5. *Ueber die magnetische Kraft der Atome; von Robert Lang.*

Die Hypothese der Ampère'schen Molecularströme hat in neuerer Zeit eine genauere Fassung dadurch erhalten, dass man die die magnetische Kraft erzeugenden Ströme als Convectionsströme der rotirenden Ionenladungen betrachtet. Vornehmlich hat sich Hr. F. Richarz¹⁾ mit dieser Frage beschäftigt, in dessen Arbeit auch die Literaturangaben über einschlägige Vorarbeiten von W. Weber, Ebert und Chattock enthalten sind. Seit dieser Arbeit ist mir keine andere bekannt geworden, die sich näher mit derselben Frage befasst. Hr. Richarz hat sich darauf beschränkt, die Zulässigkeit der Erklärung des Molecularmagnetismus durch Rotationen der Valenzladungen nachzuweisen, indem er für Eisen das magnetische Sättigungsmoment direct berechnete und der Grössenordnung nach mit dem experimentell gefundenen in naher Uebereinstimmung fand.

Im Folgenden beabsichtige ich zu zeigen, 1. dass dieser Nachweis auch geführt werden kann unter Benutzung von Grössen, die ihrer Ordnung nach wesentlich von denen des Hrn. Richarz abweichen, 2. dass dadurch möglicherweise ein Zusammenhang zwischen dem minimalen Atomvolumen und dem Magnetismus aufgedeckt wird, der bisher nur empirisch erkannt war, 3. dass in Bezug auf den Atommagnetismus die ungesättigten Valenzen eine wichtige Rolle zu spielen scheinen, 4. dass die neue Hypothese eine Anzahl bisher wenig verstandener Erscheinungen einheitlich zu erklären gestattet.

I.

Aus der Ueberlegung, dass die rotirenden Valenzladungen elektrodynamische Wellen aussenden, und dass deren Periode grösser sein muss als die des äussersten sichtbaren roten Lichtes, und aus der Betrachtung der mit dieser Rotation verbundenen

1) F. Richarz, Wied. Ann. 52. p. 410—415. 1894.

lebendigen Kraft findet Hr. Richarz für die Rotationsdauer T' die Grenzen:

$$3 \cdot 10^{-15} < T' < 10^{-12} \text{ sec}$$

und setzt schliesslich schätzungsweise $T' \sim 10^{-14}$ sec. Ferner berechnet er den Durchmesser der Bahn eines Ions und setzt ihn gleich der Kante des dem Fe-Atom zukommenden Elementarwürfels $1,5 \cdot 10^{-8}$ cm. Mit dem Wert $43 \cdot 10^{-22}$ C.G.S. für die Valenzladung ergibt sich dann nach dem Satz von der Aequivalenz zwischen einem Kreisstrom und einem Magnet das magnetische Moment eines Fe-Atomes $= 2 \cdot 10^{-22}$ C.G.S. und daher, da die Anzahl Moleküle in 1 g Fe auf $4 \cdot 10^{23}$ zu schätzen ist, das Sättigungsmoment des Fe $= 8$ C.G.S. Der Versuch ergab dafür 220, für Co 150, für Ni 60 C.G.S. Hr. Richarz hält demnach den Versuch, den vor der Richtung der Elementarmagnete präexistirenden molecularen Magnetismus auf Rotation der Valenzladungen zurückzuführen, für zulässig.

Nun ist aber über die innere Structur der Metalle noch sehr wenig bekannt, während andererseits unsere Vorstellungen über die Lösungen von Elektrolyten sich in neuerer Zeit ausserordentlich vertieft haben. Es erscheint daher nicht überflüssig, die Probe auf die Zulässigkeit der erwähnten Hypothese nicht am Metall, sondern an den Lösungen seiner Salze zu machen und dies um so mehr, als die Versuche an verdünnten paramagnetischen Lösungen einer grossen Genauigkeit fähig und auch in grosser Zahl angestellt und veröffentlicht sind. Aus älterer Zeit sind es vorzüglich die grundlegenden Bestimmungen von G. Wiedemann, aus neuerer Zeit diejenigen der Herren G. Jäger, St. Meyer, J. Königsberger, H. du Bois, O. Liebknecht.

Wir benutzen zu dieser Probe die interessanten Ergebnisse der zwei zuerst genannten Physiker¹⁾, welche an Lösungen von Chlorüren, Sulfaten und Nitraten der vier magnetischen Metalle Ni, Co, Fe, Mn erhalten wurden und welche zeigen, 1. dass bloss der Metallgehalt für die Grösse der Magnetisirungszahl maassgebend ist, 2. dass die mit 10^6 multiplicirten Atom-susceptibilitäten von Ni, Co, Fe, Mn, bez. 4,95; 10,0; 12,5; 15,0 C.G.S. betragen und sich also verhalten wie 2:4:5:6.

1) G. Jäger u. St. Meyer, Wied. Ann. **63**. p. 83—90. 1897.

Beide Ergebnisse sind Bestätigungen bez. Erweiterungen von Sätzen, die schon G. Wiedemann¹⁾ gefunden hat. Die Bestimmungen beziehen sich auf $17,5^{\circ}$ C. und auf Feldstärken von $1 \cdot 10^4$ bis $1,8 \cdot 10^4$ C.G.S.; innerhalb dieses Intervalles zeigte sich keine Abhängigkeit der Magnetisirungszahl von der Feldstärke, sodass man annehmen kann, dass Sättigung erreicht war.

Berechnen wir also in derselben Weise wie Hr. Richarz das maximale Moment von 1 ccm normaler FeSO_4 -Lösung (1 g Molecül in 1 l Wasser). Dieselbe enthält nach Nernst²⁾ $5,4 \cdot 10^{19}$ Molecüle und daher ebensoviel Fe-Atome. Mit der Richarz'schen Zahl $2 \cdot 10^{-22}$ C.G.S. für das magnetische Moment des Fe-Atomes ergibt sich hieraus als Sättigungsmoment von 1 ccm FeSO_4 -Lösung $1,08 \cdot 10^{-2}$ C.G.S. Nach G. Jäger und St. Meyer ist dieses Moment $4\pi \cdot 12,5 \cdot 10^{-6} \cdot 10^4 = 1,57$ C.G.S. Man wird also sagen können, dass die Uebereinstimmung etwa dieselbe ist, wie oben beim metallischen Fe; das berechnete Moment ist 27 bez. 145 mal kleiner als das wirkliche.

Darf mithin die Richarz'sche Erklärung der Molecularströme durch Centralbewegungen der Ionenladungen im Princip als möglich angesehen werden, so ist nicht zu vergessen, dass der geführte Nachweis gewisse willkürliche Annahmen erforderlich machte. Zunächst wird gefordert, dass $T > 3 \cdot 10^{-15}$ sec, dass also die Rotationen langsamer geschehen als die Schwingungen des äussersten roten Lichtes, da sie sonst als Licht empfunden werden müssten. Offenbar ist aber die andere gleich berechnigte Möglichkeit, dass $T < 7 \cdot 10^{-16}$ sec, dass also die Rotationen schneller erfolgen als die Schwingungen des äussersten sichtbaren violetten Lichtes. Zum anderen setzt Hr. Richarz den Bahndurchmesser der rotirenden Ionen gleich der Kante des einem Fe-Atom zukommenden Elementarwürfels, wofür er 10^{-8} cm findet. Man sieht, dass dies zugleich der durchschnittliche Wert ist, den die kinetische Gastheorie für die Grösse der Molecüle angiebt. Mit Rücksicht auf die unvollkommene Raumauffüllung durch die Atome und im Hinblick auf den besonderen Umstand, dass gerade die magnetischen Stoffe sich durch ein Minimum des Atomvolumens auszeichnen,

1) G. Wiedemann, Die Lehre von der Elektrizität, p. 960—962. 1895.

2) W. Nernst, Theoret. Chemie, p. 394.

erscheint es aber sehr wahrscheinlich, dass der Bahndurchmesser der rotirenden Ionen $< 10^{-8}$ cm ist. Um diese Möglichkeit zu untersuchen, setzen wir $T \sim 10^{-x}$ sec und den Bahndurchmesser $\delta \sim 10^{-y}$ cm. Dann ist das magnetische Moment des zweiwertigen Fe-Atomes:

$$(2.43 \cdot 10^{-22} / 10^{-x}) \cdot 10^{-2y} = 8,6 \cdot 10^{-21+x-2y} \text{ C.G.S.}$$

Daher das Moment eines Cubikcentimeters normaler FeSO_4 -Lösung:

$$5,4 \cdot 10^{19} \cdot 8,6 \cdot 10^{-21+x-2y} = 4,6 \cdot 10^{-1+x-2y} \text{ C.G.S.}$$

Setzt man dies gleich dem experimentell gefundenen Wert 1,57 C.G.S., so folgt durch Vergleichung der Grössenordnung:

$$x = 2y + 1.$$

Hieraus folgt für:

$$\begin{array}{ll} y = 9 & x = 19 \\ y = 10 & x = 21 \text{ etc.,} \end{array}$$

sodass als grösste Umlaufsdauer $T \sim 10^{-19}$ sec herauskommt. Man sieht, dass diese Zahlen alle die oben gestellte Bedingung für T erfüllen und dass auch bei dem grössten Wert noch Raum genug vorhanden bleibt für das ultraviolette Licht.

Für alle zusammengehörigen Werte von T und δ ergibt sich als magnetisches Moment eines als zweiwertig angenommenen Fe-Atomes $8,6 \cdot 10^{-20}$ C.G.S. und als Sättigungsmoment eines Cubikcentimeters normaler FeSO_4 -Lösung 4,6 C.G.S. statt 1,6 C.G.S. Somit ist erwiesen, dass die Erklärung der Molecularströme durch Ionenkreisläufe auch auf Grund von Grössen möglich ist, die ihrer Ordnung nach von denen des Hrn. Richarz wesentlich abweichen. Genau derselbe Wert berechnet sich für das magnetische Sättigungsmoment von 1 ccm der normalen Lösungen von CoSO_4 , NiSO_4 , MnSO_4 oder auch der Chlorüre und Nitrate der vier als zweiwertig angenommenen paramagnetischen Metalle. Denn in physikalisch-chemischer Beziehung, soweit sie bis jetzt bekannt ist, befinden sich alle diese Lösungen in übereinstimmendem Zustande; sie sind z. B. wahrscheinlich im gleichen Grade dissociirt¹⁾; ferner ist das Atomgewicht und das Atomvolumen für alle vier betrachteten Metalle fast

1) Nach G. Wiedemann (Lehre v. d. Elektrizität 3. p. 960. 1895) ist übrigens der Magnetismus der verdünnten Lösungen unabhängig vom Dissoziationsgrad.

genau gleich. Sind nun aber die Atommagnetismen thatsächlich verschieden und in der ganzzahligen Proportion 2:4:5:6 stehend¹⁾, so liegt der Gedanke nahe, dass dieses Verhalten herrührt von den verschiedenen freien Valenzen der Metalle. Denn es erscheint ja im voraus wahrscheinlich, dass nicht alle Valenzen der Atome, sondern nur die freien Kreisläufe ausführen und dass *daher nur die letzteren für die Entstehung des Atommagnetismus verantwortlich sind*. Danach müssten sich die freien Valenzen von Co, Ni, Fe, Mn in den genannten Lösungen verhalten wie 2:4:5:6. Hat dieser Gedanke einige Berechtigung, so ist in der magnetischen Untersuchung paramagnetischer Lösungen der Chemie ein Hilfsmittel an die Hand gegeben, das wenigstens einen Angriff auf ein bis jetzt so gut wie völlig abgesperrtes Gebiet erlaubt.

Nach den Angaben Mendelejeff's²⁾ kommen folgende salzbildende Oxyde unserer vier Metalle vor:

Die Oxyde der Form R_2O_2 entsprechen den Salzen unserer magnetisch untersuchten Lösungen; die übrigen geben durch die Möglichkeit ihrer Existenz wenigstens einen mutmaassenden Einblick in die Zahl der freien Valenzen. Schliesst man mehrfache Bindung aus, so ergibt sich daraus als Verhältnis der freien Valenzen, immer in derselben Reihenfolge, 2:4:8:10. Man kann sich leicht denken, dass bei mehrfacher Bindung besonders der complicirten Verbindungen Fe_2O_6 und Mn_2O_7 das Verhältnis übergeht in 2:4:5:6.

Offenbar stellen die Salzlösungen der magnetischen Metalle einen einfacheren Fall dar als die Metalle selbst, ähnlich wie in Bezug auf das dielektrische Verhalten die Gase sich einfacher erweisen als die Flüssigkeiten. Dabei ist es nun interessant zu sehen, wie in Bezug auf magnetische Susceptibilität die freien Valenzen maassgebend zu sein scheinen, während

1) Vgl. oben p. 484.

2) D. Mendelejeff, Grundlagen der Chemie, p. 684; Tafel der Periodicität der Elemente. 1892.

für die dielektrische Capacität die gesamte Wertigkeitssumme¹⁾ der einfachen oder zusammengelagerten Molecüle bestimmend ist.

Wir kehren noch einmal zu den oben gefundenen Werten von T und δ zurück und zwar halten wir uns zunächst an die maximalen Werte $T \sim 10^{-19}$ sec und $\delta \sim 10^{-9}$ cm. T erscheint zunächst auffallend klein, während der Bahndurchmesser δ weniger vom gewohnten Wert abweicht. Doch verlieren diese Zahlen viel vom Ausserordentlichen durch folgende Ueberlegung. Hr. Richarz lässt die Valenzladungen mit den materiellen Atomen selbst rotiren, um die untere Grenze für T zu erhalten; er hat es also dabei mit der Trägheit der Materie zu thun. Wir wollen uns hier dagegen der von J. J. Thomson, P. Drude u. a. aufgestellten und auf die Erfahrungen an Kathoden- und Canalstrahlen gegründeten Ansicht anschliessen. Danach bestehen die chemischen Atome aus grösseren und kleineren Elektronen mit ganz bestimmter elektrischer Ladung. Für die kleineren, die Kathodenstrahlteilchen, ist das Verhältniss von Ladung und Masse durch Hr. W. Kaufmann²⁾ $e/m = 1,86 \cdot 10^7$ C.G.S. bestimmt worden; die grösseren, wahrscheinlich positiven Elektronen haben die gleiche Ladung, aber grössere Masse. Für Ni z. B. findet Hr. Drude³⁾ das Massenverhältniss für negative und positive Elektronen aus optischen Daten gleich 1:9,45.

Im Falle der Molecularströme wird man sich also wohl die grösseren Elektronen als Kerne vorstellen, um welche die kleineren als Satelliten Kreisläufe ausführen, deren Umlaufsdauer $T = 10^{-19}$ sec ist. Aus dieser Vorstellung berechnet sich die lineare Geschwindigkeit der kleinen Elektronen zu $v = \pi \delta / T \sim 10^{10}$ cm/sec, also von der Ordnung der Lichtgeschwindigkeit. Dies ist die Geschwindigkeit, mit der die Elektronen als Kathodenstrahlteilchen durch das Crookes'sche Vacuum hindurchfliegen, nach den übereinstimmenden Angaben der Herren J. J. Thomson⁴⁾, Ph. Lenard⁵⁾ und

1) R. Lang, Wied. Ann. 56. p. 534. 1895.

2) W. Kaufmann, Wied. Ann. 65. p. 439. 1898.

3) P. Drude, Physikal. Zeitschr. 1. p. 164. 1900.

4) J. J. Thomson, Phil. Mag. 44. p. 293. 1897; $v = 1,5 \cdot 10^9$ cm/sec.

5) Ph. Lenard, Wied. Ann. 64. p. 279. 1898; $v = 0,67$ bis $0,81 \cdot 10^{10}$ cm/sec.

W. Wien.¹⁾ Es ist also wohl nicht zweifelhaft, dass die Elektronen solch ausserordentliche Geschwindigkeit annehmen können, wenn sie durch eine geeignete Kraft angetrieben werden. Dieser Antrieb ist bei den Kathodenstrahlen in dem starken Potentialgefälle an der Kathode zu suchen. Eine andere Frage ist, ob die Elektronen solche Geschwindigkeit auch im natürlichen Zustand, aus nicht erkennbarer Ursache, besitzen. Für diese Frage sind die jüngsten Messungen des Hrn. H. Becquerel²⁾ an den von ihm untersuchten Strahlen höchst wichtig. Durch magnetische Ablenkungsversuche fand dieser Forscher für die fortgeschleuderten Teilchen der Radiumstrahlen $(m/\epsilon) \cdot v = 1500$. Für die Kathodenstrahlen ist dasselbe Product = 1030 bis 1273. Nun sind sicher die Radiumteilchen nicht grösser als die Kathodenstrahlteilchen; somit ist die natürliche Geschwindigkeit der vom Radiumpräparat ausgeschleuderten Teilchen mindestens von der Ordnung 10^{10} cm/sec. Wir schliessen daraus, dass die gleich grosse Geschwindigkeit der Elektronen, auf die wir bei den Centralbewegungen, die den Magnetismus verursachen, gestossen sind, jedenfalls nicht unmöglich ist.

Was ferner den Bahndurchmesser δ betrifft, dessen grössten Wert wir $\sim 10^{-9}$ cm gefunden haben, so ist zunächst zuzugeben, dass δ^3 nicht genau mit dem Atomvolumen übereinstimmt, welches die Chemie als Quotient aus Atom- und specifischem Gewicht in festem oder flüssigem Zustand angiebt und welches sich bei den paramagnetischen Stoffen als Minimum erweist. Das Atomvolumen wird im allgemeinen grösser sein als δ^3 . Andererseits wird behauptet werden dürfen, dass je grösser δ , also auch die von den Elektronen beschriebene mehr oder weniger kreisförmige Bahn ist, um so grösser wird bei gleicher Schwingungsweite des Molecularschwerpunktes die moleculare Wirkungssphäre sein, und umgekehrt wird unter denselben Umständen die Verkleinerung des Atomvolumens an eine Abnahme von δ gebunden sein. Lässt sich also auch die directe, gleichsinnige Aenderung des Atomvolumens und des Durchmessers δ nicht streng beweisen, so

1) W. Wien, Wied. Ann. **65**. p. 445. 1899. $v = 1 \cdot 10^{10}$ cm/sec.

2) H. Becquerel, Compt. rend. **130**. p. 206–211. 1900; Beibl. **24**. p. 328. 1900.

ist doch ein solcher Zusammenhang wahrscheinlich und jedenfalls ist hier zum ersten Male *theoretisch eine notwendige metrische Beziehung des Magnetismus aufgefunden*, die der empirischen Regel vom minimalen Atomvolumen¹⁾ der magnetischen Stoffe nahe verwandt ist.

II.

Wir haben uns im vorigen Abschnitt überzeugt, dass die neue Deutung, die wir dem Molecularmagnetismus gegeben haben, jedenfalls keinen Widerspruch enthält und daher möglich ist. Wir zeigen jetzt, dass sie auch auf einige bis jetzt nicht erklärte Erscheinungen neues Licht wirft.

1. Zu der Erscheinung des Paramagnetismus gehören nach dem Vorhergehenden zwei Bedingungen: 1. minimales Atomvolumen, 2. freie d. h. ungesättigte Valenzen. Beide Bedingungen sind für den Sauerstoff erfüllt; vgl. in Bezug auf das Atomvolumen die Tafel in der Abhandlung des Hrn. St. Meyer²⁾; für die Vierwertigkeit von O, der für gewöhnlich nur zweiwertig ist, diejenige des Hrn. Heyes.³⁾ Danach erscheint es nicht mehr auffallend, dass O paramagnetisch ist, während die meisten anderen Gase Diamagnetismus zeigen. Denkt man sich also in dem O₂-Molekül je zwei Valenzen jedes Atomes gebunden, die anderen ungesättigt, so erhält man wie oben als magnetisches Moment eines O-Atomes $4,6 \cdot 10^{-1+x-2y}$ C.G.S. Andererseits fand Hr. R. Hennig⁴⁾ die Susceptibilität des O, bezogen auf das Vacuum für 25° C. und 1 Atm. Druck, $0,12 \cdot 10^{-6}$ C.G.S.; die Feldstärke war dabei etwa 10^4 C.G.S. Daraus folgt für das magnetische Moment von 1 ccm O unter den angegebenen Verhältnissen $4\pi \cdot 0,12 \cdot 10^{-6} \cdot 10^4 = 1,5 \cdot 10^{-2}$ C.G.S., also durch Vergleichung der Exponenten

$$x - 2y = -1.$$

Hieraus für

$$y = 9, \quad x = 17,$$

$$y = 10, \quad x = 19 \text{ etc.}$$

1) Vgl. J. Königsberger, Wied. Ann. **66**. p. 731. 1898; St. Meyer, Wied. Ann. **69**. p. 261. 1899.

2) St. Meyer, Wied. Ann. **69**. p. 236. 1899.

3) J. F. Heyes, Phil. Mag. (5) **25**. p. 221. 1888.

4) R. Hennig, Wied. Ann. **50**. p. 519. 1893.

Da eine Rotationsdauer $T \sim 10^{-17}$ sec zu nahe bei den ultravioletten Schwingungen liegt, so werden wir der zweiten Lösung den Vorzug geben.

Man sieht, dass die Werte von derselben Größenordnung sind, wie beim Fe; nur der Bahndurchmesser $\delta \sim 10^{-10}$ cm erscheint etwas kleiner. Es mag übrigens bemerkt werden, dass der von Hrn. Richarz benutzte Wert des magnetischen Momentes eines vierwertigen Fe-Atoms $2 \cdot 10^{-22}$ C.G.S. mit Benutzung des Gedankens der freien Valenzen auch ein richtiges Resultat giebt, wenn es auch fraglich erscheint, ob das Fe-Atom ohne weiteres mit dem O-Atom in magnetischer Hinsicht vertauscht werden darf.

2. Aus seinem umfangreichen Material über die Magnetisierungszahlen unorganischer Verbindungen zieht Hr. St. Meyer ¹⁾ folgende Erfahrungssätze ab. Der Molecularmagnetismus k der paramagnetischen Verbindungen ist kleiner als die Summe der Atommagnetismen der Bestandteile. Oxydation scheint ganz allgemein das k des Elementes herabzudrücken und zwar so weit, dass paramagnetische Metalle diamagnetische Oxyde liefern können.

Der erste Satz ist eine unmittelbare allgemeine Folge der auseinandergesetzten Vorstellung von der Rolle der ungesättigten Valenzen für die Entstehung des Magnetismus. Denn bei der chemischen Verbindung zweier Stoffe handelt es sich immer um Bindung von Valenzen; also kann die Magnetisierungszahl einer Verbindung paramagnetischer Stoffe höchstens gleich der Summe der Atommagnetismen, wird aber meistens kleiner sein. Tritt der Fall ein, dass sämtliche Valenzen gebunden werden oder dass die Rotation der ungesättigten Valenzen durch die Bindung der übrigen gehindert ist, so kann die Verbindung diamagnetisch sein. Der zweite Meyer'sche Satz ist ein Beispiel dazu. Dass die Verbindung diamagnetischer Stoffe, bei vorhandenem minimalen Atomvolumen wenigstens eines der Bestandteile, schwach paramagnetisch erscheint, kann dadurch erklärt werden, dass durch die Bindung einzelner Valenzen zwischen den zu einem Molecül vereinigten Atomen andere vorher durch jene gebunden gewesenen Valenzen frei

1) l. c. p. 248 u. p. 254.

werden. Dieser Fall wird allerdings eine seltene Ausnahme sein, erscheint aber möglich. Vielleicht bieten die Cu-Verbindungen ¹⁾ ein Beispiel dafür.

3. Die dritte Anwendung bezieht sich auf den eigentlichen Kernpunkt der neuen Hypothese, nämlich die Grössenordnung der in Betracht kommenden Werte. Wir stellen uns nach dem Gesagten vor, dass grössere, wahrscheinlich positive Kerne von kleineren, wahrscheinlich negativen Satelliten, mit einer der Lichtgeschwindigkeit nahe kommenden Geschwindigkeit umkreist werden. Es ist nicht nötig die negativen Elektronen dauernd an ihren Kern gebunden zu denken. Vielmehr ist es wahrscheinlich, dass die einzelnen Elektronen bei ihren Centralbewegungen verschiedene Geschwindigkeit haben und dass der angegebene Wert einen Mittelwert darstellt. Erlangt nun ein Elektron eine bedeutend grössere Geschwindigkeit, als sie dem Umlauf entspricht, so kann es aus der Sphäre eines Kernes ausund in diejenige eines anderen eintreten. Dies ändert selbstverständlich an der Vorstellung nichts, die wir uns vom stationären Zustand eines magnetischen Körpers machen.

Wir denken uns nun einen der Länge nach zur Sättigung magnetisirten Eisenstab und zwar sollen die magnetischen Kraftlinien innerhalb desselben der Axe parallel laufen, sodass sie nur auf den Grundflächen in die Luft aus- bez. eintreten. Dann sind die Bahnebenen der Elektronen alle einander parallel und senkrecht zur Axe des Stabes; ein Querschnitt des Stabes nimmt also alle Bahnen in sich auf, deren Mittelpunkte von ihm getroffen worden. Im Innern des Stabes herrscht der besprochene stationäre Zustand. An der Grenze aber ist, wie an der Oberfläche einer Flüssigkeit, ein Herausfahren besonders schneller Elektronen möglich, wenn sonst kein Hindernis vorhanden ist. Ein solches ist die Luft oder auch das Vacuum, überhaupt ein Dielektricum, welches den Magnetstab umgiebt, weil durch das Austreten negativer Elektronen sofort ein ungeheurer Potentialunterschied entsteht, der das Austreten weiterer Elektronen verhindert. An den Polflächen selbst ist, wie man sieht, überhaupt keine Abschleuderung von Elektro-

1) G. Wiedemann, Die Lehre v. d. Elektr. 3. p. 963; St. Meyer, Ann. d. Phys 1. p. 668. 1900.

nen zu erwarten. Ein in ein Dielektricum getauchter Magnetstab verliert also durch Elektronenstreuung nichts an seiner Energie.

Dieser Schluss verliert nichts an seiner Gültigkeit, wenn der Magnetstab nicht longitudinal, sondern beliebig magnetisirt ist.

Der an der Oberfläche eines Magnets senkrecht zu den magnetischen Kraftlinien auftretende Potentialunterschied stellt eine elektromotorische Kraft dar, welche der Voltakraft ähnlich wirkt und sich an den betreffenden Stellen des Magnets ihr superponiren kann. Der Nachweis ihrer Existenz liegt bereits vor in den Versuchen über die elektromotorische Kraft der Magnetisirung.¹⁾ Wir beziehen uns hier auf die genauen Messungen von Hrn. Hurmuzescu.²⁾ Es wurden 1 mm dicke, an den Enden mit Schmirgelpapier polirte Fe-Drähte in die beiden Schenkel eines U-Rohres eingesenkt. Der eine Schenkel befand sich zwischen den Polen eines starken Elektromagnets. Die Röhre war mit der Lösung von Essig- oder Oxalsäure gefüllt. Die senkrecht zum Magnetfelde stehende Elektrode berührte die Flüssigkeit nur an ihrem unteren Ende. Das Ergebnis war: die Richtung der Magnetisirung war ohne Einfluss. Die magnetisirte Elektrode war stets elektronegativer gegen die nicht magnetisirte (wie Cu zu Zn). Die Curve der elektromotorischen Kraft als Function der Feldstärke H hat Aehnlichkeit mit der Magnetisirungscurve als Function von H .

Diese Resultate sind eine einfache Folgerung aus unserer Hypothese. Die eine Elektrode ist transversal magnetisirt. Daher treten aus ihrer Berührungsfläche mit der Flüssigkeit Elektronen aus und laden diese negativ. Wegen der Leitungsfähigkeit der Säure und der übrigen Teile des Stromkreises gleicht sich der entstehende Potentialunterschied sofort aus und es entsteht ein Strom. Dabei bildet die magnetisirte Elektrode den positiven Pol. Dass die Richtung der Magnetisirung ohne Einfluss ist, ist nach unserer Vorstellung einleuchtend, ebenso dass die elektromotorische Kraft mit der Stärke der Magnetisirung bis zur Sättigung wachsen muss.

1) G. Wiedemann, Die Lehre v. d. Elektr. 3. p. 1132—1138.

2) Hurmuzescu, Journ. d. Phys. (3) 4. p. 118—127. 1895; Beibl. 19. p. 917. 1895.

Ebenso leicht sind die Ergebnisse einiger Abänderungen des Versuches, die Hr. Hurmuzescu gemacht hat, nach der aufgestellten Hypothese vorherzusehen. Es wurde z. B. die zu magnetisierende Elektrode ganz mit einem isolirenden Ueberzug versehen und nur in der Mitte ihrer Länge eine kleine, kreisförmige Fläche von der Grösse der Querfläche des Drahtes freigelegt, sodass die in die Säure eingetauchte Elektrode nur in jener kleinen Fläche von der Flüssigkeit berührt wurde. Die Elektrode wurde wieder transversal magnetisirt, jedoch so gestellt, dass die Normale der entblössten Fläche das eine Mal senkrecht zur magnetischen Kraft des Feldes stand, das andere Mal ihr parallel lief. Die magnetisirte Elektrode war wieder der positive Pol des Elementes, jedoch war die elektromotorische Kraft verschieden. Es ergab sich

1. Stellung	$H = 5320$ C.G.S.	$E = 114 \cdot 10^{-4}$ Volt
2. „	5320 C.G.S.	$19 \cdot 10^{-4}$ „

Ein solches Verhalten ist nach der Theorie zu erwarten. Im ersten Fall stehen die Bahnen der Elektronen senkrecht zur entblössten Fläche und können daher in deren ganzer Ausdehnung austreten. Im zweiten Falle liegen die Bahnen nahezu alle in der freien Fläche; wären diese ganz eben, so könnte kein Elektron austreten; da sie ein wenig gekrümmt ist, sind einzelne Austritte möglich. Caet. par. sollten sich die elektromotorischen Kräfte verhalten wie die Projectionen der Austrittsflächen auf eine durch die magnetische Kraft und die Elektrodenaxe gelegte Ebene. In einem anderen Versuch wurde die zuletzt beschriebene Elektrode parallel der magnetischen Kraft angebracht. Die Bahnebenen der Elektronen standen also senkrecht zur entblössten Fläche und konnten austreten. In der That waren die Resultate dieselben wie im ersten Fall der transversalen Magnetisirung, wo die Flüssigkeit die Elektrode nur in der Grundfläche berührte, wenn auch weniger regelmässig.

Heilbronn, 19. Mai 1900.

(Eingegangen 21. Mai 1900.)