VII.

Ueber die durch Schwingungen, Rotation und Ablenkung versichtbarte Gegenwirkung zwischen der Magnetnadel und andern metallischen oder nicht metallischen Substanzen;

von

G. F. P O H L.

Die Phänomene der sogenannten elektrischen Ladung sind öfter schon mit den Wirkungen des im Stahl permanenten Magnetismus verglichen worden. Man betrachtete die elektrische Ladung als eine reelle und directe Mittheilung gleichnamiger elektrischer Thätigkeiten und schloß umgekehrt wieder von dieser vermeintlichen Ladung auf die Phänomenologie des Magnetismus zurück, den man sonach als eine ähnliche, nur auf irgend eine Weise modificirte elektrische Ladung des Stahls ansehen und begreiflich machen wollte. Aber dieser Ansicht fehlt es, schon vermöge des dabei ganz unbestimmt gelassenen Verhältnisses zwischen beiden durchaus verschiedenen Erscheinungsgebieten, eben so sehr an Haltung, wie der aus den elektromagnetischen Wirkungen abstrahirten Hypothese einer empirischen Identität der Elektrizität und des Magnetismus überhaupt, und sie wird dadurch vollends unstatthaft, daß, während der permanente Magnetismus des Stahls unfehlbar eine direct mitgetheilte, und im Sinne der früheren Einwirkung fortbestehende Thätigkeit ist, die sogenannte elektrische

Ladung keineswegs in einer solchen unmittelbaren Mittheilung besteht, sondern vielmehr, wie ich in einer besondern Abhandlung (Kasner's Archiv, B: 6. S. 385), und am ausführlichsten im 5ten Abschnitte meines *Processus der galvanischen Kette* gezeigt habe, eine der vorhergehenden Einwirkung geradehin und schnurstracks entgegengesetzte Reaction der Masse ist.

Das sorgfältigere Studium dieser Reactionsercheinungen führt aber sehr bald zu umfassenderen Gesichtspunkten, von denen sich Ausichten über das Gebiet der elektrischen Phänomene, so wie über jedes Feld von Erscheinungen eröffnen, die irgend einer dynamischen Thätigkeit des Naturlebens ihren Ursprung zu verdanken haben, und es ist meine Absicht, zu zeigen, daß eben die in der Ueberschrift dieses Aufsatzes bezeichneten Wechselwirkungen zwischen dem Magneten und irgend einer nach dem gewöhnlichen Sprachgebrauche nicht magnetisch genannten Substanz, welche anfänglich scheinbar einer leichteren Deutung fähig, durch die von dem Entdecker selbst gegebene Erweiterung ihrer Phänomenologie (s. diese Annalen B. 7. S. 390 ff.), jedoch wieder in eine räthselhaftere Gestalt gehüllt zu werden scheinen, in der That nichtsdestoweniger unter einem klaren und verständlichen Charakter hervortreten, sobald sie als Reactionsercheinungen im Gebiete der magnetischen Thätigkeit aufgefaßt werden.

Jede innerhalb eines bestimmten Quantums von Materie sich offenbarende, ihr immanente Thätigkeit ist schon als ein Streben, das mehr oder weniger stets hinter seinem Ziele zurück bleibt, nothwendigerweise an und für sich auch mit einer Hemmung, d. i. mit ei-

ner Reaction, als Ausdruck eines intensiven Beharrungsvermögens der Masse verbunden, und der allgemein herrschende Typus der Polarität in den Naturerscheinungen ist nichts anderes, als das Hervortreten dieses relativen Gegensatzes zwischen einer progressiven Tendenz und dieser mit ihr unzertrennlich verbundenen Reaction der Masse.

Wenn aber irgend eine thätige Substanz auf eine andere dadurch einwirkt, daß sie die letztere zu einer mit der ihrigen gleichnamigen Thätigkeit erregt, so muß vollends um so viel mehr, bei dieser in gesonderten Massen Statt findenden Wechselwirkung, ein Gegensatz zwischen Empfangniß und Fortpflanzung der mitgetheilten Thätigkeit einerseits, und zwischen einer gleichzeitigen Reaction gegen diese Mittheilung andererseits in der bekannten polaren Form obwalten, vermöge welcher die ungleichnamigen Extreme der polaren Thätigkeiten einander zugewandt sind, die gleichnamigen hingegen auseinander gehalten werden. Wenn in *A* eine

$$\underline{- A +} \quad \underline{- B +}$$

Thätigkeit herrscht, deren progressive Tendenz auf der einen Seite mit $+$ und deren polare Reaction auf der andern Seite durch $-$ bezeichnet wird, und wenn *B* durch *A* zu derselben Thätigkeit angeregt wird, so muß nicht nur in *B* ein gleicher Gegensatz der progressiven und reagirenden Wirkung schon an und für sich hervortreten, sondern es muß insbesondere auch die reagirende Seite in *B* zunächst und unmittelbar gegen die Seite der Einwirkung von *A* ausgerichtet, und die frei hervortretende, im Sinne der eigentlichen

Erregung sich äußernde Seite der Thätigkeit in *B*, von *A* abwärts gekehrt seyn, so daß also das der positiven Seite von *A* zugewandte Extrem von *B* wiederum als ein negatives, das entgegengesetzte dagegen als ein positiv thätiges sich verhalten muß.

Dieses Ergebniss, welches die atomistische Physik aus dem particulären Gesichtspunkte fingirter, in den Substanzen befindlicher Fluida zu betrachten pflegt, bietet nun aber, je nach dem Grade der von *A* aus wirkenden Kraft und der Empfänglichkeit und Verwandtschaft für diese angeregte Thätigkeit in *B*, mannichfaltige Modificationen dar, die sich vornehmlich unter *drei* wesentlich von einander verschiedene, durch die Erfahrung dargebotene und daher wohl zu bemerkende Kategorieen bringen lassen.

1.

Unter günstigen Umständen kann nämlich zuvörderst die Intensität der Erregung so groß und die hervorgerufene Thätigkeit in *B* so entschieden seyn, daß die letztere, auch nachdem die unmittelbare Einwirkung von *A* auf *B* nicht mehr Statt findet, dennoch eben so und in demselben Sinne, als es während dieser Einwirkung bereits geschah, in *B* an und für sich allein fort dauert; wie es z. B. Statt hat, wenn *A* ein Magnet und *B* ein Stahlstab in dem angemessenen Zustande der Cohäsion seiner Masse ist.

2.

Ein geradehin als entgegengesetzt zu betrachtender Fall wird dargeboten, indem *B* nicht nur während der Einwirkung, wie lebendig übrigens auch die in *B* angeregte Thätigkeit seyn möge, bereits eine

Reaction übt, welche die ursprüngliche Wirkung in *A* beträchtlich schwächt, sondern ganz besonders dadurch, daß, nach der aufgehobenen unmittelbaren Einwirkung von *A* auf *B*, in dem letzteren die Reaction offen und gewaltsam in einer der bisherigen völlig entgegengesetzten Richtung der Thätigkeiten hervortritt, so daß das von *A* abwärts gerichtete Extrem, welches vorher positiv thätig war, jetzt, unter der lebhaften Tendenz zur Vernichtung derselben Thätigkeitsrichtung, negativ, und das nach *A* hingewandte, früher negative, jetzt dagegen positiv thätig erscheint, so lange bis unter diesen, den bisherigen Thätigkeiten schnurstracks entgegengesetzten, Impulsionen die erstrebte Indifferenz wirklich wiederum eingetreten und vollständig zurückgekehrt ist.

Dieser Erfolg spricht sich z. B. höchst vernehmlich aus in den bis dahin verkannten Wirkungen der Ritter'schen Ladungssäule; Ritter selbst hatte ihn so noch nicht aufgefaßt, aber seine wahre Natur, so wie das Wesentliche aller übrigen elektrischen Ladungsphänomene, auch im Gebiete der gemeinen Elektrizität, wie sie sich namentlich an der Leidner Flasche und zum Theil auch am Condensator darstellen, ist von der angegebenen Art. Zu Erörterungen darüber ist hier nicht der Ort, ich muß mich darauf beschränken, auf meine eben erwähnten Darstellungen des Gegenstandes zu verweisen. Dagegen steht es in sehr nahem Zusammenhange mit dem Zwecke des gegenwärtigen Aufsatzes, hier auf ein ähnliches Ergebniss im Gebiete der magnetischen Erscheinungen aufmerksam zu machen, von dem wir erst durch Barlow bei Gelegenheit seiner bekannten Untersuchungen über

die polare Mittheilung des tellurischen Magnetismus an Eisen- und Stahlmassen, durch eine ganze Reihe von Versuchen in Kenntniß gesetzt worden sind. Jene Einwirkung, vermöge welcher, dem allgemeinen Erregungsgesetze gemäß, in unserer arktischen Erdhälfte das untere Extrem der Eisen- oder Stahlmasse nordpolar, das obere südpolär magnetisch erregt wird, ist dadurch bereits als ein minder kräftiger Grad der magnetischen Thätigkeit bezeichnet, daß sie nicht bleibend ist, daß sie sich mit der geänderten Lage des Eisens ebenfalls ändert und daß das Eisen in diesem Zustande zwar noch anziehend und abstoßend auf die Magnetenadel wirkt, aber nicht mehr die Kraft besitzt, das kleinste unmagnetische Eisentheilchen anzuziehen und noch weniger, dasselbe bleibend magnetisch zu machen, und auch dieser geringere Grad der Einwirkung hat bereits gänzlich aufgehört in der Weißgluth des Eisens oder Stahls; es zeigt sich alsdann wenigstens nicht in einem anderen Grade magnetisch, als alle übrige sogenannte nicht-magnetische Substanzen. Der merkwürdige Uebergangspunkt aber, auf welchem gerade die Trennung vor sich geht und auf dem das Eisen, gleich allen übrigen Stoffen, die bisherige Art der magnetischen Einwirkung gänzlich von sich weist, liegt zwischen der Weißgluth und der dunkeln Rothgluth, und hier, im Zustande des hellrothen Glühens, ist es, wo das Eisen die entschiedenste, offen und klar hervortretende Reaction gegen die bisherige magnetische Einwirkung eben so bestimmt zu erkennen giebt, wie z. B. die Ritter'sche Ladungssäule und die Kleist'sche Flasche nach dem Austritte aus dem geschlossenen Kreise der Kette nur

durch eine Reaction gegen die bisherige Einwirkung sich als solche thätig verhalten. In der untern Hälfte der Eisenmasse, welche so lange nordpolar war, tritt alsdann plötzlich Südpolarität, und in der obern bisher südpolaren Hälfte tritt gleichzeitig eine entschiedene Nordpolarität einige Minuten lang hervor. Dabei sind diese polaren Reactionen nach dem Innern der Masse hin gerichtet, so daß sich die Maxima derselben in der Mitte der Eisenmasse unmittelbar zu berühren scheinen *), welches mit meiner, in andern Arbeiten entwickelten Ansicht über die Natur des Magnetismus, nach welcher derselbe eine in der *Einheit* der Masse *von Innen nach Außen* gerichtete *universelle* Tendenz zum Chemismus ist, deren offene Reaction mithin die entgegengesetzte Richtung von Außen nach Innen zeigen muß, sehr wohl zusammenstimmt, während die Elektricität stets eine durch die Differenz *verschiedener* Massen nur *von Außen her* erregte *individuelle* chemische Tendenz ist, deren Maxima beim reagirenden, wie beim progressiven, Effect in die Extreme der Massen fallen.

Ich kann nicht umhin, hiermit noch die folgende Bemerkung zu verbinden. Bevor jene Reaction des Eisens gegen die Einwirkung des Erdmagnetismus eintritt, zeigt es in der dunkeln Rothgluth die gewöhnliche normale Erregung noch in viel stärkerem Grade, als in kaltem Zustande, und es könnte hieraus vielleicht Veranlassung genommen werden, die Richtigkeit der eben entwickelten Betrachtungsweise in Zweifel zu ziehen, indem ihr die Meinung entge-

*) Man vergl. Gilbert's Annalen, Bd. 73. S. 232 ff.

gengesetzt würde, daß die normale Polarität in Folge einer sich regenden Reaction, bis zum Momente des offenen Hervortretens der letzteren, allmählig schwinden und an Intensität fortwährend abnehmen müßte, während sie doch, nach Barlow's Beobachtungen, bis zu dem momentanen Ueberspringen in den entgegengesetzten Zustand beständig zunimmt. Allein eine solche Einwendung würde, weit entfernt, unsere Behauptung zu entkräften, vielmehr da, wo sie geltend gemacht würde, nur Mangel an Kenntniß und innerer Anschauung des eigentlichen Wesens solcher Erscheinungen verrathen. Jede dynamische Thätigkeit wird gerade durch eine zweite, ihr successiv entgegengerichtete Einwirkung bis zu einem bestimmten Grade nur um so kräftiger angefaßt und nimmt an Intensität, statt zu sinken, vielmehr noch erst bedeutend zu, bis die Umkehrung, wenn sie erfolgt, in einem Momente urplötzlich hervorbricht. Ueberall lodert in der Natur die Lebensflamme vor dem Erlöschen noch ein Mal um so heller empor, und jede Seite einer polaren Erregung ist um so kräftiger, je kräftiger ihre Gegenseite ist. Unter mehreren Substanzen, welche verschiedene Grade der Empfänglichkeit für eine und dieselbe Erregung zeigen, wird man eben so in der Regel diejenige, welche den höchsten Grad dieser Empfänglichkeit besitzt, bis zu einem bestimmten Punkte auch den höchsten Grad der Reaction gegen dieselbe Erregung versichtbaren sehen, wie gerade das Eisen unter allen tellurischen Stoffen, bei einem überwiegenden Grade von Empfänglichkeit für magnetische Thätigkeit, auch in der eben angegebenen Beziehung nicht minder, wie in derjenigen, von der gleich weiter un-

ten die Rede seyn wird, die stärkste Reaction gegen die Erregung zu dieser Thätigkeit zu erkennen giebt.

3.

Wir kommen nun zu der noch übrigen dritten Kategorie, welche gewissermaßen den Indifferenzpunkt zwischen den beiden vorher in Betrachtung gezogenen ausmacht. Sie begreift alle diejenigen Fälle in sich, unter welchen zwischen zwei Substanzen, von denen wir, so wie oben, die eine *A*, als die ursprünglich erregende, die andere *B*, als die durch *A* erregte setzen wollen, zwar eben mit dieser Erregung eine Wechselwirkung Statt findet, die aber in *B* nicht so tief, als in den bisherigen Fällen eingreift, sondern nur von solcher Art ist, daß nach der aufgehobenen Einwirkung ein Fortbestehen der bisherigen Thätigkeit in *B* eben so wenig, als eine unter entgegengesetzten Richtungen hervortretende Reaction gegen dieselbe sichtbar wird.

Wir sind gewohnt, unter den Umständen, mit welchen diese Kategorie die überwiegende wird (denn streng gefondert ist keine für sich allein in der Wirklichkeit vorhanden), die Substanz *B* nicht sowohl als ein eigentlich dynamisch thätiges, polarisch erregtes, sondern nur als ein passives Medium, gleichsam als ein bloßes Filtrum der von *A* ausgehenden Thätigkeit zu betrachten und die, mehr oder weniger noch über die gesetzliche Abnahme durch Entfernung, hinausgehende Intensitätsverminderung der von *A* auf *B* und durch *B* hindurch weiter übertragenen Thätigkeit pflegt sodann nur als Folge eines bloß durch tragen, materiellen Widerstand bewirkten, sogenannten

unvollkommenen, Leistungsvermögens der Masse in *B* dargestellt zu werden. Diese Vorstellung beherrscht uns, so lange wir uns nicht von der gewöhnlichen Täuschung frei gemacht haben, vermöge welcher die Materie nicht als das, was sie einzig und allein nur ist, als ein bloßer Inbegriff von Erscheinungen, sondern widernatürlicher Weise vielmehr als ein absolutes Ursubstrat, als ein realer Träger der Erscheinungen gesetzt wird. Der eigentlich streng folgerechte Grundcharakter einer solchen Betrachtungsweise besteht darin, daß nach ihr, in geradem Widerspruche mit dem höchsten Zwecke wissenschaftlicher Bestrebungen, die Materie zur Hauptfläche und das Leben nur zu einer ausgelagerten Qualität, zur Nebensache gemacht wird. Dann treten an die Stelle lebendiger Thätigkeiten nur imponderable Stoffe, die wechselseitigen Erregungen der Substanzen werden zu bloßen Emanationen dieser Imponderabilien und der an sich unbegreifliche, mit größerer oder geringerer Leichtigkeit, mit mehr oder weniger Widerstand erfolgende Durchgang der letzteren durch die materiellen Substanzen muß durch eine Menge neuer, willkürlicher Suppositionen, durch eine als nothwendig gesetzte Porosität, durch relative Menge, Gestalt und Anordnung fingirter Molecüle motivirt werden. So betrachtet insonderheit der Atomismus die durch irgend eine unmagnetische Masse bis über ihre jenseitigen Gränzen hinaus fortgepflanzte Wirkung eines Magnetstabes lediglich als Ergebnis einer passiven Permeabilität dieser Masse für sein fingirtes magnetisches Fluidum und eine reelle magnetische Polarität kann, von seinem Standpunkte aus, in irgend einem Stoffe nur realisirt werden durch jene

demselben ursprünglich inwohnende magnetische Materie oder vielmehr durch zwei entgegengesetzte, anfangs neutralisirte, sodann aber wieder auf unbegreifliche Weise auseinander gegangene materielle magnetische Ursubstrate. Unter welcher Form aber vollends die Erscheinungen aufzufassen seyn werden, wenn er genöthigt ist, zuzugeben, daß die von Arago beobachteten Thatfachen nicht auf eine eigentliche magnetische Polarität, sondern immer nur auf einen unter allen Umständen repulsiven Effect zwischen dem Magnet und der reagirenden, sogenannten nicht magnetischen, Substanz hinauslaufen, dafür möge er — der beinahe so viel verschiedene hypothetische Mäntel zur Gestaltung der Erscheinungen in Bereitschaft hält, als es Klassen von Erscheinungen giebt, und der auch für diesen Fall einen neuen Ueberwurf zu ersinnen oder einen älteren so umzuformen wissen wird, daß das Naturleben in dieser Verhüllung, nach seiner Art zu sehen, weniger befremdend, als in der Wahrheit und Offenheit seiner ursprünglichen Offenbarung sich ihm darstellt — dafür möge er, so weit er es für nöthig erachtet, selbst Sorge tragen. Indem wir es uns anlegen seyn lassen, die Züge des Lebens in den Naturerscheinungen so rein und einfach als möglich und in stetem Zusammenhange mit dem großen Gesamtbilde der allgemeinen Naturwirksamkeit anzuschauen, so werden wir dagegen jetzt die einfache Enunciation des Wesens der in der Ueberschrift bezeichneten Phänomene folgendermaßen zusammenfassen können.

Wenn ein ursprünglich magnetischer Körper *A* in einen zweiten ursprünglich magnetischen oder magnetisch erregbaren Körper *C* auf die gemeine ent-

schieden versichtbarte Weise einwirkt und zwischen beiden irgend eine sogenannte unmagnetische Substanz *B*, Luft, Glas, Metall oder dergl. vorhanden ist, durch welche hindurch die Wechselthätigkeit zwischen *A* und *C* zu Stande kommt, so wird die letztere durch *B* dergestalt vermittelt, daß *B* nach dem allgemeinen Erregungsgefetze dabei selbst magnetisch polar erregt wird, so daß, wenn z. B. *A* nach *B* hin nordpolar ist, sodann *B* nach *A* hin südpol, nach *C* hin nordpolar und *C* dagegen wieder auf der nach *B* und nach *A* gekehrten Seite nordpolar, auf der entgegengesetzten südpol magnetisch ist. Wie eine an sich nicht magnetisch polare Eisenmasse im Wirkungskreise des tellurischen Magnetismus, so wird also auch *B* und eben so jede unmagnetische Substanz im Wirkungskreise eines Magneten, wahrhaft magnetisch polarisirt; aber so wie jene Eisenmasse zwar noch auf die Magnetnadel, jedoch schon nicht mehr auf unmagnetisches Eisen, anziehend und abstoßend einzuwirken vermag und die Thätigkeit der einen Lage in einer andern Lage weder fortsetzt noch gegen sie reagirt, so vermag eine unmagnetische Substanz, während ihrer polaren Erregung durch einen Magneten, nicht nur nicht frei und selbstthätig auf das Eisen, sondern auch selbst nicht einmal mehr auf die Magnetnadel zurückzuwirken, und nach ihrem Austritte aus dem Wirkungskreise des Magneten ist auch ihre Erregung erloschen, so daß sie, wenigstens so weit unsere Erfahrung reicht, durch keine Reaction und noch weniger durch irgend ein Merkmal ihres unmittelbaren Fortbestehens versichtbart wird. Der eigentliche Magnet wirkt frei rings um sich herum, die durch

ihn erregte unmagnetische Substanz wird aber nur in dem Grade und nach den Richtungen, in welchen sie allein nur wieder auf den Magnet zurückzuwirken vermag, ohne für anderweitige Einwirkungen eine freie Erregung übrig zu behalten, durch ihn erregt, sie ist bloß für den Magnet und den durch sie von jenem aus weiter erregten Körper magnetisch und auch diese Wechselwirkung zwischen ihr und dem Magneten äußert sich durch keine gegenseitige polarisch differente Anziehung und Abstoßung, gerade so, wie die beweglichste unmagnetische Nadel aus weichem Eisen, obgleich auf das entschiedenste durch den Erdmagnetismus erregt, dennoch niemals aus irgend einer noch so geringen Abweichung in die wahre Inclinationsrichtung durch ihn hineingezogen wird. Dennoch ist es wohl denkbar, daß vielleicht bei sehr kräftiger Einwirkung auf sehr kleine Massen ein mit wirklich freier Anziehung und Abstoßung verbundener Ueberwältigungseffect Statt finden könne, wie die Coulomb'schen Beobachtungen darzuthun scheinen, wenn es wahr ist, daß dabei die Wirkungen nicht bloß durch verschiedene Schwingungsmengen, sondern auch durch bestimmte Richtungen der untersuchten Substanzen, ohne innere oder adhärirende Eisentheilchen, sichtbar worden sind. Außerdem würden wir also unmittelbar auf sinnliche Weise über jene magnetische Wechselwirkung zwischen den eigentlich magnetischen und den unmagnetischen Substanzen zu gar keiner Vorstellung gelangen. Allein so leicht in den letzteren die Erregung mit einer solchen Wechselwirkung auch hervorgehoben werden mag, und so geeignet jede an sich unmagnetische Substanz auch

seyn mag, durch dieselbe Wechselwirkung den magnetischen Effect von einem ursprünglich magnetisch erregten Körper durch einen dynamisch polaren Act weiter fortzupflanzen, so geschieht dieses dennoch, so lange die Einwirkung dauert, unter einer stärkeren oder schwächeren Reaction, wie die Ritter'sche Ladungssäule die Primärkette schließt und zu gleicher Zeit hemmend und reagirend auf dieselbe zurückwirkt, oder wie jede durchsichtige Substanz die Thätigkeit zwischen ursprünglich leuchtenden und dunkeln Körpern vermittelt und dabei zugleich durch Reflexion von mehr oder weniger Licht dieser Wechselthätigkeit stärker oder schwächer hemmend entgegenwirkt. Und gerade jene Reaction der nicht magnetischen Substanzen ist es, welche uns die Theilnahme der letzteren an der Thätigkeit ursprünglich magnetischer Stoffe, in den von Arago zuerst nachgewiesenen Thatfachen sinnlich erkennen läßt, eben so wie das Verhältniß eines durchsichtigen Körpers zum Lichte, nicht sofern er durch den leuchtenden Körper zu gleicher Thätigkeit erregt wird und dieselbe weiter fortpflanzt, sondern vielmehr gerade dadurch, daß er ihr in einem bestimmten Grade entgegenwirkt, indem er das Licht reflectirt, auf sinnliche Weise von uns wahrgenommen wird, da er ohne jene Reflexion für das Auge so gut wie gar nicht vorhanden seyn würde *).

*) Ich habe nicht nöthig, erst zu bemerken, daß mir die Durchsichtigkeit etwas anderes, als die bloße passive Permeabilität im Emanationsysteme ist, mag aber darum auch wieder keineswegs für einen Anhänger der Undulationstheorie schlechthin

Alle Erscheinungen also, welche aus der Einwirkung eines ursprünglich magnetischen Körpers, als solchen, auf eine unmagnetische Substanz hervorgehen, sind, mit geringen etwanigen Ausnahmen, nicht eigentlich directe Resultate der unmittelbaren polaren Erregung, welche die letztere durch jenen erleidet, und sind daher auch nicht durch attractive Effecte begründet, sondern sie sind lediglich Erfolge einer, gleichzeitig mit jener Erregung, gegen dieselbe geäußerten Reaction, die bei verschiedenen Substanzen in verschiedenem Grade und bei dem unmagnetischen Eisen, so lange die Erregungsintensität nicht einen bestimmten Punkt überschreitet, gerade am stärksten hervortritt; und diese Reaction äußert sich dem gemäß immer nur als ein repulsiver Effect zwischen dem Magneten und der unmagnetischen Substanz, ohne Unterschied des dargebotenen Pols, und nicht etwa nur in einer oder gewissen, sondern in allen Richtungen schlechthin, nach welchen der Magnet seine erregende Thätigkeit über die Substanz verbreitet, so daß, wenn die letztere oder der Magnet in Folge dieser Repulsionen in Bewegung gesetzt, oder eine bereits aus anderweitigen Ursachen Statt findende Bewegung derselben dadurch modificirt wird, die Wirkung jedesmal eine Größe ist, welche aus den sämtlichen nach verschiedenen Richtungen zugleich erfolgten Antrieben, so weit sie durch kein mechanisches Hinderniß gehemmt sind, resultirt.

gelten, die meines Dafürhaltens nicht viel weniger mechanisch und unzureichend als die Newtonianische genannt zu werden verdient.

Pohl.

Ich will jetzt nur noch kürzlich nachweisen, wie alle bisher bekannt gewordene Erscheinungen dieses Gebiets der eben entwickelten Ansicht auf das vollkommenste entsprechen, und die Beschreibung einiger Versuche hinzufügen, die ich zur Constatirung derselben Ansicht unter veränderten und eigenthümlichen Formen selbst angestellt habe.

Was zuvörderst die verminderte Menge der Schwingungen der Magnetnadel innerhalb bestimmter Schwingungsweiten über unmagnetischen Substanzen und namentlich über Metallscheiben anbelangt, so folgt dieselbe, nebst dem Isochronismus der einzelnen Schwingungen, aus einer der schwingenden Nadel überall stetig entgegentretenen repulsiven Wirkung eben sowohl, wie aus dem attractiven Effect, welchen man den neuen Erscheinungen, bei der ersten Bekanntschaft mit ihnen, als zureichenden Grund unterzulegen sich veranlaßt sah. Es ist nach unserer Ansicht zugleich eben so klar, daß die Wirkung mit der zunehmenden Entfernung der Nadel von der reagirenden Substanz abnehmen und daß sie mit der nach der Dicke wachsenden Masse der letzteren bis auf ein bestimmtes Maximum, wenn die Zunahme wegen der Entfernung der Massentheile unmerklich zu werden beginnt, zunehmen müsse.

Die Abweichung der Declinationsnadel über einer in der Horizontalebene rotirenden Metallscheibe, in der Richtung der Rotation, scheint hingegen bei ihrer verhältnißmäßig beträchtlichen Größe aus einem bloßen attractiven Effect der fliehenden, von der Nadel verfolgten, Massenpunkte schon nicht mehr recht genügend begriffen werden zu können. Dagegen bil-

det der Stoß einer der Nadel unaufhörlich entgegen-tretenden Repulsion ein bei weitem kräftigeres Moment, von solcher Angemessenheit, daß sich darin die Gewalt, welche die Nadel nicht nur so weit aus der Declinationsrichtung zu verdrängen, sondern sie auch bei hinlänglicher Geschwindigkeit der Rotation beständig umherzutreiben vermag, sehr wohl erkennen läßt.

Der entscheidende Versuch Arago's, worin ein am Wagebalken im Gleichgewichte mit der andern Seite lothrecht aufgehanger Magnetstab durch die rotirende Scheibe aufwärts abgestoßen wird, ist mit der anfänglichen Ansicht geradehin unvereinbar und allein von unserm Gesichtspunkte aus verständlich. Die Hauptrichtung der erregenden Thätigkeit des Stabes gegen die Scheibe erstreckt sich in der Perpendicularlinie von oben nach unten; dieser Wirkung direct entgegen üben die unter dem Pole liegenden erregten Punkte der Scheibe eine Reaction, deren Stoßkraft noch dauert, wenn schon andere und immer andere heranrückende Massenpunkte in gleichem Sinne fortwirken, so daß die Summe dieser für einen Zeitmoment zusammengedrängten Repulsionen mächtig genug wird, den Stab zu heben und ihn, da sie von da an immer so viel an Zuwachs gewinnt als sie verliert, in derselben Entfernung von der Scheibe so lange gehoben zu erhalten, als die letztere mit derselben Geschwindigkeit zu rotiren fortfährt. Eine solche Abstoßung des Stabes muß ohne Ausnahme über allen Punkten der Scheibe und ohne Unterschied der Richtung, nach welcher die Scheibe rotirt, nur nach Maaße der an verschiedenen Stellen verschiedenen Ge-

schwindigkeit der Rotation auch in verschiedenem Grade Statt finden; am Rande der Scheibe ist sie am stärksten und wird gegen die Mitte zu schwächer und ganz unmerklich.

Die Wirkung der Scheibe auf die Magnetnadel in der Richtung irgend eines Durchmessers derselben hat Arago ebenfalls an einer horizontal rotirenden Scheibe mit Hülfe einer Inclinationsnadel nachgewiesen. Er hat dabei einen Indifferenzkreis, welcher dem Rande concentrisch und ihm näher als dem Mittelpunkte liegt, beobachtet, über welchem die Wirkung Null ist, und er nennt die Thätigkeit der Scheibe dießseits desselben, nach dem Rande zu und darüber hinaus, eine Abstoßung; die jenseitige Wirkung hingegen, welche ebenfalls eine Abstoßung ist, stellt er als eine Anziehung nach dem Mittelpunkte hin dar, woraus man sieht, daß er den innern Zusammenhang der Erscheinungen noch nicht vor Augen gehabt hat, dessen Auffindung jedoch, wenn er sie gleich damals nicht beabsichtigte, eben durch eine solche Anticipirung des bestimmten Ausdrucks, sehr erschwert werden konnte.

Es schien mir vorthellhafter, zur experimentalen Demonstration der eben erwähnten Erfolge, an der Stelle der wagerechten eine in der Verticalebene um eine Horizontalaxe rotirende Scheibe und dem gemäß an der Stelle der Inclinationsnadel eine Declinationsnadel zu benutzen; die Ergebnisse sind dadurch leichter und zuverlässiger darzustellen und in ihrem Zusammenhange vollständi-

ger zu übersehen und zu studiren. Wir wollen sie daher hier in dieser Gestalt unserer Betrachtung unterwerfen.

Der Kreis *adbe* Fig. 6. Taf. II. stelle die um *c* rotirende verticale Scheibe, von etwa 1 Fuß Durchmesser aus starkem Kupferblech, vor. Ihre Ebene ist senkrecht auf der Ebene des magnetischen Meridians, von der sie in dem lothrechten Diameter *ab* durchschnitten wird. Die Declinationsnadel, in einem sie ganz umschließenden, durchsichtigen Gehäuse, wird entweder mit ihrem Nordpol auf der Südseite, oder mit ihrem Südpol auf der Nordseite der Scheibe möglichst nahe an die zu untersuchenden Punkte der letzteren gestellt. In beiden Stellungen ist die Wirkung vor einem und demselben Punkte der Scheibe wesentlich immer eine und dieselbe, nur ist die Ablenkung der Nadel in der Horizontalebene, weil sie auf entgegengesetzten Seiten der Scheibe auch durch entgegengesetzte, aber nach einer und derselben Richtung sollicitirte Pole der Nadel bewirkt wird, auch auf beiden Seiten entgegengesetzt. Wir wollen uns die Nadel und den Beobachter diesseits auf der Südseite der Scheibe denken, so daß ihm *d* in Osten, *e* in Westen liegt, und dem gemäß die Richtungen der Statt findenden Bewegungen bezeichnen. Die Scheibe macht in einer Minute gegen 1200 Umläufe. Sie rotire zuvörderst in der Richtung *adbe*, von Westen nach Osten, und der Nordpol der Nadel werde zuvörderst vor den Punkt *a* geführt, so weicht derselbe sogleich sehr stark, etwa 30°, nach *Osten* ab, und diese Ablenkung bleibt sodann, der Art nach, dieselbe, wenn die Nadel allmählig von *a* nach *c* hinabrückt, nur wird

sie um so kleiner, je tiefer die Nadel unter a zu stehen kommt, und vor c , wenn sie nicht schon früher unmerklich wird, ist sie völlig Null. Rückt die Nadel von hier aus noch weiter nach b hin fort, so beginnt eine allmählig wachsende *westliche* Ablenkung, die in b wieder am grössten ist. Wenn dagegen während des Herabrückens der Nadel von a durch c nach b die Scheibe in der Richtung $aebd$ von Osten nach Westen rotirt, so hat man dieselben Erscheinungen wie vorhin, nur unter gerade entgegengesetzten Ablenkungen; die Ablenkung ist anfangs von a aus westlich, bis in c , wo sie Null ist, und von da bis b zeigt sie sich östlich. Alle diese Bewegungen entstehen ganz so, wie diejenigen der Declinationsnadel über der Horizontalscheibe und bedürfen daher keiner weiteren Auseinandersetzung.

Wäre die Nadel nicht durch den Stift, auf welchem sie schwebt, gehindert, nach einer auf der Scheibe senkrechten Richtung von ihr zurückzuweichen, so würde sie zugleich auch noch diese Bewegung, in der Nähe des Randes stärker, nach der Mitte zu schwächer, zeigen, ganz aus den nämlichen Gründen, nach welchen der perpendicular über der Horizontalscheibe hangende Magnetstab in dem oben erwähnten Versuche von ihr abgestossen wird.

Außerdem aber macht sich nun auch noch wirklich an der Nadel eine dritte, von den bisher angegebenen verschiedene Bewegung bemerkbar, falls die Oeffnung des Hütchens nur geräumig, die Nadel lang und leicht genug ist und der Schwerpunkt derselben sehr nahe unter der Spitze des Stiftes liegt, auf welchem sie schwebt. Man nimmt alsdann nämlich auch

in der Richtung des Perpendiculärdiameters eine kleine *Hebung* des zuvörderst vor *a* befindlichen Pols der Nadel wahr, und zwar ohne Unterschied in beiderlei Rotationen der Scheibe, sie mag von Osten nach Westen oder von Westen nach Osten umlaufen. Diese Hebung ist also eine Abstoßung nach der Richtung *ba* des Diameters, welche der Erregungstendenz des Pols, die Masse der Scheibe nach der Richtung *ab* zu magnetisiren, entgegengerichtet ist und nach derselben Aetiologie wie die bisher betrachteten erfolgt. Wenn nun aber die Nadel noch tiefer hinabrückt und sich mit ihrem Pol etwa vor dem Punkte *n* befindet, so sieht man die Hebung alsobald auch geringer werden und diese Abnahme muß, unserer Ansicht gemäß, in der That aus einem zwiefachen Grunde Statt finden. Erstens schon deshalb, weil die Geschwindigkeit der Rotation zwischen *b* und *c*, unter jeder tiefer liegenden Stelle *n* geringer ist, als über derselben, womit eine Abnahme der Stoßkraft aus bereits oben entwickelten Ursachen unzertrennlich verbunden ist. Zweitens, wie besonders zu berücksichtigen ist, daher, weil nun auch außerdem eine abstoßende Wirkung von oben nach unten hin, in der Richtung *an* auf den Pol sich geltend macht, indem dieser jetzt die über ihm befindlichen Massenpunkte der Scheibe nach der Richtung *na* magnetisch zu erregen trachtet. Somit ist klar, daß, wenn man die Nadel noch tiefer hinabrücken läßt, sie endlich vor einen Punkt *o* kommen müsse, bei welchem sich beide entgegengesetzte Repulsionen, von oben und unten her, das Gleichgewicht halten müssen, so daß die bisherige Hebung des Pols völlig Null geworden und die Nadel in vollkom-

men horizontaler Lage einzig und allein nur noch nach Osten oder Westen hin abgestoßen ist. Es ist eben so klar, daß dieser Indifferenzpunkt o zwischen a und c jedesmal näher nach dem Rande a , als nach der Mitte c der Scheibe hin liegen müsse, weil die Repulsion von a her, vermöge der größeren Rotationsgeschwindigkeit der höher liegenden Massenpunkte, die entgegengesetzte, von c her, in der Richtung ca thätige Repulsion bereits überwältigt haben muß, bevor die Nadel vor der Mitte des Radius ca sich befindet. Es muß also auch, wenn die Nadel von jenem Indifferenzpunkte o noch tiefer nach c hinabrückt, die Repulsion von oben her das Uebergewicht erhalten und, wie es die Erfahrung zeigt, statt der bisherigen Hebung, eine Depression desselben Pols eintreten, die eben von Arago, in der Form, unter welcher sie sich ihm an der Inclinationsnadel über der horizontalen Scheibe darbot, eine Anziehung nach dem Centrum der Scheibe hin genannt wurde, während sie einzig und allein auch eine wahre Abstoßung ist. Diese Depression des Pols nimmt begreiflich mit dem weiteren Hinabrücken unter o wiederum ab und verschwindet mit der Annäherung des Pols an c gänzlich. Bei fernerer Bewegung des letzteren von c nach b hin tritt begreiflich wieder eine Hebung ein, die vor einem Indifferenzpunkte p , der eben so weit von b , als o von a , etwa um $\frac{1}{3}$ des Radius, entfernt liegt, abermals Null geworden ist, und von da an hat man wiederum eine bis b zunehmende Depression des gegen die Scheibe gerichteten Pols der Nadel *).

*) Um diese nur in einem Umfange von wenigen Graden Statt findenden Ergebnisse rein und deutlich vor Augen zu haben,

Diese eben betrachtete abwechselnde Hebung und Senkung läßt sich nun aber bestimmter und anschaulicher in der Gestalt einer wechselnden Ablenkung nach Osten und Westen verfolgen, wenn man die Nadel nicht, wie bisher, an dem verticalen Diameter *ab*, sondern an dem horizontalen *de* successiv vorüberführt. Dagegen erscheint alsdann die dortige östliche und westliche Ablenkung hier wieder als eine starke Senkung und Hebung des Pols der Nadel; nämlich wenn die Scheibe von Westen nach Osten in der Richtung *ead* rotirt, in *d* als eine Depression, die bis *c* hin abnimmt und von da in eine bis *e* hin wachsende Hebung des Pols sich verwandelt, und wenn dagegen die Rotation von Osten nach Westen gerichtet ist, so sind dieselben Sollicitationen in entgegengesetzter Ordnung vorhanden. Damit sie indeß die beabsichtigte Darstellung der östlichen und westlichen Ablenkung nicht stören und unzuverlässig machen mögen, so ist es jetzt rathsam, sich einer solchen Nadel zu bedienen, deren Suspension ihr, ohne Eintrag der Beweglichkeit in der Horizontalebene, gar keine oder wenigstens nicht eine beträchtliche Bewegung in der Verticalebene erlaubt *). Die Abstoßung, welche dem-

mufs man eine Nadel gebrauchen, die beinahe in ihrem Schwerpunkte suspendirt, dabei durch zwei horizontale, von der Mitte ausgehende, auf ihrer Längsaxe rechtwinklige, sehr dünne und wohl polirte Seitenarme im Gleichgewichte erhalten und durch zwei mit ihrer Schärfe gegen diese Arme gerichtete Verticalschneiden gehindert wird, nach Osten und Westen zu decliniren, so daß ihr nur die Bewegungen in der Verticalebene übrig bleiben. *Pohl.*

*) Die von mir zu diesem Behufe angewandte Nadel war, wie die oben erwähnte, 3 Zoll lang; aber das Hütchen befand

nächst vor *de* bald östlich bald westlich wird, eben so wie oben vor dem Verticaldiameter *ab* die Hebung und Senkung wechselte, zeigt sich nun auch eben so in der nämlichen, völlig ungeänderten Ordnung, die Scheibe mag von Westen nach Osten oder in entgegengesetzter Richtung rotiren. In *d* nämlich, am östlichen Rande, ist diese Abtossung stets eine östliche Ablenkung, sie wird dann mit dem Fortrücken der Nadel nach *c* hin kleiner und ist Null vor dem Indifferenzpunkte *q*; von da an wird sie zur westlichen Ablenkung, die wieder nach *c* hin verschwindet; jenseits *c* tritt wieder östliche Ablenkung ein, bis zu einem Indifferenzpunkte *r*, für welchen $cr = cq = cp = co$ ist, und von da an hat man wieder bis zum westlichen Rande in *e* eine immer zunehmende westliche Ablenkung. Das Urfachliche dieser Erscheinungen, als Conflict der Erregungstendenz, welche die Nadel in der Richtung des Diameters *de* nach entgegengesetzten Seiten zugleich geltend macht, und der gegen diese Erregung anstrebbenden, zur wirklichen Repulsion werdenden Reaction des Metalls der Scheibe, bedarf für niemand, der unserer obigen Deutung gefolgt ist, einer weiteren Auseinandersetzung. Eben so würde

sich, von einer leichten, cylindrischen, Messingröhre getragen, $\frac{1}{2}$ Zoll hoch über ihrer Mitte, welche durchbohrt war, um den $\frac{3}{4}$ Zoll hohen Stift, auf dessen Spitze das Hütchen schwebte, durchzulassen. Da die geschärften Ränder des Bohrloches den sehr dünnen polirten Stift enge umschlossen und nur ein Minimum von Spielraum gestatteten, so war die Inclinationsbewegung fast gänzlich gehemmt und bei der geringen Friction und der magnetischen Kräftigkeit der Nadel die Declination dennoch für den Zweck der Beobachtung vollkommen frei und lebendig. Pohl.

es überflüssig seyn, wenn wir die Wirkungen von andern außerhalb der beiden Diameter *ab* und *de* liegenden Punkten der Scheibe noch besonders angeben wollten, da sie sämmtlich den bisherigen Erörterungen streng gemäß sind und daraus von selbst hervorgehen.

Die mathematische Theorie dieser Klasse von Erscheinungen wird hoffentlich bald, wenigstens bis zu einem Punkte, ausgebildet werden können, auf welchem das Quantitative der Wirkungen unter allen zur Sache gehörigen Bedingungen in genügender Uebereinstimmung mit der Erfahrung festzustellen seyn wird.

Ich habe außerdem noch die Richtigkeit meiner Ansicht an dem folgenden, mir eigenthümlichen, Versuche erprobt. Ich ließ einen cylindrischen Reifen von starkem Kupferblech um seine horizontal und senkrecht gegen den magnetischen Meridian gerichtete Axe rotiren und führte an der Südseite des Cylinders, in der durch seine Rotationsaxe gedachten Horizontalebene, längs der in sie fallenden Seitenlinie des Cylinders, von einem Endpunkte derselben zum andern die Declinationsnadel vorüber, so daß der Nordpol der letzteren successiv vor allen Punkten dieser Linie und ihnen möglichst nahe zu stehen kam. Unserm Gesichtspunkte gemäß muß das Resultat eines solchen Versuchs darin bestehen, daß vor dem östlichen Rande der Cylinderfläche die Nadel eine östliche Ablenkung erleidet, die nach der Mitte der Seitenlinie hin abnimmt, ohne hier in eine entgegengesetzte Ablenkung überzugehen, völlig Null wird, und daß darauf gegen den westlichen Rand hin eine westliche Ablen-

kung eintritt, die wieder eben so zunimmt und vor ihm ein Maximum wird. Und so verhielt es sich in der That, die Rotationsrichtung des Cylinders mochte von Norden nach Süden oder von Süden nach Norden gehen, begreiflich auch dann, wenn die Nadel an der Nordseite des Cylinders mit ihrem Südpol vorübergeführt wurde, nur dafs dann die Abstoßung dieses Pols nach Osten auf dem östlichen Rande eine westliche Declination — und seine Abstoßung nach Westen auf dem westlichen Rande eine östliche Declination der Nadel hervorbrachte.

Die bestimmte Richtung des Cylinders, so wie der Verticalscheibe, gegen die Weltgegenden, welche in den beschriebenen Versuchen beobachtet worden, ist übrigens auf keine Weise eine wesentliche Bedingung für die angegebenen Resultate; diese finden auch bei jeder andern Lage der rotirenden Körper Statt, wenn dabei nur die Declinationsnadel durch einen oder mehrere Magnetstäbe in die entsprechende Lage gebracht wird, die ihr in den obigen Versuchen der Erdmagnetismus an und für sich ertheilte; ja es können dadurch selbst diejenigen Ablenkungen, welche außerdem nur geringe und weniger in die Augen fallend sind, viel gröfser dargestellt werden, wenn die Nadel durch eine solche Anordnung der stärkeren dirigirenden Kraft des Erdmagnetismus zum Theil auf eine solche Weise entzogen wird, dafs die im Experimente bewirkten Sollicitationen eben damit nur einen um so gröfseren Ausschlag gewinnen. Die Versuche gestatten überhaupt, wie ein jeder, dem das Princip derselben klar geworden, leicht einsieht, eine grofse und unererschöpfliche Mannichfaltigkeit von Abänderungen

und die experimentale Seite der Physik ist durch sie in extensiver wie in intensiver Hinsicht auf eine höchst interessante Weise gleich sehr erweitert worden.

Es schien mir noch eine besonders wesentliche Aufgabe für das Experiment zu seyn, das Verhalten eines beweglichen elektromagnetischen Leiters in Conflict mit einer rotirenden Metallscheibe zu versichtbaren. Ich gebrauchte dazu einen 8" langen und 0,05" dicken Kupferdraht, welcher in der Richtung eines Durchmessers der Horizontalscheibe, ihr parallel und möglichst nahe über ihr an einigen offenen Seidenfäden suspendirt war. Ueber den Rändern der Scheibe war er senkrecht aufwärts gebogen und seine Extreme endeten, in einer geringen Entfernung von einander, in der Drehungsaxe mit kleinen kupfernen Quecksilbergefäßen, in welche die amalgamirten Spitzen der Zuleitungsdrähte eingetaucht waren. Mechanische Einwirkungen blieben durch einen hinlänglich großen, zwischen dem Draht und der Scheibe befindlichen, Papierschirm beseitigt. Die einfache galvanische Kette, aus verdünnter Schwefelsäure in Verbindung mit einer 18 Quadratzuß großen Kupferfläche und einer gleichen Zinkfläche bestehend, warf den Draht, vermöge der Wirkung des Erdmagnetismus auf seine beiden 8" langen vertical aufgebogenen Seitenarme, lebhaft nach der Ost-Westebene hin, so daß er nach mehreren Schwingungen ganz unverrückt in ihr festgehalten wurde. Als darauf die Kupferscheibe unter der horizontalen Papierwand in rotirende Bewegung gesetzt wurde, fand auch sogleich, wie zu erwarten war, eine in der Rotationsrichtung erfolgende Bewegung des Elektromagneten Statt, die jedoch nicht in Rotation überging,

sondern es war bei einer Geschwindigkeit der Scheibe von etwa 800 Umläufen in einer Minute nur möglich, den Draht um einen Winkel von etwa 20° aus der Ost-Westebene auf dieser oder jener Seite, nach welcher hin die Scheibe rotirte, abgestoßen zu erhalten. Sobald die Bewegung der Scheibe aufhörte, oder nur an Geschwindigkeit nachließ, ging der Leiter sogleich wieder zur Ost-Westebene zurück; wenn alsdann aber die Scheibe schlennigst nach derselben Richtung hin in Bewegung gesetzt wurde, so konnten durch wiederholte Abwechslungen solcher Art größere Elongationen erzeugt werden, die aber auch so nicht weit über 50° sich hinausführen ließen, da das Moment der richtenden Kraft in den beiden Seitenarmen, deren Länge zusammen 16" betrug, in Vergleich mit der Wirkung zwischen der Scheibe und dem einfachen, nur halb so langen horizontalen Draht zu mächtig war, um größere Abweichungen zu gestatten. Die Erfolge beweisen indeß, worauf es allein wesentlich ankommt, die repulsive Wirkung des unmagnetischen Metalls der Scheibe gegen den Elektromagneten eben so, wie sie gegen den gemeinen Magneten Statt findet, und es ist klar, daß mit einer Verminderung des Moments der richtenden tellurischen Kraft, etwa durch Verkürzung der Verticalschenkel des Drahtes oder unter irgend einer andern zweckgemäßen Abänderung der bewegliche Elektromagnet über der rotirenden Scheibe eben so wie die gemeine Magnetnadel in anhaltende Rotationsbewegung zu setzen sey.

Berlin, den 1. November 1826.

G. F. Pohl.