

PHYSIK UND CHEMIE.

NEUE FOLGE. BAND 51.

1. *Ueber Kathodenstrahlen in Gasen von atmosphärischem Druck und im äussersten Vacuum; von Philipp Lenard.*

(Hierzu Taf. IV Fig. 1–12.¹⁾)

1. Wird ein Geissler'sches Rohr genügend weit evacuirt, so treten fast alle Erscheinungen zurück, welche sich an die Anode schliessen und welche die Bahn der electricischen Entladung bezeichnen, und es kommen dafür die phosphorescenzerregenden Strahlen zu vollster Entwicklung, welche von der Kathode ausgehen, welche Hittorf entdeckte, Crookes als strahlende Materie studirte. Zwar erzeugt von der electricischen Entladung, sind diese Kathodenstrahlen in ihrer Ausbreitung doch vollkommen unabhängig von derselben. Indem sie sich so in der Vorstellung ganz absondern von der erzeugenden Entladung, erscheinen sie nach allem, was von ihnen bekannt ist, wie ein Gegenstück zum Lichte: nahe verwandt mit demselben in den geometrischen Verhältnissen der Ausbreitung und doch wieder gänzlich verschieden davon in wesentlichen Eigenschaften. Was sie bei ihrer Unzugänglichkeit an Unbekanntem enthalten, stellt sich so nach Umfang der ganzen Optik an die Seite.

Verschieden vom Licht in der Fähigkeit feste Körper zu durchdringen, enden die Kathodenstrahlen in unseren Entladungsröhren dort, wo sie auf die Glaswand treffen. Was aber würde geschehen, wenn die Wand für Kathodenstrahlen durchlässig gemacht wäre?

Diese Frage durch den Versuch zu beantworten, erschien nicht mehr unmöglich, als Hertz nachgewiesen hatte, dass die

1) Da sämtliche Figuren bei Herstellung der Tafel im Verhältniss von 1:0,74 verkleinert wurden, bedürfen die Angaben „nat. Gr.“, „112“ etc. entsprechender Reduction (Anm. bei d. Correctur).

gewöhnlichen Blattmetalle für Kathodenstrahlen stark durchlässig sind, selbst in drei- und vierfachen Lagen. Freilich sind die Blattmetalle zart und nie frei von Löchern, also unmittelbar nicht geeignet für unser Vorhaben; aber die Kathodenstrahlen dringen nicht durch die Löcher, sondern durch den Stoff der Blätter. ¹⁾

Dementsprechend zeigte sich bald, dass selbst 15fache Lagen von gewöhnlichem Blattaluminium noch kräftig durchstrahlt werden, besonders dann wenn man geeignete Kathodenstrahlen erzeugt. Unter einer Anzahl von stärkeren Aluminiumfolien verschiedener Dicke, welche ich mir daraufhin verschaffte, fand sich eine, eben stark genug dem einseitigen Atmosphärendruck auf kleiner Fläche zu widerstehen, löcherfrei, und doch nur achtmal so dick als gewöhnliches Aluminiumblatt. Diese Folie war geeignet, einen durchlässigen luftdichten Verschluss an einer Entladungsröhre zu bilden und den Kathodenstrahlen den Weg in die freie Atmosphäre zu eröffnen. Ob sie ihn betreten werden, war freilich nicht vorzusagen. Die hier zu beschreibenden Versuche werden keinen Zweifel lassen. Einmal erzeugt, pflanzen sich die Kathodenstrahlen auch in den luftgefüllten Raum hinein fort, und zwar auf Strecken von fast Decimeterlänge.

Die Beobachtung der Strahlen kann somit aus dem Entladungsröhre hinaus verlegt werden ins Freie; sie können in beliebigen Medien untersucht werden. Insbesondere aber sind Beobachtung und Erzeugung völlig voneinander unabhängig gemacht; die Bedingungen der ersteren können variiert werden, ohne zugleich an der letzteren zu ändern.

Von besonderem Interesse ist die Möglichkeit, die Strahlen in ein vollständiges Vacuum treten zu lassen, in welchem sie bekanntlich nicht erzeugt werden könnten; die Möglichkeit also,

1) Hertz, Wied. Ann. **45**. p. 28. 1892. Gleichzeitig haben auch E. Wiedemann und Ebert auf die Durchlässigkeit der Kathodenbeschläge in Entladungsröhren aufmerksam gemacht; Sitzber. d. phys.-med. Soc. zu Erlangen, 14. Dec. 1891.

Eine Entladungsröhre mit durchlässigem Verschluss herzustellen, hatte ich schon vor längerer Zeit versucht, freilich ohne Erfolg; eine millimeterdicke Quarzplatte war verwandt. Zur Benutzung der Blattmetalle wurde ich von Prof. Hertz selbst aufgefordert und ich bin ihm hiefür, sowie für manche sehr werthvolle Bemerkung zu grossem Danke verpflichtet.

mit ihnen denselben Fundamentalversuch auszuführen, der für den Schall, für das Licht entschieden hat, ob dieselben Vorgänge in der Materie sind oder Vorgänge im Aether. Wie man sehen wird, ist der luftleere Raum kein Hinderniss für die Ausbreitung der Strahlen. Sie durchziehen ihn mit grosser Intensität auf meterlangen Strecken; sie geben sich somit als Vorgänge im Aether zu erkennen. Bei dem Wenigen, was vom Aether bekannt ist, haben sie dadurch an Interesse gewiss nur gewonnen.

Der Apparat.

2. Nach successiver Abänderung fast aller Theile des Entladungsrohres erhielt dasselbe die Form, welche Fig. 1, EE , im Querschnitt zeigt.¹⁾ K ist die Kathode, eine kreisförmige Aluminiumscheibe von 12 mm Durchmesser; sie sitzt an einem langen Stiele, welcher ganz von dem sehr dickwandigen Glasrohre Kl umhüllt wird und welcher bei l eingeschmolzen ist. Das Glasrohr passt gut in den Hals hh_1 der Entladungsröhre und ist daselbst bei h_1 luftdicht festgekittet. Die Anode AA ist ein Stück Messingrohr, das knapp in das Entladungsrohr passt und den Stiel mit der Kathode 12 mm weit vorstehen lässt. Der Platindraht ppp hält die Anode in ihrer Lage fest und vermittelt die Zuleitung; er ist eingeschmolzen in das zur Pumpe führende Rohr R . Der Kathode gegenüber ist das Entladungsrohr durch eine starke Metallkapsel mm und Kittung luftdicht verschlossen. Diese Kapsel zeigt Fig. 2 in natürlicher Grösse. Sie ist in ihrer Mitte, bei F , durchbohrt. Ueber diese 1·7 mm weite Bohrung, deren äussere Ränder wohl abgerundet sind, ist das dünne Aluminiumblättchen Al ²⁾ ge-

1) Alle Theile des Entladungsrohres und das Gehäuse sind genau in richtigem Grössenverhältniss gezeichnet (vgl. den beigegebenen Maassstab), nur der Schirm SS erscheint etwas zu klein. Das Inductorium ist nur angedeutet.

2) 1 cm² dieses Blattes wiegt 0·000715 gr, es ist daher 0·00265 mm dick (7·7 mal so dick als gewöhnliches Blattaluminium), dabei leicht zu handhaben und mit der Scheere zu zerschneiden. Es ist das „einmal geschlagene Aluminium“ der Blattmetallfabriken (gewöhnliches Aluminiumblatt ist zweimal geschlagen) und somit als Zwischenproduct in jeder solchen vorrätbig. Indessen, nicht jede Fabrik schlägt genügend löcherfrei. Die einzige brauchbare Sorte (unter dreien), welche ich besitze, stammt aus unbekannter Bezugsquelle. Doppelt so dickes Blatt, welches mit fast gleichem Erfolge anwendbar ist, ist leichter einigermaassen brauchbar zu erhalten (z. B. bei J. Trump, Goldschlägerei, Nürnberg,

legt und durch ringsum aufgetragenen Kitt befestigt.¹⁾ Wir nennen diesen für Kathodenstrahlen durchlässigen, für Licht und Luft vollkommen undurchlässigen Verschluss das Fenster, und den Raum der sich in der Figur links davon befindet, den Beobachtungsraum. Das Fenster ist seiner Befestigungsweise nach in gut metallischem Contact mit der Kapsel, welche, wie die Anode, zur Erde geleitet ist. Um nicht das Fenster zugleich als Anode wirken zu lassen, was Corrosion zur Folge hätte, ist der innere metallene Vorschirm V angebracht, welcher nur eine ca. 3 mm weite Oeffnung für die Kathodenstrahlen frei lässt. Das Entladungsrohr wird von einem Blechgehäuse GG umgeben, an welches sich nach vorn der grosse Blechschirm SS anschliesst, der nur die Fensteröffnung frei lässt und gegen den Beobachtungsraum hin geschwärzt ist. Dieses Gehäuse und der Schirm, welche zur Erde geleitet sind, schützen den Beobachtungsraum vor dem Lichte und den electricischen Kräften der Entladung.

Die günstigste Verdünnung ist erreicht, wenn die Potentialdifferenz zwischen den Electroden einer Schlagweite von etwa 3 cm zwischen Kugeln in Luft entspricht. Um diese Schlagweite, und damit die Verdünnung, jederzeit controliren zu können, ist die verstellbare Funkenstrecke B (Fig. 1) im Nebenschluss zum Entladungsrohre eingeschaltet. Mit zunehmender Verdünnung nimmt die Funkenlänge rasch zu. Bei geringerer Verdünnung als der angegebenen werden Kathodenstrahlen erzeugt, welche weniger gut durch das Fenster dringen; bei höherer kommt das Entladungsrohr in Gefahr, beschädigt zu werden.²⁾ Das benutzte Inductorium lieferte

Steinbühlerstrasse). Löcher, welche Luft durchlassen, sind stets bei starker Beleuchtung in der Durchsicht mit der Lupe sichtbar, können also vermieden werden.

1) Als Kitt verwende ich für das Fenster Marineleim (1 Holztheer + 2 Pech + 1 Guttapercha), für die übrigen Kittungen Siegelack und darüber Marineleim. Siegelack allein bekommt mit der Zeit Sprünge, Marineleim allein würde durch den Luftdruck durch die Fugen gepresst werden.

2) Die Glasumhüllung des Kathodendrahtes wird durchschlagen, besonders leicht zwischen h und h_1 . Diese Gefahr ist bedeutend vermindert bei einer Röhre, welche Hr. Glastechniker Müller-Unkel in Braunschweig kürzlich verfertigt. Die Glashülle der Kathode ist hier in das

mit Quecksilberunterbrecher (etwa sechs Unterbrechungen in der Secunde) und vier Accumulatoren für sich bis 15 cm lange Funken zwischen Kugeln. Das Entladungsrohr blieb stets an der Pumpe, einer Geissler'schen Quecksilberluftpumpe, denn erhielt sich auch das Vacuum bei unbenutztem Apparate wochenlang unverändert, so stieg doch der Druck während der Benutzung stets merklich an, so dass von Zeit zu Zeit nachgepumpt werden musste. Es wurde übrigens die Vorsicht gebraucht, den Unterbrecher stets nur für die wenigen Secunden in Gang zu setzen, welche zu einer Beobachtung nöthig sind; so wurde das Fenster vor Erhitzung bewahrt. Wir beobachten nun das Folgende.

Kathodenstrahlen in der freien Atmosphäre.

3. Kathodenstrahlen bringen die Luft zu mattem Leuchten. Ein Schimmer bläulichen Lichtes umgiebt das Fenster; er ist am hellsten in der Nähe des Fensters selbst, nach aussen hin ohne deutliche Begrenzung; weiter als etwa 5 cm vom Fenster reicht er nicht. Das Licht scheint bei jeder Entladung büschelförmig in allen Richtungen aus dem Fenster zu schiessen; es ist nicht hell genug, um im Taschenspectroscop untersucht zu werden. Das Fenster selbst ist dabei dunkel, solange es neu ist. Nach einigem Gebrauche fängt es an ebenfalls schwach zu leuchten, ungleichmässig, nur an einzelnen Punkten der kleinen durchstrahlten Fläche; an einigen fahl bläulich, an anderen fahl grünlich oder gelblich. Einmal eingetreten, erscheint dies Leuchten regelmässig in derselben Weise immer wieder. Auf diese übrigens unwesentliche Erscheinung kommen wir zurück.

4. Phosphorescenzfähige Körper, in die Nähe des Fensters gehalten, leuchten an der ihm zugewandten Seite hell in dem ihnen eigenthümlichen Lichte. Neben dem glänzenden Aufleuchten der Erdalkaliphosphore, des Kalkspaths, des Uranglases verschwindet das Licht der Luft und des Fensters vollständig. Mit zunehmender Entfernung vom Fenster nimmt die Erscheinung an Intensität rasch ab, sie verschwindet in einem

Entladungsrohr eingeschmolzen, ausserdem sitzt das Fenster an einem eingeschmolzenen Platinröhrchen, so dass jede weitere Kittung vermieden ist. Das Rohr hat sich sehr gut bewährt.

Abstände von 6 oder 8 cm. Nur die Grösse der Entfernung bestimmt die Helligkeit des Leuchtens, ihre Richtung ist ohne Einfluss. So ist z. B. die Phosphorescenz eines Kalkspathstückchens gleich hell, ob es sich bei Φ (Fig. 2) oder bei Φ' befindet. Hält man einen ebenen phosphorescenzfähigen Schirm ¹⁾ senkrecht gegen die Fensterwand, so dass seine Kante am Fenster vorbeigeht, so stuft sich die am Fenster blendende Helligkeit nach allen Seiten hin gleichmässig ab; gleich helle Punkte liegen auf Halbkreisen, deren Mittelpunkt das Fenster ist. Diese allseitige Ausbreitung vom Fenster aus war zu erwarten, denn Kathodenstrahlen gehen diffus durch Aluminium. ²⁾

Die Farbe und relative Helligkeit des Leuchtens ist hier dieselbe, wie sie in evacuirten Röhren unter dem Einflusse der Kathodenstrahlen beobachtet wird. Gewöhnliches Glas, Uranglas, Flintglas, Kalkspath, Kreide leuchten in ihrer bekannten Weise; der Kalkspath leuchtet auch hell nach. Sehr hell, und lange nachleuchtend, strahlen die Erdalkaliphosphore ³⁾; nicht weniger hell, aber ohne bemerkbares Nachleuchten Pentadecylparatolyketon (grün) ³⁾, Asaron (violett). ³⁾ Eine Sammlung von Platincyanüren gab zum Theil glänzende Erscheinungen, Farbe und Helligkeit stimmte jedesmal mit der im ultravioletten Sonnenspectrum beobachteten überein ⁴⁾; Uranitrat gab hell sein charakteristisches Linienspectrum. ⁵⁾ Nicht-

1) Als solcher ist Seidenpapier getränkt mit Pentadecylparatolyketon besonders geeignet. Das Papier wird auf eine kalte Glasplatte gelegt und die geschmolzene Substanz mit einem Pinsel gleichmässig aufgetragen. Ein solcher Schirm ist durchscheinend, kann also von beiden Seiten gleich gut beobachtet werden und leuchtet viel heller als Uranglas, ohne Nachleuchten. Uter einem phosphorescenzfähigen Schirm schlechthin wird künftig stets so präparirtes Papier verstanden sein, unter einem phosphorescenzfähigen Körper ein Stückchen Schwefelstrontiumphosphor an Draht befestigt und im Dunklen aufbewahrt. Ueber das Keton siehe Krafft, Chem. Ber. **21**. p. 2265. 1888.

2) Hertz, Wied. Ann. **45**. p. 31. 1892.

3) welche ich in denselben Proben mit demselben Resultate in evacuirten Röhren beobachtet hatte.

4) und also auch mit der in evacuirten Röhren zu beobachtenden vgl. Hagenbach, Pogg. Ann., Jubelbd. und E. Goldstein, Wien. Ber. **80**. p. 151. 1879.

5) Wie von E. Becquerel im Phosphoroskop beobachtet und in La Lumière **1**. p. 336. 1867 abgebildet.

leuchtend, wie in evacuirten Röhren, bleibt die am Lichte stark phosphorescirende Eosingelatine. Dunkel bleiben auch alle Körper, die überhaupt nicht phosphorescenzfähig sind, wie Metalle, Glimmer, Gypskristalle, Schwefelkristalle. Quarz leuchtete in allen versuchten Proben blau, aber nur ganz dicht an das Fenster gehalten, und ebenso verhielt sich ein Stück Steinsalz. Offenbar werden hier auch die schwächsten Kathodoluminescenzen zum Vorschein gebracht; schwaches blaues Licht habe ich bei Quarz auch in evacuirten Röhren beobachtet.

Mit Bezug auf das Leuchten des Fensters war Aluminiumoxyd von Interesse. Solches Oxyd, welches sich an Aluminiumkathoden gebildet hatte¹⁾, leuchtete matt fahlgrünlich und bläulich gemischt, nur an einzelnen Punkten sehr hell, also wie das Fenster. Der Annahme, dass dessen Leuchten die Phosphorescenz einer minimalen, unter dem Einflusse der Kathodenstrahlen und des Ozons (6.) gebildeten Oxydschicht sei, widerspricht auch keine spätere Beobachtung (5, 12, 15, 17).

Flüssigkeiten, welche bisher den Kathodenstrahlen nicht zugänglich waren, wurden meist nur wenig oder garnicht erleuchtet. So Lösungen von Eosin, Fluoresceïn, Magdalaroth, schwefelsaurem Chinin, Chlorophyll, welche sämmtlich am Tageslicht schön fluorescirten. Diese Lösungen verhalten sich also ähnlich der Eosingelatine. Nur ein Tropfen Petroleum, an einem Holzstäbchen hängend, liess sein blaues Fluorescenzlicht erscheinen, und ähnlich verhielten sich andere fluoescirende Kohlenwasserstoffe. Auch in festem Zustande blieben die oben genannten Körper dunkel, mit alleiniger Ausnahme des schwefelsauren Chinins, welches sehr hell, blau, leuchtete.²⁾

1) Beim Oeffnen lange benutzter Entladungsröhren wuchsen weisse fadenförmige Wucherungen aus der Kathode, die bald abfielen und sich zu einem fast Kubikcentimeter grossen Häufchen sammelten. Schon Hittorf hat diese Erscheinung beobachtet und als Oxydation der aufgelockerten Aluminiumoberfläche gedeutet (Pogg. Ann. **136**. p. 23. 1869). Warburg fand, dass sie nur in Gegenwart von Quecksilberdämpfen eintritt (Wied. Ann. **31**. p. 577. 1887).

2) Mit demselben Resultate wurde schwefelsaures Chinin kürzlich beobachtet von Ebert und Wiedemann unter dem Einflusse von Kathodenstrahlen, welche durch electriche Schwingungen erzeugt waren. Wied. Ann. **50**. p. 253. 1893.

Röhren von Stanniol oder Glas, zwischen das Fenster und einen phosphoreszenzfähigen Körper so eingeschoben, dass die Verbindungslinie beider in die Rohraxe fällt, verstärken sie die Leuchten nicht, sie schwächen es eher.

5. Alle Phosphoreszenzerscheinungen im Beobachtungsraum hören auf, wenn ein an die Entladungsröhre gelegter Magnet die Kathodenstrahlen von der Innenfläche des Fensters abhält; auch das Fenster und die Luft bleiben dann dunkel.

6. Auf die Haut fallend bringen die Kathodenstrahlen keinerlei Empfindung hervor, ebensowenig wenn sie das Auge treffen. Die Nase verspürt starken Ozongeruch und der eigenthümliche Geschmack, welchen die Kathodenstrahlen auf der Zunge hervorrufen, dürfte ebenfalls nur dem Ozon zuzuschreiben sein.

7. Eine $\frac{1}{2}$ mm dicke, nicht zu kleine Quarzplatte, an irgend einer Stelle zwischen Fenster und phosphoreszenzfähigem Körper eingeschoben, bringt sein Leuchten zum Verlöschen; ein gewöhnliches echtes oder unechtes Gold-, Silber- oder Aluminiumblatt lässt es ohne merkbare Schwächung bestehen. Die Quarzplatte schneidet auch das Leuchten der Luft ab; von oben herabsehend, findet man die Luft wohl zwischen Fenster und Quarz, nicht aber hinter dem Quarz leuchtend. Die Metallblätter dagegen schneiden auch das Leuchten der Luft nicht ab, es ist sehr deutlich auch hinter denselben zu sehen; die Metallblätter selbst bleiben dunkel. Die Undurchlässigkeit der benutzten Quarzplatte und die Durchlässigkeit der Metallblätter sind charakteristisch für Kathodenstrahlen im Gegensatze zum Licht. Dass aber Quarz für Kathodenstrahlen undurchlässiger sei als die Metalle, dürfen wir bei so ungleichen Dicken nicht schliessen; Metallbleche von $\frac{1}{2}$ mm Dicke zeigen sich ebenso undurchlässig, wie die Quarzplatte. Einen festen Körper, der in dieser oder grösserer Dicke merkbar durchlässig gewesen wäre, habe ich überhaupt nicht gefunden. Dagegen erwiesen sich alle Substanzen als mehr oder minder durchlässig, die in dünnerer Schicht erhältlich waren. Seidenpapier, auf einen phosphoreszenzfähigen Schirm gelegt, wirft erst in doppelter Lage einen gut bemerkbaren Schatten, und es ist dabei gleichgiltig, ob das Papier weiss, undurchsichtig schwarz oder sonst irgendwie gefärbt ist.

Schreibpapier ist schon weniger durchlässig, und ein mit Zeichenpapier von 0·12 mm Dicke belegter Schirm muss ganz dicht an das Fenster gehalten werden, um deutlich zu leuchten. Ein Cartonblatt von 0·3 mm Dicke hielt alles Leuchten ab. Geblasene Glashäutchen zeigen merkbare Durchlässigkeit schon bei einer Dicke von 0·02 mm, sie kommen dann etwa dem obigen Zeichenpapiere gleich; bei 0·01 mm Dicke werfen sie nur mehr schwache Schatten, und Glasblättchen, die Newton'sche Farben zeigen, sind so durchlässig oder eher durchlässiger als doppeltes Blattaluminium, welches etwa die gleiche Dicke besitzt. Ein wesentlicher Unterschied zwischen Dielektriken und Metallen besteht also nicht. Auch dünn gespaltener Glimmer und Collodiumhäutchen, auf ebener Unterlage erzeugt und abgezogen, beide etwa 0·01 mm dick, sind sehr durchlässige Schirme. Um bei der Untersuchung des Glases Täuschung durch dessen eigenes helles Phosphoreszenzlicht auszuschliessen, wurde noch ein Aluminiumblatt zwischen Glashäutchen und phosphoreszenzfähigem Körper eingeschoben; oder es wurde, noch zweckmässiger, ein phosphoreszenzfähiger Schirm benutzt, der mit Aluminiumblatt überzogen und also ein für alle Male für Licht unempfindlich gemacht war. Ein solcher dem Fenster zugewandter Aluminiumüberzug schwächt das Leuchten des Schirmes nicht, er verstärkt es sogar durch Reflexion des Phosphoreszenzlichtes; die Wassertröpfchen dagegen, welche das Aluminiumblatt am Schirme festhalten, bilden sich als schwarze Flecken ab. In genügend dünnen Schichten ist aber auch eine wässrige Flüssigkeit durchlässig: Seifenhäutchen in einem Drahttring ausgespannt geben sichtbare Verdunkelung nur, wenn sie Farben höherer als der sechsten Ordnung zeigen, wenn sie also dicker sind, als 0·0012 mm. Am meisten überrascht die Durchlässigkeit immerhin bei Metallblechen. Vom Blattaluminium ausgehend zu immer dickeren Folien, gelangen wir bis zu einem sehr widerstandsfähigen gewalzten Aluminiumblech von 0·027 mm Dicke, welches eben noch bemerkbar durchlässig ist; Blech und phosphoreszenzfähiger Schirm müssen jetzt allerdings dicht ans Fenster gehalten werden. Ebenso, und also etwa gleich dem obigen Zeichenpapiere, verhielten sich dünnstes Eisenblech und gewöhnliches Stanniol, beide 0·02 mm dick. Sind zwei oder

mehrere durchlässige Schirme zwischen Fenster und phosphoreszenzfähigem Körper eingeschaltet — ein Glashäutchen, eine Aluminiumfolie und ein Goldblatt wurden versucht — so ist es für dessen Leuchten gleichgiltig, in welcher Reihenfolge und in welchen Stellungen sie sich befinden. Vorausgesetzt ist dabei, dass die Schirme genügend gross sind. War von einer auf Durchlässigkeit zu prüfenden Schicht nur ein kleines Stückchen vorhanden, so wurde dasselbe aus alsbald (8.) ersichtlichem Grunde entweder dicht an den phosphoreszenzfähigen Schirm oder dicht an das Fenster gehalten oder aber über die Oeffnung eines grösseren undurchlässigen Diaphragmas befestigt.

Vergleichung der vorstehenden Angaben lehrt, dass kein einziger der so verschiedenen untersuchten Körper den anderen gegenüber hervorragend durchlässig oder undurchlässig genannt werden könnte. Für Licht kann ein fester Körper in hundertmillimeterdicker Schicht undurchlässiger sein als ein anderer in Meterdicke; so ungeheure Unterschiede scheinen für Kathodenstrahlen nicht zu bestehen.

Die Durchlässigkeit von Glas und Collodium erscheint im Widerspruch mit der Beobachtung von Crookes¹⁾ und Goldstein²⁾, dass auch dünne Schichten dieser Körper schwarze Schatten auf die Wand einer Entladungsröhre werfen. Es kann indessen bemerkt werden, erstens, dass man in Entladungsröhren unter sehr ungünstigen Umständen beobachtet. Mitten in der Fülle von Licht ist es unmöglich zu sagen, ob der Schatten hinter einem durchsichtigen Körper vollkommen dunkel ist oder nicht, und dies ist wohl zum Teil auch der Grund, warum die Durchlässigkeit zuerst bei den undurchsichtigen Metallen aufgefunden wurde. Zweitens ist es nicht ausgeschlossen und sogar wahrscheinlich, dass die genannten Beobachter unter anderen Umständen andere Arten von Kathodenstrahlen erzeugten, welche weniger fähig sind die Materie zu durchdringen als die hier benutzten, welche nicht nur passend erzeugt, sondern auch durch das Fenster filtrirt sind.

Wurde das Aluminiumfenster durch ein Glasfenster ersetzt,

1) Crookes, Phil. Trans. p. 150. 1879 (I).

2) Goldstein, Monatsber. d. Berl. Akad. p. 87. 1880.

so konnten alle wesentlichen Versuche mit gleichem Erfolge wiederholt werden. Vortheilhafter aber bleibt das Aluminiumfenster; nicht dass es durchlässiger wäre, sondern weil Aluminium undurchsichtig und bei gleicher Dicke viel leichter zu behandeln ist als Glas.

8. Die Atmosphäre ist ein trübes Medium für Kathodenstrahlen; dieselben breiten sich in ihr nicht geradlinig aus, sondern diffus. — Befindet sich ein phosphoreszenzfähiger Schirm parallel der Fensterwand aufgestellt, sagen wir in 3 cm Abstand davon, und schieben wir eine undurchlässige Wand, etwa eine $\frac{1}{2}$ mm dicke Quarzplatte, mitten zwischen Fenster und Schirm langsam ein, so erscheint nur eine äusserst verwaschene Schattengrenze am Schirm. Befestigen wir nun die Quarzplatte in ihrer Lage und markiren auf dem Schirm die Linie, in welcher eine durch das Fenster und die Quarzkante gelegte Ebene ihn schneidet, so bemerken wir, dass die Helligkeit fast 1 cm weit in den so markirten geometrischen Schatten der Quarzplatte hineingreift. Bringen wir die Quarzplatte näher an den Schirm, so wird dies Uebergreifen geringer und zugleich der Schatten besser begrenzt; bei 3 mm Abstand ist er noch immer recht unscharf; völlig scharf wird er erst, wenn die Platte den Schirm berührt. Ebenso wirft ein 2 mm dicker Draht nur dann einen gleichgrossen, fast scharf begrenzten schwarzen Schatten, wenn er an dem Schirm anliegt; entfernen wir ihn davon, nach dem Fenster zu, so wird der Schatten sogleich erhellt und sehr verwaschen; er ist völlig verschwunden, wenn der Draht 3 mm vom Schirme absteht. Die Kathodenstrahlen greifen also stark um die Kanten undurchlässiger Körper herum. Täuschung durch die erleuchtete Luft ist dabei ausgeschlossen, denn überziehen wir den phosphoreszenzfähigen Schirm mit Aluminiumblatt, so ändert das nichts. Mit der Quarzplatte können wir uns übrigens auch davon überzeugen, dass die bisherige Vorstellung, alle Wirkung gehe nur von der kleinen durchstrahlten Fensterfläche aus, richtig ist. Denn schieben wir die Kante der Quarzplatte ganz dicht am Fenster vorbei, so beginnt die Verfinsterung des Schirmes beim ersten Contact mit dem Fensterrand und sie ist eben vollständig geworden beim zweiten Contact.

Dem Vorhergehenden entsprechend ist es auch nicht mög-

lich, durch Diaphragmen scharfe Strahlen selbst nur von Centimeterlänge abzusondern. Stellen wir eine Metallplatte mit scharfkantiger millimeterweiter Oeffnung etwa in 2 cm Abstand vom Fenster auf, so finden wir ein scharfes, helles, gleichgrosses Bild der Oeffnung nur ganz dicht hinter diesem Diaphragma; schon 3 mm davon ist das Bild etwa auf's Fünffache vergrössert und verwaschen; in 8 mm Entfernung auf's Zehnfache vergrössert, in 12 mm Entfernung sehr schlecht begrenzt und noch viel mehr vergrössert. Auf einen einzigen Blick lässt Fig. 3 diese Ausbreitung der Strahlen hinter einer 15 mm langen, 2 mm breiten Spalte ss übersehen, welche in das Cartonblatt CC geschnitten, in 12 mm Abstand vom Fenster F aufgestellt ist. Der Schirm Φ_1 ¹⁾ ist hier so an die Spalte gehalten, dass er das Fenster in seine Ebene aufnimmt. Die strauchartige Ausbreitung der Strahlen zeigt sich hier sehr deutlich (Helligkeit ist möglichst getreu in Schwärze wiedergegeben). Neigen wir den Schirm in die Lage Φ_2 , unter 45° zur Spaltebene, so erscheint Fig. 3a. Man bemerkt hier, besser als in der vorigen Stellung, dass ein Bruchtheil der Strahlen doch geradlinig verläuft, ganz wie bei Licht in Milchglas oder in verdünnter Milch, durch welche man neben zerstreutem Lichte auch scharfe Bilder sehen kann. In der ersten Stellung des Schirmes konnten die geradlinigen Strahlen nicht gut zur Wirkung kommen, da sie tangential zum Schirm verlaufen. Wird der Schirm seitlich an die Spalte gehalten, Φ_3 oder Φ_3' (Fig. 3), so ist die Erscheinung Fig. 3b (für die Lage Φ_3). Dieselbe bleibt auch dann bestehen, wenn Schirm und Spalte zusammen in der Ebene der letzteren soweit verschoben werden, dass geradlinige Strahlen den Schirm nicht mehr treffen können. Die strauchartige Ausbreitung, wie in Fig. 3 abgebildet, entspricht also der Wirklichkeit und ist nicht etwa durch das Vorhandensein des Schirmes Φ_1 bedingt oder gestört. Drehen wir schliesslich den Schirm aus der Lage Φ_3 um seine Kante ab in die Lage Φ_4 , so dass er an den Spaltschirm zu liegen kommt, so bleibt er vollkommen dunkel. Es biegen also keine Strahlen nach rückwärts um; wieder in Uebereinstimmung mit Fig. 3.

1) Wie stets Pentadecylparatolyketonpapier.

Fällt paralleles Licht durch eine kurze, verticale, millimeterbreite Spalte in einen planparallelen mit Milch gefüllten Trog, so dass das Lichtbündel in der obersten Schicht der Milch verläuft, und betrachtet man die Milch von oben, so sieht man das Lichtbündel von seiner schmalen Eintrittsstelle aus genau in derselben Weise strauchartig sich ausbreiten wie die Kathodenstrahlen in Fig. 3. Selbst die Andeutung geradliniger Strahlen ist vorhanden. Versenkt man die Spalte, statt sie vor den Trog zu stellen, in die Milch, so bleibt die Erscheinung die gleiche und die Analogie mit dem Kathodenstrahlenversuch wird vollständiger.

9. Kathodenstrahlen sind photographisch wirksam. ¹⁾ Lichtempfindliches Copirpapier, ans Fenster gehalten, schwärzt sich etwa ebenso rasch wie am gedämpften Sonnenschein eines nebeligen Tages; hinter einer Quarzplatte bleibt es unverändert. Trockenplatten mit Entwicklung sind auch in grösserem Abstand vom Fenster nach wenigen Secunden vollkommen geschwärzt. Man kann daher den phosphoreszenzfähigen Schirm durch die photographische Platte ersetzen. Fig. 4 ist die Copie einer so erhaltenen Aufnahme. Die empfindliche Schicht war dabei, wie Fig. 4a zeigt, zur Hälfte mit einer $\frac{1}{2}$ mm dicken Quarzplatte *QQ* bedeckt und quer darüber noch das doppelte Aluminiumblatt *Al* gelegt. Hätte nun Licht gewirkt, so müsste der Anblick der Copie etwa durch Fig. 4a gegeben sein; sehr verschieden davon ist Fig. 4. Nicht das Aluminiumblatt, sondern die Quarzplatte hat den schwarzen Schatten geworfen. Dieser Schatten ist im IV. Quadranten (vgl. Fig. 4a I, II etc.) etwas aufgehellt; dies ist die Wirkung des Lichtes der Luft, sie fehlt gänzlich im III. Quadranten, welcher ausser mit Quarz auch mit Aluminium bedeckt ist. Ausserordentlich viel stärker als das Luftlicht wirken die Kathodenstrahlen, wie dies die obere Hälfte der Fig. 4 zeigt. Ein Schatten des doppelten Aluminiumblattes ist nur in zarter Andeutung vorhanden, Quadrant II. Fig. 4 ist übrigens nur ein getreues Abbild dessen, was ein phosphoreszenzfähiger Schirm

¹⁾ Schon E. Goldstein beobachtete photochemische Wirkungen der Kathodenstrahlen in Entladungsröhren. Monatsber. d. Berl. Akad. p. 84. 1880.

direct zeigt. Die photographische Schicht kann indessen bei langer Exposition auch sonst unbemerkbare Wirkungen zum Vorschein bringen. So zeigte sich z. B. ziemlich kräftige Schwärzung hinter dem oben (7.) als undurchlässig bezeichneten Cartonblatt von 0.3 mm Dicke. Das Cartonblatt bedeckte die empfindliche Schicht und zwischen beiden waren Streifen verschiedener Metallblätter eingelegt. Diese Streifen bildeten sich ganz nach Maassgabe ihrer Durchlässigkeit heller (im Negativ) auf dunklerem Grunde ab und ganz hell blieb die Schicht nur dort, wo ein dicker Metallrahmen über das ganze gelegt war. Es waren also wirklich Kathodenstrahlen durch das dicke Cartonblatt gegangen. Die Exposition betrug dabei nur 2 min.

Wursterpapier wurde im Beobachtungsraum gebläut; mit Quarz bedeckt blieb es unverändert; es ist unentschieden ob dies directe chemische Wirkung der Kathodenstrahlen ist, oder Wirkung des durch sie erzeugten Ozons (6). Andere chemische Wirkungen habe ich nicht beobachtet. Elektrolytisches (H_2O —) Knallgas, gegen das Fenster strömend oder in einer sehr dünnen Seifenblase durchstrahlt, explodirte nicht. Schwefelkohlenstoff entzündete sich nicht. Selbst das so leicht zersetzbare Schwefelwasserstoffgas blieb bei längerer Durchstrahlung in einem an die Fensterwand gekitteten Glasrohre unverändert; ein Schwefelbeschlag war nicht zu entdecken. Ein Gemisch von 3 Vol. Wasserstoff und 1 Vol. Stickstoff, in einem ähnlichen Rohre durchstrahlt, welches etwas Wasser enthielt und in eine Capillare mit Alkoholindex mündete, gab keine Volumenverminderung, also keine Ammoniakbildung zu erkennen. Es zeigte sich dagegen hier, und ebenso bei Durchstrahlung von Luft, Kohlensäure und Wasserstoff, eine kleine Volumenzunahme, welche nach der Durchstrahlung wieder verschwand¹⁾ und welche wahrscheinlich nur Erwärmung der Gase durch die absorbirten Kathodenstrahlen zuzuschreiben ist. Der Grösse dieser Volumenausdehnung nach wäre die Erwärmung nur sehr gering.²⁾ Ein

1) Das Verschwinden war oft unregelmässig, der Apparat war nicht gegen äussere Temperaturschwankungen geschützt.

2) Das centriscn an die Fensterwand gekittete Rohr war innen 6 cm lang und 4,5 cm weit, es wurde also der Haupttheil der Kathodenstrahlen in der eingeschlossenen Luft und nur wenig an den Wänden absorbirt. Das Rohr fasste $95,4 \text{ cm}^3$ Gas, die Volumzunahme ging bei dauernder Bestrahlung bis zu 25 mm^3 , was nur $0,08^\circ \text{ C}$. Erwärmung entspräche.

feines Thermometer und auch eine Thermosäule, am Fenster bestrahlt, gaben dementsprechend keine deutlichen Wärmeanzeigen. Die Wirkung einer Kerzenflamme in 50 cm Abstand war mit der benutzten Thermosäule gut zu bemerken. Der Energieinhalt unserer Kathodenstrahlen könnte demnach sehr gering erscheinen, wenn nicht zu bedenken wäre, auf welche äusserst kurzen Zeitintervalle die Strahlung beschränkt ist.

10. Kathodenstrahlen dringen in das Innere metallisch abgeschlossener Räume; sie sind vollkommen trennbar von den erzeugenden electricischen Kräften. — Wir haben bisher die Kathodenstrahlen durch die leitende, mit der Erde verbundene Fensterwand in den Beobachtungsraum treten lassen; derselbe war geschützt vor den electricischen Kräften der erzeugenden Entladung (2), aber, wie sich zeigt, nicht vollkommen. Man kann mit jedem Leiter im Beobachtungsraum kleine Fünkchen aus dem Schirme (*S*, Fig. 1) ziehen, und ebenso auch aus einer durchstrahlten Aluminiumfolie. Diese Fünkchen sind indessen unverändert auch dann vorhanden, wenn ein an das Entladungsrohr gelegter Magnet (5) die Kathodenstrahlen vom Beobachtungsraume abhält. Dies zeigt an, dass die electricischen Kräfte, welche die Fünkchen hervorbringen, in keinem näheren Zusammenhange stehen mit den Kathodenstrahlen. Es ist zu erwarten, dass die Funken ganz wegfallen, die Kathodenstrahlen nichtsdestoweniger bleiben würden, wenn der gesammte Entladungsapparat in eine leitende, an die Fensterwand schliessenden Hülle eingeschlossen wäre. Leichter in der Ausführung ist es, umgekehrt, den gesammten Erzeugungapparat auszuschliessen aus einer vollkommen geschlossenen leitenden Hülle. Das dicht gelöthete Blechkästchen *CC*, Fig. 5, ist als solche Hülle am Fenster aufgestellt. Seine abschraubbare Vorderwand *VV* ist ein Metallrahmen, dessen 4×4 cm² grosse Oeffnung mit aufgelötheter Aluminiumfolie von 0,0045 cm Dicke (doppelte Fensterdicke) bespannt ist. In dieses Kästchen nun dringen die Kathodenstrahlen ganz ebenso gut ein, als wäre nur seine Vorderwand allein vorhanden. Hiervon überzeugt man sich am besten durch Einschliessen einer photographischen Platte in dasselbe. Das Negativ der oben besprochenen Fig. 4 ist thatsächlich in

diesem Kästchen erhalten worden¹⁾ und unterscheidet sich nicht von anderen, im freien Beobachtungsraume aufgenommenen. Fig. 4 zeigt insbesondere, dass auch das Leuchten der Luft im Kästchen vorhanden ist, dass es also nicht den electricischen Kräften, sondern den Kathodenstrahlen angehört. Ersetzen wir nun einen Theil der Seitenwand des Kästchens durch aufgelöthetes, engmaschiges Drahtnetz, so kann dieses Leuchten sowie die Phosphoresenz eingelegeter Körper direct beobachtet werden; es gelingt dagegen nicht, mit einem spitzen Draht *D* (Fig. 5) auch noch so kleine Fünkchen im Innern des Kästchens aus der Vorderwand zu ziehen; sei es dass der Draht mit der Rückwand verbunden, sei es dass er von ihr isolirt ist. Nur wenn im letzteren Falle der Draht einige Centimeter weit nach aussen verlängert ist, dann gibt er Fünkchen gegen die Vorderwand; in diesem Falle leiten wir aber auch die electricischen Kräfte durch die Isolation des Drahtes von hinten ins Kästchen hinein.

Es ist also möglich, die Kathodenstrahlen von electricischen Kräften (im engeren Sinne) vollständig zu trennen. Damit ist auch die Annahme ausgeschlossen, dass das Fenster oder andere Schichten, welche wir als durchstrahlt bezeichnet haben, als Kathoden im gewöhnlichen Sinne wirkten. Auch sendet die Rückseite einer solchen Schicht nur an denjenigen Stellen Strahlen aus, welche vorne bestrahlten entsprechen, wie die durch Aluminiumblatt sich fortsetzenden Schatten von Drähten und der Quarzplatte (8) zeigten. Kathodenstrahlen von der beobachteten Länge in freier Luft, und Kathodenstrahlen überhaupt im vollständigen Vacuum (s. w. u.), von der Rückseite einer Platte ausgehen zu lassen, und zwar in allen Richtungen, dies gelingt überhaupt in keiner anderen bekannten Weise, als indem man Kathodenstrahlen auf die Vorderseite der Platte fallen lässt.

11. Electricische Körper verlieren ihre Ladung im Beobachtungsraume. — Eine isolirte, in der Nähe des Fensters aufgestellte Metallplatte — etwa eine Aluminiumscheibe von 17 mm Durchmesser — nimmt bei Bestrahlung keine Ladung

1) Die Exposition konnte ohne Verdunkelung des Zimmers vorgenommen werden, das Kästchen schliesst lichtdicht, es ist nur für Kathodenstrahlen durchlässig.

an, die am empfindlichen Exner'schen Electroskop bemerkt werden könnte. War dagegen der Platte anfänglich eine positive oder negative Ladung erteilt, so fallen die Blätter des Electrosopes bei Bestrahlung sofort zusammen. An all dem wird nichts geändert, wenn Platte und Electroskop von einem leitend an die Fensterwand schliessenden Käfig aus sehr engmaschigem Drahtgewebe umgeben werden. Die öfters benutzte $\frac{1}{2}$ mm dicke Quarzplatte, an das Fenster gelegt, hält die Wirkung ab und zwar erst dann, wenn sie das Fenster eben vollkommen bedeckt. Eine Aluminiumfolie lässt die Wirkung hindurch. Abhalten der Kathodenstrahlen durch einen genügend starken, an die Entladungsröhre gelegten Magneten verhindert die Wirkung. Entfernen wir die Aluminiumscheibe auf 8 cm vom Fenster, also bis an die Grenze der wahrnehmbaren Phosphoreszenzen, so ist die Wirkung kaum bedeutend schwächer; sie zeigt sich selbst noch in 30 cm Entfernung vom Fenster sehr deutlich. Einschieben der Hand mitten zwischen Fenster und Platte hält sie ab. Die plötzliche Entladung der Platte in der Nähe des Fensters wird erst durch Hinzufügen einer mittelgrossen Leydnerflasche etwas verlangsamt. Auch in verdünnter Luft habe ich die entladende Wirkung beobachtet. Es ist nicht entschieden, ob hier eine Wirkung der Kathodenstrahlen auf die durchstrahlte Fensterfläche, oder auf die Luft, oder endlich auf die bestrahlte Platte beobachtet wurde. Das Letztere wird man freilich bei den grossen Entfernungen für wenig wahrscheinlich halten.

Kathodenstrahlen im Vacuum.

12. Ist ein Entladungsrohr aufs äusserste evacuirt, so geht die electriche Entladung nicht mehr hindurch: Es ist unmöglich Kathodenstrahlen im vollständigen Vacuum zu erzeugen. Ebensowenig ist es daher möglich, in einem gewöhnlichen Entladungsrohre die weitere Frage zu entscheiden, ob auch zur Fortpflanzung der Strahlen das Vorhandensein von Materie nöthig ist, oder ob nicht. Verlegen wir aber das vollständige Vacuum aus dem Entladungsrohr in den Beobachtungsraum, so wird der entsprechende Versuch ausführbar.

Dass bei mittleren Verdünnungsgraden im Beobachtungsraum Strahlen sich absondern lassen, die um so scharfer und

um so länger werden je geringer der Druck wird, und auf welche der Magnet wirkt, dies hatten zunächst Versuche gezeigt, welche in vollkommenerer Ausführung weiter unten (18) beschrieben werden sollen.

Für die höchsten Verdünnungen wurde daraufhin dem Apparate folgende Gestalt gegeben (Fig. 9, $\frac{1}{4}$ nat. Gr.). An die Fensterwand *mm* des nur theilweise sichtbaren Entladungsrohres *EE* ist jetzt die Metallhülse *hh* gelöthet in welche das Glasrohr *BB* gekittet ist, bestimmt den Beobachtungsraum zu umschliessen. Das verjüngte eingekittete Ende dieses Rohres ist bis auf eine 1,7 mm weite Öffnung verengt und über diese das Fenster gekittet (wie bisher Aluminiumfolie von 0,0027 mm Dicke). Die Öffnung in *mm*, welche sonst das Fenster trug, ist jetzt frei und lässt die Strahlen auf das Fenster fallen, während sie von dessen Kittung abgeblendet sind. Die Anordnung hat den Vortheil, dass das vollständig zu evacuierende Rohr *BB* durch keine andere Kittung abgeschlossen ist, als die unvermeidliche des Fensters. In dieses Beobachtungsrohr *BB* sind die Electroden *a* und *k* eingeschmolzen; *a* eine den Querschnitt des Rohres fast ausfüllende Aluminiumscheibe mit 2,5 mm weiter centraler Oeffnung, zugleich als strahlenabsonderndes Diaphragma zu benutzen, *k* eine kleinere Aluminiumplatte. Das Rohr ist mit derselben Geisslerschen Hahnluftpumpe verbunden, welche auch das Entladungsrohr evacuirt, doch können beide Räume durch Hähne für sich abgeschlossen werden. Das Beobachtungsrohr hält die höchsten Verdünnungen stundenlang unverändert, auch wenn das Entladungsrohr noch mit Luft erfüllt ist: das Fenster schliesst also vollkommen dicht. Gehäuse und Schirm umgeben das Entladungsrohr wie stets.

Ist zunächst die Verdünnung im Beobachtungsraume gleich der im Entladungsrohre stets innegehaltenen und also etwa gleich der in Crookes' Versuchen benutzten, so zeigt sich Folgendes. Zwischen dem Fenster und der Electrode *a* mit dem Loch (welche jetzt nur als Diaphragma wirkt) leuchtet die ganze Glaswand sehr hell grün, während im Innern des Rohres keinerlei Licht zu sehen ist. Das grüne Phosphoreszenzlicht des Glases erstreckt sich auch noch etwas über die Elektrode hinaus und auch ein wenig in das zur Pumpe

führende Rohr hinein, wie in der Figur durch Schraffirung angedeutet und wie es geradliniger Ausbreitung von Kathodenstrahlen in allen Richtungen vom Fenster aus entspricht. Das Fenster selbst leuchtet in seiner gewöhnlichen Weise (3)¹⁾. Hinter der Electrode a , bis ans Ende des Rohres, ist das Glas dunkel bis auf einen etwa 9 mm grossen, ziemlich scharfen Fleck Φ am äussersten Ende. Zwischen den beiden Electroden a und k leuchtet die Luft matt bläulich²⁾. Nähern wir dem Beobachtungsrohre einen Magneten, so ändert sich die Vertheilung der Glasphosphorescenz, insbesondere wandert der grüne Fleck Φ . Befindet sich der Südpol eines Hufeisenmagneten vor dem Rohre, der Nordpol hinter demselben, so ist der Fleck nach unten verschoben, bei umgekehrter Stellung der Pole nach oben. Fällt er dabei auf die Electrode k , so wird er unsichtbar. Am grössten ist die Verschiebung des Fleckes, wenn der Magnet zwischen dem Diaphragma a und dem Fenster an das Rohr gehalten wird. Der Fleck wandert dann bis ziemlich nahe an a heran, und gleichzeitig concentrirt sich die Glasphosphorescenz vor dem Diaphragma mehr nach derselben Seite hin, auf welcher sich der Fleck befindet.

Nach Hinwegschaffung des grösseren Theiles der trüben Luft sind demnach die Strahlen nahezu geradlinig geworden und haben sich auf viel grössere Strecken — 30 cm — fast ohne Schwächung der Intensität fortgepflanzt. Ihr Verhalten, auch gegen den Magneten, war ganz dasjenige, welches bei gleicher Verdünnung die Kathodenstrahlen in gewöhnlichen Entladungsrohren charakterisirt.

Das Hauptinteresse des Versuches liegt nun darin, ob bei weiterem Evacuiren des Beobachtungsraumes eine Umkehr eintreten wird, wie sie eintreten würde wenn das Entladungsrohr weiter evacuirt würde, ob nämlich die Glasphosphorescenz an Intensität wieder abnehmen und schliesslich verschwinden wird, oder ob nicht. Schliessen wir daher jetzt das Entladungsrohr von der Pumpe ab und evacuiren den Beobachtungs-

1) Dass es hier, so wie auch stets in allen folgenden Versuchen leuchtet, ist in Uebereinstimmung mit der früher (4) gegebenen Erklärung seines Leuchtens.

2) Von diesem Leuchten wird später (17) gezeigt, dass es in keinem directen Zusammenhange mit den Kathodenstrahlen steht.

raum allein weiter. Gleichzeitig verbinden wir das Inductorium jetzt mit den Electroden *a* und *k* des Beobachtungsraumes, um zu sehen, ob hier wirklich die Verdünnung erreicht wird, bei welcher jene Umkehr eintritt. Erst nach vielen Stunden ist die mit Einsetzen der Entladungen beginnende Gasabgabe soweit beendet, dass das helle Anschlagen des Quecksilbers an den Hahn der Pumpe äusserste Verdünnung anzeigt. Gleichzeitig beginnt die Entladung zwischen *a* und *k* auszusetzen, die Glasphosphorescenz unter der Kathode *k* blitzt nur ab und zu und nur stellenweise auf und bald darauf findet der Ausgleich nur mehr aussen statt, in Funken die sich längs der Glaswand zwischen *a* und *k* verzweigen. Der Beobachtungsraum ist jetzt soweit evacuirt, dass jene Umkehr eingetreten ist, dass es unmöglich ist, in ihm Kathodenstrahlen zu erzeugen. Verbinden wir nun das Inductorium wieder in der gewohnten Weise mit dem Entladungsrohre, so sind trotzdem die Erscheinungen im Beobachtungsraume unverändert die früheren. Nur das blaue Leuchten der Luft zwischen den Electroden fehlt jetzt, das Innere des Beobachtungsraumes erscheint ganz dunkel; der Phosphorescenzfleck am Ende des Rohres kann deshalb um so leichter beobachtet werden. Er ist vielleicht etwas schärfer begrenzt als früher, gewiss aber nicht weniger hell. Auch zwischen Diaphragma und Fenster leuchtet das Glas auch jetzt sehr hell. Die Ablenkung durch den Magneten ist der Richtung und der geschätzten Grösse nach ebenfalls unverändert.

Ist es also auch nicht möglich, Kathodenstrahlen in diesem Vacuum zu erzeugen, so ist dasselbe doch für ihre Ausbreitung kein Hinderniss. Sie haben auch keine merkbaren Gasmengen mit sich in den Beobachtungsraum gebracht; das Vacuum in demselben erweist sich nach dem Versuche als vollkommen unverändert, indem sowohl die Entladung zwischen *a* und *k* wieder versagt, als auch der Klang des Quecksilbers in der Pumpe der frühere ist.

13. Noch vollkommener und mit gleichem Erfolge kam derselbe Versuch in folgender Weise zur Ausführung. Zunächst liess die Helligkeit der eben beobachteten Glasphosphorescenz Strahlen von Meterlänge erwarten. Das Glasrohr, welches den Beobachtungsraum umschliesst, wurde deshalb jetzt 1,5 m

lang genommen, bei 2,5 cm Weite (Fig. 10). Es ist mit Fenster versehen und mit dem Entladungsrohre verbunden, genau wie vorhin; nur hat das Fenster jetzt nahezu doppelte Dicke (0,0045 mm, statt 0,0027 mm wie gewöhnlich), es schliesst wieder vollkommen luftdicht. Ferner ist das Beobachtungsrohr mit Ausschluss irgend welcher Schiffe oder Hähne an eine Töppler-Hagen'sche Pumpe geblasen; das verbindende Rohr ist 1 cm weit. Die Geissler'sche Pumpe bedient jetzt das Entladungsrohr allein. Um störende Reflexion der Kathodenstrahlen an dem etwas langen, verengten Theile des Beobachtungsrohres (nächst dem Fenster) auszuschliessen, sind zwei Diaphragmen aus Zinkblech, d_1 und d_2 , mit 3 mm weiten centralen Oeffnungen in 6 bez. 12 cm Entfernung vom Fenster dauernd im Beobachtungsrohre befestigt. Es kommt so bloss ein schmales Strahlenbündel zu Stande, welches in der Axe des Rohres verläuft und dessen Wände erst in der Nähe des Endes trifft. Aus diesem Bündel sondert das bewegliche Zinkblech-Diaphragma D , mit 2,1 mm weiter Oeffnung, noch schmälere Strahlen ab, welche auf dem ebenfalls verschiebbaren phosphoreszenzfähigen Schirme S als helle kreisförmige Flecke zur Beobachtung gelangen. Das bewegliche Diaphragma D zeigt Fig. 10a in nat. Gr. (perspectivisch); sein Fuss ee ist ein gebogenes Stück Eisenblech, es kann daher durch einen Magneten von aussen her beliebig im Rohre verschoben werden und ebenso ist der phosphoreszenzfähige Schirm¹⁾ eingerichtet.

Nachdem der Beobachtungsraum ausgepumpt und die Glaswände durch wiederholtes Erhitzen vom grösseren Theile der verdichteten Gase befreit worden waren — was mehrere Tage in Anspruch nahm — zeigten sich in der Pumpe, trotz viertelstundenlangem Wartens von einem Pumpenzug zum nächsten, nur mehr Gasbläschen, die zu klein waren um den Querschnitt des Capillarrohres auszufüllen, in welches sie aus

1) Pentadecylparatolyktonpapier (4). Diese organische Substanz konnte ohne Bedenken angewendet werden, da besondere Versuche zeigten — und der nun zu beschreibende wird es bestätigen — dass die von der electrischen Entladung abgesonderten Kathodenstrahlen die sonst gewohnten, mit Gasentwicklung verbundenen Zersetzungen nicht veranlassen.

dem Pumpengefässe gelangen. Eine Zeit lang gelang es noch diese kleinen Bläschen durch Kunstgriffe bis in die Erweiterung des Capillarrohres¹⁾ zu befördern, alsdann hatte die Wirksamkeit der Pumpe ihre Grenze erreicht.

Auch diese Verdünnung nun, welche sicherlich noch höher war als die im vorigen Versuche erreichte, war der Ausbreitung der Kathodenstrahlen kein Hinderniss. Sie waren hier in besonderer Reinheit, Intensität und Schärfe zu beobachten. Während die Wände des Beobachtungsrohres von d_1 ab, und das Innere desselben, vollkommen dunkel blieben, waren die Phosphoreszenzflecke am Schirme sehr hell und bei allen Stellungen des Diaphragmas (D) und Schirmes (S) von derjenigen Grösse und Schärfe, die man hätte erwarten müssen, wenn Licht wirksam gewesen wäre, ausgestrahlt von einer dem Fenster an Grösse gleichen Fläche. Nur die starke Verschiebbarkeit der Flecke durch den Magneten zeigte an, dass Letzteres in Wirklichkeit nicht der Fall war. Als Beispiel seien hier die Durchmesser der Phosphoreszenzflecke zusammengestellt, wie sie im Mittel gemessen wurden, als das Diaphragma 50 cm weit vom Fenster abstand (wie in Fig. 10 gezeichnet):

Tabelle I.

Entfernung des Schirmes vom Fenster	Durchmesser des Phosphorfleckes	Berechneter Durchmesser
cm	mm	mm
60	2,5	2,9
70	2,5	3,6
80	3,0	4,4
90	4,8	5,1
100	5,3	5,9
110	6,0	6,7
120	7,0	7,4
130	8,0	8,2
140	7,8	8,9
150	10,0	9,7

Neben die Durchmesser der beobachteten Phosphoreszenzflecke sind als dritte Verticalreihe die nachher unter der

1) Vgl. über diese Erweiterung, welche eine wesentliche Verbesserung der Pumpe ist, Raps, Wied. Ann. 43. p. 636 und Taf. VI, Fig. 2, R. 1891.

Annahme geradliniger Ausbreitung berechneten Durchmesser gesetzt, die Durchmesser also derjenigen Kreisflächen, zu deren Punkten gerade Linien von mindestens einem Punkte der Fensterfläche (von 1,7 mm Durchmesser) durch die Diaphragmenöffnung (von 2,1 mm Durchmesser) führen¹⁾. Man sieht, dass die beobachteten Phosphoreszenzflecke fast sämtlich etwas kleiner sind als die berechneten, ein Umstand, welcher aus der allmählich gegen Null sinkenden Intensität am Rande der Flecke erklärlich ist und welcher, wie ich mich überzeugt habe, auch bei der Ausmessung von Lichtflecken unter gleichen Bedingungen auftritt. Im vollständigen Vacuum unterscheidet sich also die Ausbreitung der Kathodenstrahlen nicht bemerkbar von der geradlinigen.

Es ist zu bemerken, dass die Phosphoreszenzflecke nicht immer centrisch auf dem Schirme erschienen, ja dass sie manchmal erst durch Annäherung eines Magneten auf den Schirm gebracht werden mussten. Dies kann indessen nicht überraschen, sobald bemerkt wird, dass die eisernen Füße des Diaphragmas und Schirmes im Gebrauche wechselnden permanenten Magnetismus annahmen, wie Untersuchung mit einer Magnetnadel ergab.

Auch in diesem Versuche wurde darauf geachtet, ob der fortgesetzte Durchgang der Kathodenstrahlen etwa Zunahme des Gasdruckes im Beobachtungsraume zur Folge hat, ohne dass eine solche hätte bemerkt werden können. Das Volumen der kleinen Gasbläschen, zu welchen der 1140 cm³ betragende Inhalt des Pumpengefässes zusammenschrumpft, wurde nach wie vor auf 1 mm³ geschätzt, wenn eine Quecksilbersäule von 10 mm Höhe über diesen Bläschen stand, welche andererseits an die barometrische Leere grenzte.

Der Gasdruck, welcher in diesem Versuche im Beobachtungsraume noch übrig blieb, berechnet sich hiernach zu 0,000009 mm Quecksilber oder $0,01 \cdot 10^{-6}$ Atmosphäre. Vielmal grösser, 0,001 mm, wäre der Druck des aus der Pumpe stammenden Quecksilberdampfes bei Zimmertemperatur ge-

1) Die Durchmesser derjenigen kleineren Kreise, zu deren Punkten gerade Linien von allen Punkten des Fensters führen, würden von oben nach unten in der Tabelle von 2,2 mm bis 2,9 mm zunehmen.

wesen. Es war aber bei diesem Versuche das Phosphorsäurerohr, das sich zwischen Beobachtungsraum und Pumpe befand sammt einer gegen die Pumpe zu an dasselbe geblasenen grossen leeren Kugel, durch eine Kältemischung auf -21°C . abgekühlt, so dass der Quecksilberdampf im Beobachtungsraume nur den dieser Temperatur entsprechenden Druck, $0,00002\text{ mm}^1$), haben konnte.

14. Es breiten sich also die Kathodenstrahlen auch in Räumen aus, welche Materie nur mehr in jener äussersten Verdünnung enthalten, in welcher alle bekannten Wirkungen derselben verschwinden. Nicht den Resten von Materie, deren mehr oder minder vollkommene Entfernung überdies ohne Einfluss war, sondern nur dem Aether, welchen wir aus keinem Raume zu entfernen vermögen, wird man daher die Vermittelung der beobachteten intensiven Wirkungen zuschreiben können. Ist dies zugegeben, dann entscheidet unser Versuch über das Wesen der Kathodenstrahlen dahin, dass sie Vorgänge im Aether sind.

Zu solcher Auffassung sind bekanntlich auf Grund anderer Ueberlegungen schon vor längerer Zeit E. Wiedemann²⁾ und Hertz³⁾ gelangt und sie ist auch enthalten in Goldstein's Anschauung über das Wesen der elektrischen Entladung⁴⁾.

Kathodenstrahlen in verschiedenen Gasen.

15. Die Durchlässigkeit verschiedener Gase für Kathodenstrahlen ist sehr verschieden; sie zeigt sich in Zusammenhang mit der Dichte der Gase. — Strömt Leuchtgas zwischen dem Fenster und einem phosphorescenzfähigen Schirme aus, so bemerkt man eine deutliche Aufhellung desselben, am besten

1) Berechnet nach der Formel von Hertz, Wied. Ann. **17**. p. 198. 1882. Nur bei Anwendung der Kältemischung blieb das Innere des Rohres dunkel. Dieser Versuch wurde im Sommer angestellt; im vorigen Versuch (12), als es sehr kalt war, verschwand das Leuchten der Luft, wie angegeben, durch blosses Evacuiren. Der letzte Rest von Leuchten, oder — wie man später sehen wird — der letzte Rest von Leitungsfähigkeit des Raumes, erscheint also durch die Anwesenheit von Quecksilberdämpfen bedingt.

2) E. Wiedemann, Wied. Ann. **9**. p. 159. 1880; **10**. p. 251 u. f. 1880; **20**. p. 781 u. ff., 1883.

3) Hertz, Wied. Ann. **19**. p. 816. 1883.

4) E. Goldstein, Wied. Ann. **12**. p. 264 u. f. 1881.

wenn er so weit vom Fenster entfernt ist, dass er in reiner Luft eben schon dunkel bleibt. Soll er bei ausströmendem Leuchtgas wieder dunkel werden, so muss er weiter vom Fenster entfernt werden. Die Durchlässigkeit dieses für ultrarothes wie für ultraviolettes Licht so undurchlässigen Gases war überraschend.

Erfüllt man den ganzen Beobachtungsraum mit dem zu prüfenden Gase, so werden die Versuche reiner und die Grenz-entfernung des Schirmes vom Fenster, in welcher sein Leuchten eben aufhört, gibt dann ein relatives Maass für die Durchlässigkeit des untersuchten Gases. Zur Ausführung solcher Versuche ist das Glasrohr *RR*, Fig. 8, von 40 cm Länge und 3 cm Weite an die Fensterwand *mm* gekittet. Am entgegengesetzten Ende verschliesst es ein Stopfen mit zwei Bohrungen, durch welche ein kurzes und langes Glasrohr gehen, wie die Figur zeigt. Die schwereren Gase werden durch die untere (kurze), die leichteren durch die obere (lange) Röhre eingelassen, bis sie die Luft vollständig verdrängt haben; von da ab, während des Versuches strömen alle Gase durch die lange Röhre ein, um umso sicherer reines Gas zwischen Fenster und Schirm zu haben. Der Schirm *S*¹) ist wieder magnetisch verschiebbar (13), Fig. 8a zeigt ihn in natürlicher Grösse vom Fenster aus gesehen. Er ist an dieser Seite ganz mit Aluminiumblatt überzogen, um alle Täuschung durch Licht, insbesondere durch das Phosphorescenzlicht des Glasrohres auszuschliessen. Ueber die Aluminiumbekleidung ist noch der undurchlässige Glimmerstreifen *gg* gelegt. Der Schirm wird von der unbelegten, dem Fenster abgewandten Seite beobachtet und solange abwechselnd verschoben und bestrahlt, bis der schwarze Schatten des Glimmerstreifens, und damit die Erleuchtung des Schirmes überhaupt, eben gerade verschwunden ist. Diese Grenzstellung ist mit überraschender Schärfe aufzufinden; 1 mm näher an das Fenster gerückt, zeigen sich schon Spuren des Glimmerschattens am Schirme.

Voraussetzung für vergleichbare Resultate ist natürlich constante Anfangsintensität der aus dem Fenster tretenden Kathodenstrahlen, also Constanz der Erzeugungsbedingungen.

1) Pentadecylparatolyketonpapier.

Unter diesen bedarf das Vacuum im Entladungsrohre besonderer Aufmerksamkeit¹⁾; es wurde so regulirt, das zwischen den jetzt beständig auf 3 cm Abstand gestellten Kugeln *B*, Fig. 1, stets ab und zu Funken übersprangen. Dies gilt auch für alle noch folgenden Versuche, wo nichts anderes bemerkt ist.

Die Entfernungen des in seine Grenzstellung gebrachten Schirmes vom Fenster, abgelesen an einem am Rohre befestigten getheilten Papierstreifen, sind nun für die einzelnen Gase hier als „Strahlängen“ verzeichnet (Mittelwerthe):

Tabelle II.

Gas	Dichte	Strahlänge
		cm
Wasserstoff . . .	1	29,5 ²⁾
Stickstoff . . .	14,0	6,5
Atm. Luft . . .	14,4	6,0
Sauerstoff . . .	16,0	5,1
Kohlensäure . .	22,0	4,0
Schweflige Säure.	32,0	2,3

Die Gase sind nach zunehmender Dichte geordnet. Wie man sieht, ist dies zugleich die Ordnung zunehmender Absorption. Grossen Unterschieden in der Dichte entsprechen auch grosse Unterschiede in der Strahlänge und den kleinen Dichtenunterschieden zwischen Stickstoff, atmosphärischer Luft und Sauerstoff entsprechen nur kleine Unterschiede. Dass diese kleinen Unterschiede aber wirklich bestehen, davon habe ich mich durch wiederholte Vergleichung der drei Gase überzeugt. Auch das Leuchtgas fügte sich in die Ordnung, indem es viel längere Strahlen entstehen liess als Stickstoff, aber längst nicht so lange wie Wasserstoff. Ob atmosphärische Luft von Staub,

1) Die electromotorische Kraft der Accumulatoren, welche das Inductorium speisten, war sehr constant, sie wurde in regelmässigen Intervallen durch eine Glühlampe controlirt.

2) In meiner ersten Mittheilung, Berl. Ber. 1893 p. 7, ist diese Länge zu nur 20 cm angegeben. Ich hatte damals noch nicht so sehr auf constante Anfangsintensität geachtet. Unter den oben angegebenen Vorsichtsmassregeln habe ich bei öfterer Wiederholung des Versuches mit stets erneuten Wasserstofffüllungen nie wieder so geringe Längen erhalten.

Kohlensaure und Wasserdampf befreit war oder nicht, ob sie im Beobachtungsraume ruhte oder durch ihn strömte, alles dies machte keinen bemerkbaren Unterschied.

Sämmtliche Gase wurden durch die Kathodenstrahlen auch erleuchtet, ähnlich der Luft (3). Das Licht beschränkt sich auch hier auf die Nähe des Fensters und reicht z. B. in Wasserstoffgas längst nicht so weit als die Phosphoreszenzwirkung am Schirme; in Kohlensäure und schwefeliger Säure ist das Lichtbüschel sehr klein, dafür etwas heller als in den weniger absorbirenden Gasen. Farbenunterschiede habe ich bei den verschiedenen Gasen nicht wahrgenommen, doch ist hierfür der Apparat auch ungeeignet, wegen der hellen Phosphoreszenz der Glaswände. Das viel besser sichtbare Leuchten des Fensters selbst war stets unverändert das gleiche, in Uebereinstimmung mit der früher (4) gegebenen Erklärung desselben. Die Aluminiumbekleidung des Schirmes blieb in allen Abständen und Gasen dunkel.

16. Mit zunehmender Verdünnung wächst die Durchlässigkeit der Gase; bei sehr starker Verdünnung verschwinden die Unterschiede zwischen verschiedenen Gasen. — Wir beurtheilen die Durchlässigkeit wieder nach der Strahllänge, haben aber den Beobachtungsraum zum Evacuiren eingerichtet und sehr viel länger und auch weiter gemacht, Fig. 11. Das $1\frac{1}{2}$ m lange, 4·5 cm weite Glasrohr *RR* ist einerseits in die an die Fensterwand gelöthete Hülse *hh* gekittet, andererseits durch eine Metallkapsel *kk* verschlossen; ein Ansatzrohr führt zur Töpler-Hagen'schen Pumpe. (Das Entladungsrohr ist wie stets mit der Geissler'schen Pumpe verbunden). Von diesem Ansatzrohre zweigt noch ein anderes Rohr ab (in der Figur nicht erscheinend), welches in einen Quecksilberhahn (den unteren Theil eines Bottomley'schen Verbindungsstückes)¹⁾ endet, so dass Beobachtungsraum sammt Pumpe sowohl von der Luft abgeschlossen, als auch ohne Luftzutritt mit Gasentwicklungsapparaten verbunden werden können. Alles schliesst dicht genug, um die unten angegebenen hohen Verdünnungen dauernd zu halten. Der phosphoreszenzfähige Schirm *S* ist ganz wie vorher beschaffen, nur musste sein

1) Bottomley, Proc. Roy. Soc. **40**, p. 249. 1886.

Aluminiumüberzug jetzt besonders dick genommen werden, damit der nur $1\frac{1}{2}$ m lange Beobachtungsraum auch für die höheren Verdünnungen ausreiche; es kommt dies der Anwendung eines weniger hell phosphorescirenden Schirmes gleich. Die Bekleidung besteht aus vier Aluminiumfolien von zusammen 0.0133 mm. Dicke (fünffache Fensterdicke, 38 fache Blatталuminiumdicke). über dieselbe ist wieder ein schattenwerfender Steg befestigt.

Indem wir nun den Beobachtungsraum von Stufe zu Stufe evacuiren, die Grenzstellung des Schirmes jedesmal aufsuchen und seine Entfernung vom Fenster als Strahlänge notiren, erhalten wir — für Luft und Wasserstoff — folgende Tabelle 1):

Tabelle III.

Atmosphärische Luft		Wasserstoff	
Druck 2)	Strahlänge	Druck 2)	Strahlänge
mm	cm	mm	cm
760	2,35	760	10,6
331	4,53	335	21,1
165	8,38	167	32,4
83,7	12,1	88	33,8
40,5	17,1	42,2	56,1
19,3	27,2	20,3	74,9
10,0	49,5	10,3	96,8
2,7	73,0	3,3	122
0,78	107	0,65	125
0,074	127	0,065	126
—	—	0,030	131
0,019	140	0,0164	130
0,0083	133	—	—

Man sieht erstens, dass die Strahlänge, also die Durchlässigkeit, bei Luft sowohl als bei Wasserstoff mit abnehmendem Druck regelmässig und stark zunimmt, zweitens aber auch, dass sie bei beiden Gasen schliesslich dieselbe Grenze erreicht. Solange der Gasdruck noch nach Millimetern Quecksilber zählt,

1) Die Funkenlänge (B Fig. 1), welche die Verdünnung im Entladungsrohre bemisst, war hier constant = 2.8 cm.

2) Zur Druckmessung bietet die Töpler-Hagen'sche Pumpe vielfache Wege. Die grösseren Drucke ergeben sich direct, die kleineren nach Calibration des Pumpengefässes und der Röhren unter Anwendung des Mariotte'schen Gesetzes.

macht sich die grössere Durchlässigkeit des Wasserstoffgases stets stark bemerkbar (annähernd gleiche Drucke sind in der Tabellenebeneinandergesetzt); ist der Druck aber zu Hundertmillimetern herabgesunken, so ist der Unterschied zwischen den beiden Gasen verschwunden und gleichzeitig wird weiteres Evacuiren einflusslos. Die Unterschiede der in den vier letzten Zeilen der Tabelle enthaltenen Strahllängen sind nicht grösser als ihre Unsicherheit, welche ich nach der Uebereinstimmung der einzelnen Messungen, deren Mittelwerthe die Tabelle enthält, auf ± 5 Proc. schätze.¹⁾ Offenbar sind diese letzteren Strahllängen nicht mehr durch die verschwindend klein gewordene Absorption des Gasrestes bestimmt, sondern das Unmerkbarwerden der Strahlen in den angegebenen Entfernungen hat hier seinen Grund allein in ihrer allseitigen geradlinigen Ausbreitung vom Fenster aus, in Folge welcher ihre Intensität abnimmt wie das reciproke Entfernungsquadrat.

Auch bei anderen Gasen wird es sich bestätigen (18), dass die Durchlässigkeit mit abnehmendem Drucke zunimmt, während die Unterschiede zwischen den verschiedenen Gasen verschwinden.

Wie ausserordentlich stark absorbirend Luft und selbst auch Wasserstoffgas von gewöhnlichem Drucke ist, lehrt Vergleichung der untersten mit den obersten Zeilen der Tabelle: 130 cm Strahllänge im Vacuum und nur 2 cm in Luft, 10 cm in Wasserstoff. Quantitative Schlüsse, welche sich hieran knüpfen, bleiben passender auf eine besondere, der Absorption zu widmende Mittheilung verspart; es sei jedoch gestattet, hier die Beobachtungen einzuschalten, welche eine Voraussetzung solcher Schlüsse erweisen, die nämlich, dass die Strahllängen der Tabelle nicht merkbar beeinflusst sind durch die Anwesenheit der Glaswände des Beobachtungsraumes, dass sie vielmehr auch in vollständig freiem Beobachtungsraume nicht anders erhalten worden wären. Ein Einfluss der Rohrwände ist denkbar aus zwei Gründen. Erstens können die Wände

1) Diese verhältnismässig grosse Unsicherheit liegt nicht im Auffinden der Grenzstellung des Schirmes, sondern sie hat ihren Grund in der auch bei sonst constant gehaltenen Erzeugungsbedingungen noch immer mit dem Zustande des Quecksilberunterbrechers periodisch etwas wechselnden Anfangsintensität der Kathodenstrahlen.

bei krummliniger Ausbreitung der Strahlen den Schirm dunkler erscheinen lassen, als wenn sie nicht vorhanden wären, denn sie schneiden einen Theil der krummlinigen Bahnen vom Fenster nach dem Schirme ab. Zweitens können die Wände den Schirm aber auch aufhellen, durch Reflexion der Kathodenstrahlen. Die erste Wirkung ist nur bei höheren Gasdrucken zu erwarten (vgl. w. u. 18), die zweite müsste sich daher am reinsten bei den niedrigsten Drucken zeigen. Um über das Vorhandensein eines merkbaren Einflusses zu entscheiden, wurde zwischen Fenster und Schirm ¹⁾ eine verschiebbare Aluminiumblechblende Fig. 11 a eingeschaltet, welche, ziemlich dicht an die Rohrwand schliessend, eine centrale Oeffnung von 17 mm Weite, also weniger als der halben Rohrweite, freiliess. Es befinde sich diese Blende zunächst dicht am Fenster, wo sie ganz unwirksam sein muss, und es sei der Schirm in die Nähe seiner Grenzstellung gebracht, sodass er eben noch deutlich aufleuchtet. Schieben wir nun die Blende näher und näher an den Schirm heran, so schneiden wir mehr und mehr krummlinige Bahnen vom Fenster nach dem Schirme ab. Trotzdem zeigt sich vorerst noch keine merkbare Verdunkelung desselben. Erst wenn die Blende mehr als den halben Weg vom Fenster zum Schirme zurückgelegt hat, sodass sie nun auch geradlinige Bahnen abzuschneiden beginnt, verdunkelt sie den Schirm am Rande. Der Versuch wurde mit gleichem Erfolge ausgeführt in Luft von 117 mm, 15 mm, 2,8 mm und 0,035 mm Druck. Bei den drei höheren Drucken war die Verdunkelung des Schirmrandes verwaschen, bei dem niedrigsten erschien ein fast scharfer, ringförmiger Schatten der Blende. Dieser Versuch zeigt, bei den höheren Drucken, dass krummlinige Strahlen (obgleich wirklich vorhanden) nicht merkbar zur Wirkung kommen auf dem in seiner Grenzstellung befindlichen Schirm. Beim niedrigsten Drucke, wo die Strahlen schon geradlinig sind, zeigt der Versuch, dass auch reflectirte Strahlen sich nicht bemerkbar machen. Denn befindet sich die Blende mitten zwischen Fenster und Schirm, so beschattet sie den hinter ihr, bis zum Schirme liegenden Theil der Rohrwand (was auch an der Abwesenheit der Glasphosphorescenz

1) Die Aluminiumbekleidung desselben war hier dünner als oben angegeben, was indessen den Versuch nicht weniger beweisend macht.

dasselbst zu erkennen ist), sodass dieser überhaupt nicht reflectiren kann, zugleich aber verhindert sie sämtliche Strahlen, welche vom nicht beschatteten, gegen das Fenster zu liegenden Theile der Rohrwand reflectirt werden, nach der Mitte des Schirmes zu gelangen; trotzdem erscheint die Mitte desselben nicht verdunkelt, nur der Rand weist den Schatten der Blende auf. Die genannte Voraussetzung ist somit erwiesen.¹⁾

17. Gase werden durch die Kathodenstrahlen um so weniger erleuchtet, je verdünnter sie sind. — Bei Ausmessung der Strahllängen in Luft und Wasserstoffgas wurde noch Folgendes beobachtet: Das früher (3, 15) beschriebene Leuchten der beiden Gase bei Atmosphärendruck nimmt bei fortschreitender Verdünnung rasch an Helligkeit ab und zugleich an Ausdehnung zu, wie zu erwarten nach unserer Auffassung dieses Leuchtens als einer Folge der Absorption der Strahlen im Gase. Die Längen der durchleuchteten Strecken sind nicht genau angebbar, denn das an sich matte Leuchten nimmt stets vom Fenster aus allmählich ab, doch waren sie vergleichbar mit den Strahllängen (Tab. III). Während das Leuchten des Gases schwächer wird, wird die Glasphosphorescenz des Rohres heller; schon bei etwa 50 mm Druck (Luft wie Wasserstoff) wird das erstere neben der letzteren unmerkbar. Das Innere des Rohres erscheint jetzt dunkel und bleibt es auch, bis der Druck auf etwa 2 mm gesunken ist. Bei dieser Verdünnung fängt das Gas an von neuem zu leuchten, viel heller als vorher und in ganz anderer Weise. Das Licht geht nicht mehr vom Fenster aus, sondern von den zwei Metallklammern, welche das Beobachtungsrohr halten. Zuerst in deren Umgebung, dann, bei weiterer Verdünnung, der ganzen Länge nach ist das Rohr von einer röthlichen (manchmal finde ich „bläulich“ notirt), ziemlich hellen Lichtsäule erfüllt. Leiter in der Nähe des Rohres haben Einfluss auf die Vertheilung dieses Lichtes. Umfasst man

1) Vgl. hier auch den Versuch mit der Stanniol- und Glasröhre (4). Die Unwirksamkeit krummliniger und reflectirter Strahlen ist natürlich in Obigem nur für Grenzstellungen des Schirmes erwiesen, worauf es allein ankam. Das Resultat ist vielleicht auch gar nicht überraschend, denn in Entfernungen vom Fenster, in welchen die Wirkung geradliniger Strahlen schon unmerkbar wird, ist Wirkung von Strahlen, welche durch krummlinige also noch längere Bahnen im Gas oder durch Reflexion geschwächt sind, noch weniger zu erwarten.

z. B. das Rohr an einer Stelle mit der Hand, so endet die Lichtsäule gewöhnlich an dieser Stelle und der übrige Theil des Rohres bleibt lichtlos. Dies wurde benutzt bei den vorhergehenden, wie bei den noch folgenden Versuchen (16, 18, 20), wenn es darauf ankam, den Schirm zur Beobachtung vor fremdem Lichte zu schützen; die Phosphoreszenzen an Schirm und Glaswand werden durch die Hand oder andere Leiter nicht beeinflusst. Dieses Licht bleibt bis zu sehr geringen Drucken bestehen; dass es im äussersten Vacuum wieder verschwindet, ist oben (12, 13) bemerkt. Dieses Leuchten des Gases steht in keiner engeren Beziehung zu den Kathodenstrahlen. Denn erstens verlischt es nicht nothwendig¹⁾, wenn die Kathodenstrahlen vom Beobachtungsraume abgehalten werden, sei es durch Heranschieben des Schirmes an das Fenster, sei es durch einen Magneten am Entladungsrohr. Zweitens verschwindet die Lichtsäule stets und vollständig, wenn das Beobachtungsrohr seiner ganzen Länge nach mit Drahtnetz umhüllt wird, welches die Fensterwand und die Metallkapsel *kk* leitend berührt. Die Phosphorescenz der Glaswand und des Schirmes, sowie auch das Leuchten des Fensters sind dagegen unverändert auch in der Hülle vorhanden, ebenso die magnetische Ablenkbarkeit von Strahlen, welche durch ein Diaphragma abgesondert sind (s. w. u., 18). Das Gas ist also bei den niedrigen Drucken nicht durch die Kathodenstrahlen erleuchtet, sondern durch dieselben, von der Erzeugung stammenden, electricischen Kräfte, welche bei gewöhnlichem Drucke im Beobachtungsraume die Fünkchen (10) bildeten. Dementsprechend tritt die Lichtsäule auch dann auf, wenn in einem benachbarten, aber von unserem Apparate ganz abgesonderten Entladungsrohre Kathodenstrahlen erzeugt werden. Dass das ersterwähnte, der Durchstrahlung zuzuschreibende Leuchten des Gases auch bei Ausschluss der electricischen Kräfte vorhanden ist, wurde, für Luft von gewöhnlichem Druck wenigstens, schon früher (10) gezeigt.

Auch in anderen Gasen wurden — in späteren Ver-

1) Manchmal verlischt es. Die Kathodenstrahlen scheinen das Zustandekommen der Lichtsäule zu unterstützen. Man wird dies in Zusammenhang damit bringen, dass die Kathodenstrahlen den Beobachtungsraum leitend machen (11).

suchen (18) — im wesentlichen dieselben Lichterscheinungen beobachtet, wie in Luft und Wasserstoff.

Als von Kathodenstrahlen erleuchtetes Gas ist auch das negative Glimmlicht in Geissler'schen Röhren aufzufassen.¹⁾ Zwischen dieser Erscheinung und dem hier beobachteten und der Durchstrahlung zugeschriebenen Leuchten besteht auch Uebereinstimmung insofern, als hier wie dort das Licht bei starker Verdünnung fehlt, bei zunehmendem Drucke erst schwach und ausgedehnt erscheint, dann heller und kleiner wird. Während aber das Glimmlicht im Geissler'schen Rohre schon bei $\frac{1}{2}$ mm Druck sehr hell und klein geworden ist, bleibt das Gas in unseren Versuchen selbst bis zu 760 mm Druck noch immer viel dunkler, und doch die durchleuchtete Strecke viel grösser. Dieser Unterschied kann daher nicht auf geringere Intensität der hier benutzten Strahlen zurückgeführt werden; er wird dagegen erklärt sein, sobald sich zeigen lässt, dass man bei höherem Druck Kathodenstrahlen anderer Art erzeugt, welche von Gasen viel stärker absorbiert werden als die hier untersuchten, bei sehr niedrigem Drucke erzeugten Strahlen.

18. Verschiedene Gase sind in sehr verschiedenem Grade trübe Medien; mit grösserer Durchlässigkeit ist stets auch grössere Klarheit verbunden. — Um die Ausbreitungsweise der Kathodenstrahlen in verschiedenen gasförmigen Medien zu studiren, beobachten wir den Verlauf von Strahlenbündeln, welche durch ein Diaphragma abgesondert, auf einem Schirme als Phosphoreszenzflecke sich abbilden. Wir benutzen wieder das Beobachtungrohr Fig. 11. Das Diaphragma lässt nur eine kreisförmige, scharfkantige, centrale Oeffnung von 1,9 mm Durchmesser frei; es gleicht auch im übrigen dem in Fig. 10a abgebildeten. Der Schirm ist jetzt unbedeckt; um die Ausmessung der Phosphoreszenzflecke zu erleichtern, ist er an der dem Fenster abgewandten Seite, von welcher er beobachtet wird²⁾, mit schwarzen Papierstückchen von genau

1) Vgl. z. B. Hertz, Wied. Ann. **19**. p. 807 u. ff. 1883.

2) Beobachtungen von der anderen Seite ergab dasselbe (der Schirm besteht aus Pentadecylparatolyketonpapier). Ein Theil der Versuche wurde auch mit aluminiumbelegten Schirm wiederholt; Aussehen und Grösse der Flecke war durch das eng anliegende einfache Blattaluminium nicht im geringsten verändert. Dies gibt die Sicherheit, dass auch bei unbedecktem Schirme Täuschung durch Licht nicht vorlag.

bemessenen Dimensionen und Abständen beklebt, wie es Fig. 11 b zeigt. Fällt der Fleck ungünstig zur Messung auf diese Scale, so verschieben wir ihn durch Annäherung eines Magneten. Dies gibt zugleich die Gelegenheit, festzustellen, dass alle beobachteten Strahlen in der für Kathodenstrahlen charakteristischen Weise ablenkbar sind. Der aus dem Diaphragma kommende Strahl verläuft unsichtbar im Gase, ganz hohe Drucke ausgenommen, wie nach Vorhergehendem nicht anders zu erwarten; auch die Glaswand bleibt hinter dem Diaphragma dunkel, nur vor demselben, bis zum Fenster, leuchtet sie grün.

Was am phosphorescenzfähigen Schirme beobachtet wurde, lässt sich nicht besser darstellen als es in den Fig. 6 und 12 graphisch geschehen ist. Jede einzelne Darstellung, z. B. Fig. 6 Nr. 1 ist als Schnitt durch die Axe des Strahles und des Beobachtungsrohres aufgefasst. mm ist die Fensterwand mit dem Fenster F (den Maasstab siehe unten in der Figur), mR sind die Rohrwände, DD das Diaphragma; ss ist je eine untersuchte Stellung des Schirmes. Die Helligkeitsvertheilung in den Phosphorescenzflecken ist nun durch kleine Curven, z. B. sab , dargestellt in der Weise, dass die horizontale Entfernung von jedem Schirmpunkte bis zur Curve die daselbst beobachtete Phosphorescenzhelligkeit in willkürlichem, aber für alle Figuren möglichst gleichem Maasse nach Schätzung angibt. Die Darstellung ist also die für Spectrallinien übliche; sie gibt die Lichtvertheilung längs eines Durchmessers des Fleckes und durch Umdrehung um die Strahlaxe im ganzen Flecke. Der besseren Anschaulichkeit halber sind dann noch sämtliche Flecke eines Strahles sammt der Diaphragmenöffnung durch die horizontal verlaufenden Curven xy verbunden, welche also ein Bild des Strahles geben, obgleich derselbe, wie die Flecke zeigen, in den meisten Fällen durchaus nicht scharf begrenzt war. Die Strahlen sind stets soweit fortgesetzt, als sie überhaupt noch einigermaassen deutlich begrenzte Flecke gaben. Alles Unwesentliche ist bei den weiteren Strahlen weggelassen; FF bedeutet stets die gemeinsame Fensterwand verschiedener zu vergleichender Strahlen.

Betrachten wir nun die Strahlen in Wasserstoffgas, Fig. 6. In Nr. 1 ist ein Strahl in Wasserstoff von gewöhnlichem Drucke dargestellt (vgl. die überall beigeschriebenen Drucke).

Er ist ziemlich schlank, die Ausbreitung ist der geradlinigen viel näher, als in atmosphärischer Luft von gleichem Drucke (vgl. 8 und Fig. 3), wo ein eigentlicher Stahl gar nicht zu Stande kam. Dieser Strahl dagegen ist scharf genug, um deutlich die Ablenkung durch den Magneten zu zeigen. Immerhin ist aber auch Wasserstoffgas — welches sich als das klarste Gas zeigen wird — ziemlich trübe, denn die Phosphoreszenzflecke sind sämmtlich sehr viel grösser als sie bei geradliniger Ausbreitung höchstens sein könnten. Die äussersten Grenzen geradliniger Ausbreitung, des geometrischen Strahls, sind durch die gestrichelten Linien xz gegeben (hier und bei allen folgenden Strahlen)¹⁾. Man bemerkt weiter, bei genauerer Betrachtung des ersten Phosphoreszenzflecks, noch ein anderes für trübe Medien charakteristisches Merkmal. Dieser Fleck besteht nämlich, wie die Curve und Fig. 7a (Helligkeit in Schwärze) zeigt, aus einem sehr hellen Kerne, umgeben von einem weniger hellen Hofe; der Kern sondert sich noch nicht völlig scharf, aber doch ganz deutlich vom Hofe ab. Eine solche Erscheinung ist bei geradliniger Ausbreitung niemals zu beobachten. Weder zeigte sie sich bei Kathodenstrahlen im vollständigen Vacuum in irgend einer Stellung des Diaphragmas oder Schirmes, noch zeigt sie sich bei Licht. Ersetzen wir das Fenster durch eine gleichgrosse beleuchtete Oeffnung, den phosphoreszenzfähigen Schirm durch einen Papierschirm, so erhalten wir mit demselben Diaphragma unter allen Umständen nur mehr oder weniger scharf begrenzte Flecke, in denen sich niemals ein Kern von einem Hofe sondert. Einschieben eines Glastroges mit verdünnter Milch zwischen Fenster und Diaphragma oder zwischen Diaphragma und Schirm liefert dagegen sofort Kerne mit Höfen. Die Kerne sind von gleicher Grösse wie die Lichtflecke ohne Milch, entsprechen also geradlinigen Strahlen, die Höfe diffusen. In Uebereinstimmung hiermit muss die Milch zu diesem Versuche so weit verdünnt

1) Diese Linien würden also, über die Diaphragmenränder xx hinaus verlängert, erst sich schneiden und dann die Ränder des Fensters treffen. Wegen Kleinheit des Maassstabes sind sie nicht durch Construction, sondern nach Rechnung eingetragen. Die (nicht eingetragenen) Linien, welche Fenster und Diaphragma verbinden ohne sich zwischen beiden zu schneiden, würden nahezu parallel miteinander verlaufen.

sein, dass man neben diffuser Helligkeit auch eben schon scharfe Bilder heller Gegenstände durch den Trog sehen kann. Auch bei den Kathodenstrahlen im Wasserstoffgas ist der Kern des Phosphoreszenzfleckes von der Grösse, welche geradliniger Ausbreitung entspricht¹⁾, nur der Hof greift über den geometrischen Strahl (xz) hinaus. Die diffusen Strahlen machen hier nur einen geringen Bruchtheil der gesammten Strahlen aus, denn der Hof ist lichtschwach im Vergleich zum Kerne. Schieben wir nun aber den phosphoreszenzfähigen Schirm weiter vom Fenster weg, so beobachten wir, wie der Kern dunkler, der Hof heller wird, so dass alsbald die Grenze zwischen beiden verschwindet (vgl. den zweiten Fleck in Fig. 6, Nr. 1); der Kern wird gleichsam vom Hofe aufgezehrt. Es werden auf dem länger werdenden Wege durch das trübe Medium immer mehr und mehr Strahlen und um immer grössere Winkel aus der geraden Bahn gelenkt. Infolge dieser fortschreitenden Diffusion verbreitert sich der Strahl immer noch mehr (vgl. die weiteren Phosphoreszenzflecke), die Grenzen der Flecke werden sehr unscharf und bald erscheint des Schirm fast gleichmässig erhellt.

Verringern wir nun den Druck auf 335 mm (Nr. 2) so tritt Aenderung insofern ein, als sämtliche Flecke schmäler, schärfer begrenzt und zugleich heller werden; alles Anzeichen von zunehmender Klarheit. Der Kern des ersten Fleckes sondert sich jetzt vollkommen scharf und sehr auffallend vom zarten Hofe ab; Fig. 7*b* stellt ihn besonders dar. Verringern wir den Druck noch weiter, bis auf 167 mm (Nr. 3), so ist der Hof um den ersten Fleck fast völlig verschwunden. Hier lässt die Figur besonders gut sehen, wie beim Fortrücken des Schirmes der Hof sich ausbildet und weiterhin auf Kosten des Kernes an Helligkeit zunimmt. Der Strahl ist bemerkbar, aber nicht mehr sehr viel, breiter als der geometrische Strahl. Noch mehr hat sich sein vorderer Theil in der folgenden Figur (Nr. 4), bei 88 mm Druck, zusammengezogen. Hier tritt auch zum ersten Male ein ganz scharfer Fleck ohne allen Hof auf²⁾,

1) Anzeichen von theilweise geradliniger Ausbreitung wurden auch in atmosphärischer Luft von gewöhnlichen Drucke bemerkt (8., Fig. 3 u. 3*a*).

2) Sicherlich wären solche Flecke auch bei grösseren Drucken schon entstanden, wenn es möglich gewesen wäre, den Schirm noch näher als 1,5 cm an das Diaphragma heranzuschieben; dies erlaubten die eisernen Füsse nicht.

so dass also in Wasserstoffgas von 88 mm Druck Diffusion längs des 4 cm langen Weges vom Fenster bis zum Schirm noch nicht bemerkbar ist; erst in grösserer Entfernung macht sie sich bemerkbar durch Höfe und dann durch die fächerförmige Ausbreitung des Strahles. Noch klarer wird der Wasserstoff bei 42 mm Druck (Nr. 5). Kerne in den Flecken treten jetzt auch schon in grösseren Entfernungen vom Fenster auf. Die grosse Breite des Strahles scheint jetzt zum grösseren Theile nur mehr durch die geringe Distanz zwischen Diaphragma und Fenster bedingt. Vergrössern wir daher jetzt diese Distanz von 2,5 auf 5 cm, ohne den Druck zu ändern (Nr. 6), so wird der Strahl in der That entsprechend schmaler. Verdünnen wir weiter, bis zu 3 mm (Nr. 7), so unterscheidet sich der Strahl nicht merkbar mehr vom geometrischen Strahle; die gestrichelten Linien fallen in der Figur auf die ausgezogenen und sind deshalb unsichtbar geworden; die Flecke zeigen kaum mehr Höfe. Rücken wir, um die geradlinig gewordene Ausbreitung weiter zu prüfen, das Diaphragma bis zu 10 cm vom Fenster ab (Nr. 8), so wird der Strahl im selben Maasse schmaler wie der geometrische; die Phosphoreszenzflecken ändern sich, wie sich Lichtflecken unter gleichen Umständen ändern würden. Bei 0,67 mm Druck endlich (Nr. 9) scheint hauptsächlich nur die vergrösserte Durchlässigkeit sich merkbar zu machen; der Strahl ist länger geworden und die Flecken heller. Bei genauer Betrachtung bemerkt man indessen, dass jetzt sämtliche Flecke etwas kleiner erscheinen, als geradliniger Ausbreitung entspräche, ganz wie im vollständigen Vacuum und bei Licht beobachtet (13). Das Zusammenfallen der beiden vorigen Strahlen (bei 3 mm Druck, Nr. 7 und 8) mit den geometrischen ist daher als kleines Anzeichen noch vorhandener Trübung zu nehmen.

Auch bei den übrigen Gasen äussert sich Trübung in derselben Weise wie beim Wasserstoffgas, durch Verbreiterung der Strahlen und durch Höfe. Sämtliche Gase werden mit zunehmender Verdünnung klarer. Bei gleichen Drucken miteinander verglichen zeigt sich Wasserstoff als weitaus das klarste Gas; Stickstoff, Luft und Sauerstoff sind nahezu gleich trübe; Kohlensäure ist trüber, schweflige Säure am trübsten. Das dichtere Gas ist also stets trüber als das weniger dichte und

grossen Dichtenunterschieden entsprechen grosse Unterschiede in der Trübung, kleinen kleine, wie dies alles an Fig. 12 gezeigt werden soll. Wie man sieht, sind Trübung und Absorption (15, 16) unzertrennlich.

In Fig. 12 ist jedem Gase eine Horizontalreihe angewiesen, in welcher der Druck von links nach rechts abnimmt. Die Strahlen in Wasserstoff (erste Zeile) sind Fig. 6 entnommen, aber hier verkürzt. Untereinandergesetzt sind Strahlen, die bei nahezu gleichem Drucke (und gleicher Diaphragmenstellung) erhalten wurden, und der gemeinsame Druck ist in runder Zahl über jede Vertikalreihe gesetzt, während der genaue Druck jedem Strahle besonders beigeschrieben ist. Neben dem Drucke findet man auch die ihm entsprechende Dichte des Gases angegeben, bezogen auf Wasserstoff von 760 mm Druck und Zimmertemperatur.

Bei 180 mm Druck (Verticalr. I) lässt nur Wasserstoffgas einen eigentlichen Strahl zu Stande kommen. Für die Untersuchung so trüber Medien, wie es die übrigen Gase hier sind, war der benutzte Apparat insofern nicht ganz geeignet, als der Schirm nicht nahe genug an das Diaphragma herangeschoben werden konnte, daher ist wohl hier zwischen N_2 , O_2 und CO_2 kein ganz deutlicher Unterschied zu bemerken; nur SO_2 erscheint merklich trüber. Bei 40 mm Druck (Verticalr. II) haben sich sämtliche Gase schon mehr geklärt, die Unterschiede kommen besser zum Vorschein (man beachte nicht die Längen der Strahlen, welche ich mich nicht bemüht habe, stets genau in gleichem Maassstabe abzugrenzen und welche die Trübung nicht bestimmen, sondern die Grösse und Lichtvertheilung gleichliegender Phosphoreszenzflecke); CO_2 zeigt sich jetzt deutlich trüber als O_2 , SO_2 noch trüber. Entsprechendes zeigt Verticalr. III, bei 10 mm Druck, welche nur CO_2 und SO_2 enthält. Am deutlichsten werden die Unterschiede bei 3 mm Druck (Reihe IV); hier erscheint auch O_2 deutlich etwas trüber als N_2 (vgl. die beiden ersten Phosphoreszenzflecke, von denen der des N_2 keinen Hof hat, obgleich er weiter vom Fenster entfernt ist, als der des O_2). Bei noch weiterer Verdünnung beginnen endlich mit den Gasen auch ihre Unterschiede wieder zu verschwinden; in Reihe V, bei 0,5 mm Druck, ist Trübung überhaupt nur mehr bei CO_2 und SO_2 zu be-

merken, wo die zarten Höfe der ersten Phosphoreszenzflecke etwas über den geometrischen Strahl hinausgreifen, mit welchem der Kathodenstrahl im übrigen zusammenfällt.

Alle graphisch nicht wiedergegebenen Beobachtungen bestätigen nur das schon Gesagte. Insbesondere sind die Strahlen in atmosphärischer Luft nur sehr wenig oder gar nicht verschieden von denen in Sauerstoff und Stickstoff von gleichem Drucke, wie nach der geringen Verschiedenheit der letzteren beiden nicht anders zu erwarten. Ein Verzeichniss sämtlicher vollständig beobachteter und gezeichneter Strahlen findet man in Tab. IV; die hierzu ausgewählten Diaphragmenstellungen (also auch die der Fig. 6 und 12) waren die charakteristischsten. Ist das Diaphragma näher ans Fenster geschoben, so verlieren die Strahlen schon infolge der geometrischen Verhältnisse an Schärfe, ist es weiter davon entfernt, so verlieren sie infolge der Absorption an Intensität und Länge; die wesentlichen Unterschiede zwischen den verschiedenen Medien bleiben indessen, wenn auch weniger deutlich, stets bemerkbar. Sämtliche Gase waren sorgfältig bereitet, gewaschen und getrocknet; beim Uebergange von einem Gase zum anderen wurde der Beobachtungsraum vorher ausgepumpt, mit dem neuen Gase gefüllt, wieder ausgepumpt und wieder gefüllt. H_2 und CO_2 waren direct aus den Entwicklungsapparaten, O_2 und N_2 aus einem Gasometer entnommen, die SO_2 vom Boden eines sehr grossen, verhältnissmässig engen Glaszylinders, aus welchem sie die Luft durch ihre Schwere verdrängt hatte.

Dass die Ausbreitung hinter dem Diaphragma im Wesentlichen wirklich auf den Raum beschränkt ist, den wir als Strahl bezeichnet und in den Figuren dargestellt haben, liess sich durch Einschalten der Blende Fig. 11a zwischen Diaphragma und Schirm nachweisen. Die Phosphorenzflecke werden dabei nur dann geändert (am Rande verdunkelt) wenn die Blende in den als Strahl bezeichneten Raum hineingreift. Zwischen Fenster und Diaphragma eingeschaltet, hat die Blende in keiner Stellung Einfluss auf die Phosphoreszenzflecke. Solche Versuche wurden in Luft von verschiedenem Drucke ausgeführt.

19. Die Trübung ist allein durch die Dichte des gasförmigen Mediums bestimmt; verschiedene Gase werden gleich

trübe, wenn sie durch Druckänderung auf gleiche Dichte gebracht werden. — Es konnte oben, bei Vergleichung der Strahlen in verschiedenen Gasen überraschen, dass kein einziges Gas irgend welche besondere, charakteristische Eigenthümlichkeiten zeigte. Verschiedene Gase waren nicht mehr verschieden als ein und dasselbe Gas bei verschiedenem Drucke. Trifft dies vollständig zu, dann muss für jedes Gas ein Druck zu finden sein, bei welchem die Ausbreitung in dem Gase genau dieselbe ist, wie in einem beliebigen anderen Gase bei gegebenem Drucke. Verdünnen wir z. B. schwefelige Säure nur weit genug, so muss sie genau denselben Strahl liefern wie Wasserstoff bei gewöhnlichem Drucke. Es müssten sich, allgemein, sämtliche beobachteten Strahlen in eine einzige Reihe ordnen lassen, vom trübsten bis zum klarsten, als wären sie alle in einem und demselben Gase, nur bei verschiedenen Drucken beobachtet. Dies ist nun in der That vollkommen ausführbar. Um zwei beliebige Strahlen leicht und genau vergleichen zu können, hatte ich jeden einzeln sorgfältig auf einen Streifen Coordinatenpapier copirt, und diese Streifen liessen sich ohne Schwierigkeit ordnen wie verlangt, so also, dass sämtliche gleichliegende Phosphoreszenzflecke bei jedem folgenden Strahle kleiner und schärfer begrenzt sind als beim vorhergehenden. Nur ergaben sich dabei statt einer einzigen Reihe naturgemäss drei Reihen, den drei Diaphragmenstellungen entsprechend, da nur solche Strahlen vergleichbar sind, die bei gleichen Diaphragmenstellungen erhalten wurden. Folgendes sind diese 3 Reihen, jedesmal beim trübsten Medium angefangen (Tab. IV). Wie man sieht, zeigen sich die so nach abnehmender Trübung geordneten Medien zugleich nach abnehmender Dichte geordnet.¹⁾ Vereinzelte Abweichungen kommen nur bei den allerdichtesten Medien vor, wo die Untersuchungsmethode die Strahlen fast gleich erscheinen lässt (vgl. p. 262), und bei den allerdünnsten, wo die Trübung und damit ihre Unterschiede überhaupt schon verschwinden. Die einzige, die Trübung

1) Da der grösste Theil der Strahlen in Fig. 6 und 12 wiedergegeben ist und die Dichten dort überall beigeschrieben sind, wird man den Satz leicht auch an den Figuren verificiren. Welches Strahlenpaar man auch herausgreift, stets wird man einen dem Dichtenunterschied entsprechenden Unterschied in der Trübung finden. Man vergleiche wieder nur Grösse und Lichtvertheilung der Phosphoreszenzflecke.

bestimmende Eigenschaft eines gasförmigen Mediums irgend welcher Art ist also dessen Dichte. Mit anderen Worten: gleiche Massen bringen stets gleiche Trübung hervor.

Tabelle IV.

1. Diaphragma 2,5 cm vom Fenster			2. Diaphragma 5 cm vom Fenster		
Gas	Druck	Dichte	Gas	Druck	Dichte
	mm	(H ₂ 760 mm = 1)		mm	(H ₂ 760 mm = 1)
Luft	385	7,3	SO ₂	3,8	0,16
SO ₂	180	7,6	CO ₂	3,2	0,093
CO ₂	180	5,2	O ₂	3,3	0,070
O ₂	180	3,8	H ₂	42,2	0,056
N ₂	180	3,3	Luft	2,9	0,055
SO ₂	86	3,6	N ₂	3,0	0,055
SO ₂	42,0	1,8	H ₂	3,3	0,0044
CO ₂	39,2	1,2			
H ₂	754	1,0	3. Diaphragma 10 cm vom Fenster		
O ₂	40,0	0,87	Gas	Druck	Dichte
N ₂	41,6	0,78		mm	(H ₂ 760 mm = 1)
Luft	40,0	0,76	CO ₂	0,50	0,015
H ₂	335	0,44	SO ₂	0,50	0,021
SO ₂	9,0	0,38	H ₂	3,3	0,0044
CO ₂	10,2	0,30	O ₂	0,65	0,014
H ₂	167	0,22	N ₂	0,45	0,0085
Luft	10,2	0,19	H ₂	0,67	0,00086
H ₂	88	0,12			
H ₂	42,2	0,056			

20. Kathodenstrahlen verschiedener Art verlaufen in verschiedenem Grade diffus. — Wir haben bisher stets die Erzeugungsbedingungen möglichst constant gehalten (15), also nur Kathodenstrahlen einer einzigen, bestimmten Art untersucht. So war insbesondere der Druck im Entladungsrohre in den vorbeschriebenen Strahlversuchen stets von solcher Grösse, dass zwischen den auf 2,8 cm Abstand gestellten Kugeln *B* Fig. 1 ab und zu Funken übersprangen. Verringern wir nun den Druck im Entladungsrohre, während das Medium im Beobachtungsraume ungeändert bleibt, so haben wir zunächst zunehmende Intensität der Strahlen zu erwarten (2), also Hellerwerden der Phosphoreszenzflecke. Vergrösserte sich dabei gleichzeitig ihr Durchmesser, so dürfte dies bei ihrer verwaschenen Begrenzung nicht überraschen; die Vergrösserung könnte nur scheinbar sein. Es tritt aber das Gegentheil ein.

Während die Helligkeit der Flecke im Centrum stark zunimmt, nimmt sie am Rande ab, die Flecke ziehen sich an Umfang zusammen und werden deutlich schärfer. Vergrössern wir umgekehrt den Gasdruck im Entladungsrohre, so werden die Flecke nicht nur dunkler, sondern auch viel grösser und verwaschener; war Kern und Hof vorhanden, so können diese dabei vollständig ineinander verschwimmen. Diese Erscheinungen wurden häufig beobachtet, während bei den vorhergehenden Versuchen (18) das Vacuum im Entladungsrohre auf die richtige Höhe gebracht wurde. Mit besonders darauf gerichteter Aufmerksamkeit habe ich sie verfolgt in Luft von 13 mm Druck, in Wasserstoff von 167 mm und in Kohlenensäure von 39,2 mm Druck, wobei die Funkenlänge (*B*, Fig. 1) welche die Verdünnung im Entladungsrohre bemisst, zwischen 2 und 4 cm variirt wurde.

Wir schliessen, dass Kathodenstrahlen, welche bei verschiedenen Gasdrucken erzeugt sind, die Eigenschaft diffuser Ausbreitung in Gasen in verschiedenem Grade besitzen. Bei geringerer Verdünnung erzeugte Strahlen verlaufen diffuser als bei höherer Verdünnung erzeugte. Dass es verschiedene Arten von Kathodenstrahlen gibt, „deren Eigenschaften in einander übergehen, welche den Farben des Lichtes entsprechen und welche sich unterscheiden nach Phosphorescenzerregung, Absorbirbarkeit und Ablenkbarkeit durch den Magnet“, hat schon Hertz bemerkt¹⁾.

So wie die diffuse Ausbreitung der Kathodenstrahlen in Gasen überhaupt, so hat auch insbesondere die hier beobachtete Erscheinung ihr bekanntes optisches Analogon: kurzwelliges Licht wird in gewissen optisch trüben Medien mehr zerstreut als langwelliges.

21. Nach dem hier beobachteten Verhalten der Gase zu schliessen, müssen die Aethervorgänge, welche das Wesen der Kathodenstrahlen ausmachen, Vorgänge von so ausserordentlicher Feinheit sein, dass Dimensionen von molecularer Grössenordnung in Betracht kommen. Selbst gegen Licht von kleinster bekannter Wellenlänge verhält sich die Materie noch wie stetig den Raum erfüllend; den Kathodenstrahlen gegenüber

1) Hertz, Wied. Ann. 19. p. 816. 1883.

ist dagegen das Verhalten selbst elementarer Gase das nicht-homogener Medien; es scheint hier schon jedes einzelne Molecül als gesondertes Hinderniss aufzutreten. Gasmolecüle trüben den Aether, und es ist sehr bemerkenswerth, dass hierbei keine anderen Eigenschaften der Molecüle in Betracht kommen, als allein nur ihre Masse. Die Gesamtmasse der in der Volumeneinheit vorhandenen Molecüle ist bestimmend für die Trübung des Mediums. Werden die Gasmolecüle durch grobe suspendirte Theilchen ersetzt, die Kathodenstrahlen durch Licht, so gelangt man zu gleichen Erscheinungen, doch ist dann das Verhalten des Mediums schwerlich mehr durch eine einzige und so einfache Angabe bestimmt.

Bonn, Physik. Inst. d. Univ, December 1893.
