Reich benutzten, angezeigt wird, ebenso die magnetische Polarität auf demselben Wege leichter erkennbar seyn müßte, und daß keine Anzeige von jener Polarität bisjetzt diejenigen in Kraft und Werth erreicht habe, welche schon von Brugmans und mir gegeben worden sind.

2694. So bleiben dann die Wirkungen, deren Typen das Eisen, das Kupfer und das Wismuth sind, bisjetzt gesondert, und ihre Beziehungen zu einander nur theilweis uns bekannt. Ohne Zweifel wird ein umfassenderes und einfacheres Gesetz als uns bisjetzt bekannt ist, noch künftig entdeckt werden, und gerade die Schönheit der Weber'schen Hypothese in dieser Beziehung war es, was mich hauptsächlich zu dem Bemühen veranlaßte, dieselbe festzustellen.

2695. Obschon ich, nach den obigen Betrachtungen (2693), wenig Hoffnung auf irgend ein nützlichcs Resultat hegte, so hielt ich doch für gut, gewisse magnekrySTALLISCHE Kerne der Wirkung des Apparats zu unterwerfen. Einer dieser Kerne bestand aus einer großen Gruppe symmetrisch gelagerter Wismuthkrystalle (2457), ein anderer aus einem sehr großen Krystall von rothem Cyaneisenkalium, ein dritter aus einem Krystall von Kalkspath, ein vierter

und fünfter aus Krystallen von Eisenvitriol. Diese wurden zu Cylindern geformt, deren Axen parallel waren beim ersten und vierten: den magnekrySTALLischen Axen (2479), und beim zweiten, dritten und fünften: der aequatorialen Richtung der Kraft (2594. 2595. 2596). Nur der vierte und fünfte gab eine Wirkung auf das Galvanometer, und diese war der des gewöhnlichen Magnetismus gleich.

2696. Einige der von mir gebrauchten Ausdrücke könnten die Meinung veranlassen, daß ich glaubte, es würden bei Anwendung von kupfernen und anderen Kernen zuerst durch den Elektromagnet Ströme in ihnen inducirt, die dann die in der kleinen Drahtrolle beobachteten Ströme inducirten. Ob die Kerne direct auf die Drahtrolle oder indirect durch ihren Einfluß auf den Elektromagnet wirken, ist eine sehr interessante Frage, und ich habe es schwierig gefunden, Ausdrücke zu wählen, welche nicht in gewissem Grade dieser Frage vorgegriffen hätten. Mir scheint es wahrscheinlich, daß die Kerne indirect auf die Drahtrolle wirken, und daß ihre unmittelbare Wirkung ganz auf den erregenden Elektromagnet gerichtet ist, wodurch sie, sie mögen aus magnetischen oder diamagnetischen Metallen bestehen, entweder permanent oder vorübergehend an Kraft zunehmen, die für diese Zeit auf jenen gerichtet ist. Bevor der Kern sich bewegt, um sich dem Magnet zu nähern, sind Magnet und Drahtrolle in inniger Beziehung, und die letztere befindet sich in dem intensiven Feld der Magnetkraft, welche dem Pol des ersteren angehört. Ist der Kern von Eisen, so veranlaßt er, bei seiner Annäherung an den Magnet, eine stärkere Convergenz und Concentration der magnetischen Kraftlinien auf sich selbst, und diese, so concentrirt, gehen durch die Drahtrolle, quer gegen deren Windungen, und vermögen somit in diesen die erhaltenen Ströme zu erzeugen (2653. 2668). So wie das Eisen zurückweicht, divergiren diese Kraftlinien, und indem sie die Drahtlinie in der Rolle (*the line of the wire in the helix*) abermals und in entgegengesetzter Richtung zu ihrem früheren Laufe schneiden, erregen sie einen entgegengesetzten

Strom. Es scheint bei Betrachtung der Thätigkeit des Eisenkerns nicht nothwendig eine directe Wirkung desselben auf die Drahtrolle oder eine andere Wirkung als die auf die Kraftlinien des Magnets anzunehmen. In solchem Falle würde die Wirkung desselben auf die Drahtrolle eine indirecte seyn.

2697. Nach demselben Räsonnement würde auch ein Kupferkern, wenn er in die Drahtrolle eintritt, nur indirect auf dieselbe wirken. Denn die in ihm erregten Ströme, werden durch den directen Einfluß des Magnets hervorgerufen und müssen aequivalent auf denselben zurückwirken. Diefs thun sie und vermöge ihrer Richtung und bekannten Wirkung bewirken sie eine Divergenz der magnetischen Kraftlinien. So wie der Kern die Schnelligkeit seiner Bewegung verringert oder zur Ruhe kommt, hören die Ströme in demselben auf und dann convergiren die Kraftlinien. Diese Divergenz oder Convergenz oder der Durchgang in zwei Richtungen durch den Draht der kleinen Rolle ist hinreichend zur Erregung der beiden Ströme, welche beim Vorrücken des Kerns gegen den Elektromagnet erhalten werden (2671. 2673). Beim Rückgange des Kerns wird ein entsprechender Effect in entgegengesetzter Richtung erzeugt.

2698. In der Idee, dafs die Wirkungen des Kerns nicht dieser Art, sondern directer auf die Drahtrolle gerichtet seyen, schaltete ich während des Versuchs zwischen Draht und Rolle verschiedene Substanzen ein, zunächst einen dicken Kupfercylinder 2,2 Zoll lang, 0",7 von äufserem und 0",1 von innerem Durchmesser, also von 0",3 Wanddicke. Mit Anwendung eines Eisenkerns (2668) war indess die Wirkung, wie auch der Versuch geleitet ward, der Art und dem Betrage nach dieselbe wie wenn das Kupfer fortgenommen oder durch Glas oder Luft ersetzt war. Wurde der Elektromagnet entfernt und die Drahtrolle (*wirecore*) zu einem Magnet gemacht, ergaben sich dieselben Resultate.

2699. Nun brachte ich eine andere Kupferhülle, einen

Cylinder von 2",5 Länge, 1",0 äußerem Durchmesser und 0",125 Zoll Wanddicke, in die Drahtrolle und wandte Silber- und Kupferkerne von $\frac{5}{8}$ Zoll Dicke, wie zuvor, bei bester Einstellung des Commutators an (2675). Allein die Wirkungen waren mit und ohne Kupfer, mit und ohne Glas, genau dieselben (2698).

2700. Keinem Zweifel unterliegt es, daß die Kupferhüllen während des Versuchs voller Ströme waren und dagegen in den sie ersetzenden Hüllen von Luft und Glas keine Ströme existirten. Man hat auch allen Grund zu der Annahme, daß die oben (2697) vermuthete Divergenz und Convergenz der Magnetkraftlinien, bei Voraussetzung einer indirecten Wirkung der Kerne, dergleichen Ströme genügend erklären. Wollte man diese Voraussetzung verwerfen, dann scheint mir müßte man annehmen, die Gesammtheit der anwesenden Körper, Magnet, Drahtrolle, Kern, Kupferhülle oder die sie ersetzende Hülle von Glas oder Luft, seyen in einem Zustand von Spannung, wobei ein jeder Theil auf jeden übrigen wirkt, und dasjenige darstelle, was ich früher (1729) elektrotonischen Zustand nannte.

2701. Das Vorrücken des Kupfers macht die Magnetkraftlinien divergiren oder treibt sie gleichsam vor sich hin (2697). Ohne Zweifel findet eine Reaction auf das vorrückende Kupfer und eine Erzeugung von Strömen in demselben statt, in solcher Richtung, daß sie, bei weiterem Vorrücken, die Divergenz fortsetzen können. Allein es scheint nicht logisch zu sagen, daß die Ströme, welche durch die Kraftlinien im Kupfer entstehen, die Ursache der Divergenz der Kraftlinien seyen. Vielmehr scheint mir, daß die Kraftlinien durch das vorrückende Kupfer (oder, bei anderer Form des Versuchs, durch den quer gegen die Kraftlinien bewegten geschlossenen Draht) gleichsam divergent gemacht oder auswärts gebogen werden, und daß die Reaction der Kraftlinien auf die Kräfte in den Kupfertheilchen diese veranlassen, sich in einen Strom aufzulösen, durch welchen der Widerstand entladen (*discharged*) und entfernt wird

und die Kraftlinie an ihren Ort zurückkehrt. Ich verbinde mit dem Worte *Kraftlinie* keine andere Meinung als ich bei einer früheren Gelegenheit ausgesprochen habe (2149).

VI. *Bemerkungen über die Kräfte, welche durch Vertheilung magnetisirte ferro und diamagnetische nicht krystallinische Substanzen erleiden;*
von William Thomson,

Prof. der Physik an der Universität zu Glasgow.

(*Philosoph. Magazine Ser. III. Vol. 37. p. 241.*)

Das merkwürdige Gesetz, welches Faraday in seiner Abhandlung über den magnetischen Zustand aller Substanzen niedergelegt hat, *dass eine in der Nähe eines Magnets befindliche kleine Portion von diamagnetischer Substanz einen Druck erfährt, der sie von Orten stärkerer Kraft nach Orten schwächerer treibt*, ist eine einfache Folgerung aus der mathematischen Lösung des Problems, die Wirkung zu bestimmen, die auf eine kleine Kugel von inductiv magnetisirter Substanz vermöge ihres inducirten Magnetismus ausgeübt wird. Ohne in die analytische Untersuchung einzugehen, welche in dem Aufsatz: »Ueber die auf Kügelchen unter magnetischem Einfluss ausgeübten Kräfte und über einige Erscheinungen bei diamagnetischen Substanzen«¹⁾ befindlich ist, will ich in der gegenwärtigen Mittheilung die Resultate derselben und einige daraus zu ziehende Schlüsse kurz angeben.

I. Es sey P ein Punkt in der Nähe eines Magnets und P' ein anderer, in dem unendlich kleinen Abstände α von P . Bezeichne R die Kraft, welche eine »Nordpol-

1) *Cambridge and Dublin Mathematical Journal*, Mai 1847.