

Über die Entstehung der Röntgen'schen Strahlen und ihre photographische Wirkung

Prof. J. Puluj in Prag.

(Mit 1 Tafel und 5 Textfiguren.)

In der vorläufigen Mittheilung des Herrn Röntgen¹ über die von ihm entdeckten unsichtbaren Strahlen, welche mit ihrer photographischen Wirkung in weitesten Kreisen das lebhafteste Interesse erregen, wird bemerkt, dass nach seinen Versuchen jene Stelle der Wand der Entladungsröhre, welche von den sichtbaren Kathodenstrahlen getroffen wird und am stärksten »fluorescirt«, als Hauptausgangspunkt der nach allen Richtungen sich ausbreitenden neuen Strahlen zu betrachten sei. Diese Annahme wird auf die Beobachtung gestützt, dass, wenn die sichtbaren Kathodenstrahlen innerhalb des Entladungsapparates durch einen Magnet abgelenkt werden, auch die neuen unsichtbaren Strahlen ausserhalb des Apparates von einer anderen Stelle, und zwar wieder von dem Endpunkte der sichtbaren Kathodenstrahlen ausgehen. Ausserdem findet die Erzeugung dieser Strahlen, nach Angabe des Herrn Röntgen, nicht nur in Glas statt, sondern, wie von ihm an einem mit 2 mm starkem Aluminiumblech abgeschlossenen Apparat beobachtet werden konnte, auch in diesem Metall.

Um die Richtigkeit der Annahme des Herrn Röntgen über den Ort der Entstehung der neuen Strahlen experimentell zu prüfen, benützte ich die grosse Divergenz, mit der diese

¹ Eine neue Art von Strahlen, von Dr. W. Röntgen. Separatabdruck aus den Sitzungsberichten der Würzburger physik.-medic. Gesellschaft, 1895, S. 8.

Strahlen die Apparate verlassen, und suchte den Ausgangspunkt derselben auf graphischem Wege aus der Grösse des Schattens zu bestimmen, welcher von einem 11 mm dicken und 20 mm hohen Eisenring von 56 mm innerem und $79\cdot 2\text{ mm}$ äusserem Durchmesser auf der photographischen Platte erhalten wurde. Zu diesem Zwecke diente eine Entladungsröhre von der in Fig. 1 dargestellten Form, welche symmetrisch zu dem

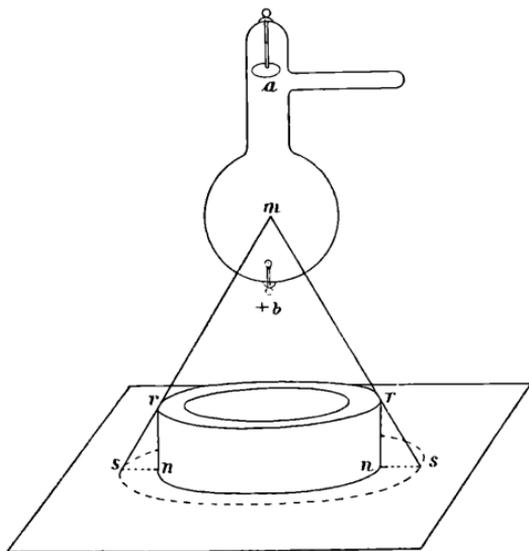


Fig. 1.

Metallringe rr , in einem bestimmten Abstande von demselben aufgestellt wurde. Die Kugel der Entladungsröhre hatte einen Durchmesser von 82 mm und der Abstand der Kathode a von der Anode b betrug 160 mm . Die Anode b wurde absichtlich gegenüber der Kathode angebracht, weil bei dem hohen Verdünnungsgrade, wie derselbe hier erforderlich ist, die sichtbaren Kathodenstrahlen entgegen der Annahme von Crookes fast ausschliesslich nur in der Richtung nach der Anode gehen¹ und, wie man durch einen Versuch leicht constatiren kann, auf der von der Anode abgewendeten Seite der Kathode fast keine Röntgen'schen Strahlen entstehen.

¹ Strahlende Elektrodenmaterie und der sogenannte vierte Aggregatzustand. C. Gerold's Sohn, Wien 1883, S. 22.

Gehen die neuen Strahlen senkrecht zur Oberfläche des kugelförmigen Glasgefässes aus, welche namentlich auf der unteren Hälfte rings um die Anode stark phosphorescirt, so müsste der für die neuen Strahlen undurchlässige Metallring auf die photographische Platte einen solchen ringförmigen Schatten $ssmn$ werfen, als ob die Strahlen vom Centrum m der Kugel ausgehen würden.

Umgekehrt liesse sich aus der Höhe rn des Metallringes und der Breite ns des ringförmigen Schattens der Abstand des Ausgangspunktes der divergirenden Strahlen von der photographischen Platte auf graphischem Wege bestimmen. Liegt die Spitze des Strahlenkegels in m , dann ist die Annahme des Herrn Röntgen richtig, fällt aber die Spitze mit der etwa 125 mm höher liegenden Kathode a zusammen, dann gehen die Strahlen von dieser aus.

Es wurden mit dem Ringe zwei Versuche ausgeführt; bei dem einen war die Entfernung der Einschmelzstelle der Anode von der photographischen Platte 65 mm , bei dem zweiten 101 mm . Die photographische Platte war in schwarzes Handschuhleder eingewickelt, welche Art der Verwendung der Platten sehr praktisch ist.

Es wurden Schattenbilder erhalten, welche in Fig. 2 und 3 (Tafel I) reproducirt sind. Es ist zu diesen Bildern zu bemerken, dass der innere Durchmesser des Schattenringes Fig. 2 um $1\cdot5\text{ mm}$ grösser ist als der des Eisenringes, weil der letztere von der photographischen Platte noch durch eine circa 2 mm dicke Lederschichte getrennt war. In Fig. 3 beträgt dieser Unterschied ungefähr $1\cdot2\text{ mm}$.

Die äusseren Umrissse der Schattenringe sind um so weniger scharf begrenzt, je kleiner der Abstand des Entladungsapparates vom Eisenring war, und die Ursache dürfte darin zu suchen sein, dass die Strahlen an den oberen äusseren Kanten des Eisenringes eine Beugung erfahren und somit ein Überfluthen der unsichtbaren Strahlung in der Richtung gegen den Eisenring stattfindet.

Mit Benützung der äussersten Umrissse der Schattenringe ergibt sich durch graphische Construction in beiden Fällen das übereinstimmende Resultat, dass die neuen Strahlen vom

Mittelpunkte der Kugel und nicht von der Kathode *a* auszugehen scheinen und wahrscheinlich, im Sinne der Röntgen'schen Annahme, von der Oberfläche der Glaskugel, und zwar senkrecht zu derselben ausgehen.

Daraus könnte weiter gefolgert werden, dass eine ebene phosphorescirende Glaswand in der Mitte ein nahezu paralleles Strahlenbündel aussenden müsste. An den Rändern der ebenen Glaswand müsste aber die Strahlung, im Sinne des Huyghen'schen Principes, noch immer divergirend erfolgen. Es ist ferner zu erwarten, dass eine phosphorescirende concave Glaswand ein conisches Strahlenbündel liefern wird, welche Folgerungen ich mir vorbehalte durch Versuche zu prüfen.

Um die Richtigkeit der Röntgen'schen Annahme über den Ausgangspunkt der neuen Strahlen noch in anderer Weise zu prüfen, benützte ich ihre Wirkung, Fluorescenz zu erzeugen, weil auf diese Weise direct gesehen werden kann, von wo die unsichtbaren Strahlen ausgehen und welche Richtung dieselben haben.

Zu diesem Zwecke diente mir meine sogenannte phosphorescirende Lampe, die ich vor 14 Jahren für Projectionszwecke construirt und in diesen Sitzungsberichten¹ beschrieben habe. Diese Lampe (Fig. 4) hat eine scheibenförmige Kathode, welche ihre Strahlen gegen einen mit Schwefelcalcium angestrichenen ovalen Glimmerschirm sendet und hier eine so starke Phosphorescenz erzeugt, dass beim Lichte dieser Lampe in Entfernungen von 4—5 *m* gelesen werden kann.

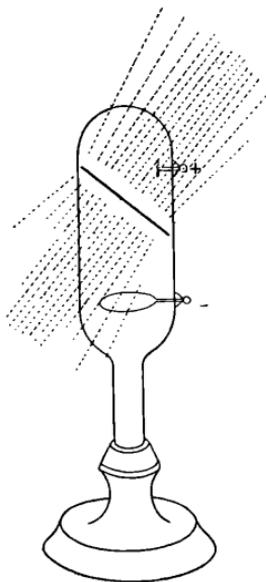


Fig. 4.

¹ Strahlende Elektrodenmaterie, IV. Abhandlung. Diese Sitzungsberichte, Bd. LXXXV.

Ist die Annahme des Herrn Röntgen über den Ausgangspunkt der neuen Strahlen richtig, so werden in meiner Lampe dieselben nicht an der Glaswand, sondern am phosphorescirenden Schirme entstehen und senkrecht den Schirm verlassen. Es war ferner im Voraus zu erwarten, dass die unsichtbare Strahlung in diesem Falle eine bedeutend stärkere sein wird als bei gewöhnlichen Röhren, bei denen nur die Glaswände verhältnissmässig schwach phosphoresciren.

Die Versuche haben diese Erwartungen bestätigt. Wurde die Lampe mit einem cylindrischen Mantel aus Cartonpapier zugedeckt und senkrecht zur Ebene des phosphorescirenden Glimmerschirmes ein mit Platin-Bariumcyanür angestrichener Papierschirm gehalten, so zeigte die starke Fluorescenzwirkung der unsichtbaren Strahlen ganz deutlich nicht bloss den Ort der Entstehung derselben, sondern auch die Richtung ihrer Fortpflanzung an. Man sah deutlich einen etwas dunkleren schiefen Streifen, entsprechend der Lage des Glimmerschirmes und rechts und links von demselben die hellen Fluorescenzstreifen, welche in Fig. 4 angedeutet sind.

Wurde der Fluorescenzschirm vertical über der Kathode gehalten, so war die Fluorescenzwirkung nur schwach, dagegen sehr stark, wenn der fluorescirende Schirm parallel zum Glimmerschirm gehalten wurde.

Als hierauf die Vertheilung der Intensität der unsichtbaren Strahlen mittelst grosser photographischer Platten näher untersucht wurde, schien es, dass die Strahlen vom Glimmerschirm auf der der Kathode zugewendeten Seite so ausgehen, als ob dieselben eine regelmässige Reflexion am Glimmerschirme erfahren würden, es fehlte jedoch die Zeit, um die Strahlen in dieser Beziehung eingehender zu untersuchen.

Die Lampe Fig. 4 gibt bei normaler Beanspruchung eine solche Fülle unsichtbarer Strahlen, dass schon eine Expositionsdauer von zwei Secunden genügt, um von Gegenständen deutliche Bilder auf photographischen Platten hervorzurufen. Will man jedoch von denselben sehr genaue Details erhalten, so muss die Expositionsdauer wesentlich grösser gewählt werden, immerhin ist aber dieselbe ungefähr viermal kleiner als bei gewöhnlichen Entladungsapparaten.

Die Lampe gibt ferner nahezu parallele Strahlen, und man erhält selbst von ausgedehnten und erhabenen Gegenständen verhältnissmässig scharfe Transparent- und nicht Schattenbilder, wie bisher fast allgemein angenommen wurde. Nur homogene und gleich dicke Platten geben reine Schattenbilder.

Neue Formen der phosphorescirenden Lampe.

Obwohl die phosphorescirende Lampe neue Strahlen von grosser Intensität gibt und für photographische Zwecke sich besser eignet als alle mir bekannten Entladungsröhren, so

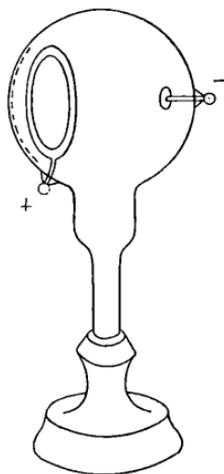


Fig. 5.

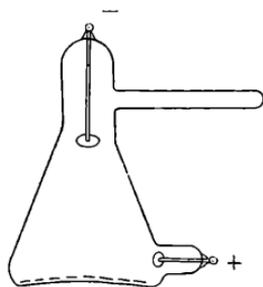


Fig. 6.

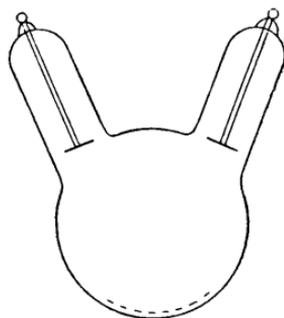


Fig. 7.

habe ich zur Erzielung einer gleichmässigeren Vertheilung der unsichtbaren Strahlung meiner Lampe noch neue Formen gegeben, welche in Fig. 5 und 6 dargestellt sind.

Die drahtförmige Anode liegt symmetrisch zur Kathode und ist seitlich eingeschmolzen. Die der Anode gegenüberliegende Glaswand ist mit Schwefelcalcium angestrichen. Ausserdem enthält die Kugel Schwefelcalcium in Pulverform, um durch Schütteln des Apparates neue Partikeln in den Weg der sichtbaren Kathodenstrahlen zu bringen, da die leuchtenden Schirme und Glaswände, wenn sie den Kathodenstrahlen längere Zeit ausgesetzt werden, sich schwärzen und weniger lebhaft leuchten.

Die Lampen Fig. 5 und 6 dienen für pulsirende Gleichströme. In Fig. 7 ist noch eine Lampe dargestellt, welche für

pulsirende Wechselströme bestimmt ist, aber auch für pulsirende Gleichströme verwendet werden kann.

Um pulsirende Wechselströme mit dem Ruhmkorff'schen Apparate zu erzeugen, ist es nur nöthig, im Secundärkreise desselben die Lampe und eine Leydener Flasche hinter einander zu schalten. Die Elektroden der Lampe wirken dann alternirend als Kathoden und senden ihre Strahlen in die Kugel, welche im Inneren ebenfalls mit einer Leuchtfarbe angestrichen ist.

Photographische Aufnahmen mit neuen Strahlen.

Bei den ersten photographischen Aufnahmen verwendete ich Entladungsapparate, von denen der eine in diesen Berichten ebenfalls beschrieben ist. Der Apparat war ähnlich dem in Fig. 1 dargestellten, nur war die Anode seitwärts eingeschmolzen und an ihrer Stelle ein Stück Pektolyth befestigt, der im Schatten eines Glimmerschirmes zum Leuchten gebracht wurde, obwohl er von den geradlinig sich fortpflanzenden Kathodenstrahlen nicht erreicht werden konnte.¹

Der zweite Apparat war kugelförmig mit zwei ungefähr je 10 *cm* langen Ansatzröhren, die an ihren Enden mit scheibenförmigen Elektroden versehen waren. Die Röhren waren auf der Kugel um 90° gegen einander versetzt, so dass die Kathodenstrahlen die Kugel in der einen oder anderen darauf senkrechten Richtung durchsetzen konnten. Senkrecht zu den beiden Richtungen waren in der Glaskugel zwei verschieden geformte Schirme aus dünnem Aluminiumblech angebracht. Diese Röhre gab vorzügliche Resultate, und die Expositionsdauer variierte bei den einzelnen Aufnahmen, je nach der Grösse des Gegenstandes und der verlangten Deutlichkeit des Bildes, von $\frac{1}{4}$ —2 Stunden.

Von vielen Aufnahmen, die in meinem Laboratorium ausgeführt wurden, sei hier die Hand eines elfjährigen Mädchens erwähnt, welche am 18. Jänner gelang und im Vergleiche zu der bekannt gewordenen Reproduction der von Herrn Röntgen abphotographirten Hand schon sehr wesentliche Fortschritte

¹ Diese Sitzungsberichte, 1881, Bd. LXXXIII, Fig. 2.

zeigte. Auf dem Bilde waren nicht bloss die Fingerknochen, sondern auch die Mittelhandknochen, die Epiphysen und der obere Theil des Radius und Ulna sehr deutlich zu sehen.

Da schon die ersten Nachrichten über die wunderbare photographische Wirkung der neuen Strahlen die Vermuthung nahe legten, dass die chirurgische Operationstechnik von der Photographie des Unsichtbaren wird Nutzen ziehen können, so liess ich mir angelegen sein, die Grenzen näher zu bestimmen, innerhalb welcher solche Anwendungen in der Chirurgie gemacht werden können.

Ich photographirte eine tuberculose Hand¹, einen in Heilung begriffenen gebrochenen Arm eines 13-jährigen Knaben², ein erschossenes Meerschweinchen, die Hand mit Revolverkugel eines Herrn P aus Köln, den Kopf eines jungen Mannes, in welchem seit einigen Jahren eine 6 *mm* Revolverkugel steckt, wobei der Besitzer sich ganz wohl befindet, einen mit Schrott angeschossenen Fusschenkel und ein neugeborenes, todes Kind. Ausserdem photographirte ich, ausser verschiedenen Thieren und Gegenständen, Hände eines vier- und zweijährigen Kindes, in welchen letzteren Fällen bei Anwendung der Lampe (Fig. 4) eine Expositionsdauer von 7—8 Minuten genügte, um deutliche und schöne Bilder zu erhalten. Bei Kindern wurden die Hände über der in Handschuhleder eingewickelten, photographischen Platte mittelst dünner Leinwandstreifen, welche für die neuen Strahlen ganz durchlässig sind, und Reissnägeln an die Tischplatte befestigt.

Die tuberculose Hand zeigte eine Verkürzung der Phalanx des Zeigefingers, in Folge dessen derselbe kürzer war, als der kleine Finger, und die morsch gewordenen Knochentheile waren in der Schattirung verschieden von dem gesunden Knochen. Bei der Hand mit gebrochenen Vorderarmknochen war deutlich zu sehen, dass bei Ulna der Callus sich bereits gebildet hat, während beim Radius ein Stück desselben fehlte, der während der Eiterung der Wunde herauskam und entfernt wurde.

¹ Die Patientin wurde von Herrn Prof. Pick beigelegt.

² Der Patient befindet sich gegenwärtig auf der Klinik des Herrn Prof. Dr. Wölfler und wurde von demselben beigelegt.

In der Hand mit der Revolverkugel sitzt die letztere genau in der Mitte am oberen Ende des Mittelhandknochens und dürfte in denselben sich eingebohrt haben und mit Callus überwachsen sein.

Die Revolverkugel im Kopfe konnte trotz anderthalbstündiger Expositionsdauer nicht gefunden werden. Zwischen der photographischen Platte und dem Kopfe war noch eine Controllkugel angebracht, aber auch diese erschien am Bilde nicht, welcher Umstand dafür spricht, dass die Strahlen von solcher Intensität, wie sie mit den uns zur Verfügung stehenden Apparaten erzeugt werden, den Kopf eines erwachsenen¹ Menschen nicht mehr durchdringen können. Es muss aber bemerkt werden, dass bei dieser Aufnahme nicht die in Fig. 4 dargestellte, sondern eine andere, bedeutend schwächere Lampe verwendet wurde.

Ebenso konnten auch die Schrottkörner im Fusschenkel nicht abphotographirt werden, wie ich vermuthete, weil die alte Lampe Strahlen von verhältnissmässig kleiner Intensität und zu grosser Divergenz lieferte. Der letztere Umstand hatte zur Folge, dass kleine Körper, wie Schrottkörner, nur dann scharf abgebildet werden, wenn dieselben ganz in der Nähe der photographischen Platte liegen; in einem bestimmten grösseren Abstände von derselben werden kleine Körper nicht abgebildet. Eine Stecknadel zwischen der photographischen Platte und der Handfläche erscheint auf dem Bilde ganz scharf, dagegen verschwindet dieselbe, wenn sie beim Photographiren auf den Arm gelegt wird. Es wird sich daher in Zukunft empfehlen, so lange man mit divergirenden Strahlen arbeiten wird, beim Suchen von Projectilen im menschlichen Körper, die photographische Platte auf jene Seite des letzteren zu geben, auf welcher das Projectil der Platte näher zu liegen kommt.

Andererseits wird man bei zwei oder mehreren Aufnahmen, die in verschiedenen Richtungen ausgeführt werden, aus der grösseren Deutlichkeit und Schärfe der Umrisse des fremden Körpers auf seine grössere Nähe zur Platte schliessen dürfen.

¹ Bei späteren Aufnahmen von kleinen Kindern gelang es selbst kleine Körper, wie Stecknadeln, durch den Kopf und den Brustkorb abzuphographiren.

Mit parallelen Strahlen wird man dagegen zweifellos auch so kleine Fremdkörper, wie eine Stecknadel, in jedem Abstand von der Platte deutlich abbilden können.

Beim erschossenen Meerschweinchen sind die Schrottkörner, wegen geringer Dicke der Weichtheile mit einer Deutlichkeit abgebildet, welche nichts zu wünschen übrig lässt.

Das todte Kind wurde zwar auch noch mit einem alten Entladungsapparate abphotographirt, aber nichtsdestoweniger ist die Darstellung der Ausdehnung der Ossification an den Extremitäten, nach Äusserung des Herrn Prof. Chiari, geradezu eine vorzügliche. Man sieht aber auch genug deutlich die ganze Wirbelsäule bis zum Kopfe, der nur zum Theil auf die Platte zu liegen kam, und die Rippen des Brustkorbes, in welchem das Herz und die Leber auch noch durch eine stärkere Schattirung angedeutet sind.

Art der Entstehung der neuen Strahlen.

Die oben festgestellte Thatsache, dass Körper, welche unter der Wirkung der sichtbaren Kathodenstrahlen stärker phosphoresciren, auch intensivere Röntgen'sche Strahlen ausstrahlen, gestattet schon jetzt bezüglich der Art ihrer Entstehung eine Ansicht auszusprechen.

Es ist zwar die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, dass, trotz der oben beschriebenen Beobachtungen, die neuen Strahlen, sowie die sichtbaren Kathodenstrahlen, doch von der Kathode ausgehen und wohl in stark verdünnten Gasen innerhalb der Glasröhre, aber nicht ausserhalb derselben, in gewöhnlicher Luft durch Magnete abgelenkt werden, es scheint mir aber die Annahme viel wahrscheinlicher zu sein, dass hier eine Umwandlung der sichtbaren Kathodenstrahlen in eine unsichtbare Strahlung durch Vermittlung von materiellen Körpern erfolgt.

Im Sinne der in diesen Berichten 1881 und 1882 veröffentlichten Theorie über »strahlende Elektrodenmaterie« stelle ich mir diese Umwandlung der Kathodenstrahlen in folgender Weise vor.

Von der Kathode werden durch den hochgespannten Strom materielle Theilchen (Elektroden- und Gastheilchen) losgerissen und senkrecht zur Oberfläche der Kathode fortgeschleudert.

Die Theilchen sind mit negativer statischer Elektrizität geladen, führen diese convectiv fort und vermitteln die Stromleitung zwischen beiden Elektroden und den Glaswänden. Treffen diese materiellen, negativ elektrischen Theilchen die Glaswände oder andere feste Körper, so wird ausser der Erschütterung der körperlichen Moleküle auch ein Ausgleich ihrer elektrischen Ladungen erfolgen, welcher Ausgleich ohne Erschütterung der Ätherhüllen der Moleküle nicht vor sich gehen kann. Jede getroffene Stelle der Glaswand oder eines Schirmes wird zum Ausgangspunkte von Ätherwellen, ähnlich wie eine Saite oder eine Platte, vom Luftstrom continuirlich bestrichen, nach allen Richtungen Schallwellen von verschiedener Schwingungsdauer aussenden.

In Folge der in den Raum austretenden Ätherwellen leuchtet ein mit Schwefelcalcium angestrichener Schirm mit dem dieser Substanz eigenen Lichte. Ausser diesen sichtbaren Strahlen der Phosphorescenz entstehen aber noch unsichtbare Strahlen mit anderer Schwingungsdauer, und das sind die vom Herrn Röntgen entdeckten unsichtbaren Strahlen, die auch möglicherweise nicht transversal, wie das Phosphorescenzlicht, sondern longitudinal schwingen könnten, obwohl bisher noch kein zwingender Grund für diese Annahme vorliegt.

Es ist auch a priori zu erwarten, dass Körper, welche durch Kathodenstrahlen leichter zur Phosphorescenz angeregt werden, auch eine intensivere unsichtbare Strahlung geben werden.

Zum Schluss sei hier noch die Beobachtung mitgetheilt, dass evacuirte Röhren ohne Elektroden, Glühlampen, Radiometer und andere Vacuumapparate in den Weg der Röntgen'schen Strahlen gebracht, im dunklen Zimmer Entladungerscheinungen zeigen und desto heller leuchten, je näher dieselben an den Apparat gebracht werden. Bei Anwendung des Apparates (Fig. 1) hört das Leuchten der elektrodenlosen Röhre sofort auf, wenn b zur Kathode gemacht wird, welcher Umstand dafür zu sprechen scheint, dass die elektrische Entladung in der Vacuumröhre nicht durch den Ruhmkorff'schen Apparat hervorgerufen wird.

J. Puluj: Entstehung der Röntgen'schen Strahlen.

Fig.

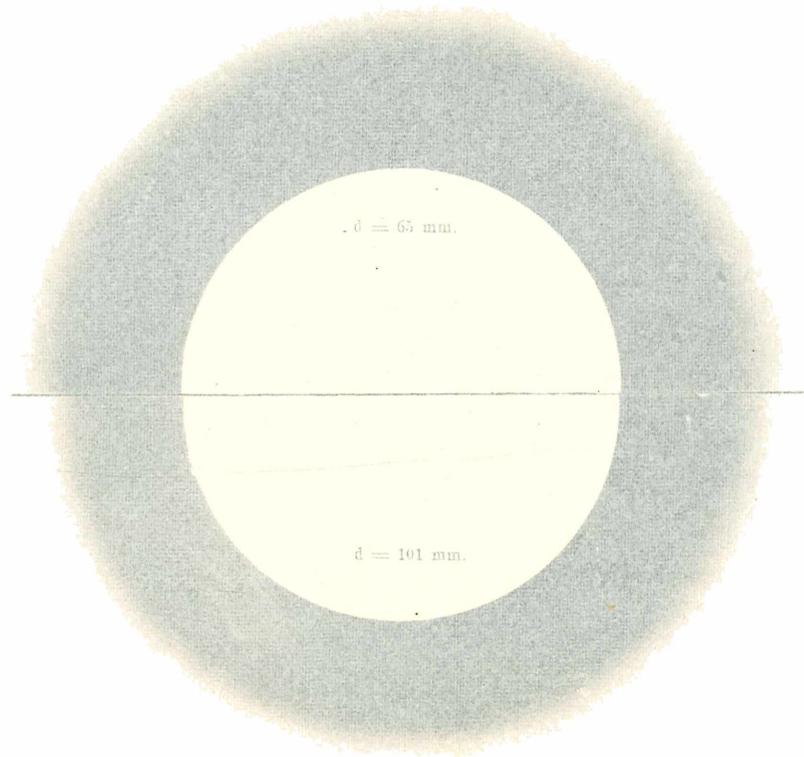


Fig.

x

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse](#)

Jahr/Year: 1896

Band/Volume: [105_2a](#)

Autor(en)/Author(s): Puluj J.

Artikel/Article: [Über die Entstehung der Röntgen'sehen Strahlen und ihre photographische Wirkung 228-238](#)