

Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Strahlende Elektroden-Materie und der sogenannte vierte Aggregatzustand

Puljuj, Ivan

Wien, 1883

Gibt es einen vierten Aggregatzustand der Materie?

Gibt es einen vierten Aggregatzustand der Materie?

Causas rerum naturalium non plures admitti debere, quam quae et verae sint et earum phaenomenis explicandis sufficiant. (Princ. I. III.)

Newton.

Es hat sich schon lange unter den Physikern die Ansicht gebildet, dass die Untersuchungen über elektrische Entladungen in verdünnten Gasen zur Erkenntniss des Wesens der Elektrizität führen werden. Diesem Umstande verdanken wir eine zahlreiche Literatur, von der ich hier nur die schönen Untersuchungen des Herrn W. Hittorf erwähnen will, welche er in zwei Mittheilungen, betitelt: „über die Elektrizitätsleitung in Gasen“ im Jahre 1869 veröffentlichte¹⁾, und die selbst von Fachgenossen wenig beachtet worden sind, vielleicht, weil der Titel etwas zu bescheiden ausgefallen ist.

Herr William Crookes, dem die Hittorf'schen Arbeiten unbekannt geblieben sind, lieferte in seinem, auf der Jahresversammlung der British Association zur Förderung der Wissenschaften in Sheffield am 22. August 1879 gehaltenen Vortrage²⁾ eine Uebersicht der von ihm gewonnenen Resultate, welche von den Hittorf'schen gar nicht wesentlich verschieden sind und nur durch eine elegantere Form des Experimentes sich auszeichnen. Neu sind aber die Schlussfolgerungen, zu denen Herr Crookes auf Grund dieser Versuche gelangte, und welche ein allgemeines Aufsehen und kein geringes Interesse besonders in jenen Kreisen erregten, die sich mit den Fragen transcendentaler Weltanschauung gern beschäftigen.

¹⁾ Pogg. Ann. Bd. 136. Ueber die Elektrizitätsleitung.

²⁾ Dieser Vortrag erschien in deutscher Uebersetzung, betitelt: Strahlende Materie oder der vierte Aggregatzustand. Von William Crookes. Mit Genehmigung des Verfassers deutsch herausgegeben von Dr. Heinrich Gretschel. Leipzig, 1879. Ausserdem erschienen noch folgende Mittheilungen: On the illumination of lines of molecular pressure, and the trajectory of molecules. Proceedings of the R. S. Vol. 28 No. 191; Philos. Mag. 1879, 5. Ser. Vol. 7 p. 57; Nature 1879 July 3 and 10.

Zur Erklärung der in den evacuirten Räumen beobachteten Erscheinungen nimmt Herr Crookes an, dass das zurückgebliebene sehr verdünnte Gas sich in einem neuen „ultragasigen“ Zustande befindet, den er den „vierten Aggregatzustand“ nennt und mit einem von Faraday entlehnten Ausdrücke „strahlende Materie“ bezeichnet.

Die Annahme des vierten Aggregatzustandes wird von Herrn Crookes auf folgende Weise begründet¹⁾:

„Je weiter dieser Process (der Verdünnung) getrieben wird, desto länger wird im Mittel die Entfernung, welche eine Molekel durchlaufen kann, ehe sie mit einer andern zusammenstösst; oder mit anderen Worten, je länger die mittlere Weglänge, desto mehr werden die physikalischen Eigenschaften des Gases oder der Luft abgeändert. So werden bei einem gewissen Punkte die Radiometererscheinungen möglich, und wenn man die Verdünnung noch weiter treibt, d. h. die Zahl der Molekeln in einem gegebenen Raume vermindert und ihren mittleren freien Weg vergrössert, so werden die experimentellen Resultate erlangt, auf welche ich Ihre Aufmerksamkeit jetzt hinlenken will. Diese Erscheinungen sind so verschieden von alledem, was bei gewöhnlichem Drucke in Luft oder Gas von gewöhnlicher Spannung sich ereignet, dass wir zu der Annahme geführt werden, wir stehen hier der Materie in einem vierten Aggregatzustande gegenüber, einem Zustande, der ebenso fern vom gasförmigen als dieser vom flüssigen ist.“

Es sind somit zwei Gründe, welche für die Nothwendigkeit der Annahme eines vierten Aggregatzustandes sprechen sollen: 1. der hohe Grad der Verdünnung, 2. die Verschiedenheit der Erscheinungen von denjenigen, welche beim gewöhnlichen Drucke stattfinden.

Wir wollen diese Gründe einer Discussion unterziehen, um zu sehen, welche Wahrscheinlichkeit der gemachten Hypothese beizulegen ist.

Die drei bisher bekannten Aggregatzustände der Körper sind durch die Verschiedenheit der Beweglichkeit ihrer kleinsten Theilchen, sowie durch verschiedene Cohäsionsverhältnisse bedingt. Im gasförmigen Zustande erreichen die Theilchen den höchsten Grad der Beweglichkeit und die Cohäsion ist verschwindend klein. Was soll nun diesen hypothetischen vierten Aggregatzustand charakterisiren? Etwa eine noch grössere Beweglichkeit der Theilchen und ein noch geringerer Grad der Cohäsion? Dies ist kaum anzunehmen, so lange Moleküle und Atome als solche

¹⁾ Strahlende Materie S. 7.

bestehen. Auch diese Frage lässt die erwähnte Schrift nicht unbeantwortet. Es heisst¹⁾: „Beim Studium dieses vierten Zustandes der Materie scheinen wir endlich unter unseren Händen und im Bereich unserer Prüfung die kleinen untheilbaren Theilchen zu haben, von denen man mit gutem Grunde voraussetzt, dass sie die physikalische Grundlage des Weltalls bilden. Wir haben gesehen, dass in einigen ihrer Eigenschaften die strahlende Materie ebenso materiell ist als dieser Tisch, während sie in anderen Eigenschaften fast den Charakter strahlender Energie annimmt. Wir haben thatsächlich das Grenzgebiet berührt, wo Materie und Kraft in einander überzugehen scheinen, das Schattenreich zwischen dem Bekannten und Unbekannten, welches für mich immer besondere Reize gehabt hat. Ich denke, dass die grössten wissenschaftlichen Probleme der Zukunft in diesem Grenzlande ihre Lösung finden werden und selbst noch darüber hinaus; hier, so scheint mir's, liegen letzte Realitäten.“

Die strahlende Materie würde sonach aus sehr kleinen, untheilbaren Theilchen, den Uratomen, bestehen, in welche das zurückgebliebene Gas und eine jede wägbare Materie beim höchsten Grade der Verdünnung (angeblich bei einem Milliontel Atmosphäre) sich auflösen soll.

Die wägbaren Körper lassen sich mit den uns bekannten Kräften in einfachere Stoffe zerlegen, welche Elemente genannt werden. Der Chemiker Prout und nach ihm der berühmte Dumas haben die Thatsache festgestellt, dass zwischen den Atomgewichten einfacher Stoffe eine gewisse Gesetzmässigkeit besteht, nach welcher alle einfachen Körper ein Atomgewicht haben, das gleich ist einem Vielfachen vom Atomgewicht eines noch unbekanntes Körpers, dessen Aequivalent nur die Hälfte des Aequivalentes des Wasserstoffs beträgt. Ausserdem gelangte Dumas, geleitet durch die Analogie der Verbindungen, welche durch organische Radicale gebildet werden, zum Schluss, dass die Aequivalente der einfachen Stoffe, welche einer und derselben natürlichen Familie angehören, in derselben Weise eine arithmetische Reihe bilden, wie die Radicale der organischen Chemie. Diese Thatsachen sprechen für eine grosse Wahrscheinlichkeit der Annahme, dass die Körper, die wir als einfache Stoffe ansehen, Verbindungen höherer Ordnung sind, dass sie sehr verwickelte Aggregate anderer selbst wieder zusammengesetzter Elemente sind, dass sie sich aber schliesslich alle in eine einzige Materie auflösen lassen. Die Zerlegbarkeit und Umwandelbarkeit der chemischen Elemente ist beson-

¹⁾ Strahlende Materie S. 38.

ders in neuerer Zeit von Forschern wie Mendeljeff, Lothar Meyer, Norman Lockyer, Gorup Besanez, Fr. Wächter u. A. angenommen und vielfach begründet worden.

Die vom philosophischen Standpunkte aus selbstverständliche Annahme der Einheit der Materie findet auch in der vergleichenden Spectralanalyse eine Stütze. Diesbezügliche Untersuchungen von Ciamician lehren, dass es möglich wäre, auf Grund der Mendeljeff'schen Reihen und der Homologie der Spectren sämtliche Elemente der heutigen Chemie auf die typischen Elemente: Wasserstoff, Lithium, Beryllium, Bor, Kohlenstoff, Stickstoff, Sauerstoff und Fluor zurückzuführen. Alle anderen Elemente sind aus den genannten durch Hinzutreten von Sauerstoff in verschiedenen Formen der Condensation hervorgegangen. Aber auch einige dieser typischen Elemente: Kohlenstoff, Bor und Beryllium sowie das Magnesium besitzen homologe Spectra und müssen daher zusammengesetzte Körper sein. Ob die übrigen Elemente: Wasserstoff, Lithium, Stickstoff, Sauerstoff und Fluor als die letzten Bestandtheile zu betrachten sind, wird man, nach Ciamician's Ansicht, auf spectroscopischem Wege kaum entscheiden können.

Die Materie ist somit einer weiteren Theilbarkeit fähig, und es ist möglich, dass sie in ihrer letzten Theilung jene sogenannte unwägbare Materie geben würde, die wir Aether nennen, welcher seine Existenz durch die Bewegungsform der Strahlung offenbart und dessen Materialität und Trägheit dadurch bewiesen ist, dass er mit der wägbaren Materie seine Bewegung austauscht.

Betrachten wir nun die Mittel, welche wir zur Zersetzung der Körper gebrauchen können. Diese reduciren sich auf die Moleculararbeit, welche die Wärmebewegung, die Electricität und chemische Kraft leisten können. Sehr complicirte Moleküle, wie die der organischen Stoffe, können schon durch mässige Temperaturen zerlegt werden; dagegen bleiben einfache Stoffe, selbst wenn sie höhere Temperaturen als 1500° C. durchlaufen, unzersetzt. Ebenso wie die Wärmeenergie hat sich auch die Energie der stärksten elektrischen Ströme und die der chemischen Verwandtschaft als zu schwach erwiesen, um den Verband der Uratome in den Atomen der Elemente zu lösen. Hätten wir jene kleinsten Theilchen, welche die „physikalische Grundlage der Welt“ bilden, so müssten sie gewiss ganz anderer Natur sein als unsere Elemente, so dass der Name „Aggregatzustand“ nicht einmal zutreffend wäre; möglicherweise könnten sie mit Aethertheilchen identisch sein. Indessen ist das nicht der Fall, indem die Moleküle strahlender Materie ihre charakteristischen chemi-

schen Eigenschaften behalten, was Herr Crookes selbst experimentell nachgewiesen hat. Auch dass die beobachteten Erscheinungen der Phosphoreszenz, der Schatten, der magnetischen Ablenkung, sowie die Bewegungserscheinungen in verschiedenen Gasen beim verschiedenen Drucke anfangen, ist in Uebereinstimmung mit den Folgerungen, die sich aus der kinetischen Gastheorie ergeben, und beweisen, dass wir in verdünnten Gasen noch immer mit wirklichen Molekülen zu thun haben; dafür spricht auch der metallische Niederschlag in der Umgebung der negativen Elektrode.

Auch haben Versuche mit der Quarzplatte, die später näher beschrieben werden, bewiesen, dass wir hier nicht mit der Strahlung einer Aethermaterie, sondern mit der Bewegung gasförmiger Körpertheilchen zu thun haben (S. 17).

Herr Crookes will die letzte Theilung der Materie durch den hohen Grad ihrer Verdünnung, angeblich bis ein Milliontel Atmosphäre $0,00076^{\text{mm}}$, erreicht haben. Es mag Herrn Crookes, als er sich zu dieser Annahme verleiten liess, vielleicht die Idee vorgeschwebt haben, dass ein flüssiger Körper desto leichter in den gasförmigen übergeht, je geringer die Cohäsion, welche die Theilchen zusammenhält, und je kleiner der äussere Druck ist, der auf die Theilchen wirkt, und dass auch die Dissociation complicirter Moleküle bei kleinerem Drucke viel leichter vor sich geht. Es muss aber dagegen bemerkt werden, dass der Theil der Energie der Molecularbewegung, welcher den Druck überwindet, verhältnissmässig klein ist gegen jenen Theil, der beim Verdampfen die Cohäsion und bei der Dissociation die chemische Verwandtschaft überwinden muss, gewiss aber verschwindend klein sein wird gegen jenen Theil, der nöthig ist, um die Bande der Uratome zu zerreißen.

Ausserdem ist für die Erscheinungen strahlender Materie kein so hoher Grad der Verdünnung nöthig, als ihn Herr Crookes erreicht haben will, indem directe Manometermessungen ergaben, dass schon bei $0,01^{\text{mm}}$ Quecksilberdruck ein Strom von mässiger Intensität (2^{cm} Funkenlänge) durch die Röhre nicht mehr geht. Ich bin fest davon überzeugt, dass selbst bei trillionenfacher Verdünnung wir nach der Berechnung der kinetischen Gastheorie noch immer ungefähr 21 Moleküle in einem Cubikcentimeter Luft haben werden, und dass nicht eher ein Zerfallen derselben in Uratome zu erwarten ist, bis nicht eine andere mächtigere Energiequelle, als die bisher bekannten, gefunden sein wird.

Wäre die Annahme richtig, dass die gasförmige Materie durch Verdünnung in den vierten Aggregatzustand übergeführt werden kann, so

müssten die Himmelskörper, die in einem besseren Vacuum, als wir es erzeugen können, schweben, nach und nach in die Urmaterie sich auflösen.

Noch weniger kann ich die Nothwendigkeit des neuen Aggregatzustandes anerkennen, weil diese Erscheinungen „verschieden“ sind von Allem, was beim gewöhnlichen Drucke beobachtet worden ist. Die Nothwendigkeit irgend einer neuen Annahme würde erst dann erwiesen sein, wenn die Erscheinungen durch das bisher Bekannte nicht erklärt werden könnten.

Aus diesen Gründen kann ich mich nicht entschliessen, für die Existenz des vierten Aggregatzustandes einzutreten, und ebenso wenig für die Ansicht mich erwärmen, dass wir das Grenzgebiet berühren, „wo Materie und Kraft in einander überzugehen scheinen“, am allerwenigsten, dass wir hier ein offenes Thor in die vierdimensionale Welt haben, wie es manche transcendente Denker glaubwürdig finden.

Wie Materie und Kraft in einander übergehen können, ist ein Geheimniss, welches zu erklären Herr Crookes unterlassen hat.

Dunkler Raum im Glimmlichte.

In einer gewöhnlichen Geissler'schen, mit Luft von ungefähr 0,5^{mm} Druck gefüllten Röhre sieht man am positiven Pole ein rothes Lichtbüschel, welches, aus einzelnen hellen und dunklen Schichten bestehend, den grösseren Theil der Röhre ausfüllt, am negativen Pole ein blaues Licht, das sogenannte Glimmlicht, und zwischen beiden einen dunklen Raum, auf dessen Erklärung ich später zurückkommen werde. Bei fortgesetzter Verdünnung verschwinden nach und nach die Schichten des positiven Lichtes und das von demselben durch den dunklen Raum stets getrennte Glimmlicht breitet sich über die ganze Röhre aus. Bei näherer Untersuchung des Glimmlichtes unterscheidet man an der Elektrode ganz deutlich einen zweiten relativ dunklen Raum, der vom ersteren durch eine breite Schicht Glimmlichtes von abnehmender Intensität scharf begrenzt ist. Die Elektrode selbst ist sehr oft von einer gelben staubartigen Schichte bedeckt, die das Ansehen von Goldstaub hat und eine Phosphoreszenzerscheinung der äussersten Oxydschichte ist.

Diesen längst bekannten und von H. Hittorf sehr genau beschriebenen dunklen Raum hält H. Crookes für die „mittlere Weglänge des Gasresiduums“. Die Begründung dieser Annahme möge hier folgen und für sich selbst sprechen:

„Man findet, dass dieser dunkle Raum grösser oder kleiner wird bei Veränderung des Grades der Verdünnung der Luft in derselben Weise, wie die mittlere freie Weglänge sich verlängert oder verkürzt. Wie man bei der einen mit dem geistigen Auge erkennt, dass sie grösser wird, so sieht man beim andern mit dem leiblichen Auge die Zunahme; und wenn das Vacuum unzureichend ist, um solches Spiel der Moleküle zu gestatten, bevor sie auf einander stossen, so zeigt der Durchgang der Elektrizität, dass der dunkle Raum auf kleine Dimensionen zusammengeschrumpft ist. Daraus schliessen wir naturgemäss, dass dieser dunkle Raum die mittlere freie Weglänge der Molekeln des noch übrig gebliebenen Gases ist, eine Annahme, die durch das Experiment bestätigt wird.“

Die Schlussweise des Herrn Crookes ist folgende: *A* und *B* ändern sich in derselben Weise, wenn sich *C* ändert, somit muss *A* gleich *B* sein. Auf diese Weise schliessend könnten wir beispielsweise finden, dass der Druck in einem bestimmten Volumen Gases gleich ist der Anzahl vorhandener Moleküle, weil beide mit der mittleren Weglänge in gleicher Weise abnehmen. Der Trugschluss liegt zu klar auf der Hand, und es nützt uns wenig, dass uns Herr Crookes mittels Inductionsfunken „die Linien molekularen Druckes thatsächlich erleuchtet.“ Der dunkle Raum ist keine mittlere Weglänge und bloss eine von derselben abhängige Erscheinung, die wir mit Leichtigkeit verstehen werden, nachdem wir das Wesen der strahlenden Materie erkannt haben werden.

Es genügt, einige Versuche mit Elektroden von verschiedenen Metallen: Platin, Kupfer, Silber, Zink, zu machen, um in die Vorgänge im dunklen Raume Einsicht zu erlangen. Bei Anwendung eines Inductionstromes von ungefähr 6^{cm} Funkenlänge überziehen sich die Glaswände schon nach einer halben Stunde mit Spiegeln vom betreffenden Metall. Der metallische Ueberzug ist am stärksten in der Nähe der Kathode und reicht so weit als das Glimmlicht.

Wird die Röhre in der Nähe des negativen Pols mit den Schenkeln eines Hufeisenmagnetes umfasst, so zieht sich das Glimmlicht in die Nähe der Elektrode zusammen und es wird ein kleinerer Theil der Glasröhre mit Metall überzogen. Indem ich plattenförmigen Platinelektroden Glasplatten gegenüberstellte, erhielt ich auf diese Weise schöne Platinspiegel.

Das Aluminium ist das einzige mir bekannte Metall, welches keine merklichen Spiegel am Glase liefert und deshalb „schwerflüchtig“ bezeichnet wird. Der schwache Ueberzug, welchen das Glas auch bei Anwendung dieses Metalles zeigt und der nur durch Phosphoreszenz-

erscheinung nachgewiesen werden kann, wie später näher erörtert werden wird, dürfte von anderen Metallen herrühren, von denen das Aluminium nicht vollkommen gereinigt ist.

Den Grund dessen, dass Aluminiumtheilchen am Glase nicht haften bleiben, möchte ich in der chemischen Constitution derselben oder auch in ihren Adhäsionsverhältnissen suchen. Es werden aber auch Aluminiumtheilchen losgerissen und fortgeschleudert und bewegen sich so lange, bis sich die Gelegenheit darbietet, an einer Stelle der positiven oder negativen Elektrode haften zu bleiben. Es kann somit darüber kein Zweifel obwalten, dass einzelne Elektrodentheilchen durch den elektrischen Strom mechanisch (nicht durch Verdampfen) losgerissen und senkrecht zur Oberfläche der Elektrode von derselben weg mit einer relativ sehr grossen Geschwindigkeit fortgeschleudert werden. Die Theilchen sind mit statischer negativer Elektrizität geladen, und indem sie sich selbst bewegen, führen sie auch die letztere *convectiv* fort und vermitteln auf diese Weise die Stromleitung zwischen beiden Elektroden. Dass an dieser elektrischen Convection auch Gastheilchen theilnehmen, ist selbstverständlich. Durch diesen Strom von Elektrodentheilchen wird das Gas von der Elektrode zurückgedrängt, ganz auf dieselbe Weise, wie in der Gasflamme das herausströmende Leuchtgas die Lufttheilchen vor sich drängt und den dunklen Raum unmittelbar an der Ausströmungsöffnung bildet, in welchen nur sehr wenige Sauerstoffmoleküle eindringen können und der desto grösser wird, mit je grösserer Geschwindigkeit das Gas ausströmt. An der Grenze, wo die Elektrodentheilchen mit den Gasmolekülen zusammenprallen, werden die ersteren durch allseitige Stösse der letzteren nach allen möglichen Richtungen aus ihrer ursprünglichen, geradlinig fortschreitenden Bewegung abgelenkt. Es findet eine gegenseitige Diffusion der Elektroden- und Gastheilchen statt unter gleichzeitiger Ablagerung der ersteren an den Glaswänden. Da der Druck überall in der Röhre gleich gross sein muss, so wird auch ihre Anzahl in der Volumseinheit geringer sein müssen und daher jener Raum, in welchem die Elektrodentheilchen mit Gasmolekülen sich noch nicht vermischt haben, relativ dunkel erscheinen. An der Grenze des Zusammentreffens der Elektroden- und Gastheilchen wird die Erschütterung der körperlichen Moleküle und ihrer Aetherhüllen stark sein, indem ein Theil der progressiven Bewegung strahlender Elektrodenmaterie in Atombewegung und Bewegung der Aetherhüllen verwandelt wird; es muss daher daselbst sowohl die Wärme als auch die Phosphoreszenzerscheinung intensiver sein und mit der Entfernung von der Elektrode nach und nach abnehmen.

Durch den dunklen Raum bewegen sich somit die Theilchen in geraden Richtungen, und die Grenze, wo sie mit den Gastheilchen und unter einander zusammenprallen, zeichnet sich durch ihre grosse Helligkeit aus. Jenseits dieser hellen Grenze bewegen sich die Gas- und Elektrodentheilchen nach allen möglichen Richtungen, und in dem Verhältniss, als die Gastheilchen an Zahl überwiegen, nimmt auch die Intensität des Glimmlichtes ab. Mit dem letzteren Namen bezeichne ich das Gemisch aus Elektroden- und Gastheilchen, welches zwischen dem dunklen Raum an der Elektrode und dem nächstfolgenden dunklen Raume liegt.

Da die Elektroden- und Gastheilchen des Glimmlichtes dieselbe Temperatur haben müssen, so muss auch $MU^2 = mu^2$ sein, wenn M , m , U , u Masse und Geschwindigkeit eines Elektroden-, beziehungsweise Gastheilchens bedeutet. Da es höchst wahrscheinlich Elektrodentheilchen von verschiedener Grösse, oft ganze Klumpen geben wird, so soll M die Masse eines Theilchens mittlerer Grösse bedeuten. Für die Geschwindigkeit eines Elektrodentheilchens erhält man somit:

$$U = \sqrt{\frac{m}{M}} u,$$

eine Grösse, die kleiner sein wird als die Molekulargeschwindigkeit der Gastheilchen, da M in den meisten Fällen grösser sein wird als m .

In der hellen Grenzschichte des dunklen Raumes wird die Zahl der Gastheilchen sehr gering sein, und wir können daher, dieselben als Elektrodentheilchen betrachtend, annehmen, dass in der Volumseinheit N Elektrodentheilchen enthalten sind, welche nach allen Richtungen sich bewegen. Im dunklen Raum entfallen auf eine Volumseinheit N_0 Theilchen, welche aber nur in einer Richtung gegen die helle Schicht sich bewegen. Es ist daher der Druck auf eine Flächeneinheit der hellen Schicht des Glimmlichtes, welchen die fortschreitenden Moleküle des dunklen Raumes ausüben:

$$p = N_0 MU_0^2,$$

wo U_0 die Geschwindigkeit der fortschreitenden Bewegung der Theilchen bedeutet. Dagegen ist der Druck von der entgegengesetzten Seite der hellen Schicht:

$$p = \frac{1}{3} N MU^2,$$

wo aber U die Geschwindigkeit bedeutet, mit der die Theilchen sich nach allen möglichen Richtungen bewegen.

Da die helle Schicht im Gleichgewichte sich befindet, so muss

$$N_0 M U_0^2 = \frac{1}{3} N M U^2,$$

und wenn wir wegen Gleichheit der Temperatur auch die Gleichheit der lebendigen Kräfte eines Moleküls annehmen, so finden wir:

$$N_0 = \frac{1}{3} N.$$

Die Zahl der Moleküle in der Volumseinheit des dunklen Raumes ist dreimal kleiner als in der hellen Schicht.

Die geringere Helligkeit des relativ dunklen Raumes hängt hauptsächlich mit der geringeren Zahl leuchtender Elektrodentheilchen zusammen, und nicht, wie von Crookes angenommen wurde, mit dem Mangel an Zusammenstößen derselben mit den Gastheilchen.

Prallen die Elektrodentheilchen gegen ein festes Platinblättchen an, so wird fast die ganze Energie ihrer fortschreitenden Bewegung in Wärme umgewandelt und das Platin wird weissglühend. Beim Zusammenstoss der Elektrodentheilchen und Gastheilchen wird dagegen die progressive Bewegung der ersteren an letztere einfach übertragen, und es können daher die beweglichen Theilchen nicht zum Glühen gebracht werden. Ihr Selbstleuchten wird durch Entladung der Elektrizität und nicht durch Zusammenstoss bedingt, weil die die Strahlen aussendenden Kathoden, sowie die Elektrodentheilchen im dunklen Raume, in welchem sie relativ nur selten zusammenstossen, ebenfalls phosphoresciren.

Da die ganze Gasmasse in der Glasröhre im stationären Zustande sich befindet, so muss der Druck im dunklen Raume nicht bloss dem Druck im Glimmlichte, sondern auch jenem an einer anderen Stelle gleich sein. Es muss daher auch

$$p = N_0 M U_0^2 = \frac{1}{3} n m u^2$$

sein, wenn n , m , u sich auf Gas beziehen.

Da die Gastheilchen nach allen Richtungen sich bewegen, so wird auch jetzt, wenn die Temperaturen gleich sind, was angenähert der Fall ist:

$$N_0 = \frac{1}{3} n \text{ und } U = \sqrt{\frac{m}{M}} u.$$

Die Geschwindigkeit der Theilchen im dunklen Raume ist kleiner als die Molekulargeschwindigkeit der Gase und kann daher, solange der dunkle Raum noch sichtbar bleibt, einige hundert Meter betragen.

Bei grösserer Verdünnung ist die zur Entladung nothwendige Spannung der Elektrizität, somit auch die Geschwindigkeit der fortgeschleuderten Theilchen grösser, und da ausserdem auch noch der Widerstand des Gasrückstandes geringer wird, so erweitert sich der dunkle Raum immer mehr und seine Grenze verschwindet, wenn die Verdünnung ungefähr $0,03^{\text{mm}}$ erreicht.

Wenn auch die Geschwindigkeit der Elektrodentheilchen bei grösserer Vergrösserung etwas grösser wird als die Molekulargeschwindigkeit der Gase, so wird sie jedoch nie die von Goldstein unter gewissen, nichts weniger als berechtigten Annahmen abgeleitete Grösse von 800.000 Metern in der Secunde erreichen können.

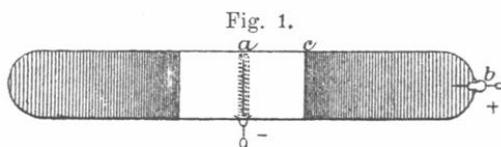
Herr Crookes behauptet, dass das zurückgebliebene Gas innerhalb des dunklen Raumes im vierten Aggregatzustande sich befindet, und nennt es „strahlende Materie“.

Nach meiner Ansicht besteht die Materie, welche den dunklen Raum erfüllt, aus mechanisch losgerissenen Elektrodentheilchen, welche mit statischer negativer Elektrizität geladen sind und mit grosser Geschwindigkeit in gerader Richtung sich progressiv bewegen.

Damit über das Wesen dieser Materie kein Zweifel obwalte, nenne ich sie „strahlende Elektrodenmaterie“, zum Unterschied vom sogenannten „Glimmlicht“, welches aus einem Gemenge von Elektroden- und Gas-theilchen besteht.

Betrachtet man die Elektrodentheilchen als unendlich kleine Kugeln, welche von der Oberfläche einer grossen Kugel losgerissen werden, so kann nach der Berechnung von Plana¹⁾ für die mittlere Dichte der statischen Elektrizität der Elektrodentheilchen 1,645 gesetzt werden, wenn dieselbe für die Elektrode als Einheit angenommen wird.

Dass der dunkle Raum mit der mittleren Weglänge des verdünnten Gases nicht identisch ist, lässt sich auch durch Rechnung leicht nachweisen.



Zu diesem Behufe habe ich einige Versuche mit Luftröhren bei sehr kleinem Drucke ausgeführt. Der Druck wurde mittelst eines Manometers

¹⁾ Mem. de l'Acad. de Turin 1845 2 Sér. Vol. 7.

bestimmt, welches ich in einer früheren Abhandlung: „Ueber die innere Reibung der Dämpfe“¹⁾ beschrieben habe.

Die nachfolgenden Zahlen sind Mittelwerthe aus drei Versuchsreihen; darin bedeutet p den Druck und d den dunklen Raum ac in Millimetern:

p	d	pd
1,46 ^{mm}	2,5 ^{mm}	3,650
0,66	4,5	2,970
0,51	5,8	2,958
0,30	7,8	2,348
0,24	9,5	2,280
0,16	14,0	2,240
0,12	15,5	1,860
0,09	19,5	1,755
0,06	22,0	1,320
0,02	?	?

Bei $p = 0,09^{\text{mm}}$ beginnt die Glasröhre zu phosphoresciren, bei $p = 0,06^{\text{mm}}$ ist die Phosphorescenz lebhaft, bei $p = 0,02^{\text{mm}}$ und einem Inductionsstrome von 2^{cm} Funkenlänge nimmt dieselbe ab, bei $p = 0,01^{\text{mm}}$ ist sie sehr schwach und nur am Ende der Röhre sichtbar. Bei einem geschätzten Drucke von 0,005^{mm} sieht man nur in einem vollkommen dunklen Zimmer von Zeit zu Zeit ein schwaches Blitzen durch die Röhre; wenn aber bei diesem Grade der Verdünnung die drahtförmige Elektrode zum negativen Pol gemacht wird, so erscheint die Phosphorescenz wieder längs der ganzen Röhre.

Wie das Product pd zeigt, ist d dem Drucke nicht verkehrt proportional, wie es bei der mittleren Weglänge der Fall sein sollte.

Wird ferner nach Stefan die mittlere Weglänge der Luftmoleküle bei 760^{mm} Druck = 0,000071^{mm} angenommen, so ergibt sich für die mittlere Weglänge bei $p = 0,06$ zu 0,9^{mm} gegen $d = 22^{\text{mm}}$, und noch ungünstiger bei höherem Drucke, beispielsweise bei $p = 1,46^{\text{mm}}$ zu 0,04^{mm} gegen $d = 2,5^{\text{mm}}$.

Der dunkle Raum ist somit keine mittlere Weglänge der Gasmoleküle und bloss jene mittlere Entfernung von der Elektrode, bis zu welcher die losgerissenen Theilchen auf ihren geradlinigen Bahnen gelangen, bevor sie in den Schwarm der ihnen entgegenfliegenden Gasmoleküle hinein-

¹⁾ Sitzungsberichte der kais. Akademie der Wissenschaften 1878, Bd. 78. Repertorium Bd. 15, S. 427.

stürzen und durch die Stösse der letzteren nach allen möglichen Richtungen abgelenkt werden. Es ist aber auch nicht die mittlere Weglänge der Elektrodenheilchen; denn wir sind gar nicht berechtigt anzunehmen, dass die Elektrodenheilchen im dunklen Raume, wie die Moleküle des Leuchtgases im dunklen Theil der Flamme, sich gegenseitig nicht stossen.

Es sei hier noch bemerkt, dass ich die schönste Phosphorescenz bei $0,04^{\text{mm}}$ beobachtete, während Herr Crookes dieselbe bei 50 mal kleinerem Drucke $0,00076^{\text{mm}}$ gesehen haben will, bei welchem nach meinen Erfahrungen selbst starke Inductionsströme nicht mehr durchgehen können. So viel mir aus den bis jetzt erschienenen Berichten über die strahlende Materie bekannt ist, hat Herr Crookes die hohe Verdünnung dadurch erreichen wollen, dass er letzte Spuren irgend eines Gases durch ein entsprechendes Mittel absorbiren liess. Die Erfahrung hat mich aber gelehrt, dass es viel leichter geht, mit einer gut getrockneten Pumpe zu evacuiren, weil die absorbirenden Körper sehr viel occludirte Gase enthalten, welche sie im Vacuum ausscheiden. Ja selbst Metalle enthalten Gase in beträchtlicher Menge¹⁾, wovon man sich leicht überzeugen kann, indem man eine Röhre mit Platinelektroden so weit auspumpt, dass beim schwächeren Strome eine schöne Phosphorescenz der Glasröhre zu sehen ist. Wird nachher ein starker Strom angewendet, so entwickelt sich aus der Elektrode fast augenblicklich so viel Gas, dass die Phosphorescenz ganz verschwindet und die Röhre mit weisslichem Lichte sich füllt. Soll die Elektrode von occludirten Gasen genügend befreit werden, so muss ein starker Inductionsstrom stundenlang ohne Unterbrechung durchgehen, während die sich entwickelnden Gase durch fortwährendes Pumpen entfernt werden.

Phosphorescenz fester Körper in strahlender Elektrodenmaterie.

Die strahlende Elektrodenmaterie erzeugt an vielen Körpern, wenn sie von derselben getroffen werden, ein Selbstleuchten derselben, welche Erscheinung Phosphorescenz und von manchen Physikern auch Fluorescenz genannt wird.

¹⁾ Nach Versuchen von Dumas geben 80^{ccm} Aluminium erhitzt im Vacuum bei einer Temperatur, wo Porcellan zu schmelzen beginnt, 15^{ccm} Kohlensäure und 88^{ccm} Wasserstoff gemessen bei 17° C. und 755^{mm} Quecksilberdruck.

Die Erscheinung der Phosphorescenz ist schon lange bekannt und eingehend von Herrn Hittorf und nachher von Goldstein, Reitlinger und v. Urbanitzky studirt worden.

Es möge mir gestattet sein, an dieser Stelle die Beschreibung dieser Erscheinung, wie sie sich in der zweiten Mittheilung des Herrn Hittorf vorfindet, wörtlich anzuführen¹⁾:

„Bei der äussersten Verdünnung, welche der Aspirator ohne Erhitzung des gasförmigen Mediums hervorzubringen vermag, bleibt der ganze negative Draht dunkel. Nur vom Ende, welches der Anode gegenüberliegt, geht noch negatives Licht aus, das jedoch, weil die mittlere dunkle Schicht („dunkler Raum“) desselben eine beträchtliche Dicke erlangt hat, erst in einiger Entfernung zu beginnen scheint. Seine schwach leuchtenden Strahlen erreichen eine bedeutende Ausdehnung und gehen durch fusslange Röhren. Die Glaswände, welche dieselben begrenzen, werden zur lebhaften grüngelben Phosphorescenz gebracht und büssen an Durchsichtigkeit ein. Positives Licht ist meistens nicht wahrnehmbar.“

„In einer cylindrischen Röhre erscheint daher nur die Wand, welche den positiven Draht und den Zwischenraum der Elektroden umgibt, lebhaft grün leuchtend, und namentlich hell ist die Stelle, an welcher die Anode eingefügt ist, weil sie dem Ende der Kathode gegenüberliegt. Vermehrt man die Zahl der galvanischen Elemente, so tritt noch grünes Fluorescenzlicht als mehr oder weniger breiter Ring um das Ende der Kathode zu dem beschriebenen hinzu.“

Wer sich mit diesen Dingen einmal befasst hat, der wird nach der gegebenen Beschreibung wohl nicht zweifeln, dass Herr Hittorf eine Erscheinung sogenannter „strahlender Materie“, die er einfach „Glimmlicht“ nennt, beobachtet hat.

Herr Crookes nimmt an, dass die „strahlende Materie“ nur innerhalb des dunklen Raumes vorhanden ist; nachdem wir aber erkannt haben, dass auch das Glimmlicht Elektrodentheilchen enthält, so wäre man berechtigt zu erwarten, dass auch im Glimmlicht jenseits des dunklen Raumes Phosphorescenzerscheinungen auftreten werden. Während meiner zahlreichen Versuche ist mir auch oft vorgekommen, dass frische Glasröhren schon bei einem dunklen Raume von 10^{mm} der ganzen Länge nach phosphorescirten, während im Innern noch deutlich das Büschellicht zu sehen ist, namentlich, wenn als negative Elektrode eine kreisrunde Scheibe vom Röhrendurchmesser verwendet wird.

¹⁾ Pogg. Ann. Bd. 136, S. 198.

Nebenbei will ich noch bemerken, dass bei hohem Grade der Verdünnung die Entladungen des elektrischen Stromes auch durch das Glas vor sich gehen, und dass nicht selten in capillaren, mit sehr verdünnter Luft erfüllten Gängen, den sogenannten Schlieren, sehr helle, weisssglänzende Lichtlinien von ungefähr 1^{cm} Länge zu sehen sind.

Sehr schöne, hellglänzende Funken beobachtet man auch an Elektrodenstellen, welche mit Gas überzogen sind. Die Entladung geht durch das Glas in den Elektrodendraht, selbst wenn derselbe noch entblösste Stellen hat. Der Funke verflüchtigt das Metall, und daher ist der Funke bei einer Kupferelektrode glänzend roth.

Papierkohle, durch längere Zeit mittels strahlender Elektrodenmaterie bis zur Weissgluth erhitzt, zeigt bei Anwendung eines schwachen Inductionsstromes wie der Diamant eine bläulichgrüne Phosphorescenz. Ich habe die Kohle mikroskopisch untersucht, fand aber keine Diamanten, die ich wegen grüner Phosphorescenz vermuthete.

Ist die negative Elektrode eine kreisrunde Scheibe, so bedeckt sich dieselbe mit dem Glimmlichte an ihrer ganzen Oberfläche. Bei der starken Verdünnung ziehen sich die Entladungen mehr gegen die Ränder; man sieht aber im Innern der Röhre noch immer blaue Strahlen der Elektrodenmaterie, selbst bei glänzender Phosphorescenz der Glaswände. Beim Druck 0,03^{mm} und einem Inductionsstrom von 2^{cm} Funkenlänge gehen die Entladungen nur noch an den Rändern der Scheibe und längs der inneren Glaswand und die Phosphorescenzwirkung der Strahlen hat ihr Maximum erreicht, wobei im Innern der Röhre keine Lichterscheinung zu sehen ist.

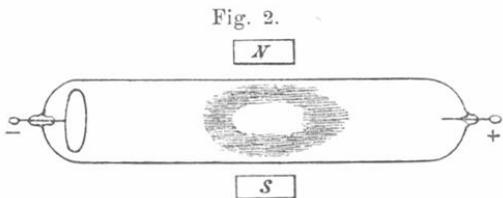
Darüber schreibt Herr Crookes: „Bei sehr starker Evacuierung aber verschwinden die Phänomene, welche man beim Durchgange des Inductionsfunkens in gewöhnlichen Vacuumröhren beobachtet — ein wolziger Lichtschein und Schichtung — vollständig. Weder Wolke noch Nebel irgend welcher Art erscheint in dem Raume der Röhre bei einem Vacuum, wie ich es bei diesen Experimenten anwendete; das einzige Licht, welches man beobachtet, ist das von der phosphorescirenden Oberfläche des Glases.“

Dieser Umstand mag vielleicht Herrn Crookes zur Annahme verleitet haben, dass durch den inneren Raum der Röhre, in welchem keine Materie wahrzunehmen ist, eine blosse „Energie strahlt“, dass hier „Materie und Kraft in einander überzugehen scheinen“.

Ueber die Richtigkeit obiger Behauptung, dass die Entladungen nur am Rande der Scheibe erfolgen und längs der Glaswand sich fort-

pflanzen, überzeugt man sich mit Leichtigkeit, indem man der Röhre von der Seite einen Hufeisenmagnet nähert.

Das Licht wird auf einer Seite angezogen, und man sieht einen Querschnitt des hohlen Strahlencylinders mit der Glaswand als einen



ovalen Phosphoreszenzring. Die Entladung längs der Glaswand zeigt in viel auffälliger Weise die elektrische Lampe, deren Beschreibung später folgen wird.

Bei der Entladung an der inneren Glaswand ist die äussere Oberfläche der Glasröhre sehr stark positiv elektrisch, und Pendel von dünnwandigen Glaskugeln von der Grösse einer Haselnuss werden aus Entfernungen von 1—2^{cm} angezogen und bleiben an der Glaswand haften.

Ist die Elektrode an einem elastischen Draht befestigt, so zittert sie heftig unter den Entladungen, und das flackernde Phosphoreszenzlicht, begleitet von einem zirpenden Geräusch, bietet ein herrliches Schauspiel. Dabei staut sich die Elektrizität in den Zuleitungsdrähten und entladet sich mit dem bekannten Geräusch unter Ozonbildung in die äussere Luft.

Von Interesse dürfte auch die Beobachtung sein, welche ich an vielen Röhren bei einem Drucke gemacht habe, bei welchem die Phosphoreszenz des Glases bereits erscheint, aber das Innere der Röhre noch schwache blaue Wolken strahlender Elektrodenmaterie durchfluthen. Wird die Glasröhre an der negativen Elektrode auf der vom positiven Pol abgewendeten Seite mit dem Finger oder einem Stanniolstreifen ableitend berührt, so verschwinden die blauen Wolken und die Röhre zeigt eine glänzende Phosphoreszenz. Die Berührung des zwischen der positiven und negativen Elektrode liegenden Röhrenstückes hat auf diese Lichterscheinung keinen Einfluss.

Bei anders geformten Gefässen findet man diese Ableitungsstelle auch zwischen der positiven und negativen Elektrode. Ist an dieser Ableitungsstelle die Glasröhre auch noch stark zusammengezogen, so gelingt es durch blosse Berührung mit dem Finger, den Strom von 4^{cm} Funkenlänge zu unterbrechen. Diese Beobachtung habe ich mehrmals gemacht, ohne dabei die gewöhnliche physiologische Wirkung der Inductionsströme wahrgenommen zu haben. Auf diese Erscheinung werde ich später noch zurückkommen.

Erwähnenswerth finde ich auch die beobachtete Thatsache, dass alle Körper, z. B. Glimmerblättchen, in den Weg strahlender Materie gebracht, bei grossen Verdünnungsgraden sehr stark elektrisch werden, so dass sie an Drähten oder Glaswänden haften bleiben; es muss daher bei Construction aller Apparate, in welchen bewegliche Theile angebracht werden sollen, auf diesen Umstand Rücksicht genommen werden.

Herr Crookes erklärt die Phosphorescenz mit den Worten, dass die strahlende Materie das Glas bombardirt, so dass dasselbe zu schwingen und zu leuchten beginnt, so lange die Entladung vor sich geht (S. 20).

Dagegen schreibt darüber Herr Hittorf Folgendes: »Wie ich in meiner ersten Mittheilung gezeigt, entstehen an dem kleinen Querschnitte (eines mit Glasröhre bis auf den letzten Querschnitt umgebenen Drahtes), wenn er negativ ist, sehr heisse, wenig leuchtende, aber Licht von hoher Brechbarkeit ausstrahlende Gastheilchen, welche sich gerade durch die ganze Röhre bis zur gegenüberliegenden Wand erstrecken und dieselbe phosphoresciren machen. Lässt man nun mit dem negativen Glimmlichte, das vom Querschnitt ausgeht, das Schwefelcalcium in Berührung kommen, so zeigen die getroffenen Stellen unter Erwärmung ein so intensives weisses Leuchten, dass es in dem nahe befindlichen Auge starke Nachbilder erzeugt.«¹⁾

Die strahlende Materie (Glimmlicht) würde somit auch nach der Ansicht des Herrn Hittorf aus Gastheilchen bestehen, und letztere hätten auch noch die Eigenschaft, Licht von hoher Brechbarkeit auszusenden und Phosphorescenz zu erzeugen.

Derselben Ansicht über die Ursache des Phosphorescenzlichtes ist auch Herr E. Goldstein²⁾.

Um die Richtigkeit dieser Hypothese zu prüfen, wurde in den Weg der Strahlen eine kreisrunde Aluminiumplatte gestellt, in welcher ein Ausschnitt von der Form eines Kreuzes mittels einer 4^{mm} dicken Quarzplatte bedeckt war. Wäre die erwähnte Annahme richtig, so müsste an der Glaswand im dunklen Grunde ein phosphorescirendes Kreuz entstehen; denn die Strahlen hoher Brechbarkeit müssten durch die Quarzplatte durchgehen und an der Wand Phosphorescenz erzeugen. Das Resultat ist jedoch, wie zu erwarten war, negativ ausgefallen.

Im Nachfolgenden werden zwei Apparate beschrieben, welche einige interessante Phosphorescenzerscheinungen zeigen.

¹⁾ Wied. Ann. Bd. 7 S. 586.

²⁾ Wien. Ber. 1879.

Das Glimmerblättchen in der Mitte der Kugel (Fig. 3) ist ungefähr 4^{cm} lang und 3^{cm} breit, und an der von der schalenförmigen Elektrode abgewendeten Seite mit Kreide überzogen. Wird zuerst die ebene Elektrode als negativer Pol verwendet, so wird der Kreideüberzug des Glimmerblättchens von den Strahlen direct getroffen und leuchtet mit einem sehr lebhaften orangefarbigem Phosphoreszenzlichte. Nach Unterbrechung des Stromes dauert das schwache Leuchten der Kreide noch einige Zeit. Wird aber nachher die schalenförmige Elektrode zum negativen Pol gemacht, so zeigt der Kreideüberzug zuerst einen sehr hellen Phosphoreszenzfleck, aus dem nach einigen Secunden sich ein Lichtring bildet, der immer grösser und grösser wird. Wenn nach abermaliger Unterbrechung des Stromes dieselbe Kathode wieder benutzt wird, so entsteht kein Phosphoreszenzfleck mehr; die Erscheinung zeigt sich aber wieder, wenn nach einigen Minuten der Kreideüberzug zuerst direct bestrahlt wird.

Die Erklärung dieser Erscheinung bietet keine Schwierigkeit. Die Kathodenstrahlen, welche die blanke Seite des Blättchens treffen, veranlassen nur indirect das Phosphoresciren der Kreideschichte, indem sie das Blättchen erwärmen. Die Phosphoreszenz wird von der Wärme von neuem angeregt, und indem die letztere von dem Brennpunkte aus im Glimmerblättchen sich nach allen Richtungen ausbreitet, werden immer grössere Kreise zu leuchten anfangen. Dieses Leuchten in Folge der Erwärmung dauert jedoch nur eine bestimmte Zeit, und es beginnt deshalb das Auslöschen zuerst im Brennpunkte der Kathodenstrahlen. Der Phosphoreszenzfleck bricht auf und bildet einen leuchtenden Ring, der an seiner äusseren Peripherie zu- und an der inneren abnimmt und auf diese Weise immer grösser wird.

Bei einer hohen Verdünnung und einem starken Inductionsstrome zeigt das Glimmerblättchen, wenn der Phosphoreszenzring vollständig auslicht, einen kleinen, runden und weisslichen Fleck, welcher durch theilweises Glühen des Glimmerblättchens entsteht.

Am besten gelingt der Versuch, wenn das Glimmerblättchen nur durch einen einzigen Blitz direct bestrahlt und nach ungefähr 50 bis 60 Secunden von rückwärts erwärmt wird. Der Versuch lässt sich auch umkehren. Man erwärmt zuerst das Glimmerblättchen von rückwärts 3—4 Secunden lang und bestrahlt nachher den Kreideüberzug mit einem Blitz. Es zeigt sich jetzt eine dunkle kreisrunde Scheibe auf hell phosphorescirendem Grunde und erklärt sich damit, dass die erwärmte Stelle die Phosphoreszenz sehr schnell verliert.

Dieser Apparat zeigt somit in einer eleganten Weise nicht bloss die Eigenschaft der selbstleuchtenden Körper, dass sie durch Erwärmen wieder zur Phosphorescenz angeregt werden können, wenn sie zuerst durch directe Bestrahlung selbstleuchtend gemacht wurden, nach abermaligem Erwärmen aber dunkel bleiben, sondern es lässt sich an demselben auch die Geschwindigkeit demonstrieren, mit der die Wärme in irgend einem Blättchen sich fortpflanzt.

Wird irgend ein Körper in den Weg der Kathodenstrahlen gebracht, so gibt er auf einer gegenüberliegenden Glaswand einen Schatten, was

Fig. 3.

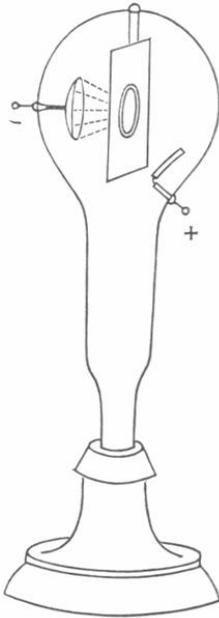
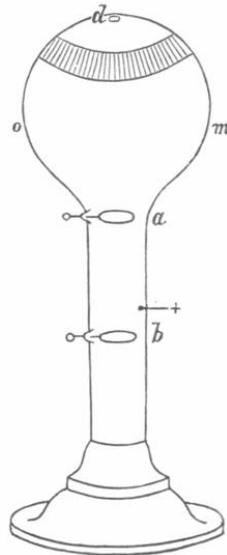


Fig. 4.



selbstverständlich ist, wenn die Strahlen aus bewegten Körpertheilchen bestehen, welche sich geradlinig bewegen. Da ferner viele dieser Theilchen auch mit einander zusammenstossen werden, so müssen einige derselben von der geraden Richtung der Strahlen seitwärts sich zerstreuen und eine wenn auch sehr schwache Phosphorescenz im Schatten des Körpers erzeugen. Die Phosphorescenz im elektrischen Schatten kann auch sehr lebhaft sein, wenn daselbst ein für die Phosphorescenz sehr empfindlicher Körper, etwa Diamant oder irgend eine Schwefelverbindung, sich befindet. Zur Demonstration dieser Phosphorescenz im elektrischen Schatten dient der Apparat Fig. 4.

Bei d ist ein Diamantsplitter mittels Gummi angeklebt und das Glimmerscheibchen a dient als schattengebender Körper. Die zwischen Glimmerscheibchen und Glaswand hindurchgehenden Strahlen erzeugen auf der Kugel einen hell phosphorescirenden Ring, in dessen Mittelpunkte, im Schatten des Glimmerscheibchens, auch der Diamantsplitter leuchtet, offenbar in Folge der von den Kathodenstrahlen seitwärts zerstreuten Elektrodentheilchen.

Zum Schluss will ich versuchen, für die Erscheinung der Phosphoreszenz eine Erklärung zu geben.

Im Sinne der im Folgenden noch näher zu besprechenden Aethertheorie der Electricität, nach welcher Franklin, Secchi, Edlund u. A. viele elektrische Erscheinungen zu erklären versuchten, haben die negativ elektrischen Elektrodentheilchen einen Mangel an Aether. Gewisse Theile der Glasröhre werden im Allgemeinen positiv, andere negativ elektrisch sein, oder vielleicht auch indifferent sich verhalten, d. h. sie haben entweder einen Ueberschuss oder Mangel an Aether, oder auch eine normale Aethermenge. Aus dem Zusammenprallen der negativ elektrischen Elektrodentheilchen mit den Glaswänden wird eine doppelte Wirkung resultiren. Erstens: In Folge der Stösse der mit grosser Geschwindigkeit heranfliegenden Theilchen gerathen die Glastheilchen in schwingende Bewegung, die sich als Wärme manifestiren wird. Zweitens: Zwischen den getroffenen Stellen und den anprallenden Elektrodentheilchen wird auch der relative Aetherüberschuss (Spannungsdifferenz) sich ausgleichen, wodurch die Aetherhüllen der Moleküle eine Erschütterung erfahren. Haben die getroffene Stelle und das anprallende Elektrodentheilchen gleiche Aethermengen, so findet kein Ausgleich und nur eine Erschütterung der Aetherhüllen statt, die desto energischer ist, je stärker die Entladungen des elektrischen Stromes vor sich gehen. Aehnlich wie eine ruhige Wasseroberfläche, von Regentropfen getroffen, in unzählige kleine Wellenbewegungen geräth, wird auch jede getroffene Stelle der Glaswand zum Mittelpunkt von Aetherwellen, welche wir als Phosphoreszenzlicht sehen. Wie ferner verschieden gespannte Saiten einer Aeolsharfe durch einen Luftstrom zum Schwingen veranlasst werden und jede von ihnen einen ihrer Spannung entsprechenden Ton gibt, so erglänzt auch jeder phosphorescirende Körper in dem ihm eigenthümlichen, durch seine innere Structur und Dichtigkeitsverhältnisse des Aethers bedingten Lichte. Wenn aber bei geringen Graden der Verdünnung die Elektrodentheilchen während ihrer Bewegung mit vielen Gasmolekülen zusammentreffen und, nachdem sie mit diesen ihre Aethermengen theilweise ausgeglichen, nachher die Glaswände treffen, so

werden letztere entweder gar nicht oder wenig phosphoresciren, dagegen werden die Aetherhüllen der getroffenen Gasmoleküle zum Schwingen angeregt und das Gas die ihm eigenthümliche Phosphorescenz zeigen. Die Lichterscheinungen der Gase in den Geissler'schen Röhren wurden irrthümlicherweise nach Plücker und Hittorf lange als ein Leuchten glühender Gase betrachtet. Genauere Untersuchungen des Herrn Hittorf¹⁾ haben indessen ergeben, dass wir hier bloss mit Phosphorescenzerscheinungen zu thun haben. Diesbezügliche Versuche des Herrn E. Wiedemann ergaben, dass die Temperatur des leuchtenden Gases in der von ihm benutzten Röhre unter 60° C. sein musste.

Wird die Röhre einer starken Phosphorescenz wenigstens eine Minute lang ausgesetzt, so zeigt sie im vollkommen dunklen Zimmer nach der Unterbrechung des Stromes ein lang (5—6 Minuten) andauerndes weissliches Nachleuchten.

Es sei hier noch bemerkt, dass auch beim Losreissen der Elektrodentheilchen die Aetherhüllen erschüttelt werden und daher auch die herausfahrenden Elektrodentheilchen schon, bevor sie mit Gastheilchen oder Wänden zusammenprallen, leuchten müssen. Auf diese Weise erklärt sich, dass der »dunkle Raum« nicht absolut, sondern relativ dunkel ist, indem die Elektrodentheilchen selbst blau phosphoresciren.

Geradlinige Fortpflanzung strahlender Elektrodenmaterie und Schatten bestrahlter Körper.

Die von Herrn Crookes beobachtete Eigenschaft strahlender Elektrodenmaterie, dass sich dieselbe in gerader Richtung bewegt und die von ihr bestrahlten Körper auf die gegenüberliegende Glaswand einen Schatten werfen, ist auch von Herrn Hittorf bereits erkannt worden. Die geradlinige Bewegung hat er mittelst einer rechtwinklig gebogenen Röhre nachgewiesen²⁾, und über den Schatten schreibt er Folgendes: »Jeder feste oder flüssige Körper, er sei Isolator oder Leiter, welcher vor der Kathode sich befindet, begrenzt das Glimmlicht, welches zwischen ihm und letzterer liegt; es findet keine Abiegung aus der geraden Richtung statt. Befindet sich unter solchen Verhältnissen irgend ein Gegenstand in dem mit Glimmlicht erfüllten Raume, so wirft er einen scharfen Schatten auf die fluorescirende Wand, indem er eben den Lichtkegel, der von der Kathode als Spitze um seine Oberfläche geht, davon ausschliesst.«

¹⁾ Wied. Ann. Bd. 7, S. 580.

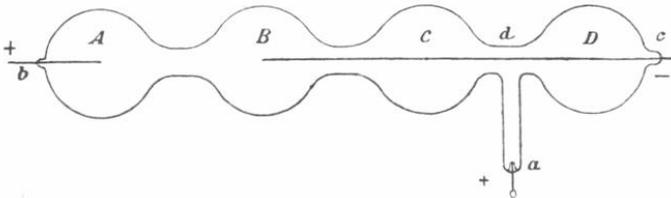
²⁾ Pogg. Ann. Bd. 136, S. 8.

An derselben Seite wird noch bemerkt: „Geschieht die Ausbreitung des Glimmens von den Punkten der Kathode geradlinig, so muss sie unabhängig von der Richtung des positiven Lichtes sein.“

Bei hohen Graden der Verdünnung ist die Ausstrahlung der Elektrodenmaterie indessen, wie ich schon öfters beobachtet habe, auf der der Anode zugewendeten Seite der negativen Plattenelektrode stärker als auf der abgewendeten. Ausserdem sucht die Ausstrahlung eine Kathodenstelle, welche der Anode am nächsten liegt.

In einer Kugelröhre von der in Fig. 5 dargestellten Form, in welcher eine Elektrode *c* ungefähr 15^{cm} lang war, wurde bei einer bestimmten Verdünnung die Phosphoreszenz der Glasröhre längs der ganzen Strecke der Elektrode *c* gesehen, und zwar unabhängig von der Lage der positiven Elektroden *a* und *b*. Bei grösserer Verdünnung zog sich die Phos-

Fig. 5.



phoreszenz in die Kugeln *B* und *C* und zuletzt in *B* allein zurück, wenn der positive Pol bei *b* war. Wurde *a* zum positiven Pol gemacht, so verschwand die Phosphoreszenz in *B* und die der Anode *a* zunächst gelegene Stelle *d* der Verbindungsröhre zeigte einen sehr hellen Phosphoreszenzleck.

An dieser Röhre beobachtete ich auch sehr scharfe, abwechselnd dunkle und hell phosphorescirende Linien, die um die Elektrode als Achse schraubenförmig schief gewunden die Glaswand so weit bedeckten, als die Elektrode reichte.

Als ich einen Draht von ungefähr 4^{cm} Länge, der 20mal um seine Achse gedreht wurde, als negative Elektrode verwendete, erhielt ich an der Kugeloberfläche *A*, so weit als die Elektrode reichte, eine Anzahl heller und dunkler kreisförmiger, zu einander paralleler Linien, deren Ebenen auf der Elektrode senkrecht standen. Ich vermuthete daher, dass diese Linien in Folge mikroskopisch kleiner Unebenheiten an der Oberfläche des Drahtes entstehen.

Der Abdruck einer Münze auf der Platinfolie zeigte jedoch, als Elektrode verwendet, nur ein sehr undeutliches und verschwommenes Bild.

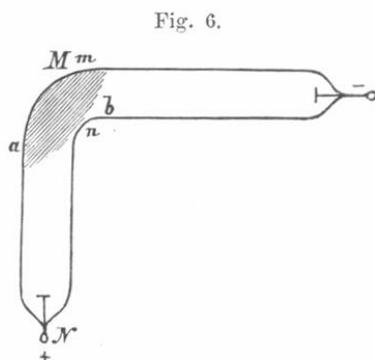
Besteht die strahlende Elektrodenmaterie, welche die Phosphorescenz verursacht, aus materiellen Theilchen, so ist nicht einzusehen, warum dieselben an der Wand im Allgemeinen keine Reflexion erfahren, somit auch um die Ecke nicht biegen sollten. Dass in Fällen, in welchen die Elektrodentheilchen an der Glaswand sich niederschlagen, keine Reflexion stattfindet, ist selbstverständlich; da aber das Aluminium keinen oder wenigstens nur einen sehr schwachen Niederschlag bildet, der höchst wahrscheinlich von anderen im Aluminium enthaltenen Metalltheilchen herrührt, so wird hier die Elektrodenmaterie auch um die Ecke biegen und die gebogenen Röhrentheile als blaues Licht erfüllen. Eine Reflexion und Ablenkung von der geraden Richtung muss auch bei Platin- und anderen Metalltheilchen stattfinden, wenn dieselben mit einer sehr grossen Energie anprallen, welche nach dem Stosse die Anziehungskräfte der Glaswände auf das Metalltheilchen überwinden kann. Die so reflectirte Materie wird aber durch neuen Zusammenstoss mit der Glaswand nur eine schwache Phosphorescenz veranlassen, weil ihre Theilchen die elektrischen Ladungen schon grösstentheils ausgeglichen und auch an Energie ihrer Molekularbewegung etwas eingebüsst haben.

Die Elektrodentheilchen werden vor oder nach ihrer Reflexion in einer oder nach allen möglichen Richtungen sich bewegen, wenn ihre Geschwindigkeit gross, beziehungsweise klein ist, was grösstentheils nach der Reflexion der Fall sein wird.

Wir wollen an dieser Stelle noch eine Phosphorescenzerscheinung erklären, welche Herr Goldstein missverstanden hat und sich zu der Behauptung verleiten liess, dass das Anodenlicht wenigstens bei sehr geringen Dichten dieselben Eigenschaften habe, wie das Kathodenlicht, nämlich eine geradlinige Ausbreitung und Phosphorescenzwirkung.

Wie er dazu gelangte, ersehen wir aus Folgendem:

Wenn das positive Licht ein stark evacuirtes, gebogenes Cylinderrohr erfüllt, so beobachtet man an der äusseren Biegung eine helle Phosphorescenzfläche, ein Halboval von parabolischem Umriss. Der scharf begrenzte Scheitel a ist nach dem positiven Ende des Rohres gekehrt. An der entgegengesetzten, der Kathode zugewendeten Seite b verliert sich die Begrenzung. Die Fläche reicht mit ihrem scharf begrenzten Ende ein wenig nach



der positiven Seite über die Verlängerung der Wände des negativen Schenkels hinaus.

Bringt man an dem Entladungsrohr mehrere Biegungen an, so tritt an der äusseren Seite einer jeden Biegung eine ähnliche Phosphoreszenzfläche auf. Daraus geht nach Goldstein's Ansicht hervor, dass nicht die Kathodenstrahlen, sondern das positive Licht selbst die Phosphoreszenz hervorbringt, denn die Kathodenstrahlen könnten »höchstens ein Leuchten an der ersten Biegung veranlassen, über die erste Biegung, ihrer geradlinigen Ausbreitung halber, aber nicht hinausreichen«.

Passend angebrachte Drähte geben auf der phosphorescirenden Wand scharfe Schatten, und die Lage derselben zeigt an, dass die Phosphoreszenz durch Strahlen erregt wird, welche »sich sehr nahe der Röhrenwand parallel von der Seite der Kathode her nach der positiven Seite hin ausbreiten«.

Durch Versuche mit mehrfach gebogenen Röhren gelangte Goldstein zu folgendem Resultate: »Das positive Licht stark verdünnter Gase besteht aus geradlinigen Strahlen, die sich von der negativen nach der positiven Seite fortpflanzen. Die Strahlen bilden ein schwach konisches Büschel, dessen Achse die Mittelachse des Cylinderrohres ist; wo dieses Büschel die Gefässwand schneidet, erregen die der Wand unmittelbar anliegenden Theile der Strahlen in ihr Phosphoreszenzlicht«.

Wie leicht einzusehen ist, hat die Phosphoreszenzerscheinung eine andere Ursache. Der Längsschnitt des positiven Schenkels MN ist als eine Erweiterung des letzten Querschnitts mn des negativen Schenkels zu betrachten, es muss daher am letzten Querschnitt mn , ebenso wie an der Spitze einer Trichterröhre, negatives Licht entstehen. Dieses Licht breitet sich geradlinig in den Raum vom grösseren Querschnitt aus und erzeugt an der gegenüberliegenden äusseren Biegung die Phosphoreszenzerscheinung. Da die Kathodenstrahlen sich gegenseitig abstossen, so ist damit auch das »konische« Büschel erklärt.

Hat sich die Röhre in der Nähe der negativen Elektrode mit einem starken Metallspiegel beschlagen, so übernimmt sie bei grosser Verdünnung die Rolle einer Elektrode. Die Entladungen des Stromes gehen von der Elektrode zur Spiegelfläche und von dieser in das Innere der Röhre. Da' aber Elektrodentheilchen an der Glaswand nur lose hängen, so werden sie durch die anprallenden Metalltheilchen bis zur Rothgluth erhitzt und verflüchtigt, theils durch diese Wärmebewegung, theils mechanisch durch Entladungen, die aus der Glaswand in das Innere der Röhre erfolgen. Ist der Strom stark (8 cm F. L.), so sieht man von den Spiegelwänden

unter prasselndem Geräusch rothe feurige Strahlen senkrecht zur Oberfläche gegen die Mitte der Röhre hervorschiessen und die Röhre wird von Zeit zu Zeit vom blauen Glimmlichte durchfluthet unter gleichzeitigem Verschwinden der Phosphorescenz des Glases. Am besten eignen sich dazu Platinelektroden, weil sie sehr starke Spiegel geben.

Wie bereits erwähnt, geben die Körper, welche von Elektrodenmaterie bestrahlt werden, auf der phosphorescirenden Glaswand einen Schatten. Wird der Körper umgeworfen, so erscheint an der Stelle des Schattens eine viel höhere Phosphorescenz, und so sieht man ein helles Bild auf weniger hellem Grunde. Herr Crookes gibt dafür eine mehr physiologische als physikalische Erklärung, indem er sagt, dass durch das Bombardement der Moleküle strahlender Materie das Glas unempfindlich und „der aufgezwungenen Phosphorescenz müde“ wird. Indessen glaube ich die Ursache darin suchen zu sollen, dass nach mehrmaligem Experiment die Glaswand sich wirklich mit Metalltheilchen beschlägt und daher die Phosphorescenz schwächer wird. Auch in Folge starker Erwärmung der Glaswand muss die Phosphorescenz abnehmen. Eine schwache Erwärmung würde die Phosphorescenz nur noch lebhafter machen.

In dem in Fig. 7 dargestellten Apparate ist auf einer Seite der plattenförmigen Elektrode von Aluminium eine Glimmerscheibe aufgehängt, aus welcher ein Stern ausgeschnitten ist. Der letztere ist in einiger Entfernung auf der gegenüberliegenden Seite der Elektrode angebracht, und man sieht bei Bestrahlung mittelst Elektrodenmaterie einen hellen Stern auf dunklem Grunde und auf der gegenüberliegenden Wand einen dunklen Stern auf hellem Grunde.

Fig. 7.

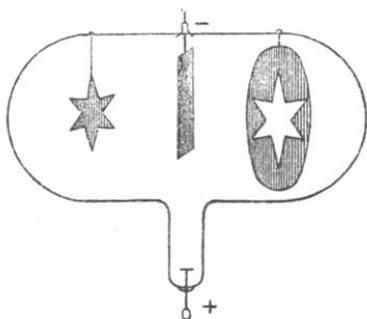


Fig. 8.



Wird der Versuch in der Weise angestellt, dass, während der Strom geschlossen wird, gleichzeitig ein Magnet die Strahlen ablenkt, so werden die Strahlen auch um die Ränder schief einfallen und auch dunkle Stellen

der Glaswand treffen. Man sieht gleichzeitig scharfe Conturen eines helleren und wenig hellen Sternes, die sich theilweise decken (Fig. 8). Die Umkehrung der Schatten beruht somit nicht auf der »Unempfindlichkeit« für die Stösse, sondern darauf, dass die Glaswand im Schatten noch rein erhalten, dagegen an exponirten Stellen mit Metalltheilchen überzogen ist.

Wärme- und Lichtwirkung strahlender Elektrodenmaterie.

Ist eine plattenförmige Elektrode gekrümmt, so werden die senkrecht zur Oberfläche derselben herausfahrenden Theilchen, je nach der Art der Krümmung, in einer Brennlinie oder einem Brennpunkte zusammentreffen. Die Vereinigungspunkte liegen jenseits der Krümmungsmittelpunkte der Fläche. So bestimmte ich experimentell die Lage des Vereinigungspunktes bei einer kugelförmigen Schale vom Durchmesser r zu $1.7 r$ Entfernung von derselben. In diesen Vereinigungspunkten der Strahlen prallen die Elektrodenheiligen mit grosser Heftigkeit zusammen und ein grosser Theil der Energie ihrer fortschreitenden Bewegung wird in Atombewegung umgewandelt. Es entsteht daselbst eine so grosse Wärmebewegung, dass selbst schwer schmelzbare Metalle schmelzen. Herr Crookes hat auf diese Weise Iridio-Platin und Glas geschmolzen. Aber auch diese Schmelzversuche hat Herr Hittorf in seiner zweiten Mittheilung bereits beschrieben ¹⁾. Derselbe experimentirte mit drahtförmigen Elektroden. In einem Abstände von $1-2^{\text{mm}}$ von der negativen Elektrode erglühte und schmolz zu einer Kugel der positive Platindraht. Dass dieser Schmelzversuch beim grösseren Abstände nicht gelingen konnte, ist selbstverständlich; denn die elektrischen Theilchen stossen sich gegenseitig ab und zerstreuen sich in grösserem Abstände vom punktförmigen Elektrodenende.

Es lag der Gedanke nahe, mittels strahlender Elektrodenmaterie einen festen Körper zum Weissglühen und Leuchten zu bringen und dieselbe für eine Lampe zu verwerthen. Es ist mir auch gelungen, eine derartige Lampe zu construiren, welche ein sehr schönes und helles Licht gibt und, wenn auch wegen der Kleinheit der Lichtquelle für praktische Zwecke noch zu wenig geeignet, jedenfalls ein schönes Experiment bleiben wird ²⁾.

¹⁾ Pogg. Ann. Bd. 136 S. 210 u. 211.

²⁾ P. S. Nachdem Spotiswoode einen Funkeninductor construirte, welcher meterlange Funken gibt, so wird es möglich sein, auch grössere Kohlenstücke zum Glühen zu bringen und die Lampe zu Beleuchtungszwecken zu verwenden.

Die Lampe (Fig. 9) hat die Form eines Glaskolbens und ist mit einer kugelförmigen Aluminiumschale von 21^{mm} Halbmesser, die als negative Elektrode dient, versehen. In einer Entfernung von 36^{mm} von derselben befindet sich ein kleiner Kegel von Papierkohle, welcher mittels dicken Platindrahtes und einem Glasstabe an die scheibenförmige positive Elektrode befestigt ist.

Ein sehr sorgfältig verkohltes und selbst bis zur Weissgluth erhitztes Papier enthält, nachher abgekühlt, noch sehr viel ocludirte Gase, und es muss daher viele Stunden lang unter gleichzeitiger Anwendung starken Inductionsstromes von ungefähr 10—12^{cm} Funkenlänge gepumpt werden, um dieselben zu entfernen und die Kohle allmählich bis zur Rothgluth und nachher bis zur Weissgluth zu erhitzen. Interessant ist es dabei das Spectrum zu beobachten, welches Strahlen von desto grösserer Brechbarkeit zeigt, je stärker die Kohle glüht. In der Weissgluth zeigt sie ein ganz continuirliches Spectrum. Umgibt man die Lampe mit einer

Fig. 9.

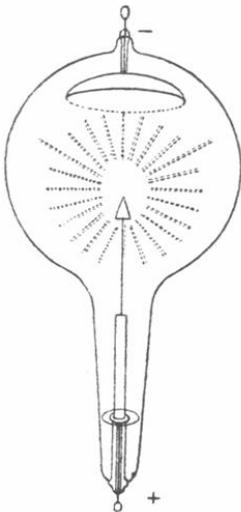
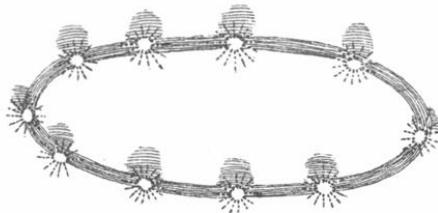


Fig. 10.



Milchglasglocke und ist die Kohle dünn, so merkt man ein schwaches Flackern des diffusen Lichtes. Wird die punktförmige Lichtquelle in einem Spiegel, den man um eine seiner Kanten mit der Hand schwingt, betrachtet, so sieht man (Fig. 10) ein ellipsenförmiges rothes Band, welches an einzelnen Stellen sehr glänzende Bilder der in Weissgluth aufblitzenden Kohle zeigt, umgeben auf einer Seite mit blauem Glimmlichte.

Das Weissglühen einer dünnen Papierkohle ist somit nicht continuirlich, sondern intermittirend; sie erglöh bis zur Weissgluth und er-

löscht bis zur Rothgluth bei jeder Entladung des Inductionstromes. Die Kohle zeigt selbst nach längerem Gebrauch nicht die mindeste Zerstörung oder Abnützung.

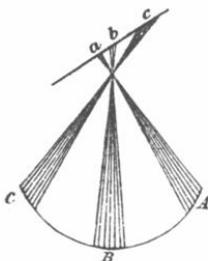
Wird eine so ausgelöhte Kohle durch Entladungen eines schwachen Inductionstromes (2^{cm} F. L.) bestrahlt, so zeigt sie an ihrer Oberfläche die bereits erwähnte bläulichgrüne Phosphorescenz des Diamantes.

Eine grössere Kohle wird nur an der Stelle ausgelöht, auf welche der Vereinigungspunkt der Strahlen fällt. Wird der Vereinigungspunkt mittels eines Magnetstabes auf eine andere Stelle der Kohle verschoben, so entwickelt sich augenblicklich so viel Gas, dass die Lampe auslöscht und die Kohle nur noch roth glüht.

Für diesen Versuch braucht die Verdünnung nur ungefähr $0,04^{\text{mm}}$ zu sein, bei welchem Drucke die schönste Weissgluth sich erhält. Bei weiterer Verdünnung nimmt die Lichtintensität ab und die Phosphorescenz der Glaswand zu. Erfolgt die Entladung des Inductionstromes längs der Glaswand, dann erlischt das Licht, die Lampe erglänzt in einem sehr schönen grünen Phosphorescenzlichte und der Kohlenkegel glüht nur ganz schwach an der Spitze. Bei noch grösserer Verdünnung glüht die Kohle gar nicht, alle Strahlen gehen längs der Glaswand und erzeugen eine brillante Phosphorescenz.

Die Entladungen längs der Glaswand sind gewöhnlich von knistern-dem Geräusch und nicht selten von starkem Flackern oder vielmehr wirbelartigem Hin- und Herwogen des Phosphorescenzlichtes begleitet; das erstere rührt von den schwachen Entladungen, welche an den Drähten und Wandungen des Glases in die Luft erfolgen, und auch von den zitternden Bewegungen der Elektroden, das letztere dürfte darin seinen Grund haben, dass die Entladungen um gewisse Stellen der Kathode schwanken.

Fig. 11.



Um grössere Kohlenstücke zum Glühen zu bringen, wurde in der Brennlinie einer zylindrischen Aluminiumelektrode von 20^{mm} Halbmesser ein Blättchen aus verkohltem Papier unter 45° gegen die Verticale befestigt.

Eine zylindrische Elektrode wurde aus einem $3,2^{\text{cm}}$ breiten und $2,5^{\text{cm}}$ langen Aluminiumblech gewickelt. Da die Kohle nicht genau in der Brennlinie fixirt wurde, so entstanden drei Brennlinien, welche auf die Weise zu erklären sind, dass die Entladungen des Stromes (10^{cm} F. L.) nicht auf der ganzen Oberfläche der Elektrode gleichmässig

vertheilt waren, sondern an drei Stellen *A, B, C* (Fig. 11) erfolgten, was auch aus der Phosphoreszenzerscheinung an den Glaswänden zu ersehen war.

Wurde der Strom unterbrochen, so verschwanden augenblicklich die rothglühenden Brennlinien. Dieses, sowie das erwähnte Auslöschen der weissglühenden Kohle bis zur Rothgluth, beweist, dass bei diesem hohen Grade der Verdünnung, bei welchem die Wärmeleitung der Gase nur gering sein kann, die Wärmestrahlung sehr bedeutend sein muss, dass somit die aus den Versuchen gewonnenen Wärmeleitungsconstanten nicht bloss als das Mass der Wärmeleitung der Gase, sondern auch einer nicht geringen Wärmestrahlung im luftleeren Raume betrachtet werden müssen.

Elektrostatische und elektrodynamische Wirkung strahlender Elektrodenmaterie.

Die Wechselwirkung zwischen dem Glimmlichte und dem Magnet ist schon von Plücker und in sehr eingehender und genauer Weise von Herrn Hittorf untersucht worden, daher kann uns auch in dieser Beziehung die Crookes'sche Arbeit bis auf die Folgerung, die er aus seinen Versuchen gezogen hat, der ich jedoch nicht beipflichten kann, nichts Neues bieten.

Herr Crookes gibt zu, dass in wenig stark verdünnten Räumen die Entladung von einem Pol zum andern geht, „einen elektrischen Strom bildend, der sich ähnlich einem biegsamen Draht verhält“, bestreitet aber, dass der Strom strahlender Elektrodenmaterie vom negativen Pol einen elektrischen Strom mit sich führt.

Einen Beweis dafür glaubt Herr Crookes damit erbracht zu haben, dass er zwei Ströme strahlender Elektrodenmaterie neben einander an einem phosphorescirenden Schirm erzeugt und nachweist, dass sie sich gegenseitig abstossen. Dann heisst es: „Wenn nun die Ströme strahlender Materie elektrische Ströme enthalten, so wirken sie wie zwei parallele, gleichgerichtete Ströme auf einander und ziehen sich nach Ampère's Gesetz an; bestehen sie aber einfach aus negativ elektrischen Molekeln, so werden sie einander abstossen.“¹⁾

Die Wahrheit liegt in der Mitte. Wie bereits oben erwähnt worden ist, besteht die strahlende Elektrodenmaterie aus negativ elektrisch ge-

¹⁾ Strahlende Materie S. 31.

ladenen Theilchen, welche, mit sehr grosser Geschwindigkeit in gerader Richtung sich bewegend, die Elektrizität convectiv fortführen und die Stromleitung zwischen beiden Polen vermitteln. Wären zwei solche mit statischer Elektrizität geladene Theilchen in Ruhe, so müssten sie sich gegenseitig nach dem Coulomb'schen Gesetz abstossen; werden sie aber durch irgend eine Ursache in eine gleichgerichtete Bewegung versetzt, so ist nicht einzusehen, warum sie während dieser Bewegung sich gegen einander anders verhalten sollten. Je zwei nach gleicher Richtung sich bewegend negativ elektrische Theilchen, somit auch zwei parallele Ströme strahlender Materie, werden sich daher nach dem Coulomb'schen Gesetz abstossen, zum Unterschied von den galvanischen Strömen, welche nach dem Ampère'schen Gesetz sich gegenseitig anziehen.

Es sei hier noch bemerkt, dass auch zwei Ströme strahlender Elektrodenmaterie höchst wahrscheinlich sich gegenseitig anziehen würden, wenn die Geschwindigkeit der Bewegung der Elektrodenheilchen von derselben Ordnung wäre, wie jene der Elektrizität in festen Leitern. Bei geringer Geschwindigkeit wird die elektrodynamische Wirkung durch die elektrostatische überwunden. Bei der Wechselwirkung galvanischer Ströme verschwindet umgekehrt die elektrostatische Abstossung gegen die elektrodynamische Anziehung, ist aber nicht gleich Null, wie es die Versuche des Herrn Herwig zeigen¹⁾. Derselbe fand, dass die elektrodynamische Anziehung zweier Rollen verschieden ist, je nachdem beide in demselben Stromkreise nahe an demselben Pol oder an verschiedenen Polen eingeschaltet waren. Die elektrodynamische Anziehung ist im ersten Fall etwas kleiner als im zweiten. Im ersten Fall sind die Rollen mit gleichnamiger freier Elektrizität geladen und die elektrodynamische Anziehung wird durch die elektrostatische Abstossung geschwächt, im letzteren Fall summiren sich beide Wirkungen, weil die elektrostatischen Ladungen beider Rollen ungleichnamig sind.

Dass die Ströme strahlender Elektrodenmaterie nichtsdestoweniger wirkliche elektrische Ströme darstellen, beweist ihr elektromagnetisches Verhalten, welches dieselben Gesetze befolgt wie die Wirkung galvanischer Ströme. Die gegenseitige Abstossung zweier Ströme strahlender Elektrodenmaterie kann nur als ein sicherer Beweis dafür gelten, dass der elektrische Strom durch Fortführung elektrisch geladener Theilchen entsteht und dass wir hier den Fall einer elektrischen Convection molekularer Leiter

¹⁾ Pogg. Ann. Bd. 149.

haben, analog jener elektrischen Convection körperlicher Leiter, welche, wie die schönen Versuche von Herrn Rowland beweisen, elektrodynamisch genommen, gleichwerthig ist der Strömung der Elektrizität in den Leitern selbst.

Dass auch für die Convection molekularer Leiter dieselben Gesetze gelten werden wie für jene der körperlichen Leiter, darüber dürfte kaum Jemand zweifeln. Jedes mit statischer Elektrizität geladene Elektroden-theilchen, welches in fortschreitender Bewegung begriffen ist, wird sich gegen einen Magnetpol ebenso verhalten, wie ein mit der Bewegungsrichtung positiv geladener Theilchen gleichgerichteter, oder der Bewegungsrichtung negativ geladener Theilchen entgegengesetzt fließender, positiver elektrischer Strom. Jedes elektrische Theilchen, das eine gewisse Strecke durchfliegt, stellt uns einen in Wirklichkeit vorhandenen »Elementarstrom«, den wir bis jetzt als eine mathematische Grösse unseren elektrodynamischen Rechnungen zu Grunde gelegt haben.

Da in dem evacuirten Raume, wie wir bereits erkannt haben, die Elektrodentheilchen negativ elektrisch sind und sich vom negativen zum positiven Pol bewegen, so ist nach dem Obigen die Wirkung des durch moleculare Convection erzeugten Stromes auf einen Magnetpol dieselbe, wie ihn ein gegen die Bewegung der negativ geladenen Theilchen, also vom positiven zum negativen Pol fließender positiver elektrischer Strom erzeugen würde.

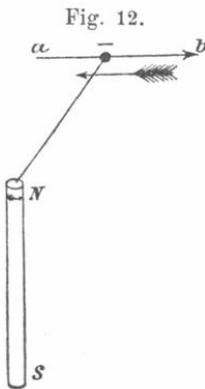
Auch bin ich davon fest überzeugt, dass die hier angeführten Gesetze durch Versuche sich bestätigen lassen werden. Beispielsweise müsste ein durch eine Röhre fließender elektrischer Dampfstrom eine Magnetnadel in einer Weise ablenken, wie sie sich aus dem Obigen ergibt. Diesbezügliche Versuche hoffe ich in Kurzem ausführen zu können und erlaube mir an dieser Stelle noch die Bemerkung zu machen, dass ich in meiner Ueberzeugung von der Richtigkeit obiger Anschauung auch durch einen Versuch des Herrn Donato Tomasi¹⁾ bestärkt bin, welcher einen Eisen-cylinder magnetisch machte, indem er einen Dampfstrom von 5—6 Atmosphären Druck durch eine um den Cylinder spiralförmig gewundene Kupferröhre von 2—3^{mm} Durchmesser streichen liess.

Zu einer diesbezüglichen Notiz in den Annalen machte Poggen-dorff die Bemerkung: »Zum Gelingen dieses Versuches müssen aber wohl die Bedingungen erfüllt sein, welche Faraday als nothwendig zur gehörigen Elektrisirung des Dampfstromes bezeichnet hat.«

¹⁾ Pogg. Ann. Bd. 155 S. 176.

Dass Herr Tomasi die elektrische Convection molekularer Leiter beobachtete, halte ich für sehr wahrscheinlich.

Legen wir durch die Bewegungsrichtung ab des negativ elektrischen Elektrodentheilchens und den Magnetpol N eine Ebene — es sei die Papierebene —, so repräsentirt uns das Theilchen während seiner Bewegung einen positiven Elementarstrom in der entgegengesetzten Richtung, welche durch den unteren Pfeil angegeben ist, und nach dem Laplace'schen Gesetz ist die Wechselwirkung zwischen dem Elementarstrom und dem Nordpol durch ein Paar von Kräften normirt,



welche auf der Ebene abN senkrecht stehen und deren Intensität dem Quadrate der Entfernung zwischen beiden umgekehrt, sowie dem Sinus des Winkels, den die augenblickliche Bewegungsrichtung ab mit der Polrichtung bildet, direct proportional ist.

Nach der Ampère'schen Regel lässt sich ferner bestimmen, nach welcher Seite von der erwähnten Ebene (abN) das Theilchen abgelenkt wird. Ist der Pol nordmagnetisch, so wird das Elektrodentheilchen für den Beobachter, der gegen den Pol schaut und mit dem imaginären positiven elektrischen Strome schwimmt, nach rechts abgelenkt.

Bewegt sich dagegen der Beobachter des Nordpols mit dem Elektrodentheilchen in gleicher Richtung, so wird das letztere nach links abgelenkt.

Da ferner für einen endlichen Magnet die Tangente an die magnetische Curve, welche durch das Elektrodentheilchen geht, die Richtung nach dem Pol darstellt, so steht die Kraft, welche das Elektrodentheilchen ablenkt, senkrecht auf der Ebene, welche durch die Bewegungsrichtung des Theilchens und die magnetische Curve seines augenblicklichen Ortes gelegt werden kann.

Aus den Gesetzen elektrischer Convection der Molekularbewegung lassen sich, mit Zuhilfenahme der Ampère'schen Regel, alle Wechselwirkungen zwischen dem Magnet und einem Strome Elektrodenmaterie erklären und vorausbestimmen.

Es sollen hier einige einfache Fälle näher erörtert werden.

1. Der Magnetpol n und das Elektrodentheilchen m , welches sich nach rechts mit einer sehr grossen Geschwindigkeit in der Richtung des Pfeiles bewegt, befinden sich in der Papierebene. Der Pol ertheilt dem Theilchen eine kleine Geschwindigkeit unter die Papierebene oder

auf die linke Seite des Beobachters, der auf dem Elektrodenthcilchen sitzt und gegen den n -Pol schaut. Das Theilchen wird sich mit der resultirenden Geschwindigkeit mr unter die Papierebene bewegen und von der ursprünglichen Richtung desto stärker abweichen, je stärker die magnetische Wirkung und je kleiner die Geschwindigkeit ist, mit der das Theilchen von der Elektrode fortgeschleudert wird. Beim Südpol wird die Bewegungsrichtung vor die Papierebene fallen.

Fig. 13.

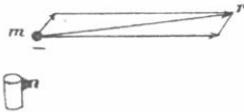
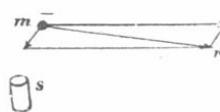


Fig. 14.



2. Magnetpol N und ein Querschnitt der Röhre, aus welchem die Theilchen in normaler Richtung zu demselben herausfahren, befinden sich in der Papierebene. Jedes Theilchen erhält eine Ablenkung in der Richtung

Fig. 15.

Aus

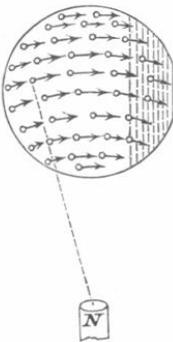
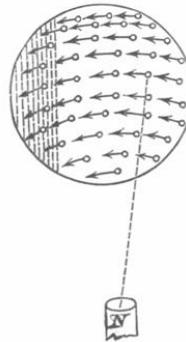


Fig. 16.

In



der kleinen Pfeile, daher wird das Licht auf eine Seite zusammengedrängt. In der Fig. 16 bewegen sich die Theilchen normal unter die Papierebene, daher kehren sie ihre Bewegungsrichtungen um. Beim Südpol werden die Lichterscheinungen in beiden Fällen sich umkehren.

Fig. 17.

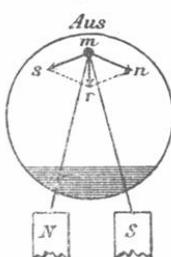
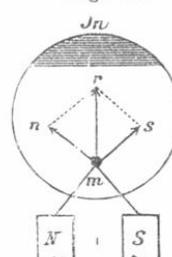
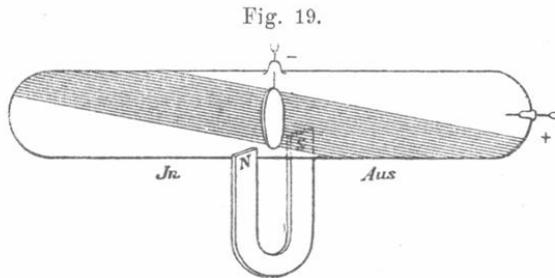


Fig. 18.



3. Nach dem Vorhergehenden sind die nachfolgenden Zeichnungen leicht verständlich. Die Wirkung beider Pole ertheilt dem Elektrodentheilchen im ersten Falle eine resultirende Geschwindigkeit mr nach unten, im zweiten Falle nach oben. Es werden somit die Theilchen im ersten Falle nach unten, im zweiten nach oben, von ihrer ursprünglichen Bewegungsrichtung abgelenkt.

Fig. 19 veranschaulicht beide Fälle in einer Röhre, in welcher aus der scheibenförmigen Elektrode die Theilchen nach entgegengesetzten Richtungen fortgestossen werden.



4. Ist die anfängliche Geschwindigkeit der Elektrodentheilchen klein, wie es beim grösseren Drucke im dunklen Raume des Glimmlichtes der Fall ist, so wird ein aus der Elektrode herausfahrendes Theilchen von der ursprünglichen Richtung sehr stark abgelenkt und, da die Wirkung des Magnetes eine stetige ist, die Richtung der Bahn des Theilchens stets geändert. Das Theilchen bewegt sich je nach der Lage seiner Bewegungsrichtung gegen die Kraftlinien des Magnetes in Curven einfacher oder

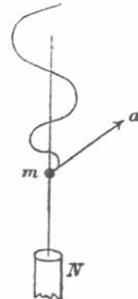
Fig. 20.



Fig. 21.



Fig. 22.



doppelter Krümmung. In Fig. 20 wird das Theilchen m in einer zur Kraftlinie mN senkrechten Richtung ma fortgeschleudert und rotirt im Sinne des Molecularstromes des Poles, so dass die Rotationslinie auf der

Kraftlinie senkrecht steht. Bildet die Anfangsgeschwindigkeit mit der Kraftlinie einen spitzen oder stumpfen Winkel, so bleibt der Sinn der Drehung derselbe, aber die Rotationsebene ändert sich stetig, und es entsteht eine Bahn doppelter Krümmung, welche nach unten wegen zunehmender magnetischer Wirkung stärker gekrümmt ist.

5. Aus einer punktförmigen Elektrode werden die Theilchen in divergirenden Richtungen fortgeschleudert und winden sich bei Annäherung des Nordpols um einen Kegel, dessen Spitze gegen den Nordpol gekehrt ist und dessen Achse mit der Kraftlinie der punktförmigen Elektrode zusammenfällt. Hierin liegt die Erklärung der schönen Lichterscheinungen im Glimmlicht, die Herr Hittorf unter Einwirkung starker Magnete erhält. Ich erlaube mir hier die Zeichnung seiner Versuche aufzunehmen, welche die drei oben besprochenen Fälle darstellen.

Fig. 23.

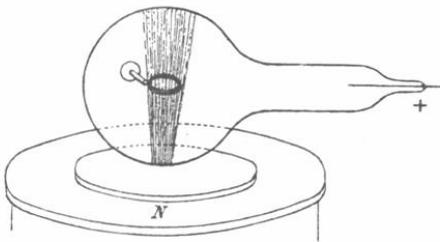


Fig. 24.

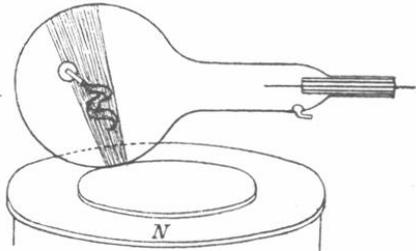
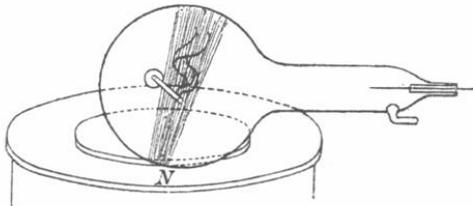


Fig. 25.

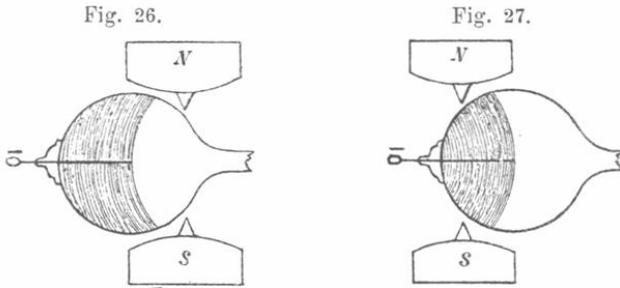


Die drahtförmige Elektrode ist bis auf den letzten Querschnitt mit einem Glasröhrchen umgeben und steht in Fig. 23 auf der verticalen Kraftlinie senkrecht, daher in der Mitte eine kreisförmige Lichterscheinung. Ist der Magnet sehr stark, so zieht sich der Lichtkegel auf eine Linie zusammen und die Rotation der leuchtenden Theilchen ist nicht mehr zu unterscheiden.

Da aus dem letzten Querschnitte der Elektrode nur wenige Strahlen divergiren, so sind die spiralförmigen Windungen im oberen und unteren Theile des Lichtkegels kaum zu sehen. Dagegen erscheinen die Windungen

sehr schön und deutlich, wenn das Strahlenbündel mit der Kraftlinie einen spitzen oder stumpfen Winkel bildet, wie aus Fig. 24 und 25 zu ersehen ist.

6. Ebenso leicht lassen sich die von Plücker beobachteten magnetischen Flächen des Glimmlichtes erklären, worunter man jene Flächen versteht, zu welchen das Glimmlicht unter dem Einflusse eines starken Elektromagnetes ausgebreitet wird und durch die Gesammtheit aller durch die einzelnen Punkte der negativen Elektrode und die beiden magnetischen Pole gehenden magnetischen Curven gebildet werden.



Beide Pole und die negative Elektrode liegen in der Papierebene. Aus der Drahtelektrode fahren die Theilchen radial nach allen Richtungen senkrecht zur Achse derselben aus.

Diejenigen Theilchen, welche aus dem Draht senkrecht zur Papierebene nach oben oder unten emittirt werden, stehen senkrecht auf den Kraftlinien, welche durch die Elektrode gehen. Diese Theilchen müssen daher im übereinstimmenden Sinne der Molecularströme der beiden Pole um die Kraftlinie in sehr kleinen Kreisen rotiren. Alle anderen Theilchen, welche schief zur Papierebene oder in derselben aus der Elektrode herausfliegen, bilden mit den Kraftlinien schiefe Winkel, müssen daher um die letzteren gegen die Pole spiralförmig sich drehen und bilden eine Lichtfläche in der Papierebene.

Es lassen sich somit alle Erscheinungen, welche sowohl die strahlende Elektrodenmaterie, als auch das Glimmlicht unter dem Einflusse eines Magnetes zeigen, aus jenen Gesetzen vollständig erklären, welche für die elektrische Convection körperlicher Leiter experimentell bestimmt und mittels Induction von mir auch auf moleculare Elektrodenheilchen ausgedehnt sind. Die Lösung dieser Aufgabe wurde dadurch ermöglicht, dass es gelang, die Bewegungsrichtung der Elektrodenheilchen und ihren elektrostatischen Zustand festzustellen.

Diese Gesetze elektrischer Convection scheinen indessen auf das positive Büschellicht keine Anwendung zu finden, und die Ansicht, dass hier der elektrische Strom durch Bewegung der Elektrizität in der Gas säule, ähnlich wie in einem ruhenden festen Leiter, entsteht, scheint durch das Verhalten des positiven Lichtbüschels gerechtfertigt zu sein. Aehnlich wie in festen Leitern die Moleküle, welche in Wärmebewegung begriffen sind, dem Strome einen Durchgang gestatten, ohne ihre relativen Gleichgewichtslagen zu ändern, scheint auch in Gasen von bestimmter Dichte die Elektrizität von Querschnitt zu Querschnitt sich zu entladen, ohne dass die Gleichmässigkeit ihrer Molecularbewegung oder auch andere oscillatorische Bewegungen dadurch alterirt werden.

Es verhält sich daher das positive Büschellicht gegen den Magnet ebenso wie ein sehr leicht biegsamer Draht, der in gleicher Richtung wie die Luftsäule vom positiven Strome durchflossen wird. Ist das Büschellicht geschichtet, so werden auch die Schichten durch den Magnet auf jene Seite der Röhre zusammengedrängt, die sich aus dem Laplace'schen Gesetze ergibt.

Gehen alternirende Ströme hindurch, so sammelt sich, wie leicht einzusehen ist, das negative Licht in der Plücker'schen Magnetfläche und das positive Büschellicht in einer zu dieser Fläche senkrechten äquatorialen Ebene, und man erhält eine von Prof. Reitlinger und v. Urbanitzky beobachtete Lichterscheinung, welche ich Dreifächerfläche nenne, weil sie drei zu einander senkrecht stehende Flächen zeigt. Bei Umkehrung des Stromes muss die positive Fläche auf der entgegengesetzten Seite der Plücker'schen Fläche entstehen und die Dreifächerfläche scheint eine Drehung von 180° um die drahtförmige Kathode erfahren zu haben¹⁾.

Bewegungserscheinungen in strahlender Elektrodenmaterie.

Nachdem wir das Wesen strahlender Elektrodenmaterie erkannt haben, wird uns die Erklärung einiger durch dieselbe veranlassten Bewegungserscheinungen in evacuirten Gefässen keine Schwierigkeit bieten. Herr Crookes beschreibt einige Apparatchen, deren Flügelräder mittels strahlender Elektrodenmaterie in der Richtung vom negativen zum positiven Pol bewegt wurden. Durch Umkehrung des Stromes wurde auch der Sinn der Drehung umgekehrt.

¹⁾ Wien. Akad. Anzeiger 1877, Nr. 10.

Die Zeichnung Fig. 28 stellt ein von mir construirtes elektrisches Radiometer dar. Auf einer Nadelspitze ist mittels Glashütchen ein Rädchen von ungeschwärztem Glimmer aufgesetzt und zwei plattenförmige

Fig. 28.

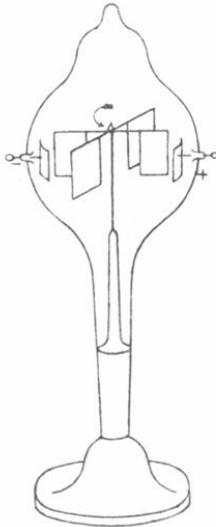


Fig. 30.

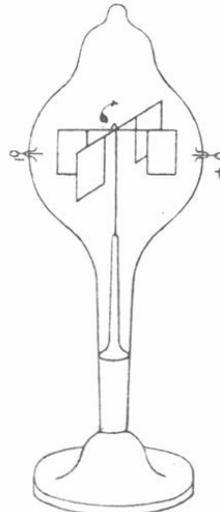


Fig. 29.

b

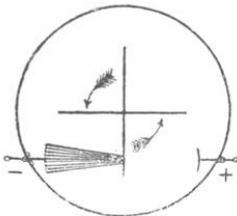
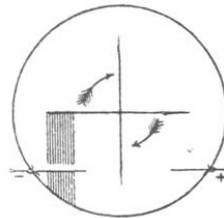


Fig. 31.

c



Elektroden excentrisch in das Glasgefäß eingeschmolzen. Um eine starke Wirkung zu bekommen, wurden die Elektroden cylindrisch gewickelt, so dass ihre Brennlinsen ungefähr auf die Mitte eines Flügelblättchens fielen, wenn sich dasselbe zwischen ihnen befand.

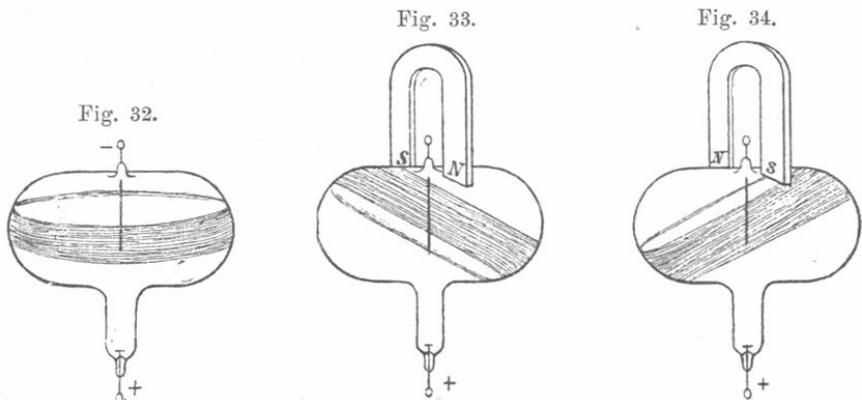
Fig. 29 stellt den Querschnitt des Apparates dar. Das Rädchen dreht sich in der Richtung der Bewegung strahlender Elektrodenmaterie, vom negativen zum positiven Pol.

Herr F. Zöllner beschreibt in der dritten Abhandlung seiner „Untersuchungen über die Bewegungen strahlender und bestrahlter Körper“ einen Versuch, den Geissler auf der letzten Naturforscherversammlung in

Hamburg mitgeteilt und den er selbst mit gleichem Erfolge wiederholte¹⁾. Als Elektroden waren zwei Platindrähte eingeschmolzen, und das bewegliche Kreuz bestand aus ungeschwärzten Glimmerblättchen. Wurde bei 1^{mm} Spannung durch das Gefäss der Inductionsstrom eines kleinen Rühmkorff'schen Apparates geleitet, so rotirte das Kreuz stets in solcher Richtung, „wie sie einer Emission von materiellen Theilchen von der positiven Elektrode entspricht“. Bei Umkehrung des Stromes wechselte die Rotationsrichtung des Kreuzes.

Es war für mich von grossem Interesse, zu constatiren, ob diese Drehung im Sinne der Emission der Theilchen von der positiven Elektrode auch bei einem Drucke stattfindet, bei welchem die strahlende Elektrodenmaterie zum Vorschein kommt. Ich machte den Versuch mit einem in Fig. 30 dargestellten Radiometer, welches mit zwei drahtförmigen Elektroden versehen ist. Bei einem Drucke 0·03^{mm} rotirte das Rädchen entgegengesetzt derjenigen Richtung, in welcher es bei plattenförmigen Elektroden rotiren müsste.

Es entsteht nun die Frage: Werden die Elektrodenheilchen von der positiven oder negativen Elektrode emittirt und wie ist jene Umkehrung der Rotationsrichtung zu erklären?



Diese Frage findet ihre Lösung durch folgenden, sehr einfachen Versuch.

Wird durch ein cylindrisches Glasgefäss, in welches ein langer Draht bis ungefähr in die Mitte desselben hineinragt, ein Inductionsstrom geleitet, so zeigt das Gefäss, wenn der Draht als negative Elektrode

¹⁾ Pogg. Ann. Bd. 160, S. 464.

benutzt wird, eine phosphoresirende Aequatorialzone (Fig. 32), welche Lichterscheinung eine gegen die Elektrode schräge Stellung annimmt, sobald das Glasgefäß mit den Schenkeln des Hufeisenmagnetes auf eine in Fig. 33 und Fig. 34 dargestellte Weise umfasst wird.

Die leuchtende Aequatorialzone kann nur auf die Weise entstehen, dass die Elektrodentheilchen senkrecht zur Achse des Drahtes nach allen Richtungen emittirt werden. Dass auch der letzte Querschnitt des Drahtes senkrecht zur Oberfläche Theilchen emittirt, ist selbstverständlich; nur ist ihre Zahl im Verhältnisse zu den seitwärts fortgeschleuderten sehr gering.

Jetzt ist es leicht zu verstehen, warum im Radiometer mit drahtförmiger Elektrode bei gleicher Stromrichtung das Rädchen sich entgegengesetzt dreht als das Rädchen mit plattenförmigen Elektroden. Es ergibt sich aus der Zeichnung Fig. 31 auf den ersten Blick, dass die seitliche Emission des Drahtes das Rädchen entgegengesetzt drehen muss.

Bei einem sehr hohen Grade der Verdünnung ($0,01^{\text{mm}}$) kehrt das Rädchen um und rotirt im Sinne der Emission der Theilchen vom negativen zum positiven Pol. Dies erklärt sich damit, dass bei dieser Verdünnung die Emission der Theilchen nur am letzten Querschnitte des Drahtes erfolgt.

Es findet somit eine Emission der Theilchen nicht am positiven, sondern nur am negativen Pol und zwar immer normal zur Oberfläche der Kathode statt.

Dass dieselbe Erklärung auch für die Umkehrung der Drehungsrichtung bei 1^{mm} Druck gilt, ist selbstverständlich, nachdem wir erkannt haben, dass auch bei diesem Verdünnungsgrade Theilchen von der negativen Elektrode ausgesendet werden, welche in das zurückgebliebene Gas diffundirend das letztere zur Phosphorescenz bringen und daher an der Glaswand keine Phosphorescenz erzeugen können.

Complicirter sind die Bewegungserscheinungen in dem von Herrn Crookes beschriebenen, in Fig. 35 dargestellten elektrischen Radiometer. Das Kreuz, welches mittels eines Eisenhütchens auf einer Nadelspitze ruht, besteht aus vier einerseits mit Glimmer belegten Aluminiumblättchen, und die Nadel ist mittels eines Drahtes mit dem in das Glas eingeschmolzenen Platinende verbunden, welches letztere als negativer Pol benutzt wird. Im oberen Theil des Gefäßes ist noch ein zweiter Platindraht mit einem kleinen Aluminiumblättchen eingeschmolzen und dient als positiver Pol. Bei dem Radiometer, mit welchem ich experimen-

tirte, war das obere Röhren stark eingezogen (ungefähr bis auf 3^{mm} Durchmesser). Wurde diese Stelle während des Durchganges eines Inductionstromes von 4^{cm} F. L. bei 0,03^{mm} Druck mit dem Finger berührt, so verschwand im Innern die Lichterscheinung und es erfolgte abermals eine Entladung des Stromes, so oft die Stelle freigelassen wurde. Dieser Versuch gelang nur, wenn der obere Draht als negativer Pol verwendet wurde.

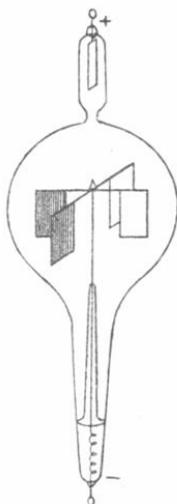
Herr Crookes beobachtete an diesem Apparate bei der in der Zeichnung dargestellten Lage der Pole eine Drehung des Kreuzes mit der Glimmerseite vorwärts, und zwar bei einem Drucke, welcher »ein wenig jenseits dessen liegt, bei dem der dunkle Raum um den negativen Pol sich bis an die Wand der Kugel ausbreitet«. Die Drehung beginnt bei ungefähr 0,5^{mm} Druck. Diese Bewegung erklärt Herr Crookes auf folgende Weise ¹⁾:

»Da die Moleküle heftig vom Pol fortgetrieben werden, so müssen sie einen Rückstoss auf den Pol ausüben, und wenn man in einem Apparate den negativen Pol beweglich und den Körper, der den Stoss der strahlenden Materie empfängt, fest macht, so kann dieser Rückstoss (durch Bewegung des Poles J. P.) sichtbar gemacht werden.«

Nach der Ansicht des Herrn Hittorf²⁾ rotirt die Mühle erst, wenn die heissen Glimmstrahlen die Glaswände des Gefässes erreichen und die berührten Stellen erhitzen. »Erst die Wärmestrahlung der Glaswände erzeugt die Rotation.«

Indessen sind beide Erklärungen nicht richtig. Von der Unrichtigkeit der Hittorfschen Ansicht überzeugt man sich leicht, indem man das Glasgefäss eines derartigen Radiometers durch Berührung mit der Hand erwärmt. Das Rädchen dreht sich, wenn selbstverständlich kein Strom geht, mit dem Aluminium und nicht mit dem Glimmer vorwärts. Da meines Wissens dieser Versuch bis jetzt nicht erklärt worden ist, so möge auch eine diesbezügliche Notiz im weiteren Theile dieser Abhandlung folgen.

Fig. 35.



¹⁾ Strahlende Materie S. 23.

²⁾ Wied. Ann. Bd. 7, Hft. 4, S. 607.

Behufs Widerlegung der Crookes'schen Erklärung will ich hier einige Versuche vorausschicken, die ich mit dem beschriebenen Radiometer ausgeführt habe.

Wird für eine gleichmässige Temperaturvertheilung im Radiometer gesorgt, so dreht sich das Rädchen bei einem Drucke von ungefähr $0,2\text{ mm}$ unmittelbar nach dem Schliessen des Stromes ein- bis zweimal mit dem Aluminium vorwärts, bleibt dann stehen, kehrt um und dreht sich mit dem Glimmer vorwärts so lange, als der Strom geschlossen bleibt. Wird nachher der Strom unterbrochen, so dauert die Drehung noch immer fort, und zwar desto länger, je stärker der Strom gewesen ist.

Diesen Versuch wiederholte ich sehr oft mit gleichem Erfolge. Folgen die Versuche auf einander, ohne dass eine gleichmässige Temperaturvertheilung abgewartet wird, so rotirt das Rädchen immer nach der Glimmerseite.

Bei fortgesetzter Verdünnung wird die Zahl der anfänglichen Umdrehungen nach der Aluminiumseite immer grösser und ebenso auch die Geschwindigkeit der Drehung nach der Umkehrung. Wird der Strom unterbrochen, so rotirt das Rädchen mit einer Heftigkeit, die ich an den empfindlichsten Radiometern nicht beobachtet habe. Die einzelnen Blättchen sind nicht mehr zu unterscheiden.

Ist der Druck so klein, dass bereits die Phosphorescenzerscheinung der Glaswände sich zeigt, ungefähr $0,04\text{ mm}$, so rotirt das Rädchen nur nach der Aluminiumseite und die Umkehrung der Rotation nach der Glimmerseite findet erst nach Unterbrechung des Inductionsstromes statt und dauert 5—6 Minuten oder auch länger, je nach der Intensität des Stromes und Dauer seiner Wirkung.

Der vollständige Verlauf dieser Bewegungserscheinungen ist von den Herren Hittorf und Crookes nicht beobachtet, und daher ist es denselben auch nicht leicht möglich gewesen, eine richtige Erklärung derselben zu finden.

Diese Rotationsbewegungen werden durch folgende in ihren Wirkungen entgegengesetzte Ursachen normirt: 1. Durch die Emission der Elektrodenmaterie, 2. durch die Wärmebewegung, welche der elektrische Strom in den Aluminiumblättchen erzeugt, 3. durch die Wärmestrahlung der Glaswände.

Die Reaction der emittirten Elektrodentheilchen muss nach dem Principe der Erhaltung des Schwerpunktes eine Bewegung des Rädchens nach der Glimmerseite verursachen. Dieselbe Bewegung muss auch aus der Reaction der an- und zurückprallenden Gasmoleküle auf die durch

den Strom stärker erwärmte Aluminiumseite der Flügel resultiren. Die beiden Kräfte wirken somit in einem Sinne.

Eine dritte den beiden ersten Kräften entgegengesetzt wirkende Kraft resultirt aus der Erwärmung der Glaswände durch die anprallenden Elektrodentheilchen. Die Glaswände strahlen gegen das Innere Wärme aus. Es erwärmen sich die Oberflächen vom Glimmer und Aluminium, während aber beim ersteren die Wärme in der obersten Schichte bleibt, wird sie beim Aluminium, wegen seiner guten Leitungsfähigkeit für Wärme an die unteren Schichten abgegeben. Auf diese Weise wird die Oberfläche des Glimmers wärmer als die des Aluminiums und aus der Reaction der an- und zurückprallenden Gas- und Elektrodentheilchen an der Glimmer- und Aluminiumseite entsteht eine Bewegung des Flügels nach der Aluminiumseite.

Davon kann man sich leicht an einem Radiometer überzeugen, dessen Aluminiumflügel einerseits mit Glimmer bedeckt sind. Fig. 36 f. S. ist der Querschnitt eines solchen Radiometers. Aluminium ist mit einem schwarzen Streif angedeutet. Wird das Glasgefäss mittels Hand oder strahlender Wärme einer heissen Metallplatte erwärmt, so werden dunkle Wärmestrahlen in der Glaswand absorbirt und gelangen nur indirect zu den Flügeln. Die Wärmebewegung der Glaswände wird mittels Strahlung und Molekularbewegung des Gases auf die Flügel übertragen und die letzteren bewegen sich aus dem angegebenen Grunde mit der Aluminiumseite vorwärts.

Die obigen drei Kräfte wirken gleichzeitig auf die Flügel, so lange der Strom geschlossen bleibt, und können sich gegenseitig in ihren Wirkungen schwächen oder auch ganz aufheben. Wird der Strom geschlossen, so ist im ersten Augenblick die Erwärmung des Aluminiumblättchens durch den Strom sehr gering, es überwindet die Strahlung der Glaswände und veranlasst eine anfängliche Drehung nach der Aluminiumseite. Nach einiger Zeit wird die Erwärmung durch den Strom immer grösser, erhält schliesslich das Uebergewicht und es findet eine Umkehrung der Rotationsrichtung statt. Nach der Unterbrechung des Inductionsstromes findet in Folge dieser Wärmewirkung eine Drehung nach der Glimmerseite so lange statt, bis die Temperatur in den Blättchen sich ausgeglichen hat.

Bei fortgesetzter Verdünnung wird der Widerstand für den Inductionsstrom, also auch die Energie der Entladungen und der Erwärmung der Glaswände immer grösser, andererseits der Luftwiderstand, der die Bewegung der Flügel hemmt, geringer, daher wächst die Zahl der anfänglichen Umdrehungen nach der Aluminiumseite und ebenso die Ro-

tationsgeschwindigkeit nach der Glimmerseite beim geschlossenen und offenen Strome.

Bei sehr kleinem Drucke ist die Strahlung der Wände kräftiger als die Erwärmung der Flügel durch den Strom, das Rädchen bewegt sich nur nach der Aluminiumseite, so lange der Strom geschlossen bleibt; nach der Unterbrechung desselben wird die Oberfläche des Glimmerblättchens kälter als die des Aluminiums, weil bei dem letzteren die unteren Schichten ihre Wärme an die oberen rasch abgeben können, und das Rädchen muss in entgegengesetzter Richtung rotiren.

Eine Theorie ist nur dann richtig, wenn die Folgerungen, zu denen sie führt, sich durch Versuche bestätigen lassen. Wir wollen daher die gegebene Erklärung der radiometrischen Bewegungserscheinungen auch dieser Prüfung unterziehen und denken uns der Einfachheit halber ein fixes Aluminiumkreuz, dessen Flügel einerseits mit Glimmer bedeckt sind. Eine das Kreuz umschliessende würfelförmige Mantelfläche von Glimmer sei um eine verticale Achse drehbar. Die Zeichnung Fig. 37 zeigt uns

Fig. 36.

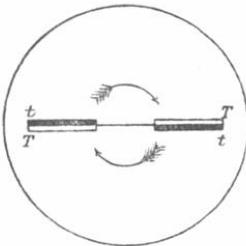
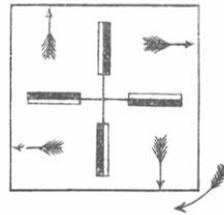


Fig. 37.



den Querschnitt des Kreuzes und der Mantelfläche; die schwarzen Seiten des Kreuzes bedeuten Aluminium.

Bei mässiger Verdünnung, bei welcher die Erwärmung der Flügel durch den Strom überwiegt, prallen die Gasmoleküle an der Aluminiumseite mit grösserer Geschwindigkeit zurück, bewegen sich mit den herausfahrenden Elektrodentheilen gegen die Mantelfläche und geben eine Druckresultante, ungefähr in der Mitte des Quadranten, in der Richtung des Pfeiles. Eben solche Druckkräfte wirken auch in den übrigen Quadranten. Aus der Zeichnung ergibt sich der Sinn der Drehungsrichtung der Mantelfläche, welcher entgegengesetzt ist der Drehungsrichtung des beweglichen Kreuzes.

Bei einem sehr hohen Grade der Verdünnung, wenn die Strahlung der Mantelfläche das Uebergewicht erlangt, muss eine Rotation im entgegengesetzten Sinne erfolgen.

Diese Folgerung der gegebenen Theorie der Bewegungserscheinungen hat sich durch das Experiment vollkommen bestätigt. Das Radiometer, welches ich zu diesem Zwecke construirte, bestand nur aus zwei fixen Flügeln (Fig. 38) und einer Glasglocke, welche auf der Spitze beweglich war. Die Glasglocke drehte sich bei mässiger Verdünnung in der voraus bestimmten Richtung der emittirten Elektrodenthelichen.

Bei grösserer Verdünnung, wenn die Glasglocke lebhaft phosphorescirt findet eine Rotation der letzteren in der entgegengesetzten Richtung, also von der Glimmerseite des einen Flügels zur Aluminiumseite des nächstfolgenden, statt.

Fig. 38.

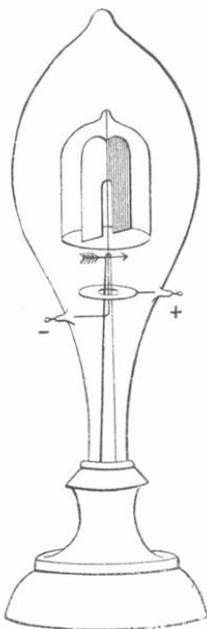
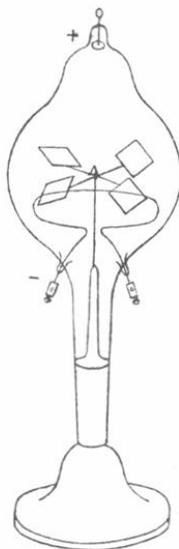


Fig. 39.



Bei diesen und anderen Apparaten habe ich öfters die merkwürdige Beobachtung gemacht, dass wenn dieselben sehr stark evacuirt und längere Zeit nicht in Gebrauch waren, beim Durchgang des Stromes einige Secunden lang Erscheinungen auftreten, welche sonst bei geringerem Grad der Verdünnung zu sehen sind. Das Innere der Apparate ist bei schwacher Phosphorescenz der Wände mit dem bläulichen Nebel erfüllt. Nach kurzer Zeit verschwindet dieser Nebel, die Atmosphäre klärt sich auf und die Phosphorescenz wird lebhafter, entsprechend dem hohen Grad der Verdünnung. Auch die Bewegungserscheinungen sind solche, wie sie beim

grösseren Druck beobachtet werden. Der Glaszylinder rotirt im Sinne der Emission der Theilchen von der Aluminiumseite, bleibt nach einigen Umdrehungen stehen und ändert nachher seine Rotationsrichtung. Diese Druckänderungen erkläre ich mir auf diese Weise, dass beim Durchgang des Stromes die occludirten Gase der Elektroden entweichen und den Druck etwas vergrössern. Nach einiger Zeit wird ein Theil der mit statischer Elektrizität geladenen Theilchen an den Glaswänden haften bleiben und theilweise von den positiven Elektroden absorbirt und in Folge dessen vermindert sich der Druck des verdünnten Gases.

Herr Crookes beschreibt in seiner Arbeit auch ein Radiometer, welches Prof. Zöllner schon vor Jahren construiert und in der erwähnten Abhandlung „Untersuchungen über die Bewegungen strahlender und bestrahlter Körper“ zu erklären versucht hat ¹⁾. Der Apparat besteht aus einem beweglichen Kreuze mit ungeschwärzten Glimmerblättchen, welche, wie aus Fig. 39 zu ersehen ist, gegen den Horizont geneigt sind. Unter dem Kreuze ist ein horizontal liegender Ring von Platindraht angebracht und seine Enden in die Glaswand eingeschmolzen, um einen galvanischen Strom hindurchleiten zu können.

Während ich mir die nähere Besprechung aller Versuche, welche Herr Zöllner mit diesem Radiometer ausgeführt hat, für die nächste Abhandlung vorbehalte, will ich an dieser Stelle nur jenen Versuch erwähnen, welchen Herr Crookes, dem auch die Zöllner'schen Arbeiten über die Radiometrie unbekannt gewesen zu sein scheinen, mit gleichem Erfolge wiederholte und unrichtig erklärte.

Wird bei einem hohen Grade der Verdünnung durch den Platinring ein galvanischer Strom geleitet, so tritt eine „normale“ Rotation des Rädchens ein, d. h. eine solche, welche man nach der Ansicht Herrn Zöllners durch aufsteigende Luftströme oder durch Emissionsprocesse von der Oberfläche des Drahtes hätte erklären können ²⁾.

Die Rotation des Rädchens in normaler Richtung ist von der Richtung des Stromes unabhängig.

Diesen Versuch beschreibt auch Herr Crookes und bemerkt über denselben Folgendes: „Hier haben wir eine andere wichtige Thatsache. Strahlende Materie wird in einem hohen Vacuum nicht nur vom negativen Pole einer Inductionsrolle erregt, sondern ein heisser Draht setzt

¹⁾ Pogg. Ann. Bd. 160 S. 460.

²⁾ Pogg. Ann. Bd. 160 S. 300.

sie in Bewegung mit hinlänglicher Kraft, um die schrägstehenden Flügel herumzutreiben¹⁾.

Die Stütze für diese Ansicht scheint Herr Crookes in folgender Modification des Zöllner'schen Versuches suchen zu wollen. Sein Radiometer war mit einer Elektrode oberhalb des Kreuzes versehen (Fig. 39). Wurde der Platinring als negative Elektrode eines Inductionsstromes verwendet, so rotirte das Rädchen entsprechend der Emmission der Elektrodentheilchen in normaler, somit in derselben Richtung, in welcher es beim Durchgange des galvanischen Stromes rotirt.

Wir sind jedoch keineswegs berechtigt, aus der Gleichheit der Wirkungen auf die Gleichheit der Ursachen zu schliessen, um so weniger, als der Inductionsstrom bei seinem Durchgange durch den Platinring allein die strahlende Materie nicht in Bewegung setzen kann und erst eine Erwärmung des Drahtes durch den galvanischen Strom stattfinden muss, wenn die Theilchen angeblich emittirt werden sollen.

Meine Untersuchungen, die ich mit dem Zöllner'schen Radiometer angestellt habe, führten in Gemeinschaft mit den von Herrn Zöllner beobachteten Thatsachen zur folgenden einfachen Erklärung dieses Versuches:

Beim hohen Grade der Verdünnung (0,02^{mm} Quecksilberdruck), ist in diesem Radiometer in Folge geringerer Wärmeleitung des noch zurückgebliebenen Gases, die Erwärmung des Drahtes grösser und folglich auch die Wärmestrahlung, welche nach Stefan der vierten Potenz der absoluten Temperatur proportional ist²⁾, stärker. Es werden daher die Glimmerblättchen an der dem Platinring zugewendeten Seite wegen ihrer geringen Wärmeleitung stärker erwärmt als an der entgegengesetzten Seite, und aus dem An- und Zurückprallen der Gasmoleküle an der stärker erwärmten Seite der Blättchen resultirt ein gegen ihre Oberfläche senkrecht gerichteter Druck, welcher das Rädchen im beobachteten Sinne drehen muss.

Ausser durch die Wirkung strahlender Wärme wird diese Bewegung noch durch die Wärmeleitung des Gases erzeugt. Die Gasmoleküle erlangen durch das Anprallen an den heissen Draht eine grössere Moleculargeschwindigkeit und übertragen einen Theil ihrer lebendigen Kraft an die Flügel. Im ersten Falle entsteht die Bewegung durch eine blosser Reaction der anprallenden Gasmoleküle, im zweiten durch eine Uebertragung von lebendiger Kraft mittels Stösse der Gasmoleküle.

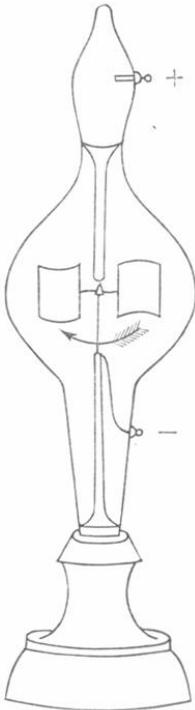
¹⁾ Strahlende Materie S. 26.

²⁾ Sitzungsber. d. Wien. Akad. Bd. 79, S. 391.

Beide Wirkungen summiren sich, da sie im gleichen Sinne erfolgen, und daher die lebhaftere Rotation, die man gewöhnlich hier beobachtet.

Um die hier mitgetheilten Ansichten über die Ursache der Bewegungsercheinungen zu prüfen, habe ich neue elektrische Radiometer construirt. Ein solches stellt Fig. 40 dar. Das Flügelpaar aus halbcylindrischem Aluminiumblech ist mittels eines Messinghütchens an einer Stahlspitze beweglich angebracht, welche letztere mit dem in die Glaswand eingeschmolzenen Platindrahte in Verbindung steht und als Kathode verwendet wird. Die Anode befindet sich oberhalb des Flügelrädchens in einem engen Röhrenstück.

Fig. 40.



An diesem Radiometer wurden folgende Bewegungsercheinungen beobachtet:

1. Beim vollen Atmosphärendrucke drehte sich das Flügelpaar mit der concaven Seite vorwärts, und zwar unabhängig davon, ob man dasselbe als Anode oder Kathode verwendete. Wurde das birnförmige Glasgefäß mit der Handfläche umfasst, jedoch nicht berührt, so drehte sich das Flügelpaar äusserst schnell mit der convexen Seite vorwärts und noch schneller bei Berührung.

2. Bei einem Drucke von ungefähr 620^{mm} fand die erste Umkehrung der Flügel statt, und sie drehten sich mit der convexen Seite vorwärts. Die Geschwindigkeit der Bewegung nahm bei weiterer Verdünnung anfangs zu und dann ab, bis die Rotation endlich aufhörte, wenn zwischen dem Metallhütchen und der Anode ein Lichtstreifen erschien. Bei ungefähr 390^{mm} drehte sich das Rädchen so schnell, dass man die Flügel nicht unterscheiden konnte. Die Bewegung war etwas rascher, wenn das Flügelpaar als Kathode, und langsamer, wenn es als Anode verwendet wurde. Bei ungefähr 140^{mm} hörte die Bewegung auf.

3. Bei einem Drucke von ungefähr $0,5^{\text{mm}}$ fand eine zweite Umkehrung statt, wenn das Flügelpaar als Kathode diente, und das vom Glimmlichte umhüllte Rädchen drehte sich mit der concaven Seite vorwärts. Bei weiterer Verdünnung nahm die Geschwindigkeit der Bewegung anfangs zu und dann ab. Bei ungefähr $0,04^{\text{mm}}$ Druck wurde die Bewegung äusserst lebhaft und bei $0,02^{\text{mm}}$ bedeutend langsamer. Oft konnten die

Reibungswiderstände an der Spitze nicht überwunden werden, und musste daher beim Beginn der Bewegung durch schwaches Klopfen nachgeholfen werden.

Bei dieser Verdünnung wurde noch folgender Versuch angestellt. Ich liess den Strom 30—60 Secunden lang durch das Radiometer sich entladen, bis die Flügel anfangen sich nach der concaven Seite zu bewegen. Wurde nun der Strom unterbrochen, so drehte sich der Flügel ziemlich rasch, ungefähr zweimal in einer Secunde, und machte gegen 130 Umdrehungen; dieser Versuch wurde oft mit gleichem Erfolge wiederholt. Bei weiterer Verdünnung war die Zahl der Umdrehungen nach Unterbrechung des Stromes immer kleiner.

4. Bei einer noch grösseren Verdünnung von ungefähr $0,01^{\text{mm}}$, wenn die Glaswände lebhaft phosphoresciren, findet eine dritte Umkehrung der Bewegungsrichtung statt. Das Flügelpaar dreht sich noch einmal mit der convexen Seite vorwärts. Die Entladungen finden hauptsächlich nur an den Rändern der Aluminiumblättchen statt, und daher erscheinen an den Wänden sehr viele Lichtfiguren, die mit den Flügeln rotiren. Da ausserdem die Entladungen intermittirend erfolgen, so treffen sie während der Bewegung der Flügel verschiedene Stellen der Glaswand, und das Auge sieht sie gleichzeitig, wegen der längeren Dauer des Lichteindrucks. Das Glasgefäss zeigt ein sehr schönes Spiel herumflackernder Lichtlinien. Die Phosphorescenz der Glaswände ist etwas lebhafter und die Rotation der Flügel schneller, wenn in die Zuleitungsdrähte eine Luftstrecke eingeschaltet wird.

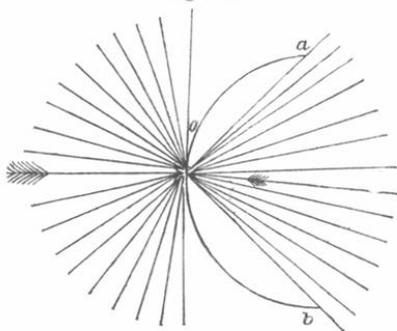
Wenn bei diesem Verdünnungsgrade das Gefäss oberhalb des Flügelrädchens nahe an dem Ansatzröhrchen mit einem feuchten Finger berührt oder auch nur angehaucht wird, so verschwindet für einige Zeit die Entladung und die Phosphorescenzerscheinung. Das Befeuchten des Gefässes unterhalb des Flugrädchens bringt nicht diese Wirkung hervor.

Ich will an dieser Stelle von allen Bewegungserscheinungen zuerst den dritten Fall erklären, wo das Flugrädchen bei $0,02^{\text{mm}}$ Quecksilberdruck nach Unterbrechung des Inductionsstromes sich nach der concaven Seite dreht. Hier kann offenbar nur die Wärmewirkung des Stromes allein die Ursache der rotirenden Bewegung sein.

Wir wollen nun sehen, wie aus einer gleichmässigen Erwärmung eines halbcylindrisch gewickelten Aluminiumblättchens eine Bewegung nach der concaven Seite entstehen kann. In Fig. 41 soll *aob* den Querschnitt eines solchen Flügels bedeuten. An dem gleichmässig erwärmten Blättchen werden die von beiden Seiten herankommenden Moleküle mit

grösserer Geschwindigkeit zurückprallen und aus ihrer Reaction gegen das Blättchen zwei normal gegen dasselbe gerichtete entgegengesetzte Druckkräfte resultiren. Der Einfachheit halber betrachten wir ein kleines Flächenelement bei o am Scheitel des Flügels. An der concaven Seite werden nur jene Moleküle auf das Flächenelement zurückwirken, welche nach allen Richtungen, die innerhalb der Oeffnung ab liegen, zurückprallen. Die übrigen Moleküle werden die von dem Flächenelemente erhaltene Bewegungsgrösse irgendwo an der concaven Seite des Blättchens abgeben. Es wird sich, so zu sagen, ein Theil der bewegten Moleküle an der concaven Seite fangen und gelangt nicht zur Wirkung.

Fig. 41.



Die Resultirende sämmtlicher Reactionskräfte auf das Flächenelement an der convexen Seite muss daher, wie aus der Zeichnung zu ersehen ist, grösser sein als an der concaven Seite, und das Blättchen wird mit der concaven Seite sich vorwärts bewegen. Ein derartiges Flugrädchen, dessen Temperatur höher als die der Umgebung ist, bewegt sich somit in derselben Richtung wie unter der Wirkung der Lichtstrahlen, die ja auch grösstentheils in Wärme der metallischen Flügel verwandelt werden. Die theilweise reflectirten Lichtstrahlen vereinigen sich in einer Brennlinie und erhöhen daselbst die Temperatur. Das kältere Gas strömt über die convexe Seite gegen die Brennlinie und nimmt den Flügel in Folge der Reibung mit, die bei dieser Verdünnung kaum dreimal kleiner ist als beim Atmosphärendruck. Die in Wärme umgewandelten und reflectirten Lichtstrahlen wirken in demselben Sinne.

Ein bestrahltes oder erwärmtes Rädchen mit concaven Flügeln bewegt sich somit nach der concaven Seite. Wird dagegen das Glasgefäss erwärmt, etwa auf die Weise, dass man dasselbe in eine warme Luft stellt, so muss die Bewegung nach der convexen Richtung erfolgen.

Nach dieser Ueberlegung stellte ich mir die weitere Frage, ob und wie sich ein von der Spitze mittels eines Glashütchens isolirtes halbcylindrisches Flügelpaar bewegen wird. Wäre die obige Ansicht über die Wärmewirkung des Inductionsstromes richtig, und gäbe es ausser dieser Wärmewirkung keine andere Ursache der Bewegung, so müsste das Flügelpaar jetzt in Ruhe bleiben, weil die Entladungen nur aus der Metallspitze ausgehen.

Das Experiment hat jedoch diese Folgerung nicht bestätigt. Das Flügelpaar drehte sich, und zwar erst bei äusserster Verdünnung, wenn die Glaswände lebhaft phosphoresciren, mit der convexen Seite vorwärts. Nach Unterbrechung des Stromes erfolgte eine Rotation in entgegengesetzter Richtung.

Da bekanntlich das Glas die Inductionsströme noch ziemlich gut leitet, so war die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, dass die Elektrizität durch die Metallspitze, das Glashütchen und die Flügel sich entladet. Ich habe daher ein Flügelpaar aus halbcylindrisch gewickelten Glimmerblättchen construirt und dieselben mittels eines Glashütchens von der Nadelspitze isolirt. Auch dieses Flugrädchen zeigte bei äusserster Verdünnung eine Bewegung nach der convexen Seite und rotirte in umgekehrter Richtung, wenn der Strom unterbrochen wurde.

Aus diesem Versuche glaube ich mit Sicherheit schliessen zu dürfen, dass die Bewegung des Flügelrädchens durch die Elektrodenheilchen indirect veranlasst wird. Die Theilchen erwärmen die Glaswände, und erst die strahlende Wärme der letzteren und die von der Wand in das Innere des Gefässes heftiger zurückprallenden Gastheilchen erzeugen, wie in einem gewöhnlichen Radiometer mit halbcylindrischen Flügeln, die Bewegung nach der convexen Seite.

Dauert der Versuch längere Zeit, so werden auch die Flügel nach und nach erwärmt und rotiren nach Unterbrechung des Stromes wegen der schnelleren Abkühlung der Glaswand nach der concaven Seite.

Es sei hier noch bemerkt, dass beide Flügelrädchen aus Aluminium und Glimmer bei ungefähr 400^{mm} Druck ebenfalls nach der convexen Seite rotirten, höchst wahrscheinlich in Folge schwacher Entladungen an den Spitzen der Flügel, sich somit als gewöhnliche Flugrädchen verhielten. Bei anderen Verdünnungen der Luft blieben die Rädchen indifferent, oder ihre Bewegung erfolgte sowohl nach der einen als der anderen Seite.

Es lag die Vermuthung nahe, dass auch im Crookes'schen Radiometer die von mir zuerst beobachtete Bewegung nach der Aluminium-

seite, bei äusserster Verdünnung, derselben Ursache, also der Erwärmung der Wand durch die fortgeschleuderten Kathodentheilchen, zuzuschreiben sei.

Ich habe zu diesem Behufe ein Flügelpaar aus sehr dünnem Messingblech und Glimmer construirt und dasselbe mittels eines Glashütchens von der Spitze isolirt. Bei äusserster Verdünnung drehte sich das Rädchen mehrmals, zuerst nach der Metallseite und nachher ziemlich rasch nach der Glimmerseite. Dabei rasselte das Glashütchen an der Spitze so laut, dass man das Geräusch im nächsten Zimmer bei verschlossener Thür hören konnte. Die springenden Bewegungen des Rädchens erfolgten in der verticalen Richtung, als ob die Spitze dasselbe hinaufschleudern würde.

Dass das Rädchen nicht fortwährend nach der metallischen Seite rotirt, dürfte seinen Grund darin haben, dass die dünnen Blättchen sehr bald die Temperatur der Wände erreichen, da die letzteren nur durch die Strahlen einer dünnen Nadel erwärmt werden. Ist die Temperatur der Wände der Flügel an beiden Seiten gleich, dann findet keine Rotation statt. Nachher erwärmt sich jedoch die metallische Seite stärker als die Glimmerseite, und es muss daher die Drehung nach der Glimmerseite erfolgen.

Nach diesen Versuchen scheint mir somit die Annahme höchst wahrscheinlich zu sein, dass die Bewegung der Flügel nach der Aluminiumseite bei der höchsten Verdünnung eine Folge der durch Kathodenstrahlen erwärmten Glaswände ist.

Auch war nach diesen Versuchen zu erwarten, dass der elektrische Strom bei einer geringeren Verdünnung, wenn das Glimmlicht erscheint, die Kathode stärker erwärmen wird, als bei der höchsten Verdünnung, wenn Phosphoreszenzerscheinungen sich zeigen. Im ersten Falle werden sehr wahrscheinlich die losgerissenen Elektrodentheilchen an die Kathode sehr oft anprallen und einen Theil ihrer Bewegung an dieselbe zurückgeben, während im letzteren Falle die meisten Theilchen die Glaswand treffen und diese erwärmen.

Um diese Vermuthung zu prüfen, wurde in einem birnförmigen Glasgefässe die Temperatur der Kathode bei verschiedenem Drucke gemessen.

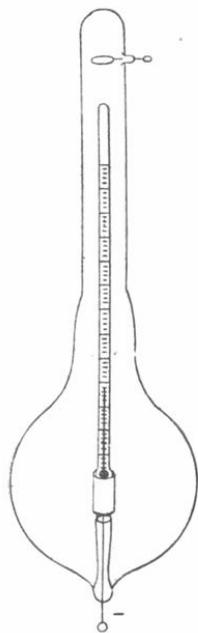
Das cylindrische Gefäss des Thermometers war mit dünnem Aluminiumblech so eng umschlossen, dass die Entladungen nur nach aussen stattfinden konnten. Das Thermometergefäss war sehr klein und ruhte auf einem Glasröhrchen in der Mitte des Glasgefässes. Der Versuch

zeigte, wie ich vorausgesehen habe, dass die Temperatur der Kathode grösser ist, wenn dieselbe vom Glimmlichte umfluthet wird, als wenn die Glaswände rings um das Thermometergefäss phosphoresciren. Im ersten Falle war die Temperatur 47° C., im letzteren trotz der geringeren Wärmeleitung des verdünnten Gases 41° C.

Daraus geht unzweifelhaft hervor, dass die Temperatur der Kathode abnimmt, wenn die Verdünnung zunimmt.

Es wären somit hauptsächlich zwei Kräfte, welche die Bewegung der Rädchen bei grosser Verdünnung erzeugen: 1. die Wärmewirkung an den Flügeln und 2. die Wärmewirkung der umgebenden Glaswände. Beide Wirkungen sind entgegengesetzt gerichtet; die erste treibt die Flügel in Folge der Reaction der Gastheilchen nach der Glimmerseite oder concaven Seite, und die letztere wie in einem gewöhnlichen Radiometer nach der metallischen oder convexen Seite.

Fig. 42.



Geht der Inductionsstrom durch das Radiometer beim Drucke $0,02^{\text{mm}}$, so wird die Reactionswirkung der Gastheilchen an den Flügeln durch die Wärmewirkung an den Glaswänden geschwächt, und die Bewegung des Flugrädchens ist weniger lebhaft, dagegen viel lebhafter, wenn der Strom unterbrochen wird, weil die ganze Wärmewirkung an den Flügeln zur Geltung kommt.

Bei einem bestimmten Verdünnungsgrade können sich beide Wirkungen das Gleichgewicht halten, und die Bewegung beginnt erst nach der Unterbrechung des Stromes.

Bei einer noch höheren Verdünnung als $0,02^{\text{mm}}$, wenn die Glaswände lebhaft phosphoresciren, überwiegt die Wärmewirkung der Glaswände, und die Rotation des Rädchens erfolgt daher nach der convexen, respective nach der metallischen Seite der Flügel.

Die Ursache der Rotation des Rädchens nach der convexen Seite zwischen 140 und 620^{mm} Druck ist darin zu suchen, dass die positive, eventuell negative Entladung nur an den Ecken der Flügel in den Gasraum vor sich geht. Die mit statischer positiver oder negativer Elektrizität geladenen Gastheilchen werden fortgestossen und ihre Rückwirkung treibt die Flügel in entgegengesetzter Richtung, somit nach der convexen Seite. Wie leicht einzusehen ist, verhält sich ein halbcylindrischer Flügel wie ein System von vier nach derselben Seite gekehrten

Spitzen. Im zweiten Flügel sind die Ecken entgegengesetzt gerichtet und wirken daher mit den ersteren im gleichen Sinne.

Beim vollen Atmosphärendrucke erfolgt die Entladung an den Ecken der Flügel nicht in den Gasraum, sondern an die Glaswand, indem zwischen denselben kleine Funken überspringen. Diese Entladungen scheinen mir die Ursache der Bewegung des Rädchens zu sein, welche nach der concaven Seite der Flügel erfolgt.

Beim Annähern der Handfläche an das Glasgefäss wird jene Entladung verhindert, die Elektrizität entladet sich wieder in den Gasraum, und die Rotation erfolgt auch bei diesem Drucke nach der convexen Seite.

Ob die statischen Ladungen der Glaswände nicht in einem oder entgegengesetzten Sinne die Bewegung des Rädchens beeinflussen, konnte bisher nicht ermittelt werden.

Eine genaue Untersuchung der statischen Ladungen der Glasgefässe beabsichtige ich demnächst auszuführen, und möchte hier nur erwähnen, dass bei äusserster Verdünnung die beiden Drahtenden negativ und das ganze Glasgefäss positiv elektrisch sind, und dass der neutrale Punkt mit der Spannung Null ausserhalb des Glasgefässes liegt.

Elektrisches Radiometer mit phosphorescirenden Flügeln.

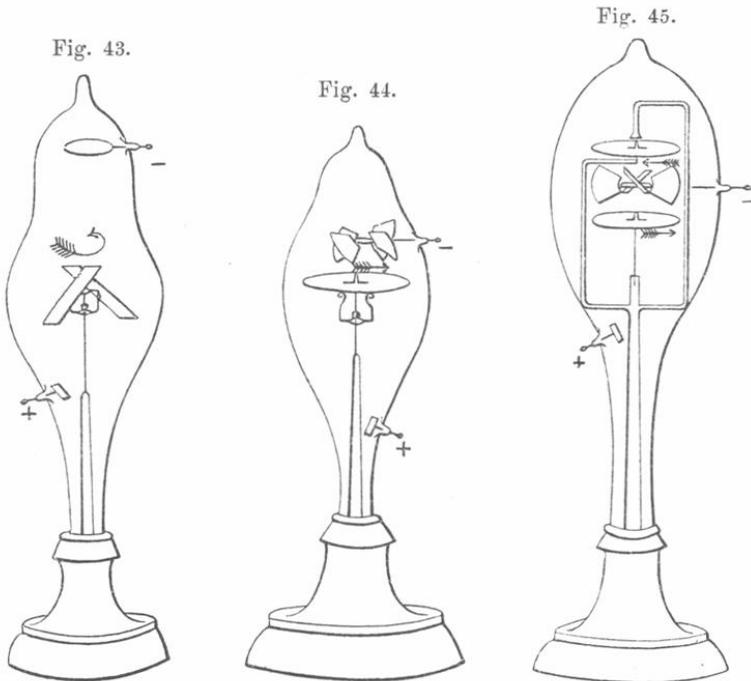
Das Flugrädchen des in der Fig. 43 dargestellten elektrischen Radiometers besteht aus zwei schräg gestellten Glimmerblättchen, welche an einer Seite mit phosphorescirenden Substanzen überzogen und mittels eines Glashütchens auf einer Nadelspitze beweglich angebracht sind. Eine eigene Arretirvorrichtung von Kupferdraht verhindert beim Umkehren des Apparates das Herabfallen des Flugrädchens.

Als phosphorescirende Substanzen werden gewöhnliche Kreide und einige Schwefelverbindungen verwendet, von welchen letzteren namentlich das grünlich phosphorescirende Schwefelcalcium durch die grosse Intensität des Leuchtens sich auszeichnet.

Ein oberhalb des Flugrädchens angebrachtes ebenes Aluminiumscheibchen dient als negative Elektrode und ist an der vom Rädchen abgewendeten Seite mit Glimmer belegt. Beim Durchgang des elektrischen Stromes geht von der negativen Elektrode nach unten ein konisches Strahlenbündel aus, erzeugt eine lebhaft Phosphorescenz der Flügel und setzt sie in rotirende Bewegung, welche im Sinne der Emission der Elektrodentheilchen von der Kathode erfolgt.

Elektrisches Radiometer mit phosphorescirender Scheibe.

Eine auf der Nadelspitze drehbare horizontale Glimmerscheibe ist in Sektoren getheilt und mit verschiedenen phosphorescirenden Substanzen angestrichen. Als negative Elektrode dient ein in vier Quadranten durchschnittenen Aluminiumscheibchen Fig. 44. Die einzelnen Quadranten sind



gegen die unterhalb liegende Glimmerscheibe schräg gestellt und bilden die Form einer Schraube; die nach aufwärts gekehrte Seite der Elektrode ist mit Glimmer belegt, damit die Entladungen nur nach unten erfolgen können.

Bei einem Drucke, der grösser ist als $0,02\text{mm}$, dreht sich die Glimmerscheibe in einer Richtung, welche einer Emission von Elektrodentheilchen senkrecht zur Oberfläche der Kathode entspricht und die wir eine normale nennen wollen. Bei grösserer Verdünnung erfolgt eine Rotation der Scheibe in entgegengesetzter anormaler Richtung und erklärt sich damit, dass die Entladungen hauptsächlich an den Rändern der Elektrode erfolgen. Bei diesem Radiometer wurde eine äusserst rasche Rotation der Scheibe auch dann beobachtet, wenn die Drähte zur Erde abgeleitet waren und

das Radiometer bloss in der Nähe des Ruhmkorff'schen Apparates stand, ohne mit den Polen in Verbindung zu sein. Die Rotation erfolgte bald in der einen bald in der andern Richtung.

Dieses Radiometer zeigt noch eine merkwürdige Bewegung. Wird nämlich die untere Elektrode, ein kleines Aluminiumblättchen, als Kathode verwendet, so rotirt die Scheibe bei der grössten Verdünnung mit einer sehr grossen Geschwindigkeit in der normalen Richtung, also entgegengesetzt der Rotationsrichtung bei Umkehrung des Stromes.

Die von der kleinen Kathode ausgehenden Strahlen werden fast gleichmässig nach allen Richtungen zerstreut und es ist daher unerklärlich, wie überhaupt irgend eine Bewegung der Scheibe entstehen könnte.

Die nebenstehende Zeichnung Fig. 45 stellt ein elektrisches Radiometer mit zwei rotirenden Scheiben dar, die schraubenförmige Kathode sendet Elektrodentheilchen gegen beide Scheiben aus und erzeugt bei geringer Verdünnung (0.06^{mm}) eine Rotation in normaler Richtung, wobei die Scheiben entgegengesetzt rotiren. Bei grösserer Verdünnung findet eine Umkehrung der Rotationsrichtung der beiden Scheiben statt.

Wird die untere kleine Elektrode mit dem negativen Pol des Ruhmkorff'schen Apparates verbunden, oder der Strom umgekehrt, so findet wieder eine äusserst lebhafte Rotation der unteren Scheibe in normaler Richtung statt. Die Rotation der oberen Scheibe ist viel langsamer und mit der der unteren Scheibe gleich gerichtet, höchst wahrscheinlich in Folge der inneren Gasreibung, die bekanntlich selbst bei höchster Verdünnung noch beträchtlich gross und bei einer 50000fach verdünnten Luft kaum dreimal geringer ist als bei Luft von gewöhnlicher Dichte.

Phosphorescirende Lampe.

In einem birnförmigen Glasgefäss ist ein mit grünlich phosphorescirendem Schwefelcalcium einerseits überzogenes Glimmerblättchen schief gegen die verticale Richtung so befestigt, dass es von den Kathodenstrahlen getroffen wird, die von einer passend angebrachten schalenförmigen Aluminium-Elektrode ausgehen. Neben der Kathode ist seitwärts eine Anode, ein kleines Aluminiumblättchen angebracht. Fig. 47 zeigt die Lampe in etwas veränderter Form. Sie besteht aus einer einfachen Glasröhre, welche in der Mitte ein schief gestelltes, mit Schwefelcalcium angestrichenes elliptisches Glimmerblatt trägt. Unterhalb des

Glimmerblattes ist ein Aluminiumscheibchen von demselben Durchmesser als der Querschnitt der Röhre angebracht und dient als Kathode. Oberhalb des Glimmerblattes befindet sich die viel kleinere Anode.

Fig. 46.

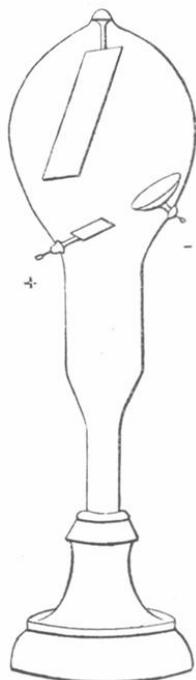
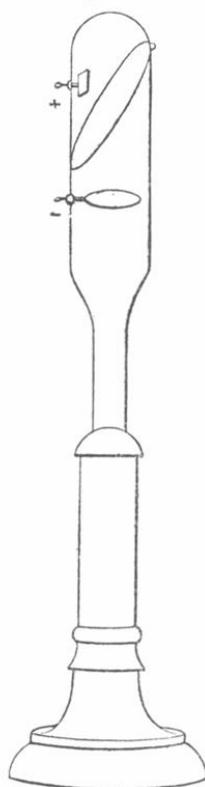


Fig. 47.



Das Licht der phosphorescirenden Lampe ist intensiv genug, um ein Zimmer zu beleuchten und es kann selbst in einiger Entfernung von derselben gelesen werden.

Das Licht intermittirt so oft in der Secunde, als der primäre Strom unterbrochen wird, man sieht jedoch, wegen der längeren Dauer des Lichteindrucks, die Lampe continuirlich leuchten und überzeugt sich von der Intermission des Leuchtens erst durch Bewegung der Körper, welche dann mehrfach erscheinen.

Es sollen hier einige Vorlesungsversuche angeführt werden, die beim Licht dieser intermittirenden Lampe gemacht werden können.

a) Versuch mit dem Spiegel. Betrachtet man das Bild der Lampe in einem grossen Spiegel, der um eine horizontale Achse mit der

Hand in schwingende Bewegung versetzt wird, so sieht man einen weissen elliptischen breiten Lichtstreifen mit einzelnen sehr hellen Lichtflecken, deren Zahl desto geringer ist, je schneller der Spiegel bewegt wird.

b) Freier Fall. Vor der Lampe wird ein grosser Schirm aus Seidenpapier aufgestellt und vor demselben einzelne Quecksilbertropfen rasch nach einander fallen gelassen. Am Schirme erscheinen die von den Tropfen in gleichen Zeiten zurückgelegten Wege. Wird ein continuirlich erscheinender Wasserstrahl von der Lampe beleuchtet, so sieht man denselben in einzelne Wassertropfen aufgelöst.

c) Versuch mit einer Kugel. Eine Glaskugel von ungefähr 4^{cm} Durchmesser wird auf einem Faden vor dem von rückwärts beleuchteten Schirm in einem Kreis geschwungen. Sie erscheint vierfach, wenn während der Zeit, als sie den Kreis beschreibt, der Strom viermal unterbrochen wird. Die vier Kugelbilder würden immer an derselben Stelle erscheinen, wenn die Rotationsgeschwindigkeit constant wäre. Ist die Rotation eine beschleunigte, so entstehen die Bilder an anderen Stellen der Kreisbahn und man sieht wegen der längeren Dauer des Lichteindruckes die vier Kugeln vorrücken. Bei einer verzögerten Rotation werden die Kugeln in entgegengesetzter Richtung rotiren. Lässt man die Kugel um einen Punkt als Pendel schwingen, so sieht man die Geschwindigkeit in verschiedenen Punkten der Kreisbahn.

d) Versuch mit einer durchlöcherten Scheibe. — Eine Cartonscheibe mit drei concentrischen Löcherreihen wird mittels eines Uhrwerkes oder irgend einer anderen Vorrichtung vor dem Papierschirme in Rotation versetzt. Die Löcherreihen rotiren nach verschiedenen Richtungen und es lässt sich immer eine derselben dadurch in Ruhe erhalten, dass man die rotirende Scheibe mit dem Finger berührt und ihre Rotationsgeschwindigkeit passend modificirt.

Für die Lampe Fig. 46 genügt ein Strom von 3—4^{cm} Funkenlänge. Ein stärkerer Strom erhitzt das Glimmerblättchen, die Phosphorescenz hört auf und es erscheint ein dunkler Fleck, umgeben mit einem phosphorescirenden Ring.

Für die Lampe Fig. 47 kann auch ein Strom von 5—6^{cm} Funkenlänge verwendet werden, weil hier die Strahlen nicht gesammelt werden. Es ist ein starker Strom nöthig, um das Glimmerblättchen zu erhitzen, und es lässt sich daher bei dieser Lampe eine fast doppelte Intensität des Leuchtens erzielen als bei der ersten Lampe.

Wirkung der genäherten Leiter auf die elektrischen Entladungen.

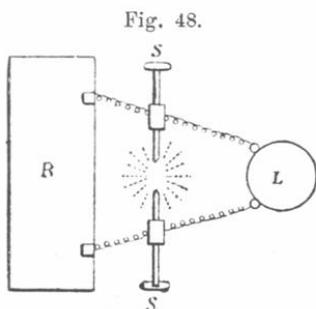
Wird das Glasgefäß Fig. 46 oberhalb des Glimmerblättchens mit der Hand oder irgend einem Leiter berührt oder auch nur angehaucht, so werden die Entladungen in der Lampe oft bis zum gänzlichen Auslöschen des Phosphoreszenzlichtes abgeschwächt, wenn der Strom nicht zu stark ist. Beim Anhauchen des Gefäßes werden die Entladungen so lange verhindert, als das letztere feucht ist. Aber auch selbst das Nähern eines Leiters kann die Entladungen bedeutend abschwächen.

Dieselbe Erscheinung beobachtet man bei der ersten Lampe noch in einer anderen Weise. Wird zuerst das ebene Aluminiumblättchen als Kathode benützt, wobei die nach aufwärts gehenden Strahlen die ganze Oberfläche des Glimmerblättchens treffen und nachher der Strom umgekehrt, so leuchtet das Glimmerblatt anfangs nur schwach und hellt sich nach 3—4 Sekunden plötzlich auf.

Wird bei der zweiten Lampe Fig. 47 das Glimmerblättchen zuerst von oben und dann von unten bestrahlt, so ist nicht bloss der Lichtfleck anfangs sehr schwach, sondern er wird auch gegen den oberen Rand des Blättchens abgelenkt und springt nach Verlauf von einigen Secunden plötzlich gegen die Mitte des Blättchens und hellt sich auf.

Diese Erscheinung der Schwächung und Unterbrechung der elektrischen Entladung suchte ich damit zu erklären, dass die statische Elektrizität des Glimmerblättchens die in den Drähten zufließende Elektrizität zurückdrängt.

Wäre diese Ansicht richtig, so müsste die strömende Elektrizität sich sofort an einer andern Stelle der Leitung entladen, deren Widerstand geringer ist, als der des evacuirten Raumes.

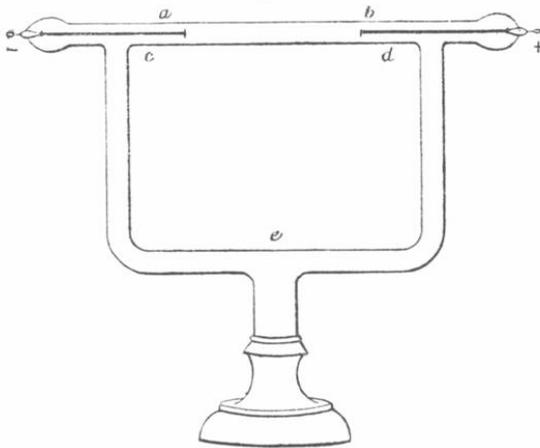


Es ist daher nöthig, zwischen die Zuleitungsdrähte nur zwei Entladungsspitzen einzuschalten, und es lässt sich immer eine solche Funkenstrecke finden, dass zwischen den Spitzen eine Entladung erfolgt, sobald das Glasgefäß angehaucht oder mit der Hand berührt wird. Die Anordnung der Apparate stellt die beiliegende Zeichnung dar: *R* ist der Ruhmkorff'sche Apparat, *S* die Entladungsspitzen und *L* die Lampe.

Apparate zur Demonstration, dass die elektrischen Entladungen im Vacuum durch die statische Elektrizität der Wände verhindert werden.

Um diese Erscheinung leicht demonstrieren zu können, habe ich einen Apparat construirt, welcher die Form eines Rechteckes hat, in dessen einem Schenkel zwei Draht-Elektroden eingeschmolzen, und mit ihren Enden ab ungefähr 8^{cm} von einander entfernt sind.

Fig. 49.



Bei einer Verdünnung von ungefähr 0,06^{mm} Quecksilberdruck erfolgen die elektrischen Entladungen auf der kurzen Strecke ab und der viel längeren ced . Wird aber der horizontale Schenkel in der Nähe der Elektrodenenden bei a und b mit zwei Fingern umfasst, so wird die elektrische Entladung zwischen den Spitzen unterbrochen und auf der fast fünfmal längeren Luftstrecke ced wird sie stärker.

Beim Berühren der verticalen Schenkel bei c und d kann die Entladung in den horizontalen Schenkel zurückgedrängt werden. Es ist zu erwarten, dass bei entsprechender Wahl der Dimensionen des Apparates und des Druckes die Entladung nur auf der kürzeren Strecke ab erfolgen wird, und bei Berührung der Glaswand mit der Hand oder einem guten Leiter, etwa Stanniolblatt, in das Seitenrohr, welches auch mehrfach gebogen sein kann, sich zurückdrängen lässt.

Herr Hittorf hat in der Londoner Ausstellung 1868 eine Röhre ausgestellt, welche einen ähnlichen Fall der elektrischen Entladung im

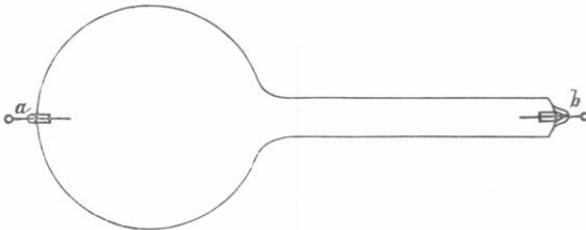
Vacuum zeigte und der nach meiner Ansicht in der Wirkung der statischen Elektrizität auf die Elektroden seine Erklärung findet.

Es war eine Art Spectralröhre mit einem capillaren Mittelstück. Die beiden weiten Endstücke communicirten mit einander durch ein zweimal gebogenes Seitenrohr und waren mit Drahtelektroden versehen, welche in den capillaren Theil der Röhre mündeten. Die Elektrodenenden waren nur wenige Millimeter von einander entfernt. Bei sehr grosser Verdünnung erfolgten die elektrischen Entladungen nicht durch die kürzere Strecke im capillaren Theil der Röhre, sondern durch das viel längere Seitenrohr.

Nach dem Obigen hat es nunmehr keine Schwierigkeit, diese Erscheinung zu erklären. Die Dichte der statischen Elektrizität an den Röhrenwänden wird desto grösser sein, je kleiner der Querschnitt der Röhre ist. Während daher die Dichte der Elektrizität im capillaren Mittelstück bereits hinreichend ist, um die Entladungen daselbst verhindern zu können, erfolgen die elektrischen Entladungen in weiten Röhrentheilen wegen der geringen Dichte der Elektrizität der Wände.

Dass die elektrischen Entladungen bei höchster Verdünnung durch die Nähe der mit statischer Elektrizität geladenen Glaswände beeinflusst werden, lässt sich an einem Apparate Fig. 50 demonstriren, den wir elektrisches Ventil nennen wollen. Eine drahtförmige Elektrode *a* ist in

Fig. 50.



der Kugel und die zweite, ganz gleiche, *b* in einem dünnen Ansatzrohr angebracht. Bei genügender Verdünnung geht kein Strom durch, wenn *b* als Kathode verwendet wird, während nach Umkehrung des Stromes, wobei *a* als Kathode dient, eine lebhafte Entladung stattfindet.

Das Ausbleiben der elektrischen Entladungen in stark evacuirten Röhren ist öfters als Beweis für die Unrichtigkeit der unitarischen Ansicht über das Wesen der Elektrizität angeführt worden. Würde, so meinte man, der elektrische Strom in progressiver Fortführung einer unwägbareren Materie, des Aethers, bestehen, so müssten die Entladungen

auch im besten Vacuum vor sich gehen, weil in demselben noch immer der Aether vorhanden ist. Dem gegenüber lässt sich bemerken, dass die elektrischen Entladungen bei demselben Verdünnungsgrade desto leichter erfolgen, je weiter die Wände von der Kathode abstehen und nach dem Obigen sind wir berechtigt zu erwarten, dass die elektrischen Entladungen selbst im besten Vacuum erfolgen würden, wenn nicht die unvermeidlichen statischen Ladungen der nahen Glaswände vorhanden wären.

Wie entstehen die statischen Ladungen der Glaswände?

Die statischen Ladungen in der Nähe der negativen Elektrode können entweder durch die von der Kathode ausgehende Induction oder auch in Folge directer Uebertragung statischer Elektricität durch die fortgeschleuderten Kathodentheilchen entstehen, die mit statischer negativer Elektricität geladen sind.

Durch eine solche Induction lässt sich die Erscheinung erklären, dass Körper, die in der Nähe einer Kathode sich befinden, bei der höchsten Verdünnung durch die fortgeschleuderten Elektrodentheilchen nicht mehr fortgestossen, sondern von der Kathode angezogen werden. Diese Anziehung beobachtete ich öfters, selbst bei geringer Verdünnung, als ein Glimmerblättchen einer Platin-Elektrode gegenübergestellt wurde, um es mit Platinspiegel zu überziehen.

In einem andern Apparate wurde ein Aluminiumblättchen, das zugleich als Anode diente, in ungefähr 2—3^{mm} Entfernung unterhalb der Kathode angebracht und die Anziehung war so stark, dass das Blättchen umgebogen und mit der Kathode vereinigt wurde.

Die statische Elektricität wird aber auch direct an die Wände übertragen, da nach der von mir ausgesprochenen und vielfach begründeten Ansicht über das Wesen der strahlenden Elektrodenmaterie von der Kathode sehr kleine, mit negativer Elektricität geladene Körpertheilchen losgerissen und fortgeschleudert werden, welche ihre negative Elektricität an die umliegenden Wände grösstentheils abgeben. Die negative Elektricität der inneren Glaswände bindet die positive Elektricität der Aussenwände, während die negative Elektricität der letzteren an die äussere Luft abgegeben wird.

Das evacuirte Glasgefäss bildet somit eine Art Leydner-Flasche mit einer negativen inneren und positiven äusseren Ladung, die manchesmal,

namentlich bei höchster Verdünnung, so stark sind, dass dünne Glaswände durchbohrt werden. Wie ich bereits an einer anderen Stelle erwähnt habe, ist die äussere Ladung eines Glasgefässes bei der höchsten Verdünnung positiv, während der Kathoden- als auch Anodendraht negativ elektrisch sind. Der Glasapparat wurde auf seine elektrischen Ladungen in der Weise geprüft, dass ein isolirter Kupferdraht zuerst mit verschiedenen Stellen der Glaswand, und dann mit dem Zuleitungsdraht eines sehr empfindlichen Quadrantenelektrometers in Berührung gebracht wurde. Dabei zeigte sich auch, dass die Dichte der statischen Elektrizität gegenüber den Entladungsstellen der Kathode am grössten war.

Elektrische Phänomene im Weltvacuum.

Wie weit das sogenannte Vacuum, das wir mit besten Hilfsmitteln erzeugen können, vom absolut leeren Raume entfernt ist, haben die Versuche über innere Reibung gezeigt, welche von Kundt und mir in höchst verdünnten Gasen ausgeführt worden sind¹⁾. In der Luft von 0,03^{mm} Quecksilberdruck ist die innere Reibung, also auch die ihr proportionale Wärmeleitung, erst kaum dreimal kleiner als in Luft von gewöhnlicher Dichte. In einer solchen mehr als 25.000mal dünneren Luft können mittels innerer Reibung der Luftmasse noch beträchtliche Bewegungsgrössen von Ort zu Ort übertragen werden, beispielsweise eine rotirende horizontale Glimmerscheibe setzt eine zweite zu ihr parallele selbst auf grössere Distanzen in Bewegung. Daraus schliessen wir, dass die Gasmasse im künstlichen Vacuum relativ noch sehr gross sein muss; nach der Berechnung der kinetischen Gastheorie wären selbst bei millionenfacher Verdünnung in einem Cubikcentimeter noch ungefähr 21,000.000,000.000 Luftmoleküle, welche zwischen einer Unzahl unfassbar kleiner Aetheratome sich hin- und herbewegen.

Ebensowenig wie das künstliche Vacuum dürfen wir nach dem heutigen Zustande der Wissenschaft auch den Weltenraum als leer annehmen. Bekanntlich ist schon Licht- und Wärmestrahlung ein sicherer Beweis dafür, dass der interstellare Raum mit einer sehr feinen Materie erfüllt ist, die schon von den alten Philosophen Weltäther²⁾ genannt wurde. Ferner ist durch exacte Messungen und Rechnungen der Astronomen eine stetige Abnahme der grossen Achse der Bahn beim Encke'schen

¹⁾ Pogg. Ann. Bd. 155. Sitzb. der k. Akad. der Wissensch. Bd 78.

²⁾ Im Sanskrit *āśchtra* = Luftkreis und die Wurzel *as*, *āsh* bedeutet glänzen.

Kometen nachgewiesen, und diese Abnahme der Kometenbahn auf den hemmenden Einfluss einer feinen Materie zurückgeführt worden. Ob jedoch das hemmende Mittel mit dem Weltäther identisch, oder jedem Sonnensystem eigen ist und dasselbe, ähnlich wie die Atmosphäre um Herschels Nebelsterne, bis zu einer gewissen Entfernung umgibt, bleibt noch eine offene Frage; so viel ist aber sicher, dass auch das Weltvacuum nicht absolut leer ist. Wenn nun ein mit Aether erfüllter Raum für die Elektrizität leitend ist, so lässt es sich leicht erklären, wie elektrische Gleichgewichtsstörungen auf einem Himmelskörper solche auf allen benachbarten hervorrufen müssen. Neben Gravitation, Licht- und Wärmestrahlung wird somit auch die Elektrizität zu jenen Naturkräften gehören, welche entfernte Himmelskörper mit einander verbinden.

Dass die Polarlichter, Nord- und Südlicht, welche in höheren¹⁾ Regionen unserer Atmosphäre in den Polgegenden fast ununterbrochen auftreten, bisweilen die Lichtintensität des ersten Mondviertels erreichen und durch ihre Lichtschwingungen selbst beim Sonnenschein sichtbar werden, aufsteigende elektrische Entladungen sind, wird kaum jemand bezweifeln können. Ueber den Ursprung dieses Lichtphänomens sind jedoch die Ansichten getheilt.

De la Rive hält diesen Lichtprocess für eine Widervereinigung der positiven Elektrizität der Luft mit der negativen Elektrizität der Erde, welche in den Aequatorialgegenden durch Sonnenwärme direct oder indirect getrennt werden. Warum jedoch die elektrischen Ladungen sich nicht schon früher und erst in den Polgegenden vereinigen, ist nicht einzusehen, umso mehr als die Luft ein schlechter Elektrizitätsleiter ist. Wenn aber das Weltvacuum die Elektrizität leitet, so liegt die Annahme sehr nahe, dass das Polarlicht kosmischen Ursprungs²⁾ ist und namentlich durch elektrische Störungen an der Sonnenfläche hervorgerufen wird. Sonne und Erde bilden gleichsam zwei mächtige Elektroden im Weltenraume, zwischen denen elektrische Entladungen durch das Vacuum erfolgen. Für den kosmischen Ursprung des Phänomens spricht auch die Abhängigkeit seiner Intensität von der Grösse der Sonnenflecken, wie das jüngst am Observatorium in Kew, in der Zeit vom 15.—21. April, als sehr starke Nordlichter in Amerika auftraten, beobachtet wurde. Das Maximum der

¹⁾ Newton findet durch Berechnung der bei 28 Nordlichtern angestellten Beobachtungen, dass die Höhe dieser Erscheinungen über der Erdoberfläche zwischen 33 und 281 englischen Meilen variirt. Nat. 22, S. 291, 1880.

²⁾ Edlund, Wiedemanns Annalen 1882, S. 514.

Intensität des Nördlichtes trat am 17. April ein, als die Sonnenscheibe einen ungewöhnlich grossen Sonnenfleck zeigte.

Es ist nicht unwahrscheinlich, dass solche Lichtprocesse auch auf anderen Planeten stattfinden und in der That zeigt die Venus auf ihrer von der Sonne nicht beleuchteten Seite manchesmal ein phosphorisches Licht. Eine elektrische Entladung in verdünnter Atmosphäre ist zweifellos auch das Wetterleuchten, welches bei ruhiger Luft zwischen den Wolken oft stundenlang andauert, und höchst wahrscheinlich auch das von Rozier und Beccaria beobachtete Leuchten grosser Wolken ohne Flimmern, sowie das Leuchten trockener Nebel, wie in den Jahren 1783 und 1831 ¹⁾. Oefters wurde auch die Beobachtung gemacht, dass zur Zeit des Nordlichtes dunkle Partien des Himmels von den herabfallenden Sternschnuppen hell aufleuchten. Dieser und noch ein anderer Umstand, dass nach dem Verschwinden mancher Sternschnuppen und Feuerkugeln phosphorische Nebelgebilde längere Zeit sichtbar bleiben, legen die Vermuthung nahe, dass die glänzenden Lichterscheinungen der Meteore und Feuerkugeln nicht bloss durch Erglühen der äussersten Schichte der bewegten Körper, sondern auch durch Elektrischwerden der umgebenden Gasmassen entstehen. Admiral Krusenstern hat auf seiner Reise um die Welt den Schweif einer längst verschwundenen Feuerkugel eine Stunde lang gesehen. Ein derartiges Schauspiel bot auch die Feuerkugel vom Jahre 1873 dar, welche 22 Meilen über der Erdoberfläche südlich von Raab aufleuchtete, sich über Nieder-Oesterreich, Mähren und Böhmen bewegte und bei Zittau in einer Höhe von 4,5 Meilen erlosch. Der blendend weisse zickzackförmige Schweif dieses Meteoros war noch eine halbe Stunde sichtbar. Mit der Annahme, dass der Schweif aus glühenden Gasen besteht, lässt sich die lange Dauer des Leuchtens nicht erklären, besonders wenn man bedenkt, dass der Wärmeverlust der Körper im Vacuum in Folge der Strahlung schon bei geringer Temperaturdifferenz der Umgebung relativ gross ist, und um so grösser im Weltenraume sein muss, dessen Temperatur nach den actinometrischen Messungen von Pouillet — 142° C. sein soll. Selbst grössere Kohlenstückchen erlöschen, wie ich beobachtet habe, in einer sehr verdünnten Luft fast momentan von der Weissgluth bis zur Rothgluth. Andererseits kann die Energie der fortschreitenden Bewegung durch Reibung ebensogut in Wärme als Electricität verwandelt werden, daher ist die Annahme, dass die Meteore eine elektrische und zugleich eine Glühlicht-Erscheinung darbieten, berechtigt.

¹⁾ Humboldt, Kosmos 1874. Bd. 1, S. 127.

Auch die Kometenschweife, welche über viele Millionen Meilen sich erstrecken, sollen nach Zöllner's Ansicht durch elektrische Prozesse entstehen, welche durch Einwirkung der Sonne hervorgerufen werden. Gelangt ein Komet, der ein Gebilde von flüssigen Meteor Massen sein soll, in die Nähe der Sonne, so werden auf der zugewandten Seite Verdampfungs- und Siedeprocesses stattfinden und eine Dunsthülle entstehen, wobei gleichzeitig auch Elektrizität permanent entwickelt wird. Durch Abstossung zwischen der elektrischen Sonnenatmosphäre und der gleichnamigen Elektrizität der Dunsthülle erklärt sich die Bildung des Kometenschweifes nach einer von der Sonne abgewandten Richtung. Würde die Elektrizität der Dunsthülle des Kometen aus irgend einem Grunde ungleichnamig werden, so müsste der Schweif gegen die Sonne gerichtet sein, was zuweilen auch beobachtet wird. Diese scharfsinnige Theorie, welche Zöllner bis in die einzelnen Phänomene, welche an den Kometen bisher beobachtet worden sind, wie Krümmung des Schweifes, oscillirende Bewegung der Ausströmung, Vervielfältigung der Dunsthüllen u. s. f. ausgeführt hat, verspricht mehr Erfolg als alle anderen Hypothesen, die auf diesem räthselhaften Gebiete aufgestellt worden sind.

Folgerungen aus den Versuchen.

Ausgehend von der unitarischen Ansicht über das Wesen der Elektrizität, habe ich die Phosphoreszenzwirkungen der strahlenden Elektrodennmaterie auf folgende Weise erklärt.

Die äusserst feine Materie, welche den ganzen Weltenraum erfüllt und das Licht und die Wärme fortpflanzt, der Aether, lagert sich um die körperlichen Atome und Moleküle, wie die Luftatmosphäre um die Erde. Jeder Körper hat im normalen Zustande eine bestimmte Menge dieses ewig bewegten Stoffes. Besitzt er mehr Aether, als er entsprechend der Dichte desselben in unserem Weltenraume haben sollte, so ist er positiv elektrisch; dagegen negativ elektrisch, wenn er weniger Aether enthält. Treffen nun die negativ elektrischen Elektrodentheilchen die Glaswand, so wird, ausser der Erschütterung der körperlichen Moleküle, auch ein Ausgleich der Aethermengen zwischen den anprallenden Theilchen und der getroffenen Stelle stattfinden, welcher Ausgleich ohne Erschütterung der Aetherhüllen der Moleküle nicht vor sich gehen kann. Jede getroffene Stelle der Glaswand wird zum Mittelpunkte von Aetherwellen, ganz analog wie eine ruhige Wasserfläche, von Regentropfen getroffen, in der Ebene Wasserwellen zeigt. In Folge dieser in den Raum

ausgesendeten Aetherwellen leuchtet die Glaswand mit dem ihr eigenthümlichen Phosphorescenzlichte, welches je nach der Zusammensetzung des Glases verschieden sein muss, weil ja auch die Wellenbewegung in Folge der Verschiedenheit der Dichte des Aethers verschieden sein wird.

Dass beim Anprallen der unendlich kleinen Projectile der Elektrodenmaterie ein Theil der Energie ihrer fortschreitenden Bewegung in vibrirende Bewegung der Körpermoleküle der Glaswand, also in Wärme, umgesetzt wird, ist ebenso selbstverständlich wie die Umsetzung jener Energie in fortschreitende Bewegung der beweglichen Flügelrädchen, die von den Elektrodentheilchen getroffen werden.

Es ist mir ferner gelungen, die Wirkung des Magnets auf die Kathodenstrahlen mittels molecularer elektrischer Convection vollständig zu erklären und diese Erscheinung sowie die Plücker'schen »magnetischen Flächen«, die Hittorf'schen spiralförmigen Windungen des Glimmlichtes und die von Reitlinger und Urbanitzky beobachteten Dreifächerflächen unter einen Gesichtspunkt zu bringen.

Die vollständige Uebereinstimmung der theoretischen Ergebnisse der molecularen elektrischen Convection mit allen bisher beobachteten Erscheinungen berechtigt zum Schlusse, dass die Annahme über das Wesen der strahlenden Elektrodenmaterie, die als Ausgangspunkt jener Erklärung diente, richtig ist.

Nach der dualistischen Ansicht wird angenommen, dass in einem vom elektrischen Strom durchflossenen Leiter zwei gleiche Mengen ungleichnamiger Elektricitäten in entgegengesetzter Richtung fliessen. Aus den Versuchen Rowland's über die Fortführung der Elektricität durch Leiter und den in dieser Abhandlung ausgesprochenen Ansichten über die moleculare elektrische Convection folgt, dass im Sinne der unitarischen Hypothese schon die Bewegung einer einzigen Elektricität auf eine Magnetnadel dieselbe Wirkung ausübt, wie ein elektrischer Strom, der in einem ruhenden Leiter fliesst. Was aber besonders für die unitarische Ansicht zu sprechen scheint, ist die schon längst bekannte Thatsache, dass der elektrische Strom nur von einem Pol die Theilchen mechanisch losreisst.

Wollte man etwa annehmen, dass nur jene Bewegung, welche als negative Elektricität sich manifestirt, die Theilchen trennen kann, so finden wir noch eine Thatsache, dass der Strom vom positiven Pol die Theilchen loszureissen vermag, wie es bei der elektrischen Bogenlampe der Fall ist, bei welcher die Theilchen von der positiven zur negativen Kohlenspitze übergeführt werden.

Unter Annahme, dass der elektrische Strom ein wirkliches Fliesen des Aethers ist, können die erwähnten Thatsachen mit Leichtigkeit erklärt werden.

Ich will schon hier einem Einwande begegnen, der möglicherweise gegen die Aethertheorie des elektrischen Stromes erhoben werden könnte, nämlich dass die mechanische Wirkung des letzteren sehr bedeutend sein kann, während doch die Masse des Aethers verschwindend klein ist. Nach der Berechnung des Herrn P. Glan hätte der Aether in einem bestimmten Raume (z. B. 1^{cm}) jedenfalls mehr Masse als der hundertbillionte Theil desselben Raumes, wenn er mit Wasserstoff von normaler Dichte gefüllt wäre. Der von Herrn Thomson angegebene obere Grenzwert für die Dichte des Aethers ist 7400mal grösser ¹⁾.

Die mechanische Wirkung bewegter Massen hängt von der lebendigen Kraft mv^2 ab; sie ist desto grösser, je grösser die Masse oder das Quadrat der Geschwindigkeit der Bewegung ist. Man könnte somit die grossen mechanischen Wirkungen des elektrischen Stromes entweder durch grosse Geschwindigkeit bewegter Aethermenge bei geringer Masse des Aethers, oder umgekehrt, durch grosse Aethermenge bei geringer Stromgeschwindigkeit erklären. Das Letztere scheint indessen der Fall zu sein, und das mechanische Losreissen eines Elektrodenheilchens durch den elektrischen Strom würde somit durch Uebertragung einer sehr grossen Aethermenge, welche durch den Leiter mit geringer Geschwindigkeit fliesst, vor sich gehen.

Hier sei noch bemerkt, dass die Wheatstone'schen Versuche über die Ungleichzeitigkeit der Funken an verschiedenen Unterbrechungsstellen des Leitungsdrahtes über die Stromgeschwindigkeit keinen Aufschluss geben. Im Sinne der Aethertheorie des elektrischen Stromes würden diese Versuche nur beweisen, dass ein Ueberschuss oder Mangel an Aether, eine Verdichtung oder Verdünnung desselben, welche an einer Stelle der Leitung erzeugt wird, mit einer sehr grossen Geschwindigkeit sich fortpflanzt. Dass diese Geschwindigkeit »der Stromverbreitung«, wie sie W. Weber nennt ²⁾, von derselben Ordnung sein wird wie die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes, war nach der Wellentheorie a priori zu erwarten und wird durch die Wheatstone'schen ³⁾ Versuche bestätigt.

¹⁾ Wied. Ann. Bd. 7, S. 658.

²⁾ Abhandlungen über elektrodynamische Maassbestimmungen. Abhandl. 2, S. 299.

³⁾ A. a. O. Abhandl. 4, S. 281.

Während die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Bewegung von Theilchen zu Theilchen sehr gross ist, ist die diesen Theilchen eigenthümliche Bewegung, die Stromgeschwindigkeit, sehr gering und ergibt sich nach Weber für feuchte Leiter (Wasser) zu $\frac{1}{2}^{\text{mm}}$ in der Secunde.

Weber findet, dass bei einem Strome, dessen Intensität nach elektrolytischem Maasse = 1 ist, eine positive Elektrizitätsmenge mit $\frac{1}{9}^{\text{mgr}}$ Wasserstoff in der einen Richtung und eine gleich grosse negative Elektrizitätsmenge von $106\frac{2}{3} \times 155370 \times 10^6$ Einheiten zusammen mit $\frac{8}{9}^{\text{mgr}}$ Sauerstoff verbunden in entgegengesetzter Richtung durch den Querschnitt des Leiters in 1 Secunde geht, woraus folgt, dass in 1^{mgr} Wasser $106\frac{2}{3} \times 155370 \times 10^6$ Einheiten positiver und gleich viel negativer Elektrizität enthalten sein müsse, die sich aber zusammen mit ihren ponderablen Trägern nur mit der erwähnten Geschwindigkeit von $\frac{1}{2}^{\text{mm}}$ in der Secunde fortbewegen, wenn der Querschnitt des feuchten Leiters nur ein Quadratmillimeter gross ist.

Unter dieser Voraussetzung kann es nunmehr nicht befremdend sein, dass eine äusserst feine Materie wie der Aether dennoch eine auffallend heftige Wirkung erzeugen, die unvergleichlich grösseren Körpermoleküle in Wärmebewegung versetzen und unter Umständen dieselben vom Körper lostrennen und mit einer bedeutenden Geschwindigkeit fortschleudern kann. Aus der Natur der Sache ergibt sich, dass dieses Losreissen der Theilchen nur an der Austrittsstelle des Stromes stattfinden wird, womit jedoch nicht gesagt werden soll, dass am entgegengesetzten Pol in Folge einer anderen Ursache, etwa einer starken Erhitzung, ein Losreissen der wägbaren Materie nicht geschehen könnte.

Ausserdem werden die Aethertheilchen in den Räumen zwischen den Molekülen wägbarer Materie sich reiben und einen Theil der Energie ihrer Bewegung an die Körpermoleküle übertragen, wodurch in den letzteren schwingende Bewegungen ähnlich angeregt werden, wie die Schwingungen der Saiten einer Aeolsharfe durch die progressive Bewegung der Luftströme.

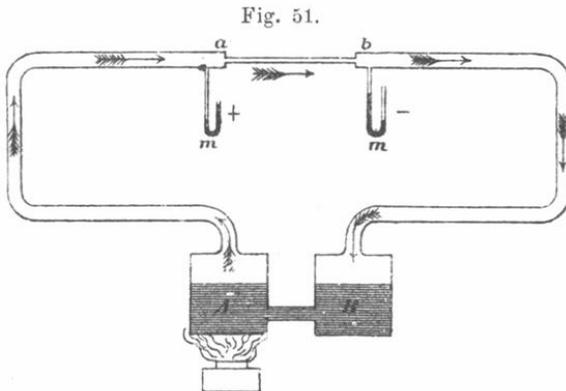
Wollte man aus der Bewegungsrichtung der losgerissenen Elektroden-theilchen auf die Richtung des hypothetischen Aetherstromes schliessen, so müsste angenommen werden, dass derselbe bei Inductionsströmen in luftverdünnten Räumen vom negativen zum positiven Pol, dagegen bei galvanischen Strömen in umgekehrter Richtung geht, weil bei den letzteren die Ueberführung der losgerissenen Theilchen vom positiven zum negativen Pol stattfindet, wenn die Elektroden vom gleichen Metall und annähernd gleicher Form sind.

Halten wir diese zwei Thatsachen zusammen, so haben wir beim galvanischen Strom an seiner Austrittsstelle freie positive und beim Inductionsstrom freie negative Spannung.

Wir können daher folgende Frage stellen: Kann an der Austrittsstelle des Aetherstromes eine Umkehrung der Spannungen stattfinden, und worin besteht die Ursache davon?

Die Erklärung ergibt sich ohne Zuhilfenahme irgend einer Hypothese, bloss aus den bisher erkannten, experimentell nachgewiesenen Gesetzen der Strömung, welche alle Flüssigkeiten, also auch der Aether, befolgen müssen.

Es sollen diese Gesetze zuerst an einer wägbaren Flüssigkeit, etwa überhitztem Dampf, erläutert werden. Die Fig. 51 stellt uns eine Röhrenleitung dar, welche mit zwei mit Wasser gefüllten communicirenden



Gefässen in Verbindung steht. In A wird der Dampf erzeugt und überhitzt; derselbe fliesst durch das Röhrensystem, in welches eine Capillare *ab* eingeschaltet und mit zwei offenen Manometern *m* versehen ist, und condensirt sich in B.

Es ist leicht einzusehen, dass das Manometer in *a* ein Stauen und in *b* eine Verdünnung des Dampfes anzeigen wird. Der Ueberschuss an Dampf soll mit + und der Mangel mit - bezeichnet werden.

Wird statt der Capillare ein Gefäss von grösserem Querschnitte als jener der Röhrenleitung eingeschaltet, so entsteht an der Austrittsstelle eine Verdünnung (—) und an der Eintrittsstelle in die Röhrenleitung eine Verdichtung (+).

Ganz analog wird der durch chemische Kräfte in der Batterie continüirlich erzeugte Aetherstrom bei seinem Eintritte in den Leiter vom

grösseren Widerstande sich stauen und beim Austritte aus demselben sich verdünnen. An der ersten Stelle wird Ueberschuss, an der letzteren ein Mangel an Aether oder positive und negative freie Spannung entstehen. Dieser Fall findet bei der elektrischen Bogenlampe statt, in welcher die Luftstrecke zwischen den Kohlenspitzen für den galvanischen Strom einen bedeutenden Widerstand bietet.

Die Luftstrecke in den evacuirten Röhren ist im Vergleich zu der Luftstrecke zwischen den Kohlenspitzen allerdings viel grösser, es ist aber auch die Spannung der Inductionsströme ungleich grösser als die der galvanischen Ströme. Für den Inductionsstrom bietet die Luftstrecke in der evacuirten Röhre einen geringen Widerstand und daher der negative Pol an der Eintrittsstelle in die Luftstrecke.

Die Erklärung der Umkehrung der Elektricitätsspannungen an den Polen lässt gewiss an Einfachheit kaum etwas zu wünschen übrig, und die Analogie zwischen den Erscheinungen der Flüssigkeitsströmungen und denen der elektrischen Ströme ist so gross, dass es nicht leicht möglich wäre, sie nicht anzuerkennen. Auch wüsste ich nicht, wie man die Thatsache der Umkehrung der Pole nach der jetzt herrschenden dualistischen Theorie besser und einfacher erklären könnte.

Aus der aufgestellten Hypothese über das Wesen des elektrischen Stromes lässt sich noch eine Folgerung ziehen, welche mit der Beobachtung in bester Uebereinstimmung ist. Wird eine Batterie durch einen Draht geschlossen, so leistet er dem nach Ausgleich strebenden Aether einen Widerstand, und es wird daher im Drahte ein theilweises Stauen des Aethers stattfinden, welches, am positiven Pol beginnend, gegen die Mitte des Drahtes bis zu einer Stelle, an der die freie Spannung null ist, abnehmen wird. Jenseits dieser Grenze wird sich ein Mangel an Aether, also negative freie Spannung in stets zunehmender Weise manifestiren, ganz analog dem Druckgefälle bei strömenden Flüssigkeiten. Während diese Vertheilung freier Spannungen im Leitungsdraht nach der Aethertheorie sich als selbstverständlich ergibt, bleibt uns die herrschende dualistische Theorie die Antwort auf die Frage schuldig, warum die freien Elektricitäten durch den Leitungsdraht sich nicht mit einander vereinigen, da sie es sonst doch in ausserordentlich kurzer Zeit thun.

Andererseits ist es klar, dass sich die Sache ähnlicherweise auch in evacuirten Röhren verhalten wird. An der Eintrittsstelle des Aetherstromes in die Gassäule entsteht ein Mangel an Aether, d. h. eine negative freie Spannung, während am positiven Pol ein Stauen des Aethers,

positive freie Spannung, stattfindet. Es muss daher zwischen beiden Polen eine Stelle geben, die sich gegen andere Körper weder positiv noch negativ elektrisch verhalten wird, und diese indifferente Stelle würde sehr gut auf den dunklen Raum zwischen dem positiven Lichtbüschel und Glimmlichte passen ¹⁾.

Für diese Annahme spricht die von de la Rive durch directe Versuche erwiesene Thatsache, dass der dunkle Raum kälter ist als die übrige Entladungsstrecke und dass in demselben eine deutliche Elektrizitätsströmung nicht nachzuweisen ist ²⁾.

Die obige Annahme ist auch in bester Uebereinstimmung mit den Resultaten der elektroskopischen Untersuchungen von evacuirten Röhren, welche von einem Inductionsstrome durchflossen werden.

Wird eine vom Inductionsstrome durchflossene und an beiden Elektroden isolirte Röhre mittels eines Stanniolstreifens mit einem Elektroskop verbunden und an verschiedenen Stellen untersucht, so zeigt sich, wie Herr G. Wiedemann nachgewiesen hat, dass die Röhre in der Nähe des negativen Poles negativ elektrisch ist und positiv elektrisch in der Nähe des positiven Poles. Beide elektrischen freien Spannungen nehmen gegen den dunklen Raum ab und sind hier fast null. Die geringe Spannung der Glasröhre um den dunklen Raum erklärt sich zur Genüge dadurch, dass die Fortpflanzung der Elektrizität auch durch das Glas geschieht und dass in diesem Leiter die indifferente Schicht an eine andere Stelle als in der inneren Gassäule fallen kann. Davon überzeugt man sich, wenn nur eine Elektrode des Rohres geladen, die andere abgeleitet wird. Die Röhre erscheint an der abgeleiteten Elektrode indifferent und ist der ganzen Länge nach gleichnamig elektrisch mit der geladenen Elektrode ³⁾.

Ist die gegebene Erklärung des dunklen Raumes richtig, so liesse sich die Schichtenbildung des positiven Lichtbüschels auf folgende Weise erklären. Es liegt der Gedanke nahe, dass der dunkle Raum nur die erste dunkle Schicht ist und dass alle dunklen Stellen im positiven Lichtbüschel ebenso viel indifferente Stellen oder Schichten von Spannung null sind, deren Ursprung auf mechanische Weise sich erklären liesse. Die intermittirenden Entladungen der von der Elektrode losgerissenen Theilchen werden in der eingeschlossenen Luftsäule Verdichtungen und Verdünnungen erzeugen, welche um so regelmässiger verlaufen werden,

¹⁾ Zu unterscheiden vom dunklen Raume unmittelbar an der negativen Elektrode.

²⁾ Pogg. Ann. Bd. 158, S. 271.

³⁾ Pogg. Ann. Bd. 158, S. 69.

je regelmässiger der Unterbrecher schwingt. Die Zahl dieser Wellen wird von der Natur des Gases, der Form des Gefässes und der Elektroden abhängen.

Da ferner das verdünnte Gas den Entladungen einen geringeren Widerstand leistet als das verdichtete, so werden an den Ein- und Austrittsstellen in die Verdichtungen abwechselnd positive und negative Spannungen entstehen.

An der Stelle der grössten Verdichtung wird, wie in der Zeichnung (Fig. 52) angegeben, positive und an der Stelle der grössten Verdünnung negative freie Spannung entstehen. Dazwischen werden die indifferenten (0) Stellen liegen.

Fig. 52.



Dass in den Schichten nicht abwechselnd auch die blaue Färbung des Glimmlichtes erscheint, ist damit zu erklären, dass hier Elektroden-theilchen fehlen. Nur einmal beobachtete ich an der der negativen Elektrode zugewendeten Seite der ersten hellen, weisslichen Schicht eine ungefähr 1^{mm} dicke, sehr deutliche, blaue Oberfläche. Solche oberflächlich blau gefärbte Schichten soll auch Herr Ciamician, der sich in letzter Zeit mit Spectralröhren viel beschäftigte, gesehen haben.

Die Verdichtungen und Verdünnungen der Luftsäule werden gewiss in der ganzen Röhre entstehen, wenn überall das Gas im gleichen Bewegungszustande begriffen wäre. Dass diese Schichtenbildung im Glimmlicht durch die heftig fortgeschleuderten Elektroden-theilchen modificirt werden muss, ist zu erwarten.

Ebenso wird bei einer stetigen Entladung des elektrischen Stromes keine Schichtenbildung zu gewärtigen sein.

Wird die Röhre stärker evacuirt, so müssen die Wellenlängen zunehmen, zugleich aber die Anzahl der Wellen geringer werden, weil das Glimmlicht desto weiter hinausfluthet, je geringer der Bewegungswiderstand des zurückgebliebenen Gases ist. Wird das Glimmlicht mit Hilfe eines Magneten in der Nähe der negativen Elektrode zurückgedrängt, so können die Schichten in dem vom Glimmlicht freien Raume entstehen. Die Schichten verschwinden ganz, wenn das Glimmlicht bis zur positiven Elektrode hinausfluthet.

Mit der Erklärung der Schichtenbildung haben sich sehr viele Forscher beschäftigt: es würde jedoch die Grenzen dieser Abhandlung überschreiten, wollte ich auch die bisherigen Ansichten über diesen Gegenstand einer Kritik unterziehen.

So viel ich das weite Gebiet der Elektrizitätsleitung in verdünnten Gasen übersehe, kann ich mich der Ueberzeugung nicht verschliessen, dass nur die Annahme einer einzigen bewegten Flüssigkeit jene elektrischen Erscheinungen, welche für die dualistische Theorie bisher ein unlösbares Räthsel geblieben sind, in ungezwungener Weise erklären kann. Und wenn die gegebene Erklärungsweise vielleicht sehr einfach erscheinen mag, so ist sie andererseits deutlich und frei von neuen Hypothesen und Mysticismus.

Die Aethertheorie der Elektrizität ist besonders im letzten Decennium zum Gegenstand eines tieferen Studiums geworden. Bekanntlich versuchte schon Franklin die zu seiner Zeit bekannten elektrischen Erscheinungen durch Annahme einer einzigen elektrischen Flüssigkeit zu erklären. Es gelang ihm jedoch nicht, die Abstossung zweier elektrischer negativer Körper zu begründen, und so musste die Ansicht Franklin's und der „Unitarier“ jener der „Dualisten“, welche die elektrischen Erscheinungen mit zwei Elektrizitäten erklären wollen, das Feld räumen. Erst in der letzten Zeit ist von gewiegten wissenschaftlichen Männern die unitarische Idee wieder aufgenommen und mit Erfolg weiter ausgebildet worden.

Hier muss ich vor allem eines verdienstvollen Mannes, des Astronomen Angelo Secchi, gedenken, welcher die Idee, dass der elektrische Strom ein wirkliches Fliessen des Aethers ist, bereits im Jahre 1863 in seinem Buche „Die Einheit der Naturkräfte“ klar ausgesprochen und, mit Zuhilfenahme der bisher bekannten experimentell geprüften Gesetze der Hydrodynamik, die meisten elektrostatischen und elektrodynamischen Erscheinungen in einfacher und verständlicher Weise erklärt hat.

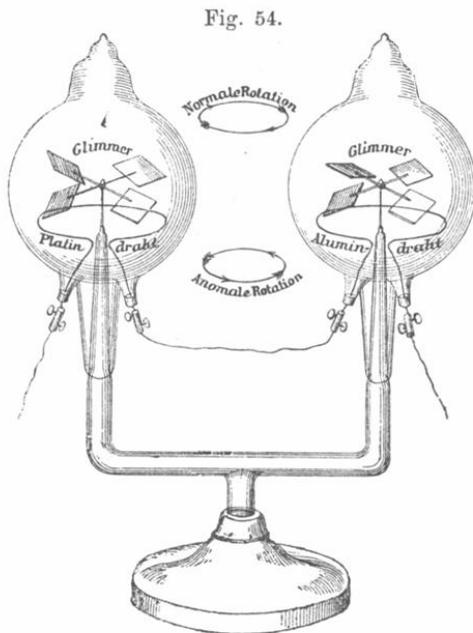
Nachher hat auch Herr E. Edlund (1871)¹⁾, ausgehend von der Annahme eines einzigen Fluidums, für die gegenseitige Einwirkung zweier Stromelemente die von Ampère gegebene empirische Formel abgeleitet, welche die Gesetze aller elektrodynamischen Erscheinungen beherrscht. Dabei stützt er sich auf zwei fundamentale Principien, nämlich 1. auf das Archimedische Princip, dessen Anwendbarkeit auf Phänomene dieser Art unbestreitbar erscheint und durch diamagnetische Versuche Plücker's

¹⁾ Pogg. Ann. Erg.-Bd. 6, S. 95 und 241.

angebracht und seine Enden in die Glaswand eingeschmolzen, um einen galvanischen Strom hindurchleiten zu können.

Die Temperaturerhöhung des Platindrahtes wurde näherungsweise durch ein in Fünftelgrade C. getheiltes Thermometer bestimmt, um dessen Quecksilbergefäß ein Platindraht von derselben Dicke wie in dem betreffenden Radiometer in einer dicht anschliessenden Spirale von mehrfachen Windungen geführt war. Das Thermometer wurde dann in ein Gefäß gesetzt, in dem sich eine nicht leitende Flüssigkeit befand, z. B. Copal-lack, welche die Drahtspirale umspülte. Fig. 53.

Mit einem Apparate mit zwei communicirenden Radiometergefäßen, Fig. 54, welche mit einem Aluminium- und Platinring versehen waren,



wurden bei einer galvanischen Temperaturerhöhung des Drahtes von höchstens 10° C., unter verschiedenen Druckverhältnissen des Gases im Inneren der Gefäße, folgende Erscheinungen beobachtet:

1. Bei gewöhnlichem Barometerdruck von 760^{mm} fand eine normale Rotation statt, d. h. eine solche, wie sie durch erwärmte, vom Drahte aufsteigende Luftströme erklärt werden können.

2. Bei stetiger Verminderung des Druckes trat bei ungefähr 100^{mm} ein Wendepunkt ein, indem sich die Rotation mit abnehmender Geschwindigkeit bis zum Stillstande bei diesem Druck verlangsamte.

3. Bei niedrigeren Druckwerthen als 10^{mm} stellte sich eine anormale Rotation nach der entgegengesetzten Richtung ein, d. h. eine solche, welche durch Aufsaugung des Gases durch die erwärmten Drähte, sowohl Aluminium- als Platindraht erklärt werden könnte.

4. Diese anomale Rotation blieb unverändert bis zu Druckwerthen, welche barometrisch nicht mehr gemessen werden konnten, und bei welchen, wie es schien, ein mit der Pumpe gleichzeitig in Verbindung gesetztes gewöhnliches Radiometer, bereits den Punkt seiner grössten Empfindlichkeit überschritten hatte.

5. Bei fortgesetzter Evacuation tritt fast plötzlich wieder die normale Rotation ein, jedoch mit einer solchen Geschwindigkeit, dass man nicht mehr die einzelnen Theile des rotirenden Kreuzes zu erkennen im Stande ist. Herr Zöllner hat bei den empfindlichsten Radiometern, selbst bei der kräftigsten Bestrahlung durch die Sonne, niemals auch nur entfernt solche Rotationsgeschwindigkeiten beobachtet. Die galvanische Erwärmung des Drahtes braucht hierbei nur 2° — 3° zu betragen. Der Eintritt der Wendepunkte scheint näherungsweise beim Platindraht und Aluminiumdraht gleichzeitig einzutreten.

Alle diese Versuche gelingen selbstverständlich auch dann, wenn die Drehungen über statt unter dem beweglichen Kreuze angebracht sind, nur ist die Bewegungsrichtung immer umgekehrt.

Wenn die Gefässe bei diesem geringen Drucke des eingeschlossenen Gases abgeschmolzen werden, so findet unter denselben Bedingungen die normale Rotation bei der galvanischen Erwärmung der Drähte gleichfalls statt. Die Geschwindigkeit der Rotation nimmt indessen fortwährend ab, bis nach 8—10 Tagen selbst bei einer Erwärmung bis zum Glühen Stillstand eintritt, der sich später in die anormale Rotation verwandelt, welche Aenderungen nur durch allmälige Druckvergrösserungen im Inneren des Gefässes herbeigeführt werden.

Interessant ist noch ein Versuch, den Herr Zöllner gemacht hat, indem er das Radiometer einfach in das volle Sonnenlicht stellte. Es fand eine normale Rotation statt, auch wenn sich der Druck soweit vergrössert hat, dass bei der galvanischen Erwärmung des Drahtes die anormale Rotation eintrat.

Aus diesem Versuche folgert Herr Zöllner, dass der galvanische Strom nicht nur durch die von ihm in dem Draht erzeugte Erwärmung auf die Glimmerscheibe wirkt, sondern dass diesem Strom eine spezifische Wirkung auf das umgebende gasförmige Medium zugeschrieben werden

muss, welche entgegengesetzt der durch Temperaturerhöhung erzeugten Wirkung ist. Diese Wirkung könnte nach Zöllner durch eine Resorption des umgebenden Gases erklärt werden.

Für die Existenz solcher Absorptionsprocesse wird noch folgende Beobachtung angeführt. Es wurde der in Fig. 54 dargestellte Doppelapparat, nachdem er während einer der normalen Rotation entsprechenden Verdünnung abgeschmolzen war, zwischen das Doppelfenster des Arbeitszimmers gestellt. Während einige Tage seit dem Abschmelzen bereits eine Verminderung der normalen Rotationsgeschwindigkeit eingetreten, wurde eines Abends beim Mondschein eine langsame Rotation in anormaler Richtung beobachtet. Diese Rotation wurde seitdem des Nachts auch ohne Mondschein während eines Zeitraumes von vier Wochen beobachtet. Auch des Tags bei dicht bedecktem Himmel fand diese Rotation statt, während bei heller Beleuchtung ein Stillstand eintrat, der sich bei Bestrahlung durch die Sonne in eine normale Rotation verwandelte. Diese Eigenschaft hat sich jedoch nach und nach verloren.

In der Abhandlung wird noch eines Umstandes in Kürze gedacht. Herr Zöllner vermuthete, dass die Erscheinung mit einer Ausstrahlung gegen den Himmelsraum im Zusammenhange stehe und öffnete daher zur Vergrößerung dieser Ausstrahlung das äussere Fenster, während das innere wieder geschlossen wurde. Die eintretende Wirkung war die entgegengesetzte von der erwarteten; die Bewegung hörte nach Verlauf einer halben Minute vollständig auf. Sobald aber das äussere Doppelfenster wieder geschlossen wurde, stellte sich auch wieder die anormale Rotation ein. Diese Versuche wiederholte Zöllner sehr oft mit gleichem Erfolge und zeigte dieselben seinen Freunden.

Während ich eine Vorlesung über „strahlende Elektrodenmaterie“ im naturwissenschaftlichen Vereine hielt, bemerkte ich, dass das Rädchen in einem Zöllner'schen Radiometer von der in Fig. 53 dargestellten Form in anormaler Richtung sich drehte, und zwar bei einem Verdünnungsgrade, bei welchem in Folge galvanischer Erwärmung oder Emission von strahlender Elektrodenmaterie, zu welchem Zwecke in das Radiometer bei a , Fig. 53, noch eine Elektrode eingeschmolzen wurde, die normale Rotation stattfand. Ich dachte gleich an den Mondschein beim Zöllner'schen Versuche und es schien mir höchst wahrscheinlich zu sein, dass die Ursache dieser räthselhaften Bewegung von der Bestrahlung durch eine Reihe von Gasflammen herrühren könnte, welche in einer Entfernung von ungefähr drei Metern vom Experimentirtische fast an der Decke im Vorlesungssale angebracht waren.

Ich vermuthete, dass eine Beleuchtung des Radiometers von unten eine entgegengesetzte Bewegung veranlassen würde. Der Versuch wurde nachher mit einem Schmetterlingsbrenner ausgeführt und meine Vermuthung bestätigte sich. Befand sich die Flamme vertical oder schief über dem Apparate, so war die Rotation in anormaler Richtung und verwandelte sich in eine entgegengesetzte normale Richtung, wenn die Flamme unterhalb des Apparates aufgestellt wurde.

Wenn ferner das Gefäss des Apparates oben mit in Aether getränktem Fliesspapier bedeckt und auf diese Weise abgekühlt und unterhalb des Kreuzes durch Berührung mit der Hand noch erwärmt wird, so stellt sich ebenfalls eine sehr lebhaftere Rotation in anormaler Richtung her. Eine entgegengesetzte Drehung findet bei der Abkühlung des unteren und Erwärmung des oberen Glasgefässes statt.

An einem Vormittage beobachtete ich an demselben Apparate eine Drehung in anormaler Richtung, wiewohl in das Zimmer keine Sonnenstrahlen gelangten und der Apparat nur im diffusen Lichte in der Nähe des Fensters stand. Nachmittags trat Stillstand ein.

Es lag die Vermuthung nahe, dass die Ursache dieser Bewegung die Ausstrahlung vom Plafond des Arbeitszimmers war, welcher Vormittags gegen den Boden verhältnissmässig wärmer als Nachmittags war.

Ich machte einen Versuch mit heissen Kupferplatten, indem ich dieselben in einer Entfernung von ungefähr einem Meter oberhalb oder unterhalb des Radiometers horizontal aufstellte. Es ergab sich das Resultat, dass Wärme- und Lichtstrahlen dieselbe Rotation veranlassen, eine anormale bei Bestrahlung des Gefässes von oben und eine normale bei Bestrahlung von unten.

Ich wiederholte auch den Zöllner'schen Versuch, indem ich das Radiometer direct in das Sonnenlicht stellte. Das Kreuz rotirte in normaler Richtung, als ich jedoch ein Bündel Sonnenstrahlen, welches durch ein rundes Loch von ungefähr 7^{cm} Durchmesser in das Arbeitszimmer hereingelassen wurde, von oben auf das Radiometer fallen liess, drehte sich das Kreuz ebenso wie vom Gaslichte und den Wärmestrahlen in anormaler Richtung und kehrte in die normale Richtung um, sobald das Strahlenbündel mittelst eines Spiegels auf den unteren Theil des Apparates gerichtet wurde.

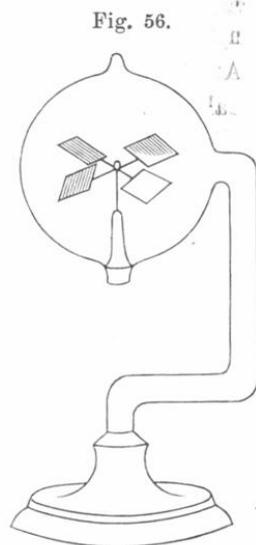
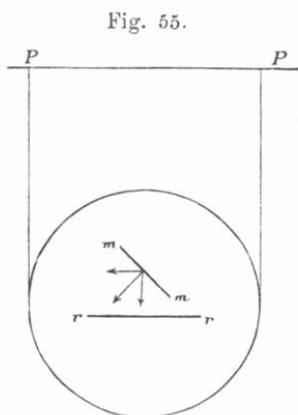
Diese, sowie die von Herrn Zöllner gemachten radiometrischen Versuche bei grosser Verdünnung (0,02^{mm} Quecksilberdruck) lassen sich auf folgende Weise erklären.

Befindet sich die heisse Metallplatte PP (Fig. 55) über dem kugelförmigen Apparate, so wird nur die obere Hälfte desselben von Wärmestrahlen getroffen und erwärmt. Die Zeichnung stellt einen Durchschnitt des Glasgefässes mit der Verticalebene dar, welche den Platinring tangirt; rr ist ein Stück des Platinringes und mm der Querschnitt des schräg gestellten Glimmerblättchens mit jener Verticalebene.

Die an die obere Glaswand anprallenden Gasmoleküle entfernen sich von derselben mit grösseren Geschwindigkeiten und übertragen durch Stösse einen Theil ihrer lebendigen Kraft an den Flügel mm , welcher in Folge dessen einen Ueberdruck normal zur Fläche erfahren wird. Die verticale Componente dieses Druckes wird durch die Spitze aufgehoben, während die zweite zum Ring parallele Componente den Flügel in anormaler Richtung treibt, wie sich aus der Zeichnung ergibt.

Es ist leicht einzusehen, dass wenn die Platte unterhalb des Apparates aufgestellt ist, die Blättchen einen von unten nach oben gegen die Fläche normal gerichteten Ueberdruck erfahren werden, und dass daher die Bewegung umkehren muss.

Für den Zöllner'schen Versuch beim Mondschein ergibt sich daraus folgende Erklärung. Die Bewegung wurde theilweise durch das schwache



Mondlicht, hauptsächlich aber durch die Wärme verursacht, welche vom oberen Theil des Doppelfensters stärker als vom unteren ausgestrahlt wurde. Beim offenen Fenster hat sich die Temperatur im ganzen Raum

des Doppelfensters ausgeglichen und es trat in der Bewegung ein Stillstand ein. Die stärkere Wärmestrahlung von oben war die Ursache der anormalen Bewegung, welche von Herrn Zöllner auch ohne Mondschein und von mir am Vormittage im geheizten Zimmer beobachtet wurde. Nachmittags hat sich die Temperatur ausgeglichen und der geringe Temperaturunterschied der Decke und des Bodens konnte die Bewegungswiderstände nicht überwinden. Der Drahttring ist für diese Versuche von untergeordneter Bedeutung; er wird die Bewegung etwas schwächen oder verstärken, je nachdem die Bestrahlung von oben oder von unten geschieht. Dass diese Versuche auch ohne Drahttring gelingen müssen, folgt aus der gegebenen Erklärung. Auch habe ich derartige Versuche mit Erfolg gemacht, und zwar mit dem in Fig. 56 dargestellten Apparate.

Je nachdem derselbe mit der Hand oberhalb oder unterhalb des Kreuzes erwärmt wird, rotirt das letztere in anormaler oder normaler Richtung.

Wird der Apparat leuchtenden Strahlen ausgesetzt, und zwar so, dass dieselben von oben auf denselben fallen, so gehen die Lichtstrahlen durch die Glaswände und treffen die oberen Flächen der Glimmerblättchen und da letztere die Wärme schlecht leiten, so werden die Glimmerblättchen an der bestrahlten Seite wärmer sein, als an der beschatteten Seite. Aus der Reaction der anprallenden Gasmoleküle resultirt daher ein normaler gegen die Blättchen von oben nach unten gerichteter Ueberdruck, welcher die Blättchen in anormaler Richtung dreht. Bei der Beleuchtung des Apparates von unten kehren sich die Verhältnisse und die Drehungsrichtung um.

Wird der Apparat ohne Drahttring in das volle Sonnenlicht gestellt, so halten sich beide Wirkungen mehr weniger das Gleichgewicht, und wenn auch die Bestrahlung von oben etwas stärker sein wird, so genügt diese geringe Differenz in der Bestrahlung nicht, um die Bewegungswiderstände zu überwinden; ein solcher Apparat im vollen Sonnenlichte muss daher stillstehen.

Diesen Versuch hat auch bereits Herr Zöllner gemacht¹⁾. In der ersten Abhandlung seiner Untersuchungen bemerkt er zu einem Apparate, in welchem unter dem Kreuze statt des Platinringes eine Scheibe aus Aluminiumblech angebracht war, Folgendes: „Das soeben beschriebene

¹⁾ Pogg. Ann. Bd. 160, pag. 166.

Kreuz zeigt für sich allein in derselben Weise wie die Radiometerkreuze in einem Glasgefäss eingeschlossen, selbst im hellen Sonnenschein keine rotirende Bewegung. Wird jedoch möglichst nahe unterhalb desselben eine Scheibe von blankem Aluminiumblech angebracht, so rotirt das Kreuz selbst bei dicht bedecktem Himmel fast ebenso schnell wie die empfindlichsten der bisher von mir beobachteten Radiometer. Der Sinn der Rotation entspricht einer Emission von der Metallfläche aus.“

Befindet sich unter dem Kreuz ein Drahttring, so erwärmt er sich im vollen Sonnenlichte, die von demselben mit grösserer Geschwindigkeit zurückprallenden Gasmoleküle übertragen einen Theil ihrer lebendigen Kraft an die Glimmerblättchen und veranlassen eine Drehung derselben in normaler Richtung.

Es möge hier noch der Versuch einer Erklärung der Bewegungserscheinungen im Zöllner'schen Radiometer, wenn der Platinring von einem galvanischen Strome durchflossen wird, Platz finden.

Dass die Bewegung in normaler Richtung beim vollen Atmosphärendruck durch Luftströmungen, die durch den erwärmten Draht entstehen, veranlasst werden, darüber wird wohl Niemand zweifeln, dagegen scheint mir die Ansicht des Herrn Zöllner, dass die anormale Bewegung bei kleineren Druckwerthen als 10^{mm} durch Resorption des Wasserstoffes durch den Platinring erklärt werden könnte, schon desshalb wenig Wahrscheinlichkeit zu besitzen, weil diese Umkehrung auch beim Aluminiumring, welcher Wasserstoff gewiss nur in verhältnissmässig sehr geringem Grade aufnehmen wird, von Herrn Zöllner selbst beobachtet wurde. Ausserdem müsste ja diese Resorption, also auch die Bewegung einmal doch ein Ende nehmen, was nicht geschieht. Auch bin ich der Ansicht, dass man eher zu erwarten hätte, dass der erwärmte Draht Gase ausscheiden und nicht aufnehmen wird.

Ich wäre geneigt, die Ursache dieser Umkehrung in der dielektrischen Polarisation und dem Elektrischwerden der Glimmerblättchen zu suchen. Der von einem Strome durchflossene Draht wird an seiner Oberfläche freie Elektrizität besitzen, welche auf die Glimmerblättchen vertheilend wirkt und die zugewendeten Seiten elektrisch macht.

Wie indessen aus dieser elektrischen Wirkung des Platinringes ein gegen die Oberfläche des Blättchens normal gerichteter Zug, der das letztere in anormaler Richtung treibt, resultirt, darüber weiss ich nichts Bestimmtes anzugeben, bin aber nichtsdestoweniger von dem elektrischen Ursprung dieser Bewegung fest überzeugt. Dafür scheint mir folgendes

Experiment zu sprechen: Wird der eine Pol des Inductionsapparates mit dem Platinring verbunden, und der andere zur Erde abgeleitet, und ist der Druck im Radiometer so gross, dass bei Anwendung des galvanischen Stromes eine anormale Rotation stattfinden müsste, so rotirt das Kreuz ebenfalls in anormaler Richtung, mag der positive oder negative Pol zur Erde abgeleitet sein.

Ist die Wirkung der dielektrischen Polarisation schwächer, als die ihr entgegengesetzte Wirkung der Luftströmungen, so findet eine normale Rotation nach Zöllner's Angaben von 760—10^{mm} statt.

Wird der galvanische Strom unterbrochen, während das Radiometer in anormaler Richtung rotirt, so findet eine Umkehrung und Drehung desselben in normaler Richtung statt. Diese Drehung wird durch Luftströmungen veranlasst und dauert nur kurze Zeit, da der Draht sich bald abkühlt.

Bei hohen Verdünnungsgraden tritt noch eine neue Ursache der Bewegung hinzu, nämlich die strahlende Wärme, deren Wirkung der dielektrischen Polarisation ebenfalls entgegengesetzt ist. In Folge grosser Verdünnung wird der Draht glühend, die Stromintensität geringer und daher auch die Glimmerblättchen schwächer elektrisch. Die strahlende Wärme des Platinringes erwärmt die Glimmerblättchen an den zugewendeten Seiten und die Reaction der stärker zurückprallenden Moleküle auf die Glimmerblättchen wird die letzteren in normaler Richtung zu drehen suchen. Da ausserdem auch vom Platinring warme, d. h. mit grossen Geschwindigkeiten begabte Gasmoleküle herausfahren und einen Theil ihrer lebendigen Kraft durch Stösse auf die Flügel in gleichem Sinne übertragen, so wird auch dadurch die normale Drehung verstärkt.

Man hat sich somit eine dreifache Ursache der Bewegungserscheinungen im Zöllner'schen Radiometer zu denken. Luftströmungen und Wärmestrahlung suchen die Blättchen in normaler und die Wirkung der dielektrischen Polarisation in anormaler Richtung zu drehen. Die Luftströmungen nehmen mit der Verdünnung ab, es überwindet die Wirkung der dielektrischen Polarisation und es findet die erste Umkehrung bei 10^{mm} statt. Mit fortgesetzter Verdünnung nimmt die Erwärmung des Drahtes in Folge geringerer Wärmeleitung des Gases zu, und die Intensität des Stromes, also auch das Elektrischwerden der Glimmerblättchen ab, und da auch gleichzeitig die Wärmestrahlung zunimmt, so wird die Wirkung der letzteren bei einem bestimmten Druck, ungefähr 0,02^{mm}, überwunden und es findet nach einer zweiten Umkehrung eine normale Rotation statt.

Wenn es gelingt eine Wirkung, z. B. die Wärmewirkung dadurch zu eliminiren, dass man den Platinring durch einen dicken Kupferring ersetzt, so ist zu erwarten, dass die erste Umkehrung schon bei grösserem Drucke als 10^{mm} und die zweite vielleicht gar nicht eintreten wird.

Würde dieser Versuch, den ich demnächst auszuführen gedenke, sich experimentell bestätigen, so wäre er ein indirecter Beweis für die Richtigkeit der gegebenen Erklärung durch Elektrischwerden der Glimmerblättchen.

