AUG 1899
CAMBRIDGE, MASS.

Sitzungsberichte

der

mathematisch-physikalischen Classe

der

k. b. Akademie der Wissenschaften

zu München.

1899. Heft I.

München.
Verlag der k. Akademie.
1899.

In Commission des G. Franz'schen Verlags (J. Roth).

Zur Mechanik der Glimmlichtphänomene.

Von **Hermann Ebert.**

(*Eingelaufen 7. Januar.*)

Bei Gelegenheit einer früheren der Hohen Akademie am 5. November 1898 vorgelegten und in den Sitzungsberichten p. 497 abgedruckten Untersuchung war ich auf Grund zahlreicher Messungen zu der Vermutung geführt worden, dass sich in den Glimmlichtern der Gasentladungen Vorgänge abspielen, welche den Gasinhalt derart verändern, dass die an sich unsichtbaren Vorgänge doch auch den sichtbaren Verlauf der Entladung wesentlich mitbestimmen. Diese Veränderungen, denen eine gewisse Nachdauer zukam, konnten durch die Annahme gedeutet werden, dass die Teilchen, Jonen oder sonstige mit freier Elektricität geladene Partikelchen, welche die aus den Messungen namentlich von Hittorf und Warburg genauer bekannten positiven Ladungen der Glimmlichter bedingen, auch nach dem sichtbaren Aufhören der Entladung noch eine gewisse Zeit lang sich in dem von Glimmlicht durchsetzten Gasraume zu erhalten vermögen. Dann musste dem Eindringen neuer Glimmlichtstrahlen ein gewisser Widerstand, oder besser eine elektromotorische Gegenkraft entgegen treten, so dass das zum Einsetzen der Entladung nötige Potential sich wieder erhöht, während es durch die fortschreitende Evacuation bis dahin erniedrigt worden war; dies wurde thatsächlich beobachtet. Auffallend war aber dabei, dass sich diese Wirkung bereits bemerklich machte, wenn nur die vordersten Spitzen zweier kurz nach einander erzeugten Glimmlichter in die gegen-

seitige Wirkungssphäre gerieten. Hat man auch schon auf Grund anderweitiger Beobachtungen gerade diese Stellen als den Sitz derjenigen Processe betrachtet, durch welche die der eigentlichen Entladung vorhergehenden Spannungen, etwa diejenigen gewisser Polarisationszustände in dem Gase, ausgelöst werden, so war doch schwer zu verstehen, wie das Vordringen der Glimmlichtspitzen in denselben Teil des Gasraumes hinein seine Wirkung rückwärts bis zu den Elektroden selbst hin zu äussern vermag. Denkt man sich mit O. Lehmann und Righi die das Glimmlicht tragende Elektrode wie mit einer Wolke positiv geladener Teilchen umgeben und zieht man die oft hervorgehobene, relativ grosse „Steifheit der Glimmlichtstrahlen" in Betracht, so wird die Mechanik des Vorganges freilich verständlicher. Immerhin war es wünschenswert, einen direkten Beweis für die Rückwirkung der zeitlich nach einander erzeugten Glimmlichter auf die sie tragenden Elektroden zu besitzen. Derselbe dürfte in der folgenden Erscheinung gefunden sein. Ich construierte eine „Vacuumdrehwaage", welcher der hochfrequente, hochtransformirte Wechselstrom, den ich schon früher verwendete, zugeführt wurde. An einem sehr dünnen Constantan- oder Messingdraht, der gleichzeitig die eine Stromzuführung bildet, hängt ein Querdraht mit zwei vertikal stehenden Aluminiumflügeln, welche gleichzeitig abwechselnd Anode und Kathode werden; durch Glasumhüllungen ist dafür gesorgt, dass sich die Entladung auf die Flügel beschränkt. Vor den Flügeln ist beiderseitig auf verschiedenen Seiten (vgl. Fig. 1) ein gleichbeschaffenes Plattenpaar fest aufgestellt, das mit dem anderen Transformatorpol leitend verbunden wird. Das Ganze ist in eine geräumige Glaskugel eingeschlossen, welche beliebig weit ausgepumpt werden kann. Beim Spiele des Wechselstromes ist je eine von den einander gegenüber stehenden Platten abwechselnd positiv geladen, die andere negativ und umgekehrt. Man sollte in allen Fällen Anziehung der stets ungleichnamig geladenen Platten erwarten. Diese macht sich auch sehr deutlich bei hohen Drucken bemerklich, bei denen die Wechselstromentladung überhaupt noch nicht

eintritt oder die Glimmlichter nur eben beginnen, einzelne Teile der Platten zu bedecken. Sowie sich aber bei tiefer werdendem Gasdrucke ausgedehntere Glimmlichthüllen ausbilden und dieselben beginnen, einander von beiden Seiten her zu

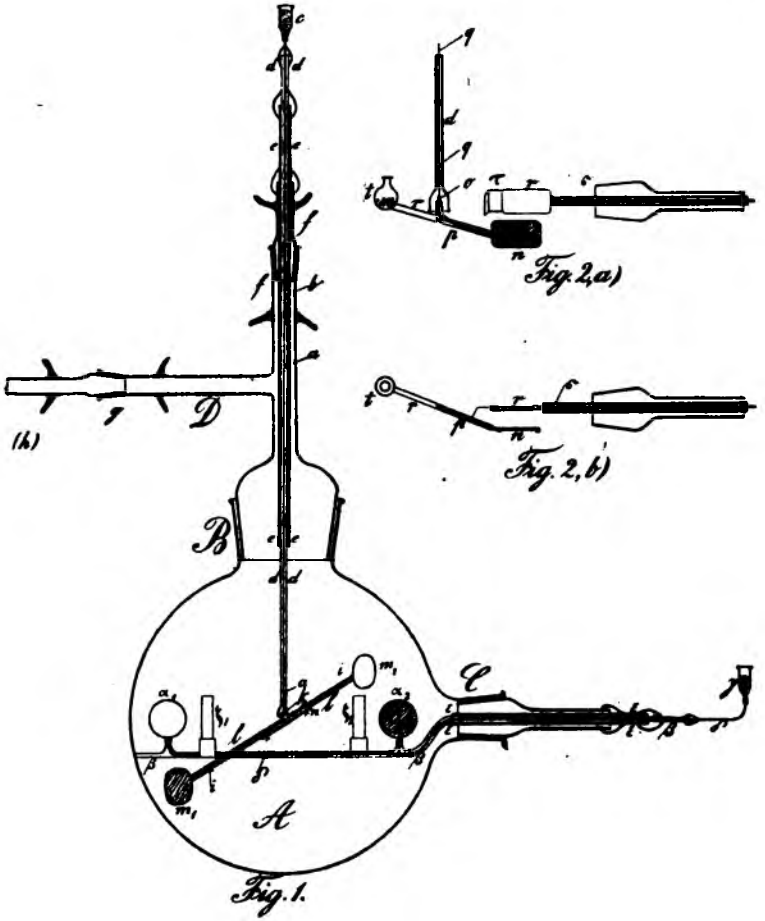

Fig. 1.

Fig. 2, a)

Fig. 2, b)

begegnen, so wird die elektrostatische Anziehung durch eine immer kräftiger werdende Abstossung überwunden. Die beweglichen Elektroden werden von den feststehenden zurückgestossen, wiewohl das Glimmlicht der einen vollkommen er-

loschen und durch Anodenlicht ersetzt ist, wenn das der anderen ausgebildet wird, wie man im Drehspiegel unzweifelhaft erkennt. Hier hat man eine mechanische Rückstauung der Elektroden und zwar von dem Momente an, in dem die Glimmlichtspitzen sich begegnen, eine Wirkung, welche die elektrostatische Anziehung überwindet, und welche nicht auf eine Rückstosswirkung der aus der Elektrode etwa austretenden Teilchen zurückgeführt werden kann, wie weiter unten nachgewiesen werden wird. —

Nach diesen orientierenden Vorbemerkungen möge zunächst die genauere Beschreibung des Apparates, dann die Aufführung der typischsten der mit demselben ausgeführten Versuche folgen.

Apparat. Die Vacuum-Drehwaage wurde in zwei Formen ausgeführt, als zweiarmige Waage und als einarmige.

a) Die zweiarmige Drehwaage. An eine dickwandige Glaskugel *A* Fig. 1 von 14 cm Durchmesser waren zwei Schliffe angeblasen, oben ein 4,5 cm weiter *B*, seitlich ein engerer *C* von 1,8 cm lichter Weite.[1]) Durch den ersteren wurde die mit dem einen Transformatorpol in metallischer Verbindung stehende Drehwaage, durch den letzteren das ablenkende, mit dem anderen Pole verbundene System eingeführt. Die Drehwaage hängt an dem 18 cm langen, nur 0,003 cm dicken Constantandraht *a*, der oben an den dicken kupfernen Zuführungsdraht *b* angelötet ist; an diesen ist oben das Quecksilbernäpfchen *c* angekittet zum Einführen des Zuleitungsdrahtes. Damit sich die Entladung nicht an den Aufhängedraht *a* ansetzt und ihn erwärmt, begleitet denselben die unten napfförmig erweiterte Schutzröhre *d* aus Glas, welche weit genug ist, um der Suspension die nötige Bewegungsfreiheit zu gewähren, aber eng genug, um das Auftreten von Entladungsbüscheln am Drahte selbst zu verhindern. Der Zuführungsdraht *b* ist oben in *d* mit Siegellack festgekittet. Die Röhre *d*

[1]) Die Glasteile wurden von Herrn Glasbläser Greiner in dem glastechnischen Institute des Laboratoriums der Herren Dr. Bender und Dr. Hobein in München in vorzüglichster Weise hergestellt.

wird von der Trageröhre *e* gehalten, in die sie eingekittet ist, letztere ist in dem Schliffstück *f* befestigt, welches unmittelbar auf *B* aufsitzt. Vermittelst des Schliffes *ff* wird es möglich, der Drehwaage jede gewünschte Anfangslage und dem Aufhängedrahte *a* nach erfolgter Ablenkung eine beliebige Torsion zu erteilen. Eine hier angebrachte, sowie eine zweite um den Aequator von *A* herumgelegte (in der Figur gleichfalls nicht gezeichnete) Gradskala gestattet wie bei der Coulombschen Drehwaage die entsprechenden Winkel zu messen.

Durch das seitliche Rohr *D* wird der Apparat evacuiert. Die Verbindung nach der Quecksilberpumpe wird durch den Schliff *g* und einen zweiten (*h*) vermittelt, dessen Axe senkrecht zur Zeichenebene steht. Durch Drehen um diese beiden Schliffe ist es möglich, auch dem an der Pumpe befindlichen Apparat jede beliebige Neigung gegen die Vertikale zu erteilen und zu bewirken, dass der Draht *a* genau axial in dem Rohre *d* herabhängt und nirgends anstösst; die Kugel *A* ruhte auf Strohkranz und einem in der Höhe verstellbaren Tischchen.

Die Drehwaage selbst besteht aus einem dünnen 8 cm langen Aluminiumstäbchen *i*, welches von einer eng anschliessenden, in der Mitte bei *k* geöffneten Glasröhre *l* umgeben ist. Durch die Oeffnung *k* ist der Aufhängedraht *a* eingeführt und an dem Stäbchen *i* befestigt. An beiden Enden sind die 1,5 cm im Durchmesser haltenden kreisscheibenförmigen Elektroden m_1, m_2 aus dünnem Aluminiumblech durch angebogene Hülsen, welche in die Röhre *l* über die etwas zugespitzten Enden von *i* gesteckt werden, befestigt. Es besteht daher eine ununterbrochene metallische Verbindung von *c* bis zu m_1 m_2 hin, ohne dass irgendwo Veranlassung zu störender Funkenbildung gegeben wäre. Die etwas nach oben gebogenen Ränder der Oeffnung *k* greifen so unter die Erweiterung von *d*, dass hier keine Entladung zu Stande kommt und doch die völlige Bewegungsfreiheit der Waage gewahrt bleibt.

Um starke Bewegungsantriebe zu erhalten, war es geboten, die Ausbildung des Glimmlichtes auf diejenige Seite zu concentrieren, gegen welche die rücktreibende Kraft gerichtet sein

sollte. Zu diesem Zwecke ist je eine Seite der Elektroden m_1, m_2 mit einem Glimmerblättchen bedeckt (schraffiert), welche von drei nach rückwärts umgebogenen Fortsätzen, die man an dem Rande der Aluminiumscheibchen hatte stehen lassen, festgehalten werden. Diese Bedeckung hindert vollkommen den Austritt der Entladung. In der perspectivischen Zeichnung 1 würde also das Glimmlicht an der Elektrode m_1 sich nur auf der vom Beschauer abgewandten, an m_2 nur an der diesem zugewandten Seite ausbilden.

Damit jedoch auch dem etwa zu erhebenden Einwande begegnet werden konnte, dass dabei durch Teilchen, welche von den Elektroden fortgeschleudert würden, ein merklicher Rückstoss eintreten und etwa durch diesen die beobachtete Abstossung der Flügel erklärt werden könne, wurden auch zahlreiche Versuche mit Elektroden ohne diese Glimmerbedeckung ausgeführt. Bei diesen bedeckten sich dann beide Seiten vollkommen gleichmässig mit Glimmlicht, nur war dieses nicht so dicht, die Wirkung daher etwas schwächer.

Um der Drehwaage noch ausser der Torsionskraft der Suspension ein bestimmtes Direktionsmoment erteilen zu können, war meist an der Glasröhre l unten eine äusserst feine, stark magnetisierte Nadel n befestigt, welche in dem Felde eines Hilfsmagneten, oder der Erde, oder des mehr oder weniger vollkommen astasierten Erdfeldes schwingend, die Empfindlichkeit der Drehwaage innerhalb sehr weiter Grenzen von aussen her, ohne innern Eingriff nötig zu machen, variieren liess.

Das ablenkende System besteht ebenfalls aus je zwei 1,5 cm grossen, entweder einseitig mit Glimmer belegten oder beiderseitig freien Aluminiumelektroden a_1 a_2, welche von Ansätzen der zweimal umgebogenen Glasröhre β getragen werden. Diese führt den am Ende mit dem Quecksilbernäpfchen γ versehenen Zuleitungsdraht δ und ist mit der Trageröhre ε in den Schliff C eingekittet. Beim Zusammensetzen des Apparates wird zuerst die Röhre β durch den Schliff C eingeführt, dann werden von B aus mittels einer langen Greifzange die Scheiben a_1 und a_2 mit ihren Hülsen in die Ansätze der Glasröhre β fest

eingesetzt. Diese lehnt sich dabei mit ihrem zugeschmolzenen Ende an die Innenwand der Kugel A an, um dem Drucke beim Einsetzen der Elektroden genügenden Widerstand entgegensetzen zu können. Kurze Drahtstücke und Auskleidungen mit Stanniol vermitteln eine sichere funkenlose Zuleitung zu den Elektroden a_1 a_2; die allseitige Umkleidung mit Glas bewirkt, dass nur auf diesen Entladungserscheinungen auftreten.

Damit es, so lange noch die elektrostatische Anziehung zwischen den einander gegenüber stehenden unbedeckten Elektrodenflächen überwiegt, nicht bis zur metallischen Berührung und damit zu Kurzschlüssen in der Hochspannungsleitung kommen kann, sind an dem Glasstabe β noch zwei „Abweiser" aus Glimmer auf den den unbedeckten Hälften von a_1 und a_2 zugekehrten Seiten angekittet, zwei kleine Blättchen mit je zwei vertikalen Einschnitten, in die nach dem Einsetzen von C von oben her (durch B hindurch) die längeren Glimmerstreifen ζ_1 und ζ_2 eingeschoben werden.

b) Die einarmige Drehwaage. Schon bei den ersten Versuchen stellte es sich heraus, dass die rückstossenden Kräfte ziemlich grosse waren, so dass augenscheinlich auch schon mit einer viel weniger empfindlichen und darum auch weniger subtilen Anordnung auszukommen war. Es wurde daher noch das einarmige, in Fig. 2a) von vorn (in etwas perspectivischer Ansicht) in Fig. 2 b) von oben gesehen dargestellte System angewendet. Die rechteckig gestaltete Elektrodenplatte n aus Messing von $0{,}8 \times 2{,}2$ cm² Fläche mit abgerundeten Ecken, mit oder ohne Glimmerbeleg, ist an einem Kupferdrahte o befestigt, der durch das rechtwinklig umgebogene Glasrohr p geschoben und an den dünnen, 12 cm langen, vorher gut gestreckten, harten Messingdraht q angelötet ist. Auf der entgegengesetzten Seite von p ist mittels des kurzen Glasstäbchens r die kleine, oben offene Kugel t angeschmolzen, in welche Tarierschrot zur Ausbalancierung der Elektrode n gethan wird. Die feste Elektrode ν ist ebenso beschaffen, wird von dem Zuleitungsdrahte σ getragen, und hält den kleinen aus einem Glimmerblatte gebogenen Abweiser τ. Die beweg-

liche Elektrode n ist an ihrer Ansatzstelle so gebogen, dass sie in der der Elektrode ν nächsten Stellung, die sie vermöge der Grösse von τ einnehmen kann, dieser parallel steht; dies hat den Vorteil, dass auch die Glimmlichtschichten und ihre Begrenzungen einander parallel verlaufen, und der Druck der abstossenden Kraft auf der ganzen Fläche gleichmässig erfolgt.

Beobachtungen. 1. Ist der Druck in der Kugel A hoch, so vermag der Wechselstrom, der ja nur auf eine gewisse Spannung hinauftransformiert wird (etwa 2800 Volt), die Gasschicht nicht zu durchbrechen. Die Elektroden werden dann abwechselnd positiv und negativ auf diese Maximalspannung geladen. Da immer ungleichnamig geladene Platten einander gegenüber stehen, so findet Anziehung statt, die Drehwaagenflügel schlagen ziemlich heftig gegen die Abweiser.

2. Dieses Verhalten besteht fort, wenn bei allmählicher Evacuation die ersten Glimm- und Anodenlichter auf den Platten erscheinen. Selbst wenn der Abstand der Elektroden im Ruhezustand mehrere Centimeter beträgt, werden die beweglichen Elektroden herangezogen, schlagen an den Abweisern an, prallen zunächst zurück, die Schwingungen werden aber immer kleiner, bis der Drehwaagenarm dauernd in der nächsten Stellung verharrt, die ihm die Construction des Apparates gestattet. Hier wird er mit ziemlicher Kraft gehalten, so dass ihn erst eine stärkere Torsion des Aufhängedrahtes wegzureissen vermag.

3. Bedeckt das Glimmlicht die ganze Elektrodenfläche, so ändert sich zunächst nichts an dem Verhalten, so lange die Glimmlichtschicht noch dünn ist. Breitet sich dieselbe aber bei fortschreitender Evacuation weiter in den Gasraum hinein aus, so tritt eine neue Erscheinung von dem Momente an ein, in welchem der vordere Glimmlichtsaum die Mitte des Abstandes zwischen den einander gegenüber stehenden, durch die elektrostatische Anziehung einander so nahe gebrachten Elektroden, als es die Abweiser gestatten, überschreitet: die Anziehung wird lockerer, schon eine geringere Torsionskraft zieht den Drehwaagenarm zurück, gegen-

über der Anziehung macht sich eine neue, rückstossende Kraft geltend.

4. Bei weiterem Auspumpen werden die Glimmlichtschichten immer dicker. In dem Momente der Anschaltung des Wechselstromes findet im ersten Momente noch Anziehung statt; die Entladung ist noch nicht voll ausgebildet, auch findet das erste Glimmlicht, wenn es auf einer Seite hervorbricht, ja noch nicht die Veränderung im Gase durch eine vorhergehende, von der anderen Seite kommende Glimmlichtsäule vor, auf die wir die rückstauende Wirkung zurückführen. Sowie das Glimmlicht aber vollkommen ausgebildet ist, schiebt es die beweglichen Elektroden deutlich zurück; die Anziehung der ungleichnamig geladenen Elektroden hat sich in eine Abstossung verwandelt. War an dem Schliffe *ff* so lange gedreht worden, bis der Drehwaagenarm sich in der Ruhelage eben an den Abweiser anlehnte, so wird derselbe deutlich zurückgestossen, wenn sich die Glimmlichter in dem Zwischenraum zwischen festen und beweglichen Elektroden begegnen und sich hier zu durchdringen scheinen.

5. Wird der Druck noch tiefer, so dass die Glimmlichtausbildung an beiden Elektroden immer stärker wird, so tritt die rückstossende Kraft immer deutlicher hervor. War der Schliff *ff* so gestellt, dass die festen Elektroden a_1 a_2 von den beweglichen m_1 m_2 einen grossen Abstand haben und dreht man nun *ff* so, dass die Drehwaagenflügel mit ihren Glimmlichtern denen der feststehenden Elektroden genähert werden, so stellt sich in dem Momente der Begegnung der Glimmlichter dem weiteren Annähern ein Hindernis entgegen, so dass nun der Aufhängedraht *aa* tordiert wird. Dabei tritt eine merkliche Deformation beider Glimmlichter ein; dieselben drücken sich scheinbar gegenseitig zusammen, wodurch selbst der unter ihnen liegende Dunkelraum schwache Zusammendrückungen erfährt; die zeitlich nach einander auftretenden Glimmlichter wirken wie elastische Kissen aufeinander. Nach der Grösse des Torsionswinkels konnte die Stärke der rücktreibenden Kraft annähernd geschätzt werden. (Bei diesen wie

den folgenden Versuchen war der kleine Richtmagnet *n* Fig. 1 entfernt worden).

6. Dass die Ursache der Erscheinung wirklich darin liegt, dass die Glimmlichter in die gegenseitige Wirkungssphäre gelangen, wird auch noch durch folgenden Controlversuch bestätigt: Die Drehwaage wird durch Drehen an dem Schliff *ff* senkrecht zu der Verbindungslinie der feststehenden Elektroden a_1 a_2 gestellt: Bei Erregung des Wechselstromes war nicht der geringste Bewegungsantrieb zu erkennen. Wurden die Elektroden einander mehr genähert, etwa in 45° Stellung gebracht, so schien eine schwache Anziehung sich bemerklich zu machen. Dies würde die von Herrn Warburg[1]) bei Batterieentladungen genauer verfolgte Erscheinung sein. An der Kathode macht sich entsprechend dem starken Potentialgefälle an derselben der Bewegungsantrieb, welcher den Abstand von Anode und Kathode zu vermindern strebt, besonders stark geltend. Die hier studierte Abstossung trat aber erst in Entfernungen ein, bei denen die beiderseitigen Glimmlichter denselben Ort im Gasraum erreichten. Durch diese Versuche mit grossen Elektrodenabständen, bei denen weder Anziehung noch Abstossung eintrat, wird zugleich bewiesen, dass nicht irgend welche Störungen, etwa durch schwache Entladungen am Aufhängedraht die Ursache der oben beschriebenen Glimmlichtwirkungen sein können. Auch electrodynamische Wechselwirkungen sind nicht zur Erklärung heranziehbar. In den Zuleitungen pulsieren zwar Ströme. Wenn aber z. B. a_1 a_2 Fig. 1 positiv sind, der Strom also von rechts nach links in dem Drahte δ fliesst, und durch m_1 m_2 in den beweglichen Teil eintritt, so liegen von der Mitte nach links Stromteile, die entgegengesetzt gerichtet sind, in den gleichbeschaffenen Strombahnen rechts aber solche, welche gleichgerichtet sind, ihre Wirkung muss sich aufheben. Bei der Anordnung Fig. 2 sind die Zuführungen so weit von einander entfernt, dass ihre Wechselwirkung unmerklich klein ausfallen muss.

[1]) E. Warburg, Wied. Ann. **45**, p. 1, 1892.

7. Betrachtet man die Leuchterscheinung im rotierenden Spiegel, etwa dann, wenn eine gewisse durch Drehen an *ff* erzeugte Torsionskraft der rückstossenden Kraft der Elektroden gerade das Gleichgewicht hält, so erkennt man, dass die Glimmlichter zeitlich nacheinander ausgebildet werden. Es ist in einem bestimmten Augenblicke immer nur ein Glimmlicht sichtbar; die gegenüber liegende Elektrode ist (in Luft) mit dem bekannten rötlichen Büschel von Anodenlicht bedeckt. Zwischen beiden liegt der dunkle Faradaysche Trennungsraum. Man kann also die Erscheinung nicht etwa darauf zurückführen, dass das Glimmlicht über die eigene Anode hinweggegangen wäre oder diese selbst gar in den zugehörigen Kathodendunkelraum eingetaucht hätte, in welch' letzterem Falle ja erhebliche Potentialsteigerungen eintreten, und folglich auch rückstauende mechanische Wirkungen möglich sind. In allen Fällen war der Elektrodenabstand so gross, dass sich die ganze Entladung vollkommen frei ausbilden konnte. Beim Zeichenwechsel des Wechselstromes war die Erscheinung vollkommen umgelagert, dazwischen wurde das Gas immer völlig dunkel, die Wirkung muss also auf einer unsichtbaren Nachdauer in der Wirkung der sichtbaren Glimmlichterscheinung beruhen.

8. Wird sehr tief ausgepumpt, so wird die Erscheinung immer kräftiger und deutlicher. Zu den allertiefsten Drucken, bei denen dann lebhafte Entwickelung der Kathodenstrahlen eintrat, wurde indessen absichtlich nicht gegangen, um nicht dem Einwande zu verfallen, es handle sich um eine Art Radiometererscheinung. Die gewöhnlich benutzten Drucke waren immer viel zu hoch, als dass Bewegungsimpulse wie bei den Radiometern hätten auftreten können.

Die folgenden Versuche sollen einige andere Bedenken zerstreuen.

9. Man könnte versucht sein, die Erscheinung auf eine Art Rückstosswirkung zurück zu führen. Waren die Drucke auch immer ziemlich hohe, so kann man doch annehmen, dass auch bei ihnen an der Kathode sich schon Kathodenstrahlen

entwickeln, welche nur nicht zur Erscheinung gelangen. Man hat ja auch Gründe dafür, in den Glimmlichtstrahlen ähnliche Gebilde zu erblicken, etwa die stark absorbierten, schon bei höheren Drucken emittierten Kathodenstrahlen selbst. Dann müssen nach der neuen Auffassung Teilchen mit grosser Geschwindigkeit von den Elektroden fortgeschleudert werden. Sind ihre Massen auch klein, so können ihre Bewegungsmomente doch erhebliche sein in Folge der grossen Geschwindigkeiten, mit denen sie die Elektrode verlassen. Man könnte daher auch schon bei höheren Drucken Rückstosskräfte vermuten, wie sie bei tieferen Drucken und heftiger Kathodenstrahlenentwickelung ja unzweifelhaft auftreten. Dass dadurch die hier beobachteten Erscheinungen nicht erklärt werden können, sieht man am besten, wenn man beide Elektrodenseiten unbedeckt lässt (vergl. S. 28), so dass sich das Glimmlicht auf beiden in gleicher Weise ausbildet. Dann müssten die Reactionsstösse auf beiden Seiten gleich stark erfolgen und sich ihre bewegenden Kräfte aufheben. Nichtsdestoweniger gelingt der Abstossungsversuch, wenn auch die entwickelten Kräfte geringer sind, weil die Stromdichte eine geringere ist und die Glimmlichter auf den Flächen, an denen sie allein in Wechselwirkung treten, schwächer sind. Auch müsste bei merklichen Reactionsstössen und einseitiger Elektrodenbedeckung sich die Drehwaage in allen Lagen in Bewegung setzen, was sie nach § 3 nicht thut. Vielleicht austretende Kathodenstrahlen würden ferner, schon bei einigermaassen grossen Drehungswinkeln die gegenüber liegenden Elektrodenflächen gar nicht mehr treffen, sondern an ihnen vorbeigehen, da sie ja immer vorwiegend senkrecht zur emittierenden Elektrodenebene verlaufen. Schon die Versuche § 3 zeigten, dass die Erscheinung überhaupt nicht durch Vorgänge an den Elektroden selbst bedingt sein kann, sondern die Wechselwirkung der abwechselnd von Glimmlicht durchstrahlten Gasmassen die Ursache tragen muss.

10. Mit Rücksicht auf die Ergebnisse der früheren, eingangs erwähnten Untersuchung ist vor allem auf den Nachweis Gewicht zu legen, dass die constatierte ponderomotorische

Abstossung auf einer Nachwirkung der alternierenden Entladung beruht. Man könnte aber endlich noch folgendermaassen schliessen und die Erscheinung auf die gleichzeitig bei derselben Entladung stattfindenden Ladungen zurückführen wollen: Durch zahlreiche Untersuchungen ist unzweifelhaft nachgewiesen, dass sich um die Kathode herum im Glimmlicht eine Art Atmosphäre von positiv geladenen Teilchen ausbildet, das Glimmlicht enthält „freie + Electricität". Breitet sich nun dasselbe bei der Evacuation immer mehr aus, so kommt es in die Nähe der positiv geladenen Anode und könnte folglich von dieser her eine rein electrostatische Abstossung erfahren. Wäre diese die Ursache unserer Erscheinung, so müsste der Versuch mit gleichgerichteten Entladungen ebenso gut gelingen. In der früheren Arbeit wurde erwähnt, dass auch bei diesen ähnliche Stauwirkungen auftreten können, wenn eine grosse Anzahl von Entladungen dicht aufeinander folgt; jede einzelne hinterlässt in dem Gase eine Nachwirkung (etwa freie Jonen); wenn die gleichgerichteten Einzelentladungen so rasch einander folgen, dass die Zufuhr an geladenen Partikelchen grösser ist als die Zahl der durch Diffusion sich zerstreuenden, so muss die Entladung selbst zu Rückstauungserscheinungen, z. B. Spannungserhöhungen Veranlassung geben. Es wäre daher nicht unmöglich, dass mit einer Hochspannungsbatterie, die mir leider noch nicht zur Verfügung steht, sich unter gewissen Bedingungen eine der hier beschriebenen ähnliche Abstossungserscheinung herbeiführen liesse. Bei grösseren Abständen fand Herr Warburg[1]) die von ihm genauer gemessenen Anziehungen zwischen der feststehenden Anode und der beweglichen Kathode, nicht aber Abstossungen wie bei den vorliegenden Versuchen. Sollte sich dennoch bei einer gewissen Lage der Anode zu der positiv geladenen Glimmlichtschicht eine Abstossung beobachten lassen, welche die elektrostatische Anziehung zwischen Anode und Kathode überwindet, so würde dieselbe aber ebenso wenig wie die Erscheinung bei Wechsel-

[1]) E. Warburg, Wied. Ann. 45, p. 1, 1892.

stromentladungen auf die zuletzt erwähnten direkten Wechselwirkungen der Anoden- und der Glimmlichtentladungen zurückgeführt werden können, wie die folgenden Versuche mit den gleichgerichteten Entladungen des Inductoriums und der Influenzmaschine zeigen.

11. Wurde bei Drucken, bei denen die Erscheinung unter Anwendung von Wechselstrom sehr deutlich war, die Vacuumdrehwaage an ein grosses Inductorium (25 cm Funkenlänge) angeschlossen, so gingen bei den grossen Elektrodenflächen in dem weiten Entladungsraume meist beide Ströme, der Oeffnungsstrom wie der Schliessungsstrom durch das Gas hindurch. Man hatte dann Wechselstromentladungen und auf beiden Seiten die charakteristische Kathodenerscheinung. Alsdann fehlte auch die Abstossung unter den oben genannten Bedingungen nicht. Freilich war die ganze Erscheinung minder deutlich und reinlich, dem unregelmässigen Verlaufe der Inductorienentladungen entsprechend. Wurde aber in den secundären Stromkreis vor die Vacuumkugel eine Funkenstrecke oder ein Geisslersches Rohr eingeschaltet, so dass nur der Oeffnungsinductionsstrom überging, so blieb die Abstossung völlig aus und nur Anziehung wurde beobachtet. Bei einseitig gerichteten Einzelentladungen, zwischen denen immer eine längere Zeit verstreicht, kommt also die abstossende Wirkung nicht zu Stande. Der Versuch zeigt zugleich, dass zu seinem Gelingen auch erheblich viel langsamere Zeichenwechsel, als hier gewöhnlich verwendet wurden, genügen. Besonderen Untersuchungen bleibt es vorbehalten, festzustellen, wie lang die Zeitintervalle sein können, d. h. wie lange die rückstauende Wirkung von Glimmlicht durchstrahlter Gase anhält; die erhaltenen Zahlen bieten Aussicht, Rückschlüsse auf die Diffusionsgeschwindigkeit der (Rieckeschen, vergl. die frühere Arbeit a. a. O. p. 523) Partikelchen und damit auf ihre Natur zu gestatten.

12. Die Entladungen der Influenzmaschine erfolgen weit regelmässiger als diejenigen des Inductoriums. Als eine grosse 20-plattige Töplersche Maschine von Leuner zum Betriebe der Drehwaage herangezogen wurde, zeigte sich durchweg nur

Anziehung und zwar bei nahen Elektroden eine sehr kräftige. Hier hat man nur einseitige Einzelentladungen von sehr grosser Zahl (schätzungsweise bis zu 30000 in der Secunde); aber auch bei reichster Ausbildung des Glimmlichtes wurde die beschriebene Abstossung niemals erhalten, wiewohl die Glimmlichtschicht ebensoweit an die Anode heranreichte, wie bei den Wechselstromentladungen, und die Entladungen überaus kräftig und strahlend waren. Diese Versuche zeigen zugleich, dass auch nicht die vor der Kathode in Folge der Wirkung der elektrischen Kräfte eintretenden Steigerungen des hydrostatischen Druckes oder die ihren Ausgleich herbeiführenden Gasströmungen die Ursache sein können, auf welche Herr Warburg a. a. O. p. 5, 6 und 25 die Aufmerksamkeit gelenkt hat; dieselben kehren sich ausserdem mit dem Zeichenwechsel um und nehmen mit abnehmendem Gasdrucke ab, während die hier studierte Wirkung zunimmt. — Sonach dürfte nach allem Gesagten das folgende Resultat keinem Zweifel unterliegen: Bei rasch auf einander folgenden, fortwährend in der Richtung wechselnden kräftigen Entladungen kommt eine abstossende Wirkung der Elektroden, die beide die charakteristischen Kathodenerscheinungen nach einander zeigen, zu Stande, welche bei starker Ausbildung der Glimmlichter die elektrostatische Anziehung der in jedem Augenblicke ungleichnamig geladenen Elektroden vollkommen überwinden kann. Dieselbe macht sich von dem Augenblicke an geltend, in welchem die Glimmlichter (nach einander) in denselben Teil des Gasraumes eindringen und können ihre Ursache nur in einer unsichtbaren Nachwirkung haben, welche das Glimmlichtphänomen in den von ihm durchstrahlten Teilen des Gases zurücklässt.