

**VI. Bolometrische Untersuchungen über die  
Stärke der Strahlung verdünnter Gase unter dem  
Einflusse der electricischen Entladung;  
von Knut Ångström.**

(Von dem Hrn. Verfasser abgekürzt mitgetheilt aus „Acta Reg. Soc.  
Upsaliensis“ 1892.)

(Hierzu Taf. V Fig. 1–12.)

**I. Einleitung.**

In vorliegender Abhandlung will ich die Versuche, welche ich über die Strahlung verdünnter Gase unter dem Einflusse der electricischen Entladung angestellt habe, näher besprechen.<sup>1)</sup> Die ganz besonderen Schwierigkeiten, mit denen diese Untersuchung verbunden ist, tragen die Schuld daran, dass man hinsichtlich der Schärfe und Genauigkeit der Bestimmungen nicht zu grosse Forderungen stellen kann, und aus demselben Grunde lässt auch die Anzahl der Versuche viel zu wünschen übrig. Die hier gemessene Strahlung ist nämlich von einer so geringen Stärke; dass sogar ein so empfindliches Instrument, wie das Bolometer, sich in einigen Fällen als unzureichend erwiesen hat. Es ist übrigens eine sehr bekannte Sache, dass die Herstellung von verdünnten Gasen von solcher Reinheit, dass dieselben sich bei durchgehenden electricischen Entladungen von Verunreinigungen frei zeigen, eine der allerschwierigsten Aufgaben des Chemikers und Physikers ist. Der Werth einer Untersuchung über die electricischen und optischen Phänomene in verdünnten Gasen scheint mir jedoch von der sorgfältigen Herstellung der Gase in hohem Grade abhängig zu sein. Demzufolge habe ich keine Mühe gescheut, um dieselben so rein wie möglich zu bekommen, eine Arbeit die viel Zeit in Anspruch genommen hat. Wenn auch in folgedessen diese Untersuchung eigentlich als eine orientirende zu betrachten

---

1) In einer vorläufigen Notiz: „L'intensité de la radiation des gaz sous l'influence de la décharge électrique“ (Öfversigt af K. Vet. Akad. Förh. p. 373, 1891) habe ich die Hauptresultate der Untersuchung mitgetheilt.

ist, so werden doch die Versuche als die ersten ihrer Art gewiss nicht ohne Bedeutung für die nähere Kenntniss der Entladungsphänome in verdünnten Gasen sein und uns hoffen lassen, dass ein eingehendes Studium einzelner Fragen mittels der bolometrischen Methode unsere Kenntniss in dieser Hinsicht noch weiter fördern werde.

Directe Versuche, die Strahlung der Gase in sogenannten Geissler'schen Röhren quantitativ zu messen, liegen, so viel ich weiss, nicht vor. Dagegen ist die Wärmeentwicklung in solchen Röhren mehrmals Gegenstand der Untersuchungen gewesen. So haben die Hrn. G. Wiedemann<sup>1)</sup>, Naccari und Bellati<sup>2)</sup>, E. Wiedemann<sup>3)</sup> und Hasselberg<sup>4)</sup> solche Versuche angestellt. In der letzten Zeit hat schliesslich Hr. G. Staub<sup>5)</sup> das Bunsen'sche Eiscalorimeter zu diesem Zwecke benutzt. Seine Versuche unterscheiden sich von den übrigen dadurch, dass er die Lichtstrahlung von der Gesammtwärmerwärmung zu trennen sucht. Das Entladungsrohr wurde nämlich theils ganz durchsichtig in das ebenfalls durchsichtige Eiscalorimeter eingeführt und die Erwärmung bei Entladung 2—3 Leydener Flaschen bestimmt, theils wurde der Versuch, nachdem das Geissler'sche Rohr durch einen in Wasser unlöslichen Lack undurchsichtig gemacht war, wiederholt. Diese Versuche zeigen, dass ein sehr bedeutender Theil der Wärmeentwicklung in sichtbarer Strahlung besteht, indem 20—30 Proc. von der Gesammtwärmerwärmung den Calorimeter verlässt, wenn das Rohr ungeschwärzt ist.

Die vorliegende Untersuchung verfolgt jedoch einen andern Zweck. Die Erwärmung, welche man bei diesen calorimetrischen Untersuchungen beobachtet, ist nämlich eine Folge sowohl der Strahlung der Gase und der Wärmeüberführung von denselben durch Convection und Leitung wie auch der wahrscheinlichen Wärmeentwicklung an den Rohrwänden.

1) G. Wiedemann, Pogg. Ann. 158. p. 35 u. p. 252. 1876.

2) Naccari et Bellati (Atti dell Ist. Ven. 4. 1878) Beibl. 2. p. 720. 1878.

3) E. Wiedemann, Wied. Ann. 6. p. 298. 1879 u. 10. p. 202. 1880.

4) B. Hasselberg, Mém. de l'Acad. Imp. des sciences de St. Pétersbourg 27. Nr. 1. 1879.

5) G. Staub, Inaugural-Dissertation, Zürich 1890.

In dem Folgenden werden wir ausschliesslich die *Strahlung* der Gase bestimmen und zwar nur die *Strahlung des positiven Lichtes*. Wir wollen die Beziehung zwischen Stromstärke und Strahlung näher untersuchen, die Veränderungen, welchen diese Strahlung in quantitativer und qualitativer Hinsicht bei Aenderungen in Stromstärke und Druck unterliegt, und schliesslich die Strahlung in Gramm-Calorien pro Secunde für die Längeneinheit des Entladungsrohres berechnen. Mit Kenntniss der Stromstärke und der Potentialdifferenzen in dem Entladungsrohre wird es dann möglich, den Theil der in dem Rohre abgegebenen Energie, welche in Strahlung umgesetzt wird, zu berechnen.

In dieser Untersuchung wird angenommen:

1. Dass die absorbirende Fläche des Bolometers alle Strahlen ebenso gut absorbirt, oder also, dass das Absorptionsvermögen der Fläche von der Wellenlänge unabhängig ist. Zwar habe ich schon gezeigt<sup>1)</sup>, dass Russ um so durchlässiger ist, je grösser die Wellenlänge; da aber aus derselben Untersuchung hervorgeht, dass das Absorptionsvermögen dennoch für jede Wellenlänge sehr gross und das Diffusionsvermögen bekanntlich sehr unbedeutend ist<sup>2)</sup>, mag diese Annahme be-  
rechtigt sein.

2. Dass das Absorptionsvermögen der Fläche gleich *eins* gesetzt werden kann. Diese Annahme ist, wie bekannt, nicht vollständig richtig und verursacht einen constanten Fehler in den absoluten Bestimmungen von 1—2 Proc. Da ich aber das Absorptionsvermögen meiner Fläche nicht direct bestimmt habe, und da der oben angeführte Fehler von relativ geringer Bedeutung ist, habe ich, statt eine willkürliche Correction anzubringen, vorgezogen, die direct ausgeführten Bestimmungen ohne weiteres anzuführen.

3. Dass eine ca. 4 mm dicke Platte von Steinsalz für Strahlen verschiedener Wellenlänge gleich durchlässig ist, eine Annahme, die, wenn auch nicht von strenger Gültigkeit, doch

---

1) K. Ångström, Öfversigt af K. Vet. Akad. Förhandl. Nr. 6. p. 385. 1888 u. Wied. Ann. **36**. p. 715. 1889.

2) Vgl. auch: K. Ångström. Upsala Univ. Årsskrift 1885 u. Wied. Ann. **26**. p. 253. 1885.

ohne Zweifel für eine so geringe Dicke der absorbirenden Schicht, wie die hier angewandte, erlaubt ist.

Der Leser wird übrigens leicht finden, dass kleinere Abweichungen von der Richtigkeit dieser Annahme ohne Bedeutung für die Gültigkeit unserer Schlussfolgerungen sind.

## II. Instrumente und Methoden.

### 1. Das Bolometer.

Bei den ersten vorläufigen Versuchen, die Strahlung auf photometrischem Wege zu bestimmen, wurde ein Spectroskop „à vision directe“ (von Duboscq, Paris) benutzt. Dasselbe wurde mit einem Vierordt'schen Doppelspalt (von Krüss in Hamburg) versehen; vor die eine Spalthälfte war ein kleines Prisma von Kreide gestellt, wodurch das Licht von der seitlich aufgestellten Vergleichslampe in das Spectroskop hinein diffundirt wurde. Das Versuchsrohr mit gerader Durchsicht wurde vor die andere Spalthälfte in Richtung der Spectroskopaxe aufgestellt. Die Versuche wurden in leicht verständlicher Weise angestellt und ich kann umsomehr die Einzelheiten dabei übergehen, da ich im Folgendem nur beiläufig die in dieser Weise angestellten Versuche erwähnen werde.

Die photometrischen Bestimmungen lassen nämlich viel zu wünschen übrig und erlauben nur ein sehr beschränktes Gebiet des Spectrums zu studiren. Es war aber hier meine Aufgabe, einen übersichtlichen Ueberblick über die Gesamtstrahlung und ihre Veränderungen bei der electricen Entladung durch verdünnte Gase zu gewinnen, und hierfür scheint in vieler Hinsicht die bolometrische Methode besonders geeignet. Es fragte sich nur, ob diese Methode eine genügend grosse Empfindlichkeit darbiere. Durch vorläufige Versuche zeigte sich, dass man wenigstens für einige Gase von grossem Strahlungsvermögen gute Resultate erhoffen kann.

Das von mir benutzte Bolometer<sup>1)</sup> bestand aus zwei aus Stanniol geschnittenen Gittern, die in zwei Ebonitrahmen befestigt waren. Die Rahmen wurden nach einander in ein

---

1) Das Instrument ist dasselbe, welches ich bei einer früheren Gelegenheit benutzt habe; vgl.: Ångström, Bihang till K. Svenska Vet.-Akad. Handl. 13. Afd. 1. Nr. 4. 1887.

Rohr mit doppelten Wänden eingeschoben, ein kleiner Doppelschirm, der jedoch das Rohr nicht vollständig absperrt, schützt das hintere Gitter vor der Strahlung. Die Gitter werden durch vier in dem Rohre befindliche Diaphragmen vor störenden Luftströmungen geschützt. Das Gitter, durch welches das Instrument die Strahlung absorbiert, nimmt eine kreisförmige Fläche von 16 mm Durchmesser ein. Dasselbe ist sorgfältig durch galvanisch niedergeschlagenes Platin und darauf folgendes Berussen geschwärzt<sup>1)</sup>. Die vier Zweige der Wheatstone-Brückencombination, von welchen, wie bekannt, die oben beschriebenen Gitter zwei bilden, haben alle dieselben Widerstände, je ungefähr 5 Ohm. Die Empfindlichkeit des Bolometers konnte durch Einschaltung von Widerständen in die Galvanometerzuleitung beliebig verändert werden. Um die relative Empfindlichkeit jedesmal bestimmen zu können, habe ich mich einer Anordnung bedient, die ich schon früher beschrieben habe.<sup>2)</sup> Dieselbe besteht ganz einfach darin, dass man einen constanten Widerstand als Nebenschluss in einen der Brückenweige einführt. Die Ablenkungen des zum Bolometer gehörigen Galvanometers, die dem Schliessen oder Oeffnen dieses Nebenschlusses folgen, geben ein relatives Maass der vorhandenen Empfindlichkeit an. Bei der gewöhnlichen, von mir gebrauchten Empfindlichkeit des Instrumentes, zeigte das Bolometer-Galvanometer beim Schliessen oder Oeffnen des Nebenschlusses eine Ablenkung von ca. 75 Scalentheilen. Um die an verschiedenen Tagen angestellten Versuche vollständig mit einander vergleichbar zu machen, sind die Schlussresultate alle auf dieselbe Empfindlichkeit des Bolometers, und zwar auf die, welche einer Ablenkung von 75 Scalentheilen beim Schliessen des Nebenschlusses entspricht, reducirt.

---

1) Das gleichmässige Berussen geschieht sehr leicht durch folgendes einfaches Verfahren: Eine Stearinkerze wird so unter ein Drahtnetz gehalten, dass die Spitze der Flamme das Netz berührt. Der Rauch wird durch das Drahtnetz verbreitet und der Niederschlag auf den darüber bewegten Gegenstand sehr gleichmässig vertheilt. Die Wärme über dem Drahtnetz ist nicht grösser, als dass man nicht auch leicht schmelzbare Gegenstände, wie die Stanniolgitter, berussen könnte.

2) K. Ångström, Bestämning af känsligheten vid bolometriskamätningar. Oefversigt af K. Vet. Akad. Förhandl. p. 379. 1888.

Da das Local, in welchem ich die Untersuchung ausführte <sup>1)</sup> für genaue Messungen infolge der durch den Strassenverkehr verursachten Erschütterungen sehr ungünstig war, sah ich mich genöthigt für diese Untersuchung ein besonderes Galvanometer herzustellen. Die Construction des Instrumentes weicht in vieler Hinsicht von der gewöhnlichen ab und hat die Anforderungen, die ich an dasselbe gestellt habe, befriedigend erfüllt. Es scheint mir jedoch nicht nöthig, hier hinsichtlich dieses Instrumentes auf Einzelheiten einzugehen, es mag genügen, anzugeben, dass der Gesamtwiderstand der zwei Galvanometerrollen klein ist (ca. 8 Ohm), dass die Empfindlichkeit des Instrumentes sehr gross ist (1 Scalenthail bei 2 m Scalenabstand entspricht  $5,7 \times 10^{-9}$  Amp.), wozu kommt, dass die Schwingungsdauer verhältnissmässig klein (ein Ausschlag nimmt eine Zeit von ca. 8 Secunden in Anspruch), die Dämpfung aber stark ist. Durch eine besondere Untersuchung überzeugte ich mich von der genauen Proportionalität zwischen Stromstärke und Ablenkung, welche sich weit über die im Folgenden gesteckten Versuchsgrenzen erstreckt.

## 2. Die Entladungsröhre.

Bei den ersten Versuchen wurden alle Verbindungen zwischen den Entladungsröhren und der Luftpumpe durch Zusammenlöthen hergestellt, also ohne jeden Schliff. Bei diesen Röhren waren auch die Aluminiumelectroden im Glase mittels Platindrähte eingeschmolzen. Die beiden Enden des Rohres wurden mit plangeschliffenen Steinsalzplatten bedeckt, welche vermittels Natriumsilikat luftdicht angekittet wurden. Dieses Mittel hat sich als ganz vorzüglich erwiesen, es erfüllt alle Ansprüche an luftdichte Verbindungen, ohne das Steinsalz anzugreifen und ohne selbst bei den höchsten Verdünnungen verunreinigende Dämpfe abzugeben. Bei dieser Anordnung zeigte es sich jedoch immer besonders schwierig, die Gase, namentlich den Sauerstoff, rein zu erhalten; nachdem der electriche Strom einige Zeit hindurchgegangen war, zeigten

---

1) Diese Untersuchung war die letzte, welche ich während meiner Anstellung an der Hochschule in Stockholm ausgeführt habe.

sich immer im Spectrum die charakteristischen Streifen der Kohlenverbindungen und zwar trotzdem, dass keine solche Verbindung früher in das Rohr eingeführt worden war.

Möglicherweise liegt die Ursache hiervon in dem Einschmelzen der Electrode und dem Zusammenlöthen der Röhrenverbindungen. Bei diesen Operationen ist es unmöglich, zu vermeiden, dass die Stichflamme die inneren Wände des Rohres berührt, und die Möglichkeit ist dann ohne Zweifel vorhanden, dass sich Kohlenstoffverbindungen aus den Flammengasen abscheiden und sich in den Röhren, vielleicht auch auf den Aluminiumelectroden absetzen.

Um diese eventuellen Uebelstände zu verhüten, wurde in dem Rohre, das in dem Folgenden mit Nr. 3 bezeichnet wird, die Anordnung getroffen, dass jede Löthstelle vor dem Zusammensetzen des Apparates sorgfältig gereinigt wurde. Die Verbindung der verschiedenen Theile des Entladungsrohres, der Luftpumpe etc., wurde dann mit einigen Schliffen bewirkt, die ohne jedes Fett in einander gesteckt wurden. Durch einige Tropfen Natriumsilikat wurde die Verbindung vollständig luftdicht gemacht.

Für die Electrode wurde zuerst ein Rohr, wie Fig. 3 *A*, Taf. V, zeigt ausgezogen. Der sorgfältig gereinigte Aluminiumdraht wurde dann von der einen Seite, ein Platindraht von der anderen in das Rohr *B*, Fig. 3, eingeschoben und dieses bei *f* erhitzt, sodass der Platindraht und die Aluminiumelectrode in das Glasrohr in gewöhnlicher Weise eingeschmolzen wurden. Das Rohr wird dann in eine Glasplatte *m*, Fig. 3 *C*, eingeschliffen und erst nachdem diese Operationen vollendet sind und das Rohr sorgfältig von jedem Fett gereinigt ist, wird dasselbe bei *g*, Fig. 3 *B*, und darnach die Aluminiumelectrode bei *h* abgeschnitten. Das abgeschnittene Rohrstück hat also die Electrode vor Flammengasen und jeder Berührung geschützt.

Die Glasplatten *A* und *A*<sub>1</sub>, werden darnach, wie Fig. 2 zeigt, mit Natriumsilikat an dem Entladungsrohr befestigt, und einige Tropfen Natriumsilikat werden auch um das Electrodenrohr (bei *l*, Fig. 3 *C*) gegossen. An der oberen Seite der Glasplatte wird ein Stück eines Glasrohres *B* und *B*<sub>1</sub>, Fig. 2, angekittet. Durch eingegossenes Quecksilber kann man darauf

in gewöhnlicher Weise den Stromübergang von den Electroden zum Zuleitungsdraht vermitteln.

Um zu prüfen, ob der so hergestellte Apparat luftdicht ist, wird durch Pumpen ein sehr hohes Vacuum hervorgerufen. Wenn dies nach einigen Tagen noch unverändert war, habe ich die Verbindungen als gut betrachtet und erst dann, um das Natriumsilikat gegen Einwirkung der äusseren Luft zu schützen eine dünne Schicht von Wachs und Vaselin darüber gebracht. In das Entladungsrohr waren zwei feine Platindrähte als Electroden für die Ableitungen zum Electrometer bei  $C$  und  $C_1$ , Fig. 2, eingeschmolzen. Es ist wohl kaum nöthig zu sagen, dass dies vor der schliesslichen Reinigung des Rohres geschah.

Es zeigte sich, dass es bedeutend leichter war reine Gase in dem so hergestellten Rohr, Nr. 3, zu erhalten. Es muss aber zugegeben werden, dass auch andere Umstände als die eben beschriebenen Anordnungen zu diesem guten Resultate beigetragen haben können, da ich auf die Reinigung der Röhre und auf die Herstellung der Gase alle mögliche Sorgfalt verwendet habe.

### 3. Die Herstellung der Gase, das Füllen und Evacuiren.

Nur vier Gase waren Gegenstand meiner Untersuchung: Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff und Kohlenoxyd.

Um die Gase in das Entladungsrohr einzuführen, wurde eine Vorrichtung getroffen, die in ihren Grundprincipien schon von Cornu angegeben ist.<sup>1)</sup> Fig. 1, Taf. V zeigt diese Anordnung,  $M$  ist ein ungefähr 1 m langes, 1 cm weites Rohr, dessen unteres Ende durch einen dickwandigen Kautschukschlauch mit dem Quecksilberreservoir  $O$  in Verbindung steht. Seitlich ist bei  $I$  ein Capillarrohr angeschmolzen, das, wie die Figur zeigt, so gebogen ist, dass verschiedene kleine Gefässe über sein offenes Ende geschoben werden können.

Wenn das Entladungsrohr leer ist, kann man durch Senken des Reservoirs  $O$  die Gase durch  $I$  einführen. Dieselben steigen durch  $M$  hinauf und durchstreichen vor ihrem Eintritt in das Entladungsrohr die drei Rohre  $P$ ,  $S$  und  $C$ . Diese

1) A. Cornu, Journ. de phys. 5. p. 100 et p. 341. 1886.



enthalten: *P* Phosphorsäureanhydrid, *S* Schwefel und *C* reine Kupferspäne; ihre Aufgabe ist Wasser, Quecksilber und Schwefeldämpfe zu absorbiren.

Wasserstoff und Sauerstoff wurde durch electrolytische Zersetzung von reinem frisch destillirtem Wasser, das durch Phosphorsäureanhydrid angesäuert war, hergestellt. Das electrolytische Gefäß ist in Fig. 4 abgebildet. Es besteht aus einem U-förmigen Rohre *GAB*, in welches die Platinelectroden eingeschmolzen sind, aus einem nach unten offenen Rohre *H* und einem aufwärts gebogenen Rohre *D*. Das Rohr *H* wird über das Capillarrohr *I* (vgl. auch Fig. 1) geschoben und ein kleines Becherglas *C* darunter gesetzt. In dasselbe wird ein wenig Quecksilber gegossen, doch nur soviel, dass die untere Oeffnung von *H* frei bleibt. Das angesäuerte Wasser wird darauf in das Rohr *A* und in den Becher gegossen, wie auch einige Tropfen Quecksilber in *D*. Wenn man jetzt an *D* saugt, tritt die Luft durch den capillaren Theil *FE* hinaus, das ganze Gefäß wird mit Wasser gefüllt, das durch den Quecksilbertropfen bei *E* abgesperrt wird. Hebt man nun das Glas *C* ein wenig, so wird auch die untere Oeffnung von *H* durch Quecksilber abgesperrt. Dieses Verfahren kann ohne Schwierigkeit wiederholt werden, so oft man von einem Gase zu einem anderen übergehen will und das Entwicklungsgefäß kann, weil es von dem übrigen Apparat getrennt ist, leicht bei Bedarf gereinigt werden.

Bei den anderen Gasen wird nur ein kleines unten verengtes Rohr *P* (Fig. 4) als Gasbehälter benutzt. Die Gase werden in gewöhnlicher Weise in diesen Röhren über reinem Wasser und Quecksilber angesammelt. Nachdem das Quecksilber durch Hebung von dem Behälter *O* (Fig. 1) bis an die Oeffnung von *I* getrieben ist, wird der Behälter *P* über *I* geschoben. In dieser Weise konnte Stickstoff und Kohlenoxyd eingeführt werden.

Das erstgenannte dieser Gase wurde durch Leitung von Luft über erhitzte Kupferspäne, die bereits durch Wasserstoff reducirt waren, hergestellt. Die Luft war vorher durch reine Baumwolle, concentrirte Schwefelsäure und Kalilauge geleitet, um Staub, Wasserdämpfe und Kohlensäure zu entfernen.

Kohlenoxyd wurde aus Schwefelsäure und Oxalsäure dargestellt und durch Leitung über Kalilauge gereinigt.

Bei der Darstellung der Gase wurde die Anwendung jedes Schlauches sorgfältig vermieden und die verschiedenen Theile des Entwicklungsapparates direct aneinander gelöthet.

Zwischen dem Entladungsrohre und der Luftpumpe ist ein Quecksilberabschluss *N* (Fig. 1) eingesetzt; bei Heben des Behälters *P* steigt das Quecksilber in das U-förmige Rohr hinauf und unterbricht die Verbindung zwischen der Pumpe *W* und dem Entladungsrohr. Die Verbindung wird nur bei dem Evacuiren des Entladungsrohres hergestellt. Durch das U-förmige Rohr wird auch die Spannung des eingeführten Gases direct bestimmt, indem die Höhendifferenz des Quecksilbers in den beiden Schenkeln vermittels eines guten Kathetometers (von Perreaux in Paris) abgelesen wird. Natürlich muss dann zuerst die Luftpumpe sorgfältig (bis auf einige hundertstel Millimeter) entleert sein. Die Spannungsbestimmungen dürften, weil das U-förmige Rohr ein wenig zu eng war, nur auf ca. 0,02 mm genau sein.

Zur Entleerung der Entladungsröhre habe ich theils eine Pumpe von der gewöhnlichen Bessel-Hagen'schen Construction (von Müller in Berlin), theils auch bei späteren Versuchen eine Pumpe, die hauptsächlich nach den Angaben von Prütz<sup>1)</sup> gefertigt war, benutzt. Ich habe jedoch einige Veränderungen dabei angebracht, um die Handhabung bequemer zu machen und die Verdünnung rascher ausführen zu können. Die Einrichtung der Pumpe wird durch Fig. 1, *WTK*, leicht verständlich. Ich kann die so modificirte Pumpe sehr empfehlen.

Nachdem das Entladungsrohr durch längeres Pumpen so vollständig wie möglich entleert ist, werden einige Gasblasen durch Senkung des Reservoirs *O* (Fig. 1) eingelassen, Inductionsfunken durch das Entladungsrohr geleitet und dann wieder das Rohr entleert. Erst nachdem diese Operation mehrmals wiederholt worden war, wurden die bolometrischen Beobachtungen begonnen. Während derselben wurde auch oft die Strahlung des Rohres mit einem Spectroskope beobachtet, um das etwaige Vorhandensein von Verunreinigungen beurtheilen zu können.

1) Prütz, Wied. Ann. 62. p. 191. 1891.

## 4. Die Electricitätsquellen und die electricischen Messungen.

Als Electricitätsquelle wurde hauptsächlich ein Accumulator von 800 Elementen benutzt. Eine von den wohlbekannten kleinen Batterien des Planté'schen Modelles von 80 Elementen<sup>1)</sup> hatte ich von Hrn. Bréguet in Paris bekommen, die übrigen waren sehr sorgfältig in Stockholm nachgemacht.

Bei einigen Versuchen wurde ein Ruhmkorff'sches Inductorium mittlerer Grösse benutzt. Dasselbe war ein vorzüglicher Apparat von Carpentier in Paris. Der gewöhnliche Stromunterbrecher wurde jedoch fortgenommen und eine grosse electricische Stimmgabel (von König in Paris) mit veränderlicher Schwingungszahl (von 64—96 ganzen Schwingungen pro Secunde) an seiner Stelle angebracht. Mit diesem Unterbrecher functionirte das Inductorium sehr gleichmässig, sodass man ohne Schwierigkeit sowohl über die Stärke des Inductionstromes wie auch über die Strahlung des Rohres Messungen anstellen konnte. Zur Leitung des electricischen Stromes wurden dicke kautschuk-isolirte Kupferdrähte benutzt. Um die Stromstärke beliebig variiren zu können, waren einige grosse Flüssigkeitswiderstände in die Leitung eingeschaltet. Sie waren nach den Angaben von Hittorf<sup>2)</sup> hergestellt, also mittelst in Amylalkohol gelöstem Jodcadmium und konnten durch veränderte Einstellung der Electroden beliebig vermindert oder vergrössert werden.

Zur Bestimmung der Stromstärke bediente ich mich eines aperiodischen Spiegelgalvanometers, mit kautschuk-isolirtem Draht (von Hartmann & Braun in Frankfurt). Die Galvanometerrollen waren für kleine Empfindlichkeit eingestellt. Der Reductionsfactor des Instrumentes wurde mit Hülfe eines Silbervoltameters bestimmt. Ein Ausschlag von einem Scalentheile entspricht 0,000015 Amp. und die Empfindlichkeit zeigte sich während der Arbeit genügend constant.

Zur Bestimmung der Potentialdifferenz in den Entladungsröhren diente ein Quadrantelectrometer von Mascart (von Carpentier in Paris bezogen). Die Quadranten wurden durch

---

1) G. Planté, Recherches sur l'électricité. Paris 1883.

2) W. Hittorf, Wied. Ann. 7. p. 559. 1879.

eine kleine Wasserbatterie auf constanter Ladung gehalten; die Nadel konnte vermittels eines Commutators abwechselnd mit dem einen oder anderen der in dem Entladungsrohre eingeschmolzenen Platindrähte in Verbindung gesetzt werden. Die Ablesung des Instrumentes fand durch die Projectionsmethode statt. Um die Empfindlichkeit zu bestimmen, wurde die Nadel des Electrometers abwechselnd mit den beiden Endpunkten eines Widerstandes von 10 000 Ohm in Verbindung gesetzt und gleichzeitig ein Strom von 0,00673 Amp. durch den Widerstand geleitet. Hierbei ergab sich eine Aenderung des Ausschlages des Electrometers von 8,6 Scalentheilen. Ein Scalentheil entspricht also einer Potentialänderung von 7,8 Volt. Obschon diese Empfindlichkeit des Electrometers sich während des Versuches ein wenig geändert hatte, werde ich dieselbe im Folgenden mit genügend grosser Genauigkeit als constant voraussetzen können.

### III. Versuchsanordnung und Beobachtungen.

Taf. V, Fig. 1 gibt ein schematisches Bild über die Anordnung und die Zusammenstellung der verschiedenen Theile des Apparates. Das Bolometer *B* ist hinter einem doppelwandigen Schirm *I* aufgestellt, dieser Schirm ist in der Axenrichtung des Bolometers mit zwei Löchern versehen; zwischen den Wänden befindet sich ein kleiner, beweglicher Schirm, der mittels einer Schnur schnell hinaufgezogen werden kann. Das Entladungsrohr *AH* ist vor den Löchern des Schirmes und in der Axenrichtung des Bolometers aufgestellt. Eine Kundt'sche Glasfeder *D* verbindet das Entladungsrohr mit den übrigen bereits beschriebenen Theilen des Apparates.

Bei den Beobachtungen wird, sobald das Bolometer genügend ruhig ist, die Empfindlichkeit des Instrumentes zuerst in der schon beschriebenen Weise bestimmt. Darnach wird der electriche Strom der Accumulatoren oder des Inductoriums geschlossen, die Stromstärke durch Ablesung des Galvanometers *AG*, die Potentialdifferenz in dem Entladungsrohre durch Ablesung des Electrometers *E* bestimmt. Während dieser Beobachtungen wird ungefähr jede Minute eine Beobachtung des Bolometer - Galvanometers *BG* vorgenommen und die Beobachtungszeiten notirt. Sobald die Strahlung, welche

gewöhnlich gleich nach dem Stromschluss infolge der Erwärmung der Rohrwände ziemlich rasch zunimmt, vollständig oder wenigstens beinahe stationär ist, wird der Strom unterbrochen und gleich darnach die Strahlung des Rohres ohne Strom beobachtet. Noch zwei bis drei Bestimmungen dieser Strahlung werden mit ungefähr einer Minute Zwischenzeit gemacht. Durch diese Beobachtungen lässt sich die Gesamtstrahlung des Gases in dem Rohre berechnen. Um aber etwas über die qualitativen Aenderungen der Strahlung kennen zu lernen, wird auch die von einer Alaunplatte durchgelassene Strahlung bestimmt. Zu diesem Zwecke wird eine solche Platte von 3,95 mm Dicke vor die Oeffnung des Schirmes *L* (Fig. 1) und zwar zwischen denselben und das Bolometer geschoben. Bei dieser letzten Bestimmung braucht man nicht die Strahlung der Wände des Entladungsrohres besonders zu eliminiren. Diese wird nämlich vollständig von der Alaunplatte absorbiert. Man ersieht dies daraus, dass die Strahlung, welche die Alaunplatte durchlässt, gleich nach Schluss des Stromes ihren constanten Werth erreicht, um sofort beim Oeffnen des Stromes vollständig zu verschwinden.

Die Strahlung, welche die Alaunplatte durchlässt, ist, wie bekannt, hauptsächlich die des sichtbaren Spectrums. Wie ich mich vermittels des Spectrobolometers überzeugt habe, beginnt die Absorption der Alaunplatte schon gleich in dem ultrarotheren Spectrum und wird sehr schnell vollständig.

Bei der directen Bestimmung der Gesamtstrahlung der Röhre bekommt man, wie schon gesagt, die Strahlung der Gase vermehrt durch die Strahlung der erwärmten Rohrwände. Um die Strahlung der Gase allein beurtheilen zu können, muss also die Strahlung der Rohrwände eliminirt werden. Durch die Beobachtungen kennen wir die Strahlung während der Abkühlung des Rohres und aus diesen Beobachtungen muss also die Strahlung der erwärmten Rohrwände berechnet werden.

Man könnte nun wohl meinen, dass diese Berechnung am besten durch Anwendung des Newton'schen Abkühlungsgesetzes und mit Zuhülfenahme der Methode der kleinsten Quadrate ausgeführt werden könnte. Wenn man aber einige Versuche in dieser Hinsicht macht, so findet man bald, dass das ge-

wöhnliche Abkühlungsgesetz hier im allgemeinen nicht anwendbar ist. Die Ursache ist auch leicht einzusehen. Die Rohrwände werden nicht überall bis auf dieselbe Temperatur erhitzt und verschiedene Theile kühlen sich also mit verschiedener Anfangsgeschwindigkeit ab. Da nun die Anfangsbedingungen für verschiedene Stromstärke, Gase und Drucke verschieden sind, ist es auch natürlich, dass die Abkühlungscurve unter verschiedenen Umständen verschiedene Formen annimmt. Unter solchen Umständen habe ich es für das beste gehalten, nur die reine graphische Methode zu benutzen, um den Werth der Strahlung der Rohrwände zu extrapoliren. Allerdings ist bei dieser Bestimmungsmethode ein wenig Willkürlichkeit nicht zu vermeiden. Da jedoch die erste Bestimmung der Strahlung der Rohrwände nur ca. 10 Secunden nach dem Oeffnen des Stromes erfolgte, braucht man die Abkühlungscurve nur sehr unbedeutend zu extrapoliren, und die Fehler, welche von der graphischen Construction herrühren, sind infolgedessen verhältnissmässig klein. Um mich davon näher zu überzeugen, habe ich die in dieser Weise zuerst ausgeführte Construction nach einigen Monaten wieder gemacht und dabei durchaus übereinstimmende Resultate gefunden. Als Beispiel einer Bestimmung mag der folgende, vollständige Auszug des Beobachtungsprotokolls angeführt werden.

*Stickstoff.* Rohr Nr. 3.

Druck 1,15 mm. Potentialdifferenz 36,7 Scalentheile.

Stromstärke: 75 Scalentheile.

Empfindlichkeit des Bolometers 79.

Abstand zwischen der Kathode und der ersten Schicht des positiven Lichtes 15 mm.

<i>Zeit</i>	<i>Bolometerablenkung</i>
19 <sup>m</sup> 55 <sup>s</sup>	49,2
20 <sup>m</sup> 55 <sup>s</sup>	50,5
21 <sup>m</sup> 55 <sup>s</sup>	50,2
22 <sup>m</sup> 45 <sup>s</sup>	der Strom wird abgebrochen
23 <sup>m</sup> 0 <sup>s</sup>	24,5
23 <sup>m</sup> 35 <sup>s</sup>	23,0
24 <sup>m</sup> 20 <sup>s</sup>	19,9

Die Gesamtstrahlung von Gas und Rohrwänden ist also 50,0. Die Strahlung der erwärmten Rohrwände findet man durch graphische Extrapolation für die Zeit 22<sup>m</sup> 45<sup>s</sup> gleich 26,0.

Die Strahlung des Gases war also 24,0. Wenn wir diesen Ausschlag auf normale Empfindlichkeit (75 Scalentheile) reduciren, finden wir die Gesamtstrahlung = 22,8. Die Genauigkeit jeder einzelnen Bestimmung ist natürlich von der Stärke der Strahlung abhängig. Bei den Bestimmungen der Gesamtstrahlung kann, in einzelnen Fällen wenigstens, der Fehler des Endresultats einer Bestimmungsreihe einen Scalentheil betragen. Dies bedeutet in Procenten des Endresultats einen Fehler von höchstens ca. 3 Proc. bei den grössten Werthen der Strahlung (bei Stickstoff), 25 Proc. bei den kleinsten (einigen Bestimmungen der Strahlung des Wasserstoffs).

Bei Bestimmungen der von einer Alaunplatte durchgelassenen Strahlung sind die Fehler bedeutend kleiner und betragen höchstens 0,5 Scalentheile. Jedes in dem Folgenden gegebene Schlussresultat ist jedoch das Mittel aus mehreren Bestimmungen, weshalb die Fehler noch kleiner sind.

Als Zeit der Bestimmungen ist hier und überall die mittlere Zeit des Ausschlages genommen. Alle Rechnungen, welche in den Tabellen vorkommen, sind mit dem Rechenstab gemacht worden.

#### **IV. Ueber die Beziehung zwischen Stromstärke und Strahlung.**

Bei den ersten Versuchen, die Beziehung zwischen Stromstärke und Strahlung zu ermitteln, wurde das Licht spectrophotometrisch untersucht. Als Stromquelle diente das Ruhmkorff'sche Inductorium. Die Stärke des primären Stromes konnte variirt werden, theils durch Anwendung einer verschiedenen Anzahl von Elementen, theils durch Einführung von Widerständen. Die Electricitätsmenge, welche durch das Entladungsrohr ging, wurde theils durch ein in der Strombahn eingeführtes Galvanometer, theils durch ein Electrometer, dessen Nadel und eines Quadrantenpaar mit dem einen, und dessen anderes Quadrantenpaar mit dem anderen Endpunkte eines in der Leitung eingeführten Widerstandes verbunden war, gemessen.

Mit schwachen Strömen arbeitend fand ich immer eine sehr befriedigende Proportionalität zwischen Stromstärke und Strahlung, bei grösserer Stromstärke traten aber sehr oft bedeutende Abweichungen von diesem Gesetze ein. In solchen Fällen

zeigte es sich jedoch immer, dass die Gase sich permanent verändert hatten, denn, wenn ich hiernach zu schwächeren Strömen zurückkam, fand ich nicht dieselbe Strahlung wieder.

Die Untersuchungen mit dem Bolometer und dem Accumulatorstrom, sowohl über die Gesamtstrahlung wie auch über die durch eine Alaunplatte durchgelassene Strahlung, hat, in den Grenzen der Beobachtungen, diese Folgerungen gut bestätigt. Von den zahlreichen Bestimmungen, welche ich, um dies zu constatiren, ausgeführt habe, mögen die folgenden hier angeführt werden.

Die Tabelle 1, betreffend die Gesamtstrahlung, ist eigentlich Auszug des Beobachtungsprotokolles (vgl. p. 506). Jede Beobachtungsreihe ist in zwei Horizontalcolumnen enthalten, indem zuerst die Nummer des Versuches, und die Stromstärke, und dann erst die eigentlichen Bolometerbeobachtungen aufgeführt werden. In der ersten Horizontalcolumnen stehen dann die Beobachtungszeiten, in der zweiten die Ablesungen des Bolometer-Galvanometers (B. G.) und zwar zuerst das Mittel aus den Beobachtungen während des Stromdurchganges, sodann der extrapolierte Werth der Strahlung der erwärmten Rohrwände im Momente des Oeffnens des Stromes, abgeleitet aus den folgenden drei Beobachtungen über diese Strahlung in verschiedenen Zeiten. Mit  $I$  ist die Gesamtstrahlung des Gases bezeichnet, und mit  $I_{100}$  der hieraus berechnete Werth der Strahlung auf die Stromstärke 100 bezogen.

Tabelle 1.

Stickstoff. Druck = 0,4 mm. Gesamtstrahlung, Rohr Nr. 2.

Stromst.	Bolometerbeobachtungen Zeit und Scalenablesung					I	$I_{100}$ 1)
	Zeit	B. G.		Zeit	B. G.		
172	Zeit	0 <sup>m</sup> 30 <sup>s</sup>	0 <sup>m</sup> 45 <sup>s</sup>	1 <sup>m</sup> 15 <sup>s</sup>	2 <sup>m</sup> 5 <sup>s</sup>	36,0	20,9
	B. G.	62,0 26,0	24,0	20,5	17,3		
106	Zeit	0 <sup>m</sup> 30 <sup>s</sup>	0 <sup>m</sup> 45 <sup>s</sup>	1 <sup>m</sup> 35 <sup>s</sup>	2 <sup>m</sup> 30 <sup>s</sup>	21,7	20,5
	B. G.	40,7 19,0	17,4	14,4	10,2		
74	Zeit	0 <sup>m</sup> 0 <sup>s</sup>	0 <sup>m</sup> 15 <sup>s</sup>	0 <sup>m</sup> 50 <sup>s</sup>	1 <sup>m</sup> 35 <sup>s</sup>	15,5	21,0
	B. G.	26,0 9,5	9,2	8,2	7,7		
45	Zeit	0 <sup>m</sup> 0 <sup>s</sup>	0 <sup>m</sup> 20 <sup>s</sup>	1 <sup>m</sup> 30 <sup>s</sup>	2 <sup>m</sup> 30 <sup>s</sup>	9,1	20,2
	B. G.	18,0 8,9	8,2	5,5	5,2		
30	Zeit	0 <sup>m</sup> 45 <sup>s</sup>	1 <sup>m</sup> 0 <sup>s</sup>	1 <sup>m</sup> 50 <sup>s</sup>	2 <sup>m</sup> 45 <sup>s</sup>	6,4	21,3
	B. G.	10,9 4,5	4,2	3,7	3,4		

1) In dieser und der folgenden Tabelle 2 ist  $I_{100}$  nicht auf normale Empfindlichkeit reducirt.



Unter denselben Versuchsbedingungen, jedoch mit einer vor der Bolometeröffnung befindlichen Alaunplatte, wurden folgende Bestimmungen gleichzeitig ausgeführt. Jede in der zweiten Columnne eingeführte Zahl ist Mittel aus vier Bestimmungen.

Tabelle 2.

Stickstoff, Druck = 0,4 mm, Strahlung durch Alaun, Rohr Nr. 2.

Stromst. I	B. G. L.	L <sub>100</sub>
130	21,6	16,7
99	17,1	17,3
64	11,1	17,4
33	5,6	17,0

Aus diesen Versuchen folgt also:

1. Bei constantem Druck ist für ein und dasselbe Gas die Strahlung der Stromstärke proportional, und weil dies nicht nur für die Gesamtstrahlung, sondern auch für einen bestimmten Theil derselben gilt, so ist

2. die spectrale Vertheilung der Energie bei constantem Druck von der Stromstärke unabhängig.

#### V. Ueber die Strahlung verschiedener Gase bei verschiedenem Drucke.

Durch die jetzt nachgewiesene Proportionalität zwischen Strahlung und Stromstärke wird die folgende Untersuchung sehr vereinfacht, da wir alle Bestimmungen bei verschiedenem Drucke der Gase, um den Vergleich zu erleichtern, auf dieselbe Stromstärke reduciren können. Dies wird auch in den folgenden Tabellen geschehen.

Infolge der angewandten graphischen Berechnungsmethode schien es mir wünschenswerth, so viel wie möglich von dem directen Beobachtungsmaterial mittheilen zu können. Weil aber eine Beschränkung nothwendig war, habe ich es für zweckmässig gehalten, dasselbe nur für das Rohr Nr. 3 (Taf. V, Fig. 2), hier aber vollständig anzuführen. Ich schlage nämlich den Werth dieser Beobachtungen verhältnissmässig höher als den der übrigen an, theils der grösseren Sorgfalt wegen, mit welcher die Gase etc. hergestellt wurden, theils auch deswegen, weil dieses Rohr

das einzige ist, für welches ich alle nothwendigen Bestimmungen ausgeführt habe, um den absoluten Betrag der Strahlung des Gases zu berechnen. Betreffs der übrigen Beobachtungen möchte ich nur bemerken, dass die Uebereinstimmung derselben mit den hier angeführten im grossen und ganzen sehr befriedigend ist. In der Originalabhandlung sind die Beobachtungen mit dem Rohre Nr. 3 vollständig angeführt in Tabellen ähnlich der Tabelle 1. Indem wir den Leser, für welchen das Beobachtungsmaterial von Interesse sein kann, auf die ausführlichere Mittheilung verweisen, führen wir hier nur die Zusammenstellung der Resultate an. Die Tabellen 3—5 enthalten also den Druck des Gases in Millimetern, die Gesamtstrahlung,  $I_{100}$ , in Bolometerablenkungen und für eine Stromstärke von 100 Scalentheile des Accumulatorgalvanometers (=0,0015 Amp.) und auf normale Empfindlichkeit des Bolometers (75 Scalentheile; vgl. p. 497) reducirt; weiter die Strahlung durch Alaun,  $L_{100}$ , unter denselben Bedingungen und schliesslich das Verhältniss dieser beiden Strahlungen oder  $L/I$ . Vor den Columnen, welche  $I_{100}$  und  $L_{100}$  enthalten, sind in besonderen Columnen die Anzahl Beobachtungen aus welchen  $I_{100}$  und  $L_{100}$  Mittel sind, angegeben.

Die Dimensionen des Rohres Nr. 3 waren: Abstand zwischen den Electroden 20,0 cm, Abstand zwischen den Ableitungen zum Electrometer 6,0 cm, Durchmesser des Entladungsrohres 1,32 cm. Das Rohr war so aufgestellt, dass der Abstand zwischen dem Bolometergitter und der nächststehenden Electrode 11,7 cm betrug. Diese Electrode wurde immer als die positive genommen.

Tabelle 3.  
Wasserstoff.

Druck	$I_{100}$		$L_{100}$		$L/I$	Druck	$I_{100}$		$L_{100}$		$L/I$
	Anzahl Beob.	Mittel	Anzahl Beob.	Mittel			Anzahl Beob.	Mittel	Anzahl Beob.	Mittel	
0,12	3	3,7	14	2,2	0,60	0,76	4	5,9	8	1,4	0,24
0,15	3	4,2	—	—	—	0,90	3	6,4	—	—	—
0,16	3	3,2	4	2,0	0,63	1,02	4	6,6	10	1,8	0,27
0,18	3	4,1	12	1,5	0,37	1,26	3	5,5	8	1,3	0,24
0,23	3	4,8	—	—	—	1,60	2	4,2	10	1,2	0,29
0,42	3	5,6	—	—	—	2,30	4	2,6	10	0,9	0,35
0,56	3	4,4	10	1,8	0,40	2,66	2	2,6	10	0,8	0,31

Es möge hier erwähnt werden, dass bei hoher Verdünnung des Wasserstoffes die Strahlung, nachdem der Strom einige Zeit lang durchgegangen ist, ziemlich stark abnimmt, was natürlich zur Folge hat, dass man schwerlich gut übereinstimmende Beobachtungen erhalten kann.

*Sauerstoff.* Die Versuche, die Strahlung von Sauerstoff zu bestimmen, haben leider keine definitiven Resultate gegeben. Mit der hier benutzten Empfindlichkeit des Bolometers ist nämlich die Strahlung zu schwach, um bestimmt werden zu können. Die Versuche wurden mit Gas von 0,8, 0,77 und 1,27 mm Druck angestellt (Potentialgefälle 21—31 Volt per Centimeter) und mit Anwendung einer Stromstärke von 120 Scalentheilen. Die Bolometerablenkungen für die Gesamtstrahlung (I) schwanken unter diesen Verhältnissen zwischen 0 bis 1,8 Scalentheilen, Werthen, die in Betracht der dabei vorkommenden Beobachtungsfehler zu klein sind, um eine, wenn auch nur ungefähre Schätzung der Strahlung zu erlauben. Alles was wir von dieser Strahlung sagen können ist, dass dieselbe unter den angeführten Verhältnissen und für eine Stromstärke von 100 Scalentheilen (A. G.) = 0,0015 Ampère kleiner als 1,5 Scalentheile (B. G.) ist.

Tabelle 4.  
Stickstoff.

Druck	I <sub>100</sub>		L <sub>100</sub>		L/I	Druck	I <sub>100</sub>		L <sub>100</sub>		L/I
	Anzahl Beob.	Mittel	Anzahl Beob.	Mittel			Anzahl Beob.	Mittel	Anzahl Beob.	Mittel	
0,12	1	22,3	6	17,0	0,77	*0,88	2	29,5	2	21,0	0,71
0,15	3	20,8	4	19,8	0,95	1,00	2	32,4	5	24,1	0,76
*0,16	3	20,9	7	18,9	0,90	1,10	2	32,8	4	20,4	0,62
*0,23	3	21,5	3	18,1	0,84	1,15	2	30,0	6	21,5	0,72
0,35	2	21,9	6	18,5	0,85	*1,21	2	35,7	3	24,8	0,70
0,42	2	23,8	7	19,3	0,81	1,45	3	33,8	6	18,9	0,56
0,57	3	26,8	4	20,8	0,78	*1,54	3	33,3	5	23,0	0,69
*0,66	2	28,7	2	23,9	0,83	1,62	2	30,7	5	21,0	0,68
0,70	3	29,6	6	23,8	0,77	*1,64	3	37,3	4	25,4	0,68
0,72	2	27,3	6	20,5	0,75	—	—	—	—	—	—

Bei Stickstoff ist die Erwärmung und Strahlung der Rohrwände verhältnissmässig klein. Infolge dessen ist es auch möglich, die Beobachtungen in einfacherer Weise, als vorher beschrieben ist (Abth. III), auszuführen. Man braucht nämlich nur

zwei Beobachtungen unmittelbar vor und nach dem Stromdurchgange, um die Strahlung des Rohres zu ermitteln und diese Strahlung von der während des Stromdurchganges beobachteten abzuziehen. In dieser Weise wurden die in der Tabelle mit \* bezeichneten Bestimmungen erhalten.

Tabelle 5.  
Kohlenoxyd.

Druck	I <sub>100</sub>		L <sub>100</sub>		L/I	Druck	I <sub>100</sub>		L <sub>100</sub>		L/I
	Anzahl Beob.	Mittel	Anzahl Beob.	Mittel			Anzahl Beob.	Mittel	Anzahl Beob.	Mittel	
0,14	2	9,45	8	4,4	0,47	0,59	2	10,8	8	3,4	0,32
0,18	1	9,9	4	5,6	0,57	0,74	2	9,2	18	3,2	0,35
0,29	2	10,95	12	4,3	0,39	0,77	1	13,4	6	3,3	0,25
0,32	2	12,2	14	4,4	0,36	0,99	2	11,7	12	3,2	0,27
0,46	2	10,4	8	3,5	0,34	1,62	2	15,5	10	2,2	0,14

Diese Tabellen lehren uns:

1. Dass die Gesamtstrahlung verschiedener Gase höchst verschieden ist.

2. Die Grösse der Gesamtstrahlung verschiedener Gase steht in keiner erkennbaren Beziehung zu dem Absorptionsvermögen derselben bei gewöhnlicher Temperatur. Wir wissen z. B. dass Kohlenoxyd ein sehr beträchtliches, Stickstoff aber ein sehr geringes Absorptionsvermögen bei gewöhnlicher Temperatur hat.<sup>1)</sup> Hinsichtlich der soeben erörterten Strahlung aber sind die Rollen vertauscht.

3. Die Lichtstrahlung nimmt mit zunehmendem Drucke ab.

4. Das Verhältniss zwischen der Lichtstrahlung und der Gesamtstrahlung ist von dem Drucke abhängig, und die spectrale Vertheilung der Energie ändert sich also mit dem Drucke. Mit zunehmender Verdünnung der Gase nimmt dieses Verhältniss im allgemeinen zu, oder, mit anderen Worten, das Intensitätsverhältniss ändert sich so, dass mit vermehrter Verdünnung der Schwerpunkt des Energiespectrums

1) In Betreff der Absorption dieser Gase siehe: K. Ångström, Bihang til K. Svenska Vet.-Akad. Handl. 15. Nr. 9. 1889 oder Wied. Ann. 39. p. 267. 1890. Ebenso: Öfversigt af K. Vet. Akad. Förhandl. Nr. 9. p. 549. 1889 und Nr. 7. p. 331. 1890 oder Physikalische Revue 1. p. 597. 1892.

gegen die violette Seite des Spectrums verschoben wird. Dabei steigt das Verhältniss zwischen Lichtstrahlung und Gesamtstrahlung bis auf Werthe, die man wohl nicht erwartet hatte, so z. B. bei Stickstoff bis auf 0,95.

#### VI. Einige Beobachtungen mit dem Ruhmkorff'schen Inductorium.

Um die Veränderungen des Verhältnisses zwischen Licht- und Gesamtstrahlung bei grösseren Veränderungen des Druckes verfolgen zu können, machte ich einige Versuchsreihen mit dem Ruhmkorff'schen Inductorium. Stickstoff und Kohlenoxyd wurden untersucht, dabei wurde aber für Stickstoff die Strahlung des Rohres nur nach der früher erwähnten einfachen Correctionsmethode ermittelt. Die Resultate sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Tabelle 6.

Stickstoff. Gesamtstrahlung und Strahlung durch Alaun.

Druck	$I_{100}$	$L_{100}$	$L/I$	Druck	$I_{100}$	$L_{100}$	$L/I$
0,16	19,0	17,2	0,91	2,42	28,8	12,5	0,43
0,23	19,7	16,3	0,83	3,20	25,4	12,8	0,50
0,66	21,4	14,7	0,69	4,12	25,7	10,0	0,39
0,88	23,0	14,6	0,64	5,0	30,0	7,3	0,24
1,21	23,4	14,4	0,62	6,24	38,5	4,3	0,11
1,54	25,9	17,1	0,66	8,28	48,2	4,5	0,09
1,64	25,4	15,0	0,50	12,04	61,3	2,5	0,08

Tabelle 7.

Kohlenoxyd. Gesamtstrahlung und Strahlung durch Alaun.

Druck	$I_{100}$	$L_{100}$	$L/I$
0,99	7,4	2,0	0,27
1,7	9,3	1,5	0,16
6,3	23,6	ca. 0,8	0,03
12,8	69,4	unbestimmbar	

Auf Taf. V, Fig. 11 und 12 sind diese Resultate graphisch wiedergegeben. In der Fig. 11 sind die Drucke als Abscissen,  $I_{100}$  und  $L_{100}$  für die beiden Gase als Ordinaten genommen. In der Fig. 12 sind ebenfalls die Drucke als Abscissen, als Ordinaten aber das Verhältniss  $L/I$  genommen, die punktirte Curve für Stickstoff, die ausgezogene für Kohlenoxyd. Diese Resultate bestätigen vollständig die Folgerungen, die wir

schon gezogen haben. Das Verhältniss  $L/I$  nimmt mit zunehmendem Drucke schnell ab, bei Stickstoff von 0,90 bis auf 0,04 für eine Druckvermehrung von 0,16—12,04 mm, bei Kohlenoxyd von 0,27 bis auf weniger als 0,01 für eine Druckänderung von 0,99—12,8 mm.

Die Uebereinstimmung zwischen den Werthen von  $L/I$ , welche wir für gleichen Druck mit dem Inductorium und mit dem Accumulatorstrom gefunden haben, ist für Kohlenoxyd sehr befriedigend. Für Stickstoff ist sie weniger gut und im allgemeinen sind die Werthe von  $L/I$  bei intermittenter Entladung niedriger ausgefallen, als bei constantem Strome. Eine Erklärung dieses Verhältnisses werden wir unten zu geben versuchen.

In der obenstehenden Tabelle habe ich auch die Strahlung für dieselbe Stromstärke berechnet. Für das gemeinsame Versuchsgebiet (zwischen 0,15—2 mm Druck) sind die Verhältnisse bei Accumulator und Inductorium in ihren Hauptzügen dieselben; mit einer Vermehrung des Druckes folgt eine Vermehrung der Gesamtstrahlung.

Bei Stickstoff scheint bei ca. 3,6 mm Druck ein schwaches Minimum der Strahlung vorhanden zu sein, was in Uebereinstimmung mit dem früher bei Wasserstoff gefundenen Werthe der Strahlung steht (vgl. auch später p. 524—525). Leider sind die Bestimmungen bei Kohlenoxyd nicht zahlreich genug, um das Vorhandensein eines solchen sehr schwerverständlichen Minimums auch bei diesem Gase zu constatiren. Bei grösserem Drucke nimmt die Strahlung stetig zu.

Obschon die Stromstärke in diesen Versuchen mit demselben Galvanometer wie vorher bestimmt ist, sind doch die oben angeführten Werthe der Stromstärke nicht direct mit den früheren, in den Versuchen mit dem Accumulator gefundenen, vergleichbar. Nichtsdestoweniger können wir aber aus denselben einen wichtigen Schluss ziehen. Die durch die Galvanometerablenkung mit Hülfe des Reductionsfactors für constante Ströme hergeleitete mittlere Intensität des Inductionsstromes kann wohl kleiner als die wirkliche, nicht aber grösser sein. Wenn, wie ich wenigstens für schwächere Stromintensität gezeigt habe, die Strahlung der Stromstärke proportional ist, so könnten wir aber unter diesen Umständen erwarten, dass der

Werth der Strahlung mit Inductionsströmen grösser als die entsprechende mit constantem Strome ausfallen würde. Das ist aber nicht der Fall. Im Gegentheil ist die mit Inductionsströmen erzeugte Strahlung immer kleiner, als die entsprechende mit constantem Strome hervorgebrachte.

Man könnte vielleicht meinen, dass das Bolometer nicht bei intermittirender Beleuchtung die mittlere Intensität angebe. Ich habe mich aber durch directe Versuche überzeugt, dass dies der Fall ist. Eine Scheibe, in welcher Oeffnungen im Rande angebracht waren, wurde zwischen dem Bolometer und einer constanten Lichtquelle so befestigt, dass durch Drehen derselben intermittirendes Licht auf das Bolometer fiel. Die Ablenkung des Bolometer-Galvanometers war, sobald die Ablenkung stetig war, bei verschiedener Rotationsgeschwindigkeit immer dieselbe.

Es bleiben mithin nur zwei Erklärungen dieses Verhältnisses übrig. Entweder verliert das Proportionalitätsgesetz, welches wir oben gefunden haben, bei den grossen Intensitäten, welche in den Inductionsfunken vorkommen, seine Gültigkeit, oder die Strahlung nimmt nicht bei Schluss des Stromes augenblicklich ihren endgültigen Werth an. Wenn es sich nämlich so verhält, dann muss ein Inductionsstrom eine kleinere Strahlungsintensität als der constante Strom ergeben, wenn auch die in den beiden Fällen übergeführte Electricitätsmenge dieselbe ist. Vermehrt man die Schwingungszahl des Unterbrechers, muss für dieselbe mittlere Intensität des Stromes die Strahlungsintensität abnehmen, solange noch die Funken einander mit so grossen Zeitintervallen folgen, dass das Gas zwischen jeder Entladung in seinen normalen Zustand zurückkehrt. Ist dies nicht länger der Fall, das heisst, werden die Zeitintervalle so klein, dass das Gas nicht in seinen normalen Zustand zurückkehrt, so muss die Strahlung wieder zunehmen.

Unter solchen Umständen darf man deswegen auch nicht erwarten, dass  $L/I$  denselben Werth bei constantem und bei intermittirendem Strome hat. Bei den Versuchen mit Stickstoff fanden wir auch, dass die Werthe von  $L/I$  bei constantem Strome im allgemeinen ein wenig grösser ausfielen, als bei intermittirendem, was also bedeuten würde, dass nach dem

Stromschlusse die Strahlung der kürzeren Wellenlängen später als die Strahlung der längeren zur vollen Entwicklung kommt.

Da mir eine Bestätigung des hier gesagten von Wichtigkeit war, beabsichtigte ich, Versuche mit verschiedener Brechungsahl auszuführen. Leider war mir die Zeit für diese Versuche zu knapp, weshalb ich dieselben auf eine andere Gelegenheit verschieben musste.

#### VII. Ueber die Bestimmung der Strahlung in absolutem Maasse.

Bis jetzt haben wir nur die direct gefundenen Bolometerangaben als Maass der Strahlung genommen und aus diesen einige Schlüsse gezogen mit Nichtbeachtung einiger kleiner Correctionen, welche für diese Schlüsse ohne Bedeutung waren. In dem Folgenden wollen wir versuchen, die Strahlung in absolutem Maasse auszudrücken und das Strahlungsvermögen des Gases zu berechnen.

Zu diesem Zwecke ist es erstens nöthig, die Empfindlichkeit des Bolometers zu kennen, d. h. den Werth der Scalentheile in Grammc calorien pro Secunde und Quadratcentimeter auszudrücken, und zweitens den Einfluss der Rohrwände auf die Strahlung näher kennen zu lernen.

##### 1. Bestimmung der Empfindlichkeit des Bolometers.

Bei dieser Bestimmung kann man verschiedene Wege einschlagen. So hat R. v. Helmholtz, der, mit Ausnahme des Verfassers, der einzige ist, welcher den absoluten Werth der Empfindlichkeit seines Instrumentes genauer bestimmt hat<sup>1)</sup>, drei verschiedene Methoden versucht. Die, welche ich früher befolgt habe<sup>2)</sup> und welche auf einer vergleichenden Bestimmung der Strahlung einer und derselben Wärmequelle mit dem Bolometer und mit dem von mir construirten Pyrheliometer<sup>3)</sup> beruht, scheint mir jedoch mit Hinsicht auf die Zuverlässigkeit der Resultate wie auch seiner Einfachheit halber Vorzüge zu haben.

1) R. v. Helmholtz, Die Licht- und Wärmestrahlung verbrennender Gase. Gekrönte Preisschrift. Berlin 1890 (vgl. p. 504).

2) K. Ångström, Wied. Ann. 26. p. 253. 1885.

3) K. Ångström, Acta Reg. Soc. Upsaliensis. 1886.



Die Anordnung ist aus der Fig. 5, Taf. 1 leicht verständlich.  $A$  und  $B$  sind die als Calorimeter benutzten Kupferplatten,  $CDEF$  die Thermoelemente, die mit ihren Löthstellen in den Mittelpunkt der Platten eingefügt sind und deren Leitungsdrähte zu dem Galvanometer führen.  $GH$  und  $IK$  sind zwei Schirme mit Oeffnungen. Vor der einen Oeffnung steht ein kleines cylindrisches Gefäss  $L$ , durch welches Wasserdampf geleitet werden kann, vor der anderen eine kleine Kupferplatte  $M$ , welche bei Zimmertemperatur erhalten wird. Die Endplatte des Cylinders  $L$  ist sorgfältig berusst, wie auch die Platte  $M$ . Die Stellung von  $L$  und  $M$  kann leicht gewechselt werden, und man bestimmt dabei genau die Zeitdifferenz  $T$ , während welcher die Temperaturdifferenz  $K$  der Calorimeter vertauscht wird.

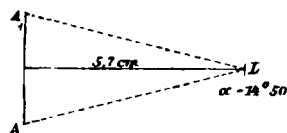
Früher habe ich gezeigt<sup>1)</sup>, dass bei dieser Anordnung, wenn eine Strahlung von der Stärke  $Q$  auf die Platte des Pyrheliometers fällt:

$$Qa = \frac{2KD}{Tc},$$

wenn nämlich  $D$  den Wasserwerth,  $a$  die Fläche und  $c$  das Absorptionsvermögen der Calorimeterplatten bedeutet. Bei einem Versuche mit der beschriebenen Anordnung war  $T = 63$  Secunden,  $K = 0,0146^\circ$ ,  $D = 3,039$  Grammc calorien. Wenn  $c = 1$  gesetzt wird, finden wir:

$$Qa = 0,001409 \text{ Grammc calorien pro Secunde.}$$

Bei diesem Versuche (vgl. nebenstehende Figur) war der Abstand zwischen der strahlenden und der absorbirenden Fläche 5,7 cm, Durchmesser der Calorimeterplatten 3,02 cm. Wir können dann leicht das Strahlungsvermögen des Cylinderbodens  $L$  berechnen. Es sei  $I$  das Strahlungsvermögen des Cylinderbodens, der mit genügend grosser Genauigkeit klein im Vergleich zu der Calorimeterfläche  $AA_1$  angenommen werden kann,  $r$  der Abstand eines beliebigen Punktes der Fläche  $AA_1$  von  $L$ ,  $2\alpha$  der Winkel  $ALL_1$ , dann ist:



1) K. Ångström, l. c.; vgl. auch Wied. Ann. 39. p. 294. 1890.

$$Q \alpha = \int_0^{\alpha} \frac{2 \pi r^2 I \sin \alpha \cos \alpha}{r^2} d \alpha = \pi I \sin^2 \alpha,$$

woraus

$$I = \frac{Q \alpha}{\pi \sin^2 \alpha} = \frac{0,001409}{3,1416 \times \sin^2 14^\circ 50'} = 0,006848. 1)$$

Der strahlende Cylinder wurde dann in einem Abstand = 23,65 cm vor dem Bolometer aufgestellt. Die Empfindlichkeit des Bolometers war 31,5 / 75 von der normalen. Die Ablenkung des Bolometergalvanometers war 40,5 Scalentheile. Wenn also  $R$  den Werth eines Scalentheiles in Grammc calorien per Secunde und Quadratcentimeter bei normaler Empfindlichkeit bedeutet, so ist

$$R \times 40,5 = \frac{0,006848}{(23,65)^2} \times \frac{31,5}{75},$$

woraus:

$R = 127 \times 10^{-9}$  Grammc calorien per Sec. und Quadratcentimeter.<sup>2)</sup>

Einige Controllversuche mit einem Argand'schen Brenner, der in derselben Entfernung von Bolometer und Pyrheliometer

1) Da die strahlende Fläche 1,41 qcm ist, findet man das Strahlungsvermögen der Flächeneinheit  $S = 0,00486$ . Nach Stefan ist das Strahlungsvermögen einer Russfläche:

$$S = \frac{1,202 \times 10^{-12}(T_1^4 - T_2^4)}{\pi} \text{ Grammc calorien,}$$

wo  $T_1$  und  $T_2$  die absoluten Temperaturen der strahlenden und der absorbirenden Fläche sind. Hieraus findet man, wenn diese Temperaturen = 373 resp. 290 gesetzt werden,

$$S = 0,00458 \text{ Grammc calorien.}$$

Die Uebereinstimmung dürfte in Anbetracht der grossen Schwierigkeiten, mit welchen die beiden Bestimmungen verbunden sind, als sehr befriedigend angesehen werden können.

2) Als Vergleich mag hier angeführt werden, dass die in dieser Weise erreichte Empfindlichkeit vier- bis fünfmal so gross ist wie diejenige, mit welcher ich früher operirt habe. Das von R. v. Helmholtz benutzte Bolometer hatte eine Empfindlichkeit von  $533 \times 10^{-9}$ , und er hat berechnet, dass die Empfindlichkeit des Instruments von Julius ungefähr die gleiche, die des Instrumentes von Langley fünf bis achtmal so gross ist. Die Empfindlichkeit meines Instruments kommt der von Langley's Instrument also sehr nahe. — In der vorläufigen Notiz dieser Arbeit ist infolge eines Schreibfehlers die Empfindlichkeit unrichtig angegeben.

aufgestellt wurde, ergaben eine sehr gute Bestätigung der oben erwähnten Bestimmung.

Die in der vorigen Tabelle in Bolometerablenkungen angegebene Strahlung muss also mit  $127 \times 10^{-9}$  multiplicirt werden, wenn man die Strahlung in Calorien per Secunde und Quadratcentimeter ausdrücken will.

## 2. Correction für die Reflexion der Rohrwände.

Die direct beobachtete Strahlung ist vermehrt durch die Reflexion von den Rohrwänden und vermindert durch die Reflexion von der Steinsalzplatte. Infolge vieler Nebenumstände (z. B. Stellung, Beschaffenheit und Form des Entladungsrohres) kann man nicht direct diesen Einfluss berechnen.

Ich war also genöthigt, einige Hilfsbeobachtungen anzustellen und habe den folgenden Weg einzuschlagen. Ein Rohr, Taf. V, Fig. 6, *SR*, dem Beobachtungsrohr so ähnlich wie möglich, wurde angefertigt, nur mit dem Unterschied, dass das eine Ende offen gelassen war. Das andere Ende wurde mit einer Steinsalzplatte *S* von ungefähr derselben Dicke wie die des Entladungsrohres bedeckt. In dieses Rohr konnte ein kleines cylindrisches Gefäß *G*, welches das Rohr vollständig ausfüllte, eingeschoben werden. Das Gefäß hatte, wie in der Figur zu sehen, Ab- und Zuleitung für Erwärmung durch Wasserdampf. Das Gefäß ist aus Messing, hochpolirt mit Ausnahme der nicht durchbrochenen Endflächen, die von berusstem Kupfer ist.

Das Entladungsrohr wurde jetzt von seinem Platz vor dem Bolometer entfernt, um durch dieses Rohr ersetzt zu werden. Nachdem das kleine Gefäß durch Zuleitung von Wasserdampf bis zur constanten Temperatur erhitzt war, wurde es bis zu einer bestimmten Stelle schnell in das Rohr hineingeschoben und die Strahlung sogleich bestimmt. Nachdem diese Versuche für verschiedene Stellen in dem Rohre wiederholt waren, wurde das Rohr fortgenommen und die Strahlung des Gefäßes bei denselben Abständen von dem Bolometergitter bestimmt. Ein Auszug aus dieser Beobachtungsreihe, welcher in der folgenden Tabelle enthalten ist, wird das Gesagte genügend erklären.

Tabelle 8.

Abstand vom Bolometer cm	Strahlung	
	mit Rohr	ohne Rohr
11,7	154	168,5
17,7	125	70,5
23,7	112	40,5
29,7	102	26,5

Wenn wir jetzt die Abstände von dem Bolometergitter als Abscissen, die correspondirenden Strahlungsintensitäten als Ordinaten nehmen, so erhalten wir zwei Curven (Fig. 7, Taf. V), die eine für die Strahlung des Gefässes mit Rohr (ausgezogen), die andere ohne Rohr (punktirt).

Es ist leicht verständlich, dass das Verhältniss zwischen den beiden Flächen, die durch die Abscissenaxe, zwei beliebige Ordinaten und die respectiven beiden Curven gebildet sind, dasselbe ist wie das Verhältniss zwischen der Strahlung einer Folge voneinander unabhängiger Gasschichten, theils mit, theils ohne Rohr. Wir finden also (vgl. Fig. 7):

$$\frac{ABCD}{AFID} = \frac{I_1}{I} = \frac{\text{Strahlung ohne Rohr}}{\text{Strahlung mit Rohr}} = \alpha,$$

oder

$$I_1 = \alpha I.$$

Das Verhältniss zwischen den beiden Flächen habe ich durch die Wägungsmethode ermittelt.

Die Länge der strahlenden Gasschicht wechselt aber ein wenig bei verschiedenen Gasen, weil der dunkle Raum um die Kathode ungleich weit in das Rohr hineindringt.<sup>1)</sup> Um die Strahlung bei verschiedenen Gasen miteinander vergleichen zu können, ist es zweckmässig, alle Bestimmungen auf dieselbe Länge der strahlenden Gasschicht zu reduciren. Ich habe als diese Länge 19 cm gewählt. Ist die Länge der Gasschicht eine andere, z. B. 17 cm, so ist die gefundene Strahlung mit dem oben gefundenen Verhältniss zwischen der Fläche ohne Rohr für den Abscissenabstand = 19 cm (*ABCD*, Fig. 7,

1) Die Länge ändert sich auch ein wenig mit der Stromstärke, doch können wir hier diese Veränderungen vernachlässigen.

Taf. V) und die Fläche mit Rohr für den Abscissenabstand = 17 cm (*A'G'H*) zu multipliciren.

Folgende kleine Tabelle enthält die Reductionsfactoren für die verschiedenen Gase.

Tabelle 9.

Gase	Länge der Gassäule, cm	Reductions-factor $\alpha$
Wasserstoff	18,0	0,58
Stickstoff	18,2	0,57
Kohlenoxyd	17,3	0,60

Mit  $\alpha$  ist also der früher gefundene absolute Werth der Strahlung mit Rohr zu multipliciren, wenn man die Strahlung ohne Rohr und von einer Gassäule von 19 cm Länge erhalten will. Wenn wir diese Strahlung für eine Stromstärke = 1 Mikroampère mit  $I$  bezeichnen, so ist dieselbe also (weil  $I_{100}$  die Strahlung für eine Galvanometerablenkung = 100 Scalentheile = 1,5 Mikroampère ist)

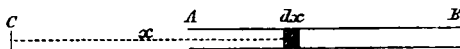
$$I = \alpha \frac{I_{100} \times 127 \times 10^{-9}}{1,5}.$$

### 3. Berechnung des Strahlungsvermögens und der Gesamtausstrahlung der Gase,

Es bleibt uns jetzt nur noch übrig, aus diesen Werthen der Strahlung unter gegebenen Bedingungen das Strahlungsvermögen der Längeneinheit der Gassäule und ihre totale Strahlung zu berechnen. Um diese zu finden, nehmen wir an, dass wir unter den hier benutzten Versuchsbedingungen die Absorption des Gases vollständig vernachlässigen können.<sup>1)</sup>

Es sei  $AB$  (vgl. nebenstehende Figur) die strahlende Gassäule,  $C$  die Lage des Bolometergitters sein.

Wenn  $S$  das Strahlungsvermögen der Längeneinheit und  $CA = a$  und  $CB = b$ , so ist die Strahlung, welche  $C$  trifft und welche wir mit  $I$  bezeichnet haben,



1) Von der Zulässigkeit dieser Annahme habe ich mich durch directe Versuche überzeugt; sogar die Absorption des Kohlenoxyds ist unter oben erwähnten Umständen kaum mittels des Bolometers zu bestimmen.

$$l = \int_a^b S \frac{dx}{x^2}, \quad I = S \frac{b-a}{ab},$$

woraus

$$S = \frac{ab}{b-a} I.$$

Unter der Annahme, dass die Strahlung in allen Richtungen dieselbe ist, finden wir die totale Strahlung der Längeneinheit der Gassäule

$$T = 4\pi S.$$

Wenn wir in diese Ausdrücke den Werth von  $I$  einführen und dabei bemerken, dass  $a = 11,5$  cm,  $k = 30,5$  cm, so finden wir

$$S = \alpha \frac{I_{100} \times 127 \times 10^{-9}}{1,5} \times \frac{11,5 \times 30,5}{30,5 - 11,5},$$

und

$$T = 12,6 S.$$

$S$  und  $T$  bedeuten also hier das Strahlungsvermögen und die Gesamtstrahlung einer Gassäule von 1 cm Länge und von einem Querschnitte von 1,41 qcm (= Querschnitt des Entladungsrohres) beim Durchgange eines Stromes = 1 Mikroampère.

Da die Strahlung der Stromstärke proportional ist und das Potentialgefälle im positiven Lichte vom Querschnitte des Entladungsrohres unabhängig ist, könnte man wohl annehmen, dass auch die Strahlung vom Querschnitte des Entladungsrohres unabhängig sei. Wenn dem so ist, dann könnten wir ganz einfach sagen, dass  $S$  und  $T$  das Strahlungsvermögen und die Gesamtstrahlung einer Gassäule von der Länge 1 ist wenn durch dieselbe 1 Mikroampère geleitet wird und zwar ohne Rücksicht auf den Durchmesser der Gasschicht. Nach den Untersuchungen von G. Wiedemann<sup>1)</sup> über die Wärmentwicklung in Geissler'schen Röhren ist dieselbe beinahe von dem Querschnitte unabhängig. Wie ich schon hervorgehoben habe, können wir jedoch nicht von der Wärmentwicklung auf die Verhältnisse der Strahlung schliessen. Die leider allzu spärlichen Versuche von Staub<sup>2)</sup> über das

1) G. Wiedemann, Pogg. Ann. 158. p. 35 und 252. 1876.

2) G. Staub, Inauguraldissert. p. 41. Zürich 1890.

Verhältniss zwischen Lichtstrahlung und Gesamterwärmung bei Flaschenentladungen scheinen übrigens deutlich die Abhängigkeit dieses Verhältnisses von dem Rohrdurchmesser zu zeigen. Die Versuchsbedingungen, unter welchen Hr. Staub gearbeitet hat<sup>1)</sup> (Entladungen von grösseren Condensatoren), sind jedoch so wesentlich von den meinigen verschieden, dass man wohl nicht ohne weiteres die Untersuchungen vergleichen kann. Was meine eigenen Untersuchungen betrifft, so lassen dieselben die Frage auch noch offen. Wohl habe ich in verschiedenen Röhren immer dasselbe Verhältniss zwischen Licht- und Gesamtstrahlung bei derselben Spannung des Gases gefunden, der Unterschied in den Durchmessern der Röhre ist jedoch zu unbedeutend, um bestimmte Schlussfolgerungen über diese Frage zu erlauben. Eine neue Untersuchung mit Röhren von ganz verschiedenem Durchmesser scheint demzufolge in hohem Grade wünschenswerth.

Die folgenden Tabellen enthalten  $S$  und  $T_s$  aus den Tabellen 3—5 berechnet und ebenso die entsprechenden Werthe  $L$  und  $T_l$  für die durch eine Alaunplatte durchgegangene Strahlung.

Tabelle 10.

Wasserstoff.

Druck mm	Potential- gefälle Volt p. cm	$S$ $\times 10^{-6}$	$T_s$ $10^{-5}$	$L$ $10^{-6}$	$T_l$ $10^{-5}$	$\frac{T_s}{\sqrt{V \cdot i/4,2}}$
0,12	12	3,4	4,2	2,0	2,5	0,015
0,15	13	3,8	4,7	—	—	0,015
0,16	13	2,9	3,6	1,8	2,3	0,012
0,18	13	3,7	4,6	1,4	1,7	0,015
0,23	15	3,4	5,4	—	—	0,015
0,42	19	5,1	6,3	—	—	0,014
0,56	22	4,0	5,0	1,6	2,0	0,010
0,76	24	5,4	6,7	1,3	1,6	0,012
0,90	25	5,8	7,2	—	—	0,012
1,02	26	6,0	7,5	1,6	2,0	0,013
1,26	27	5,0	6,2	1,2	1,5	0,010
1,60	29	3,8	4,7	1,1	1,4	0,007
2,30	33	2,4	2,9	0,8	1,0	0,004
2,66	35	2,4	2,9	0,7	0,9	0,003

1) Der Verf. hat weder die Capacität der Condensatoren, noch die Potentialhöhe, bis zu welcher dieselben geladen wurden, angegeben, was doch den Werth seiner Untersuchungen bedeutend erhöht haben würde.

Tabelle 11.  
Stickstoff.

Druck mm	Potential- gefälle Volt p. cm	$S$ $10^{-6}$	$T_s$ $10^{-5}$	$L$ $10^{-6}$	$T_l$ $10^{-5}$	$\frac{T_s}{V \cdot i/4,2}$
0,12	14	19,9	24,8	15,2	18,9	0,074
0,15	15	18,6	23,2	17,9	22,0	0,065
0,16	15	18,7	23,6	16,9	21,0	0,066
0,23	17	19,2	23,9	16,2	20,1	0,059
0,35	21	19,6	24,4	16,5	20,6	0,049
0,42	23	21,3	26,5	17,2	20,5	0,048
0,57	28	23,9	29,8	18,6	23,1	0,045
0,66	30	25,7	32,0	21,3	26,7	0,045
0,70	32	26,5	33,0	20,3	25,4	0,043
0,72	33	24,4	30,4	18,3	22,9	0,039
0,88	37	26,4	32,9	18,8	23,4	0,037
1,00	42	28,9	36,0	21,5	26,9	0,036
1,10	45	29,3	36,5	18,2	22,7	0,034
1,15	47	26,8	33,4	19,2	24,0	0,030
1,21	49	31,8	39,7	22,2	27,7	0,034
1,45	61	30,2	37,6	16,9	21,0	0,026
1,54	62	29,7	36,0	20,6	25,6	0,024
1,62	65	27,4	34,2	18,8	23,4	0,022
1,64	66	33,3	41,5	22,6	28,3	0,026

Tabelle 12.  
Kohlenoxyd.

Druck mm	Potential- gefälle Volt p. cm	$S$ $10^{-6}$	$T_s$ $10^{-5}$	$L$ $10^{-6}$	$T_l$ $10^{-5}$	$\frac{T_s}{V \cdot i/4,2}$
0,14	15	8,9	11,1	4,1	5,2	0,032
0,18	17	9,3	11,6	5,3	6,6	0,029
0,29	21	10,3	12,8	4,0	5,0	0,026
0,32	22	11,6	14,3	4,1	5,2	0,027
0,46	28	9,7	12,2	3,3	4,1	0,018
0,59	32	10,1	12,6	3,2	4,0	0,017
0,74	38	8,6	10,8	3,0	3,8	0,012
0,77	39	12,8	15,7	3,1	3,9	0,017
0,99	47	11,0	13,7	3,0	3,8	0,012
1,62	66	14,5	18,1	2,0	2,6	0,012

Die Resultate sind graphisch dargestellt auf der Taf. V, Fig. 8, 9 und 10; als Abscissen sind die Drucke, als Ordinaten  $T_s$  (die punktirte Curve) und  $T_l$  (die ausgezogene Curve) genommen. Die Gesamtstrahlung nimmt mit zunehmendem Drucke bei Stickstoff und Kohlenoxyd langsam zu. Bei Wasserstoff finden wir für einen Druck von ca. 1 mm ein Maximum,



das wohl aller Wahrscheinlichkeit nach von einem Minimum begleitet wird.

Die Intensität der Strahlung verschiedener Gase steht in keiner erkennbaren Beziehung zu den Potentialgefällen in denselben. Mit Kenntniss der Stromstärke und der Potentialgefälle können wir die Arbeit berechnen, die den verschiedenen Gasen bei dem Stromdurchgange zugeführt wird. Das Verhältniss zwischen der Gesamtausstrahlung und dieser Arbeit, in Grammcalthorien ausgedrückt, habe ich berechnet und in der letzten Columne der obigen Tabelle aufgeführt. Diese Columne enthält also

$$\frac{T_s}{V i / 4,2},$$

oder die Gesamtausstrahlung bei derselben Stromarbeit per Längeneinheit des Entladungsrohres. Hieraus folgt nun, dass nur ein ganz beschränkter Theil der in der positiven Strombahn geleisteten Arbeit in Strahlung umgesetzt wird, weiter dass dieser Theil bei verschiedenen Gasen verschieden ist und schliesslich, dass derselbe im allgemeinen um so kleiner ist, je grösser die Spannung des Gases. Den übrigen Theil der Arbeit, welcher nicht in Form von Strahlung abgegeben wird, finden wir ohne Zweifel, zum grössten Theil wenigstens als Wärme wieder.<sup>1)</sup> Ein relatives Maass dieser Wärmeentwicklung in verschiedenen Gasen gibt uns die Strahlung der erwärmten Rohrwände in unseren oben angeführten Versuchen, sobald nämlich der Strom solange gewirkt hat, dass die Strahlung constant ist. Obschon eine genaue Bestimmung dieser Wärme nicht die Aufgabe vorliegender Untersuchung war, mögen doch die folgenden Zahlen angeführt werden, um eine ungefähre Vorstellung des relativen Werthes dieser Strahlung zu geben. Die kleine Tabelle 13 enthält also in der letzten Columne die Strahlung der Rohrwände allein nach längerem Durchgange eines Stromes von 100 Scalentheilen (= 0,0015 Amp.) und zwar bei ungefähr gleichem Potentialgefälle in der positiven Strombahn. Zum Vergleich führe ich auch die Strahlung der Gase allein an, diese aus den Tabellen 3—5 genommen.

1) Es ist jedoch möglich, dass ein Theil der Arbeit für moleculare Umwandlungen in Anspruch genommen wird, und dass die entsprechenden Wärmemengen nicht in der positiven Strombahn wiederzufinden sind.

Tabelle 13.

Gas	Druck	Potential- gefälle Volt per cm	Gesamt- strahlung $I_{100}$	Strahlung der Rohr- wände $W_{100}$
Wasserstoff	1,60	29	4,2	30
Sauerstoff	1,27	31	0—1,4	24
Stickstoff	0,66	30	28,7	33
Kohlenoxyd	0,59	32	10,8	28

Aus diesen Zahlen, welche, wie gesagt, keine grössere Genauigkeit beanspruchen, geht doch hervor, dass die Erwärmung verschiedener Gase bei gleicher Stromarbeit ungefähr dieselbe ist. Wir sehen also, dass die Strahlung nicht eine nothwendige Folge der Wärmeentwicklung ist. Die letzte steht ohne Zweifel in enger Beziehung zu der Stromarbeit, die erste dagegen nicht.

#### VII. Einige theoretische Bemerkungen.

Es ist schon durch andere Arbeiten, durch die Untersuchungen von Hittorf<sup>1)</sup> u. a., bekannt, dass Entladung durch Gase ohne Lichtentwicklung möglich ist. Die vorliegende Untersuchung zeigt uns aber, dass die Erklärung dieses Verhältnisses in den meisten Fällen darin zu suchen ist, dass mit der Zunahme der Spannung der Gase die Strahlung unsichtbar wird, so z. B. bei Wasserstoff, Stickstoff und Kohlenoxyd. Sauerstoff gibt uns jedoch ein Beispiel von Stromdurchgang bei schwacher Spannung, die von einer verhältnissmässig sehr schwachen Strahlung begleitet ist.

Alles dies zeigt uns, dass die Strahlung der Gase bei electricischer Entladung nicht nur in qualitativer, sondern auch in quantitativer Beziehung von der molecularen Beschaffenheit der Gase abhängig und dass sie als eine secundäre Wirkung des electricischen Stromes zu betrachten ist. Bei dem Stromdurchgang wird eine nicht unbedeutende Arbeit in Wärmebewegung umgewandelt. Ein wie grosser Theil dieser Arbeit in Strahlung umgesetzt wird, hängt von der Fähigkeit der Molecüle ab, solche Schwingungszustände anzunehmen, welche Strahlung hervorbringen.

Wenn wir uns eine Vorstellung von den inneren Vorgängen der Strahlung der Gase bei electricischer Entladung machen wollen,

1) Hittorf, Wied. Ann. 21. p. 112. 1884.

können wir von zwei grundverschiedenen Ansichten ausgehen: entweder alle Molecüle in der Gasmasse oder nur eine beschränkte Anzahl derselben nehmen an der Strahlung theil (im ersteren Falle ist das Gas homogen, im letzteren heterogen).

Wenn die Strahlung bei der Entladung durch eine über die Molecüle hingehende Bewegung hervorgerufen wird und alle Molecüle an der Strahlung theilnehmen<sup>1)</sup>, so muss man, weil die mittlere Temperatur des Gases dabei sehr niedrig sein kann<sup>2)</sup> ein ganz besonderes Verhältniss zwischen der translatorischen und vibratorischen Bewegung der Molecüle annehmen. Die Strahlung, welche nur von der letztgenannten herrührt, ist mithin nicht durch die Temperatur allein bedingt. Von diesem Standpunkte aus betrachtet unterliegt es keinem Zweifel, dass die Strahlung als irregulär (nach R. v. Helmholtz) oder als eine Art von Luminescenz (E. Wiedemann) zu betrachten ist.

Wenn dagegen die Electricitätsüberführung durch Convection (G. Wiedemann) oder durch eine Art Electrolyse (Schuster, J. J. Thomson, Arrhenius u. a.) vermittelt wird, so kann die Anzahl der Molecüle, die die Leitung herstellen, sehr gering sein.<sup>3)</sup> Die mittlere Temperatur des Gases kann dann sehr niedrig sein und demungeachtet kann der Bewegungszustand der activen Molecüle einer sehr hohen Temperatur entsprechen. Wenn wir nun unter irregulärer Strahlung eine solche verstehen, welche nicht ausschliesslich durch Erwärmung des ganzen Körpers hervorgebracht werden kann, dann ist auch diese Strahlung natürlich von irregulärer Natur. Verstehen wir aber unter irregulärer Strahlung eine derartige, dass in ihr die spectrale Vertheilung der Energie eine anomale ist, dann müssen wir, um beurtheilen zu können, ob die Strahlung bei Gasentladung regulärer oder irregulärer Natur sei, erst die spectrale Vertheilung der regulären Strahlung bei schwacher Spannung und hoher Temperatur kennen. Dies ist aber nicht der Fall, und unsere Schlüsse sind demzufolge nur Wahrscheinlichkeitsschlüsse. Für eine irreguläre Strahlung in

---

1) E. Wiedemann, *Wied. Ann.* **37.** p. 187—188. 1889.

2) E. Wiedemann, *Wied. Ann.* **6.** p. 298. 1879 und **10.** p. 202. 1880; B. Hasselberg, *Mém. de l'Acad. Imp. des Sciences de St. Petersburg.* **27.** Nr. 1. 1879.

3) Schuster, *Proc. of the Roy. Soc.* **47.** p. 526. 1890.

dem zuletzt angeführten Sinne sprechen aber folgende That-  
sachen, welche wir hier gefunden haben.

1. Die Strahlung steht in keiner Beziehung zu dem Ab-  
sorptionsvermögen des Gases bei gewöhnlicher Temperatur.  
Wenn auch das Absorptionsvermögen sich mit der Temperatur  
ändert, so sind doch nicht so grosse Veränderungen zu er-  
warten, wie die oben gefundenen Verhältnisse bei Kohlenoxyd  
und Stickstoff es nothwendigerweise verlangen.

2. Die Strahlung, welche z. B. bei Stickstoff bei ca. 2 mm  
Spannung reich an dunklen Strahlen ist, ändert mit abnehmen-  
der Spannung schnell ihre Beschaffenheit und besteht bei  
einem Drucke von 0,1 mm beinahe ausschliesslich aus Licht-  
strahlung. Diese schnelle und doch stetige Veränderung der  
Zusammensetzung der Strahlung kann wohl nur durch die  
Annahme anomaler Strahlungsverhältnisse erklärt werden.

Die Erklärung der gefundenen Thatsachen scheint mir  
übrigens nur durch die Annahme möglich, dass die Strahlung  
des Gases bei electricischer Entladung aus zwei Theilen besteht,  
der eine regulärer, der andere irregulärer Natur; mit abnehmender  
Spannung nimmt der erste ab, die irreguläre Strahlung nimmt  
dagegen um so mehr zu, je weniger die Bewegungen durch  
die Gasmasse gedämpft werden. Durch diese Annahme erklärt  
sich nicht nur die Veränderung in der Zusammensetzung der  
Strahlung bei vermindertem Drucke, sondern auch das bei  
Wasserstoff und wahrscheinlich auch bei Stickstoff vorkommende  
Minimum der Gesamtstrahlung (bei ca. 2 mm Druck).

Die beiden oben angeführten Theorien über die Natur  
der Entladung durch Gase dürften also zu derselben Annahme  
in Bezug auf die anomale Natur der Strahlung führen. Ver-  
suchen wir aber die näheren Umstände, die wir hier gefunden  
haben, nach den beiden Theorien klar zu stellen, so scheint  
es mir, dass, wenn wir auch nicht entschiedene Beweise für  
oder gegen die eine oder die andere Theorie vorbringen kön-  
nen, die Vorgänge doch am leichtesten durch die Annahme  
einer Electricitätsüberführung durch eine zu der Stromstärke  
proportionalen Anzahl von Molecülen erklärt werden können.

Bei constantem Drucke wird in jedem Molecüle ein be-  
stimmter Theil der Energie in Strahlung umgesetzt; wird die  
Stromstärke vermehrt, so nimmt die Zahl der activen Molecüle

und damit auch die Strahlung in einem zur Stromstärke proportionalen Verhältniss zu. Weil die Zahl der activen Moleküle relativ klein ist, können wir die Dämpfungsverhältnisse als constant betrachten und die Zusammensetzung der Strahlung bleibt demzufolge bei Vermehrung der Stromstärke beinahe unverändert. Vermehrt man dagegen den Druck des Gases, so ändern sich deutlich die Dämpfungsverhältnisse, die anomale Strahlung wird dann leichter in eine normale umgesetzt und die Strahlung wird reicher an ultrarothern Strahlen. Ein grösserer Theil der zugeführten Energie wird für die Erwärmung benutzt, und für eine und dieselbe Stromarbeit nimmt die Gesamtstrahlung mit zunehmendem Drucke ab.

Nehmen wir dagegen an, dass das Gas als eine homogene Masse an der Strahlung Theil nimmt, so scheint es wohl auch hier keine Schwierigkeiten darzubieten, die Proportionalität der Gesamtstrahlung und der Stromstärke bei constantem Drucke zu erklären. Wir werden aber, um die Unabhängigkeit der Zusammensetzung der Strahlung von der Stromstärke, bei constantem Drucke erklären zu können, zu der Annahme genöthigt, dass bei einer Vermehrung der Energie der Gesamtstrahlung, doch das Verhältniss zwischen den Intensitäten der verschiedenen Schwingungsperioden oder also den Intensitäten der verschiedenen Strahlungsgattungen immer dasselbe bleibt, eine Annahme, die jedoch nicht mit dem übereinstimmt, was wir übrigens von den qualitativen Veränderungen der Strahlung homogener Körper bei einer Zunahme der Intensität der Strahlung (durch eine Temperaturerhöhung) wissen.

Wie gesagt, lässt sich jedoch, so viel ich es übersehe, die Frage über die Natur der Entladung aus den gewonnenen Resultaten nicht definitiv entscheiden. Zu diesem Zwecke sind ohne Zweifel die Versuche zu gering an Zahl und zum Theil auch zu ungenau, wozu kommt, dass einige wichtige Fragen, z. B. über den Einfluss des Rohrdurchmessers, nicht in dieser Untersuchung berücksichtigt worden sind.

#### **IX. Zusammenstellung der wichtigsten Resultate.**

Um die Uebersicht der gewonnenen Resultate zu erleichtern, stelle ich die wichtigsten zusammen, dabei ausdrücklich bemerkend, dass dieselben natürlich nur eine definitive

Bedeutung unter den oben näher angegebenen Versuchsbedingungen haben.

1. Für ein bestimmtes Gas und eine bestimmte Spannung ist die Strahlung des positiven Lichtes proportional der Intensität des electricchen Stromes.

2. Bei einem und demselben Gase und für eine bestimmte Spannung ist die Zusammensetzung der Strahlung constant und unabhängig von der Stromstärke.

3. Wenn die Spannung des Gases vergrössert wird, nimmt die Gesamtstrahlung für dieselbe Stromstärke in der Regel zu, bei schwachem Drucke aber zuerst langsam, dann schneller; gleichzeitig ändert sich auch die Zusammensetzung der Strahlung insofern, als das Verhältniss zwischen der Intensität der Strahlung kürzerer Wellenlängen zur Intensität der Gesamtstrahlung abnimmt. Die Intensitätsvertheilung im Spectrum ändert sich also, indem mit abnehmender Spannung die Intensität der Strahlung kürzerer Wellenlängen verhältnissmässig zunimmt.

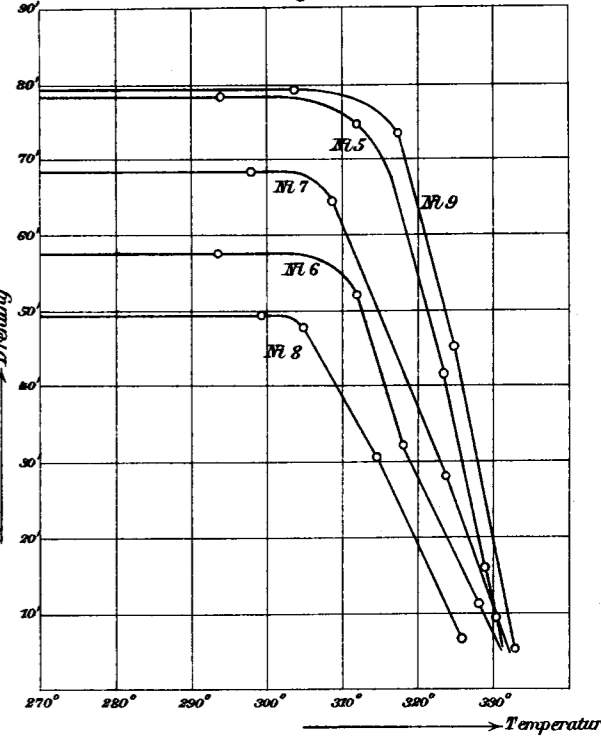
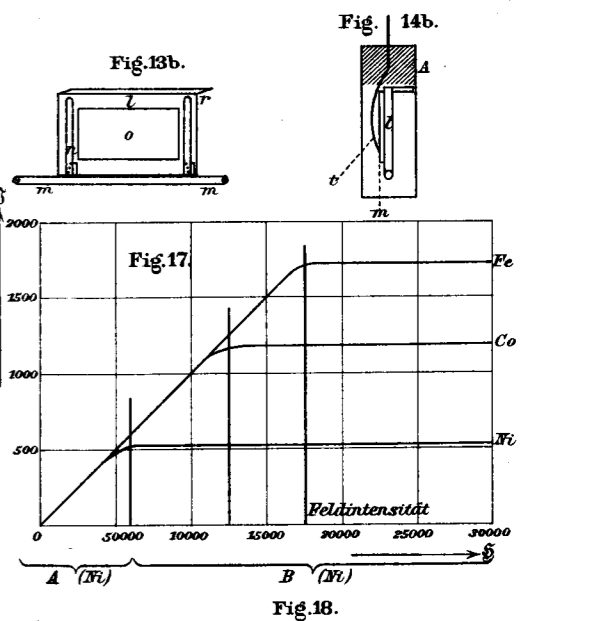
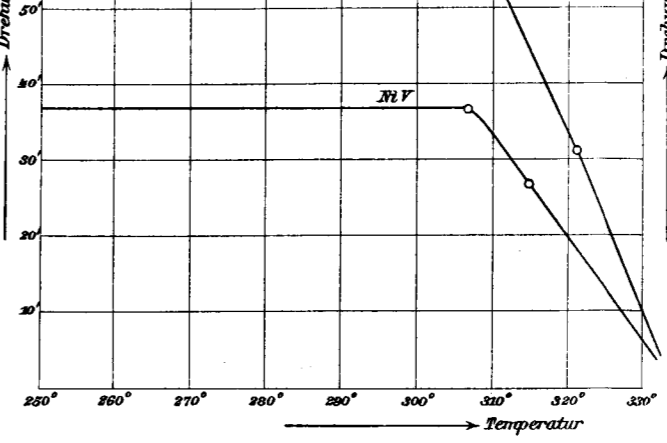
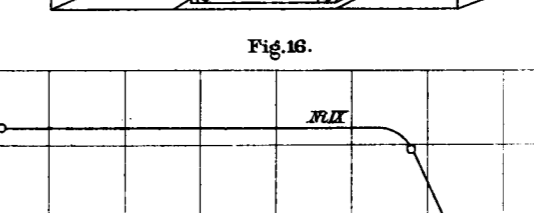
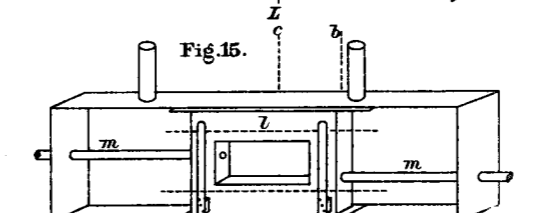
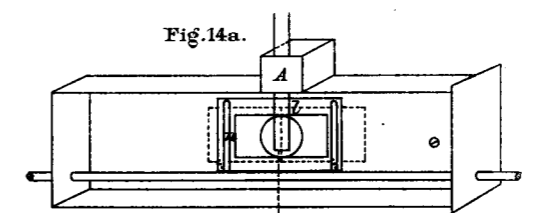
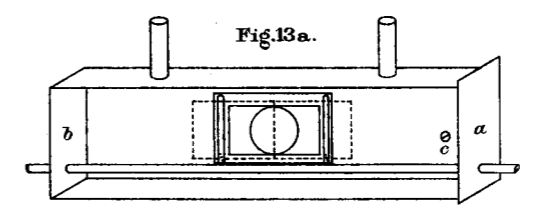
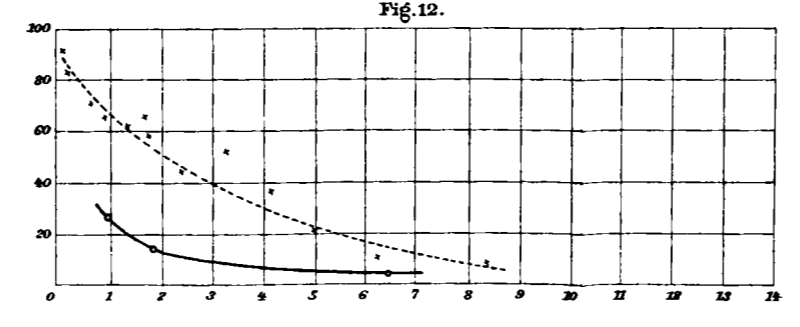
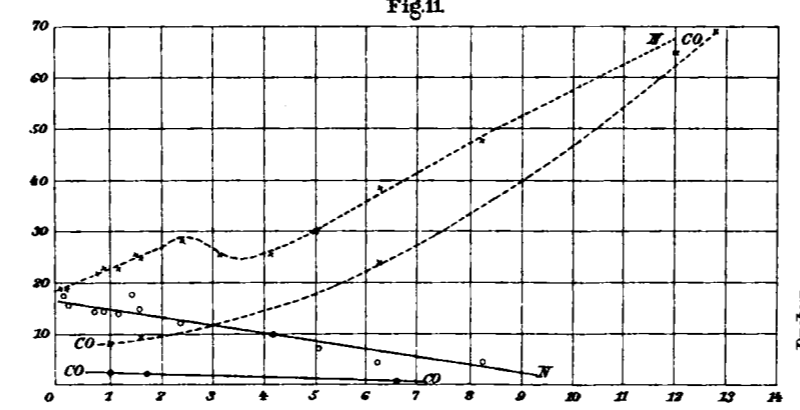
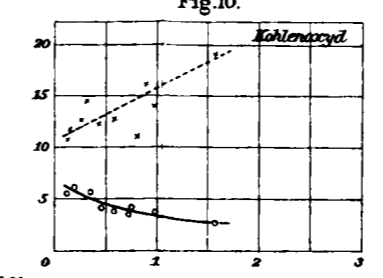
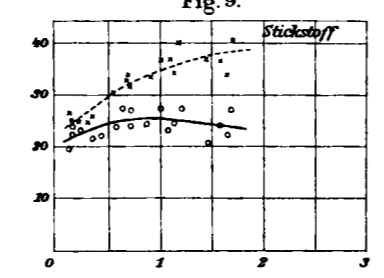
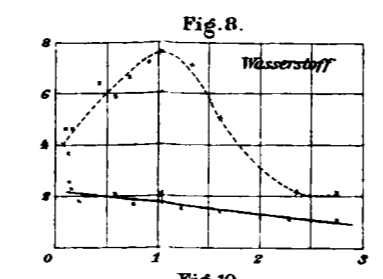
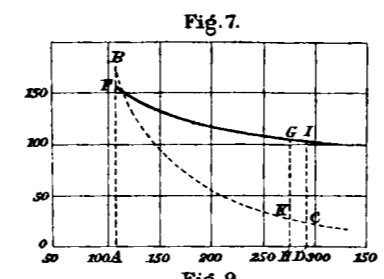
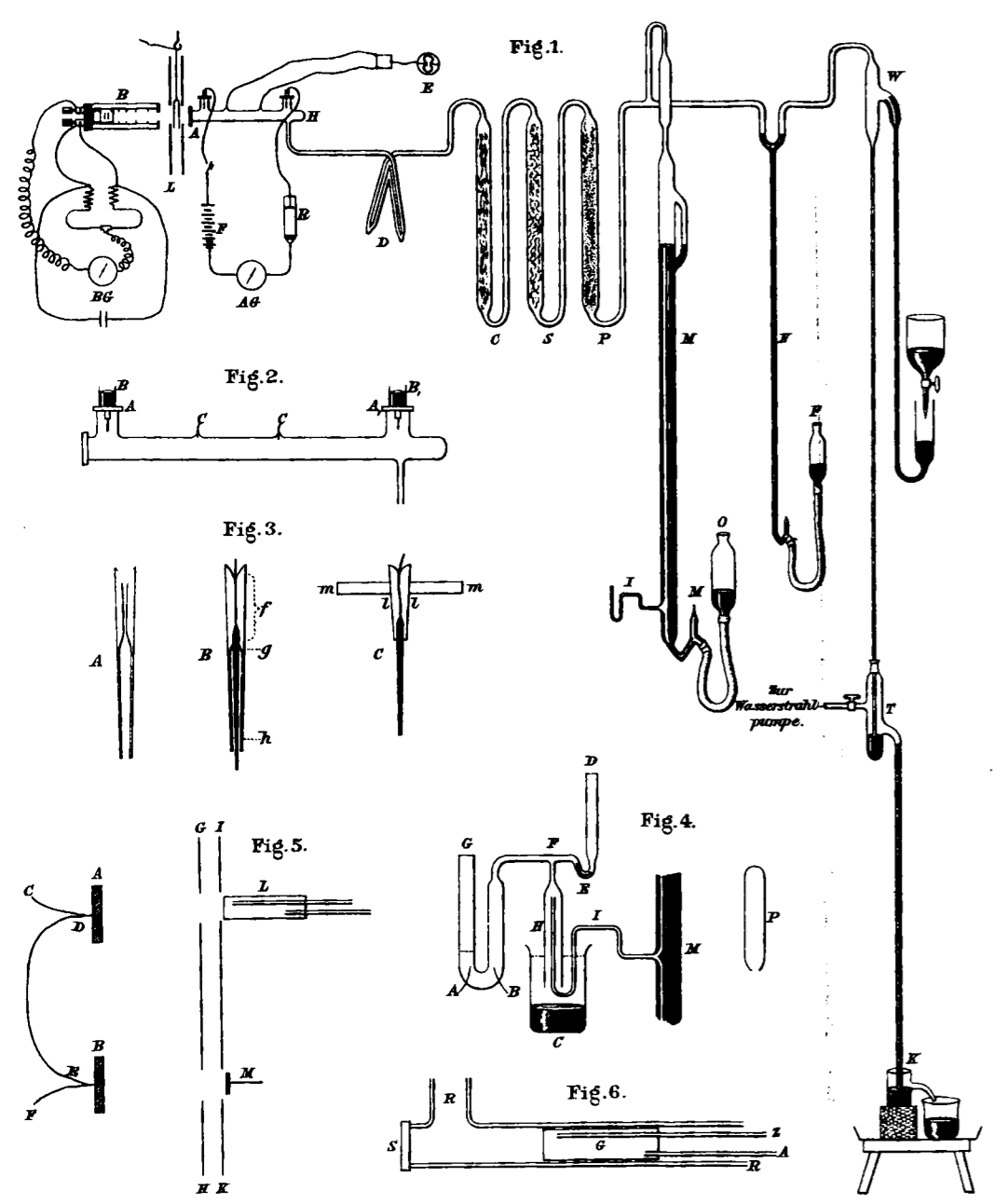
4. Das Verhältniss zwischen der Intensität der Gesamtstrahlung und der Stromarbeit nimmt mit abnehmender Spannung des Gases stetig zu.

5. Der optische Nutzeffect der Strahlung (hier durch das Verhältniss der Intensität der durch die Alaunplatte hindurchgegangenen Strahlen zu der Intensität der Gesamtstrahlung angegeben) ist bei niedriger Spannung für einige Gase sehr gross (ca. 0,90 Proc. für Stickstoff); der optische Nutzeffect der geleisteten Arbeit ist dagegen nicht besonders gross (ca. 8 Proc. für Stickstoff von 0,1 mm Druck).

6. Die Stärke der Gesamtstrahlung ist als eine secundäre Folge der Entladung zu betrachten und hängt von der molecularen Beschaffenheit des Gases ab.

7. Von welcher Ansicht über die Natur der Gasentladung man auch ausgeht, scheint diese Untersuchung die Annahmen von Hittorf, E. Wiedemann und anderen zu bestätigen in sofern, als die Strahlung keine reine Function der Temperatur der Gase ist, sondern als eine anomale („irreguläre“, „Luminescenz“) zu betrachten ist.

Upsala, Dec. 1892.



Ångström Fig.1-12. Hirsch Fig.13-18.