VIII. *Beschreibung des Apparates, mit welchem die Versuche über die electrodynamische Wirkung bewegter Dielectrica ausgeführt wurden* ¹⁾;
von W. C. Röntgen.

(Hierzu Taf. I Fig. 1—6.)

Zu der Veröffentlichung der folgenden Zeilen wurde ich hauptsächlich durch eine im Juniheft des Jahrganges 1889 vom Philosophical Magazine erschienenen Arbeit der Herren Rowland und Hutchinson ²⁾ veranlasst. Die genannten Herren halten es für möglich, dass die von mir bei meinen Versuchen beobachtete Ablenkung der Magnetnadel durch Convectionsströme erzeugt wäre, während ich dieselbe als einen Beweis für die Existenz einer electrodynamischen Wirkung ansehe, welche von einem in einem homogenen electrischen Felde senkrecht zu den Kraftlinien bewegten Dielectricum ausgeübt wird.

Zwar habe ich bereits in meiner ersten kurzen Mittheilung die Versuche erwähnt, welche ich anstellte, um mich davon zu überzeugen, dass Convectionsströme in dem von Hrn. Rowland und Hutchinson gemeinten Sinne die Ursache der Nadelablenkung nicht sein könnten, ich lege aber in dieser, wie mir scheint, nicht unwichtigen Frage soviel Werth auf das sachkundige Urtheil des Hrn. Rowland, dass ich es nochmals versuchen möchte, den Beweis zu liefern für die Richtigkeit der Deutung, welche ich meinen Versuchen gab.

Dieses Ziel dürfte wohl am besten durch eine ausführliche Beschreibung meines Apparates und der damit angeordneten Versuche zu erreichen sein; dieselbe soll im Folgenden gegeben werden.

1) Röntgen, Ber. d. Berl. Acad. 1888. p. 23. Wied. Ann. **35**. p. 264. 1888.

2) Rowland u. Hutchinson, Phil. Mag. **27**. p. 445. 1889.

1. Der Rotationsapparat mit dem Condensator.

In Fig. 1 und 2 sind ein Verticalschnitt und ein Grundriss meines Apparates gezeichnet; um die Zeichnung nicht zu sehr zu überladen, ist in dem Grundriss der Condensator und der obere Theil des Magnetometers weggelassen.

Die Buchstaben *A, B, C, D, E, F* bezeichnen ein schweres, dreiarmiges Gestell aus Rothguss in einem Stück gegossen. In der Mitte dieses Gestelles ist die Drehungsaxe *G, H* angebracht, welche unten auf einer verstellbaren Stahlspitze läuft und oben in einer durch drei Schrauben mit dem Gestell befestigten Fassung *I, K* gelagert ist. Die kleine Stahlspitze ist, mit Ausnahme der Magnete, das einzige Stück aus Eisen, welches am Apparat vorkommt; bei einer eventuellen Wiederholung der Construction des Apparates würde ich die Stahlspitze zu vermeiden suchen. Dieselbe wird so gestellt, dass die Axe nur noch einen äusserst kleinen Spielraum für eine verticale Bewegung hat.

Die aus Phosphorbronze angefertigte Rotationsaxe ist, um das Entstehen von Rotationsmagnetismus möglichst zu vermeiden, der ganzen Länge nach durchbohrt und auf der einen Seite in der Längsrichtung aufgeschnitten; die dadurch entstandene Spalte wurde durch eingekittetes Hartgummi ausgefüllt. Die Axe erhält ihre Bewegung durch ein aufgeschraubtes, mit einer Contermutter aus Elfenbein befestigtes Schnurlaufrädchen *L* aus Hartgummi. Die Stabilität der Axe ist trotz ihrer geringen Dicke (0,5 cm) selbst bei der grössten angewandten Drehungsgeschwindigkeit eine durchaus genügende, und der Rotationsmagnetismus ist so klein, dass die dadurch hervorgerufene Ablenkung des astatischen Nadelsystems im ungünstigsten Falle 1 Scalenthail (mm) beträgt. Der obere Theil der Axe besteht ganz aus Hartgummi; derselbe ist schwach conisch abgedreht, um die Hülse aufstecken zu können, welche die in Rotation zu versetzende Glasscheibe *M, N* trägt.

Diese Hülse bestand bei den ersten Versuchen aus Hartgummi; nachdem ich aber gefunden hatte, dass dieses Material trotz Abschabens und längerer Behandlung mit Salzsäure stets etwas magnetisch war, wurden nur noch Hülsen aus

Elfenbein verwendet. Mittelst einer kleinen Elfenbeinschraube wird die Hülse mit der Axe befestigt. Wie die Glasscheibe durch eine Schraube und einen Stellstift aus Elfenbein mit der Hülse verbunden ist, geht zur Genüge aus der Zeichnung hervor. Bei guter Justirung der Axe war ein Schlagen oder Schlottern der Scheibe kaum zu bemerken.

Sechs verschiedene Scheiben wurden zu den Versuchen benutzt: zwei bestehen aus Hartgummi verschiedener Herkunft, drei aus Spiegelglas und eine aus Fensterglas. Die grösste hat 16 cm, die kleinste 10 cm Durchmesser; ihre Dicke variierte von 0,5 bis 0,2 cm. Alle wurden durchprobiert und ergaben, wie ich gleich bemerken will, qualitativ gleiche Resultate. Die kleinen Scheiben mittlerer Dicke (0,35 cm) halte ich für die geeignetesten.

Die Hartgummischeiben haben gewiss ihre Vorzüge, allein sie sind stets magnetisch; legt man eine solche Scheibe unter das Magnetsystem des Apparates, so erhält man meistens sehr beträchtliche Ausschläge der Nadel, deren Grösse und auch wohl Richtung sich ändert, wenn man der Scheibe andere Lagen gibt. Setzt man dagegen die Scheibe in nicht zu langsame Rotation, so zeigt die Nadel wohl noch immer eine Ablenkung; dieselbe ist aber relativ klein und ändert sich, was die Hauptsache ist, kaum mehr mit zunehmender Drehungsgeschwindigkeit. Die Nadel hat eine neue, sich mit der Drehungsgeschwindigkeit kaum ändernde Ruhelage bekommen. Man kann folglich mit einiger Vorsicht die Hartgummischeiben sehr wohl zu qualitativen Versuchen, und nur solche beabsichtigte ich zu machen, verwenden. Trotzdem habe ich es für nöthig erachtet, die Versuche auch mit Glas anzustellen.

Die Glasscheiben wurden jedesmal vor dem Gebrauch nach Warburg's Vorschrift mit heissem Wasser behandelt und darauf gut getrocknet. Sie erwiesen sich in den trockenen Wintermonaten, in welchen die Versuche ausgeführt wurden, als vortreffliche Isolatoren.

Die Form des Condensators wurde im Laufe der Untersuchung mehrfach geändert: Die obere Platte ist eine auf der unteren Seite ganz mit Stanniol überzogene runde Spiegelglasscheibe *OP*, die an der Stelle, wo sich das Magneto-

meter befindet, einen kreisrunden Ausschnitt hat, um die Magnetnadel so nahe wie möglich an die rotirende Scheibe heran bringen zu können. Die Oeffnung ist auf der unteren Seite der Platte mit einer doppelten Stanniollage überzogen; dieser Verschluss war nöthig, weil das Magnetometer nicht von den Luftströmen, die von der rotirenden Scheibe ausgehen, getroffen werden durfte, wenn man die dadurch erzeugten Schwankungen des Nadelsystems vermeiden wollte. Zwischen der Condensatorplatte und dem Magnetometer findet nirgendwo eine Berührung statt. Da die Excentricität der Nadel bei den verschiedenen Versuchen nicht dieselbe war, so war es nöthig, für jede Stellung eine besondere obere Condensatorplatte anfertigen zu lassen. Der Versuch, die Spiegelglasscheiben durch solidere Scheiben aus dünnem Messingblech zu ersetzen, scheiterte daran, dass zwischen dem Stanniol, mit welchem die runde Oeffnung überklebt werden musste, und dem Messing bei der geringsten Temperaturdifferenz an den Berührungsstellen Thermoströme entstanden, die mitunter sehr beträchtliche Ablenkungen der Nadel hervorbrachten. (Vgl. unten p. 102). Wie die obere Condensatorplatte von den drei Hartgummischrauben *D, E, F*, die ein Höher-, resp. Tieferstellen und eine Justirung der Platte ermöglichen, getragen wird, ist in der Zeichnung ersichtlich. Die Platte war stets zur Erde abgeleitet und die Ableitung befindet sich an der Schraube, welche auf dem Arme des Gestelles angebracht ist, der senkrecht zur Nadelrichtung steht; diese Vorsichtsmassregel ist geboten, weil sonst die Nadel durch die beim Laden des Condensators ab- oder zufließende Electricität eine Ablenkung erfahren würde. Bei einigen Versuchen war die Stanniolbelegung mit radialen oder auch mit concentrischen Ritzen versehen, aber davon abgesehen, blieb die Form der oberen Condensatorplatte unverändert.

Die untere Condensatorplatte *QR* dagegen wurde mehrfach ausgewechselt. Einige dieser Formen möchte ich beschreiben. Die einfachste besteht aus einer runden, von den Hartgummischrauben *DEF* getragenen, auf der oberen Seite mit einem möglichst breiten Stanniolring beklebten Glascheibe, die, um die Drehungsaxe durchzulassen, in der Mitte

mit einer runden Oeffnung versehen ist. Die Zuführung der Ladung geschieht von derselben Schraube aus, an welcher auch die Erdleitung angesetzt ist. Die Versuche wurden bei verschiedenen Abständen der Condensatorplatten angestellt; bei dem der Berliner Academie mitgetheilten Versuch betrug der Abstand der beiden Belegungen 0,74 cm.

Gegen die Anwendung dieses Condensators kann man Einwände erheben, und ich habe dieselben bereits in der citirten Mittheilung besprochen. Diese Einwände sind es denn auch, welche, wie eingangs erwähnt, von den Herren Rowland und Hutchinson meinen Versuchen gemacht wurden; die genannten Herren führen an, dass die rotirende Scheibe eine eigentliche Ladung erhalten haben könnte, und dass ich deshalb möglicherweise die Wirkung eines Convectionsstromes (Rowlandeffect) beobachtet hätte. Eine solche Ladung der Scheibe wäre allerdings auf zwei Wegen möglich: einmal durch Uebertragung von Electricität von Seiten einer benachbarten geladenen Condensatorplatte¹⁾, und zweitens durch eine in der rotirenden Scheibe selbst stattfindenden Leitung der Electricität. Den ersten Weg kann man mit ziemlicher Sicherheit abschneiden, indem man die Belegungen nicht auf der Innenseite, sondern auf der Aussenseite des Condensators anbringt, und ich habe auch Versuche mit einem solchen Condensator mit gutem Erfolg gemacht, allein es bleibt dann noch immer der zweite Einwand bestehen. Ich habe deshalb folgende Versuchsanordnungen getroffen, um zu einwurfsfreien Versuchen zu gelangen.

Statt der beschriebenen unteren Condensatorplatte setzte ich eine solche ein, die aus zwei in einer Ebene liegenden, voneinander durch einen 0,8 cm breiten Streifen getrennten Halbringen besteht (vgl. Fig. 1 und die obere Ansicht in Fig. 3); diese Halbringe sind entweder wieder aus Stanniol geschnitten und auf einer Glasplatte aufgeklebt oder sie bestehen aus vergoldeten Messingplatten mit verstärkten, gut

1) Ich möchte bemerken, dass nur eine von der unteren Condensatorplatte erhaltene Ladung den von mir beobachteten Ausschlag der Nadel erzeugen könnte, und nicht eine Ladung, die von der oberen Platte übergegangen wäre.

abgerundeten Rändern, die von Glasfüßchen getragen werden (vgl. Fig. 1); beide Formen wurden angewendet. Die untere Nadel des Magnetsystems hängt über einem Halbringe und ist parallel mit der Trennungslinie der Halbringe. Beide Hälften sind ziemlich gleich stark, aber verschieden electricisch, während die eine positiv ist, ist die andere negativ. Die Zuleitung der Electricität zu der einen Hälfte geschieht mittelst eines Drahtes, der von einem kleinen Stativchen *S* (Fig. 1) getragen wird; die Zuleitung zu der anderen ist dieselbe, welche oben beschrieben wurde. Die beiden Drähte, welche die Electricitäten zum Condensator führen, werden durch einen eingeschalteten Commutator mit je einer Leydener Flasche in Verbindung gesetzt, die ihre Ladung von den Conductoren einer Holtz'schen Maschine erhalten haben. Jede Flasche trägt ein einfaches Electroskop, dessen Einrichtung genügt, um beurtheilen zu können, inwieweit die Ladung constant bleibt.¹⁾

Um Gewissheit zu erlangen, dass der rotirenden Scheibe von einer geladenen Condensatorplatte keine Electricität in merklichem Maasse zugeführt wurde, bestimmte ich zuerst bei stillstehender Scheibe mit Hülfe der erwähnten Electroscopie, um wieviel die auch nachher bei rotirender Scheibe anzuwendende Ladung innerhalb einer gewissen Zeit abnahm. Da für eine sehr gute Isolation gesorgt war, so war diese Abnahme verhältnissmässig sehr gering, sie betrug in 5 Minuten 1 Scalenth. des Electroscops, wenn dasselbe bis auf 10 geladen war. Darauf wurde dieselbe Bestimmung mit rotirender Scheibe wiederholt, und gefunden, dass in diesem Falle keine raschere Abnahme der Ladung stattfand. Gleichzeitig wurde das Magnetometer beobachtet, und es ergab sich eine Ablenkung der Nadel im richtigen Sinne; darauf wurde ein dritter Versuch gemacht, bei welchem nun das Magnetometer über der anderen Condensatorhälfte stand, und ebenso verfahren wie beim zweiten Versuch; auch jetzt fand ich wieder die erwartete Ablenkung, d. h. bei gleicher Drehungsrichtung und Ladung des Condensators eine Ablenkung in demselben Sinne wie vorhin.

1) Vgl. die ausführlichere Beschreibung dieser Apparate auf p. 105.

Aus diesen mehrmals wiederholten Versuchen kann man mit Gewissheit schliessen, dass keine merklichen Electricitätsmengen von dem Condensator auf die rotirende Scheibe übergingen. Denn erstens kann dieser Uebergang nicht von einer Hälfte allein stattgefunden haben: ich hätte sonst in den beiden Stellungen des Magnetometers Ablenkungen in verschiedenem Sinne beobachten müssen, was nicht der Fall war. Man könnte somit nur noch zweitens annehmen, dass die Ladung der Scheibe fortwährend wechselte an den beiden über der Trennungslinie der beiden Halbringe gelegenen Stellen, sodass die eine Hälfte mit positiver, die andere mit negativer Electricität geladen wäre; dann müsste aber von den beiden Halbringen fortwährend Electricität, von dem einen positive und von dem anderen negative, auf die rotirende Scheibe überfliessen. Diese fortwährende Entladung müsste aber in Anbetracht des Verhältnisses der Capacitäten der Flaschen und des Condensators, sowie der raschen Rotation der Scheibe (ca. 100 Umdrehungen pro Sec.) zur Folge gehabt haben, dass die Flaschen sehr bald ihre Ladung verloren hätten. Da nun, wie gesagt, die Electroskope keine merklich raschere Abnahme der Ladung bei rotirender Scheibe anzeigten, so ist auch diese letzte Möglichkeit ausgeschlossen.

Bemerken möchte ich noch, dass man durch Steigerung der Ladung über die ausprobierte erlaubte Grenze hinaus sehr wohl solche Ladungen der Scheibe erhalten kann, wie sie soeben besprochen wurden; der Rowlandeffect ist dann sehr gut zu beobachten.

Ebenso wie der erste dürfte auch der zweite von den oben auf p. 97 erwähnten Einwänden durch die Versuche mit dem getheilten Condensator beseitigt sein. Wenn es schon nicht wahrscheinlich ist, dass die obere und die untere Fläche der zwischen ungetheilten Condensatorplatten rotirenden, sehr gut isolirenden Hartgummi- oder Glasscheibe durch Leitung in dieser Scheibe während einer halben bis zu einer ganzen Minute, d. h. in der Zeit, welche zwischen zwei aufeinander folgenden Commutirungen vergeht, eine solche Ladung erhalten, dass dieselbe eine Rowland'sche Wirkung von der beobachteten Grösse hervorbringen könnte, so ist diese Möglichkeit jetzt wohl ganz ausgeschlossen, wo diese

Ladung innerhalb einer Zeit von ca. 0,003 Secunden zu Stande kommen müsste. Gegen eine solche Möglichkeit sprechen die Erfahrungen, welche andere Beobachter bei Bestimmungen der Dielectricitätsconstanten, namentlich der des Hartgummis, gemacht haben. Noch ist zu erwähnen, dass die Versuche mit getheiltem und ungetheiltem Condensator auch qualitativ gleiche Resultate lieferten.

Eine andere Form der unteren Condensatorbelegung ist in Fig. 4 gezeichnet; die Lage der Nadel ist in der Figur angegeben. Die beiden nun ungleich grossen Theile der Belegung waren bei den Versuchen wieder ungleichnamig electrisch. Die beobachtete Ablenkung der Nadel fand im richtigen Sinne statt; die Scheibe hätte jetzt in weniger als 0,001 Sec. durch Leitung die nöthige Ladung erhalten müssen. — Bei anderen Versuchen wurde blos die eine Hälfte des getheilten Condensators geladen, die andere wurde zur Erde abgeleitet; über der geladenen Hälfte erhielt ich Nadelausschläge, über der anderen nicht.

Schliesslich ist noch zu erwähnen, dass ich richtige Ablenkungen der Nadel, aber entsprechend kleinere auch erhielt mit schwächeren Ladungen und mit Condensatorplatten, die weiter voneinander entfernt waren, als in der citirten Mittheilung an die Berliner Academie angegeben ist.

2. Das Magnetometer.

Auf einem von drei Fusschrauben getragenen starken Messingring *a, b* (Fig. 1 und 2) sind zwei Träger befestigt, die oben durch zwei parallele horizontale Leisten *cd* und *ef* verbunden sind. Auf diesen Leisten, von denen die eine, *ef*, dachförmig, die andere eben abgeschliffen ist, liegen die drei Ansätze *g, h, i* einer kreisförmigen Platte, mit welcher die übrigen Theile des Magnetometers verbunden sind, frei auf. Infolge dieser Einrichtung kann man das Magnetometer, ohne die Justirung viel zu verderben, in der Richtung eines Durchmessers der Condensatorplatte und senkrecht zu der Richtung der Magnetnadeln verschieben und dasselbe an verschiedenen Stellen über dem Condensator aufstellen. Auf der erwähnten runden Platte ist der Träger für die ca. 40 cm lange messingene Aufhängeröhre *k* befestigt. Das Spiegel-

gehäuse wird durch eine übergeschobene Messingkappe gebildet; eine vor das Fensterchen *l* gesetzte conische Metallröhre schützt den Spiegel gegen äussere electriche Einflüsse. — An jener Platte hängt, durch Bajonnetverschluss befestigt, ein Schutzmantel *mn* für das Nadelsystem; derselbe ist am unteren Ende mit vier fensterartigen Oeffnungen versehen, durch welche man zum Zwecke des Justirens die untere Nadel zu sehen bekommen kann. Während der Versuche sind diese Oeffnungen durch einen heruntergelassenen, durch Schliffe luftdicht schliessenden Ring verschlossen. Der Boden des Gehäuses besteht aus einer äusserst dünnen Kupferplatte; bei *m* und *n* sind Kupferringe als Dämpfer angebracht, deren innerer Durchmesser nur ungefähr 1 mm grösser ist, als die Länge der beiden Nadeln. — Alle Theile des Gehäuses bestehen aus electrolytischem Kupfer. Dasselbe ist stets zur Erde abgeleitet.

Das astatische Nadelpaar hängt an dem dünnsten Coconfaden, den ich habe erhalten können; das sehr dünne Spiegelchen *o* ist durch ein Korkstückchen auf einem Aluminiumdraht befestigt, der unten mit einem leichten Doppelhaken versehen ist; in diesem Haken hängt die obere der beiden Nadeln (bei *m*). Die Nadeln bestehen aus cylindrischen, 0,1 cm dicken und 4,65, resp. 4,74 cm langen Stahlmagneten, die nach den Vorschriften von F. Kohlrausch hergestellt wurden; sie werden von Aluminiumbügelchen gehalten, die miteinander durch eine dünnwandige Capillare aus Glas verbunden sind. Ihr Abstand beträgt 24,5 cm. Das magnetische Moment der unteren Nadel beträgt $22,534 \text{ cm}^{5/2} \text{ g}^{1/2} \text{ sec}^{-1}$, und da dieselbe 0,3215 g wiegt, so ist ihr specifischer Magnetismus gleich 70. Das magnetische Moment der oberen Nadel beträgt $22,913 \text{ cm}^{5/2} \text{ g}^{1/2} \text{ sec}^{-1}$; das Verhältniss der Momente beider Nadeln ist gleich 1,0168, während das Verhältniss ihrer Längen gleich 1,0193 ist.¹⁾ Die Schwingungsdauer des gedämpften astatischen Systems beträgt 17,0 Sec.; das logarithmische Decrement 1,0; das Torsionsverhältniss 0,0062.

1) Leider hat sich bei der ersten Berechnung der magnetischen Momente aus Ablenkungsbeobachtungen ein Fehler eingeschlichen; deshalb sind die der Berl. Acad. mitgetheilten Werthe durch die obigen zu ersetzen.

Für das System mit gleichgerichteten Nadeln gelten folgende Werthe: Schwingungsdauer 1,3 Sec.; logarithmisches Decrement 0,0879; Torsionsverhältniss $0,0450$.

Die untere Nadel ist 0,3 cm von der oberen Fläche der rotirenden Scheibe entfernt, und steht, wie ich wohl kaum zu bemerken brauche, senkrecht zu einem nach ihrer Mitte gezogenen Radius der Scheibe; ihre Excentricität betrug in dem der Berliner Academie mitgetheilten Falle 4 cm.

Das beschriebene Nadelsystem ist das zuletzt von mir gebrauchte; die anderen unterscheiden sich hauptsächlich durch die Befestigung und die Gestalt der Magnete (Näh-nadeln, Uhrfedern) von jenem.

Die Ablenkungen wurden mit Hülfe von Fernrohr und Scala, die in 229 cm Entfernung vom Spiegel aufgestellt waren, bestimmt; 1 Scalenth. = 1 mm.

Entsprechend den Erfahrungen anderer Beobachter fand ich, dass es kaum möglich ist, das sehr empfindliche Nadel-system gegen den Einfluss von benachbarten Thermoströmen zu schützen. So genügt z. B. das Näheren der Hand oder die Strahlung einer entfernteren Gasflamme, um in dem Magnetgehäuse Thermoströme hervorzurufen, welche die Nadeln beträchtlich ablenken. Diesem Uebelstand half ich in einfacher und doch vollständig ausreichender Weise dadurch ab, dass ich das Gehäuse mit einem auf die obere Condensatorplatte aufgesetzten weiten Cylinder aus starkem Schreibpapier umgab. — Durch unausgesetztes und möglichst gleichmässiges Heizen des Ofens im Beobachtungsraume erhielten die Zimmerwände in der Ecke, in welchem das Magnetometer stand, eine Temperatur, die nicht allzusehr von der Temperatur der Zimmerluft abwich, was wiederum nöthig war, um eine fortwährende Verlegung des Nullpunktes zu vermeiden. — Nicht zu vermeiden waren dagegen die Thermoströme, welche durch die Drehung der Scheibe im Rotationsapparat erzeugt wurden; zwar habe ich dieselben durch Aufsuchen und möglichste Beseitigung ihrer Ursache auf ein Minimum reducirt, aber es ist mir nicht gelungen, sie ganz zum Verschwinden zu bringen.

Dieser Rest, welcher je nach der Lage der unteren Magnetnadel Ablenkungen von 6 bis zu 25 Scalenth. erzeugte,

rührte von der durch die Drehung der Scheibe entstehende Erwärmung des Rotationsapparates her. Sie traten infolge dessen sowohl bei geladenem, als bei ungeladenem Condensator auf, beim Anfangen des Drehens zuerst sehr schwach, dann stärker werdend, um langsam abzunehmen, nachdem die Drehung aufgehört hatte. Ihre Richtung war unabhängig von der Drehungsrichtung. Da diese Ströme sehr regelmässig verliefen und ziemlich constant wurden, nachdem die Scheibe einige Zeit in gleichmässiger Weise gedreht war, so störten sie die Beobachtung der beim Commutiren der Ladung entstehenden Ausschläge nur wenig; namentlich dann, wenn die Magnete stark excentrisch aufgestellt waren, denn in diesem Falle war ihr Einfluss auf die Nadel überhaupt geringer. Ich konnte daher stets mit Sicherheit beobachten, dass jene beim Commutiren entstehenden Ausschläge dauernd, d. h. von einer Commutirung bis zur nächstfolgenden anhaltend waren.

Um zu vermeiden, dass die mitunter starken, durch die rasche Rotation der Glasscheibe erzeugten Erschütterungen auf das Magnetometer übertragen wurden, habe ich nach einigen Vorversuchen dem Apparate folgende Aufstellung gegeben, die sich ganz ausgezeichnet bewährt hat. Der Rotationsapparat steht auf einem ca. 1 m hohen und 50 cm dicken und breiten, von der Zimmerwand und dem hölzernen Fussboden isolirten Sandsteinpfeiler, der mit breiterer Basis auf das starke Gewölbe des Gebäudes aufcementirt ist. Ursprünglich beabsichtigte ich den Apparat durch Ankerschrauben mit dem Pfeiler zu verbinden; dieselben wurden aber nicht angebracht, sondern ich kittete die drei Füsse des Apparates mit Wachs und Kolophoniumkitt auf den Pfeiler fest. Das Magnetometer wird getragen von einer 12 cm dicken Sandsteinplatte, die in die ca. 50 cm dicken, massiven Eckwände des Gebäudes eingemauert ist. Wie aus Fig. 1 und aus der Dispositionszeichnung (Fig. 5) ersichtlich ist, geht der runde Pfeilerkopf, ohne das Consol zu berühren, durch dieses hindurch, sodass die obere Fläche des Pfeilers bündig ist mit jener des Consols. Trotzdem also die im Rotationsapparat entstehenden Erschütterungen keinen so sehr weiten Weg hatten, um zum Magnetometer zu gelangen, wurden sie für gewöhnlich gar nicht übertragen; nur bei

einer bestimmten Drehungsgeschwindigkeit entstanden so starke Erschütterungen, dass man sie im ganzen Beobachtungsraume und in den benachbarten Zimmern, folglich auch am Magnetometer kräftig spürte; bei rascherer oder langsamerer Drehung verschwanden sie wieder. Bei dieser Drehungsgeschwindigkeit wurden selbstverständlich keine Versuche gemacht.

Die Scheiben werden in Rotation versetzt durch ein Savart'sches Rad, auf dessen Axe eine hölzerne, mit Blei beschwerte Scheibe aufgesetzt war. Die Schnur läuft dicht vor dem Rotationsapparat über zwei kleine Führungsrollchen (vgl. Fig. 5). Die Kurbel wurde von einem Gehülfen in einem möglichst gleichmässigen Tempo gedreht; die Rotationszahl der Scheibe wurde auf akustischem und auf stroboskopischem Wege bestimmt. Erwähnen möchte ich noch, dass die Arbeitskraft eines kräftigen Mannes nöthig war, um die Umdrehungszahl der grössten Scheiben zwischen eng gestellten Condensatorplatten auf etwa 100 pro Sec. längere Zeit zu erhalten.¹⁾

3. Die Zuleitung der Electricität zum Condensator.

Die zur Ladung des Condensators nöthige Electricität wurde von einer kleinen Holtz'schen Maschine (vgl. Fig. 5) geliefert. Je ein Conductor derselben ist mit der inneren Belegung einer Leydener Flasche (Höhe der Belegung 20 cm, Weite 12 cm), die als Reservoir diente, in dauernder leitender Verbindung; die äussere Belegung ist zur Erde abgeleitet. Von den beiden Flaschen gelangt die Electricität durch einen Commutator zu zwei Quecksilbernäpfchen, die durch Schellackstangen auf dem Steinconsol befestigt sind, und von hier führte je ein Draht zu den beiden Halbringen des getheilten Condensators oder, wenn der ungetheilte Condensator benutzt wurde, von einem Näpfchen nur ein Draht zu der unteren Platte dieses Condensators (vgl. p. 98). Für die Verbindungen wurden mit Guttapercha überzogene Kupferdrähte genommen.

1) Der Rotationsapparat und das Magnetometer wurden von der Firma Hartmann und Braun nach meinen Angaben angefertigt.

Der Commutator besteht aus einer Glasröhre, die an den Enden und in der Mitte mit Stanniol überzogen ist; die Endbelegungen stehen durch einen durch die Röhre gehenden Draht miteinander in Verbindung; ausserdem sind sie mit der Leitung 1 (Fig. 5) und die mittlere Belegung mit der Leitung 2 verbunden. Die Glasröhre wird getragen von zwei an den Leydener Flaschen angebrachten Bügelchen (Fig. 6); liegt die Röhre, wie in Fig. 5 gezeichnet ist, nach rechts, so ist das Näpfchen 2 positiv, das Näpfchen 1 negativ; wird die Röhre nach links verschoben, so wechselt die Electrisirung der beiden Näpfchen, und folglich auch die der Halbringe.

Zur Controlirung und auch zur ungefähren Messung des Potentials dienen die auf den Stangen der Leydener Flaschen angebrachten Quadrantelectroskope (vgl. Fig. 6). Dieselben bestehen aus einem dünnen Aluminiumdraht mit angeschraubter Aluminiumhohlkugel; als Gegengewicht dient ein Glasfaden mit einem verschiebbaren Glaskörperchen, welches je nach der gewünschten Empfindlichkeit gestellt wird. Die aus einer dünnen Nähnadel geformte Axe ist leicht beweglich in einer Messingkugel gelagert. Die Ausschläge des Pendelchens werden an einem aus Elfenbein gefertigten Gradbogen abgelesen und mit dem durch ein Funkenmikrometer gemessenen Potential verglichen. Sorgt man dafür, dass bei ungeladener Flasche die Aluminiumkugel die Stange und zwar eine ungefirnisste Stelle derselben gerade leise berührt, so bewährt sich die beschriebene Einrichtung recht gut, und kann, eine einigermaßen exacte Ausführung vorausgesetzt, als brauchbar empfohlen werden.¹⁾

4. Die Versuche.

Es bleibt mir noch übrig, zu beschreiben, wie ein Versuch ausgeführt wurde; ich beschränke mich dabei auf die Mittheilung des Verlaufes eines der zuletzt angestellten, definitiven Versuche, da aus dem Vorhergehenden zur Genüge hervorgeht, in welcher Weise und wie häufig die Versuchsanordnung abgeändert wurde.

1) Hr. K. Wesendonck hat in Wied. Ann. **30.** p. 15. 1887 ein ganz ähnliches Electroskop beschrieben; meine Versuche wurden im Winter 1885/86 und 1886/87 ausgeführt.

Zu jedem Versuche sind ausser dem am Fernrohr sitzenden Beobachter zwei Gehülfen nöthig; der eine derselben ladet den Condensator und handhabt den Commutator, der zweite setzt die Scheibe des Rotationsapparates in gleichmässige Drehung. Den Anfang macht der zweite Gehülfe, da bis zum Constantwerden der Thermostrome (vgl. p. 102) einige Zeit vergehen muss; darauf ladet der erstere durch Drehen der Holtz'schen Maschine den Condensator so weit, bis die Electroskope die gewünschte Spannung anzeigen, dann hört er mit dem Drehen auf, da die Ladung infolge der guten Isolation bis zur Commutirung und auch später von einer Commutirung bis zur nächstfolgenden constant genug bleibt. Eine Nachlieferung von Electricität ist nur nöthig, um die beim Commutiren entladene Electricität zu ersetzen, was jedesmal direct nach dem Commutiren durch eine kleine Drehung der Holtz'schen Maschine geschah. Zu den Obliegenheiten dieses Gehülfen gehört weiter die unausgesetzte Beobachtung der Electroskope und das Umlegen des Commutators. Letzteres geschieht auf ein von dem Beobachter am Fernrohr gegebenes Zeichen. Da von einer Commutirung bis zur folgenden kaum eine Minute vergeht, so wurden immer mehrere Beobachtungen hintereinander gemacht.

Nach Beendigung einer solchen Versuchsreihe wurde meistens eine zweite angefangen, bei welcher die Scheibe in umgekehrter Richtung gedreht wurde.

Vor und nach diesen Beobachtungen wurde stets untersucht, welche der beiden Flaschen die positive Electricität enthielt; auch überzeugte ich mich häufig, dass ein Commutiren bei stillstehender oder nur langsam gedrehter Scheibe keine Ablenkung der Nadeln zur Folge hatte. Wie die Scheiben vor dem Versuche gereinigt wurden, ist bereits oben erwähnt.

Bei den vielen angestellten Versuchen ergab sich, dass die beim Commutiren erhaltenen Ablenkungen der Magnete desto grösser waren, je grösser die Potentialdifferenz und je kleiner die Entfernung der Condensatorplatten war, je rascher die Scheibe rotirte und je weiter der untere Magnet von der Drehungsaxe entfernt war; dann je dicker die rotirende Scheibe bei gleichbleibender Condensatorplattendistanz.

war, und schliesslich je näher der untere Magnet über der Scheibe hing. Auch schien es mir, als ob die Glasscheiben unter sonst gleichen Umständen grössere Ablenkungen ergaben, als die Hartgummischeiben. Wegen der Kleinheit der beobachteten Ausschläge (im Maximum 3 Scalenth.) musste ich auf eine Aufstellung von genaueren quantitativen Beziehungen zwischen dem Nadelausschlag und den soeben genannten Grössen verzichten.

Die beobachteten Ablenkungen der Nadel waren stets so gerichtet, wie wenn in der rotirenden Scheibe ein galvanischer Strom fliessen würde, dessen Richtung mit der Richtung der Rotation übereinstimmt, im Fall die obere Condensatorplatte die negative ist; ist diese Platte positiv geladen, so müsste der gedachte Strom gegen die Rotation fliessen, um die beobachtete Ablenkung hervorzurufen.

Ich glaube also durch die beschriebenen Versuche die von der Theorie geforderte electrodynamische Wirkung von senkrecht zu den Kraftlinien eines electrischen Feldes bewegten Dielectrica experimentell nachgewiesen zu haben. Nach dieser Theorie müsste die zwischen ungetheilten Condensatorplatten rotirende Scheibe bei meinen Versuchen sich verhalten, wie zwei in der oberen, resp. der unteren Fläche der Scheibe fliessende, an entsprechenden Stellen gleich starke Kreisströme von entgegengesetzter Richtung; die experimentelle Prüfung hat ergeben, dass sie sich einer in der Nähe aufgehängten Magnetnadel gegenüber in der That so verhält.

Die in dem getheilten Condensator rotirende Scheibe kann man sich bezüglich ihrer electrodynamischen Wirkung ersetzt denken, durch zwei in je einer Hälfte der Scheibe fliessende geschlossene Ströme; die dielectricische Verschiebung, welche in der rotirenden Scheibe an den beiden über der Trennungslinie der Halbringe gelegenen Stellen continuirlich stattfindet, ist den dort in derselben Richtung fliessend gedachten Strömen äquivalent. Der Untersuchung der Wirkung dieser Verschiebung war meine erste der Berliner Academie mitgetheilten Arbeit¹⁾ gewidmet.

1) W. C. Röntgen, Ber. d. Berl. Acad. 1885. p. 195.

Den beschriebenen Apparat habe ich bei meiner im Herbst 1888 erfolgten Uebersiedelung nach Würzburg in Giessen als Eigenthum des dortigen physikalischen Instituts zurückgelassen. Das zwölfte Heft des Jahrganges 1889 von Wied. Ann. enthält eine Abhandlung meines Amtsnachfolgers in Giessen, Hrn. Himstedt, „über die electromagnetische Wirkung der electrischen Convection“, in welcher der Verfasser seine Versuche über den Rowlandeffect mit zwei verschiedenen Apparaten, einem Apparat mit horizontaler und einem mit verticaler Scheibe bespricht. Da Hr. Himstedt nur den zweiten Apparat genauer beschreibt und an keiner Stelle seiner Arbeit erwähnt, dass er mit meinem von ihm vorgefundenen Apparat gearbeitet hat, so kann ich, streng genommen, nur vermuthen, dass sein Apparat mit horizontaler Scheibe und der meinige identisch sind. Im Fall sich diese Vermuthung bestätigen würde, so würden die Versuche des Hrn. Himstedt zeigen, dass mein Apparat nach einigen entsprechenden kleinen Veränderungen sich zur Wiederholung der Rowland'schen Versuche eignet. Dass letzteres der Fall ist, habe ich übrigens bereits selbst gefunden und der Berliner Academie mitgetheilt¹⁾; auch dürfte man dieses Resultat wohl ohne weiteres erwarten, da mein Apparat mit dem von Hrn. Rowland zuerst benutzten wahrscheinlich viel Aehnlichkeit hat.

Die oben beschriebene Einrichtung, durch welche ich eine erschütterungsfreie Aufstellung des Magnetometers erreichte, beschreibt auch Hr. Himstedt; dieselbe hat seinen Beifall gefunden, denn auf p. 565 heisst es: „ohne diese getrennte und feste Aufstellung wäre die Beobachtung gar nicht möglich gewesen“.

Würzburg, Phys. Inst. d. Univ., im Februar 1890.

1) W. C. Röntgen, Ber. d. Berl. Acad. 1885. p. 198.