Ueber die Nichtexistenz strahlender Materie in den Crookes'schen Röhren

von Dr. August Voller.

I. Eine Anzahl merkwürdiger Erscheinungen, welche beim Durchgange der Electricität durch sehr stark verdünnte Gase auftreten und welche zuerst in sehr gründlicher Weise durch Hittorf¹⁾ studirt worden sind, sind neuerdings durch William Crookes²⁾ ebenfalls beobachtet und mehreren großen wissenschaftlichen Corporationen vorgeführt worden. Dieselben bestehen im Wesentlichen darin, daß bei sehr weit gehender Verdünnung der Gase vom negativen Pole aus eine zur Oberfläche desselben normale, gradlinig strahlende Entladung erfolgt, welche beim Auftreffen auf Glas, Kreide, Diamant oder andere geeignete Körper sehr lebhaftes Fluorescenz erregt, starke Erwärmung und ebenso mechanische Stosswirkungen ausübt und durch einen Magneten eine Richtungsänderung erleidet. Seit den Crookes'schen Publicationen ist diesen Erscheinungen mit Recht ein vermehrtes Interesse zugewendet worden; jedoch hat hierzu noch der besondere Umstand beigetragen, daß Crookes es als seine Ueberzeugung ausgesprochen hat, in diesen Vorgängen liege der experimentelle Beweis für die Richtigkeit

---

¹⁾ W. Hittorf: Ueber die Electricitätsleitung der Gase in Pogg. Ann. 136, pag. 1 ff.

²⁾ W. Crookes: Strahlende Materie oder der vierte Aggregatzustand. Deutsch von Dr. Heinrich Gretschel.

feiner längst gehegten, auf der kinetischen Gastheorie beruhenden Ansicht, daß die gasförmige Materie bei sehr starken Verdünnungen in einen neuen, vierten Aggregatzustand übergehe, in welchem die mittlere Weglänge der Molecüle, d. h. die mittlere Größe der zwischen zwei molecularen Zusammenstößen liegenden Wegstrecke so bedeutend werde, daß innerhalb und im Verhältniß zu den Dimensionen etwa der Crookes'schen Radiometer oder der zu den elektrischen Entladungen in Gasen gewöhnlich benutzten sogenannten Geißler'schen Röhren die Bewegung der Molecüle als eine gradlinig strahlende bezeichnet werden könne. In den von ihm vorgeführten Röhren finde eine gewöhnliche elektrodynamische Strömung nicht statt; vielmehr würden die Gasmolecüle an der Kathode stark negativ geladen und dann von der gleichnamig geladenen metallischen Oberfläche derselben in darauf senkrechter Richtung mit so großer Geschwindigkeit fortgeschleudert, daß durch die Prävalenz dieser Bewegungsrichtung auf eine große Entfernung hin, — nämlich innerhalb des die Kathode umgebenden sogenannten »dunklen Raumes« — keinerlei Zusammenstöße erfolgten. Erst an der Grenze desselben trafen die fortgeschleuderten Molecüle mit anderen Molecülen zusammen und bewirkten hierdurch eine Lichtentwicklung, welche sich als leuchtender Rand des dunklen Raumes bemerklich mache. Diesem Gedankengange zufolge sei die Dimension des dunklen Raumes als das Maas der mittleren Weglänge der Molecüle zu betrachten, womit die Thatfache übereinstimme, daß der dunkle Raum mit der Verdünnung des Gases, d. h. mit der Vergrößerung des mittleren Abstandes der Molecüle zunehme. Bei weit fortgesetzter Entleerung der Röhren sei man im Stande, den dunklen Raum sich so weit ausbreiten zu lassen, daß derselbe das ganze Innere derselben erfülle; dann fänden somit nur noch außerordentlich lebhafte, gradlinig von der Kathode ausstrahlende Bewegungen der Molecüle in den Röhren statt und diese materielle Ausstrahlung bewirke dann einerseits die Fortführung der negativen Elektrizität zur Anode, also die Unterhaltung des Stromes, andererseits beim Auftreffen auf die Gefäßwände in Folge des heftigen

»Bombardements der Molecüle« jene lebhaftere Fluorescenz oder starke Erhitzung, welche schon Hittorf beschrieben, oder auch eine deutliche mechanische Stosswirkung, welche zuerst bemerkt zu haben Crookes' Verdienst ist.

2. Diese hier kurz skizzirte Hypothese konnte nicht verfehlen, die Aufmerksamkeit der Physiker ebenso sehr zu erregen, wie die Erscheinungen selbst, welche sie hervorgerufen hatten. Indes ist in den bisherigen Veröffentlichungen ihres Urhebers wenig enthalten, was als der Versuch eines exacten Beweises derselben angesehen werden könnte. In einem zuerst am 22. August 1879 vor der «British association» gehaltenen, später vor anderen Corporationen wiederholten und durch den Druck veröffentlichten Vortrage von Crookes¹⁾ heisst es lediglich, »er sei längst der Ansicht gewesen, dass die Existenz des dunklen Raumes mit der mittleren Weglänge im Zusammenhang stehe« und dann ferner: »Aus dem Anwachsen des dunklen Raumes mit zunehmender Verdünnung schliesse er naturgemäss, dass dieser dunkle Raum die mittlere freie Weglänge der Molecüle des noch übrig gebliebenen Gases sei, eine Annahme, die durch das Experiment bestätigt werde.« Die später vorgeführten überraschenden Experimente werden sodann als ebenso viele Beweise für die zu Grunde gelegte Hypothese benutzt; dass hierbei jedoch eine nur einigermaßen genügende Kritik angewendet worden sei, dürfte schwerlich behauptet werden können.

3. Auf einige der grossen Schwierigkeiten, welche der Hypothese der »strahlenden Materie« im Crookes'schen Sinne entgegenstehen, ist denn auch bereits von mehreren Seiten hingewiesen worden. Zöllner²⁾ hat darauf aufmerksam gemacht, dass Crookes die Anwesenheit der Quecksilberdämpfe in seinen (mit der Quecksilberpumpe evacuirten) Röhren völlig vernachlässigt hat. Diese Dämpfe repräsentiren selbst bei möglichst absolutem Entfernen der Luft aus den Röhren und selbst

---

¹⁾ I. c. pag. 7.

²⁾ Fr. Zöllner: Das Skalenphotometer, Leipzig 1879, pag. 31 ff.

wenn letztere beim Evacuiren der höchsten zulässigen Temperatur, etwa 1000° C. ausgesetzt waren, noch eine Spannung von 0,0087 mm., bei welcher nach den Principien der kinetischen Gastheorie die mittlere Weglänge der Quecksilbermolecüle nicht gröfser als 8,7 mm. sein würde, während doch der »dunkle Raum« in denselben Röhren nach Crookes' Angabe ausserordentlich viel gröfsere Dimensionen besitzen würde. Uebrigens ist die Anwesenheit der Quecksilberdämpfe in den Röhren bereits von Hittorf¹⁾ experimentell festgestellt worden.

Gintl²⁾ hat die grofse Schwierigkeit hervorgehoben, wie man sich die Rückkehr der von der Kathode ausstrahlenden Molecüle, nachdem sie ihre negative Elektricität an die Anode oder die dieselbe umgebenden Molecüle abgegeben, ohne Zusammenstöße mit den neu ausstrahlenden denken könne, — ein wichtiger, von Crookes unerwähnt gebliebener Punkt. Derselbe Kritiker hebt ferner mit Recht hervor, dafs, wenn die Geschwindigkeit der von der Kathode ausstrahlenden Gastheilchen durch die elektrostatische Abstofung hervorgerufen werde, dieselbe bei stärkerer Spannung zunehmen müsse. In der That müfste die Crookes'sche Hypothese dazu führen, die Ausdehnung des dunklen Raumes als eine Function des Potentials der freien Elektricität an der Kathode zu betrachten, ein Resultat, welches durch die Beobachtung in keiner Weise bestätigt wird; Crookes selbst betrachtet den dunklen Raum als lediglich von dem Grade der Evacuierung abhängig.

Auf einen weiteren wichtigen Einwand Gintl's, wie es zu erklären sei, dafs nach Crookes' Angaben in Folge der negativ-elektrischen Ladung der »strahlenden Materie« zwar zwei benachbarte Strahlenbündel sich gegenseitig abstofsen, nicht aber die Molecüle der einzelnen Bündel selbst, komme ich weiter unten näher zurück, ebenso wie auf dessen Vorschlag, Behufs Untersuchung der magnetischen Einwirkung auf die strahlende Entladung Kathoden von verschiedenen Metallen anzuwenden.

¹⁾ l. c. pag. 3.

²⁾ W. F. Gintl, Studien über Crookes' strahlende Materie. Prag 1880.

E. Wiedemann¹⁾ endlich hat wiederholt darauf hingewiesen, daß die in den Röhren stattfindende Stromgeschwindigkeit zweifellos größer ist, als die translatorische Geschwindigkeit der in der Stromrichtung sich bewegenden Theilchen, wie die von Herrn v. Zahn mit Benutzung des Doppler'schen Principes angestellten Spectralbeobachtungen erweisen. Mit dieser Thatfache ist die Crookes'sche Vorstellung der Unterhaltung des Stromes durch die negativ geladenen strahlenden Molecüle nicht zu vereinigen.

4. Das physikalische Cabinet des Hamburgischen akademischen Gymnasiums erhielt im April d. J. von Herrn Max Kohl in Chemnitz eine Collection Crookes'scher Röhren, welche die von dem englischen Physiker neuerdings wieder beobachteten, resp. neu entdeckten Erscheinungen sämmtlich in sehr schöner Weise hervortreten ließen. Mehrere dieser Röhren gaben mir zu einer Reihe von Versuchen Veranlassung, welche zum Zwecke hatten, Einiges zur Lösung der vielen wichtigen und interessanten Fragen, die sich an die Crookes'sche Erklärung der Erscheinungen knüpfen, beizutragen. Die im Folgenden mitgetheilten vorläufigen Beobachtungen beziehen sich

- 1) auf den sogenannten dunklen Raum,
- 2) auf die Einwirkung des Magneten auf die strahlende Entladung,
- 3) auf das Verhalten der letzteren zu elektrisch geladenen Körpern.

Zu den Versuchen benutzte ich einen Ruhmkorff'schen Inductor, dessen secundäre Spirale eine Rolle von 30 cm. Länge und 12 cm Durchmesser bildet, einen großen Edelmann'schen horizontalen Elektromagneten, dessen Einrichtung gestattete, die Röhren zwischen zwei gleiche oder zwei entgegengesetzte Pole zu bringen oder auch nur einen Pol zu benutzen, ferner eine von Geißler in Bonn verfertigte Quecksilberpumpe und endlich eine Holtz'sche Maschine, welche Funken von 30 cm. Länge zu geben vermag.

5. Der sogenannte dunkle Raum an der Kathode. Bei der Beschreibung der mit der Electricitätsleitung der Gase

¹⁾ Wiedemanns' Annalen IX. pag. 160, X. pag. 246.

in Geißler'schen Röhren verbundenen Erscheinungen ist es üblich, eine wohlbekannte eigenthümliche Schicht, welche das von dem leitenden Gase ausgehende, charakteristisch gefärbte positive Licht von dem Glimmlichte der Kathode trennt, mit dem Namen des dunklen Raumes zu bezeichnen. Da bei Luft das positive Licht roth, das negative violett blau gefärbt ist, so tritt dieser zuerst von Faraday beobachtete Raum hier besonders scharf hervor. Von diesem dunklen Raume sagt nun Crookes, daß derselbe den negativen Pol umgebe und daß er mit fortschreitender Verdünnung zunehme; es sei der Raum, innerhalb dessen keine molecularen Zusammenstöße stattfänden und der eben deshalb dunkel sei, während an seinen Grenzen die Zusammenstöße stattfänden, »wo der leuchtende Rand Zeugniß ablegt von der Intensität der Entladung« (pag. 9). Freilich heißt es einige Zeilen weiter, »daß die Zusammenstöße (innerhalb des dunklen Raumes) im Vergleich zu den Vorübergängen der Molecüle vernachlässigt werden können«, sodafs also doch deren Vorkommen eingeräumt wird, ohne daß jedoch hieraus weitere Consequenzen gezogen würden.

Die erwähnte Crookes'sche Angabe der allmählichen Ausbreitung des dunklen Raumes steht nun in einem merkwürdigen Widerspruche zu den von Hittorf¹⁾ vor 11 Jahren Betreffs desselben Gegenstandes publicirten Versuchsresultaten. Dieser erfahrene Beobachter giebt eine wesentlich verschiedene Darstellung der Erscheinung. Der dunkle Raum umgiebt bei keinem Drucke die Kathode selbst, sondern trennt nur das positive Licht von dem blauen Glimmlichte der letzteren; dieses Glimmlicht besteht constant aus drei Schichten, einer sehr schmalen, hellen, die Kathode unmittelbar umgebenden, einer dickeren, durchsichtigen, schwach leuchtenden und einer noch ausgedehnteren, wieder helleren, äußersten Schicht; letztere grenzt an den dunklen Raum. »Bei fortschreitender Verdünnung wachsen nun die äußeren Schichten des Glimmlichtes rasch; das positive Licht weicht

¹⁾ l. c. pag. 6—8.

zurück, bleibt aber zunächst noch von dem Glimmlichte durch den dunklen Raum getrennt. Dieser verschwindet mit fortschreitender Verdünnung und eine Berührung der beiden Lichter tritt ein, wenn ersteres sich sehr ausgebreitet hat.« So lautet wörtlich die Mittheilung Hittorf's. Da die Richtigkeit seiner Beobachtungen, soweit sie sich auf die Structur des Glimmlichtes beziehen, seitdem allgemein bestätigt worden ist, so brauche ich kaum hervorzuheben, daß die von mir angestellten Versuche genau dasselbe Resultat ergeben haben; aber es scheint mir von Wichtigkeit, auf die Bedeutung derselben für die Crookes'sche Hypothese hinzuweisen. Im Verlaufe seiner Mittheilungen hat Hittorf nachgewiesen, (pag. 10 ff.) daß die mit wachsender Verdünnung stattfindende Ausbreitung des Glimmlichtes Hand in Hand geht mit einer Verminderung des Leitungswiderstandes am positiven Pole und einer weit stärkeren Zunahme desselben am negativen Pole, und daß in Folge hiervon die Stromintensität stetig sinkt. Dies hat zur Folge, daß die Leuchtkraft der stark ausgebreiteten Schichten des matten Glimmlichtes bei starken Verdünnungen sehr schwach wird — und hierin liegt, wie ich glaube, die Ursache, welche Crookes zu einer Verwechslung des thatfächlich mehr und mehr zusammenschrumpfenden dunklen Raumes mit den Schichten des Glimmlichtes verleitete.

6. Davon, daß der dunkle Raum wirklich verschwindet, die matten Glimmlichtschichten aber sich mehr und mehr ausbreiten, konnte ich mich leicht überzeugen. Zwei mit etwa 50 mm langen drahtförmigen Platinkathoden versehene Röhren von der Form zweier durch einen engern Theil verbundener Kugeln waren mit einem Glashahn versehen und wurden vermittelst der Geißler'schen Pumpe evacuirt: die Erscheinungen verliefen völlig so, wie Hittorf sie beschrieb; bei sehr oft wiederholtem Auspumpen erfüllte schließlich das blaue Glimmlicht die Röhren vollständig, war aber sehr matt. Auffallend ist es, daß Crookes nicht durch seine eigenen Röhren auf diese Thatfache aufmerksam wurde. Die von Herrn Max Kohl in Chemnitz dem physikalischen

Cabinet gelieferten, genau nach den Crookes'schen Zeichnungen verfertigten Röhren zeigten, wie bereits erwähnt, die merkwürdigen Erscheinungen vortrefflich, so dafs dieselben, als ich sie in einigen Sitzungen des hiesigen Naturwissenschaftlichen Vereines zeigte und erörterte, das höchste Erstaunen aller Anwesenden hervorriefen; auch z. B. die Fortbewegung des in Glasröhren laufenden Schaufelrades im Sinne der strahlenden Entladung (Figur 11 der Crookes-Gretschel'schen Broschüre) fand stets mit grofser Geschwindigkeit statt. Aber alle diese Röhren waren keineswegs dunkel, sondern enthielten ein von allen Anwesenden leicht bemerktes mattblauviolettes Licht. Mir scheint diese Thatsache von Wichtigkeit zu sein, insofern sie der Crookes'schen Hypothese den Boden entzieht, auf welchem dieselbe aufgebaut worden ist. Sämmtliche, von Crookes beschriebene Erscheinungen finden nicht in einem dunklen, sondern in einem von mattem Lichte erfüllten Raume statt. Die Annahme, dafs innerhalb dieses Raumes die Molecüle des Gases ohne Zusammenstöße strahlend von der Kathode weg sich bewegten, ist, wie ich glaube, ganz unzulässig, da nicht abzusehen ist, wie lediglich mit negativer Elektrizität beladene und — von der ursprünglich vorhandenen Wärmeschwingung abgesehen — nur in fortschreitende Bewegung versetzte Theilchen in lichterregende Schwingungen fallen gerathen können.

7. Die Ablenkung der strahlenden Entladung durch den Magneten. Der Wirkung, welche der Magnetismus auf die hypothetische »strahlende Materie« ausübt, legt Crookes eine ganz besondere Wichtigkeit bei; er sagt ausdrücklich, dafs »dieselbe uns, aufmerksam verfolgt, Aufklärung über andere Eigenschaften der strahlenden Materie geben werde.« Dies ist in der That richtig; aber ich wage zu glauben, dafs, wenn der englische Physiker eine solche aufmerksame Untersuchung hätte eintreten lassen, sie ihn bald dazu geführt haben würde zu erkennen, dafs diese magnetische Wirkung völlig identisch ist mit der wohlbekannteren Wirkung eines Magneten

auf einen elektrodynamischen Strom und dafs die von ihm betonte Verschiedenheit der Wirkung bei gröfserer und geringerer Dichtigkeit nur eine scheinbare ist. Die in Rede stehende Wirkung bezeichnet Crookes mit dem unbestimmten Ausdrücke der »Ablenkung.« Welcher Art diese Ablenkung sei, wird nicht gesagt; wohl aber wird dieselbe merkwürdigerweise in einem pag. 27 ausführlich erörterten Beispiele mit der anziehenden und ablenkenden Wirkung der Erdschwere auf eine Anzahl abgeseuerter Mitrailleurkugeln verglichen. Daraus mufs man schliessen, dafs Crookes die magnetische Wirkung als eine auf die einzelnen Molecüle ausgeübte Anziehung betrachtet. Diese Ansicht hat denn auch Gintl aus der Crookes'schen Mittheilung von der Sache bekommen, und in Folge dessen vorgeschlagen, seine Vermuthung, dafs die strahlenden Molecüle nicht die des Gases, sondern losgeriffene Kathodentheilchen sein könnten, mittelst Anwendung von Kathoden aus Eisen, Aluminium, Platin und anderen Metallen experimentell zu prüfen; die Gröfse der anziehenden Wirkung müsse dann verschieden sein.¹⁾

8. Es bedarf nun in der That nur einer vorurtheilslosen

¹⁾ Was die theoretische Erklärung dieses von Crookes besprochenen Vorganges betrifft, so scheint mir dieselbe eine fundamentale Abänderung seiner Grundhypothese zu enthalten. Während nämlich die ausdrückliche und stetige Voraussetzung war, dafs der strahlende Zustand der Materie an die höchste erreichbare Verdünnung der Luft geknüpft sei, der Art, dafs die gradlinige, ohne Zusammenstöße vor sich gehende Bewegung der Molecüle eine um so gröfsere Strecke hindurch erfolge, je geringer die Dichtigkeit des Gases sei, dafs also mit zunehmender Dichtigkeit das Maafs der mittleren Weglänge, i. e. der sogen. dunkle Raum, sich verringere und letzterer bald ganz zusammenschumpfe — wird zur Erklärung des vorliegenden Versuches gesagt, »der entwickelte Wasserdampf bilde für die strahlenden Molekel ein widerstehendes Mittel, innerhalb dessen ihre Geschwindigkeit sich verringere, so dafs der Magnetismus längere Zeit auf die einzelnen Molekel einwirken und eine stärkere Krümmung der Wurflinie bewirken könne.« Dieser Erklärung zufolge würde also die Strahlung auch in einem beträchtlich verdichteten Gase stattfinden und letzteres die Rolle eines widerstehenden Mittels spielen! Ich mufs nun bemerken, dafs es mir mit einer ähnlichen Röhre, wie die von Crookes benutzte, nicht gelungen ist, die in Rede stehende Erscheinung der stärkeren Krümmung der Kathodenstrahlung bei der Entwicklung des Wasserdampfes zu beobachten. Bei sorgfältigster Beobachtung konnte ich nur constatiren, dafs mit wachsender Dichtigkeit des Wasserdampfes in der Röhre die Strahlung immer kürzer und schwächer wurde, während gleichzeitig das positive Licht in immer zahlreicheren Schichten auftrat. Dagegen vermochte ich in der Krümmung der Strahlen keinerlei Veränderung wahrzunehmen, so lange die relative Lage des Magneten zu den Röhren dieselbe blieb. Indefs versagte die Röhre — und ebenso eine zweite — schon nach wenigen Versuchen ihren Dienst, da die Wiederabsorption des Wasserdampfes durch das Aetzkali selbst nach wochenlangem Liegen nur in geringem Grade erfolgte.

Betrachtung der Erscheinungen, um zu erkennen, dafs, von einem mit der Crookes'schen Ansicht in gar keinem Zusammenhange stehenden Specialfalle abgesehen, oben erwähnte anziehende Wirkung, d. h. eine Ablenkung in der durch einen Magnetpol und die Strahlungsrichtung bestimmten Ebene zu dem Pole hin in den Crookes'schen Röhren nicht stattfindet. Ich habe die (durch Fluoreszenzlicht auf einem eingelegten Glasstreifen resp. auf den Glaswänden sichtbar gemachte) strahlende Entladung in Röhren, wie z. B. die in der Crookes'schen Broschüre in Fig. 14 abgebildete, in der verschiedenartigsten Weise der Wirkung von Stahl- oder Elektromagneten unterworfen; das Resultat war — völlig entsprechend den von Hittorf im Jahre 1869 veröffentlichten ausführlichen Beobachtungen — stets das, dafs die Entladung sich in mehr oder weniger ausgebildeten, durch das elektrodynamische Grundgesetz bestimmten Spiralwindungen um die Axé des Magneten krümmte.

In Folgendem will ich die einfachsten und das Ablenkungsgesetz daher am Deutlichsten zeigenden Versuche kurz beschreiben:

- I. Die Röhre wird rechtwinklig zu der Axé eines kräftigen Stab-Magneten über letzteren gestellt, so dafs von der Kathode aus gesehen der Nordpol rechts liegt und die Entladung genau über der Mitte des Magneten erfolgt: Die Entladung biegt sich in einer senkrechten Ebene nach unten, sie krümmt sich um den Magneten.
- II. Ohne sonstige Abänderung wird die Röhre unter den Magneten gehalten: Die Entladung biegt sich ebenso wie bei I., sie krümmt sich von dem Magneten ab nach unten.
- III. Die Röhre wird wieder über den Magneten gebracht, jedoch so, dafs jetzt der Südpol des Magneten rechts liegt: Die Entladung biegt sich wieder ohne Seitenabweichung, jedoch nach oben; sie krümmt sich von dem Magneten ab.

- IV. Die Röhre wird ebenso, jedoch unter den Magneten gestellt: Die Entladung biegt sich wie bei III., sie krümmt sich um den Magneten.
- V. Die Versuche I. und IV. werden wiederholt, jedoch so, daß die Röhrenaxe nicht mehr in der Ebene des indifferenten mittleren Querschnitts des Magneten liegt, sondern dem einen Pole näher liegt, als dem anderen: Die Entladung krümmt sich wieder um die Magnetaxe, jedoch gleichzeitig mit einer Seitenwindung nach der Mitte des Magneten hin; sie bildet eine nach unten, resp. oben und nach der Magnetmitte hin gewundene Spirale.
- VI. Mit derselben Abänderung werden die Versuche II. und III. wiederholt: Die Entladung krümmt sich wieder von dem Magneten ab, jedoch gleichzeitig mit einer Seitenwindung nach dem näher gelegenen Ende des Magneten hin; sie bildet eine nach unten, resp. oben und nach aufsen hin gewundene Spirale.
- VII. Ein Hufeisenmagnet wird unter die Röhre gehalten, sodafs von der Kathode aus gesehen, der Nordpol rechts liegt: Die Entladung wird ohne Seitenabweichung senkrecht nach unten zwischen die Pole gezogen. (Dies ist der Crookes'sche Versuch pag. 26, Fig. 14.)
- VIII. Ohne sonstige Aenderung werden die Pole des Magneten vertauscht: Die Entladung wird senkrecht nach oben abgestofsen.
- IX. Liegt in den Versuchen VII. und VIII. die Röhre nicht genau in der Mitte zwischen beiden Polen, so erfolgt gleichzeitig eine Krümmung der Kathodenstrahlen um den näher gelegenen Pol, resp. von demselben ab.
- X. Ein kräftiger Magnetstab wird der Länge nach über, unter oder neben die Röhre gelegt, sodafs die Axen beider

parallel laufen, der Südpol liege an der Kathodenseite: Die strahlende Entladung beschreibt eine Windung, welche, von der Kathode aus gesehen, sich gegen die Uhr dreht.

XI. Die Pole des Magneten werden vertauscht: Die Drehung der Strahlen geht mit der Uhr.

Alle diese Ablenkungen stimmen nun völlig mit denjenigen überein, welche ein in der Richtung der strahlenden Entladung vorhandener negativer beweglicher Stromfaden resp. ein von der Anode zur Kathode verlaufender positiver Strom unter denselben Umständen erleiden würde. Es ergibt sich dies sofort, wenn man die Richtung der positiven Molecularströme der Magnetpole beachtet und sich vergegenwärtigt, daß dieselben gleichgerichtete negative Ströme abstossen und entgegengesetzte anziehen.

In einem Magneten kreifen die positiven Molecularströme bekanntlich so, daß dieselben, von Süden her betrachtet, der Bewegung des Uhrzeigers folgen. Für die vorliegenden Versuche ist es am einfachsten, die Fiction der negativen Ströme mit entgegengesetzter Richtung festzuhalten, da die Kathodenstrahlung ja die Richtung des negativen Stromes angiebt. Bei Versuch I paßirt die Strahlung die oberen, sich mit ihr bewegenden Theile der negativen Molecularströmchen — wird also angezogen; bei Versuch IV geschieht dasselbe, weil die gleichgerichteten Stromtheile jetzt unten liegen. Bei II und III paßirt die Strahlung dagegen die sich entgegengesetzt bewegenden Theile der Molecularströme; die Folge davon ist Abstoßung. Desgleichen wird bei Versuch V die Entladung in Folge der gleichen Richtung der nahe gelegenen Theile der Molecularströme nach demjenigen Theile des magnetischen Feldes hingezogen, wo die Resultirende der anziehenden Kräfte ein Maximum ist, d. h. nach dem mittleren Querschnitt; bei Versuch VI bewirkt dieselbe Ursache eine Abstoßung von der Mitte weg nach außen hin. Die Versuche VII bis IX sind nur Modificationen der letzteren Anordnungen; desgleichen sind die Resultate der Versuche X und XI leicht in derselben Weise abzuleiten.

Zur Beobachtung der beschriebenen Ablenkung der Kathodenstrahlen genügt schon ein kräftiger Magnetstab; besonders schön und in weitem Abstände (bis zu 1 meter) schon beginnend, zeigt sich jedoch dieser Vorgang, wenn man einen kräftigen Elektromagneten anwendet. Bringt man die Röhre sehr nahe an den Pol eines solchen (Versuch V und VI), so werden die Spiralwindungen so stark aus der Axenrichtung der Röhre abgelenkt, daß sie fast senkrecht gegen letztere, d. h. im Querschnitt der Röhre verlaufen; die fluorescirende Entladung ist dann auf die unmittelbare Umgebung der Kathode zusammengedrängt. — Auch erkennt man bei Anwendung eines Elektromagneten besonders klar, daß derselbe nicht die geringste anziehende Wirkung ausübt. Wendete ich z. B. nur eine Spirale meines Elektromagneten an und brachte dann die Röhre vor den Pol, etwa den Südpol, so blieb die stark nach oben abgewendete Krümmung unverändert, sei es, daß ich die Röhre jetzt von vorne über oder unter den Magneten schob, während die axiale Ablenkung sich analog wie bei Versuch V. und VI. änderte. Offenbar hätte bei magnetischer Anziehung in beiden Fällen einfach eine directe Annäherung der Kathodenstrahlen an den Magneten stattfinden müssen.

Man kann die Ablenkungsversuche mit Hülfe eines Elektromagneten von der Art, wie ich ihn benutzte, mannichfach variiren, namentlich auch gleichzeitig zwei gleiche oder entgegengesetzte Pole anwenden; es wird jedoch nicht nöthig sein, die Verschiedenheit der Erscheinung zu beschreiben. Alle magnetischen Ablenkungsvorgänge folgen dem Ampère'schen Gesetze und daraus folgt, daß in den Crookes'schen Röhren einfache elektrodynamische Ströme existiren, welche normal von der Anode zur Kathode verlaufen.

9. Diese auch bereits von Hittorf constatirte Thatsache steht zu der Crookes'schen Hypothese in einem vollständigen Gegenfatze. Crookes selbst sagt ausdrücklich (pag. 30 u. 31), in seinen Röhren existirten keine galvanischen (elektrodynamische) Ströme, sondern Ströme von Molecülen, die mit negativer Electricität beladen seien; diese (elektrostatischen) Ströme verhielten

sich zu einem Magneten sowie auch gegeneinander wesentlich anders, wie jene. Dafs Ersteres ein Irrthum ist, habe ich oben gezeigt; weiter unten werde ich nachweisen, dafs auch letztere Behauptung mit den Thatfachen nicht in Uebereinstimmung steht.

Vorher will ich jedoch noch auf eine pag. 28, Fig. 16 der Crookes'schen Broschüre erörterte Beobachtung zurückkommen, welche durch die Art, wie sie dort besprochen ist, als ein Beweis für die Crookes'sche Hypothese erscheinen könnte. Es ist die Wirkung eines Hufeisenmagneten auf den Inductionsstrom in einem niedrigen Vacuum dargestellt und behauptet, dieselbe sei wesentlich anders als diejenige in den Crookes'schen Röhren mit sehr hohem Vacuum. Als Beweis hierfür gilt der Umstand, dafs die durch den Magneten bewirkte Ablenkung bei jenem nur in der Nähe der Pole stattfindet, während der Strom nach dem Passiren dieser Nähe wieder gradlinig wird, wogegen die in letzterem auftretende strahlende Entladung eine dauernde Ablenkung erlitten habe. Ersteres ist völlig richtig und entspricht genau der Erscheinung, wie sie z. B. stattfindet, wenn man auf einen biegsamen, continuirlichen, von einem galvanischen Strome durchflossenen Quecksilberfaden, etwa einen Ausflufsstrahl in der Nähe der Ausflufsöffnung, einen Hufeisenmagneten wirken läfst. Ich habe mich hiervon leicht durch Versuche überzeugen können und zugleich gefunden, dafs diese Ablenkung wieder genau dem Ampère'schen Gesetze conform erfolgte, wie übrigens selbstverständlich zu erwarten war. Die Erscheinung entspricht also völlig derjenigen im hohen Vacuum. Dafs der Anblick ein verschiedener ist, liegt erstens daran, dafs bei niedrigem Vacuum der auftretende rothe Funkenstrom gar keine Kathodenstrahlen enthält, sondern lediglich positives Licht ist, da das negative Licht dann auf ein Minimum reducirt ist, zweitens aber an der von Hittorf constatirten, von Crookes nicht beachteten Thatfache, dafs im hohen Vacuum das positive Licht (d. h. der entsprechende Stromabschnitt) sich mit sehr geringem Widerstande bewegt, während das negative Licht, resp. der gradlinige (strahlende) Stromabschnitt einen um so höheren Widerstand zu überwinden hat, je weiter die Ver-

dünnung der Luft getrieben worden ist. Man muß eben beachten, daß die negative Strahlung und das rothe (im hohen Vacuum weißliche) positive Licht Theile eines und desselben Stromes darstellen und daß letzteres, indem es stets die Verbindung mit ersterem sucht, wegen des geringen Widerstandes, den es findet, allen Bewegungen der Kathodenstrahlung bequem folgt, während diese selbst, um Hittorf's treffende Bezeichnung anzuwenden, »sich wie unendlich dünne, gradlinige, gewichtlose, steife Stromfäden verhalten, die nur an dem Ende, welches den negativen Querschnitt berührt, festbleiben.« Dies hat die Verschiedenheit in dem Aeußeren der Erscheinung bei niedrigem und hohem Vacuum zur nothwendigen Folge; eine Beweiskraft für die Crookes'sche Hypothese hat diese äußerliche Verschiedenheit nicht.

10. Das Verhalten der strahlenden Entladung zu elektrisch geladenen Körpern. Als einen völlig entscheidenden Beweis für die Nichtexistenz galvanischer Ströme in stark evacuirten Röhren führte Crookes seinen Zuhörern den in Figur 18 seiner Publication dargestellten interessanten Versuch vor. Die negative Entladung geht vermittelst einer Stromtheilung und eines Diaphragmas mit 2 Oeffnungen in 2 nebeneinander verlaufenden Strahlenbündeln durch die Röhre; jedoch kann auch jede der beiden Kathoden ausgeschaltet und der Strom ungetheilt durch die andere geleitet werden. Ist das Letztere der Fall, so beschreibt die Strahlung eine auf der fluorescirenden Platte sich abzeichnende leuchtende Fläche, deren Lage und Begrenzung durch die Form und die Lage der Kathode bestimmt ist. Crookes schloß nun, daß, wenn nach der Einschaltung beider Kathoden beide Strahlenbündel galvanische Ströme leiteten, sich dieselben durch gegenseitige Anziehung bemerklich machen würden, während sie aufeinander Abstoßung ausüben würden, wenn sie, seiner Hypothese entsprechend, nur Ströme von negativ elektrischen Moleculen wären. Diese Schlußfolgerung ist an und für sich zweifellos richtig. Wenn man dagegen die bei dem hohen Vacuum nur noch vorhandene geringe Stromstärke und die ohnehin nur schwache Wirkung einfacher Ströme aufein-

ander berücksichtigt und dann in Betracht zieht, daß die nach den Hittorf'schen Bestimmungen in den Röhren jedenfalls vorhandene höchst merkwürdige Vertheilung der Widerstände uns für den Fall parallel verlaufender Ströme bis jetzt ganz unbekannt ist, so leuchtet ein, daß a priori Nichts darüber zu sagen ist, ob die Anziehung wirklich eine merkliche Annäherung der beiden Ströme bewirken oder ob deren Betrag nicht durch die zwischen den Strombahnen vorhandenen Leitungswiderstände in das Gegentheil verkehrt werden wird.

II. Anders wäre es für den Fall paralleler Ströme gleichnamig elektrischer Molecüle; es ist nicht schwierig, sich über die Art, wie dieselben abstoßend aufeinander wirken würden, Rechenschaft zu geben. Die Größe der abstoßenden Kraft würde dem Producte der von ihnen fortgeführten Elektrizitätsmengen proportional sein und da in derselben Abstoßung die Ursache ihrer translatorischen Geschwindigkeit läge, so würde das Verhältniß der durch die Abstoßung der einzelnen Molecüle bewirkten seitlichen Geschwindigkeit zu jener kein verschwindend kleines sein. Auf jedes elektrische Theilchen würde somit einerseits die sehr rasch mit zunehmender Entfernung von der Kathode abnehmende abstoßende Kraft der letzteren, andererseits die wegen der geringeren Zunahme des relativen Abstandes zweier Theilchen langsamer abnehmende gegenseitige Repulsion dieser selbst wirken. Die translatorische und die seitliche Geschwindigkeit würde also in verschiedenem Maasse beschleunigt sein, d. h. die Bahn jedes Theilchens würde paraboloidisch gekrümmt erscheinen. Da dies in der ganzen Ausdehnung des Strahlenbündels der Fall sein würde, so würden die Molecüle eines solchen sich von der Kathode aus allerseits in mehr oder weniger stark gekrümmten Curven büschelförmig nach außen ausbreiten. Wären zwei Strahlenbündel vorhanden, so würden sich dieselben außerdem noch gegenseitig auseinander treiben; die Ausstrahlungsfigur würde sich entsprechend compliciren.

Die hier abgeleitete Art der Ausstrahlung gleichnamig elektrischer Theilchen läßt sich in folgender Weise sehr schön experimentell demonstrieren. Eine fein ausgezogene mit Hahn

verfehene Glasröhre wird durch einen Kautschukschlauch mit einem höher stehenden Gefäße mit Wasser oder Quecksilber verbunden, so daß beim Oeffnen des Hahnes ein feiner Springbrunnenstrahl aufsteigt. Nähert man diesem Strahle in seinem oberen discontinuirlichen Theile eine geriebene Glas- oder Ebonitstange, so werden die feinen Tröpfchen schwach nach derselben hin abgelenkt; nähert man die Stange aber dem untern continuirlichen Theile, so wird von der durch Influenz geschiedenen Electricität der gleichnamige Theil in den Flüssigkeitsbehälter zurückgestoßen, während der aufsteigende Strahl die entgegengesetzte Ladung erhält. Bei der Zertheilung desselben bildet sich somit ein Analogon der hypothetischen Crookes'schen Strahlung negativer Molecüle, d. h. sämmtliche aufsteigenden getrennten Flüssigkeitstheilchen sind gleichnamig elektrisch. In diesem Falle fliegen die feinen Tröpfchen momentan nach allen Seiten in weitem Bogen auseinander. Der Versuch gelingt um so besser, je geringer die Masse der Theilchen ist, also besser bei Wasser als Quecksilber. Aber auch bei Quecksilber war, wenn die Ausflußöffnung fein war, die krummlinige Zerstreung der Theilchen so stark, daß dieselben nur schwierig gesehen werden konnten und in einem Kreise von reichlich einem Meter Durchmesser niederfielen.

12. Gegenüber dieser experimentell bestätigten Folgerung aus den nach der Hypothese von Crookes gegebenen Voraussetzungen bilden nun die Vorgänge in den stark evacuirten Röhren einen vollständigen Gegensatz. Die von der Kathode ausgehende Strahlung verläuft völlig gradlinig, ja dieser Umstand allein hat es Crookes möglich gemacht, die Kathodenstrahlen in derselben Weise zu concentriren, wie Lichtstrahlen durch Hohlspiegel concentrirt werden können. Auch jenes vermeintlich entscheidende Experiment der beiden nebeneinander verlaufenden Entladungen beweist das Gegentheil dessen, was sein Urheber damit beweisen zu können glaubte. Crookes selbst sagt darüber lediglich Folgendes: »Beachten Sie den Weg, den die erste Linie jetzt (nachdem beide Kathoden eingeschaltet waren) einschlägt; sie biegt sich aus ihrer ersten Lage aufwärts

und zeigt so, daß sie abgestoßen wird, und wenn die Zeit es gestattete, könnte ich Ihnen zeigen, daß auch der untere Strahl aus seiner normalen Lage abgelenkt wird. Hier könnte der Ausdruck »aufwärtsbiegen« die Meinung veranlassen, als fände eine Krümmung der Entladung statt; das ist jedoch thatsächlich nicht der Fall, da beide Entladungen ebenso gradlinig verlaufen, als wenn nur eine einzige vorhanden ist. Was stattfindet, ist Folgendes: Sobald der Strom getheilt durch die Röhre geht, wird jede der beiden gleichzeitig neben einander verlaufenden Entladungen schwächer und schmaler als die eine Gesamtentladung war; dies hat schon zur Folge, daß der Zwischenraum zwischen beiden breiter wird, als der Raum, der zwischen den beiden Flächen liegt, welche die Gesamtentladung bedeckt, wenn sie entweder durch die eine oder durch die andere Kathode geht. Da immer nur eine dieser Flächen leuchtend gemacht werden kann, so kann man die Breite dieses Zwischenraumes nur abschätzen, indess ist der Unterschied unverkennbar und leicht erklärlich. Dagegen findet auch thatsächlich eine schwache Verschiebung der beiden Theilentladungen nach außen hin statt und diese Verschiebung ist es, welche Crookes als die Wirkung einer gegenseitigen Abstoßung betrachtet. Daß sie dies nicht sein kann, geht bereits aus dem oben Erörterten hervor; inwieweit die in der doppelten Strombahn anders vertheilten Leitungswiderstände oder sonstige Vorgänge die Ursache davon bilden, wird erst Gegenstand weiterer Untersuchungen sein müssen.

13. Es lag nahe, die Behauptung, daß die Kathodenentladung durch elektronegative strahlende Moleküle gebildet werde, noch einer anderen experimentellen Prüfung zu unterziehen. Wenn das hohe Potential der Elektrizität der Kathode und der Moleküle eine so rapide Abstoßung der letzteren bewirkt, so muß nothwendigerweise ein derselben von außen genäherter, mit statischer Elektrizität beladener Körper je nach dem Zeichen der letzteren ebenfalls eine starke Anziehung oder Abstoßung der Moleküle, also eine Richtungsänderung der Entladung hervorrufen. Auch hierfür liefert der oben

befprochene Versuch ein Analogon. Verbindet man nämlich den aufsteigenden Flüssigkeitsstrahl mit dem Conductor einer Elektrifirmaschine, so werden alle sich trennenden Tröpfchen von vorneherein freie Elektrizität besitzen; der Versuch zeigt, daß dann bei Annäherungeiner geriebenen Glas- oder Ebonitstange die Curven sämmtlicher Theilchen sich letzterer zu- oder von ihr abneigen. Ganz dasselbe muß eintreten, wenn die negativ geladenen Molecüle der Kathodenstrahlung dem Einflusse statischer Elektrizität ausgesetzt werden; mit Rücksicht auf die außerordentlich geringe Masse der ponderablen Materie, welche die Molecüle repräsentiren, muß bei starken elektrischen Ladungen die Wirkung eine sehr große werden.

Ich habe die hier angedeuteten Versuche durchgeführt und ein vollständig negatives Resultat erhalten. Anfänglich experimentirte ich mit geriebenen Stangen; als diese nicht die geringste Wirkung auf die Entladung ausübten, griff ich zu energischeren Mitteln. Ich verband eine flache runde Messingkapfel von 200 mm Durchmesser auf isolirendem Fufse, wie ich sie als Tisch zu Versuchen mit der Influenzmaschine anwende, mit der einen Elektrode der letzteren, während die andere zur Erde abgeleitet wurde. Die auf der Kapfel sich ansammelnde Elektrizitätsmenge war so bedeutend, daß das Experimentiren wegen der fortwährend auf Hände und Gesicht überspringenden Funken beschwerlich wurde und die Haare umstehender Personen in beträchtlicher Entfernung sich emporstreubten. Die Crookes'schen Röhren wurden sodann unmittelbar auf diesen so stark geladenen Conductor gelegt; aber die hindurch gehende strahlende Entladung erlitt nicht die geringste Einwirkung.

Dieser Versuch scheint mir für die Nichtexistenz der strahlenden Materie im hohen Vacuum vollends entscheidend zu sein.

14. Das Resultat der mitgetheilten Versuche läßt sich in Kurzem wie folgt zusammenfassen:

Während materielle Theilchen, die in fortschreitender Bewegung begriffen sind, d. h. also »strahlende Materie«, wenn sie von keinem galvanischen Strom durchflossen wird, im Allgemeinen (von Eisen und einigen wenigen Körpern abgesehen) keine merk-

liche Anziehung durch einen Magneten erfährt, dagegen, wenn sie mit statischer Electricität beladen ist, durch freie Electricität in gekrümmten Bahnen angezogen oder abgestoßen wird, zeigen die Versuche, daß die strahlende Kathodenentladung von einem Magneten sehr stark beeinflusst wird und zwar genau so, wie dies bei galvanischen Strömen geschieht, daß dagegen freie Electricität keinerlei Wirkung auf dieselbe ausübt, ebenfalls so, wie es bei galvanischen Strömen nicht geschieht. Daraus folgt mit Rücksicht auf das bisher Erörterte: erstens, daß die strahlende Entladung nicht auf der Bewegung gradlinig fortgeschleuderter, negativ geladener Molecüle beruht, zweitens, daß dieselbe völlig den Charakter eines einfachen, von der Anode zur Kathode verlaufenden galvanischen Stromes besitzt.

Die von Crookes aufgestellte Hypothese der Existenz strahlender Materie in Röhren mit sehr stark verdünnten Gasen steht folglich mit den Resultaten der besprochenen Versuche in Widerspruch.

Es versteht sich von selbst, daß dieses Ergebniss nicht ausschließt, daß von den Polen einer stark evacuirten Röhre aus ponderable Theilchen, sei es der Metalle der Elektroden, sei es der in letzteren eingeschlossen gewesenen Gase, fortgeschleudert werden; ich halte das sogar für ganz zweifellos. Worauf es aber ankommt, ist, daß dieses Fortschleudern eine secundäre Erscheinung ist, von welcher das Wesen der merkwürdigen Vorgänge, die bei der Electricitätsleitung stark verdünnter Gase auftreten, nicht abhängt. Diese Erkenntniss gewährt den Vortheil, von dem Betreten irreführender Abwege zurückzuhalten; die Erforschung der Natur dieser Vorgänge selbst bleibt eine der wichtigsten und dringendsten Aufgaben der Physiker.

Hamburg, physikalisches Cabinet, im Mai 1880.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen des Naturwissenschaftlichen Vereins in Hamburg](#)

Jahr/Year: 1880

Band/Volume: [NF 4](#)

Autor(en)/Author(s): Voller August

Artikel/Article: [Ueber die Nichtexistenz strahlender Materie in den Crookes'schen Röhren 112-131](#)