

Der Diamagnetismus ist in den wenigen Jahren seit seiner Entdeckung Gegenstand vielseitiger Forschungen gewesen, welche nicht bloss zu einer Erweiterung seines Gebiets, sondern auch zur Entdeckung und Untersuchung mehrerer anderen neuen Naturerscheinungen geführt haben. Das Interesse an diesen Forschungen ist dadurch immer mehr gewachsen. Jedoch bedarf die Lehre vom Diamagnetismus noch eines Fundamentalgesetzes, wenn sie der Lehre vom Magnetismus, Elektromagnetismus und von der Magnetelektricität, womit sie innigst zusammen zu hängen scheint, gehörig begründet zur Seite gestellt werden soll. Auch zu diesem Fundamentalgesetze zu gelangen, schien nun gleich anfangs eine Aussicht dadurch eröffnet zu sein, dass es Faraday gelungen war, die beiden hauptsächlichsten von ihm entdeckten Thatsachen, nämlich die diamagnetische Abstossung und die äquatoriale Stellung diamagnetischer Körper in der Nähe eines starken Magnets, unter einen sehr einfachen und allgemeinen Ausdruck zu bringen, der, wenn er auch nicht selbst als Fundamentalgesetz betrachtet werden konnte, doch in nächster und engster Beziehung mit einem solchen stehen zu müssen schien. Faraday führte nämlich diese diamagnetischen Wirkungen auf die Gesetze veränderlicher Magnete (Eisenmagnete) zurück, indem er die Wirkungen diamagnetischer Körper den Wirkungen von magnetischem Eisen verglich, worin Nord- und Südmagnetismus mit einander vertauscht wären. Die hiernach vorhandene Relation des Diamagnetismus zum Magnetismus bildet das von ihm aufgestellte Gesetz der diamagnetischen Polarität.

Um keine Ungewissheit über den Sinn zu lassen, welcher mit dem Worte magnetische oder diamagnetische Polarität zu verbinden sei, möge hier sogleich eine Erklärung desjenigen Sinnes, in welchem dieser Ausdruck in folgender Abhandlung genommen wird, bei-

gefügt werden. Es ist bekannt, dass Gauss bewiesen hat, dass alle Wirkungen, die irgend ein Magnet (oder ein Körper, welcher geschlossene galvanische Ströme enthält) auf andere Körper ausübt, auf die Wirkungen zweier magnetischen Fluida zurückgeführt werden können, welche auf seiner Oberfläche auf eine bestimmte Weise vertheilt sind. Gauss hat diese Vertheilung die ideale Vertheilung der magnetischen Fluida genannt. Demnach soll nun in der folgenden Abhandlung unter magnetischer oder diamagnetischer Polarität eines Körpers ein solcher Zustand desselben verstanden werden, vermöge dessen er Wirkungen auf andere Körper ausübt, welche so beschaffen sind, dass sie sämmtlich aus einer idealen Vertheilung magnetischer Fluida erklärt werden können.

In diesem Sinne folgt also aus dem Gesetze der diamagnetischen Polarität, dass alle Wirkungen eines diamagnetischen Körpers sich aus einer idealen Vertheilung der beiden magnetischen Fluida auf seiner Oberfläche erklären lassen. Da nun aus dem Gesetze der magnetischen Polarität derselbe Ausspruch sich für magnetische Körper ergibt, so folgt, dass, wenn es in dem angegebenen Sinne wirklich eine diamagnetische Polarität giebt,

diamagnetische Körper von magnetischen sich nicht wesentlich durch ihre Wirkungen, sondern bloss durch die Art und Weise ihrer Entstehung oder Veränderung unterscheiden;

denn vorausgesetzt, dass die von ihrer Entstehung (oder Veränderung) abhängige ideale Vertheilung gegeben ist, so sind auch alle Wirkungen gegeben, gleichgültig ob es Magnetismus oder Galvanismus oder Diamagnetismus sei, an dessen Stelle jene ideale Vertheilung gesetzt worden.

Soll nun aber das Gesetz der diamagnetischen Polarität wirklich eine allgemeine Geltung haben, so darf seine Anwendbarkeit nicht bloss auf diejenigen Erscheinungen beschränkt bleiben, welche Faraday zuerst entdeckt hatte, die nämlich auf der Wechselwirkung des diamagnetischen Körpers mit demjenigen Magnet, durch dessen Einfluss er diamagnetisch geworden war, beruhen, sondern sie muss auf alle Arten von Erscheinungen erstreckt werden können, die ein Körper durch eine bestimmte Vertheilung seiner magnetischen Fluida hervorbringen kann, wenn er auf andere Körper wirkt. Alle diese verschie-

denen Arten von Erscheinungen werden eingetheilt in rein magnetische, elektromagnetische und magnetelektrische. Es war daher von besonderem Interesse, das wirkliche Vorhandensein dieser verschiedenen Wirkungsarten thatsächlich festzustellen. Die zweite Wirkung würde nämlich, wenn sie bei diamagnetischen Körpern wirklich vorhanden wäre, den Fundamentalversuch des Elektrodiamagnetismus, die dritte den Fundamentalversuch der Diamagnetelektricität (oder der diamagnetischen Induction elektrischer Ströme) geben. Fänden dagegen nicht alle diese Wirkungen statt, so hiesse das so viel, als das Gesetz der diamagnetischen Polarität wäre nicht allgemein gültig, wodurch es seine ganze Wichtigkeit und Bedeutung in theoretischer Beziehung verlöre.

Ueber den Thatbestand dieser verschiedenen Wirkungsarten diamagnetischer Körper stimmen nun die von verschiedenen Beobachtern gefundenen Resultate noch nicht mit einander überein, was leicht erklärlich ist, wenn man bedenkt, wie schwach nothwendiger Weise namentlich die letzteren Arten von Wirkungen sein müssen, und wie leicht es daher geschehen kann, dass es nicht allen Beobachtern sie darzustellen gelingt, zumal wenn sie nicht alle ganz gleiche Instrumente gebrauchen. Namentlich ist es Faraday nicht gelungen, sich von dem Vorhandensein der letzten (inducirenden) Wirkung diamagnetischer Körper zu überzeugen, ungeachtet er auf die Wiederholung der darüber gemachten Versuche grosse Mühe und Sorgfalt verwendet hat.

Wie schwach zum Beispiel die Wirkungen eines diamagnetischen Körpers auf eine Boussole sein müssen, leuchtet daraus ein, dass selbst die von starken Elektromagneten auf einen von ihnen diamagnetisirten Körper auch in kleiner Entfernung ausgeübten Kräfte sehr schwach sind, obgleich sie den grossen Kräften der Elektromagnete proportional sind. Betrachtet man nun aber, statt der Wechselwirkung eines in gegebener Weise diamagnetisirten Körpers mit so kraftvollen Elektromagneten, die Wechselwirkung desselben diamagnetischen Körpers mit einer schwachen Boussole, so leuchtet ein, dass aus dieser letzteren Wechselwirkung bei gleichem Abstände eine Kraft hervorgeht, welche in dem Verhältnisse der magnetischen Kraft jener Elektromagnete zu der dieser Boussole noch kleiner ist als die aus der ersten Wechselwirkung entsprungene Kraft, die selbst schon sehr klein war.

Unter diesen Verhältnissen, wo man *a priori* übersehen kann, dass

die fraglichen Wirkungen, wenn sie vorhanden sind, ausserordentlich schwach sein müssen, bedarf es besonderer Vorkehrungen, um sie von andern kleinen Wirkungen genau zu unterscheiden und zu einem sicheren Resultate über ihr Dasein zu gelangen. Es reicht nicht hin, dass man die Beobachtungsmittel zu schärfen und zu verfeinern sucht, sondern man muss sich auch von der wirklich erreichten Schärfe und Feinheit dieser Mittel, und von der Stärke der fraglichen Wirkungen, welche damit beobachtet werden sollen, nähere Kenntniss zu verschaffen suchen, um darüber gewiss zu werden, dass das Beobachtete dem Gesuchten wirklich entspricht, — kurz, die Beobachtung so schwacher Wirkungen bedarf, um zu sicheren Resultaten zu führen, der quantitativen Controle, an der es bisher gänzlich gefehlt hat. Namentlich kann die Frage über das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein einer diamagnetischen Induction elektrischer Ströme, um die es sich vorzüglich handelt, auf dem Wege des Versuchs nur dann sicher entschieden werden, wenn die Stärke des Stroms, welcher diamagnetisch inducirt werden müsste, d. i. der Gegenstand, um den es sich handelt, einigermaassen ihrer Grösse nach vorausbestimmt ist, weil nur hiernach die Mittel bemessen werden können, welche zur Prüfung nothwendig sind und genügen.

Um nun aber zu einer solchen quantitativen Controle der Beobachtungen zu gelangen, muss diejenige Betrachtung, welche auf die Vermuthung einer diamagnetischen Induction elektrischer Ströme geführt hat, genauer verfolgt werden. Nach dieser Betrachtung wird nämlich angenommen, dass alle Wirkungen eines diamagnetischen Körpers aus einer bestimmten Vertheilung der beiden magnetischen Fluida auf seiner Oberfläche erklärt werden können, und dass umgekehrt ein diamagnetischer Körper alle Wirkungen der so vertheilten magnetischen Fluida ausübe. Hieraus folgt nun, dass jedem diamagnetischen Körper ein bestimmtes magnetisches Moment müsse beigelegt, und dass jede Art von diamagnetischer Wirkung müsse benutzt werden können, um dieses magnetische Moment seiner Grösse nach zu bestimmen, und dass sich daraus wieder alle andern Arten von diamagnetischen Wirkungen ihrer Grösse nach entweder genau oder wenigstens näherungsweise müssen vorausbestimmen lassen. Es würde also durch diese Betrachtung, wenn sie richtig ist, der Weg gebahnt sein, von bekannten diamagnetischen Erscheinungen auf unbekanntes zu schliessen

und dieselben ihrer Grösse nach vor auszubestimmen, so dass jeder Versuch, welcher die dadurch bedingte Feinheit nicht besitzt, sogleich im Voraus verworfen werden kann; jeder Versuch dagegen, welcher bei solcher Feinheit doch kein Resultat, oder ein ganz verschiedenes, ergäbe, zur Wiederlegung der ganzen Betrachtung genügen würde. Eine gründliche Entscheidung ist nur auf diesem Wege möglich.

Diesen Weg habe ich nun in der folgenden Untersuchung einzuschlagen versucht und glaube so weit gelangt zu sein, dass die dadurch gewonnenen Resultate keinem Zweifel unterliegen, wenn auch zu wünschen bleibt, dass die quantitativen Bestimmungen künftig noch grössere Präcision erlangen. Wäre mir ein reicheres Material vergönnt gewesen, so würde ich meine Beobachtungsmittel leicht bedeutend haben verstärken und dadurch den quantitativen Bestimmungen schon jetzt einen höheren Grad von Präcision verschaffen können, welcher in jeder Beziehung wünschenswerth bleibt, auch wenn das Hauptresultat hinreichend festgestellt erscheint.

Elektrodiamagnetismus und Messung des Moments eines Elektrodiamagnets.

1.

Wie Eisenmagnete in gewöhnliche (deren Magnetismus vom Einfluss anderer Magnete herrührt) und in Elektromagnete eingetheilt werden, ebenso können auch Diamagnete in gewöhnliche (deren Diamagnetismus von magnetischem Einfluss herrührt) und in Elektrodiamagnete eingetheilt werden. Nur ist zwischen Elektromagneten und Elektrodiamagneten darin ein grosser für die Beobachtung wichtiger Unterschied, dass wenn man gleiche galvanische Ströme um einen Eisenstab und einen Wismuthstab herumführt, das Eisen magnetische Kräfte in die Ferne ausübt, gegen welche die Kräfte des galvanischen Stroms fast verschwinden, während die vom Wismuth ausgeübten diamagnetischen Kräfte gegen die des galvanischen Stroms verschwinden. Hierin liegt der Grund, dass das Vorhandensein des Elektrodiamagnetismus schwer nachzuweisen ist. Diese Schwierigkeit kann aber überwunden werden, und es ergiebt sich dann sogar, dass die Kraft eines Elektrodiamagnets sich zu wirklichen Maassbestimmungen weit besser eignet als die eines gewöhnlichen Diamagnets. Doch

bedarf es einer besonderen Einrichtung, um reine Wirkungen einer solchen elektrodiamagnetischen Kraft darzustellen und den Einfluss des galvanischen Stroms dabei ganz zu beseitigen. Ich will hier nun zuerst die Einrichtung beschreiben, mit der ich die reine Wirkung eines Elektrodiamagnets dargestellt und die Grösse seiner Kraft mit der eines Elektromagnets verglichen habe; sodann werde ich die Resultate der damit gemachten Versuche folgen lassen.

2.

Elektrodiamagnetischer Messapparat.

Es sollte die Wirkung beobachtet werden, welche ein Elektrodiamagnet auf eine in einiger Entfernung davon aufgestellte Magnetnadel ausübt. Es ist schon oben bemerkt worden, wie klein die Wirkung sei, welche man von der von einem diamagnetischen Körper auf eine gewöhnliche Magnetnadel ausgeübten Kraft zu erwarten habe, zumal wenn diese Nadel vom Diamagnete einige Zoll entfernt ist. Je kleiner die zu erwartende Wirkung war, desto feinere Methoden der Beobachtung mussten gebraucht werden. Es wurde daher ein kleines Magnetometer angewendet, dessen Nadel 100 Millimeter lang und mit Spiegel versehen war, um nach der Gauss'schen Methode mit Fernrohr und Skala beobachtet zu werden. Es liessen sich damit Ablenkungen der Nadel von einzelnen Bogenminuten genau messen. Die Empfindlichkeit einer solchen Nadel hängt, wie bekannt, von der Grösse der horizontalen Richtkraft ab, die der Erdmagnetismus auf sie ausübt. Die Schwingungsdauer der Nadel betrug bei ungeschwächter Richtkraft des Erdmagnetismus 7,687 Secunden; nun wurde aber diese Richtkraft, um die Empfindlichkeit zu steigern, so vermindert, dass die Schwingungsdauer auf 18,45 Secunden wuchs, was auf sehr einfache Weise durch einen starken Magnetstab Fig. 2 *SN* bewirkt wurde, welcher, mit verkehrten Polen, in der Richtung der Nadel *NS* in angemessener Entfernung fest aufgestellt wurde. Durch eine kleine Verrückung dieses Magnetstabes konnte die Empfindlichkeit der Nadel ganz beliebig regulirt werden; doch wird durch zu grosse Empfindlichkeit die Präcision der Beobachtung leicht gefährdet. Ausserdem ergab sich, dass der oben angegebene Grad der Empfindlichkeit genügte. Uebrigens war die Nadel mit einem kupfernen Dämpfer versehen, welcher eine Abnahme der Schwin-

gungsbögen in dem Verhältnisse von 3 : 2 bewirkte, oder genauer das *decrementum logarithmicum* war

$$= 0,17887.$$

Von dieser Beschreibung des magnetischen Messapparats gehen wir zur Darstellung des Elektrodiamagnets selbst und seiner Aufstellung über. Der Elektrodiamagnet bestand erstens aus zwei gleichen Wismuthcylindern, 92 Millimeter lang, 16 Millimeter dick, beide zusammen 343500 Milligramm schwer, welche, wie Fig. 4. *aa* darstellt, in

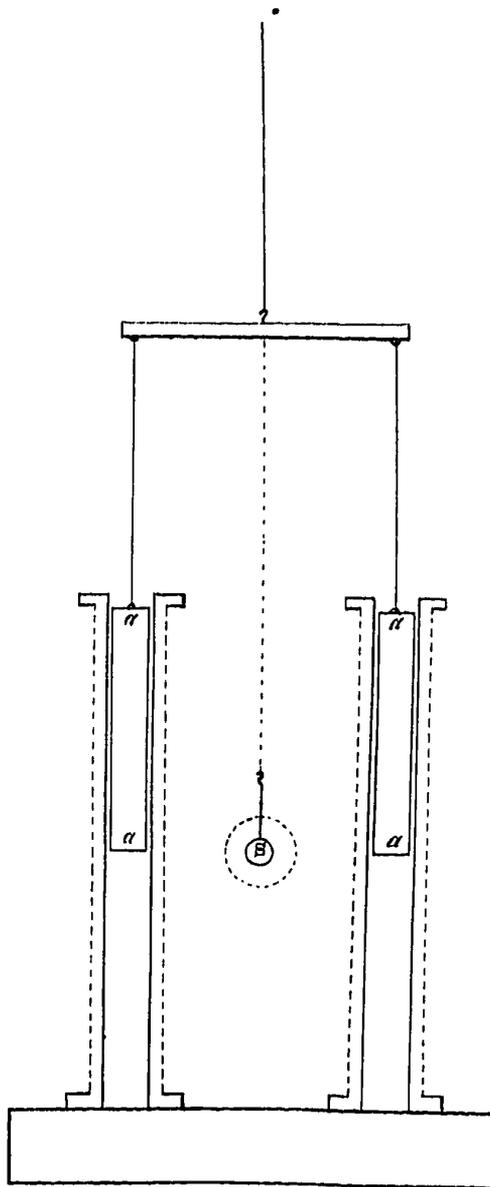


Fig. 4.

verticaler Stellung und 100 Millimeter Abstand fest mit einander verbunden waren und durch eine einfache Hebelvorrichtung höher oder tiefer

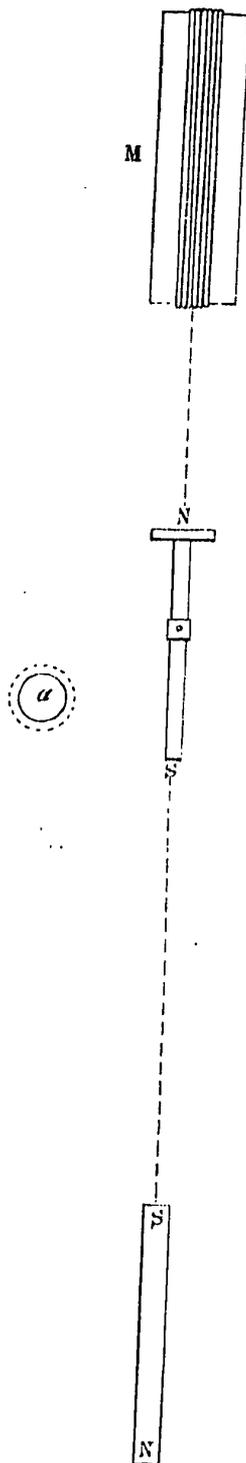


Fig. 2.

gestellt werden konnten; zweitens aus zwei spiralförmig aufgewundenen kupfernen Leitungsdrähten. Jede dieser Spiralen war 190 Millimeter lang, hatte 17 Millimeter inneren Durchmesser und bestand aus 4 Lagen, jede Lage aus 146 Umwindungen. Sie waren vertical wie Säulen, 100 Millimeter von einander, auf einer Statife befestigt und ihre Drähte so mit einander verbunden, dass ein Strom, welcher von der einen zur andern ging, sie in entgegengesetztem Sinne durchlief. Beide Wismuthcylinder konnten zugleich in diese beiden Spiralen herabgelassen werden und wurden dann durch den galvanischen Strom in Elektrodiamagnete verwandelt, deren einer seinen Nordpol nach oben, der andere nach unten kehrte. Zur Darstellung des Stroms dienten 6 Grove'sche Becher.

Diese beiden Spiralen wurden nun so aufgestellt, dass eine durch die Nadel gelegte Horizontalebene sie halbirt; das Südende S der Nadel schwebte genau in der Mitte zwischen beiden Spiralen. Fig. 2 stellt die gegenseitige Lage der Nadel NS und der beiden Spiralen um aa im horizontalen Durchschnitte dar. Die beiden Wismuthcylinder wurden entweder in den Spiralen so tief herabgesenkt, dass ihr oberes Ende bis zum Niveau der Nadel herauf, oder sie wurden so hoch gehoben, dass ihr unteres Ende bis zum Niveau der Nadel herabreichte.

Die Gründe dieser Einrichtung sind folgende. Es kam erstens darauf an, dass der galvanische Strom, welcher durch beide Spiralen ging, gar keine Wirkung unmittelbar auf die Nadel ausübte, trotz seiner Stärke

und Nähe und trotz der Empfindlichkeit der Nadel. Durch die symmetrische Stellung der beiden Spiralen halb über halb unter der Horizontalebene der Nadel wurde die Ablenkung aufgehoben; durch die gleiche Entfernung der beiden Spiralen von der Nadel und durch die entgegengesetzte Richtung ihres Stromes wurde auch die senkrechte Kraft aufgehoben, welche sonst die Nadel in verticale Schwankung setzen würde. Da aber eine vollkommene Symmetrie dieser Verhältnisse praktisch nicht erreichbar ist, so bedurfte es noch einer besondern Einrichtung, um die unvermeidlichen kleinen Abweichungen zu compensiren. Dazu diente ein dritter Leitungsdraht, welcher in 18 Windungen um einen keckigen Rahmen M gewunden war und in die Kette eingeschaltet wurde. Dieser Rahmen war 244 Millimeter lang, 146 Millimeter hoch und wurde vertical in der Ebene der Nadel aufgestellt. Derselbe Strom, welcher durch die beiden Spiralen ging, übte, indem er auch diesen dritten Draht durchlief, ein Drehungsmoment auf die Nadel aus, welches durch Näherung oder Entfernung des Rahmens leicht vergrößert oder verkleinert werden konnte, bis die beabsichtigte Compensation vollkommen erreicht war.

Zweitens kam es darauf an, dass die beiden Wismuthcylinder abwechselnd in die untere Stellung, wo ihre oberen Enden stärker auf die Nadel wirkten, und in die obere Stellung, wo ihre unteren Enden stärker wirkten, gebracht werden konnten, ohne dass die Stärke ihres Diamagnetismus sich änderte und ohne dass durch diese Bewegung im Wismuth als Leiter ein Strom inducirt wurde. Hierbei trat nun der Vorzug des Elektrodiamagnets vor einem gewöhnlichen hervor. Denn der gewöhnliche, durch die Nähe eines Magnetpols hervorgebrachte, Diamagnetismus ändert sich mit jeder Verrückung seines Trägers und zugleich werden dabei in diesem Träger, wenn er ein Leiter ist, stets Ströme inducirt. Ganz anders verhält es sich mit einem Elektrodiamagnete, wo der diamagnetische Wismuthcylinder von allen Seiten von der galvanischen Spirale umschlossen ist. Ist diese Spirale gleichförmig gewunden und so lang, dass der Wismuthcylinder stets von den Enden der Spirale entfernt bleibt, so ergiebt sich die elektromagnetische Kraft der Spirale für alle Theile des Raumes, in denen der Wismuthcylinder sich befindet, nach bekannten elektromagnetischen Gesetzen, nahe constant, und der Wismuthcylinder kann also in dem mittleren Raume der

Spirale hin und her geschoben werden, ohne dass sein Diamagnetismus verändert, und ohne dass galvanische Ströme in demselben als Leiter inducirt werden. Dazu kommt noch, dass die ganze Wismuthmasse darin gleichmässig diamagnetisirt wird, welches bei der gewöhnlichen, durch die Nähe eines Magnetpols hervorgebrachten Diamagnetisirung nicht der Fall ist, weil hier diejenigen Theile, welche dem Pole am nächsten liegen, weit stärker werden, als die entfernteren, ein Umstand, welcher alle Maassbestimmungen verhindert.

Fand nun bei der beschriebenen Aufhebung kein directer Einfluss des Stroms auf die Nadel statt, und wurde in den Wismuthcylindern als Leitern bei ihrer Auf- und Abschiebung kein Strom inducirt, so musste die Ablenkung der Nadel, welche beobachtet wurde, als eine reine Wirkung der diamagnetischen Kraft der Wismuthstäbe betrachtet werden, und diese Ablenkung musste nach dem Gesetze der diamagnetischen Polarität positiv oder negativ sein, je nachdem die Wismuthstäbe ihre untere oder obere Stellung in den Drahtspiralen erhielten. Es ergiebt sich daraus der für die schärfere Beobachtung günstige Umstand, dass sich diese Ablenkung durch Multiplication verstärken lässt, indem man die Stellung der Wismuthstäbe immer in dem Augenblicke wechselt, wo die Nadel das Ende ihres Schwingungsbogens erreicht, so lange, bis endlich durch die Wirkung des Dämpfers, womit die Nadel versehen ist, ihr Schwingungsbogen während jeder Schwingung um eben so viel abnimmt, als er durch die diamagnetische Wirkung der Wismuthstäbe zunimmt. Der zugehörige Grenzwert lässt sich aus allen nach einander beobachteten Schwingungsbögen mit grosser Schärfe berechnen und kann bei bekannter Dämpfung als Maass der Stärke des Elektrodiamagnetismus der Wismuthstäbe dienen.

Setzt man alsdann für die Wismuthstäbe einen Eisencylinder von gleicher Länge und wiederholt damit die nämlichen Versuche, so gelangt man zu einer Vergleichung der Stärke eines Elektrodiamagnets mit der eines Elektromagnets. Nur leuchtet ein, dass man bei der grossen Empfindlichkeit des Apparats die Wirkung des Elektromagnets dadurch möglichst schwächen muss, dass man einen sehr dünnen Eisenstab gebraucht. Bei den folgenden Versuchen war der Eisenstab so dünn, dass sein Gewicht nur den 59200sten Theil von dem Gewichte der beiden Wismuthstäbe betrug, und auch dann ergab

sich seine Wirkung noch viel stärker, als die der beiden Wismuthstäbe zusammen.

Endlich kam es drittens bei diesen Versuchen hauptsächlich noch darauf an, die Richtung der Ablenkung für jede Stellung der Wismuthstäbe zu bestimmen und mit der Richtung zu vergleichen, welche die Ablenkung bei gleicher Stellung des Eisenstäbchens hatte. Es wurde daher die Stellung der Stäbe für jede Schwingungsdauer bei den Beobachtungen bemerkt. Es ergab sich stets, wie die folgenden Versuche zeigen, dass die Ablenkung der Nadel, bei gleicher Stellung der Wismuth- und Eisenstäbe, in entgegengesetzter Richtung erfolgte, dass also, wie für gewöhnliche Diamagnete aus anderen Wirkungen schon bekannt ist, auch bei Elektrodiamagneten das nördliche und südliche magnetische Fluidum, unter gleichen Stromverhältnissen, auf entgegengesetzte Weise wie bei Elektromagneten vertheilt gedacht werden muss, was eben durch diese Versuche bewiesen werden sollte.

3.

Versuche und Messungen.

Die mit dem beschriebenen Apparate angestellten Versuche und Messungen sind von verschiedenen Beobachtern gemacht worden, um die Unsicherheit zu beseitigen, der bei so schwachen Wirkungen ein einzelner Beobachter leichter ausgesetzt erscheinen könnte. Ausser mir haben folgende Herren die Güte gehabt, dieselben Messungen an verschiedenen Tagen zu wiederholen, nämlich Professor Listing, Professor Sartorius von Waltershausen, Dr. von Quintus Icilius und Dr. Riemann. Ich werde beispielsweise statt des Protocolls meiner eigenen Messungen das Protocoll der von Herrn Professor Listing sehr sorgfältig gemachten Messungen hier vollständig mittheilen, indem ich nur bemerke, dass die meinigen sowohl wie alle anderen sämmtlich damit nahe übereinstimmen.

Göttingen 1851. Juni 21.

Beobachter: Herr Professor Listing.

Galvanischer Strom von 6 Grove'schen Platin- Zinkbechern.

1. Versuche mit den beiden Wismuthstäben.

Nr. der Schwingung.	Stellung der Stäbe.	Stand der Nadel am Anfange oder Ende jeder Schwingung.	Ruhestand der Nadel.	Schwingungsbogen der Nadel.
1.	oben	500,0		
2.	unten	467,0	487,6	— 40,0
3.	oben	513,9	488,3	— 50,4
4.	unten	459,9	488,3	— 56,3
5.	oben	518,5	489,2	— 58,5
6.	unten	460,0	487,3	— 55,2
7.	oben	512,0	489,3	— 46,5
8.	oben	471,1	484,9	+ 29,7
9.	unten	489,7	487,3	+ 7,0
10.	oben	494,2	489,3	— 8,9
11.	unten	480,9	488,9	— 15,6
12.	oben	498,9	482,7	— 30,0
13.	unten	457,0	483,1	— 50,4
14.	oben	516,0	487,2	— 57,8
15.	unten	459,3	484,2	— 50,9
16.	unten	504,4	487,6	+ 35,6
17.	oben	478,3	483,1	+ 12,4
18.	unten	476,9	485,6	— 14,7
19.	oben	504,9	485,7	— 36,6
20.	unten	459,6	480,6	— 42,6
21.	oben	499,4	479,6	— 39,6
22.	unten	460,1	484,1	— 46,6
23.	oben	513,9	488,2	— 51,7
24.	unten	464,2	486,8	— 45,9
25.	oben	506,2	480,0	— 50,6
26.	unten	446,9	474,1	— 55,2
27.	unten	498,0	476,4	+ 44,5
28.	oben	460,0	465,6	+ 15,5
29.	unten	453,1	462,5	— 16,8
30.	oben	479,8	464,6	— 29,8
31.	unten	446,9	467,8	— 40,3
32.	oben	494,6	471,8	— 46,0
33.	unten	450,4	471,3	— 42,2
34.	oben	490,5	468,2	— 44,0
		442,6		

2. Versuche mit einem Eisenstäbchen.

Um bei der Empfindlichkeit der Nadel die Wirkung des Eisens zu vermindern, wurde nur ein einfaches Stäbchen gebraucht und damit zwei Versuchsreihen gemacht, wobei das Stäbchen erst in der einen, dann in der andern Spirale auf und abgeschoben wurde. Das Eisenstäbchen wog, bei gleicher Länge mit den Wismuthstäben, nur 5,8 Milligramm, d. i. 59200 Mal weniger als die beiden Wismuthstäbe zusammen. Dennoch war die Wirkung so stark, dass die Ablenkung nur ohne Multiplication einfach gemessen werden konnte.

Nr.	Erste Reihe.			
	Stellung des Eisenstäbchens.	Elongationen der Nadel.	Ruhestand der Nadel.	Mittel.
1.	unten	428,1	300,4 303,8 301,7	302,0
		215,2		
		362,8		
		261,0		
2.	oben	451,2	571,7 569,8 571,9 570,6	571,0
		652,0		
		515,0		
		609,9 544,4		
3.	unten	435,5	298,2 301,5 298,6 304,0	300,6
		206,7		
		364,7		
		254,6 336,9		
4.	oben	503,2	560,4 561,3	560,7
		598,0		
		536,9		

Nr.	Zweite Reihe.			
	Stellung des Eisenstäbchens.	Elongationen der Nadel.	Ruhestand der Nadel.	Mittel.
1.	oben	524,0 590,5 549,3	563,9 565,8	564,9
2.	unten	227,4 387,1 275,4 357,9	323,2 320,1 324,9	322,7
3.	oben	450,9 661,8 525,3 600,0	577,4 579,9 570,1	575,8
4.	unten	217,8 392,2 270,0 349,4	322,4 318,9 317,6	319,6
5.	oben	439,7 638,8 495,8 595,0	559,2 553,0 555,3	555,8

Es ist hierbei noch zu bemerken, dass die Intensität des von 6 Grove'schen Bechern hervorgebrachten Stromes mit einer Tangentenboussole, deren Ring 214 Millimeter Durchmesser hatte, gemessen wurde. Der Strom lenkte die Boussole um $28^{\circ} 21'$ ab, wonach die Intensität des Stroms (den horizontalen Theil der erdmagnetischen Kraft = 1,8 gesetzt) gefunden wird

$$= 105,5 \cdot \frac{1,8}{2\pi} \cdot \tan 28^{\circ} 21' = 16,31.$$

4.

Berechnung der Versuche.

In der Tafel der mit den beiden Wismuthstäben gemachten Versuche sind die Nadelstände, wie sie am Anfange und Ende jeder Schwingung beobachtet worden sind, in der dritten Columne angegeben. Aus je drei von diesen unmittelbar beobachteten Nadelständen sind in der vierten und fünften Columne der entsprechende Ruhestand und Schwingungsbogen mit Rücksicht auf die Dämpfung berechnet. Ein positives Vorzeichen vor dem Schwingungsbogen bedeutet, dass die Nadel bei der oberen Stellung der Wismuthstäbe von kleineren auf grössere, oder bei der unteren Stellung von grösseren auf kleinere Skalentheile ging; das Umgekehrte gilt für das negative Vorzeichen. Nachdem die Stellung der Wismuthstäbe mehrmals regelmässig am Ende jeder Schwingung gewechselt worden war und der Schwingungsbogen seinen Grenzwert fast erreicht hatte, wurde eine Unterbrechung dadurch hervorgebracht, dass die Stellung der Wismuthstäbe während zweier Schwingungen unverändert gelassen, darauf aber wieder regelmässig gewechselt wurde. Der negative Schwingungsbogen wurde dadurch in einen positiven verwandelt, der aber schnell bis auf Null abnahm und sehr bald wieder in einen negativen überging, wodurch die Richtung der von den Wismuthstäben hervorgebrachten Ablenkung am augenscheinlichsten hervortrat. — Zählt man die Schwingungsbögen von demjenigen an, welcher der Null am nächsten ist, so lassen sich die beobachteten dem Grenzwert am nächsten kommenden Werthe mit Hilfe des bekannten *decrementum logarithmicum* leicht auf den Grenzwert reduciren, und daraus ein genauerer Mittelwerth des letzteren finden. In dem vorliegenden Falle, wo das *decrementum logarithmicum* nahe $= \log \frac{2}{3}$ war, genügt es, den Werth des *n*ten Schwingungsbogens mit $(1 - (\frac{2}{3})^n)$ zu dividiren, oder genauer, weil das *decrementum logarithmicum* $= 0,17887$ war, mit $(1 - 0,6624^n)$. Hiernach ergeben sich folgende reducirte Werthe.

Nr.	beobachtet	reducirt	Mittel
1.	— 40,0	— 63,4	— 61,8
2.	— 50,4	— 66,6	
3.	— 56,3	— 67,4	
4.	— 58,5	— 65,5	
5.	— 55,2	— 59,4	
6.	— 46,5	— 48,8	
11.	— 30,0	— 47,5	— 59,8
12.	— 50,4	— 66,6	
13.	— 57,8	— 68,5	
14.	— 50,9	— 56,8	
19.	— 42,6	— 67,5	— 56,1
20.	— 39,6	— 52,3	
21.	— 46,6	— 55,5	
22.	— 51,7	— 57,9	
23.	— 45,9	— 49,4	
24.	— 50,6	— 53,4	
25.	— 55,2	— 57,0	
30.	— 40,3	— 63,9	— 55,8
32.	— 46,0	— 60,2	
31.	— 42,2	— 50,0	
33.	— 44,0	— 49,3	

Aus allen Beobachtungen zusammen ergiebt sich also der gesuchte Grenzwert

$$x = -58,4 .$$

Das negative Vorzeichen bedeutet, dass die Nadel bei der unteren Stellung der Wismuthstäbe auf grössere, bei der oberen auf kleinere Skalentheile getrieben wurde. Bei diesen nach der Methode der Multiplication gemachten Versuchen ergiebt sich nun ferner aus dem gefundenen Grenzwert der Schwingungsbögen $\approx x$, nach der in der vorigen Abhandlung (in diesem Bande S. 348) von mir ge-

benen Regel, die dem Gleichgewichte der Nadel entsprechende Ablenkung E

$$E = \frac{x}{2} \cdot \frac{1 - e^{-\lambda}}{1 + e^{-\lambda}},$$

worin $\log e^{\lambda}$ das logarithmische Decrement bezeichnet, also $\log e^{\lambda} = 0,17887$ ist. Hieraus ergibt sich die dem Gleichgewichte der Nadel entsprechende Ablenkung

$$E = -5,93.$$

Aus den mit dem Eisenstäbchen ohne Multiplication gemachten Versuchen haben sich abwechselnd für die obere und für die untere Stellung folgende Ruhestände der Nadel ergeben:

	erste Reihe	zweite Reihe
oben	—	564,9
unten	302,0	322,7
oben	574,0	575,8
unten	300,6	319,6
oben	560,7	555,8

Hieraus ergeben sich unmittelbar die Werthe der Ablenkung E :

erste Reihe	zweite Reihe
+ 134,50	+ 121,40
+ 135,20	+ 126,53
+ 130,05	+ 128,40
	+ 118,10

also im Mittel aus beiden Reihen die Ablenkung

$$E' = +128,4.$$

Das positive Vorzeichen bedeutet, dass die Nadel bei der unteren Stellung des Eisenstäbchens auf kleinere, bei der oberen auf grössere Skalentheile getrieben wurde, d. i. gerade umgekehrt wie bei den Wismuthstäben.

Das Moment des Magnetismus des Eisenstäbchens verhält

sich hiernach zum Momente des Diamagnetismus der beiden Wismuthstäbe, wie

$$+ 128,4 : - 5,93 ,$$

d. h. das Moment des Eisens ist dem 21,7fachen des Wismuths entgegengesetzt gleich, ungeachtet die Masse des Eisens 59200 Mal kleiner war. Hiernach würde also, auf gleiche Massen reducirt, der Diamagnetismus des Wismuths 1285000 Mal kleiner zu setzen sein, als der Magnetismus des Eisens.

Aus einer eben solchen von Herrn Professor Sartorius von Waltershausen ausgeführten Versuchsreihe hatte sich der Grenzwert

$$x = - 48,2 ,$$

aus einer dritten von Herrn Dr. von Quintus Icilius gemachten,

$$x = - 47,3 ,$$

aus einer vierten von Herrn Dr. Riemann gemachten,

$$x = - 45,0 ,$$

aus der von mir gemachten

$$x = - 55,8$$

ergeben. Im Mittel aus allen diesen Versuchen ist also

$$x = - 50,9$$

$$E = - 5,17$$

und hiernach ist der Diamagnetismus des Wismuths 1470000 Mal kleiner zu setzen, als der Magnetismus des Eisens.

Die obigen Versuche genügen, um dadurch den Elektrodiamagnetismus des Wismuths nachzuweisen. Die für seine Stärke daraus abgeleitete Bestimmung kann nun zwar, wie man leicht übersieht, nur als eine ungefähre betrachtet werden; es reicht aber eine solche ungefähre Bestimmung hin, um als ein fester Stützpunkt bei der folgenden Untersuchung über diamagnetische Induction galvanischer Ströme gebraucht zu werden.

5.

Bequemste Einrichtung zur Beobachtung der diamagnetischen Polarität.

Die vorhergehenden Versuche beweisen dreierlei:
 erstens, dass bei der Darstellung von Diamagneten, ebenso wie bei der Darstellung von Magneten, die rein magnetischen Kräfte durch elektromagnetische Kräfte galvanischer Ströme ersetzt werden können;

zweitens, dass an einem seiner Länge nach gleichförmig diamagnetisirten Wismuthstabe, wie er durch die elektromagnetische Kraft einer galvanischen Spirale, in die er gelegt wird, dargestellt werden kann, die diamagnetische Polarität deutlich und sicher beobachtet wird, indem er auf eine Magnetnadel entgegengesetzte Drehungskräfte ausübt, jenachdem er ihr mit seinem einen oder mit seinem andern Ende genähert wird, — gerade so wie die magnetische Polarität an einem durch denselben Strom magnetisirten Eisenstabe:

drittens, dass sich endlich unter den angegebenen Verhältnissen die von dem diamagnetisirten Wismuthstabe auf eine Magnetnadel ausgeübte Drehungskraft sowohl ihrer Richtung als Grösse nach bestimmen und mit der Richtung und Grösse der von einem durch dieselben Kräfte magnetisirten Eisenstabe auf dieselbe Magnetnadel ausgeübten Drehungskraft vergleichen lässt, woraus sich die Richtung der Drehungskraft stets entgegengesetzt ergibt, während die Bestimmung der Grösse zu einer Vergleichung sich entsprechender magnetischer und diamagnetischer Momente führt.

Alle diese Versuche lassen sich mit geringen Hilfsmitteln, wenn sie zweckmässig verwendet werden, ausführen, was um so mehr Beachtung verdient, als nach der in der Einleitung gemachten Bemerkung die Kräfte, um die es sich hierbei handelt, ausserordentlich klein sind, und man daher gefasst sein musste, dass die Beobachtung deutlich wahrnehmbarer Wirkungen dieser kleinen Kräfte die Anwendung sehr starker Mittel fordern würde, was in der That aber nicht der Fall ist. Denn eine Grove'sche oder Bunsen'sche Säule von 6 bis 8 Bechern und ein Paar Pfund Kupferdraht von angemessener Stärke sind Gegenstände, die zu vielen andern Versuchen gebraucht werden, und ausserdem bedarf es bloss noch einer kleinen Magnetnadel, die mit einem Spiegel versehen ist, um wie beim Magnetometer mit einem Fernrohre (wozu ein Sextantenfernrohr genügt) beobachtet zu werden.

Um die Ausführung dieser für die Begründung der Lehre vom Diamagnetismus besonders wichtigen Versuche möglichst zu erleichtern, namentlich die auf die Aufstellung des Apparats zu verwendende Mühe zu vermindern, habe ich folgende Einrichtung getroffen, welche zur Wiederholung der Versuche als die bequemste empfohlen werden kann.

Sie besteht wesentlich darin, dass, statt zweier galvanischen Spiralen, welche bei obigen Versuchen (Art. 2) vertical so aufgestellt wurden, dass der eine Pol einer geraden Magnetnadel symmetrisch zwischen ihnen lag, nur eine solche Spirale gebraucht wird, welche symmetrisch mitten zwischen den beiden Polen einer hufeisenförmig gebogenen Magnetnadel aufgestellt wird. Fig. 3 stellt *A* den Querschnitt dieser Spirale dar, welcher symmetrisch zwischen den Polen *N*, *S* der hufeisenförmig gekrümmten Magnetnadel *NBS* liegt. Diese Magnetnadel wird von der Klemme *DE* gehalten, in deren Mitte *C* der Aufhängungs-faden befestigt ist. Fig. 4 und 5 stellt das Instrument in zwei Seitenansichten dar. Es ist vortheilhaft, der Spirale eine beträchtliche Länge

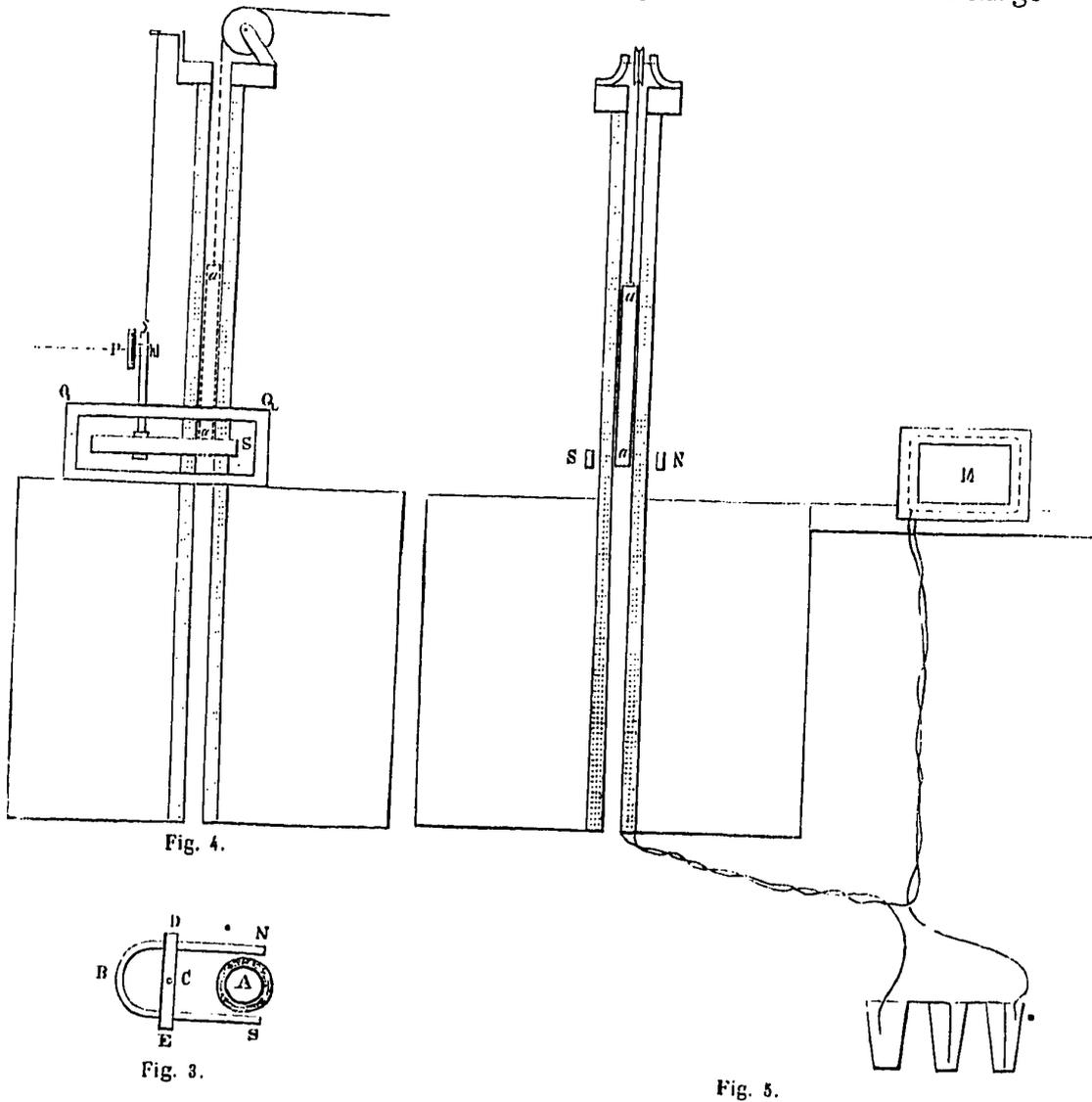


Fig. 4.

Fig. 3.

Fig. 5.

zu geben, z. B. von 400 bis 500 Millimeter, wodurch es leichter wird, die Aufhängung der Nadel so zu reguliren, dass sie in der die Länge der Spirale halbirenden Horizontalebene schwebt, wo dann der durch die Spirale gehende Strom auf die Nadel kein Drehungsmoment ausübt. Sollte aber auch ein kleines Drehungsmoment vorhanden sein, so lässt sich dies leicht auf die Art. 2 schon angegebene Weise durch einen aus wenigen Windungen bestehenden Multiplier Fig. 5 *M* compensiren, indem man denselben Strom hindurchleitet und ihn der Magnetnadel nähert. Zur Beobachtung der Magnetnadel ist es nothwendig, sie mit einem Spiegel Fig. 4 *P* zu versehen und darin mit einem Fernrohre das Spiegelbild einer entfernten Skala zu beobachten. Die Magnetnadel wird ausserdem mit einem Dämpfer Fig. 4 *QQ* umgeben. Der Wismuthstab *aa* Fig. 4 und 5 wird an einem Faden vertical in der Spirale aufgehängt; er kann gehoben oder gesenkt werden, so dass entweder, wie Fig. 4 und 5 darstellt, sein unteres Ende zwischen den beiden Polen der Magnetnadel zu liegen kommt, oder sein oberes Ende. Die Beobachtungen lassen sich am bequemsten machen, wenn durch Rollen oder durch eine einfache Hebelvorrichtung die Einrichtung getroffen wird, dass der Beobachter am Fernrohre selbst durch Hebung oder Senkung des Fusses die Senkung oder Hebung des Wismuthstabes bewirken kann. Ist der Strom geschlossen und die Magnetnadel ganz in Ruhe, so hebt man den Wismuthstab und beobachtet darauf eine kleine Bewegung der Nadel. Sobald dann die Nadel ihre grösste Elongation erreicht hat, wird der Wismuthstab wieder gesenkt, und die Magnetnadel bewegt sich dann schon mit grösserer Geschwindigkeit zurück. Hat sie die grösste Elongation nach dieser Seite erreicht, so wird der Wismuthstab wieder gehoben u. s. w. Zwischen je zwei Elongationen bemerkt man die Stellung, welche der Wismuthstab während der dazwischen verflossenen Zeit gehabt hat. Vertauscht man den Wismuthstab mit einem gleich langen aber sehr dtinnen Eisendrahte, so kann man sich überzeugen, dass bei gleicher Stellung des Eisendrahts die Ablenkung der Nadel in entgegengesetzter Richtung geschieht, wie beim Wismuthstabe.

Diamagnetelektricität und Messung der diamagnetisch inducirten elektrischen Ströme.

6.

Die Versuche über diamagnetelektrische Induction bieten, wie man leicht übersehen kann, wegen ihrer grösseren Feinheit der Beobachtung mehr Schwierigkeit dar, als die vorhergehenden Versuche über den Elektrodiamagnetismus, und es bedarf einer besonderen Kunst in der Einrichtung und Anordnung der Versuche, um mit einem Aufwande von mässigen Hilfsmitteln hier wirklich zum Ziele zu gelangen. Die folgenden Versuche werden zeigen, wie dies dennoch möglich ist, und wenn die mit Hilfe solcher Mittel dargestellten Wirkungen auch nur klein sind, so zeigen sie doch eine solche Uebereinstimmung, dass bei einiger Beachtung der Verhältnisse kaum etwas zu wünschen übrig bleibt, wenn es sich bloss darum handelt, das Factum der diamagnetischen Induction zu begründen und vor Täuschungen durch fremdartige Einflüsse sicher zu stellen. Die dargestellten Wirkungen können sogar, wie man sehen wird, zu quantitativen Bestimmungen über die Stärke der diamagnetischen Induction gebraucht werden, die sich zu solchen Prüfungen benutzen lassen, zu welchen ein geringerer Grad von Genauigkeit genügt. Nur der Wunsch, diesen quantitativen Bestimmungen die für einige besondere Untersuchungen nothwendige grössere Präcision zu geben, wird es künftig nöthig machen, grössere Mittel in Anwendung zu bringen. Ich werde die Beschreibung des hier gebrauchten diamagnetischen Inductionsapparats vorausschicken und darauf die der damit ausgeführten Versuche folgen lassen.

7.

Beschreibung des diamagnetischen Inductionsapparats.

Ich werde hier einen andern diamagnetischen Inductionsapparat beschreiben, als derjenige war, mit dem ich früher (Berichte 1847 und Poggendorffs Annalen 1848. Bd. 73.) eine schwache Spur von einer diamagnetischen Induction beobachtet habe, der aber nicht ganz die zu diesen Versuchen wünschenswerthe Feinheit und Genauigkeit besass. Jener Apparat war im Wesentlichen derselbe, dessen sich später

Faraday bediente und in den *Philos. Transact.* 1850. P. I beschrieb, mit dem ihm aber die Beobachtung der diamagnetischen Induction nicht gelungen ist, wiewohl er viele andere interessante Anwendungen davon gemacht hat. Der Grund dieses verschiedenen Erfolgs ist wohl in den von mir gebrauchten feineren galvanometrischen Mitteln zu suchen; denn auch ich würde, wie Faraday, ohne die Anwendung eines Galvanometers, dessen Nadel nach Art des Gauss'schen Magnetometers mit Spiegel und Fernrohr beobachtet wird, gar keine Spur einer solchen diamagnetischen Induction zu beobachten im Stande gewesen sein. Indessen können auch die von mir mit jenem Apparate gemachten Versuche nicht als genügend betrachtet werden, weil dabei die an sich schwachen Wirkungen mit anderen Wirkungen verbunden erscheinen, von denen sie schwer geschieden werden können. Auch gestatten dabei die Verhältnisse keine quantitative Controlle. Der hier zu beschreibende Inductionsapparat unterscheidet sich von dem früheren wesentlich dadurch, dass

1) ein Elektrodiamagnet, statt eines gewöhnlichen, zur Induction benutzt wird, dessen Moment durch die vorhergegangene Untersuchung seiner Grösse nach wenigstens näherungsweise bekannt ist, wonach das Verhältniss der inducirenden Wirkung des Apparats bei Anwendung eines Wismuthstabes im Vergleiche zu der bei Anwendung eines Eisenstabs vorausgesagt werden kann;

2) dadurch, dass die Induction durch blosse Bewegung des diamagnetischen Körpers in einer ruhenden Drahtspirale hervorgebracht wird, indem der Diamagnetismus unverändert bleibt, wodurch vermieden wird, dass in dem Wismuth, als Leiter, galvanische Ströme inducirt werden, welche sonst leicht mit den diamagnetisch inducirten Strömen verwechselt werden könnten.

Der zur Induction benutzte Elektrodiamagnet.

Der zur Induction benutzte Elektrodiamagnet bestand aus einem Wismuthstabe in einer langen Drahtspirale, *cccc* Fig. 6 A, durch welche der Strom von 8 Bunsen'schen Kohlenzinkbechern geleitet wurde.

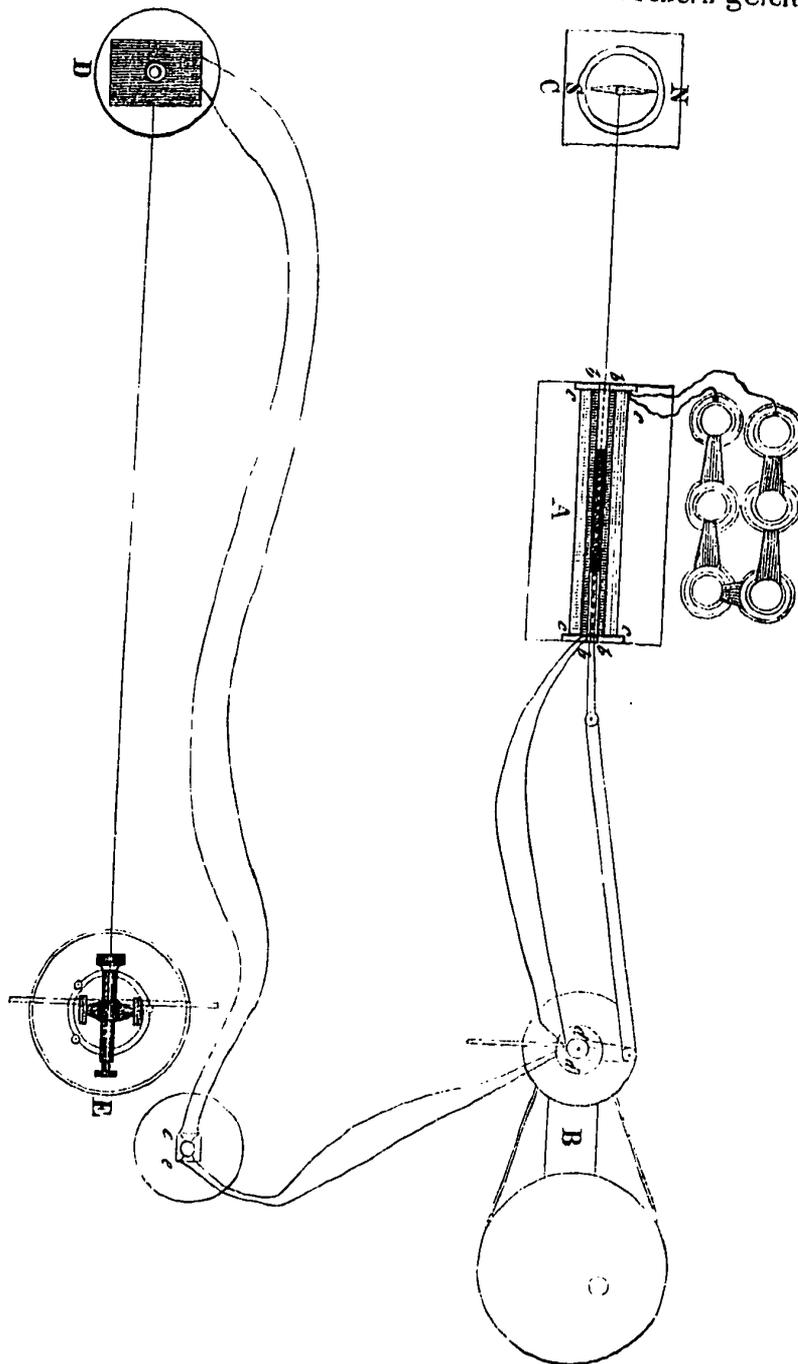


Fig. 6.

Der Wismuthstab war 486 Millimeter lang und wog 339300 Milligramm. Die Drahtspirale bestand aus Kupferdraht, welcher mit Wolle übersponnen und ausserdem noch durch eine Guttaperchadecke isolirt war. Der reine Kupferdraht war 2,3 Millimeter dick, der aufgewundene Draht bildete 8 Lagen über einander, jede zu 120 Umwindungen. Die ganze Spirale war 383 Millimeter lang und hatte 23,9 Millimeter inneren und 70 Millimeter äusseren Durchmesser.

Die Inductionsspirale.

Die Inductionsspirale *bbb* Fig. 6 A ist diejenige Spirale, in welcher durch die Bewegung des Elektrodiamagnets ein Strom inducirt werden soll. Diese Spirale muss von der zum Elektrodiamagnet selbst gehörigen, durch welche der Strom der galvanischen Säule geht, sorgfältig isolirt und, zum Zwecke der Beobachtung des inducirten Stromes, mit dem Multiplicator eines Galvanometers verbunden werden. Diese Spirale bestand aus einem 1 Millimeter dicken, mit Seide übersponnenen Kupferdrahte, welcher 3 Lagen übereinander, jede von 294 Umwindungen, bildete. Die Länge war 383 Millimeter, der innere Durchmesser 19, der äussere 23 Millimeter. Nachdem sie, zur besseren Isolirung, noch mit dünnem Gutta percha umwickelt war, war sie fest in die weitere Röhre der zum Elektrodiamagnet gehörigen Spirale eingeschlossen, oder vielmehr die letztere Spirale wurde darum gewunden.

Der wesentlichste Punkt, der bei dieser Spirale in Betracht kommt, ist der, dass sie ihrer Länge nach in zwei ganz symmetrische und symmetrisch gewundene Hälften zerfällt. Das heisst, der Draht ist nicht der ganzen Länge nach gleichförmig in derselben Richtung fortgewunden, sondern die Spirale zerfällt ihrer Länge nach in zwei Hälften, in denen der Draht entgegengesetzt gewunden ist. Es ist dieses nothwendig, wenn durch die Bewegung eines diamagnetischen Wismuth- oder eines magnetischen Eisenstabs in dieser Spirale ein Strom inducirt werden soll, welcher mit dem damit verbundenen Galvanometer beobachtet werden könne; denn wird dieser inducirende Stab in die Mitte der Spirale gelegt und darauf bewegt, so ist die von seinem nördlichen Ende in der einen Hälfte der Spirale ausgeübte Inductionskraft der von seinem südlichen Ende in der andern Hälfte ausgeübten gerade entgegengesetzt, und die Wirkung beider würde sich aufheben, wenn beide

Hälften der Spirale in gleichem Sinne gewunden wären. Durch ihre entgegengesetzte Windung wird bewirkt, dass die beiden Inductionskräfte einander nicht aufheben, sondern verdoppeln.

Diese zum Zwecke der Induction nothwendige Einrichtung gewährt ausserdem zugleich noch einen für die praktische Ausführung der Versuche wichtigen Vortheil. Es leuchtet nämlich ein, dass der Strom der galvanischen Säule in der Spirale des Elektrodiamagnets zwar, so lange er constant ist, keine inducirende Kraft auf die Inductionsspirale ausüben könne, gegen welche er eine feste, unveränderliche Lage hat; durch die geringste Aenderung seiner Intensität würde aber in der Inductionsspirale ein Strom hervorgebracht werden, welcher viel stärker wäre, als der diamagnetisch inducirte Strom, und die Beobachtung des letztern stören würde. Nun leuchtet aber ein, dass dieselbe Einrichtung der Inductionsspirale, durch welche bewirkt wird, dass die diamagnetische Induction in beiden Hälften dieser Spirale sich verdoppelt, zugleich eine Aufhebung der von dem Strome der galvanischen Säule in der äussern Spirale auf beide Hälften der Inductionsspirale ausgeübten Inductionskräfte bewirkt, so dass, wenn nur die Symmetrie beider Hälften vollkommen ist, auch die grössten Intensitätsänderungen des Stroms der galvanischen Säule gar keinen Einfluss haben. Dazu kommt noch, 1) dass es sehr leicht zu prüfen ist, ob diese Aufhebung genau vorhanden ist, indem man, statt kleine Aenderungen hervorzubringen, den ganzen Strom löst oder commutirt; 2) dass, wenn es sich findet, dass diese Aufhebung nicht vollkommen ist, es sehr leicht dahin gebracht werden kann, bloss dadurch, dass das eine Drahtende der Inductionsspirale noch ein oder einige Male um die Spirale, durch die der Strom der galvanischen Säule geht, herumgewunden wird. Es ist auf diese Weise leicht, die Wirkungen der diamagnetischen Induction von allen fremdartigen Einflüssen zu befreien.

Die übrigen Theile des Inductionsapparats.

Ueber die Einrichtung der übrigen Theile des Inductionsapparats, welche mehr oder weniger der Willkür des Beobachters überlassen bleibt, füge ich nur folgende Bemerkungen bei. Um den Wismuthstab in der Inductionsspirale hin und her zu schieben, verbinde ich denselben mit der Kurbel eines Rads Fig. 6 *B*; damit ferner der in der Inductions-

spirale bei der Zurückschiebung des Wismuthstabes inducirte Strom im Galvanometer dieselbe Richtung habe, wie bei der Hinschiebung, so ist am Rade ein Commutator *dd* angebracht, welcher sich mit dem Rade dreht, und durch welchen bei jeder halben Umdrehung des Rads (in dem Augenblicke, wo der Wismuthstab den Anfangs- oder Endpunkt seiner Bahn erreicht) die Verbindung der Drahtenden der Inductionsspirale mit denen des Multipliers des Galvanometers gewechselt wird. Die hiernach immer gleiche Richtung, in welcher alle inducirten Ströme durch den Multiplier des Galvanometers gehen, würde die Nadel immer nach derselben Seite ablenken. Um nun den Beobachter in den Stand zu setzen, auch eine Ablenkung der Nadel nach der andern Seite hervorzubringen, ist neben dem Beobachtungsfernrohre Fig. 6 *E* noch ein zweiter Commutator *ee* aufgestellt, welcher nur von dem Beobachter selbst gewechselt wird. Dieser Commutator heisse der Hilfscommutator; er verbindet die beiden Drahtenden des Multipliers mit den Enden der beiden vom rotirenden Commutator kommenden Leitungsdrähte. Uebrigens ist besondere Aufmerksamkeit noch auf folgende zwei Punkte zu wenden: 1) dass man die Induction mehr durch die Beschleunigung der Drehung des Rads zu verstärken sucht, als durch die Grösse der Bahn, in welcher man den Wismuthstab hin und her schiebt. In den folgenden Versuchen wurde der Wismuthstab in einer nur 58,2 Millimeter langen Bahn hin und her geschoben, diese Bahn durchlief er aber in jeder Secunde 40,58 Mal. Durch eine grössere Schiebung würde wenigstens ein Theil des Wismuthstabes sich dem Ende der Spirale, durch welche der Strom der galvanischen Säule ging, genähert haben, wo nicht allein die Stärke seines Diamagnetismus geändert, sondern auch in ihm, als Leiter, ein Strom inducirt worden sein würde, der einen secundär inducirten Strom in der Inductionsspirale erzeugt hätte. Dieser muss vermieden werden, wenn man eine reine Wirkung der diamagnetischen Induction erhalten will — 2) ist besondere Aufmerksamkeit auf den rotirenden Commutator zu verwenden, wo leicht ein thermomagnetischer Strom entsteht. Man muss daher diesen Commutator so einrichten, dass sich gleiche Metalle (Messing an Messing) an einander reiben. Auch dadurch werden die thermomagnetischen Ströme nur geschwächt, nicht ganz vermieden. Nun heben sich zwar die an den verschiedenen Reibungsstellen erregten thermomagnetischen Ströme wechselseitig auf; da aber diese Auf-

hebung oft nicht vollständig stattfindet, so muss man den dadurch hervorgebrachten, wenn auch geringen, Einfluss unschädlich machen, indem man ihn in Rechnung bringt, was leicht geschehen kann, wenn man den Beobachtungen, bei welchen der Wismuthstab hin und her geschoben wird, ganz gleiche Beobachtungen unmittelbar vorausschickt und nachfolgen lässt, wobei der rotirende Commutator ohne den Wismuthstab bewegt wird. Uebrigens kann man die ersteren Beobachtungen selbst leicht auch so anordnen, dass die kleinen Wirkungen des thermomagnetischen Stroms abwechselnd die Wirkungen der diamagnetischen Induction verstärken und schwächen, wodurch ein von dem Einflusse des thermomagnetischen Stroms unabhängiger Mittelwerth erhalten wird. Dies geschieht dadurch, dass man von Zeit zu Zeit durch Umkehrung des Stroms der galvanischen Säule den Diamagnetismus des Wismuthstabs umkehrt.

Zum Galvanometer Fig. 6 *D* gebrauchte ich, wie bei dem elektrodiamagnetischen Messapparate, ein kleines Magnetometer nach der Gauss'schen Einrichtung, welches mit einem sehr starken Multiplicator versehen war. Die Länge der Nadel war dabei auf 30 Millimeter reducirt. Die Richtkraft des Erdmagnetismus wurde, zur Vermehrung der Empfindlichkeit, hier ebenso wie früher vermindert. Die Nadel war ebenfalls mit einem dicken Kupferringe als Dämpfer umgeben. Dass der Inductionsapparat so weit von dem Galvanometer entfernt werden müsste, dass der Strom der dabei gebrauchten galvanischen Säule nicht unmittelbar auf die Nadel wirke, oder dass, wenn dies der Raum nicht gestattet, der Inductionsapparat durch besondere Orientirung in eine solche Lage gebracht werden müsste, wo seine ablenkende Kraft auf der Nadel Null oder wenigstens sehr klein ist, bedarf kaum der Erwähnung. Um endlich eine ungefähre Kenntniss von der Stärke des Stroms der galvanischen Säule selbst zu erhalten, wurde eine gewöhnliche Boussole Fig. 6 *C* in einer angemessenen Entfernung von der Spirale, durch welche der Strom ging, so aufgestellt, dass die durch den Strom hervorgebrachte Ablenkung der Boussole zur Bestimmung der Stromintensität benutzt werden konnte.

8.

V e r s u c h e .

Auch die folgenden Versuche sind nicht von mir allein ausgeführt worden, sondern es haben daran die Herren Professoren Listing und Sartorius von Waltershausen, Dr. von Quintus Icilius und Dr. Riemann, ebenso wie an den vorhergehenden elektrodiamagnetischen Theil genommen. Beispielshalber werde ich auch hier das Protocoll der von Herrn Professor Listing gemachten Versuche vollständig mittheilen, mit denen alle anderen nahe übereinstimmten.

Der Inductionsapparat war so aufgestellt worden, dass eine durch die Mitte des Galvanometers und durch die Mitte der Drahtspirale, durch welche der Strom der galvanischen Säule ging, gelegte Verticallebene mit dem magnetischen Meridiane einen Winkel von $54\frac{3}{4}^{\circ}$ bildete; die Axe jener Drahtspirale lag senkrecht gegen den magnetischen Meridian. Aus den Gesetzen des Elektromagnetismus ergibt sich, was die Erfahrung unmittelbar bestätigt, dass bei dieser Anordnung der Strom die Galvanometernadel nicht ablenkt. Unter diesen Umständen war es nun ferner am vortheilhaftesten, die Boussole, durch welche die Stromintensität bestimmt werden sollte, in der Richtung der verlängerten Axe der Drahtspirale, durch welche der Strom ging, aufzustellen. Es geschah dies in 708 Millimeter Abstand von der Mitte auf der westlichen Seite. Derjenige Strom, durch welchen diese Boussole mit ihrem Nordende westlich abgelenkt wurde, soll als der normale Strom, derjenige, durch welchen das Nordende östlich abgelenkt wurde, als umgekehrter Strom bezeichnet werden. Ferner heisse die Schiebung des Wismuthstabs im Inductionsapparate in der Richtung von Westen nach Osten die normale Schiebung, in der Richtung von Osten nach Westen die umgekehrte Schiebung. Endlich heisse diejenige Stellung, welche der rotirende Commutator während der normalen Schiebung des Wismuthstabs hatte, seine normale Stellung, und die, welche er während der umgekehrten Schiebung des Wismuthstabs hatte, die umgekehrte Stellung. Die Drehung des Schwungrads geschah taktförmig nach dem Schlage einer Pendeluhr und es ergab sich, dass alsdann der Wismuthstab in jeder Secunde seine Bahn 10,58 Mal durchlief. Der Horizontalabstand des Spiegels der Magnetnadel von der Skala des Galvanometers betrug 1400 Skalentheile. Die Schwingungsdauer

der Galvanometernadel, welche für die ganze Richtkraft des Erdmagnetismus nahe 9 Secunden war, wurde nach der schon oben beschriebenen Methode durch Aufhebung eines Theils der erdmagnetischen Kraft auf 20,437 Secunden gebracht. Das logarithmische Decrement für die Abnahme der Schwingungsbögen war dabei = 0,42378.

Bei unveränderter Richtung des Stroms der galvanischen Säule in der Spirale des Elektrodiamagnets, und bei unveränderter Stellung des Hilfscommutators wurde die Galvanometernadel durch die diamagnetische Induction des von Westen nach Osten bewegten Wismuthstabs in demselben Sinne abgelenkt, wie wenn der Wismuthstab umgekehrt von Osten nach Westen bewegt wurde, wegen des dazwischen stattfindenden Wechsels des Rotationscommutators; die Ablenkung erfolgt daher bei schneller Hin- und Herschiebung wie wenn ein constanter Strom sie hervorbrächte. Wird aber die Stellung des Hilfscommutators gewechselt, so erfolgt eine Ablenkung der Nadel nach der entgegengesetzten Seite, woraus sich ergibt, dass man zum Zwecke schärferer Beobachtung die Ablenkung der Nadel durch Multiplication verstärken kann, indem man die Stellung des Hilfscommutators immer in dem Augenblicke wechselt, wo die Nadel das Ende ihres Schwingungsbogens erreicht, so lange, bis endlich durch die Dämpfung der Nadel ihr Schwingungsbogen während jeder Schwingung um so viel verkleinert, wie durch den inducirten Strom vergrössert wird. Es wurde daher zwischen je zwei beobachteten Elongationen der Nadel die mit + oder — bezeichnete Stellung des Hilfscommutators bemerkt. War die Nadel zu Anfange der Beobachtungen schon in Schwingung, so wurde mit derjenigen Stellung des Hilfscommutators begonnen, bei welcher der inducirende Strom eine Abnahme des vorhandenen Schwingungsbogens hervorbrachte, welcher dann bei regelmässigem Wechsel bis Null abnahm und dann umgekehrt von Null an wuchs, bis er den Grenzwert erreicht. Wenn die Nadel während der mit + bezeichneten Stellung des Hilfscommutators von kleineren auf grössere Skalentheile ging, ist in der folgenden Zusammenstellung das Vorzeichen + vor den Schwingungsbogen selbst gesetzt worden, im entgegengesetzten Falle das Vorzeichen —. Die Vorzeichen der Schwingungsbögen ergaben sich dann bei der diamagnetischen Induction des Wismuths denen bei der magnetischen Induction des Eisens entgegengesetzt und zugleich waren die letzteren Schwingungsbögen weit grösser,

wiewohl der Eisenstab viel dünner als der Wismuthstab war. Der Eisenstab wog nämlich bei gleicher Länge 790,86 Milligramm, der Wismuthstab 339300 Milligramm. Man brauchte daher, um die Wirkung der magnetelektrischen Induction zu messen, den Eisenstab nicht so schnell wie den Wismuthstab hin und her zu schieben, sondern es genügte eine einzige Schichtung desselben während jeder Schwingung der Nadel, in demjenigen Augenblicke, wo die schwingende Nadel ihre Ruhelage passirte. Die beiden Commutatoren blieben dabei in ihrer normalen Stellung und zwischen je zwei Elongationsbeobachtungen wurde allemal die Richtung bemerkt, nach welcher der Eisenstab verschoben wurde, und zwar wurde die Richtung von Westen nach Osten mit $+$, die von Osten nach Westen mit $-$ bezeichnet, wodurch die Vergleichung mit dem Wismuthstabe gegeben war. Die Beobachtungen ergeben dann für gleiche Schiebung des Eisen- und Wismuthstabs, wie schon erwähnt ist, entgegengesetzte Wirkungen.

Die Versuche wurden damit begonnen, dass 1) geprüft wurde, ob ein Einfluss des thermomagnetischen Stroms vorhanden, und wie gross derselbe war. Dazu wurde der Rotationscommutator in Bewegung gesetzt, ohne jedoch den Wismuthstab hin und her zu schieben. Die Wirkung wurde durch Wechsel des Hilfscommutators bei jeder Elongation multiplicirt. Sodann wurde 2) der Wismuthstab zugleich in Bewegung gesetzt und eine Reihe Beobachtungen bei normalem Strome gemacht; 3) dieselbe Reihe bei umgekehrtem Strome; 4) dieselbe Reihe wieder bei normalem Strome; 5) bei umgekehrtem Strome und 6) endlich nochmals bei normalem Strome. Darauf wurde 7) die Prüfung, ob ein Einfluss des thermomagnetischen Stroms vorhanden sei, wiederholt, und 8) der Wismuthstab mit dem Eisenstabe vertauscht und die Inductionswirkung des letzteren gemessen.

Göttingen, 1851. Juli 13.

Beobachter: Herr Professor Listing.

Galvanischer Strom von 8 Bunsen'schen Kohlen-Zinkbechern.

Nr. der Schwingung.	1. Thermomagnetischer Strom.			
	Stellung des Hilfscommutators.	Stand der Nadel am Anfange und Ende jeder Schwingung.	Ruhestand der Nadel.	Schwingungsbogen der Nadel.
1.	+	497,0		
2.	-	496,2	496,45	- 0,5
3.	+	496,4	496,35	- 0,1
4.	-	496,4	496,30	+ 0,2
5.	+	496,0	496,15	+ 0,3
		496,2		

Hiernach war also fast gar kein Einfluss des thermomagnetischen Stroms vorhanden.

Nr. der Schwingung.	2. Induction des Wismuthstabes bei normalem Strome.				
	Stellung des Hilfscommutators.	Stand der Nadel am Anfange und Ende jeder Schwingung.	Ruhestand der Nadel.	Schwingungsbogen der Nadel.	Ablenkung der Boussole.
1.	-	475,3			32° 10' westlich.
2.	+	472,8	474,65	+ 3,70	
3.	-	477,7	475,00	+ 5,40	
4.	+	471,8	475,20	+ 6,80	
5.	-	479,5	475,32	+ 8,35	
6.	+	470,5	475,33	+ 9,65	
7.	-	480,8	475,52	+10,55	
8.	+	470,0	475,70	+11,40	
9.	-	482,0	475,87	+12,25	
10.	+	469,5	475,85	+12,70	
11.	-	482,4	475,90	+13,00	
		469,3			

Nr. der Schwingung.	3. bei umgekehrtem Strome.				
	Stellung des Hilfscommutators.	Stand der Nadel am Anfange und Ende jeder Schwingung.	Ruhestand der Nadel.	Schwingungsbogen der Nadel.	Ablenkung der Boussole.
1.	+	503,5			31° 50' östlich.
2.	-	515,9	511,15	+ 9,50	
3.	+	509,3	511,13	+ 3,65	
4.	-	510,0	510,62	- 1,25	
5.	+	513,2	510,82	- 4,75	
6.	-	506,9	510,58	- 7,35	
7.	+	515,3	510,85	- 8,90	
8.	-	505,9	510,70	- 9,60	
9.	+	515,7	510,72	- 9,95	
10.	-	505,6	510,53	- 9,85	
		515,2			
4. bei normalem Strome.					
1.	+	480,5			31° 48' westlich.
2.	-	471,0	474,57	- 7,15	
3.	+	475,8	474,40	- 2,80	
4.	-	475,0	474,58	+ 0,85	
5.	+	472,5	474,40	+ 3,80	
6.	-	477,6	474,47	+ 6,25	
7.	+	470,2	474,23	+ 8,05	
8.	-	478,9	474,27	+ 9,25	
9.	+	469,1	474,10	+10,00	
10.	-	479,3	473,93	+10,75	
11.	+	468,0	473,65	+11,30	
12.	-	479,3	473,65	+11,30	
		468,0			

Nr. der Schwingung.	5. bei umgekehrtem Strome.				
	Stellung des Hilfsecommutators	Stand der Nadel am Anfange oder Ende jeder Schwingung.	Ruhestand der Nadel.	Schwingungsbogen der Nadel.	Ablenkung der Boussole.
1.	+	501,5			32° 13' östlich.
2.	-	515,0	509,93	+10,45	
3.	+	508,2	510,35	+ 4,30	
4.	-	510,0	510,02	- 0,05	
5.	+	514,9	510,20	- 3,40	
6.	-	507,0	509,80	- 5,60	
7.	+	513,3	509,68	- 7,25	
8.	-	505,4	509,42	- 8,65	
9.	+	514,2	509,38	- 9,65	
10.	-	504,0	509,05	-10,10	
11.	+	514,0	508,72	-10,55	
12.	-	502,9	508,40	-11,00	
13.	+	513,8	508,15	-11,30	
14.	-	502,4	507,83	-11,45	
15.	+	513,3	507,67	-11,25	
		502,0			
6. bei normalem Strome.					
1.	+	486,0			31° 39' westlich.
2.	-	461,0	474,20	-20,40	
3.	+	476,8	470,60	-12,40	
4.	-	467,8	470,87	- 6,15	
5.	+	474,4	470,48	- 4,25	
6.	-	474,9	470,52	+ 2,75	
7.	+	467,2	470,08	+ 5,75	
8.	-	474,0	470,45	+ 7,10	
9.	+	466,6	470,25	+ 7,30	
10.	-	473,8	469,92	+ 7,75	
11.	+	465,5	469,83	+ 8,90	
12.	-	475,0	470,02	+ 9,70	
13.	+	465,4	470,13	+10,05	
14.	-	475,3	470,17	+10,25	
15.	+	465,0	470,08	+10,45	
16.	-	475,0	469,95	+10,10	
		464,8			

Nr. der Schwingung.	7. Thermomagnetischer Strom.				
	Stellung des Hilfscommutators.	Stand der Nadel am Anfange und Ende jeder Schwingung.	Ruhestand der Nadel.	Schwingungsbogen der Nadel.	Ablenkung der Boussole.
1.	+	486,1			
2.	-	486,5	486,30	+ 0,40	
3.	+	486,1	486,22	+ 0,25	
4.	-	486,2	486,25	- 0,10	
5.	+	486,5	486,35	- 0,30	
6.	-	486,2	486,20	0,00	
7.	+	485,9	486,25	+ 0,70	
8.	-	487,0	486,48	+ 1,05	
9.	+	486,0	486,72	+ 1,45	
10.	-	487,9	487,05	+ 1,70	
11.	+	486,4	487,35	+ 1,90	
		488,7			
8. Induction des Eisenstabs bei normalem Strome.					
1.	+	461,0			31° 48' westlich.
2.	-	457,2	464,85	- 45,30	
3.	+	484,0	467,17	- 33,65	
4.	-	443,5	466,30	- 45,60	
5.	+	494,2	466,73	- 54,95	
6.	-	435,0	466,10	- 62,20	
7.	+	500,2	466,47	- 67,45	
8.	-	430,5	466,25	- 71,50	
9.	+	503,8	466,55	- 74,50	
10.	-	428,1	466,55	- 76,90	
11.	+	506,2	466,90	- 78,60	
12.	-	427,1	467,05	- 79,90	
13.	+	507,8	467,38	- 80,85	
14.	-	426,8	467,35	- 81,10	
15.	+	508,0	467,35	- 81,30	
16.	-	426,6	467,35	- 81,50	
17.	+	508,2	467,33	- 81,75	
		426,3			

9.

Berechnung der Versuche.

Zählt man die Schwingungsbögen von demjenigen an, welcher der Null am nächsten ist, so lassen sich die dem Grenzwerthe am nächsten kommenden, mit Hilfe des bekannten logarithmischen Decrements der Abnahme der Schwingungsbögen $= 0,12378$, auf den Grenzwert h reduciren durch Division des n ten Schwingungsbogens mit $(1 - 0,752^n)$. Hiernach ergeben sich für die mit Wismuth gemachten Versuche folgende reducirte Werthe:

	Schwingungs- bogen	beobachtet	reducirt	Mittel.
2.	8.	+ 11,40	+ 13,20	+ 13,60
	9.	+ 12,25	+ 13,65	
	10.	+ 12,70	+ 13,75	
	11.	+ 13,00	+ 13,80	
3.	8.	- 9,60	- 14,12	- 13,08
	9.	- 9,95	- 13,10	
	10.	- 9,85	- 12,02	
4.	9.	+ 10,00	+ 13,17	+ 13,06
	10.	+ 10,75	+ 13,12	
	11.	+ 11,30	+ 13,08	
	12.	+ 11,30	+ 12,88	
5.	10.	- 10,10	- 12,33	- 12,16
	11.	- 10,55	- 12,21	
	12.	- 11,00	- 12,25	
	13.	- 11,30	- 12,24	
	14.	- 11,45	- 12,15	
	15.	- 11,25	- 11,76	
6.	11.	+ 8,90	+ 10,86	+ 10,95
	12.	+ 9,70	+ 11,23	
	13.	+ 10,05	+ 11,20	
	14.	+ 10,25	+ 11,10	
	15.	+ 10,15	+ 10,77	
	16.	+ 10,10	+ 10,56	

Bezeichnet man den geringen Einfluss, welchen der thermomagnetische Strom auf das Resultat dieser Messungen ausübte, mit x , so erhält man aus obigen Angaben den der diamagnetischen Induction allein entsprechenden Grenzwertb auf normalen Strom reducirt:

aus 2.	+ 13,60 + x	+ 13,34
3.	+ 13,08 - x	+ 13,07
4.	+ 13,06 + x	+ 12,61
5.	+ 12,16 - x	+ 11,555
6.	+ 10,95 + x	

also im Mittel aus allen Beobachtungen

$$= +12,644$$

Aus diesem Grenzwertbe der Schwingungsbögen, welcher nach der Methode der Multiplication gefunden worden ist, bei gleichförmiger Vertheilung der Inductionsstösse auf die ganze Schwingungsdauer der Nadel, lässt sich nun leicht auch derjenige Grenzwertb ableiten, welcher nach derselben Methode der Multiplication erhalten worden wäre, wenn alle Inductionsstösse, statt gleichförmig auf die ganze Schwingungsdauer vertheilt, auf den Augenblick, wo die Nadel ihre Ruhelage passirte, concentrirt gewesen wären, wodurch das für Wismuth erhaltene Resultat mit dem für Eisen vergleichbar gemacht wird. Setzt man nämlich das bekannte logarithmische Decrement der Abnahme der Schwingungsbögen $0,12378 = \lambda \log e$, wo e die Grundzahl der natürlichen Logarithmen bezeichnet; so findet man aus obigem Grenzwertbe den gesuchten durch Multiplication mit

$$\frac{\sqrt{(\pi\pi + \lambda\lambda)}}{1 + e^{-\lambda}} \cdot e^{-\frac{\lambda}{\pi} \arctan \frac{\pi}{\lambda}} = 1,574235,$$

erhält also den gesuchten Grenzwertb

$$+1,574235 \cdot 12,644 = +19,905. *)$$

*) Sind die Inductionsstösse sehr zahlreich und gleichförmig auf die ganze Schwingungsdauer vertheilt, so wirken sie wie ein constanter Strom auf die Nadel, und es lässt sich dann auf den nach der Methode der Multiplication erhaltenen Grenzwertb x die S. 348. 504 angeführte Regel anwenden, wonach $x = \frac{1 + e^{-\lambda}}{1 - e^{-\lambda}} \cdot 2E$ ist, wenn E die dem Gleichgewichte der Nadel bei constantem Strome entsprechende

Die Reduction der mit Eisen gemachten Versuche auf ihren Grenzwert h giebt folgende Resultate:

Schwingungsbogen.	beobachtet	reducirt	Mittel.
8.	- 71,50	- 84,98	- 83,876
9.	- 74,50	- 84,60	
10.	- 76,90	- 84,47	
11.	- 78,60	- 84,28	
12.	- 79,90	- 84,16	
13.	- 80,85	- 84,04	
14.	- 81,10	- 83,50	
15.	- 81,30	- 83,10	
16.	- 81,50	- 82,85	
17.	- 81,75	- 82,78	

Ablenkung und $\lambda \log e$ das logarithmische Decrement der Abnahme der Schwingungsbögen bezeichnet. Bei dieser Gleichgewichtslage der Nadel ist nun die ablenkende Kraft der aus der Directionskraft der Nadel resultirenden Kraft gleich, welche bekanntlich durch $\frac{\pi n}{T^2} \cdot E$ dargestellt wird, wenn T die Schwingungsdauer ohne Einfluss der Dämpfung bezeichnet. Ist nun τ die wirkliche Schwingungsdauer, unter dem Einflusse der Dämpfung, so ist die Geschwindigkeit, welche die auf die ganze Schwingungsdauer gleichförmig vertheilte Stromkraft, wenn sie auf einen Augenblick concentrirt wirkte, der Nadel ertheilen würde $= \frac{\pi n}{T^2} \cdot E\tau$. Aus dieser Geschwindigkeit lässt sich aber der Grenzwert h der Schwingungsbögen berechnen, dem man sich nach der Methode der Multiplication nähern würde, wenn jene concentrirte Kraft allemal in dem Augenblicke auf die Nadel wirkte, wo sie ihre Ruhelage passirt. Bezeichnet man nämlich diesen Grenzwert h mit y , so ist nach der in der vorigen Abhandlung S. 348 f. gegebenen Regel, wenn man den angegebenen Werth der Geschwindigkeit $= \frac{\pi n}{T^2} \cdot E\tau$ einsetzt:

$$\frac{\pi n}{T^2} \cdot E\tau = \frac{y}{2} \cdot \frac{\pi}{T} (1 - e^{-\lambda}) e^{-\frac{\lambda}{n} \arctan \frac{\pi}{\lambda}}$$

Die Vergleichung des hieraus sich ergebenden Werths von y mit dem oben angegebenen von x führt zu der Proportion:

$$y : x = \frac{\pi \tau}{T} e^{-\frac{\lambda}{n} \arctan \frac{\pi}{\lambda}} : (1 + e^{-\lambda}),$$

worin nach der Theorie der Dämpfung für den Quotienten $\frac{\tau}{T}$ auch $\sqrt{1 + \frac{\lambda \lambda}{n n}}$ gesetzt werden kann.

Es folgt hieraus das Verhältniss der beiden dem Wismuthstabe und dem Eisenstabe entsprechenden Grenzwerthe wie

$$+ 19,905 : - 83,876.$$

Aehnliche Versuchsreihen sind von mir, Herrn Dr. von Quintus Icilius und von Herrn Dr. Riemann ausgeführt und auf gleiche Weise berechnet worden, woraus statt des angegebenen Verhältnisses folgende gefunden worden waren:

$$+ 18,158 : - 83,82$$

$$+ 15,357 : - 82,80$$

$$+ 14,890 : - 83,45.$$

Im Mittel aus allen Reihen ergibt sich hiernach das Verhältniss

$$+ 16,956 : - 83,49.$$

Nun verhält sich die Intensität der vom Wismuthstabe und Eisenstabe inducirten Ströme diesen Grenzwerten direct proportional, und umgekehrt proportional der Zahl der Inductionsstösse während einer Schwingung, für welche sie gelten, d. i. der Zahl $10,58 \cdot 20,437 = 216,2$ für den Wismuthstab und der Zahl 1 für den Eisenstab. Die vom diamagnetischen Wismuthstabe inducirten elektrischen Ströme sind also ihrer Richtung nach den vom magnetischen Eisenstabe inducirten elektrischen Strömen entgegengesetzt und verhalten sich ihrer Intensität nach wie

$$16,956 : 83,49 \cdot 216,2 = 1 : 1064,5.$$

ungeachtet der Wismuthstab 339300 Milligramm und der Eisenstab bloss 790,86 Milligramm wog. Hiernach kann man rechnen, dass wenn der Wismuthstab auch ein so geringes Gewicht wie der Eisenstab gehabt hätte, die Stärke des von ihm diamagnetisch inducirten Stroms 456700 Mal geringer gewesen sein würde, als die des vom Eisenstabe magnetisch inducirten Stroms.

10.

Vergleichung der beiden Bestimmungen der Stärke eines Elektrodiamagnets aus seiner magnetischen und magnetelektrischen Wirkung.

Nachdem in den beiden vorhergehenden Abschnitten die magnetische und die magnetelektrische Wirkung eines Elektrodiamagnets einzeln betrachtet worden sind, gehen wir endlich zur quan-

titativen Vergleichung beider Arten von Wirkungen unter einander über. Es könnte scheinen, dass sich diese Vergleichung ganz einfach ausführen liesse, indem man bloss 1) die beobachtete magnetische Wirkung des Elektrodiamagnets in Theilen der ebenfalls beobachteten magnetischen Wirkung des Elektromagnets, 2) die beobachtete magnetische Wirkung des Elektrodiamagnets in Theilen der ebenfalls beobachteten magnetischen Wirkung des Elektromagnets ausdrückte, wie dies schon oben geschehen ist und zu folgenden Resultaten geführt hat:

$$1) \frac{\text{Magnetische Wirkung des Elektrodiamagnets}}{\text{Magnetische Wirkung des Elektromagnets}} = \frac{1}{147000},$$

$$2) \frac{\text{Magnetische Wirkung des Elektrodiamagnets}}{\text{Magnetische Wirkung des Elektromagnets}} = \frac{1}{456700}.$$

Diese einfache Vergleichung würde aber nur dann richtig sein, wenn 1) derselbe Elektrodiamagnet, welcher zur Darstellung der magnetischen Wirkungen gebraucht wurde, auch zur Darstellung der magnetischen Wirkungen gedient hätte, und wenn ebenso 2) derselbe Elektromagnet zur Darstellung beider Arten von Wirkungen angewendet worden wäre, und wenn endlich 3) sowohl jener Elektrodiamagnet als auch dieser Elektromagnet dabei aus grösserer Entfernung gewirkt hätte, im Vergleiche zu ihren eigenen Dimensionen und zu denen des Körpers, auf welchen gewirkt wurde. Diese Bedingungen sind aber bei obigen Versuchen nicht erfüllt worden, und es war auch nicht möglich sie zu erfüllen, weil die Darstellung der magnetischen Wirkungen die Anwendung ganz anderer Apparate als die der magnetischen Wirkungen und möglichste Verkleinerung der Entfernungen der auf einander wirkenden Körper nothwendig machte.

Werden aber, wie dies geschehen ist, zur Darstellung der magnetischen und magnetischen Wirkungen verschiedene Elektrodiamagnete und verschiedene Elektromagnete gebraucht, so lässt sich, auch wenn sie aus grösseren Entfernungen wirkten, keine Gleichheit in den angegebenen Verhältnissen erwarten, und die darin sich zeigende Ungleichheit (dass nämlich das eine Verhältniss etwa 3 Mal grösser als das andere war) würde noch weit grösser ausgefallen sein, wenn nicht schon bei der Bestimmung dieser Verhältnisse auf die Verschiedenheit der Massen Wismuth und Eisen, welche zu den verschiedenen Elektrodiamagneten und Elektromagneten gebraucht wurden, Rücksicht genommen worden wäre. Durch diese Berücksichtigung der

Ungleichheit der Massen wurde die grösste stattfindende Verschiedenheit ausgeglichen und es ist interessant zu bemerken, dass durch diese Berücksichtigung die oben angeführten Verhältnisse einander schon wirklich so nahe gebracht worden sind, dass sie als Grössen derselben Ordnung betrachtet werden können.

Es kommt daher darauf an, auch noch die anderen Verschiedenheiten aufzusuchen und zu bestimmen, welche nächst der Massenverschiedenheit den grössten Einfluss haben, um zu prüfen, wie dadurch die oben angeführten Verhältnisse geändert und ob sie der Gleichheit dadurch noch näher gebracht werden.

Diese Untersuchung ist darum von Wichtigkeit, weil wenn gar keine Verschiedenheit der gebrauchten Elektrodiamagnete und Elektromagnete stattgefunden und beide aus grösserer Entfernung gewirkt hätten, nach den in der Einleitung aufgestellten Gesetzen der diamagnetischen Polarität die beiden obigen Verhältnisse sich ganz gleich ergeben müssten. Da sich nun aber diese Gleichheit praktisch nicht unmittelbar prüfen lässt, so ist es wichtig, dass man wenigstens prüft, ob man sich dieser Gleichheit desto mehr nähert, je genauer man die factische Verschiedenheit der gebrauchten Elektrodiamagnete und Elektromagnete und den verschiedenen Einfluss, welchen die geringe Entfernung, aus der sie wirken, auf das Verhältniss ihrer Wirkungen ausübt, bestimmt und berücksichtigt, wodurch man näherungsweise dasselbe erreicht, wie wenn man die behauptete Gleichheit unmittelbar zu prüfen im Stande wäre.

Zu diesem Zwecke dient nun die folgende Uebersicht und Erörterung aller hierbei in Betracht kommenden Differenzen.

Erstens müsste eigentlich bei der geringen Entfernung, auf welche sich die beobachteten Wirkungen beziehen, zum Zwecke einer genauen Vergleichung die ideale Vertheilungsweise der magnetischen Fluida, wie sie an der Oberfläche des Wismuthstabes anzunehmen sei, im Vergleiche zu der bei dem Eisenstabe anzunehmenden, näher bekannt sein. Da dies nicht der Fall ist, so leuchtet ein, dass eine solche Vergleichung, auch wenn die Genauigkeit der Beobachtungen nichts zu wünschen liesse, doch nur einen ungefähren Ueberschlag geben kann, weil dabei die in geringen Entfernungen ausgeübten Wirkungen den Momenten proportional gesetzt werden müssen, was genau nur von den Wirkungen in grösseren Entfernungen gilt.

Zweitens sind bei obigen Versuchen zwei verschiedene Eisenstäbchen gebraucht worden, von denen das eine bloss 5,8, das andere 790,86 Milligramm wog. Wir dürfen nicht voraussetzen, dass das Eisen beider Stäbchen in magnetischer Beziehung sich ganz gleich verhalte. Es wurde daher der Magnetismus beider Stäbchen unter Einwirkung desselben galvanischen Stroms verglichen, und in der That ergab sich bei geringerer Intensität dieses Stroms, dass das Verhältniss des magnetischen Moments von dem Verhältnisse ihrer Massen sehr abwich; bei wachsender Intensität des Stroms verschwand aber diese Ungleichheit und der Magnetismus beider Stäbchen ergab sich bald ihren Massen fast genau proportional, woraus folgt, dass bei unsern Versuchen, wo noch stärkere Ströme gebraucht wurden, eine Reduction wegen Verschiedenartigkeit des Eisens nicht nöthig ist.

Drittens sind bei obigen Versuchen verschiedene Wismuthstäbe gebraucht worden, nämlich zwei kleinere zur Beobachtung der magnetischen, und ein grösserer zur Beobachtung der magnetelektrischen Wirkung, von denen auch nicht vorausgesetzt werden kann, dass sie sich in diamagnetischer Beziehung ganz gleich verhielten. Es wurde daher der letztere in zwei Hälften getheilt, die den beiden ersteren an Länge und Dicke nahe gleich waren und darauf mit beiden Paaren abwechselnd einige Versuche zur Vergleichung ihres Diamagnetismus gemacht, aus denen sich allerdings eine nicht ganz unerhebliche Verschiedenheit herausstellte; es verhielt sich nämlich die Wirkung des ersten Paares zu der des zweiten etwa wie 4266:1000. Wenn sich also aus den Inductionswirkungen des grösseren Stabs Art. 8. 9 das diamagnetische Moment des Wismuths im Vergleiche zum magnetischen Momente des Eisens $= \frac{4}{456700}$ ergibt, so würde es für das Wismuth des andern Stabs $= \frac{4}{360740}$ erhalten werden, wodurch die Differenz dieses Verhältnisses von dem aus den magnetischen Wirkungen abgeleiteten nicht verkleinert, sondern sogar noch vergrössert wird.

Viertens kommt aber auch noch die Verschiedenheit der elektromagnetischen Scheidungskraft der beiden gebrauchten Apparate in Betracht. Diese Verschiedenheit lässt sich mit hinreichender Genauigkeit aus den für diese Apparate gegebenen Bestimmungen ableiten und es ergibt sich daraus, dass die elektromagnetische Scheidungskraft des Inductionsapparats 4,8 Mal grösser als die des elektro-

diamagnetischen Messapparats war*). Zugleich ergibt sich, dass in beiden Apparaten die elektromagnetische Scheidungskraft eine solche Stärke besass, dass nach Müller's interessanten Versuchen das magnetische Moment der Eisenstäbchen nicht merklich von seinem Maximumwerthe verschieden sein konnte**), dass also die 4,8 Mal

*) Die Drahtspirale des elektrodiamagnetischen Messapparats hatte nach Art. 2 4 Lagen jede von 146 Windungen und war 190 Millimeter lang; ihr innerer Durchmesser war 17, der äussere 26 Millimeter, und die Intensität des durchgehenden Stroms war nach Art. 3 = 16,31. Hieraus ergibt sich die elektromagnetische Scheidungskraft in ihrer Mitte sehr nahe

$$= \frac{4 \cdot 146 \cdot 2\pi \cdot 16,31}{\frac{1}{2} \cdot 190} = 629,9.$$

Die Drahtspirale des Inductionsapparats dagegen hatte nach Art. 7 8 Lagen jede von 120 Windungen und war 383 Millimeter lang; ihr innerer Durchmesser war 23,9, der äussere 70 Millimeter und die Ablenkung einer in 708 Millimeter westlichem Abstand befindlichen Boussole war nach den Versuchen Art. 7 etwa 32°, wobei die Intensität des horizontalen Theils des Erdmagnetismus = 1,8 zu setzen ist. Hieraus lässt sich zunächst die Intensität des Stroms i berechnen und ergibt sich sehr nahe

$$i = \frac{383}{S} \cdot \frac{1,8 \cdot \tan 32^\circ}{\frac{1}{(708 - \frac{1}{2} 383)^2} - \frac{1}{(708 + \frac{1}{2} 383)^2}}$$

wo S den von der Spirale umwundenen Flächenraum, welcher = 1793200 Quadratmillimeter gefunden wird, also $i = 95,6$. Die gesuchte Scheidungskraft der Spirale folgt hieraus sehr nahe = $\frac{8 \cdot 120 \cdot 2\pi \cdot 95,6}{\frac{1}{2} \cdot 383} = 3012$. Es verhält sich aber 3012 : 629,9 sehr nahe wie 4,8 : 1.

**) Ein weicher Eisenstab nimmt bald einen schwächeren bald einen stärkeren Magnetismus an, je nachdem die magnetische oder elektromagnetische Scheidungskraft, die auf ihn wirkt, kleiner oder grösser ist. Herr Professor Joh. Müller in Freiburg hat nun in seinem «Berichte über die neuesten Fortschritte der Physik» Braunschweig 1850, S. 494 ff. eine interessante Untersuchung über die Abhängigkeit des Magnetismus solcher Eisenstäbe von der Stärke der auf sie wirkenden Scheidungskräfte mitgetheilt, welche sich dadurch auszeichnet, dass der Magnetismus der Eisenstäbe für sehr verschiedene, auch sehr grosse, Scheidungskräfte bestimmt worden ist. Es hat sich daraus das merkwürdige Resultat ergeben, dass der Magnetismus des Eisenstabs der Scheidungskraft, welche auf das Eisen wirkt, keineswegs immer proportional bleibt, sondern dass er sich bei grösseren Scheidungskräften einem Grenzwerte nähert. Müller hat die Resultate seiner mit einer elektromagnetischen Spirale gemachten Messungen in folgender Formel zusammengefasst:

$$s = 0,016 \cdot d^{\frac{3}{2}} \cdot \tan \frac{m}{0,00108 \cdot da} i,$$

worin, wenn i die Stromstärke der elektromagnetischen Spirale nach absolutem Maasse bezeichnet (nach S. 252 u. a. O.)

$$i = 66,813 \cdot s,$$

stärkere Scheidungskraft des Inductionsapparats dem Eisenstäbchen keinen stärkeren Magnetismus ertheilte, als er durch die einfache Kraft

und (nach S. 511) wenn M den Magnetismus des Eisenstabs in der elektromagnetischen Spirale nach absolutem Maasse bezeichnet,

$$M = 5426021 . m$$

zu setzen ist. Die von Müller gebrauchten Eisenstäbe waren (nach S. 502) 330 Millimeter lang und lagen in einer Drahtspirale, welche 300 Millimeter lang war, aus der sie auf beiden Seiten 45 Millimeter hervorragten. d bezeichnet die Dicke des Eisenstabs. Die Drahtspirale bestand aus 5 Lagen übereinander, jede zu 76 Windungen; ihr innerer Durchmesser war 49 Millimeter und die Dicke des Drahts 2,8 Millimeter. Hiernach wird die Stärke der Scheidungskraft, welche der Strom einer Lage von Windungen, deren Halbmesser = r ist, auf einen Punkt des Eisenstabs ausübt, welcher in der Entfernung = a von der Mitte der Spirale liegt, durch folgenden Ausdruck dargestellt:

$$\frac{2.76}{300} \pi r i \int_{a-150}^{a+150} \frac{dx}{(rr+xx)^{\frac{3}{2}}} = \frac{152}{300} \pi i \left\{ \frac{a+150}{\sqrt{(a+150)^2+rr}} - \frac{a-150}{\sqrt{(a-150)^2+rr}} \right\} .$$

Im Mittel für den ganzen Eisenstab folgt hieraus die Stärke dieser Kraft

$$\begin{aligned} \frac{152 \cdot \pi i}{300 \cdot 330} \int_{-165}^{+165} \left[\frac{a+150}{\sqrt{(a+150)^2+rr}} - \frac{a-150}{\sqrt{(a-150)^2+rr}} \right] da \\ = \frac{304 \cdot \pi i}{99000} \left\{ \sqrt{315^2+rr} - \sqrt{15^2+rr} \right\} . \end{aligned}$$

Endlich für alle 5 Lagen:

$$\frac{304 \cdot \pi i}{99000} \cdot \frac{5}{14} \int_{24,5}^{38,5} \left[\sqrt{315^2+rr} - \sqrt{15^2+rr} \right] dr = 13,562 . i .$$

Diese Kraft unterscheidet sich von der erdmagnetischen Kraft nur durch ihre Stärke und kann daher nach demselben absoluten Maasse bestimmt werden, was hier auch geschehen ist. Wir wollen die Stärke dieser Kraft mit X bezeichnen, so ist also

$$X = 13,562 i .$$

Setzt man nun diese Werthe in die Müller'sche Gleichung, so erhält man

$$X = 14,498 \cdot d^{\frac{3}{2}} \cdot \text{tang} \frac{M}{5860 \cdot dd} .$$

Diese Formel gilt zunächst für Eisenstäbe von 330 Millimeter Länge; um sie auf andere Stablängen anwendbar zu machen, muss der Bogen $\frac{M}{5860 \cdot dd}$ mit 330 multiplicirt und mit der Stablänge l dividirt werden, also

$$X = 14,498 \cdot d^{\frac{3}{2}} \cdot \text{tang} \frac{M}{17,76 \cdot ddl} ,$$

jedoch hat Müller selbst bemerkt, dass der so in Rechnung gebrachte Einfluss der Länge mit der Erfahrung nicht genau übereinstimme und daher noch einer genaueren Prüfung bedürfe. Wendet man nun diese aus den Müller'schen Versuchen abgeleitete Regel an,

erhalten haben würde. Anders verhält es sich mit den Wismuthstäben, deren diamagnetisches Moment auch noch mit den grössten darstellbaren Scheidungskräften proportional wachsend anzunehmen ist*).

um den Magnetismus der beiden Eisenstäbchen zu bestimmen, welche sich in den beiden oben beschriebenen Spiralen des elektrodiamagnetischen Messapparats und des Inductionsapparats befanden, so hat man für das erste Stäbchen $l = 92$ und ausserdem sein absolutes Gewicht = 5,8 Milligramm und sein specifisches Gewicht = 7,78, woraus seine Dicke $d = 0,1016$ folgt. Der Werth von X für dieses Stäbchen ist in der vorigen Note bestimmt $X = 629,9$; man erhält also für dieses Stäbchen

$$\frac{M}{dd} = 17,76 \text{ arc tang } 89^\circ 57' 23'' = 27,886.$$

Für das zweite Stäbchen ist $l' = 186$, ausserdem ist sein absolutes Gewicht = 790,86 Milligramm und sein specifisches Gewicht = 7,78, woraus seine Dicke $d' = 0,8342$ gefunden wird. Der Werth von X' ist für dieses Stäbchen in der vorigen Note bestimmt $X' = 3012$; man erhält daher

$$\frac{M'}{d'd'} = 17,76 \text{ arc tang } 89^\circ 47' 23'' = 27,834.$$

Bemerkt man, dass hierin ddl und $d'd'l'$ den Massen der beiden Eisenstäbchen proportional sind, so ergiebt sich hieraus ein ganz nahe gleiches Verhältniss des Magnetismus zur Masse für beide Stäbchen, ungeachtet auf das letztere Stäbchen eine 4,8 Mal grössere Scheidungskraft wirkte. Eine genauere Bestimmung hierüber findet man Art. 24 bis 26, wo auch die von Buff und Zamminer gegen die Müller'schen Versuche erhobenen Bedenken erörtert werden.

*) Aus keiner bisher bekannten Thatsache lässt sich eine Abweichung von dem Gesetze der Proportionalität des Diamagnetismus mit der magnetischen Scheidungskraft entnehmen, vielmehr lassen sich, wenn es auch an Messungen fehlt, verschiedene für dieses Gesetz sprechende Thatsachen anführen. Die wichtigste und auch in anderen Beziehungen interessanteste ist die von Plücker entdeckte und näher untersuchte Thatsache, wonach derselbe Magnetpol je nach der verschiedenen Entfernung in derselben Masse, z. B. in Holzkohle, Diamagnetismus oder Magnetismus hervorruft. Die nähere Untersuchung, welche Plücker hierüber in Poggendorff's Annalen 1848, Bd. 73, S. 616 ff. mitgetheilt hat, beweist, dass hierbei die verschiedene Entfernung des Magnetpols unmittelbar als solche nicht in Betracht kommt, sondern nur indirect, insofern einer grösseren Entfernung eine Abnahme der Kraft entspricht; Plücker hat nämlich bewiesen, dass der Magnetismus der Holzkohle in Diamagnetismus verwandelt werde durch die blosse Zunahme der auf die Holzkohle wirkenden magnetischen Kraft. Diese interessante Thatsache findet nämlich ihre einfachste Erklärung nach obigem Gesetze der Proportionalität des Diamagnetismus mit der magnetischen Scheidungskraft, sobald man dabei nur das von Müller für den Magnetismus des Eisens bewiesene Gesetz auch für den Magnetismus der Holzkohle gelten lässt; denn nähert sich der Magnetismus der Holzkohle bei zunehmender Scheidungskraft einem Grenzwerte, während der Diamagnetismus der

Reducirt man hiernach das aus den Inductionswirkungen erhaltene Resultat auf eine 4,8 Mal schwächere Scheidungskraft, um es mit dem aus der magnetischen Wirkung erhaltenen Resultate vergleichbar zu machen, so muss das diamagnetische Moment des Wismuths 4,8 Mal kleiner genommen werden, während das magnetische Moment des Eisens unverändert bleibt. Man erhält dann für das erstere Moment im Vergleiche zu dem letzteren, statt $\frac{1}{360740}$, bloss $\frac{1}{4,8 \cdot 360740} = \frac{1}{1734560}$.

Dieses aus der magnetelektrischen Wirkung abgeleitete Resultat lässt sich nun mit dem aus der magnetischen Wirkung Art. 4 gefundenen direct vergleichen, wonach nämlich das diamagnetische Moment des Wismuths im Vergleiche zum magnetischen Momente des Eisens $= \frac{1}{4470000}$ erhalten wurde.

Die Differenz der beiden betrachteten Verhältnisse, welche vorher 200 Procent betrug, ist durch Berücksichtigung der angegebenen Verschiedenheit auf etwa 17 bis 18 Procent reducirt worden und diese Annäherung an die Gleichheit muss um so befriedigender erscheinen, als dabei, weil der zuerst angeführte Grund jener Differenz unberücksichtigt bleiben musste, nur von einer ungefähren Vergleichung die Rede sein konnte. Auch ist zu bemerken, dass der zuletzt angegebene, bei weitem einflussreichste Grund jener Differenz noch einer genaueren Berücksichtigung fähig ist, wenn dabei statt der oben angeführten Müller'schen Versuche die genaueren darüber gewonnenen Resultate zum Grunde gelegt werden, die man Art. 24 bis 26 zusammengestellt findet, wodurch, wie in der Note Art. 27 angegeben ist, das Verhältniss $\frac{1}{4470000}$ auf $\frac{1}{4593000}$ vermindert wird, so dass nur noch eine Differenz von etwa 8 Procent im Vergleiche mit dem andern Verhältnisse übrig bleibt.

Nach dieser Vergleichung des Verhältnisses der magnetischen und magnetelektrischen Wirkungen eines Elektrodiamagnets mit dem Verhältnisse der magnetischen und magnetelektrischen Wirkungen eines Elektromagnets findet sich also das Resultat bestätigt, dass in der Natur des Diamagnetismus die elektrodiamagnetische und die diamagnetelektrische Wirksamkeit wirklich ebenso begründet ist,

Holzkohle gleichmässig fortwächst, so leuchtet von selbst ein, dass der Diamagnetismus endlich den Magnetismus übertreffen muss, was so viel heisst, als dass der Magnetismus der Holzkohle in Diamagnetismus verwandelt werde.

wie in der Natur des Magnetismus die elektromagnetische und die magnetelektrische, und zwar stehen auch jene Wirkungen ihrer Grösse nach in demselben Verhältnisse zu einander, wie diese, so weit sich dies prüfen lässt, zum Beweise, dass zwischen diamagnetischer und magnetischer Wirksamkeit in den verschiedenartigsten Beziehungen gar kein Unterschied stattfindet, wodurch das in der Einleitung aufgestellte Gesetz der diamagnetischen Polarität bewiesen ist.

Es bliebe hiernach nur noch übrig, die aus den obigen Versuchen gefundenen Resultate zu benutzen, um das Verhältniss zu bestimmen, in welchem die Stärke des Wismuthdiamagnetismus zur Stärke des Eisenmagnetismus steht. Es leuchtet aber aus den vorhergegangenen Erörterungen ein, dass von einem bestimmten Verhältnisse des Diamagnetismus des Wismuths zum Magnetismus des Eisens im Allgemeinen nicht die Rede sein könne, weil, wenn man auch Wismuth- und Eisenstäbe von gleicher Grösse und Gestalt dabei voraussetzt, jenes Verhältniss doch bei verschiedener Stärke der magnetischen Scheidungskraft sehr verschieden erhalten wird, indem der Diamagnetismus bei zunehmender Scheidungskraft gleichmässig wächst, während der Magnetismus sich einem Grenzwerte nähert. Ein solches Verhältniss lässt sich daher nur unter der Beschränkung bestimmen, dass die magnetischen Scheidungskräfte so klein sind, dass die Abweichung des Eisenmagnetismus von der Proportionalität mit diesen Kräften dabei noch nicht merklich sei. Unter dieser Beschränkung liesse sich nun zwar nach obigen Resultaten, mit Hülfe des in der Note S. 527 angeführten Müller'schen Gesetzes, das Verhältniss des Wismuthdiamagnetismus zum Eisenmagnetismus bestimmen; es ist aber zweckmässiger, diese Bestimmung zu verschieben, um dabei für den Eisenmagnetismus auch diejenigen Versuche zu benutzen, die wir im letzten Abschnitte Art. 25. 26. kennen lernen werden, wo dann die Bestimmung jenes Verhältnisses beigelegt werden soll.

Faraday's Versuche.

Es soll hier nicht von Faraday's früheren Versuchen gehandelt werden, durch die er zuerst zu der Annahme geführt worden war, welche Plücker am kürzesten in den Worten ausspricht: «Im Wismuth inducirt jeder Nordpol eines Magneten einen Nordpol, jeder Südpol einen Südpol.» Plücker sagt von dieser Annahme, dass jeder Physiker darauf verfallen musste, und dass diamagnetische Polarität eine nothwendige Folge derselben sei. Wir beschränken uns hier auf diejenigen Versuche, welche von Faraday neuerlich zur Widerlegung dieser von ihm zuerst vermutheten diamagnetischen Polarität gemacht worden sind.

In der That waren bald, nachdem die Wichtigkeit eingeleuchtet hatte, welche die wirkliche Nachweisung der diamagnetischen Polarität besitzt, so viele und verschiedene Thatsachen dafür gefunden und mitgetheilt worden, dass diese Polarität fast ausser allem Zweifel gesetzt zu sein schien. Ich habe in meinem ersten Aufsätze (Berichte der K. S. Gesellschaft der Wissenschaften 1847 S. 346 und Poggendorff's Annalen 1848, Bd. 73, S. 242) besonders die Beweiskraft hervorgehoben, welche in dieser Beziehung der von Reich angestellte Versuch besitzt, wonach Nordpol und Südpol, wenn sie von derselben Seite her auf ein Stück Wismuth wirken, keineswegs dasselbe mit der Summe der Kräfte abstossen, welche sie einzeln ausüben würden, sondern vielmehr nur mit der Differenz dieser Kräfte — und habe andere Versuche beigefügt, welche die beiden Pole eines in diamagnetischem Zustande erhaltenen Wismuthstabs durch den Gegensatz von Anziehung und Abstossung unmittelbar erkennen liessen. Endlich fügte ich auch die mit dem in Art. 7 erwähnten Apparate gemachten Versuche bei, welche gleiche von Diamagnetpolen wie von Magnetpolen ausgeübte elektromotorische Kräfte nachzuweisen schienen. Hieran schlossen sich unmittelbar einige Versuche von Poggendorff an (Annalen 1848, Bd. 73, S. 475 f.), welche theils zur Bestätigung, theils zur Ergänzung dienten, indem sie besonders die Nachweisung der beiden Diamagnetpole durch den Gegensatz der Wirkung gaben, welche der galvanische Strom auf sie ausübt, und geradezu bewiesen, dass ein Wismuthstab in der äquatorialen Lage ein wirklicher Transversal-

magnet wäre, der die Linie seiner Nordpole dem Nordpole und die Linie seiner Südpole dem Südpole des Magnets zukehrte, was ausserdem Plücker (Annalen 1848. Bd. 73, S. 613 f.) durch eine sehr sinnreiche darauf gegründete Anwendung bestätigt fand, welche ein einfaches und praktisch wichtiges Mittel an die Hand gab, den Diamagnetismus schwingender Körper bedeutend zu verstärken. Plücker erklärte es dabei selbst für unwidersprechlich, dass der Diamagnetismus in einer polaren Erregung bestehe, eine Theorie, die er zuvor nur wegen der grossen Schwierigkeiten ihrer allgemeinen Begründung fallen gelassen habe und erst dann wieder aufgenommen, als die Polarität so entschieden nachgewiesen worden. Endlich hat Plücker an diesem Orte selbst noch eine der hauptsächlichsten der von ihm erwähnten Schwierigkeiten, nämlich die, welche aus dem bei manchen Körpern beobachteten magnetischen Verhalten in grösserer, und dem diamagnetischen Verhalten in kleinerer Entfernung vom Magnetpole entsprang (s. Note S. 529), durch die nähere Untersuchung in solcher Weise erledigt, dass, wie er selbst sagt, «das von ihm nicht vermuthete, aber von rein theoretischem Gesichtspunkte aus zu erwartende Resultat statt der früheren Schwierigkeit eine merkwürdige Bestätigung der von Faraday, Reich, Weber und Poggendorff adoptirten Theorie des Diamagnetismus gebe, zu der auch er sich jetzt entschieden bekenne.»

Allen diesen schnell auf einander gefolgt, in demselben 73. Bde. von Poggendorffs Annalen enthaltenen Nachweisungen der von Faraday zuerst vermutheten diamagnetischen Polarität widerspricht nun Faraday durch seine 23ste Versuchsreihe, deren nähere Betrachtung auch für die hier beschriebenen Versuche von Wichtigkeit ist.

Bei der Autorität, welche dieser grosse Naturforscher mit so vollem Rechte geniesst, und dem Interesse, welches seine Arbeiten überall erregen, dürfen die von ihm angeführten Versuche zur Widerlegung der diamagnetischen Polarität als bekannt vorausgesetzt werden. Auch kann es sich nicht um die Richtigkeit dieser Versuche handeln, an der bei Faraday's anerkannter Meisterschaft nicht zu zweifeln ist. Es handelt sich hier wesentlich nur darum, ob und in wie weit diese Versuche gegen diamagnetische Polarität, wie sie hier gleich zu Anfang definirt worden ist, wirklich zeugen und beweisen. Dabei kommt nun hauptsächlich dreierlei in Betracht: erstens, dass Faraday nicht alle Versuche, welche zur Nachweisung der dia-

magnetischen Polarität gemacht worden sind, wiederholt hat; zweitens, dass Faraday, bei aller Meisterschaft im Gebrauche seiner Hilfsmittel, in der Feinheit der Versuche durch die Instrumente, deren er sich bediente, beschränkt war. Drittens endlich hat Faraday nach seinen Ansichten manche Erscheinungen, die von andern Physikern auf diamagnetische Polarität zurückgeführt werden, auf andere Weise zu erklären gesucht. Es erscheint daher sogar zweifelhaft, ob Faraday die diamagnetische Polarität in dem Sinne, in welchem sie hier zu Anfang definirt worden ist, wirklich bestreitet.

Was die von Faraday nicht wiederholten und unberücksichtigt gelassenen Versuche betrifft, so bemerke ich zunächst, dass in Art. 2689 seiner Abhandlung ein von mir mit einem von Reich gemachten Versuche verwechselt zu sein scheint, wodurch es geschehen ist, dass Faraday den von Reich gemachten Versuch, dessen Beweiskraft für diamagnetische Polarität von mir besonders hervorgehoben worden war, ganz übersehen hat, wonach nämlich Nordpol und Südpol, wenn sie zugleich von derselben Seite her auf ein Stück Wismuth wirken, keineswegs dasselbe mit der Summe der Kräfte abstossen, welche sie einzeln ausüben würden, sondern nur mit der Differenz dieser Kräfte. Dieser Versuch ist von Reich mit dem feinsten Instrumente gemacht worden, was dazu gebraucht werden kann, nämlich mit der feinen Torsionswaage, womit er die classische Wiederholung der Cavendish'schen Versuche ausgeführt hatte. Ich kann hier nur wiederholen, was ich über diesen Versuch in meinem ersten Aufsätze gesagt habe, dass daraus allein schon mit grösster Wahrscheinlichkeit geschlossen werden kann, dass der Grund der diamagnetischen Kraft in einem im Wismuth vorhandenen beweglichen imponderablen Bestandtheile zu suchen sei, welcher bei Annäherung eines Magnetpols verschieden bewegt oder vertheilt werde. Die gleichzeitige Annäherung zweier entgegengesetzter Pole von derselben Seite her bewirkt dann nämlich, dass der imponderable Bestandtheil weder die eine noch die andere Bewegung oder Vertheilung annehmen kann, an welche das Hervortreten der diamagnetischen Kraft geknüpft ist, woraus sich das Verschwinden dieser Kraft in diesen Falle ergibt. — Ferner gehören hierher die von Poggen-dorff angestellten und in demselben 73. Bde. der Annalen (S. 475—479) beschriebenen Versuche, durch welche er ohne Hülfe so feiner Messungsmittel, wie ich gebraucht habe, dasselbe Resultat durch einen ein-

fachen, augenfällig überzeugenden Versuch sogar auf zweifache Weise erlangt hat. Die Wiederholung dieser Poggendorff'schen Versuche findet keine Schwierigkeit und ist von verschiedenen Beobachtern ausgeführt worden.

Unter den Instrumenten, die eine noch grössere Feinheit und Genauigkeit gestatten, als diejenigen, deren sich Faraday bedient hat, kommen hauptsächlich die nach den Gauss'schen Vorschriften eingerichteten Magnetometer und Galvanometer in Betracht. Auch ich würde ohne diese Instrumente meine Versuche gar nicht auszuführen im Stande gewesen sein. Wenn nun Faraday diese Versuche, aber ohne diese Instrumente anzuwenden, wiederholt hat, so ist es wohl erklärlich, dass er mit seinen wenn auch sonst feinen Hilfsmitteln die von mir beobachteten sehr schwachen Wirkungen nicht wahrnehmen konnte. Faraday's hauptsächlichliches Bedenken gegen meine im 73. Bde. von Poggendorff's Annalen mitgetheilten Beobachtungen beruht übrigens darauf, dass ich daselbst die von ihm sehr sorgfältig beachteten Erscheinungen der secundären Volta-Induction gar nicht erwähnt hätte, welche desto deutlicher hätten hervortreten müssen, je feiner meine Instrumente gewesen wären. Ich bemerke hier deshalb, dass obiger aus den «Berichten der K. S. Gesellschaft der Wissenschaften» entlehnte Artikel in Poggendorff's Annalen nur eine vorläufige Notiz meiner Arbeit geben sollte, wobei die speciellere Erörterung für eine spätere Abhandlung vorbehalten wurde. Es wird genügen, hier noch anzuführen, dass ich bei jenen Versuchen den Einfluss der secundären Volta-Induction zwar durch angemessene Combination der Versuche möglichst zu eliminiren gesucht habe; dass es aber jedenfalls weit vorzuziehen ist, diesen Einfluss, wie es bei den in dieser Abhandlung beschriebenen Versuchen geschehen ist, ganz zu beseitigen.

Fassen wir kurz zusammen, welchen Einfluss hiernach diese Faraday'sche Untersuchung auf die Frage der diamagnetischen Polarität habe, in dem Sinne, wie sie hier gleich zu Anfang definiert worden ist, so dürfte derselbe von geringer Bedeutung erscheinen. Faraday hat nämlich mehrere Versuche von Reich und Poggendorff übersehen, bei anderen Versuchen, namentlich bei den von Plücker gemachten, hat er bloss eine auf andern Ansichten beruhende Erklärung gegeben, wobei es ungewiss erscheint, ob diese Ansichten mit demjenigen Sinne der diamagnetischen Polarität, welcher in

der hier gleich zu Anfang gegebenen Definition aufgestellt worden ist, in wirklichem Widerspruche stehen. Was endlich noch besonders den Zweifel betrifft, welchen Faraday an der Richtigkeit der Resultate meiner Versuche äussert, so dürfte erstens dieser Zweifel durch die obige Bemerkung gehoben sein, zweitens findet derselbe auf die in dieser Abhandlung beschriebenen Versuche gar keine Anwendung.

12.

Feilitzsch's Versuche und Theorie.

In Art. 3 und 4 ist bewiesen worden, dass ein Wismuthstab in einer galvanischen Spirale als Elektrodiamagnet auf eine Magnetonadel ein Drehungsmoment gerade in entgegengesetzter Richtung wie ein Eisenstab in derselben Spirale als Elektromagnet ausübt. Hiermit steht nun aber das Resultat in Widerspruch, zu welchem Feilitzsch gelangt ist, indem er, geleitet durch eine andere theoretische Ansicht, ein anderes Resultat erwartete und durch Versuche zu bestätigen suchte (siehe Poggendorffs Annalen 1854, Bd. 82, S. 90—110), nämlich folgendes: «Wismuth erhält innerhalb der elektrischen Spirale eine zwar schwächere, aber eine gleichgerichtete Polarität, wie das weiche Eisen.»

Der Grund dieses Widerspruchs liegt, wie ich glaube, in einer sehr wesentlichen Verschiedenheit der von mir und Feilitzsch gebrauchten Einrichtung. Feilitzsch sagt: «Die Spirale wurde etwa 200^{mm} entfernt auf der Westseite einer kleinen, an einem Coconfaden aufgehängenen Boussole aufgestellt, und durch einen auf der Ostseite befindlichen Nebemagnet die Nadel wieder in ihre ursprüngliche Lage zurückgebracht.» Von mir waren dagegen zwei Spiralen gebraucht und diese in Beziehung auf die Boussole so symmetrisch aufgestellt worden, dass es gar keines solchen Nebemagnets bedurfte, um die Nadel in ihre ursprüngliche Lage zurückzubringen. Der wesentliche Unterschied beider Einrichtungen ist der, dass bei Feilitzsch die Nadel nur bei einer bestimmten Stromintensität im magnetischen Meridiane sich befindet, durch jede Variation der Stromintensität aber bald nach der einen, bald nach der andern Seite abgelenkt wird; bei mir dagegen haben die Aenderungen der Stromintensität auf den Ruhestand der Nadel gar keinen Einfluss. Diese Unabhängigkeit des Ruhestands der Nadel von den Schwankungen der Stromintensität

in der Spirale ist aber nothwendig, wenn die bei Einlegung des Wismuthstabs in die Spirale beobachtete Ablenkung der Nadel der unmittelbaren Wirkung des Wismuthstabs auf die Nadel zugeschrieben werden soll; denn die Einlegung des Wismuthstabs in die Spirale bringt eine kleine Intensitätsänderung des Stroms hervor und darin kann bei Feilitzsch die Ursache der Ablenkung der Nadel gelegen haben. Es bringt nämlich die Einlegung des kalten Wismuthstabs in die durch den Strom erwärmte Spirale eine Abkühlung der Spirale und dadurch eine Verstärkung der Stromintensität hervor, welche eine Ablenkung der Nadel in der von Feilitzsch beobachteten Richtung zur Folge haben muss. Ich habe vor längerer Zeit zahlreiche Versuche nach derselben Methode wie Feilitzsch ausgeführt und dabei ähnliche Resultate gefunden; es zeigte sich aber bei genauer Prüfung, dass die beobachtete Kraft nicht momentan in dem Augenblicke der Einlegung des Wismuthstabs eintrat, sondern allmählig, und ebenso beim Herausziehen nicht sogleich, sondern allmählig wieder verschwand, was ein genügender Beweis ist, dass es sich um keine unmittelbare Wirkung des Wismuthstabs handelte. Diese Einwirkungen liessen sich auch vermehren, vermindern oder umkehren durch blosse Abkühlung oder Erwärmung des Wismuthstabs. Es ist wahrscheinlich, dass auch die von Feilitzsch beobachteten Ablenkungen der Nadel von diesen Temperatureinflüssen auf die Stromintensität hergerührt haben.

Ueber die Theorie des Diamagnetismus, welche Feilitzsch dabei zu geben versucht hat, möge hier nur Folgendes bemerkt werden. Feilitzsch will die diamagnetischen Erscheinungen ebenfalls aus einer bestimmten Vertheilung der magnetischen Fluida erklären, nimmt aber an, dass diese Vertheilung von einer Scheidung der magnetischen Fluida nach gleicher Richtung wie im Eisen herrühre, und dass der Unterschied nur darin bestehe, dass diese Scheidung im Eisenstabe von der Mitte nach den Enden zu abnehme, im Wismuthstabe dagegen zunehme. Aus dieser Zunahme ergiebt sich zwischen der Mitte und dem Ende des Stabs eine Ausscheidung von entgegengesetztem freien Magnetismus wie am Ende, und wenn dieser entgegengesetzte, zwischen der Mitte und dem Ende ausgeschiedene freie Magnetismus stärker sein könnte, als der am Ende, so würden sich daraus die diamagnetischen Erscheinungen wohl erklären lassen. Hätte aber Feilitzsch die Bedingungen näher geprüft, unter welchen

nach seiner eigenen Darstellung dieser von ihm zur Erklärung der diamagnetischen Erscheinungen vorausgesetzte Fall möglich wäre, so würde er gefunden haben, dass dieser Fall nur dann möglich ist, wenn die magnetischen Fluida in der Mitte des Stabs nicht nach gleicher, sondern nach entgegengesetzter Richtung geschieden sind wie an seinen Enden, was aber seiner Voraussetzung widerspricht. Man sieht überhaupt leicht ein, dass eine Erklärung der diamagnetischen Erscheinungen aus einer Vertheilung der magnetischen Fluida, welche von einer der Richtung nach gleichen Scheidung wie im Eisen herührt, unmöglich ist.

Ueber den Zusammenhang der Lehre vom Diamagnetismus mit der Lehre von dem Magnetismus und der Elektrizität.

13.

In den beiden ersten Abschnitten dieser Abhandlung ist versucht worden, das Gesetz der diamagnetischen Polarität in einer grösseren Allgemeinheit zu begründen, hauptsächlich dadurch, dass seine Gültigkeit auch auf die elektrodiamagnetische und diamagnet-elektrische Wirkung ausgedehnt wurde. Durch dieses Gesetz allein wird aber, auch wenn es allgemein ist, noch keine Theorie des Diamagnetismus begründet; denn der Diamagnetismus wird dadurch nur aus seinen Wirkungen definirt; es gehört aber zur Begründung einer Theorie des Diamagnetismus, dass derselbe nicht bloss aus seinen Wirkungen, sondern auch aus seinen Ursachen definirt werde. Ich werde daher in diesem Abschnitte die hiernach nothwendige Ergänzung der Theorie erörtern und dasjenige, was ich über die Ursachen des Diamagnetismus schon in meinem ersten Aufsätze (in den Berichten 1847 und in Poggendorffs Annalen 1848, Bd. 73) gesagt habe, ausführlicher und vollständiger zu entwickeln versuchen.

14.

Ueber den Weg zur Erforschung der Ursachen des Diamagnetismus.

Man unterscheidet in der Lehre vom Magnetismus zwei Arten von Magneten, nämlich beharrliche und veränderliche. Ein Magnet von glashartem Stahle ist z. B. ein beharrlicher, ein Magnet von weichen

Eisen ein veränderlicher. Genau genommen findet nun zwar in der Wirklichkeit kein strenger Gegensatz zwischen beharrlichen und veränderlichen Magneten statt, denn alle Magnete, auch die beharrlichsten, zeigen sich unter der Einwirkung sehr grosser Kräfte veränderlich, und ebenso zeigen sich alle Magnete, auch vom weichsten Eisen, unter der Einwirkung sehr kleiner Kräfte beharrlich. Da man aber in der Regel zu physikalischen Versuchen Magnete wählt und unter Verhältnissen betrachtet, wo entweder der beharrliche oder der veränderliche Theil ihres Magnetismus nicht hervortritt, so kann jene einfache Unterscheidung in den meisten Fällen ohne Nachtheil für die Sache beibehalten werden. Bei der Betrachtung dieser beiden Arten von Magneten soll hier nun hauptsächlich folgender Unterschied, der sich zwischen ihnen machen lässt, hervorgehoben werden, dass nämlich der Magnetismus der beharrlichen Magnete, insofern sie wirklich als beharrlich betrachtet werden, nur aus seinen Wirkungen erforscht werden kann; der Magnetismus der veränderlichen Magnete dagegen auf doppelte Weise, nämlich sowohl aus seinen Wirkungen, als auch aus seinen Ursachen.

Versucht man diese zunächst für Magnete aufgestellte Unterscheidung auch auf Diamagnete anzuwenden, so ergiebt sich, dass es keine beharrlichen Diamagnete giebt, oder vielmehr, dass beharrliche Diamagnete von beharrlichen Magneten nicht unterschieden werden können. Es kommen also nur veränderliche Diamagnete in Betracht, und diese lassen sich gerade wie veränderliche Magnete auf doppelte Weise erforschen, theils aus ihren Wirkungen, theils aus ihren Ursachen.

Nun ist bekannt, dass man durch Erforschung des Magnetismus eines Magnets aus seinen (auf andere Körper ausgeübten) Wirkungen zur Kenntniss der idealen Vertheilung der magnetischen Fluida an der Oberfläche des Magnets gelangen kann, von welcher Gauss bewiesen hat, dass sie die Kenntniss des wahren inneren Zustands bei der Betrachtung aller Wirkungen vollkommen vertritt, und es ist ein grosser Gewinn für viele Forschungen, dass durch die Betrachtung der idealen Vertheilung ein Weg gegeben ist, alle Wirkungen einfach und vollständig, ohne Hülfe einer Hypothese über das Innere des Körpers, zusammen zu fassen, besonders dann, wenn die Ursachen jener Wirkungen unbekannt sind und erst erforscht werden sollen. Gerade

daraus aber, dass diese Kenntniss von der idealen Vertheilung, welche man aus den beobachteten Wirkungen erwerben kann, zur Uebersicht aller Wirkungen so ganz Genüge leistet, leuchtet von selbst ein, dass man auf dem Grunde der beobachteten Wirkungen allein auch nicht weiter gelangen könne, als zur Kenntniss dieser idealen Vertheilung, welche doch noch von der Kenntnis der wahren inneren Natur des Magnets nothwendig unterschieden werden muss: dass man also auf dem blossen Grunde der beobachteten Wirkungen z. B. nicht im Stande ist, die wirkliche Vertheilung der im Magnete enthaltenen magnetischen Fluida, oder die wirkliche Zahl, Stärke und Anordnung der in ihm enthaltenen elektrischen Ströme zu erfahren.

Dasselbe gilt nun auch von den Wirkungen eines Diamagnets, und man könnte also zwar zur Kenntniss einer solchen idealen Vertheilung magnetischer Fluida an der Oberfläche eines Diamagnets gelangen und diese würde die Kenntniss seines wahren inneren Zustands in der Betrachtung aller seiner Wirkungen vollkommen ersetzen, aber man würde dadurch allein weder einen Aufschluss über den wirklichen inneren Zustand des Diamagnets, noch über das eigentliche Wesen des Diamagnetismus, noch über seine Entstehung und Veränderung erhalten. Um ihnen auf die Spur zu kommen, darf man sich daher auf die Betrachtung der Wirkungen und der davon abhängigen idealen Vertheilung nicht beschränken, sondern es ist nothwendig, eine andere Betrachtung zu Hülfe zu nehmen, welche auf einem von diesen Wirkungen unabhängigen Fundamente beruht.

Alle möglichen Ursachen des Diamagnetismus, ebenso wie des Magnetismus, lassen sich im Allgemeinen in innere und äussere scheiden. Die äussere Ursache ist (gleich den Wirkungen) durch die Beobachtung gegeben: sie ist für Magnetismus und Diamagnetismus dieselbe, nämlich eine ihrer Grösse und Richtung nach bestimmte magnetische oder elektromagnetische Scheidungskraft. Wäre ausser dieser äusseren Ursache die innere, im Körper selbst liegende, bekannt, so würde durch beide der Diamagnetismus bestimmt sein, und umgekehrt öffnet sich ein Weg, die unbekante innere Ursache zu bestimmen, wenn ausser der bekannten äusseren Ursache der aus beiden resultirende Diamagnetismus (aus den Wirkungen) schon bekannt ist. Folgt man dem hier angedeuteten Wege und stellt die bekannten magnetischen Scheidungskräfte mit der aus den Wirkungen erforschten

idealen Vertheilung sowohl für Eisen als auch für Wismuth zusammen; so ergibt sich, dass gleiche Scheidungskraft entgegengesetzte ideale Vertheilungen beim Eisen und beim Wismuth hervorbringt, oder umgekehrt, dass eine gleiche ideale Vertheilung bei Eisen und Wismuth entgegengesetzt gerichteten Scheidungskräften entspricht. Der Grund davon, dass entgegengesetzte äussere Ursachen im Eisen und Wismuth gleiche Wirkungen hervorbringen, muss nun in der Verschiedenheit der inneren, im Eisen und Wismuth selbst gelegenen, Ursachen enthalten sein. Um nun die hierdurch gegebene Verschiedenheit der inneren Ursachen im Eisen und Wismuth näher zu bestimmen, ist es nothwendig, alle möglichen inneren Ursachen, welche solche Wirkungen, die aus einer idealen Vertheilung erklärbar sind, haben können, zu classificiren und dann zu prüfen, ob unter allen, die wir aufzählen können, solche enthalten sind, welche von dem soeben erwähnten bei magnetischen und diamagnetischen Körpern thatsächlich vorhandenen Gegensätze Rechenschaft geben können.

15.

Classification der inneren Ursachen, welche den durch eine ideale Vertheilung gegebenen Wirkungen zum Grunde liegen können.

Man kann vier wesentlich verschiedene Arten von inneren, in den Körpern gelegenen, Ursachen angeben, welche solche, aus einer idealen Vertheilung magnetischer Fluida erklärbare, Wirkungen hervorbringen können:

1) die innere Ursache solcher Wirkungen kann in der Existenz zweier magnetischer Fluida, welche (mehr oder weniger) unabhängig von ihrem ponderablen Träger beweglich sind, enthalten sein;

2) sie kann in der Existenz zweier magnetischer Fluida enthalten sein, welche nur mit den Moleculen ihres ponderablen Trägers beweglich sind (drehbare Molecularmagnete);

3) sie kann in der Existenz beharrlicher, von den zwei elektrischen Fluidis gebildeter Molecularströme enthalten sein, welche mit den Moleculen drehbar sind;

4) sie kann in der Existenz zweier beweglicher elektrischer

Fluida enthalten sein, welche in Molecularströmung versetzt werden können.

Diese vier hier angeführten möglichen inneren Ursachen der durch eine ideale Vertheilung an der Oberfläche erklärbaren Wirkungen sind die einzigen, die man kennt und der Prüfung unterwerfen kann. Der erste Fall liegt der von Coulomb und Poisson entwickelten Theorie des Magnetismus zum Grunde; — der dritte Fall liegt dem von Ampère entwickelten Zusammenhange der Lehre vom Magnetismus mit der Elektrodynamik zum Grunde; — der zweite Fall lässt sich auf den dritten reduciren, indem man nach dem von Ampère bewiesenen Theoreme, dass Molecularmagnete und Molecularströme in allen ihren Wirkungen gleich sind, die ersteren für die letzteren substituirt. — Es bleibt also nur noch der vierte Fall übrig, der bisher unbeachtet und unerörtert geblieben ist.

16.

Abhängigkeit der idealen Vertheilung von der magnetischen Scheidungskraft, nach Verschiedenheit der aufgeführten vier möglichen inneren Ursachen.

Für jeden dieser vier Fälle ergibt sich nun leicht ein bestimmter Zusammenhang zwischen der Art der idealen Vertheilung und der Richtung der magnetischen Scheidungskraft, der sie entspricht. Für den ersten Fall ergibt sich nach Poisson's Theorie, dass, wenn man in der Richtungslinie der magnetischen Scheidungskraft diejenige Richtung als die positive bezeichnet, nach welcher der Nordpol einer Magnetnadel getrieben wird, und wenn man für die dieser Scheidungskraft entsprechende ideale Vertheilung die Schwerpunkte des nördlichen und südlichen Fluidums bestimmt, der erstere von diesen beiden Schwerpunkten gegen den letzteren in positiver Richtung verschoben ist. — Für den dritten Fall ist dieser Zusammenhang von Ampère entwickelt worden und es hat sich ergeben, dass hier dieselbe Abhängigkeit der idealen Vertheilung von der magnetischen Scheidungskraft stattfindet. Und aus der schon erwähnten Zurückführung des zweiten Falls auf den dritten leuchtet von selbst ein, dass dieselbe Abhängigkeit auch für den zweiten Fall gilt. — Es bleibt also in Beziehung auf diese Abhängigkeit nur noch der vierte Fall zu erörtern übrig.

Dieser vierte Fall setzt elektrische Fluida voraus, welche in Molecularströmung versetzt werden können; die Möglichkeit aber, in eine solche Molecularströmung versetzt zu werden, beruht darauf, dass in den einzelnen Moleculen, oder um sie herum, in sich zurücklaufende Bahnen vorhanden sind, in denen jene Fluida ohne Widerstand beweglich sind, woraus folgt, dass es dann nur einer stromerregenden Kraft (d. i. einer Kraft, welche auf das positive und negative Fluidum nach entgegengesetzten Richtungen wirkt) nach der Richtung dieser Bahn bedarf, um die Fluida in dieser Bahn wirklich zu bewegen. Nun beweist die Lehre von der Magnetelektricität, dass durch die zunehmende oder abnehmende Intensität einer magnetischen Scheidungskraft wirklich eine elektromotorische Kraft gegeben sei, welche auf die beiden beweglichen elektrischen Fluida nach entgegengesetzten Richtungen wirkt und sie also in Strombewegung setzen muss. Die Richtung dieser Molecularströmung ist durch das Grundgesetz der magnetischen Induction in ihrer Abhängigkeit von der Zunahme oder Abnahme der magnetischen Scheidungskraft gegeben, und die ideale Vertheilung ist wiederum in ihrer Abhängigkeit von diesen Molecularströmen durch den von Ampère für den dritten Fall entwickelten Zusammenhang der Elektrodynamik mit der Lehre vom Magnetismus gegeben. Es ergibt sich hieraus also mittelbar auch der Zusammenhang zwischen der idealen Vertheilung und der Zunahme oder Abnahme der magnetischen Scheidungskraft, der sie entspricht.

Es leuchtet aber ferner daraus ein, dass in jedem Augenblicke, wo eine Zunahme oder Abnahme der magnetischen Scheidungskraft stattfindet, eine solche Molecularströmung hervorgebracht werden muss, und dass sich diese nach einander hervorgebrachten Strömungen, wenn sie nicht von selbst wieder verschwinden, summiren müssen. Diese Strömungen verschwinden aber nicht von selbst; denn Ampère hat bewiesen, dass den elektrischen Molecularströmen Beharrlichkeit zugeschrieben werden muss, d. h. dass die elektrischen Fluida bei ihren Kreisbewegungen um die ponderablen Moleculen keinen solchen Widerstand erleiden, wie die elektrischen Fluida, welche einen ponderablen Leiter durchströmen, aus dem sich das schnelle Verschwinden der elektrischen Ströme in diesen Leitern erklärt. (Auf dieser von Ampère bewiesenen Beharrlichkeit der Molecularströme beruht auch der

oben angeführte Satz, dass die Möglichkeit, die elektrischen Fluida in Molecularströmung zu versetzen, voraussetze, dass in den einzelnen Moleculen, oder um sie herum, in sich zurücklaufende Bahnen vorhanden seien, in denen jene Fluida ohne Widerstand beweglich wären.) Hieraus folgt nun, dass mit fortgesetzter Zunahme der magnetischen Scheidungskraft auch in der idealen Vertheilung eine fortgesetzte Anhäufung der magnetischen Fluida eintreten müsste, woraus sich ergibt, dass jeder gegebenen Stärke der magnetischen Scheidungskraft ein bestimmtes Moment ideal vertheilter magnetischer Fluida entspricht. Es findet aber diese Summation nur bei Molecularströmen statt, weil nur bei ihnen die Bewegung der elektrischen Fluida keinen Widerstand findet. Die anderen Ströme, die von der nämlichen Scheidungskraft in weiteren Bahnen hervorgebracht werden, die aber durch den Widerstand, den sie in diesen Bahnen finden, schnell wieder verschwinden, bringen nur im Augenblicke ihrer Erregung magnetische Wirkungen auf andere Körper hervor, welche mit ihnen sogleich verschwinden, sobald die Scheidungskraft, deren Aenderung sie hervorbrachte, constant geworden ist, und die daher in keinem bestimmten Verhältnisse zur vorhandenen Scheidungskraft stehen, was doch nothwendig wäre, wenn sie von den beobachteten magnetischen Wirkungen Rechenschaft geben sollten, wozu daher nur Molecularströme brauchbar sind. Entwickelt man nun in Beziehung auf die Molecularströme diese Abhängigkeit genauer nach den Gesetzen der magnetischen Induction, so findet man, dass, wenn in der Richtungslinie der magnetischen Scheidungskraft diejenige Richtung als die positive bezeichnet wird, nach welcher der Nordpol einer Magnetnadel getrieben wird, und wenn man für die von dieser Scheidungskraft abhängige ideale Vertheilung die Schwerpunkte des nördlichen und südlichen Fluidums bestimmt, der erstere von diesen beiden Schwerpunkten gegen den letzteren in negativer Richtung verschoben ist, d. i. gerade umgekehrt wie für die drei anderen Fälle.

17.

Innere Ursache des Diamagnetismus.

Dieses merkwürdige Resultat findet nun seine Anwendung auf die Begründung einer Theorie der diamagnetischen Erscheinungen, welche von dem inneren Zustande des diamagnetischen Körpers und von den Kräften, die ihn hervorbringen, Rechenschaft giebt, an der es bisher gefehlt hatte. Zu einer solchen Theorie genügt es nämlich, wie schon oben auseinander gesetzt worden ist, nicht, dass man den diamagnetischen Zustand eines Körpers in Beziehung auf alle seine Wirkungen durch eine ideale Vertheilung magnetischer Fluida an seiner Oberfläche zweckmässig repräsentiren kann, sondern es ist dazu wesentlich erforderlich, dass auch von denjenigen Kräften Rechenschaft gegeben werde, durch welche jener Zustand hervorgebracht wird, ferner davon, worauf diese Kräfte wirken und nach welchen Gesetzen sie wirken.

Aus der obigen Zusammenstellung und Betrachtung der verschiedenen möglichen Fälle, in welchen der durch eine ideale Vertheilung magnetischer Fluida repräsentirbare Zustand eines Körpers zu Stande kommen könne, hat sich nur ein einziger ergeben, in welchem für die Abhängigkeit dieses Zustands von den äusseren Verhältnissen solche Bestimmungen resultiren, die mit den Fundamentalscheinungen bei der Entstehung des Diamagnetismus vereinbar sind. Daraus folgt, dass von der Entstehung des diamagnetischen Zustands der Körper nur dann Rechenschaft gegeben werden kann, wenn man diesen einzigen Fall als wirklich vorhanden annimmt, wonach der diamagnetische Zustand aus den inducirenden Kräften, welche auf den Körper gewirkt haben, und aus den inducirten im Körper befindlichen elektrischen Fluidis, welche ohne Widerstand in Kreisbahnen um die einzelnen Molecule beweglich sind, hervorgeht. Es wird hiernach also angenommen, dass ein Wismuthstab aus Moleculen besteht, welche in sich zurücklaufende Bahnen (oder Canäle) enthalten, in denen die elektrischen Fluida ohne Widerstand beweglich sind, während sie in allen anderen Bahnen nur mit Ueberwindung eines ihrer Geschwindigkeit proportionalen Widerstands beweglich sind. Die Entstehung eines reinen, mit Magnetismus nicht vermischten Diamagnetismus setzt

ausserdem voraus, dass die Molecule mit jenen Bahnen oder Canälen nicht drehbar sind; denn sonst würden drehbare Molecularströme entstehen, die, wie Ampère bewiesen hat, einen magnetischen Zustand zur Folge haben, wenn sich bei der Drehung ihre Intensität nicht ändert.

48.

Bestimmung der elektromagnetischen Scheidungskraft in einer galvanischen Spirale.

Nach der gegebenen Darstellung ist es nicht die magnetische oder elektromagnetische Scheidungskraft an und für sich selbst, welche den diamagnetischen Zustand eines Körpers hervorbringt, sondern es kommt diese Scheidungskraft bei der Bestimmung des Diamagnetismus nur mittelbar in Betracht, in sofern als dadurch die Summe der elektromotorischen Kräfte bestimmt wird, welche bisher auf den diamagnetischen Körper gewirkt und die elektrischen Fluida in Strombewegung um die einzelnen Molecule gesetzt haben. Von der Summe der elektromotorischen Kräfte, welche bisher auf den diamagnetischen Körper gewirkt haben, hängt aber die Stärke der jetzt vorhandenen (inducirten) Molecularströme ab, in denen das Wesen des Diamagnetismus besteht. Auf diese Weise dient die Bestimmung der Intensität der vorhandenen magnetischen oder elektromagnetischen Scheidungskraft nur mittelbar zur Bestimmung des Diamagnetismus, weil sie den Integralwerth aller Aenderungen giebt, welche die magnetische oder elektromagnetische Scheidungskraft erlitten hat, womit die Summe der elektromotorischen Kräfte und folglich die Stärke der jetzt vorhandenen (inducirten) Molecularströme proportional ist.

Ist nun der Leitungsdraht eines galvanischen Stroms gleichförmig um eine cylindrische Röhre gewunden, so ergiebt sich nach den bekannten elektromagnetischen Gesetzen für den Mittelpunkt der Röhre die von dem Strome nach der Richtung der Axe ausgeübte elektromagnetische Scheidungskraft, welche mit X bezeichnet werden soll:

$$X = \frac{2\pi ni}{a} *),$$

*) Dem bezeichnet r den Halbmesser einer Windung, a den Abstand ihres Mittelpunkts von der Mitte der Spirale, $rd\varphi$ die Länge eines Stromelements und i die

wo n die Zahl der Windungen, i die Stromintensität und $2d$ die Diagonale der Röhre (d. i. wenn $2a$ die Länge der Röhre und $2r$ der Durchmesser ist, $d = \sqrt{(aa + rr)}$) bezeichnet. Ist hierin die Stromintensität i nach dem in der vorigen Abhandlung über elektrodynamische Maassbestimmungen (S. 219 dieses Bandes) festgesetzten absoluten Maasse ausgedrückt, so ist durch obigen Ausdruck die elektromagnetische Scheidungskraft nach demselben Maasse gegeben, welches Gauss zur Bestimmung der Intensität des Erdmagnetismus festgestellt hat.

Der angegebene Werth der elektromagnetischen Scheidungskraft gilt nun zwar genau genommen nur für den Mittelpunkt der Spirale; in den meisten Fällen aber kann derselbe mit hinreichender Näherung für einen sehr grossen Theil des ganzen von der Spirale eingeschlossenen Raums genommen werden, zumal wenn der Durchmesser der Spirale gegen ihre Länge sehr klein ist. Betrachtet man z. B. einen Punkt der Axe, welcher in der Entfernung b von der Mitte der Spirale liegt, so findet man für diesen Punkt

$$X = \frac{\pi ni}{a} \left[\left(1 + \frac{rr}{(a-b)^2} \right)^{-\frac{1}{2}} + \left(1 + \frac{rr}{(a+b)^2} \right)^{-\frac{1}{2}} \right],$$

oder, wenn man $\sqrt{(dd - rr)}$ für a , und ρ für $\frac{r}{d}$ setzt,

$$X = \frac{2\pi ni}{a} \left[1 - \frac{3dd - bb}{2(dd - bb)^2} \cdot \rho\rho bb + \dots \right].$$

Soll also die Differenz der elektromagnetischen Scheidungskraft, in Theilen ihres für den Mittelpunkt gültigen Maximumwerthes, den kleinen Bruch m nicht übersteigen, so setze man

$$\frac{3dd - bb}{2(dd - bb)^2} \cdot \rho\rho bb = m$$

oder

$$\frac{bb}{dd} = 1 + \frac{\rho\rho}{4m + 2\rho\rho} \left(1 \pm \sqrt{\left(\frac{16m}{\rho\rho} + 9 \right)} \right).$$

Stromintensität, so ist bekanntlich $\frac{irrd\rho}{(rr + xx)^{\frac{3}{2}}}$ der Ausdruck der von diesem Stromelemente im Mittelpunkte der Spirale nach der Richtung ihrer Axe ausgeübten Kraft. Hieraus folgt der Ausdruck der von der ganzen Windung ausgeübten Kraft $= \frac{2\pi rri}{(rr + xx)^{\frac{3}{2}}}$, und der Ausdruck für n Windungen der Spirale, deren Länge $= 2a$ ist,

$$= 2\pi rri \cdot \frac{n}{2a} \int_{-a}^{+a} \frac{dx}{(rr + xx)}, \text{ d. i. wenn } \sqrt{(aa + rr)} = d \text{ gesetzt wird, } = \frac{2\pi ni}{d}.$$

Beträgt also der Durchmesser z. B. den 40sten Theil der Länge, so ist in mehr als $\frac{7}{8}$ des ganzen von der Spirale umschlossenen Raums die elektromagnetische Scheidungskraft bis auf 1 Procent constant, und in fast $\frac{2}{3}$ dieses Raums ist sie bis auf $\frac{1}{10}$ Procent constant.

Solche Spiralen können also dazu dienen, auf eine bequeme Weise einen seiner Länge nach beliebig ausgedehnten Raum darzustellen, für welchen die elektromagnetische Scheidungskraft eine genau bekannte, beliebig grosse und überall als gleich zu betrachtende Stärke besitzt. Die Darstellung eines solchen Raums ist aber für viele Untersuchungen von grosser Wichtigkeit und es können die in den beiden vorhergehenden Abschnitten dieser Abhandlung beschriebenen Versuche als Beispiele dafür dienen; denn diese Versuche würden ohne die Anwendung solcher Spiralen ganz unausführbar gewesen sein.

Die vorhergehende Darstellung bezieht sich eigentlich zunächst nur auf die in der Axe der Spirale gelegenen Punkte; das gefundene Resultat lässt sich aber mit Hilfe des von Gauss in der «Allgemeinen Theorie des Erdmagnetismus» (Resultate aus den Beob. d. magn. V. im Jahre 1838) Art. 38 gegebenen allgemeinen Lehrsatzes leicht auch auf den übrigen von der Spirale umschlossenen Raum ausdehnen.

49.

Bestimmung des Elektrodiamagnetismus aus der elektromagnetischen Scheidungskraft.

Die durch $X = \frac{2\pi ni}{d}$ ausgedrückte elektromagnetische Scheidungskraft bringt nun nach der in der vorigen Abhandlung über elektrodynamische Maassbestimmungen (S. 224 dieses Bandes) gegebenen Bestimmung auf einen Kreis vom Halbmesser r während der Zeit, in welcher derselbe aus der gegen die Richtung der Scheidungskraft senkrechten Stellung in die damit parallele übergeführt wird, eine Summe oder einen Integralwerth von elektromotorischer Kraft hervor:

$$= \pi r X.$$

Dieser Integralwerth ist die Summe der Producte aus der nach dem a. a. O. S. 219 festgestellten absoluten Maasse ausgedrückten Intensität in das Zeitelement, in welchem die Kraft mit dieser Intensität wirkt.

Der Ausdruck dieser Summe bleibt unverändert, wenn, statt den Kreis um 90° zu drehen, die elektromagnetische Scheidungskraft $X = \frac{2\pi ni}{d}$ verschwindet. Wächst umgekehrt diese Scheidungskraft von $X = 0$ bis $X = \frac{2\pi ni}{d}$ (beim Schliessen des Stroms), so ist der Ausdruck für jene Summe:

$$- \pi r r X = - \frac{2\pi \pi r r i}{d}.$$

Das negative Vorzeichen bedeutet, dass der inducirte Kreisstrom eine solche Richtung hat, dass die Pole eines ihm äquivalenten Molecularmagnets nach entgegengesetzten Seiten gerichtet sind, als die, nach welchen die Pole einer Boussole unter dem Einflusse derselben Kraft X getrieben werden.

Dieser Bestimmung des Integralwerths der elektromotorischen Kraft liegt das aus dem absoluten Maasse des Magnetismus abgeleitete Maass elektromotorischer Kräfte, wie es in der schon angeführten Abhandlung S. 249 festgestellt ist, zum Grunde, und der gegebene Ausdruck muss mit $\sqrt{\frac{1}{2}}$ multiplicirt werden, wenn er für das a. a. O. S. 263 angegehene rein elektrodynamische Maass gelten soll, also:

$$- \frac{\pi}{\sqrt{2}} \cdot r r X = - \frac{\pi \pi \sqrt{2} \cdot r r i}{d}.$$

Und dieser Ausdruck muss nach S. 269 mit $\frac{4}{c}$ multiplicirt werden (wo c denjenigen constanten Werth der relativen Geschwindigkeit bezeichnet, bei welcher zwei elektrische Massen gar keine Wirkung auf einander ausüben), wenn man die elektromotorische Kraft in Theilen des allgemeinen in der Mechanik für Kräfte festgestellten absoluten Maasses ausdrücken will, also:

$$- \frac{2\sqrt{2}}{c} \cdot \pi r r X = - \frac{4\sqrt{2} \cdot \pi \pi r r i}{cd}.$$

Dieser Ausdruck giebt die elektromotorische Kraft für die Länge der Kreisbahn, vorausgesetzt, dass in jeder Längeneinheit dieser Bahn die Einheit des elektrischen Fluidums sich befindet; man erhält daraus die elektromotorische Kraft, welche auf jede Masseneinheit des elektrischen Fluidums wirkt, durch Division mit der Kreisperipherie $2\pi r$

$$= - \frac{\sqrt{2}}{c} \cdot r X = - \frac{2\sqrt{2} \cdot \pi \pi r i}{cd},$$

d. i. der Integralwerth der Beschleunigung für den Zeitraum, in welchem die elektromagnetische Scheidungskraft von $X = 0$ bis

$X = \frac{2\pi ni}{d}$ wuchs, wenn an jede Einheit des elektrischen Fluidums eine ponderable Masseneinheit geknüpft wäre. Bezeichnet ε den unbekannt kleinen Bruch, welcher die der Einheit des elektrischen Fluidums zugehörige Masse in Theilen des ponderablen Massenmaasses ausdrückt, so giebt obiger Ausdruck, mit ε dividirt, die Stromgeschwindigkeit u , welche durch das angegebene Wachsthum der elektromagnetischen Scheidungskraft hervorgebracht worden ist. Multiplicirt man diesen Ausdruck der Stromgeschwindigkeit u mit $ae = \frac{4e}{c}$ (siehe a. a. O. S. 268), wo e die Menge des elektrischen Fluidums nach elektrischem Maasse ausdrückt, welche in jeder Längeneinheit der Kreisbahn sich befindet, so erhält man die Intensität des inducirten Kreisstroms nach dem a. a. O. S. 264 nach rein elektrodynamischen Principien aufgestellten Maasse ausgedrückt; multiplicirt man ferner noch mit $\sqrt{2}$, so erhält man diese Intensität nach demjenigen Maasse bestimmt, nach welchem ein Strom von der Intensität $= 1$, wenn er die Flächeneinheit umläuft, mit der Einheit des Magnetismus nach absolutem Maasse identisch wirkt, nämlich:

$$- \frac{8e}{c\varepsilon} \cdot r X = - \frac{16 \pi nr \sigma i}{c d \varepsilon}.$$

i bezeichnet die Intensität des inducirenden Stroms nach demselben Maasse.

Das elektromagnetische Moment dieses inducirten Kreisstroms (Molecularstroms) findet man durch Multiplication der angegebenen Stromintensität mit dem von der Kreisbahn umschlossenen Flächenraume πr^2

$$= - \frac{8e}{c\varepsilon} \cdot \pi r^2 X = - \frac{16 \pi nr^2 \sigma i}{c d \varepsilon}.$$

Hierbei ist angenommen, dass die Normale der Kreisbahnebene mit der Richtung der elektromagnetischen Scheidungskraft parallel sei, was für alle Kreisbahnen nur bei einer bestimmten Anordnung der Molecule stattfinden kann. Beim Wismuth setzen wir keine solche Anordnung voraus, sondern nehmen vielmehr nach dem Begriffe der Homogenität an, dass die Normalen der Kreisbahnen keine vorherrschende Richtung haben. Darnach muss die Zahl der Kreisbahnen, deren Normalen den Winkel φ mit der Richtung der elektromagnetischen Scheidungskraft machen, mit $\sin \varphi$ proportional gesetzt werden. Die Stromintensität ergibt sich dann mit $\cos \varphi$ proportional, und die der Scheidungskraft parallele Componente des Moments mit

$\cos \varphi^2$. Multiplicirt man daher obigen Ausdruck mit $\sin \varphi \cos \varphi^2$, so erhält man einen Ausdruck, welcher dem Antheile aller Kreisströme (Molecularströme), deren Normalen mit der Richtung der Scheidungskraft den Winkel φ machen, an dem elektrodiamagnetischen Momente des Wismuths proportional ist, nämlich:

$$-\frac{8\sigma}{3cc\epsilon} \cdot \pi r^3 X \cdot \sin \varphi \cos \varphi^2 = -\frac{16\pi\pi r^3 \sigma i}{3cc\epsilon} \cdot \sin \varphi \cos \varphi^2.$$

Multiplicirt man diesen Ausdruck mit $d\varphi$ und dann ferner den zwischen den Grenzen $\varphi = 0$ bis $\varphi = \frac{1}{2}\pi$ genommenen Integralwerth mit der Zahl der Molecularströme m , so erhält man das ganze elektrodiamagnetische Moment des Wismuths ausgedrückt durch

$$-\frac{8\sigma}{3cc\epsilon} \cdot \pi m^3 X = -\frac{16\pi\pi m r^3 \sigma i}{3cc\epsilon}.$$

Bezeichnet v das Volumen des Wismuths und a den Abstand der Mittelpunkte seiner Molecularströme, deren Halbmesser $= r$ ist, so ist die Zahl der Molecularströme $m = \frac{v}{a^3}$. Vorausgesetzt nun, dass die Grösse der Molecularströme den Molecularabständen proportional ist, also $\frac{a}{r} = x$ constant, so ist die Summe der von allen Molecularströmen umlaufenen Flächen $m\pi r^2 = \frac{\pi v}{x^2 r}$. Substituirt man diesen Werth in dem obigen Ausdrücke des elektrodiamagnetischen Moments, so erhält man

$$-\frac{8\pi}{3cc\epsilon} \cdot \frac{\sigma}{x^2} \cdot v X = -\frac{16\pi\pi v \sigma i}{3cc\epsilon} \cdot \frac{\sigma}{x^2} \cdot v.$$

Das elektrodiamagnetische Moment einer Wismuthmasse ist also dem elektromagnetischen Scheidungsmomente X und dem Volumen der Wismuthmasse v proportional und wird daraus durch Multiplication mit einem aus der allgemeinen Electricitätslehre zu entnehmenden constanten Factor $\frac{8\pi}{3cc\epsilon}$, und einem von der Beschaffenheit des Wismuths abhängigen constanten Faktor $-\frac{\sigma}{x^2}$ gefunden. Diesen letzteren Factor kann man die diamagnetische Constante des Wismuths nennen.

20.

Vergleichung der Wechselwirkung diamagnetischer Molecule mit der Wechselwirkung magnetischer Molecule.

In der im vorigen Artikel gegebenen Bestimmung des elektrodiamagnetischen Moments ist die Induction von Molecularströmen in den Kreisbahnen der Molecule einzeln betrachtet worden, wie wenn

auf jedes Molecule bloss die aus der vorhandenen elektromagnetischen Scheidungskraft bestimmten elektromotorischen Kräfte gewirkt hätten. Dies ist genau genommen nicht der Fall, sondern es haben in jeder Kreisbahn ausserdem noch diejenigen elektromotorischen Kräfte mitgewirkt, welche von der Wechselwirkung der diamagnetischen Molecule herrühren, gerade so, wie auf ein Theilchen eines Eisenstabs nicht bloss die äussere, z. B. vom Erdmagnetismus ausgeübte, Scheidungskraft wirkt, sondern auch diejenigen Scheidungskräfte, welche von der Wechselwirkung der Theilchen des Stabs unter einander herrühren.

Soll nun diese Wechselwirkung der diamagnetischen Molecule in Rechnung gebracht werden, wiewohl sie so klein ist, dass sie einen kaum merklichen Einfluss hat, so verdient dabei zunächst ein merkwürdiger Gegensatz hervorgehoben zu werden, welcher zwischen der Wechselwirkung diamagnetischer und magnetischer Molecule stattfindet.

Befinden sich nämlich zwei Eisentheilchen in einer, der Richtung der auf sie wirkenden magnetischen Scheidungskraft X parallelen, Geraden, und bezeichnet man mit m das magnetische Moment, welches diese Scheidungskraft in jedem von diesen beiden Eisentheilchen, einzeln betrachtet, hervorbringen würde; so resultirt für jedes Theilchen aus der Wirkung des andern eine neue Scheidungskraft, welche das Moment m vergrössert. Diese neue, aus der Wechselwirkung beider Theilchen entspringende, Scheidungskraft wird nach bekannten Gesetzen durch $\frac{2m}{r^3}$ ausgedrückt, wenn r den Abstand der Theilchen bezeichnet, und die gesammte Scheidungskraft $(X + \frac{2m}{r^3})$ bringt nun in dem betrachteten Theilchen ein grösseres Moment $= (1 + \frac{2m}{Xr^3})m$ hervor. — Befinden sich dagegen zwei Wismuththeilchen in einer, der Richtung der auf sie wirkenden elektromagnetischen Scheidungskraft X parallelen, Geraden, und wird das diamagnetische Moment, welches dieser Scheidungskraft entspricht, mit $-\mu$ bezeichnet (das negative Vorzeichen bedeutet, dass für gleichgerichtete Scheidungskräfte das diamagnetische Moment dem magnetischen entgegen gesetzt ist), so resultirt für jedes Theilchen aus der Wirkung des andern eine neue Scheidungskraft $= -\frac{2\mu}{r^3}$, wenn r der Abstand der beiden Theilchen ist, und der gesammten Scheidungskraft $= (X - \frac{2\mu}{r^3})$ entspricht dann

das verkleinerte Moment $-\left(1 - \frac{2\mu}{Xr^3}\right)\mu$. Es findet also der Gegensatz statt, dass der Magnetismus der in der Richtung der Scheidungskraft liegenden Eisentheilchen durch Wechselwirkung verstärkt, der Diamagnetismus der in dieser Richtung liegenden Wismuththeilchen dagegen durch Wechselwirkung geschwächt wird.

Umgekehrt verhält es sich, wenn die Eisen- und Wismuththeilchen in einer gegen die Richtung der Scheidungskraft senkrechten Geraden liegen, wo der Magnetismus der Eisentheilchen durch Wechselwirkung geschwächt, der Diamagnetismus der Wismuththeilchen dagegen durch Wechselwirkung verstärkt wird. Es ergibt sich nämlich dann, wenn man dieselben Zeichen gebraucht, der geschwächte Magnetismus des Eisentheilchens $= +\left(1 - \frac{m}{Xr^3}\right)m$, der verstärkte Diamagnetismus des Wismuththeilchens $= -\left(1 + \frac{\mu}{Xr^3}\right)\mu$.

Hieraus folgt, dass, während man eine gegebene Masse Eisen, um ihr durch eine gegebene Scheidungskraft den stärksten Magnetismus zu ertheilen, in die Form eines langen und dünnen Stabs oder in die eines lang gestreckten Ellipsoids bringt, dessen grosse Axe der Richtung der Scheidungskraft parallel ist, so muss man dagegen eine Wismuthmasse, um ihr den stärksten Diamagnetismus zu ertheilen, in die möglichst dünnste Plattenform oder in die Form eines möglichst abgeplatteten Ellipsoids bringen, dessen kleine Axe der Richtung der Scheidungskraft parallel ist. Diese Folgerung würde sich an der Erfahrung prüfen lassen, doch ist dabei zu beachten, dass beim Wismuth der Einfluss der Wechselwirkung der Theilchen, wegen der Schwäche des einer gegebenen Scheidungskraft entsprechenden Diamagnetismus, sehr gering sein muss. Wendet man aber das gefundene Resultat auf die Prüfung des zuerst von Faraday ausgesprochenen Satzes an, dass sich nämlich Wismuth unter dem Einflusse magnetischer Scheidungskräfte ganz wie Eisen mit dem einzigen Unterschiede verhalte, dass die beiden magnetischen Fluida mit einander vertauscht erschienen, so stellt sich heraus, dass dieser Satz nicht streng richtig ist; denn darnach müsste die gestreckte ellipsoidische Form für Wismuth ebenso wie für Eisen die günstigste sein, dort den stärksten Diamagnetismus wie hier den stärksten Magnetismus darzustellen, was nicht der Fall ist. — Die Entwicklung dieser Gesetze der Wechselwirkung diamagnetischer Moleculen im Vergleiche mit der Wechselwirkung magnetischer Moleculen

führt zu einer einfachen Unterscheidung magnetischer und diamagnetischer Stoffe, die in dem folgenden Artikel näher betrachtet werden soll.

21.

Unterscheidung magnetischer und diamagnetischer Körper durch positive und negative Werthe einer Constanten.

Statt der nicht ganz richtigen Unterscheidung magnetischer und diamagnetischer Körper, wonach bei gleichgerichteter Scheidungskraft die beiden magnetischen Fluida nur mit einander vertauscht wären, lässt sich eine andere genau richtige und ebenso einfache Unterscheidung geben, die blos auf der Verschiedenheit der Werthe einer aus der Natur jedes Körpers zu bestimmenden Constante beruht.

Beschränkt man sich nämlich der Einfachheit wegen auf die Betrachtung eines Rotations-Ellipsoids von Eisen oder Wismuth, dessen Hauptaxe der Richtung der Scheidungskraft parallel ist, so hat Neumann in Crelle's «Journal für die reine und angewandte Mathematik» Bd. 37 bewiesen, dass für Eisen bei der Scheidungskraft X das magnetische Moment des Ellipsoids durch den Ausdruck

$$\frac{kvX}{1 + 4\pi kS}$$

dargestellt werde, wo v das Volumen des Ellipsoids und S eine durch das Verhältniss der Axen gegebene Grösse bezeichnet. Es ist nämlich

$$S = \sigma(\sigma - 1) \left\{ \frac{1}{2} \log \frac{\sigma+1}{\sigma-1} - \frac{1}{\sigma} \right\}$$

und

$$\sigma = \sqrt{1 - \frac{rr}{\lambda\lambda}}.$$

r und $\sqrt{rr - \lambda\lambda}$ sind die Axen des Ellipsoids. k endlich soll darin für Eisen einen constanten, von seiner Natur abhängigen Werth haben, welchen Neumann mit dem Namen der magnetischen Constante des Eisens bezeichnet, und zwar ist dieser Werth bei Eisen und allen magnetischen Körpern nothwendig positiv.

Der Werth von S ergibt sich für ein unendlich gestrecktes Ellipsoid $S = 0$; folglich das magnetische Moment

$$= kvX,$$

also ist für $v = 1$ und $X = 1$ das magnetische Moment $= k$. Die magnetische Constante k lässt sich hiernach als der Grenzwert

definiren, dem sich das magnetische Moment der Volumeneinheit unter dem Einflusse der Einheit der magnetischen Scheidungskraft desto mehr nähert, ein je gestreckteres Ellipsoid aus der Volumeneinheit gebildet wird. Da die Constante k bei allen magnetischen Körpern einen positiven Werth hat, so ist das magnetische Moment positiv oder negativ, jenachdem die Scheidungskraft positiv oder negativ ist.

Für eine Kugel ergibt sich der Werth von $S = \frac{1}{3}$, folglich das magnetische Moment

$$= \frac{kvX}{1 + \frac{1}{3}\pi k}.$$

Man sieht hieraus, dass bei der Kugelform des Eisens, weil k einen positiven Werth hat, auf die Volumeneinheit weniger Magnetismus kommt, als bei gestreckter Ellipsoidenform.

Der Werth von S ergibt sich endlich für ein zu einer unendlich dünnen Kreisscheibe abgeplattetes Ellipsoid $S = 1$, folglich das magnetische Moment

$$= \frac{kvX}{1 + 4\pi k}.$$

Die Grösse k dient nun als Unterscheidungsmerkmal verschiedener magnetischer Stoffe, indem ihr Werth nach Verschiedenheit der Stoffe bis Null abnehmen kann, nur aber der Natur des Magnetismus gemäss stets positiv sein muss. Man kann aber den Gebrauch der Grösse k als Unterscheidungsmerkmal verallgemeinern und ihn, statt auf magnetische Körper zu beschränken, auf alle Körper ausdehnen, indem man negative Werthe von k zulässt und die physische Bedeutung daran knüpft, dass ein Körper, dem ein solcher negativer Werth von k zugehöre, kein magnetischer, sondern ein diamagnetischer sei. Statt negative Werthe von k einzuführen, wollen wir bei diamagnetischen Körpern $-k$ schreiben. Das diamagnetische Moment eines Wis-muthellipsoids, dessen Volumen $= v$ ist, und auf welches die elektromagnetische Scheidungskraft X der Hauptaxe parallel wirkt, wird alsdann ausgedrückt durch

$$= -\frac{kvX}{1 - 4\pi k S},$$

wo S dieselbe Bedeutung wie oben hat. Für unendlich gestreckte Ellipsoide, wo $S = 0$, ist also das diamagnetische Moment

$$= -kvX;$$

für eine Kugel, wo $S = \frac{1}{3}$, ist dasselbe

$$= -\frac{kvX}{1 - \frac{1}{3}\pi k};$$

für ein unendlich abgeplattetes Ellipsoid, wo $S = 1$, ist es

$$= -\frac{kvX}{1-4\pi k}.$$

Bei der gestrecktesten Form kommt also auf die Volumeneinheit am wenigsten, bei der abgeplattetesten Form am meisten Diamagnetismus, gerade umgekehrt, als es mit dem Magnetismus der Fall war, wie schon im vorigen Artikel bewiesen worden ist.

Da aber $-k$ einen sehr kleinen negativen Werth auch beim Wismuth hat, welches am stärksten diamagnetisch wird, so ergibt sich, dass der Diamagnetismus des Wismuths immer sehr nahe dem Producte des Volumens und der Scheidungskraft proportional ist und von der Form als fast unabhängig betrachtet werden kann. Es kann daher die Bedeutung von $-k$ unmittelbar mit derjenigen diamagnetischen Constante verglichen werden, von welcher am Ende des 19. Artikels die Rede war. Auch dort wurde das diamagnetische Moment dargestellt durch das Product des Volumens in die Scheidungskraft multiplicirt mit einem constanten Coefficienten, welcher in zwei Factoren zerfiel, nämlich in einen aus der allgemeinen Elektrizitätslehre zu entnehmenden $\frac{8\pi}{3cc\epsilon}$, und in einen von der Beschaffenheit des Wismuths abhängigen Factor $-\frac{\sigma}{x^3}$, welcher dort die diamagnetische Constante des Wismuths genannt worden ist. Man sieht leicht, dass diese beiden Factoren hier in $-k$ nicht geschieden sind und dass $-k$ also keine andere Bedeutung hat als die des Products jener beiden constanten Factoren *).

*) Es möge hierbei noch bemerkt werden, dass der magnetische Coefficient k sich nur nach der Theorie scheidbarer magnetischer Fluida (Art. 15, Nr. 1) constant ergibt; dass er aber nach der Theorie drehbarer Molecularmagnete (Art. 15, Nr. 2) eine Function der Scheidungskraft X sein muss. Der diamagnetische Coefficient $-k$ ist dagegen nach der Theorie der diamagnetelektrischen Induction (Art. 15, Nr. 4) seiner Natur nach constant, wie Art. 19 gezeigt worden ist. Es wird in den folgenden Art. 23—26 bewiesen werden, dass in Beziehung auf den Magnetismus die Erfahrung mit der Theorie scheidbarer magnetischer Fluida in Widerspruch steht und zu Gunsten drehbarer Molecularmagnete (oder Molecularströme Art. 15, Nr. 3) entscheidet, weil nämlich der Werth von k beim Eisen wirklich nicht constant, sondern mit der Grösse der Scheidungskraft X veränderlich ist.

22.

Ueber die Existenz magnetischer Fluida.

Wenn eine gewisse Classe von Wirkungen eines Körpers auf andere Körper so beschaffen ist, dass sie aus einer idealen Vertheilung magnetischer Fluida auf seiner Oberfläche erklärt werden kann, so lassen sich für die wahren Ursachen aller jener Wirkungen, welche im Innern des Körpers liegen, verschiedene Möglichkeiten denken und darnach vier verschiedene Fälle unterscheiden, welche Art. 14 angegeben und in den darauf folgenden Artikeln näher erörtert worden sind. Zwei dieser Fälle beruhen auf der Voraussetzung, dass zwei magnetische Fluida existiren, denen in den Moleculen des Körpers entweder eine constante oder eine variable Scheidung zugeschrieben wird; die beiden anderen Fälle beruhen auf der Voraussetzung, dass die beiden nach der Elektrizitätslehre vorhandenen elektrischen Fluida in einer bestimmten Kreisbahn um jedes Molecule des Körpers entweder in einer constanten oder in einer variablen Strombewegung sich befänden. Diese vier verschiedenen Fälle schliessen nun, wie man leicht einsieht, keineswegs einander wechselseitig aus; denn es kann ein Theil der magnetischen Fluida in den Moleculen constant geschieden bleiben, während die Scheidung eines anderen Theils variabel ist; und ebenso kann ein Theil der elektrischen Strömung in der für jedes Molecule gegebenen Kreisbahn constant sein, während ein anderer Theil seiner Intensität nach variirt. In letzterer Beziehung liesse sich sogar die Existenz von constanten Strömungen ohne das Hinzukommen eines variablen Theils bei den vielen vorhandenen elektromotorischen Kräften gar nicht begreifen, weil die elektrischen Fluida, wenn sie wirklich in bestimmten Kreisbahnen um die Molecule frei beweglich sind, wie die Existenz beharrlicher Strömungen beweist, dem Antriebe jener nach der Richtung der Kreisbahnen zerlegten elektromotorischen Kräfte nothwendig folgen müssen. Der erste und zweite Fall können daher entweder einzeln oder zugleich stattfinden; der dritte und vierte stehen aber unter einander in einem nothwendigen Zusammenhange, so dass entweder keiner von beiden oder beide zusammen stattfinden müssen. Jene vier Fälle lassen sich hiernach paarweise verbunden unter zwei Hauptfälle bringen, nämlich

1) dass zwei geschiedene oder scheidbare magnetische Fluida in den Moleculen des Körpers existiren, 2) dass die nach der Elektrizitätslehre überall vorhandenen elektrischen Fluida in bestimmten Kreisbahnen um die Moleculen des Körpers frei beweglich sind. Diese beiden Hauptfälle können aber als einander wechselseitig ausschliessend in sofern betrachtet werden, als die wirkliche Nachweisung eines von beiden den andern als überflüssige Hypothese erscheinen lassen würde.

Nun lässt sich für jeden von diesen beiden Hauptfällen eine Theorie entwickeln, und jede von diesen Theorien in zwei Theile theilen, nämlich in einen solchen, worin beide Theorien in ihren Resultaten übereinstimmen, und in einen solchen, wo sie in ihren Resultaten einander widersprechen. Denn es verhält sich hier gerade so wie in der Optik mit der Emissionstheorie und Wellentheorie, die in ihren Resultaten ebenfalls in sehr vielen Beziehungen mit einander übereinstimmen, bis die Entdeckung der Interferenzerscheinungen zu einer näheren Erörterung desjenigen Theils führte, in welchem beide Theorien in ihren Resultaten einander widersprechen. Haben nun auch bis jetzt die beiden auf der Existenz magnetischer Fluida und auf der Existenz elektrischer Molecularströme beruhenden Theorien in sehr vielen Beziehungen eine bewundernswürdige Uebereinstimmung in den Resultaten ergehen; so durfte man doch auch hier, wie in der Optik, erwarten, dass endlich die Entdeckung irgend einer neuen Classe von Erscheinungen ebenfalls zu einer näheren Erörterung desjenigen Theils führen würde, wo beide Theorien in ihren Resultaten einander widersprächen, und dass alsdann die neuentdeckten Erscheinungen die bisherige Alternative zwischen beiden Theorien entscheiden würden *).

*) Ich habe früher in den «Resultaten aus den Beob. d. magn. V. im Jahre 1839» die Vermuthung zu begründen gesucht, dass die daselbst unter dem Namen der «Unipolaren Polarität» beschriebenen Erscheinungen zu einer solchen Entscheidung führen könnten. Dies ist aber nicht der Fall, weil eine andere Erklärung von den dort beschriebenen Erscheinungen sich geben lässt, sobald zwischen den im Innern der Conductoren sich bewegenden elektrischen Fluidis und den ponderablen Theilen der Conductoren eine solche Verbindung stattfindet, dass jede auf die elektrischen Fluida wirkende Kraft ganz oder fast ganz auf die ponderablen Theile übertragen wird, wie ich dies in den «Elektrodynamischen Maassbestimmungen» (Abhandl. bei Begründung der K. S. Gesellsch. d. Wissensch. herausgeg. v. d. F. Jabl. Ges. Art. 19, S. 309) näher erörtert habe.

Die beiden optischen Theorien trennten sich in den Folgerungen, welche sich aus ihnen für das Zusammentreffen zweier homogenen Lichtstrahlen ergaben; denn nach der einen sollte immer Verstärkung, nach der andern bald Verstärkung bald Aufhebung stattfinden: die Interferenzerscheinungen bestätigten die Resultate der Wellentheorie. Auf ähnliche Weise kann auch der Scheideweg unserer Theorien bestimmt werden. Beide stimmen zwar 1) in allen, die Erscheinungen beharrlicher Magnete betreffenden Resultaten überein; 2) auch in Betreff der veränderlichen Magnete, darin, dass jede eine Einteilung derselben in zwei Classen gestattet, nämlich in solche, die ihren Magnetismus der blossen Orientirung fertig vorhandener drehbarer Molecule (Molecularmagnete oder Molecularströme) verdanken, und in solche, die ihren Magnetismus der Scheidung oder Bewegung imponderabler Fluida in ruhenden Moleculen (der Scheidung magnetischer Fluida in den Moleculen, oder der Erregung elektrischer Ströme in bestimmten Kreisbahnen um die Molecule) verdanken; 3) endlich stimmen beide Theorien auch noch in ihren Resultaten über die erste Classe der veränderlichen Magnete mit einander überein; aber sie widersprechen einander in ihren Resultaten über die zweite Classe; denn für diese zweite Classe ergibt sich aus den beiden Theorien eine entgegengesetzte Lage der Pole: nach der einen soll die Lage der Pole für die zweite Classe gleich der für die erste Classe sein; nach der andern soll die Lage der Pole für die zweite Classe entgegengesetzt der für die erste Classe sein.

So lange man also nur solche veränderliche Magnete kannte, wo die Lage der Pole (für gleichgerichtete Scheidungskräfte) gleich war, so liessen sie sich nach beiden Theorien erklären, und es bedurfte nur nach der zweiten Theorie der Annahme, dass Magnete der zweiten Classe entweder gar nicht vorkämen oder nur mit Magneten der ersteren Classe so verbunden, dass die Wirkung der letzteren immer vorherrsche. Weil die erste Theorie einer solchen Annahme nicht bedurfte, konnte sie sogar den Vorzug zu verdienen scheinen, so lange man nur Magnete mit gleicher Lage der Pole für gleichgerichtete Scheidungskräfte kannte. Sobald man aber veränderliche Magnete (Diamagnete) entdeckte, wo die Lage der Pole (bei gleichgerichteten Scheidungskräften) entgegengesetzt war, so blieb keine Wahl mehr zwischen beiden Theorien, denn

es konnte dann nur die zweite Theorie gebraucht werden, weil sie allein von der Entstehung zweier Classen von Magneten mit entgegengesetzter Lage der Pole bei gleichgerichteten Scheidungskräften Rechenhaft giebt.

Die von Faraday entdeckten diamagnetischen Erscheinungen dienen daher zur Entscheidung der Alternative zwischen diesen beiden Theorien, gerade so, wie die Interferenzerscheinungen zur Entscheidung der Alternative zwischen Emissions- und Wellentheorie in der Optik gedient haben, und dies ist die wesentlichste und wichtigste Bedeutung, welche dieser Entdeckung gegeben werden kann. Durch die Entdeckung des Diamagnetismus wird also die Hypothese der elektrischen Molecularströme im Innern der Körper bestätigt; die Hypothese der magnetischen Fluida im Innern der Körper widerlegt.

Alle unsere Hypothesen oder Vorstellungen von den Körpern finden immer nur innerhalb eines begrenzten Bereichs von Erscheinungen Geltung und unterscheiden sich von einander durch die grössere Beschränkung oder Ausdehnung dieses Bereichs. Wir schreiben ihnen Realität zu, so lange wir keine Erscheinungen kennen, die ausserhalb des Bereichs, für welches sie gelten, lägen; im entgegengesetzten Falle bezeichnen wir sie als ideal. Wenn nun auch die magnetischen Fluida künftig in die Reihe der idealen Vorstellungen gesetzt werden müssen, so behalten sie doch die nämliche Wichtigkeit und Bedeutung, die sie bisher besaßen, so oft man Betrachtungen auf denjenigen Kreis beschränkt, für welchen sie gelten. — Und wenn wir auch für jetzt den elektrischen Molecularströmen im Innern der Körper Realität zuschreiben, gleichwie dem Wellen fortpflanzenden Lichtäther in der Optik, so kann es doch geschehen, dass auch sie künftig, bei weiterer Ausbildung der Wissenschaft, in die Reihe der idealen Vorstellungen versetzt werden müssen.

Ueber die Abhängigkeit des magnetischen und diamagnetischen Moments von der Grösse der Scheidungskraft.

23.

Die Richtigkeit des gewonnenen Resultats, dass keine magnetischen, sondern nur elektrische Fluida wirklich existiren, für welche aber in

den ponderablen Körpern zwei verschiedene Arten von Bahnen vorhanden sind, in denen sie sich bewegen können, nämlich theils solche, in welchen ihre Bewegung einen mit ihrer Geschwindigkeit proportionalen Widerstand findet, theils solche, in welchen ihre Bewegung gar keinen Widerstand findet (Molecularbahnen); beruht, den vorhergehenden Erörterungen gemäss, hauptsächlich auf der Betrachtung der entgegengesetzten Lage der Pole oder der entgegengesetzten Richtung, nach welcher bei gleicher magnetischer oder elektromagnetischer Scheidungskraft die ideale Scheidung der magnetischen Fluida in magnetischen und diamagnetischen Körpern erfolgt; es kann aber die Richtigkeit dieses Resultats noch einer weiteren Prüfung unterworfen werden, wenn man ausser der Richtung, nach welcher bei einer gegebenen magnetischen oder elektromagnetischen Scheidungskraft die ideale Scheidung der magnetischen Fluida erfolgt, ferner die Stärke dieser Scheidung genauer erforscht. Es findet nämlich zwar in Beziehung auf die Stärke dieser Scheidung kein solcher Gegensatz zwischen beiden Theorien statt, wie in Beziehung auf die Richtung; doch ergibt sich auch in ersterer Beziehung keine volle Uebereinstimmung. Eine vollständige Entscheidung der Alternative fordert daher noch die Entwicklung derjenigen Differenzen, welche zwischen beiden Theorien in Beziehung auf die Stärke jener idealen Scheidung stattfinden, und deren Prüfung an der Erfahrung.

Ergäbe sich von der einen Seite, was nach der Note am Ende von Art. 24 für scheidbare Fluida gilt, dass nach der Theorie wirklich existirender magnetischer Fluida Proportionalität der magnetischen Momente mit den Scheidungskräften stattfinden sollte, dass aber diese Proportionalität (nach den Müller'schen Versuchen) der Erfahrung widerspreche, und liesse sich von der anderen Seite nachweisen, dass die Theorie der Molecularströme in keinem solchen Widerspruche mit der Erfahrung stände, so könnte die Richtigkeit der letztern Theorie auf diesem Wege bewiesen werden, ohne dass es dazu nöthig wäre, die diamagnetischen Erscheinungen und die verkehrte Lage der Pole, welche sich dabei zeigt, zu Hülfe zu nehmen, wie es in den vorhergehenden Artikeln geschehen ist. Indessen kommt dabei ein wesentlicher Umstand in Betracht, welcher macht, dass dieser bloss auf magnetische Versuche gegründete Beweis, wozu die diamagnetischen Versuche gar nicht zu Hülfe genommen zu werden brauchten, für sich

allein betrachtet, nicht völlig entscheidend ist. Es giebt nämlich, wie schon Art. 14 auseinander gesetzt worden ist, unter der Voraussetzung von der wirklichen Existenz magnetischer Fluida, zwei Arten der Entstehung von Magneten, nämlich entweder durch Scheidung der magnetischen Fluida in ruhenden Moleculen, oder durch Drehung der Molecule, in denen die magnetischen Fluida beharrlich geschieden sind. Die schon erwähnte von Poisson und Neumann entwickelte Theorie, nach welcher Proportionalität der magnetischen Momente mit den Scheidungskräften stattfinden soll, betrifft aber nur die Gesetze zur Bestimmung des Magnetismus der auf die erste Art entstandenen Magnete, und es bedarf einer näheren Prüfung, ob dieselben Gesetze ganz unverändert auch auf die Bestimmung des Magnetismus der auf die zweite Art entstandenen Magnete Anwendung finden können. Dies ist nicht der Fall, sondern es gelten für die auf die zweite Art entstandenen Magnete andere Gesetze, und zwar die nämlichen, wie für Magnete, die ihren Magnetismus der Existenz drehbarer Molecularströme verdanken. Wenn also die Gesetze dieser letzten Magnete mit der Erfahrung übereinstimmen, so folgt daraus von selbst, dass die Erfahrung auch mit den Gesetzen der Magnete, deren Magnetismus von drehbaren Moleculen mit beharrlich geschiedenen magnetischen Fluidis herrührt, übereinstimmen müsse. Folglich kann auf diese Gesetze allein keine allgemeine Widerlegung von der wirklichen Existenz der magnetischen Fluida gegründet werden, sondern nur eine Widerlegung der Entstehung der Magnete durch Scheidung der magnetischen Fluida, wie sie in der von Poisson und Neumann entwickelten Theorie angenommen wird.

Aber auch diese partielle Widerlegung gewinnt eine allgemeinere Bedeutung, wenn man die Gründe beachtet, durch die Poisson und Neumann sich berechtigt halten durften, eine Scheidung der magnetischen Fluida in ruhenden Moleculen und keine Drehung der Molecule mit beharrlich geschiedenen magnetischen Fluidis anzunehmen. Betrachtet man nämlich näher, wie man zur Aufstellung der Hypothese von der Existenz magnetischer Fluida überhaupt gekommen ist, so wird man sich leicht überzeugen, dass sie hauptsächlich auf der Analogie mit der statischen Elektrizitätslehre beruht, und dass diese Analogie im Wesentlichen darin besteht, dass bei der Magnetisirung des Eisens eine ähnliche Scheidung der magnetischen Fluida in den Eisen-

moleculen stattfinden, wie die der elektrischen Fluida bei der Elektrisirung eines Systems kleiner Conductoren. Diese Analogie würde aber ganz verloren gehen, wenn die Magnetisirung des Eisens auf keiner Scheidung der magnetischen Fluida in den Eisenmoleculen, sondern auf einer Drehung der Eisenmolecule selbst beruhte. Es geht hieraus hervor, dass die Hypothese von der Existenz zweier magnetischen Fluida ihr ursprüngliches, auf der Analogie mit der Elektrizitätslehre beruhendes, Fundament durch Widerlegung der von Poisson und Neumann entwickelten Theorie verlieren und fast wie eine ganz neue Hypothese zu betrachten sein würde. Es leuchtet dies auch daraus ein, dass alsdann selbst der Name der magnetischen Fluida gar nicht mehr passen würde, weil, wenn diese Stoffe in den Eisenmoleculen beharrlich geschieden und stets auf gleiche Weise fest mit den Eisentheilchen verbunden wären und nur mit den Eisentheilchen sich bewegen könnten, von einem flüssigen Aggregatzustande dieser Stoffe gar nicht die Rede sein könnte. Es würde alsdann sogar das Recht bezweifelt werden müssen, diese Stoffe als gesondert vom Eisen zu betrachten, wenn sie in der Wirklichkeit immer und in unveränderter Weise mit den Eisentheilchen verbunden blieben; denn es würde alsdann genügen, bloß zwei Arten von Eisentheilchen zu unterscheiden.

Die erwähnte partielle Widerlegung gewinnt also dadurch eine allgemeinere Bedeutung, dass sie alle Analogie zerstört, welche man früher zwischen den Hypothesen von den magnetischen und elektrischen Fluidis herzustellen gesucht hatte. Eine solche Analogie gab der Hypothese eine gewisse Wahrscheinlichkeit, deren wahrer Werth sich nicht genau bestimmen liess und daher leicht zu hoch angeschlagen werden konnte, nun aber durch die oben erwähnte Widerlegung der Scheidungstheorie ganz wegfällt.

In demselben Verhältnisse aber, in welchem die eine Theorie, nämlich die auf der wirklichen Existenz magnetischer Fluida gebaute, an Wahrscheinlichkeit verliert, gewinnt die andere, nämlich die auf der Existenz von Molecularströmen begründete Theorie, zumal wenn sich beweisen lässt, dass die Stärke der magnetischen Momente für verschiedene Scheidungskräfte sich genau dieser Theorie gemäss verhalte. Die bisher bloss an der beobachteten Richtung der Scheidung geprüfte Theorie würde dann auch durch die beobachtete Stärke der Scheidung geprüft und bestätigt werden. Es ergiebt sich

hieraus, dass diese zweite Prüfung eine wesentliche Ergänzung und Vervollständigung der ersteren bildet, welche daher in den folgenden Artikeln ausführlich gegeben werden soll.

24.

Zusammenhang des Vorhandenseins eines Maximumwerths des magnetischen Moments mit der Annahme von der Drehbarkeit der Molecule.

Die Annahme von drehbaren Molecularmagneten stimmt zwar, wie schon Art. 16 angeführt worden ist, in der Bestimmung der Lage der Pole mit der Annahme von scheidbaren magnetischen Fluidis in unbeweglichen Moleculen überein; beide aber unterscheiden sich nach dem vorigen Artikel wesentlich von einander in Beziehung auf das Gesetz, nach welchem die Stärke des Magnetismus eines Eisenstabs sich mit der Grösse der magnetischen Kraft, welche auf das Eisen wirkt, ändern soll. Es leuchtet nämlich ein, dass, nach der ersteren Annahme, der Stärke des Magnetismus eine Grenze gesetzt ist, die sie nicht überschreiten kann, welche nämlich dem Falle entspricht, wo die Axen aller Molecularmagnete durch Drehung eine parallele Lage angenommen haben. Eine solche Grenze ist für die Stärke des Magnetismus nach der zweiten Annahme, so wie sie nach Coulomb, Poisson und Neumann der Theorie zum Grunde gelegt zu werden pflegt, nicht vorhanden, weil nämlich darnach in den Moleculen eine unerschöpfliche Menge von scheidbarem neutralen magnetischen Fluidum (nach Analogie mit der Elektrizitätslehre) vorausgesetzt wird*). Aber wenn man auch diese letztere Annahme etwas modificiren und voraussetzen wollte, dass durch Verstärkung der auf das Eisen wirkenden Kraft nach und nach das ganze in den Moleculen vorhandene neutrale magnetische Fluidum geschieden werde, so ergäbe sich doch auch dann noch eine wesentliche Verschiedenheit zwischen

*) Nach dieser Annahme wird nämlich der magnetische Gleichgewichtszustand dadurch definirt, dass an der Oberfläche aller Molecularconductoren eine Vertheilung der beiden magnetischen Fluida stattfindet, welche auf alle Punkte im Innern der Molecule solche Kräfte ausüben, dass dadurch die Wirkung aller äussern Scheidungskräfte aufgehoben wird. Hieraus folgt leicht, dass bei Verdoppelung der äussern Scheidungskräfte auch die Menge des magnetischen Fluidums an der Oberfläche aller Molecule verdoppelt werden müsse u. s. w.

beiden Annahmen, welche darin besteht, dass das Wachsthum des Magnetismus bei immer zunehmender Kraft, welche auf das Eisen wirkt, nach der letzteren Annahme einem ganz anderen Gesetze vor der Erschöpfung des neutralen magnetischen Fluidums unterworfen sein muss, wie nachher, dass nämlich bis zu dem Augenblicke, wo der letzte Rest von neutralem Fluidum geschieden wäre, das Verhältniss der Stärke des Eisenmagnetismus zu der Grösse der Kraft, welche auf das Eisen wirkt, constant bleiben müsse (weshalb auch dieses Verhältniss mit dem Namen der magnetischen Constante des Eisens bezeichnet zu werden pflegt); dass aber von jenem Augenblicke an dieses Verhältniss schnell abnehmen müsse. Nach der ersteren Annahme ergibt sich dagegen, dass jenes Verhältniss stets veränderlich sei und von Anfang bis zu Ende nach einem und demselben Gesetze stetig abnehmen müsse.

Hierdurch wird die Möglichkeit gegeben, unmittelbar aus den Erscheinungen des Eisenmagnetismus zu entscheiden, ob die Magnetisirung des Eisens, nach der Hypothese wirklich existirender magnetischer Fluida, entweder einer Drehung seiner Molecule oder der Scheidung der magnetischen Fluida in seinen Moleculen zugeschrieben werden müsse. Im ersteren Falle können aber die drehbaren Molecule ebensowohl Träger von Molecularströmen wie von beharrlich geschiedenen magnetischen Fluidis sein, während in dem letzteren Falle die Existenz der magnetischen Fluida als erwiesen angesehen werden müsste, weil nur bei der Drehung der Molecule, aber nicht bei der Scheidung der magnetischen Fluida in den Moleculen (durch eine gegebene magnetische oder elektromagnetische Scheidungskraft) eine Stellvertretung für die magnetischen Fluida durch elektrische Ströme möglich ist.

Durch die schon angeführten Müller'schen Versuche müsste nun die letztere Annahme von scheidbaren magnetischen Fluidis in undrehbaren Moleculen als widerlegt angesehen werden, und es bliebe nur noch zu prüfen übrig, ob die stetige Abnahme des Verhältnisses der Stärke des Eisenmagnetismus zur Grösse der auf das Eisen wirkenden Scheidungskraft, wie sie Müller durch seine Versuche bestimmt hat, mit dem nach der ersteren Annahme aus einer bestimmten Drehbarkeit der Molecule abzuleitenden Gesetze übereinstimme oder nicht, wobei es unbestimmt gelassen werden kann, ob diese Molecule die

Träger von geschiedenen magnetischen Fluidis oder von Molecularströmen sind. Indessen sind die Müller'schen Versuche von Buff und Zamminer (Annalen der Chemie und Pharmacie von Liebig, Wöhler und Kopp Bd. 75, S. 83) wiederholt und die von Müller gefundenen Resultate dadurch nicht bestätigt worden. Vielmehr glauben Buff und Zamminer durch ihre Versuche bewiesen zu haben, dass das Verhältniss der Stärke des Eisenmagnetismus zu der Grösse der auf das Eisen wirkenden Kraft (abgesehen von dem Einflusse der Coercitivkraft, wenn das Eisen nicht vollkommen weich ist) wirklich constant sei, so weit als es mit den jetzt vorhandenen Hilfsmitteln geprüft werden könne, was nur nach der Annahme scheidbarer magnetischer Fluida in undrehbaren Moleculen möglich sein würde. Die Annahme drehbarer Molecularmagnete, und folglich auch die drehbarer Molecularströme, müsste hiernach verworfen werden und die wirkliche Existenz der magnetischen Fluida würde also dadurch als wirklich begründet erscheinen.

Es schien hiernach vor Allem nöthig, dieselben Versuche nochmals zu dem Zwecke zu wiederholen, um den vorliegenden Widerspruch zu entscheiden. Ich werde daher im folgenden Artikel die von mir gemachten Versuche und die besonderen Einrichtungen, welche ich getroffen habe, um ein sicheres Resultat zu gewinnen, beschreiben, woraus sich eine Bestätigung des Müller'schen Resultats ergeben hat, ein Resultat, was auch nach einigen, schon vor Müller, von Joule angestellten und in *The Annals of Electricity etc. by W. Sturgeon* Vol. V. p. 472 mitgetheilten Versuchen erwartet werden konnte.

25.

Versuche zum Beweise des Vorhandenseins eines Maximumwerths des magnetischen Moments.

Aus den von Müller gemachten Versuchen hatte sich ergeben, dass bei gleichen Kräften, welche auf das Eisen wirken, die Abnahme des Verhältnisses der Stärke des Eisenmagnetismus zur Grösse der auf das Eisen wirkenden Kraft bei dünnen Eisenstäben leichter als bei dicken wahrgenommen werden könnte. Es kommt daher bei der Vergleichung der von Müller mit den von Buff und Zamminer gemachten Versuchen wesentlich in Betracht, dass der dünnste von Müller gebrauchte Stab nur 6, der dünnste von Buff und Zamminer

gebrauchte Stab aber 9 Millimeter dick war, und diese Verschiedenheit der Dicke wird durch ihr Verhältniss zur Länge noch einflussreicher, indem der dünnere Stab von Müller 330, der dickere von Buff und Zaminer nur 200 Millimeter lang war. Ich habe mich zu den folgenden Versuchen eines noch dünneren Stabs als Müller bedient, nämlich von 3,6 Millimeter Dicke bei 100,2 Millimeter Länge und 8190 Milligramm Masse. Es ergab sich, dass sich der Magnetismus eines solchen dünnen Stabs durch die aus der Ferne hervorgebrachte Ablenkung eines kleinen Spiegelmagnetometers noch mit grosser Genauigkeit messen liess. Die einzige Schwierigkeit, welche die Anwendung eines so dünnen Stabs bietet, besteht in der genauen Scheidung der vom Eisenmagnetismus und der vom galvanischen Strome herrührenden Wirkungen auf das Magnetometer. Es leuchtet nämlich ein, dass wenn man dieselbe galvanische Spirale zur Magnetisirung sowohl dicker als auch dünner Stäbe gebraucht, wie es von Müller, Buff und Zaminer geschehen ist, diese Scheidung bei den dünnen Stäben weniger Genauigkeit gestattet, weil die Wirkung der Spirale dieselbe bleibt und daher für dünnere Stäbe verhältnissmässig grösser als für dickere ist. Zu den folgenden Versuchen wurde daher eine Spirale gebraucht, welche nicht weiter war, als zum Hineinlegen des dünnen Stabs nöthig war. Auch hiermit habe ich mich noch nicht begnügt, sondern habe das Ende des Spiraldrahts noch zweimal in umgekehrter Richtung um die Mitte der Spirale in einem viel weiteren Kreise herumgewunden, so dass der von diesen beiden Windungen begrenzte Flächenraum dem von allen Windungen der engen Spirale begrenzten Flächenraume gleich war. Dadurch wird nach den bekannten Gesetzen des Elektromagnetismus bewirkt, dass der Strom unmittelbar gar keine Wirkung auf das entfernte Magnetometer ausübt, was sich leicht durch Versuche prüfen und bestätigen lässt. Die ganze am Magnetometer beobachtete Wirkung rührt dann bloss von dem Eisenmagnetismus her, der sich dann mit gleicher Schärfe und Genauigkeit wie der Magnetismus harter Stahlmagnete nach der von Gauss in der Intensitas etc. gegebenen Anleitung durch Ablenkungsversuche aus der bekannten Intensität des Erdmagnetismus nach absolutem Maasse bestimmen lässt.

Als ein wesentlicher Umstand ist noch hervorzuheben, dass die von Müller, Buff und Zaminer gebrauchten Spiralen kürzer als die dadurch magnetisirten Eisenstäbe waren. Bei Müller war dieser

Unterschied nur gering, indem die Eisenstäbe nur 15 Millimeter zu beiden Seiten aus der Spirale hervorragten; bei Buff und Zamminer war er aber viel grösser, indem die Enden des längsten und dünnsten Stabes 45 Millimeter zu beiden Seiten aus der Spirale hervorragten. Ausserdem wurde der davon herrührende Einfluss bei Buff's und Zamminer's Versuchen verhältnissmässig dadurch noch verstärkt, dass die Länge des in der Spirale eingeschlossenen Theils nur 110 Millimeter betrug, bei Müller dagegen 300 Millimeter. Dieser Umstand dürfte der Hauptgrund von der scheinbaren Differenz der Resultate sein, zu denen diese Beobachter gelangt sind; denn es leuchtet ein, dass die Wirkung der Spirale auf das Eisen in der Mitte der Spirale am stärksten ist, nach den Enden aber abnimmt, und dass diese Abnahme ausserhalb der Spirale ausserordentlich gross ist. Daraus folgt, dass wenn auch bei wachsender Stromstärke die in dem mittleren Theile des Stabs hervorgebrachte Wirkung einem Grenzwerte sich näherte, eine solche Annäherung bei den ausserhalb der Spirale befindlichen Theilen noch keineswegs merklich sein konnte. Bei den folgenden Versuchen wurde eine Spirale gebraucht, welche bedeutend länger als der Eisenstab war, so dass nach den Art. 18 entwickelten Gesetzen die von der Spirale auf die Enden des Stabs ausgeübte Kraft von der auf die Mitte nicht merklich verschieden war, wodurch allein ein sicheres Resultat erhalten werden konnte.

Ich begnüge mich hier, ohne auf eine Beschreibung der Versuche im Einzelnen einzugehen, welche nicht nöthig erscheint, weil sie bis auf die eben angegebenen Verschiedenheiten mit der von Müller, Buff und Zamminer gegebenen Beschreibung nahe übereinstimmen würde, die auf diese Weise gewonnenen Resultate in der folgenden Tafel kurz zusammen zu stellen. Ich bemerke nur, dass jede einzelne Bestimmung auf 4maligem Wechsel der Stromrichtung beruht, wobei sich stets die grösste Übereinstimmung ergab, zum Beweise, dass die Coercitivkraft des Eisens der Genauigkeit der Resultate keinen Eintrag that. Ferner wäre es leicht gewesen, den Einfluss der Temperatur des Eisenstabs zu berücksichtigen, indem diese Temperatur durch einen Wasserstrom constant erhalten worden wäre; doch ergab sich, dass der Einfluss mässiger Temperaturänderungen so gering war, dass zu seiner genaueren Bestimmung die Messungen mit einer noch viel grösseren Feinheit hätten ausgeführt werden müssen, wozu besondere neue Einrichtungen hätten

getroffen werden müssen, welche sogleich zu beschaffen nicht möglich war. Die nach bekannten Regeln in der Tafel gemachte Zurückführung des Eisenmagnetismus auf absolutes Maass bedarf hier keiner weiteren Erläuterung. Auch die Stromstärke ist mit Hilfe einer Tangenteboussole nach absolutem Maasse bestimmt worden und es ist dabei die von Müller schon erwähnte, zu grösserer Genauigkeit nothwendige Correction, welche von dem Verhältnisse der Nadellänge zum Durchmesser des galvanischen Rings abhängt, da sie leicht auszuführen war, genau ermittelt und berücksichtigt worden. Diese Kenntniss der Stromstärke nach absolutem Maasse ist aber ferner dazu benutzt worden, um mit Hilfe der Zahl der Windungen der Spirale, durch welche der Strom ging, und ihrer Dimensionen, die Grösse der auf das Eisen wirkenden Kraft nach demselben absoluten Maasse zu bestimmen, nach welchem der Erdmagnetismus ausgedrückt wird, um dadurch jene Kraft mit der bekannten Intensität der erdmagnetischen Kraft vergleichbar zu machen. In der folgenden Tafel ist in der Columnenüberschrift diese Kraft mit X bezeichnet. Der gefundene Eisenmagnetismus M ist mit der in Milligrammen ausgedrückten Masse des Eisens $p = 8190$ dividirt, und der so auf die Masseneinheit reducirte Magnetismus ist in der Columnenüberschrift mit m bezeichnet worden.

Nr.	X	m
1.	658,9	911,4
2.	1381,5	1424,0
3.	1792,0	1547,9
4.	2151,0	1627,3
5.	2432,8	1680,7
6.	2757,0	1722,7
7.	3090,6	1767,3
8.	3186,0	1787,7
9.	2645,6	1707,9
10.	2232,1	1654,0
11.	1918,7	1584,1
12.	1551,2	1488,9
13.	1133,1	1327,9
14.	670,3	952,0

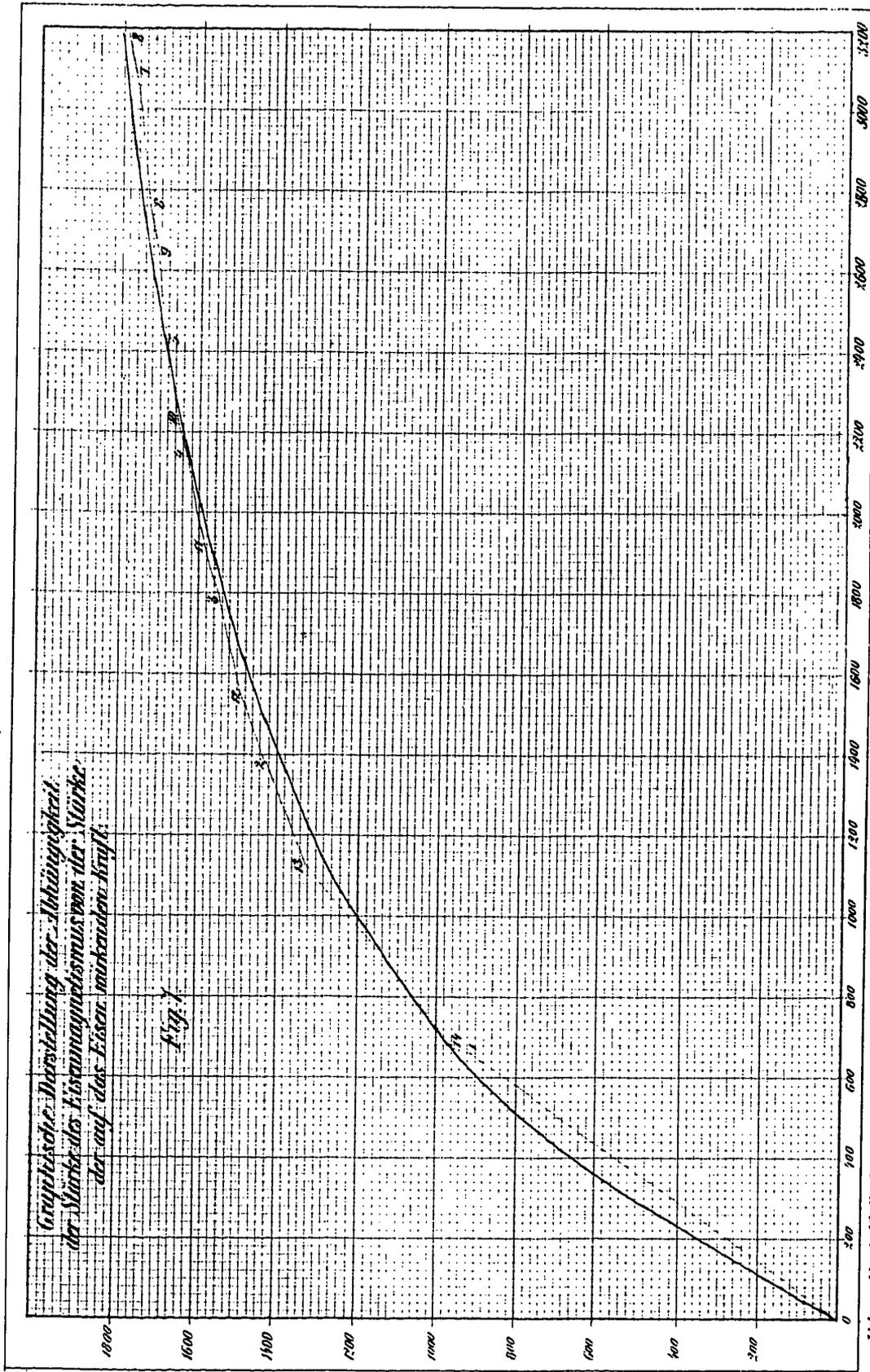
Diese Tafel zerfällt, wie man sieht, in zwei Abtheilungen, nämlich in eine, wo die Grösse der Kraft, welche auf das Eisen wirkt, zunimmt, und in eine andere, wo sie abnimmt. Man sieht aber aus der Fig. 7 gegebenen graphischen Darstellung, dass die Versuche der letzteren Abtheilung, welche darin mit Nr. 8 bis 14 bezeichnet sind, sehr gut zu den Versuchen der ersten, welche mit Nr. 1 bis 7 bezeichnet sind, passen. Bei dem letzten Versuche der ersten Abtheilung hatte der Eisenstab eine höhere Temperatur erreicht und es wurde vor dem Beginne der folgenden Versuche so lange gewartet, bis er wieder abgekühlt war. Dessenungeachtet sieht man, dass beide Versuche den übrigen sich gleich gut anreihen, ein Beweis also, dass der Einfluss dieser Temperaturdifferenz sehr gering gewesen sein müsse.

Es geht also aus diesen Versuchen offenbar das Resultat hervor, dass das Verhältniss der Stärke des Eisenmagnetismus zur Grösse der auf das Eisen wirkenden Kraft veränderlich ist, und es ist darnach höchst wahrscheinlich, dass der Eisenmagnetismus sich einem Grenzwerthe nähert, den er nie überschreiten kann. Es leuchtet ein, dass es unmöglich ist, die Versuche so weit fortzusetzen, dass dieser Grenzwert unmittelbar durch die Beobachtungen erhalten und bestimmt würde. Eine solche unmittelbare Bestimmung des Grenzwertes ist aber nicht nothwendig, weil es im Grunde genügt, dass die stetige Veränderung jenes Verhältnisses bewiesen ist. Dieselben Versuche sind noch von andern Beobachtern mit ganz gleichem Erfolge wiederholt worden und ich glaube, dass die daraus gezogenen Resultate keinem Zweifel unterliegen. Es wird dadurch also das von Müller gefundene Resultat im Wesentlichen bestätigt.

26.

Das Gesetz der Abhängigkeit des magnetischen Moments von der Grösse der Scheidungskraft nach der Annahme von der Drehbarkeit der Molecule, und Vergleichung mit den Versuchen.

Es bleibt nun näher zu erörtern übrig, ob die durch obige Versuche gefundene Veränderlichkeit der Stärke des Eisenmagnetismus bei verschiedener Grösse der auf das Eisen wirkenden Kräfte mit demjenigen Gesetze übereinstimme, welches sich aus der Annahme einer bestimmten Drehbarkeit der Molecule folgern lässt. Findet dieses Statt, so leuchtet von selbst ein, dass man mit Ampère auch annehmen kann,



Abhandl. d. K. S. Ges. d. Wissensch. I. pag. 370.

dass diese Molecule die Träger von Molecularströmen sind, wodurch die Erklärung der Entstehung und der Veränderungen des Eisenmagnetismus, ebenso wie die seiner Wirkungen, von der Annahme magnetischer Fluida ganz unabhängig gemacht und bloss auf die Annahme elektrischer Fluida zurückgeführt werden könnte.

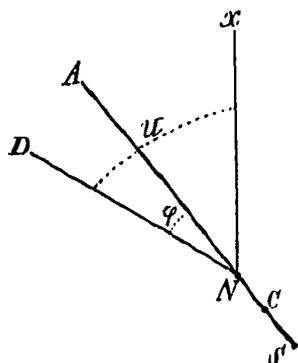


Fig. 8.

Es sei Fig. 8 *NS* ein Molecularmagnet, welcher sich um seinen Mittelpunkt *C* drehen kann; *ND* sei die Richtung, mit welcher seine magnetische Axe beim Gleichgewicht parallel ist, wenn die äussere Kraft $X = 0$ ist. Die Thatsache, dass beim weichen Eisen der durch eine äussere auf das Eisen wirkende Kraft hervorgebrachte Magnetismus von selbst wieder verschwindet, sobald die äussere Kraft zu wirken aufhört, beweist, dass der Molecularmagnet, auf dessen Drehung der hervorge-

brachte Magnetismus beruhte, von selbst wieder in seine ursprüngliche mit *ND* parallele Lage zurückgetrieben werde. Diese in der Wechselwirkung der Molecule begründete zurücktreibende Kraft muss aber mit der Grösse der Ablenkung $AND = \varphi$ wachsen und kann durch

$$D \sin \varphi$$

dargestellt werden, wo *D* eine constante Grösse bezeichnet, welche man die moleculare Directionskraft nennen kann. Wirkt nun ausser dieser molecularen Directionskraft auf den Molecularmagnet nach der Richtung *NX* die äussere Kraft *X*, welche mit der Richtung der Directionskraft den Winkel $XND = u$ einschliesst, so wird der Molecularmagnet dadurch um den Winkel $AND = \varphi$ gedreht oder abgelenkt, und man hat dann zur Bestimmung der neuen Gleichgewichtslage folgende Gleichung:

$$X \sin u \cos \varphi = (D + X \cos u) \sin \varphi$$

oder

$$\tan \varphi = \frac{X \sin u}{D + X \cos u}.$$

Aus dieser Ablenkung φ lässt sich nun die Zunahme des nach der Richtung der Kraft *X* zerlegten magnetischen Moments des Molecules bestimmen. Wird nämlich das ganze magnetische Moment des Molecules mit μ bezeichnet, so war das nach der Richtung der Kraft *X* zerlegte vor der Ablenkung

$$= \mu \cos u,$$

nach der Ablenkung $= \mu \cos (u - \varphi)$,

folglich die gesuchte Zunahme x

$$x = \mu (\cos (u - \varphi) - \cos u).$$

Substituirt man hierin für φ den durch obige Gleichung $\tan \varphi = \frac{X \sin u}{D + X \cos u}$ gegebenen Werth, so erhält man

$$x = \mu \left\{ \frac{X + D \cos u}{\sqrt{(XX + DD + 2XD \cos u)}} - \cos u \right\}.$$

Für ein System von Moleculen, deren magnetische Axen beim ursprünglichen Gleichgewichte nach allen Richtungen des Raums ohne Unterschied gerichtet sind, ist die Zahl der Molecule, deren magnetische Axen mit der Richtung NX der Kraft X den Winkel u bilden, mit $\sin u$ proportional zu setzen. Es soll nun das magnetische Moment y bestimmt werden, welches aus der Drehung aller Molecule des Systems durch die Kraft X resultirt.

Man multiplicire zu diesem Zwecke den oben gefundenen Werth von x mit $\sin u \, du$ und nehme dann den Integralwerth von $u = 0$ bis $u = \pi$. Dieser Integralwerth, mit der Anzahl der Molecule n multiplicirt und mit $\int_0^\pi \sin u \, du = 2$ dividirt, giebt das gesuchte Moment y

$$y = \frac{n}{2} \int_0^\pi x \sin u \, du.$$

Durch Ausführung der Integration erhält man ~~hiernach~~ für y folgenden Ausdruck:

$$y = \frac{2}{3} n \mu \frac{X}{D}, \text{ wenn } X < D$$

$$y = n \mu \left(1 - \frac{1}{3} \frac{DD}{XX} \right), \text{ wenn } X > D.$$

(Vgl. die Verbesserung S. 292 im V. Bande dieser Abhandlungen.)

Die Kraft, welche auf das Eisen wirkte, und durch welche dieses Moment hervorgebracht wurde, war $= X$. Bezeichnet n die Zahl der Molecule in der Volumeneinheit, so hat das Verhältniss des Moments y zu der Kraft X , durch die es hervorgebracht wird, in der Drehungstheorie dieselbe Bedeutung, welche in der Scheidungstheorie die Grösse hat, welche Neumann, in Crelle's Journal für die reine und angewandte Mathematik Bd. 37, bei der Bestimmung des magnetischen Zustandes eines Rotationsellipsoids, welcher durch vertheilende Kräfte erregt ist, mit k bezeichnet. Substituirt man daher in Neumann's Rechnung für den von ihm als constant betrachteten Werth von k den eben

gefundenen variablen Werth $\frac{y}{X}$, so ergibt sich, wenn n die Zahl der Molecule in der Volumen- oder Masseneinheit anzeigt, der auf die Volumen- oder Masseneinheit reducirte Magnetismus des Eisens m durch folgende Gleichung:

$$m = \frac{y}{1 + 4\pi S \frac{y}{X}} \text{ für die Volumeneinheit,}$$

$$m = \frac{y}{1 + 4\pi S \rho \frac{y}{X}} \text{ für die Masseneinheit,}$$

wo ρ die Dichtigkeit des Eisens und S einen von der Gestalt abhängigen Faktor bezeichnet (siehe Art. 21).

Hiernach lässt sich nun die Stärke des Eisenmagnetismus m aus der Grösse der auf das Eisen wirkenden Kraft X berechnen, wenn die Werthe der beiden dem Eisen eigenthümlichen Constanten $n\mu$ und D , und, zur Reduction auf die Masseneinheit, seine Dichtigkeit ρ gegeben sind. Setzt man

$$n\mu = 2324,68$$

$$D = 276,39.$$

so erhält man, da die Dichtigkeit des Eisens $\rho = 7,78$ ist, folgende Vergleichung der Rechnung mit der Beobachtung, wobei jedoch bemerkt werden muss, dass zur Bestimmung des Zahlenfaktors S statt der cylindrischen Form des Eisens eine ihr möglich nahe kommende ellipsoidische Form substituirt werden musste, wonach $S = \frac{1}{249}$ erhalten wurde.

Nr.	X	m beobachtet	m berechnet	Unterschied.
1.	658,9	944,4	949,8	- 38,7
2.	1384,5	1424,0	1388,6	+ 35,4
3.	1792,0	1547,9	1532,1	+ 15,8
4.	2151,0	1627,3	1625,8	+ 1,5
5.	2432,8	1680,7	1685,2	- 4,5
6.	2757,0	1722,7	1742,1	- 19,4
7.	3090,6	1767,3	1794,5	- 24,2
8.	3186,0	1787,7	1803,4	- 15,7
9.	2645,6	1707,9	1723,8	- 15,9
10.	2232,4	1654,0	1644,0	+ 10,0
11.	1948,7	1584,4	1567,9	+ 16,2
12.	1554,2	1488,9	1453,8	+ 35,1
13.	1133,4	1327,9	1273,3	+ 54,6
14.	670,3	952,0	959,9	- 7,9

Beachtet man, dass bei diesen Versuchen zur Messung der Intensität der Ströme als Tangentenboussole eine gewöhnliche auf einer Spitze drehbare Boussole, die bloss 60 Millimeter lang war, gebraucht wurde, wo die Bruchtheile eines Grads nicht mit Sicherheit beobachtet werden konnten und daher die Intensität leicht um 1 Procent zu klein oder zu gross gefunden werden konnte, so leuchtet ein, dass man keine vollkommnere Uebereinstimmung der Rechnung mit der Beobachtung erwarten durfte, als die, welche obige Tafel wirklich zeigt. In der graphischen Darstellung Fig. 7 sind die berechneten Werthe durch eine stärkere Linie, die beobachteten durch eine feinere Linie verbunden. Es scheint hierdurch die Drehbarkeit der Eisenmolecule ausser Zweifel gesetzt. Und da man nun diese Eisenmolecule nach Ampère als die Träger von Molecularströmen betrachten kann, so ist dadurch eine vollständige Uebereinstimmung aller magnetischen Erscheinungen, auch derjenigen, welche an veränderlichen Magneten beobachtet werden, mit der Theorie der Molecularströme bewiesen und es ist dadurch eine wichtige Bestätigung dieser Theorie durch die magnetischen Erscheinungen gewonnen worden, als Gewähr der vorher gegebenen Begründung derselben durch die diamagnetischen Erscheinungen.

27.

Anwendung auf die Art. 10 gemachte Vergleichung.

Das im vorigen Artikel aus der Theorie drehbarer Molecule abgeleitete Gesetz zur Bestimmung der Stärke des Eisenmagnetismus nach seiner Abhängigkeit von der magnetischen oder elektromagnetischen Scheidungskraft findet seine wichtigste Anwendung auf die Construction starker Elektromagnete, wie überhaupt aller elektromagnetischen Instrumente, deren Wirkung von der Stärke des Eisenmagnetismus abhängt. Da aber diese Anwendung, auf welche Joule und Müller besonders aufmerksam gemacht haben, mit dem hier erörterten Gegenstande (Diamagnetismus) nicht unmittelbar zusammenhängt, so beschränke ich mich darauf, hier bloss die Anwendung obigen Gesetzes auf die Art. 10 gemachte Vergleichung der Stärke eines Elektrodiamagnets aus seinen magnetischen und magnetelektrischen Wirkungen beizufügen, weil darauf Art. 10, S. 530 verwiesen worden ist.

Es ist nämlich Art. 10 der Wismuthdiamagnetismus mit dem Eisenmagnetismus auf doppelte Weise verglichen worden, erstens

durch die von beiden hervorgebrachten Ablenkungen einer Magnetnadel, zweitens durch die von beiden, bei gleicher Bewegung in einem geschlossenen Leiter, inducirten elektrischen Ströme. Aus beiden Vergleichen lässt sich die Stärke des Wismuthdiamagnetismus nach absolutem Maasse bestimmen, wenn die Stärke des Eisenmagnetismus nach absolutem Maasse bekannt ist. Es kommt also nur darauf an, obiges Gesetz unter den bei jener Vergleichung gegebenen Verhältnissen auf die Bestimmung des Eisenmagnetismus anzuwenden, um für den Wismuthdiamagnetismus zwei von einander unabhängige Bestimmungen zu erhalten, welche durch ihre Uebereinstimmung das Gesetz der diamagnetischen Polarität bestätigen. Nun ist zwar schon Art. 10 das aus den Müller'schen Versuchen abgeleitete Gesetz unter den dort angegebenen Verhältnissen auf diese Bestimmung des Eisenmagnetismus angewendet, jedoch dabei bemerkt worden, dass das daraus gefundene Resultat keineswegs als ganz sicher und genau gelten könne, und es wird daher zu grösserer Sicherheit und Genauigkeit gereichen, das im vorigen Artikel schärfer bestimmte Gesetz darauf anzuwenden.

Es war nämlich Art. 10 der, nach der Note S. 527, durch eine elektromagnetische Kraft $X = 629,9$ im Wismuth hervorgebrachte Diamagnetismus mit dem durch dieselbe Kraft im Eisen hervorgebrachten Magnetismus durch die von beiden auf eine Magnetnadel ausgeübten Drehungsmomente verglichen und ihr Verhältniss wie

$$1 : 1470000$$

gefunden worden. Nach diesem Verhältnisse kann der Diamagnetismus nach absolutem Maasse bestimmt werden, wenn der Eisenmagnetismus nach absolutem Maasse bekannt ist. Nun ist aber nach dem vorigen Artikel für $X = 629,9$

$$\frac{y}{X} = 3,3959.$$

Substituirt man ferner, wie im vorigen Artikel, der cylindrischen Form des Eisenstäbchens, welches 92 Millimeter lang und 0,1016 Millimeter dick war, eine möglich nahe kommende ellipsoidische Form, so erhält man nach Neumann

$$S = \frac{1}{133780}$$

und man findet damit, wenn $\rho = 7,78$ gesetzt wird,

$$\log m = \log X + \log \frac{y}{X} - \log \left(1 + 4\pi S \rho \frac{y}{X} \right) = 3,32919,$$

also den Eisenmagnetismus nach absolutem Maasse

$$m = 2134.$$

Für diesen Werth des Eisenmagnetismus erhält man aber nach dem angeführten Verhältnisse den derselben Kraft $X = 629,9$ entsprechenden Diamagnetismus des Wismuths, nach absolutem Maasse

$$= \frac{1}{447000} \cdot 2134 = \frac{1}{689}.$$

Es war ferner nach Art. 10 der nach Note S. 527 durch eine elektromagnetische Kraft $X = 3012$ im Wismuth hervorgebrachte Diamagnetismus mit dem durch dieselbe Kraft im Eisen hervorgebrachten Magnetismus durch die Intensität der von ihnen bei ihrer Bewegung in einem geschlossenen Leiter erregten elektrischen Ströme verglichen und ihr Verhältniss wie 1:456700 oder, nach der Art. 10 S. 526 für das Wismuth angegebenen Reduction, wie 1:360740

gefunden worden. Nach diesem Verhältnisse kann nun ebenfalls der Diamagnetismus nach absolutem Maasse bestimmt werden, wenn der Eisenmagnetismus nach absolutem Maasse bekannt ist. Nun ist aber nach dem vorigen Artikel für $X = 3012$

$$\frac{y}{X} = 0,77133.$$

Substituirt man nun auch hier der cylindrischen Form des Eisenstäbchens, welches 186 Millimeter lang und 0,8342 Millimeter dick war, eine möglichst nahe kommende ellipsoidische Form, so erhält man nach Neumann

$$S = \frac{1}{9747},$$

und hiermit, für $\rho = 7,78$,

$$\log m = \log X + \log \frac{y}{X} - \log \left(1 + 4\pi S \rho \frac{y}{X} \right) = 3,36274,$$

also den Eisenmagnetismus nach absolutem Maasse

$$m = 2305,4.$$

Für diesen Werth des Eisenmagnetismus erhält man aber nach dem angeführten Verhältnisse den derselben Kraft $X = 3012$ entsprechenden Diamagnetismus des Wismuths nach absolutem Maasse

$$= \frac{1}{360740} \cdot 2305,4 = \frac{1}{156,5}.$$

Reducirt man endlich diese für verschiedene Werthe der Kraft X bestimmte Stärke des Diamagnetismus durch Division mit X auf denjenigen Werth, welcher der Einheit der Kraft X entspricht, so erhält man nach der ersteren Vergleichung (durch magnetische Wirkungen) für die Stärke des durch die Einheit der Kraft in der Massen-

einheit des Wismuths hervorgebrachten Diamagnetismus nach absolutem Maasse den Werth

$$\frac{1}{629,9} \cdot \frac{1}{680} = \frac{1}{434000};$$

aus der letzteren Vergleichung (durch elektrische Wirkungen) erhält man dagegen

$$\frac{1}{2304} \cdot \frac{1}{156,5} = \frac{1}{471300} *).$$

Im Mittel also aus beiden, nach Verhältniss der Art. 10 schon näher erörterten Umstände wohl übereinstimmenden, Vergleichungen ergibt sich die Stärke des durch die Einheit der Kraft in der Masseneinheit des Wismuths hervorgebrachten Diamagnetismus nach absolutem Maasse

$$= \frac{1}{452000}.$$

Aus den im vorigen Artikel angeführten Formeln findet man aber den Grenzwert des durch die Einheit der Kraft in der Masseneinheit des Eisens hervorgebrachten Magnetismus nach demselben absoluten Maasse ausgedrückt

$$= 5,6074,$$

d. i. 2540000 Mal grösser als den Diamagnetismus.

Für kleine Scheidungskräfte und dünne Eisenstäbe, für welche der Eisenmagnetismus zum Wismuthdiamagnetismus nahe in einem constanten Verhältnisse steht, ergibt sich also der Wismuthdiamagnetismus etwa 2½ Millionen Mal kleiner als der Eisenmagnetismus. Je grösser aber die Scheidungskräfte und je dicker die Eisenstäbe werden, desto mehr wächst der Diamagnetismus des Wismuths im Vergleiche zum Magnetismus des Eisens, so dass er z. B. in dem Art. 10 angeführten Falle bis zu dem 360740sten Theile des Eisenmagnetismus stieg, welches der grösste Werth desselben ist, der in obigen Versuchen vorkommt.

*) Nach diesem Verhältnisse ergibt sich leicht, wenn das aus der magnetischen Wirkung des Wismuths gefundene Resultat nach S. 524. $= \frac{1}{1470000}$ angenommen wird, das aus der magnetoelektrischen Wirkung abgeleitete $= \frac{4340}{4713} \cdot \frac{1}{1470000} = \frac{1}{1596000}$, was also statt des S. 530 angegebenen Werths $= \frac{1}{1731560}$, welcher gefunden worden war, indem die Müller'schen Versuche bei der Reduction des Eisenmagnetismus zu Grunde gelegt wurden, zu setzen ist. Das hier gefundene genauere Resultat ist übrigens a. a. O. unter Verweisung auf diese Note schon angeführt worden.

I n h a l t.

	Seite
Einleitung. Begriff der diamagnetischen Polarität.	485
Elektrodiamagnetismus und Messung des Moments eines Elektrodiamagnets.	
Art. 1. Elektromagnete und Elektrodiamagnete	489
» 2. Elektrodiamagnetischer Messapparat	490
» 3. Versuche und Messungen	495
» 4. Berechnung der Versuche.	499
» 5. Bequemste Einrichtung zur Beobachtung der diamagnetischen Polarität	502
Diamagnetelektricität und Messung der diamagnetisch inducirten elektrischen Ströme.	
Art. 6. Diamagnetische Induction	506
» 7. Beschreibung des diamagnetischen Inductionsapparats	—
» 8. Versuche	513
» 9. Berechnung der Versuche.	520
» 10. Vergleichung der beiden Bestimmungen der Stärke eines Elektrodiamagnets aus seiner magnetischen und magnetelektrischen Wirkung	523
» 11. Faraday's Versuche.	532
» 12. Feilitzsch's Versuche und Theorie.	536
Ueber den Zusammenhang der Lehre vom Diamagnetismus mit der Lehre von dem Magnetismus und der Electricität.	
Art. 13. Ueber Begründung einer Theorie des Diamagnetismus	538
» 14. Ueber den Weg zur Erforschung der Ursachen des Diamagnetismus	—
» 15. Classification der innern Ursachen, welche den durch eine ideale Vertheilung repräsentirten Wirkungen zum Grunde liegen können	544
» 16. Abhängigkeit der idealen Vertheilung von der magnetischen oder elektromagnetischen Scheidungskraft, nach Verschiedenheit der aufgeführten vier möglichen inneren Ursachen	542
» 17. Innere Ursache des Diamagnetismus	545
» 18. Bestimmung der elektromagnetischen Scheidungskraft in einer galvanischen Spirale	546
» 19. Bestimmung des Elektrodiamagnetismus aus der elektromagnetischen Scheidungskraft	547
» 20. Vergleichung der Wechselwirkung diamagnetischer Molecule mit der Wechselwirkung magnetischer Molecule	551
» 21. Unterscheidung magnetischer und diamagnetischer Körper durch positive und negative Werthe einer Constanten	554
» 22. Ueber die Existenz magnetischer Fluida	557
Ueber die Abhängigkeit des magnetischen und diamagnetischen Moments von der Grösse der Scheidungskraft.	
Art. 23. Von der auf der Analogie mit der Electricitätslehre beruhenden Hypothese wirklich existirender magnetischer Fluida und von dem dadurch gegebenen Gesetze der Abhängigkeit des magnetischen Moments von der Grösse der Scheidungskraft	560
» 24. Zusammenhang des Vorhandenseins eines Maximumwerthes des magnetischen Moments mit der Annahme von der Drehbarkeit der Molecule	564
» 25. Versuche zum Beweise des Vorhandenseins eines Maximumwerthes des magnetischen Moments	566
» 26. Das Gesetz der Abhängigkeit des magnetischen Moments von der Grösse der Scheidungskraft nach der Annahme von der Drehbarkeit der Molecule, und Vergleichung mit den Versuchen	570
» 27. Anwendung auf die Art. 10 gemachte Vergleichung.	574