

ritäten der entfernten Magnetpole unterworfen seyn sollten, und nicht auch den ähnlichen Polaritäten der benachbarten Theilchen.

### III. Vier und zwanzigste Reihe von *Experimental-Untersuchungen über Elektrizität;* *von Michael Faraday.*

(Mitgetheilt vom Hrn. Verf. aus den *Philosoph. Transact. f. 1851.*)<sup>1)</sup>

§. 30. Ueber den möglichen Zusammenhang der Schwerkraft mit der Elektrizität.

2702. **D**ie lange und beständige Ueberzeugung, daß alle Naturkräfte von einander abhängen, einen gemeinschaftlichen Ursprung haben oder vielmehr nur verschiedene Ausserungen Einer Grundkraft (2146) seyen, hat mich oft daran denken lassen, ob es nicht möglich sey, einen Zusammenhang zwischen Schwerkraft und Elektrizität experimentell nachzuweisen, und somit die erstere einzureihen in die Gruppe, welche, auch Magnetismus, chemische Kraft und Wärme einschließend, so viele und so verschiedenartige Kraftäusserungen durch gemeinsame Beziehungen verknüpft. Obwohl meine Untersuchungen über diesen Gegenstand nur negative Resultate gegeben haben; so glaube ich doch, daß eine kurze Angabe von dem Gegenstande wie er sich mir zuerst darbot, und von den Resultaten der Versuche, die anfangs sehr ermuthigend waren, aber bei sorgfältiger Nachspürung der Fehlerquellen sich auf ihren wahren Werth reducirten, nicht nutzlos seyn werden, sowohl um das Problem im Allgemeinen zu bezeichnen, als auch um Andere auf dasselbe aufmerksam zu machen.

2703. Beim Nachdenken über ein Princip, auf welches

1) Die 23. Reihe findet sich im Bd. 82 (S. 75 und 232) dieser Annalen.

ches eine experimentelle Forschung nach der Identität oder Relation zweier Kräfte gegründet werden könnte, schien es, dafs, wenn eine solche Relation existirte, etwas in der Schwerkraft liegen müfste, welches der dualen oder antithetischen Natur der Kraftformen in der Elektrizität und dem Magnetismus entspräche. Mir schien es möglich, dafs das Fallenlassen (*ceding to the force*) oder Annähern gravitirender Körper einerseits, und die kräftige Umkehrung der Kraft oder die Trennung dieser Körper andererseits die Correspondenzpunkte darbieten möchten; Ruhe wäre (in Bezug auf Bewegung) der neutrale Zustand. Die endliche Unveränderlichkeit der Schwerkraft wäre einer solchen Voraussetzung nicht entgegen; denn bei Ruhe würden die wirkenden Körper immer dieselbe Beziehung zu einander haben, und nur während der Bewegung hin und her würde irgend ein mit der Elektrizität verwandtes Resultat zu erwarten seyn. Solche Resultate, wären sie möglich, könnten nur äufserst klein seyn, allein, wenn sie *möglich* d. h. wirklich wären, würden keine Worte den Werth der durch sie festgestellten Beziehung übertreiben können.

2704. Der Gedanke, auf welchem diese Versuche begründet wurden, war: dafs, während zwei Körper vermöge der Schwerkraft sich einander nähern, in ihnen oder in der umgebenden Materie elektrische Ströme in einer Richtung entwickelt, und wenn sie durch eine äufsere Kraft von einander ab, gegen die Schwerkraft, bewegt würden, dergleichen Ströme in umgekehrter Richtung hervorgebracht werden könnten; ferner, dafs diese Ströme in Beziehung ständen zu der Linie des Näherns und Entfernens, und nicht zum Raum im Allgemeinen, so dafs zwei einander nähernde Körper Ströme von entgegengesetzter Richtung in Bezug auf den Raum hätten, aber, bezüglich ihrer Bewegung längs der sie verknüpfenden Linie, Ströme von gleicher Richtung. Es wäre unnöthig, weiter in die hieraus entspringenden Voraussetzungen einzugehen oder den Effect der gezwungenen, entweder mit der Gravitation der

Erde coïncidirenden oder sie durchkreuzenden Bewegungen zu betrachten; nur mag gesagt seyn, dafs, da der erwartete Effect jedenfalls ungemein klein seyn mußte, keine Hoffnung auf Erfolg anders als mittelst der Gravitation der Erde gehegt wurde. Zu dem einen Körper wurde also die Erde genommen, und mit irgend einem anderen der Versuch angestellt.

2705. Zunächst wurde der Körper, den man fallen liefs, mit einer Drahtrolle umgeben, und dann der Effect seines Fallens beobachtet. Man kann dabei den Körper mit der Drahtrolle oder durch dieselbe fallen lassen. Es wurde daher überspannter Kupferdraht von 350 Fufs Länge zu einem hohlen Cylinder von 4 Zoll Länge, 1 Zoll innerem und 2 Zoll äusserem Durchmesser aufgewickelt, und dieser dann an einer Schnur befestigt, die über eine leichte Rolle ging, vermöge welcher er 36 Fufs gehoben, und dann mit beschleunigter Geschwindigkeit, bei steter Senkrechtigkeit seiner Axe, auf ein sehr weiches Kissen fallen gelassen werden konnte. Lange überspinnene Drähte wurden mit seinen beiden Enden verknüpft, und, zusammengedreht, zu einem sehr empfindlichen Galvanometer geführt, welches 50 Fufs von der Falllinie entfernt, im Niveau mit der Mitte derselben aufgestellt war. Endlich überzeugte man sich von der Genauigkeit der Verknüpfungen und der Richtung der Einstellung der Nadel durch Einschaltung einer kleinen Thermokette in die Leitung. Das Heben und Senken einer solchen Drahtrolle kann keine Ablenkung der Galvanometers durch einen vom Erdmagnetismus herrührenden Strom verursachen; denn da sie während des Falls sich selbst parallel bleibt, so werden auch ihre Drahtwindungen an beiden Seiten von den Linien gleicher Magnetkraft, welche der magnetischen Neigung parallel sind, mit gleicher Geschwindigkeit durchschnitten, und folglich kann keine magneto-elektrische Induction zu Stande kommen. Wirklich zeigte auch diese Drahtrolle beim Aufsteigen oder Fallen keine Spur von Wirkung auf das Galvanometer, es mochte die Verbindung mit dem Galvanometer während der ganzen

Zeit unterhalten, oder just vor der Verringerung oder Aufhebung der Bewegung unterbrochen, oder auch das Heben und Fallenlassen isochron mit den Schwingungen der Galvanometernadel bewerkstelligt werden. So schien, wiewohl die Schwerkraft keinen Effect in der Drahtrolle selbst ausübte, doch keine Fehlerquelle aus dieser Benutzungsweise derselben zu entspringen.

2706. Nun wurde ein solider Kupfercylinder, von 0,75 Zoll Durchmesser und 7 Zoll Länge, in die Drahtrolle gesteckt, sorgfältig darin befestigt und mit Tuch umwickelt, so daß er sich nicht bewegen konnte; diese zusammengesetzte Vorrichtung wurde, wie die frühere, fallengelassen (2705). Sie gab sehr kleine, aber merkwürdig regelmäßige Anzeigen von einem Strome im Galvanometer, und die Wahrscheinlichkeit, daß diese von der Schwerkraft herrührten, erhöhte sich, als man fand, daß beim Heben der Drahtrolle oder des Kerns ähnliche Anzeigen von entgegengesetzten Strömen erschienen. Es verging einige Zeit, ehe ich diese Ströme auf ihre wahre Ursache zurückzuführen vermochte; allein zuletzt entdeckte ich diese in der Wirkung eines Theils der Verbindungsdrähte, die von der Rolle zum Galvanometer führten. Die beiden Drähte waren regelmäßig zusammengedreht, allein in Folge des öfteren Fallens hatte sich ein Theil in der Mitte zu einer Art Schleife aufgelöst, so daß die Drähte, statt wie die Stränge eines Taus dicht zusammengedreht zu seyn, auf einer Strecke von drei Fuß neben einander fortliefen. Beim Fallen öffnete sich diese Schleife mehr oder weniger, aber immer in derselben Weise; und die Folge davon war, daß der Theil von ihr, welcher die transversale Oeffnung bildete und am weitesten vom Galvanometer war, einen größeren Raum durchwanderte als der nächste Theil am Galvanometer. Hätten sie gleichen Raum durchwandert, so würde der Effect der Kräftlinien des Erdmagnetismus auf sie gleich gewesen seyn und es hätte keine Wirkung auf das Galvanometer erzeugt werden können; so aber wurden Ströme von entgegengesetzter Richtung und ungleicher Stärke erregt, und

es mußte also ein dem Unterschied gleicher Strom wirklich zum Vorschein kommen. Ein solcher Fall ist in meinen früheren Versuchen über die Erdmagneto-elektro-Induction (171) beschrieben. Offenbar mußte der Strom in umgekehrter Richtung erscheinen, so wie Rolle und Drähte in der Luft gehoben wurden, und dadurch entstand der eben beschriebene umgekehrte Effect. Deshalb lieferte diese Anwendung des Kupferkerns in der Drahtrolle keinen positiven oder günstigen Beweis für die ursprüngliche Voraussetzung.

2707. Das Kupfer war gewählt worden, weil es ein schwerer Körper und vortrefflicher Elektrizitätsleiter ist. Statt seiner wurde nun ein gleicher Cylinder von Wismuth genommen, als eine äußerst diamagnetische und, unter den Metallen, schlecht leitende Substanz. Es ergaben sich unsichere Anzeigen; allein bei genauer Aufmerksamkeit erst auf diesen, dann auf jenen Punkt, verschwanden alle Anzeigen, und das Heben und Fallenlassen des Wismuths hatte keine Wirkung auf das Galvanometer.

2708. Hierauf wurde ein Cylinder von *Eisen*, als einem magnetischen Metall, angewandt; allein als er in der Drahtrolle wohl befestigt worden, daß er sich darin nicht bewegen konnte, war er so unwirksam wie der von Kupfer und Wismuth (2706 2707).

2709. Cylinder von Glas und Schellak, also nicht leitenden Substanzen, wurden gleichfalls ohne Erfolg angewandt.

2710. Bei anderen Versuchen war die Drahtrolle befestigt, und die verschiedenen Substanzen wurden, als Cylinder von 0,75 Zoll Durchmesser und 24 Zoll Länge, entweder hindurch fallen gelassen oder mit beschleunigter Geschwindigkeit aufwärts durchgezogen; allein in beiden Fällen war der Effect Null. Angewandt wurden Stäbe von Kupfer, Wismuth, Glas, Schellack und Schwefel. Bisweilen wurden diese Stäbe vor oder während ihres Falles in rasche Umdrehung versetzt, bisweilen auch anderen Abänderungen unterworfen, aber immer mit negativem Erfolg, wenn alle Fehlerquellen vermieden oder beachtet worden waren.

2711. Beim ferneren Nachdenken über die ursprüngliche Hypothese von einer Beziehung zwischen den Kräften und über die etwaigen Effecte eines Spannungszustandes in und zwischen den Körpertheilchen, welche, wie wir wissen, zugleich der Sitz von gravitirenden und elektrischen Kräften sind und der Gravitation der Erde unterliegen, schien es wahrscheinlich, dafs das Hemmen der in der Schwerkraftlinie auf- und abgehenden Bewegung (2703. 2704), gleichviel, ob ein plötzliches oder allmäliges, entgegengesetzte Effecte wie das Anfangen dieser Bewegung haben würde, auch dafs eine Herabbewegung schneller als die, welche die Schwerkraft einzuprägen vermag, gröfsere Effecte als diese Kraft geben, und ebenso eine entsprechende Beschleunigung der Hinaufbewegung verhältnifsmäfsig wirksamer seyn würde. In solchem Fall würde eine Maschine, die einen raschen Wechsel von Hinauf- und Hinab-Bewegung gewährte, sehr nützlich seyn, um viele kleine Inductionswirkungen in beschränktem Raum und mäfsiger Zeit hervorzubringen; denn durch geeignete Commutatoren könnten die beschleunigten und verzögerten Theile jeder halben Schwingung gesondert und wieder zu einem übereinstimmenden Strom vereinigt werden, und dieser Strom liefs sich durch das Galvanometer senden, in einer Richtung, während die Nadel nach der einen Seite schwingt, und in der umgekehrten, während sie zurückschwingt; und so abwechselnd fort, bis der Effect, wenn überhaupt einer von der vorausgesetzten Ursache erzeugt würde, merklich geworden wäre.

2712. Die zu diesem Zweck von mir angewandte Maschine ist die in der letzten Reihe dieser Untersuchungen (2643) beschriebene, nur dafs der Elektromagnet, der zum Experimentiren dienende Kern und der ihn führende Stab entfernt waren; *a, b, c* (Fig. 7 Taf. I.) ist ein Brett, *ddd* ein hölzerner Hebel und *e* seine Axe; *f* die Kniescheibe und *g* die grofse Scheibe mit ihrer Handhabe *h*; *i* die Stange welche Kniescheibe und Hebel verknüpft; *q* das Galvanometer, *r* der Commutator; *w* Verbindungsdrähte; *s, s*

Springfedern von Messing oder Kupfer,  $t$  ein Kupferstab, der beide Hebelarme verbindet, um ihnen Festigkeit zu geben;  $u$  die hohle Drahtrolle, befestigt oder beweglich nach Belieben. Die Maschine ist im  $\frac{1}{15}$  der natürlichen GröÙe dargestellt; sie konnte in jeder Lage aufgestellt werden. Der ihrer Wirkung unterworfenen Cylinder von Metall oder anderer Substanz war 5,5 Zoll lang und 0,75 Zoll dick, festgehalten zwischen den Enden  $d$ ,  $d$  der Hebelarme. Die Erstreckung der abwechselnden Bewegung betrug 3 Zoll. Eine hohle Drahtrolle  $u$  von 2,5 Zoll Länge und solchem inneren Durchmesser, daß die Cylinder ihre raschen Hin- und Hergänge ohne Gefahr des Anstossens an die Seiten vollziehen konnten, enthielt 516 Fufs übersponnenen Kupferdraht. Diese Drahtrolle (*this cylinder*) wurde entweder unverrückbar befestigt oder mit dem zu untersuchenden Cylinder fest verbunden, so daß sie sich mit diesem bewegen mußte. Von dieser Drahtrolle führten Verbindungsdrähte zum Commutator und von da zum Galvanometer. Das Moment dieser Maschine wurde theilweise von den Federn  $s$ ,  $s$  (2648) aufgefangen, und in entgegengesetzte Bewegung verwandelt; allein es blieb noch so viel desselben übrig, daß groÙe Sorgfalt in der Befestigung nöthig war, um der Maschine einen gleichmäÙigen Gang zu geben und Störungen im Cylinder und an der Drahtrolle zu verhüten, die sonst rasch eintreten und öfters elektrische Ströme verursachen.

2713. Cylinder von Eisen, Kupfer und anderen Substanzen in dieser Maschine angewandt, gäben leicht Elektroströme in verschiedener Weise. Eisen z. B. könnte vermöge der Polarität, die es unter dem Einfluß der Erde annimmt, magnetoelektrische Ströme geben, und diese ließen sich am besten entdecken und sondern, wenn man durch zweckmäÙig angebrachte Magnete die durch das Eisen gehenden Magnetkraftlinien neutralisirte oder umkehrte. Ströme, wie die in Kupfercylindern und andern guten Leitern erzeugten, (2663. 2684) könnten durch Wirkung der Erde entstehen; allein da die Linien der Schwerkraft und des Erdmagne-

tismus gegen einander neigen, so könnte diese durch die Lage getrennt werden; überhaupt scheint mir, dafs es keinen Fehler giebt, den man nicht bei Sorgfalt vermeiden könnte. Ich will nicht beschreiben, wie diese Erkenntnifs erlangt wurde, sondern sogleich zu den Hauptresultaten übergehen.

2714. Der Kupfercylinder (2712) wurde in die Maschine eingesetzt und die Drahtrolle ihn umgebend unverrückbar befestigt, auch das Ganze in solche Lage gebracht, dafs der Cylinder senkrecht war und sich in der Drahtrolle auf und ab parallel der Linie der Schwerkraft bewegte. Wie rasch aber auch die Maschine arbeitete und welche Lage auch der Commutator hatte, so war doch kein Resultat am Galvanometer sichtbar. Cylinder von Wismuth, Glas, Schwefel, Guttapercha etc. gaben ebenfalls negative Resultate.

2715. Hierauf wurde die Drahtrolle von ihrer festen Unterlage entfernt, und an dem Kupfercylinder befestigt, so dafs sie sich nur mit diesem bewegen konnte. Jetzt erhielt man sehr regelmässige und verhältnismässig grosse Wirkungen; allein bald liefsen sich dieselben auf andere Ursachen als die Schwerkraft, nämlich auf folgende, zurückführen. Die Drahtrolle war auf dem einen Ende des Hebels befestigt, 22 Zoll von dessen Axe; und da sie 2 Zoll im Durchmesser hielt, waren ihre Drähte an der einen Seite nur 21 Zoll, an der anderen aber 23 Zoll von dieser Axe entfernt. Beim Vibriren bewegten sich also diese Theile mit Geschwindigkeiten und durch Räume, die sich wie 21 : 23 verhielten. Wenn daher diese Bewegungen quer auf den Linien des Erdmagnetismus geschahen, so suchten sich in diesen verschiedenen Theilen Elektroströme zu bilden, deren Stärke jenen Zahlen proportional waren und da die Unterschiede dieser Ströme beständig von den Commutatoren aufgesammelt wurden, so kamen sie am Galvanometer zum Vorschein. Diefs wurde sichtbar gemacht, indem man die Maschine so aufstellte, dafs, während die Schwingungsebene noch vertical war, die Drahtrolle sich

gerade unter der Bewegungsaxe befand, ihre Mittellinie also nicht vertical, sondern horizontal lag. Die Windungen der Drahtrolle schnitten nun die Magnetkraftlinien in der günstigsten Weise, und in Folge deß war der Commutator nicht mehr erforderlich, denn eine einzige Bewegung der Drahtrolle in einer Richtung reichte hin, die inducirten magneto-elektrischen Ströme am Galvanometer nachzuweisen. Wurde dagegen die Ebene der Bewegung horizontal gelegt, so liefs sich durch keinen Betrag von Bewegung ein Strom erregen; denn obwohl die Drahtrolle horizontal lag und nicht merklich mehr als zuvor, so bewegten sich doch jetzt die Drahtwindungen, welche (oben und unten) die magnetischen Kraftlinien schnitten, mit genau gleicher Geschwindigkeit, so dafs das Resultat des Unterschiedes Null seyn mußte.

2716. Das vorhergehende kleine Resultat (2715) mußte also wahrscheinlich von einem Effect dieser Art abhängen, und dieß bestätigte sich, als man die Maschine in solche Lage brachte, dafs die Axe des Cylinders und der Drahtrolle, in dem mittleren Theil ihrer Bewegung, parallel war der magnetischen Neigung; denn es entstand keine Wirkung, und andere Körper in derselben Lage waren gleichfalls unwirksam.

2717. Hier enden für jetzt meine Versuche; ihre Resultate sind negativ. Dennoch ist mein Glaube an das Daseyn einer Beziehung zwischen Schwerkraft und Elektrizität dadurch nicht erschüttert.

*Royal Institution, 19. Juli 1850.*