



Der Graetz für Alle

Graetz, Leo

Stuttgart, 1929

Neuntes Kapitel. Der Durchgang der Elektrizität durch Gase / Die
Röntgenstrahlen.

[urn:nbn:de:hbz:466:1-83225](#)

NEUNTES KAPITEL

DER DURCHGANG DER ELEKTRIZITÄT DURCH GASE DIE RÖNTGENSTRÄHLEN

Die Luft und andere Gase treten im Gebiet der Elektrizität zunächst als sehr vollkommene Isolatoren auf. Die geringste Luftstrecke, in den Kreis eines galvanischen Stromes eingeschaltet, verhindert das Weiterfließen des Stromes. Nur wenn der Strom sehr starke Spannung besitzt, dann wird der Widerstand der Luft von ihm überwunden, und es bildet sich ein elektrischer Funke. Diesen fast vollkommenen Mangel an Leistungsfähigkeit besitzen aber die Gase nicht unter allen Umständen. Man kann ja die Gase mittels der Luftpumpen in einem Raum beliebig verdünnen, und solche verdünnte Gase zeigen durchaus nicht mehr die elektrische Starrheit, wie Gase unter gewöhnlichem Druck, sie gestatten vielmehr der Elektrizität recht leicht den Durchgang, zeigen aber dabei eine ganze Reihe von merkwürdigen Erscheinungen, die für die Erklärung der Elektrizität hervorragend wichtig geworden sind. Um durch ein verdünntes Gas die Elektrizität hindurchsenden zu können, muß man in das Gefäß, welches das Gas enthält, zwei Drähte oder Platten einführen (einschmelzen oder einkitten), welche mit der Elektrizitätsquelle verbunden werden können. Diese bezeichnet man auch hier als *Elektroden* und unterscheidet auch hier *Anode* und *Kathode* (positive und negative Elektrode). In **Fig. 141** ist ein Rohr abgebildet, in welches zwei Elektroden eingeschmolzen sind, und zwar eine Spalte und eine Platte. Solche Röhren werden vor dem Zusammenschmelzen an eine Luftpumpe angesetzt und ausgepumpt, bis die Luft genügend verdünnt ist. Die dazu nötigen Verbindungsstücke sind in der Figur weggelassen. Wenn man nun in einem solchen Rohr die Luft mit der Luftpumpe allmählich verdünnt und die Elektroden des Rohres mit der sekundären Rolle eines Induktionsapparates verbindet, so sieht man (**Fig. 142**), wenn der geringe Druck von

Fig. 141



Fig. 142



DER DURCHGANG DER ELEKTRIZITÄT DURCH GASE • DIE RÖNTGENSTRÄHLEN

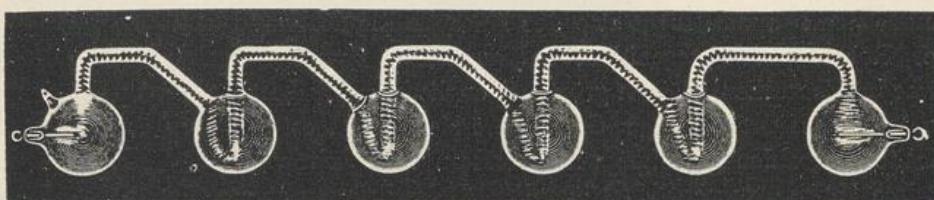
etwa 6 bis 8 mm erreicht ist, zwischen den beiden Elektroden ein helles, violettes Lichtband sich erstrecken, welches nicht die Breite der Röhre ausfüllt, welches auch nicht ganz geradlinig verläuft, welches aber scheinbar vollkommen von der einen Elektrode bis zur anderen sich erstreckt. Macht man den Druck noch geringer, 1—3 mm, so bleibt immer ein solches violettes Licht zwischen den Elektroden, welches aber allmählich die ganze Breite der Röhre ausfüllt. Von einem bestimmten Druck an aber erkennt man, daß dieses Licht *geschichtet* ist. Es sind auf der ganzen Länge der Röhre abwechselnd *helle und dunkle Schichten* in nahezu gleichem Abstand voneinander vorhanden.

Röhren von sehr verschiedener, oft sehr kunstvoller Form, die so weit evakuiert sind, wurden von Geißler in Bonn in den Handel gebracht und heißen deshalb *Geißlersche Röhren*. Ist ein solches Rohr gebogen oder gekrümmmt, wie in **Fig. 143**, so folgt die Entladung, das violette Licht, allen Krümmungen des Rohres, und der Strom geht auf ihm durch die Luft in dieser geschichteten Weise von der positiven zur negativen Elektrode über.

Bei schärferer Beobachtung findet man aber, daß doch nicht die violettroet Entladung sich von der positiven bis ganz zur negativen Elektrode erstreckt. Vielmehr sieht man, daß die negative Elektrode mit einem bläulichen Licht umgeben ist und daß das violette Licht nur bis nahe an dieses bläuliche Licht herankommt, aber doch von diesem noch durch einen kleinen dunklen Zwischenraum getrennt ist. Die leuchtende Entladung geht also von der positiven Elektrode aus, aber nicht ganz bis zur negativen Elektrode hin. Man nennt deshalb dieses helle, im Falle der Luft violette, bei anderen Gasen anders gefärbte Licht das *positive* Licht oder die positive Entladung. Den dunklen Zwischenraum zwischen dem Ende des positiven Lichts und der Kathode nennt man den (*Faradayschen*) *Dunkelraum*.

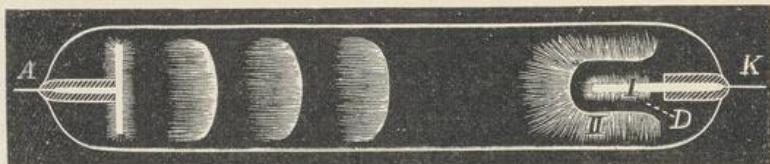
Die negative Elektrode ist mit bläulichem Licht bedeckt. Bei genauer Beobachtung aber erkennt man, daß man an der negativen Elektrode noch mehrere Schichten zu unterscheiden hat. Unmittelbar auf der Kathode findet man nämlich in Luft eine Schicht goldgelben Lichts, welches man als *erste Kathodenschicht* bezeichnet. Das eigentliche, leicht erkennbare blaue Licht, das man als *zweite Kathodenschicht* bezeichnet, ist von der ersten Kathodenschicht durch einen kleinen dunklen Zwischenraum getrennt, den man den *Hittorf'schen Dunkelraum* nennt. Die beiden Kathodenschichten und diesen Zwischenraum zusammen bezeichnet man als *negatives Glimmlicht*. **Fig. 144** gibt schematisch

Fig. 143



NEUNTES KAPITEL

Fig. 144



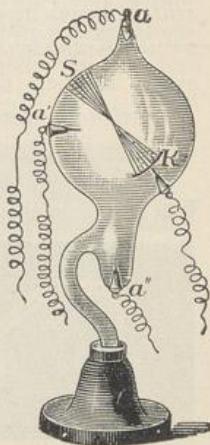
das Aussehen der Entladung in einer solchen Röhre. K ist die drahtförmige Kathode, die von der ersten Kathodenschicht I bedeckt ist; nach dem *Hittorf*-schen Dunkelraum D folgt die zweite Kathodenschicht II, nach dieser der *Faradaysche* Dunkelraum und dann die positive, hier geschichtete Lichtsäule bis zur plattenförmigen Anode A.

Das Leuchten der Gase in den Geißlerröhren ist im allgemeinen nur durch eine Stromquelle von hoher Spannung, wie sie der Induktionsapparat bietet, zu erzielen. Es hat sich aber gezeigt, daß einige Edelgase, insbesondere das *Neon*, schon bei der geringen Spannung von 220 Volt in geeignet gestalteten Röhren zum Leuchten kommen. Darauf beruht die *Glimmlampe*, die wir schon S. 99 angeführt haben und welche besonders wegen ihres schönen orangerosa Lichts für Reklamezwecke angewendet wird.

Wenn man aus einer Röhre, die eine Erscheinung bietet, wie sie in Fig. 144 dargestellt ist, die Luft noch viel weiter auspumpt, also noch höhere Verdünnungen hervorbringt, etwa bis 0,01 mm oder 0,001 mm Druck, so werden die Erscheinungen andere. Zunächst werden sie weniger glänzend. Das positive Licht geht nämlich dann immer weniger weit von der Anode fort, der *Faradaysche* Dunkelraum wird immer größer. Man kann es durch genügende Evakuierung bewirken, daß das positive Licht ganz verschwindet und daß das ganze Innere der Röhre dunkel ist. Aber mit der allmählich steigenden Verdünnung beginnt, wie zuerst *Hittorf* 1869 entdeckt und dann 1879 *Crookes* nachentdeckt hatte, eine andere Erscheinung. Es zeigt sich nämlich, daß die Glaswand der Röhre da, wo sie der Kathode gegenüberliegt, hellgrün zu leuchten anfängt.

Man erklärt sich das so, und der Beweis dafür wird im folgenden geführt werden, daß von der Kathode Strahlen ausgehen, welche an sich unsichtbar sind, welche aber das Glas, auf das sie treffen, zum hellen Selbstleuchten, *Fluoreszieren*, anregen. Diese Strahlen nennt man *Kathodenstrahlen*, und Röhren, welche sie zeigen, *Hittorf'sche* oder *Crookessche* Röhren. Die Kathodenstrahlen gehen immer genau senkrecht zur Kathode fort, ganz unabhängig davon, wo die Anode sich befindet. Liegt also der Kathode die Glaswand der Röhre gerade gegenüber, so fluoresziert diese, und zwar bei deutschen Gläsern grün, bei englischen (bleihaltigen) blau. Nicht bloß das Glas fluoresziert, wenn es von Kathodenstrahlen getroffen wird, sondern auch sehr viele andere Körper, namentlich Mineralien. Befestigt man etwa

Fig. 145



DER DURCHGANG DER ELEKTRIZITÄT DURCH GASE • DIE RÖNTGENSTRÄHLEN

absichtlich in einer Röhre ein Mineral so, daß es der Kathode gegenüberliegt, so fluoresziert dieses in einer ihm eigentümlichen Farbe. Wenn man, wie in **Fig. 145**, die Kathode K hohlspiegelförmig macht, so vereinigen sich die Kathodenstrahlen, da sie immer senkrecht zur Kathode austreten, in dem Mittelpunkt des Hohlspiegels, einem *Brennpunkt*, und gehen dann auseinander und erregen die Glaswand bei S zur Fluoreszenz, wobei es ganz gleichgültig ist, ob man a oder a' oder a'' als Anode benutzt.

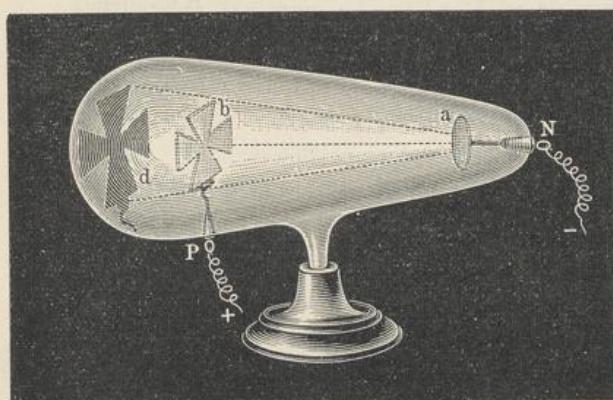
Der schärfste Beweis dafür, daß die Kathodenstrahlen sich ganz geradlinig ausbreiten, ist von Crookes durch eine Röhre, wie **Fig. 146**, geliefert worden. Dieser Apparat zeigt nämlich, daß, wenn man einen undurchlässigen Körper in den Weg der Kathodenstrahlen stellt, dieser dann einen scharfen Schatten wirft. In der Röhre ist bei b ein Metallkreuz befestigt. Bei a ist die Kathode, bei P die Anode. Die Kathodenstrahlen, die von a ausgehen, erregen die gegenüberliegende Glaswand zu heller Fluoreszenz, überall wo sie sie treffen. Wo aber die Kathodenstrahlen durch das Kreuz abgefangen sind, bleibt die Glaswand dunkel. Man sieht daher ein dunkles Kreuz d, mit ganz scharfen Rändern, auf grünem Grunde an der Glaswand.

Die Kathodenstrahlen laden jeden Körper, auf den sie fallen, negativ elektrisch, sie werden sowohl durch einen genäherten Magneten wie auch durch einen in die Nähe gebrachten elektrisch geladenen Körper von ihrer Bahn abgelenkt. Daraus und aus ihren sonstigen Eigenschaften hat man den Schluß gezogen, daß die Kathodenstrahlen aus elektrisch geladenen Körperchen bestehen, welche von der Kathode geradlinig, und zwar sehr rasch, fortfliegen. Und zwar sind diese Körperchen negativ geladen. Aus der genauen quantitativen Untersuchung dieser Erscheinungen aber hat sich weiter ergeben, daß wir in den Kathodenstrahlen die Atome der negativen Elektrizität selbst, die negativen *Elektronen*, finden, welche mit sehr großer Geschwindigkeit von der Kathode sich fortbewegen. Hier, in diesen gasverdünnten Räumen, treten

die Elektronen frei für sich auf, während sie bei der Elektrolyse, wie wir gesehen haben, immer mit den körperlichen Atomen verbunden erscheinen.

Man muß natürlich fragen: Wenn in den Kathodenstrahlen die negativen Elektronen sich bewegen, wo sind dann die *positiven Elektronen*? Denn da das Gas vor dem Durch-

Fig. 146

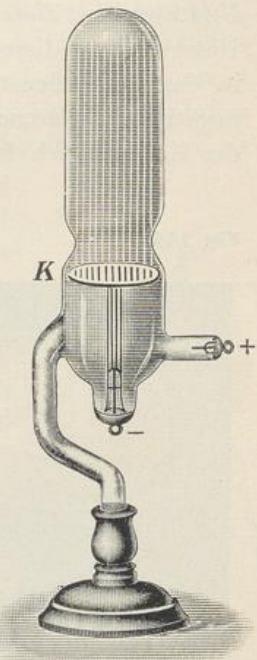


NEUNTES KAPITEL

gang des Stromes unelektrisch ist, so müssen außer den negativen auch positive Teilchen vorhanden sein. In der Tat bewegen sich in einer solchen evakuierten Röhre auch positiv geladene Teile. Während aber die negativen Teilchen von der Kathode fortfliegen, müssen umgekehrt positive Teilchen auf die Kathode zufliegen. Am einfachsten findet man daher die positiven Teilchen, wenn man die Kathode in der Mitte einer Röhre anbringt und sie mit Löchern, Kanälen versieht. Wenn dann ein Strom durch die Röhre hindurchgesendet wird und die Kathodenstrahlen von der Kathode nach der einen Seite der Röhre geradlinig ausgehen (nach derjenigen Seite, an welcher die Anode sich befindet), so findet man, daß von den Löchern aus nach der anderen Seite der Röhre sich ebenfalls leuchtende strahlenartige Gebilde ausbreiten, die von *Goldstein* entdeckt wurden und die man eben wegen dieser Kanäle in Deutschland *Kanalstrahlen* nennt. Im Ausland werden sie als *positive Strahlen* bezeichnet. **Fig. 147** zeigt eine solche Kanalstrahleröhre. Man sieht in der Röhre eine scheibenförmige Elektrode K, mit Schlitten versehen. Diese wird zur Kathode gemacht. Die Anode befindet sich rechts. Von der Kathode aus gehen dann die Kathodenstrahlen in der Röhre nach unten, in denjenigen Raum, in welchem sich die Anode befindet. Dagegen sieht man durch die Schlitze rosa gefärbte Strahlen nach oben in die Röhre gehen. Dies sind die Kanalstrahlen. Es hat sich gezeigt, daß diese stets *positive* Ladung besitzen. Während aber die negativen Elektronen sich frei von Materie für sich bewegen können, sind die positiven Elektronen auch hier in verdünnten Gasen noch immer mit den Atomen oder Molekülen fest verbunden. Man muß deshalb besser sagen, daß in den Kanalstrahlen *positive Ionen*, nicht positive Elektronen sich bewegen.

Wenn das Vakuum einer Röhre immer größer und größer gemacht wird, wenn also die Luft aus der Röhre immer weiter ausgespumpt wird, so braucht man immer größere Spannung an den Enden der Röhre, um Kathodenstrahlen in ihr zu erzeugen. Und man kommt dabei schließlich an eine Grenze, in welcher mit unseren Mitteln direkt keine Entladung mehr durch die Röhre geht. Hier aber hilft ein anderer Vorgang. Wenn man nämlich die Kathode einer Röhre stark erhitzt, bis auf Weißglut, so fliegen von dieser Kathode aus negative Elektronen von selbst in die Röhre hinein, auch wenn diese auf das äußerste evakuiert ist. Und wenn der Kathode eine positiv geladene Anode gegenübersteht, so bekommen diese Elektronen auch große Geschwindigkeiten, so daß sie wie Kathodenstrahlen wirken. Man nennt die Erscheinung, daß von erhitzten Kathoden negative Teilchen fortfliegen, *Elektronenemission* und bezeichnet

Fig. 147



DER DURCHGANG DER ELEKTRIZITÄT DURCH GASE • DIE RÖNTGENSTRÄHLEN

die Lehre von dieser als *Thermionik* und hat von dieser Erscheinung eine Anzahl höchst wichtiger Anwendungen gemacht, von denen wir sprechen werden. Außer den Kathodenstrahlen und den Kanalstrahlen tritt aber in evakuierten Röhren noch eine dritte Art von Strahlen auf, welche *Röntgen* 1896 entdeckte und die wichtige praktische Anwendungen zeitigte. Röntgen fand nämlich, daß von derjenigen Stelle des Glases einer Hittorf'schen Röhre, welche von den Kathodenstrahlen getroffen und zur Fluoreszenz erregt wurde, daß von dieser Stelle neue Strahlen in die Luft ausgehen. Diese wirken nämlich auf photographische Platten, die außerhalb der Röhre sich befinden, und sie erregen fluoreszenzfähige Körper außerhalb der Röhre zum Leuchten (Fluoreszieren). Umhüllt man also eine Hittorf'sche Röhre mit einem schwarzen Karton oder mit schwarzem Tuch und bringt man in die Nähe der von den Kathodenstrahlen getroffenen Stelle des Glases einen Papierkarton, der mit Bariumplatinzyanür, einem stark fluoreszierenden Körper, bestrichen ist, so findet man, daß dieser hellgrünlich aufleuchtet. Bringt man ebenso in die Nähe eine photographische Platte, so wird diese belichtet. Denn wenn man sie in gewöhnlicher Weise entwickelt, so zeigt sie sich vollkommen geschwärzt.

Diese Strahlen, die *Röntgenstrahlen*, gehen von derjenigen Stelle aus, welche von den Kathodenstrahlen getroffen ist, sei es von dem Glas der Röhre oder von irgend einem innerhalb der Röhre eingeschmolzenen Körper, den man so angebracht hat, daß ihn die Kathodenstrahlen treffen.

Die wichtigste Eigenschaft dieser Strahlen ist die, daß sie eine sehr große Durchdringungsfähigkeit für die verschiedensten Körper besitzen. Sie gehen durch die meisten nichtmetallischen Körper leicht hindurch, durch die gewöhnliches Licht nicht hindurchdringt. Insbesondere ist das Holz für diese Strahlen sehr leicht durchlässig. Sie passieren das Holz ebenso leicht wie die gewöhnlichen Lichtstrahlen das Glas. Daraus folgt, daß, wenn man eine photographische Platte durch sie belichten lassen will, man diese Platte ruhig in eine Holzkassette eingeschlossen ihnen exponieren darf. Ebenso wie das Holz sind aber auch andere undurchsichtige Körper, Ebonit, Kautschuk, Wachs, Kork, Kohle, Graphit, leicht durchlässig, ja auch Aluminium gestattet diesen Strahlen ganz ebenso leicht den Durchgang wie Glas. Die schweren Metalle sind viel undurchlässiger, aber auch nicht vollständig. Auch durch Eisen, Silber, Gold, Kupfer in dünnen Schichten gehen die Strahlen. Blei ist am allerwenigsten durchgängig. Überhaupt läßt sich in erster Annäherung sagen, daß ein Körper umso leichter den Röntgenstrahlen den Durchgang gestattet, je leichter er spezifisch ist, umso schwerer also, je dichter er ist. Aluminium und Glas, die ziemlich gleich dicht sind, haben die gleiche Durchlässigkeit für Röntgenstrahlen, obwohl das eine für gewöhnliches Licht durchsichtig, das andere ganz undurchsichtig ist. Unterschiede in der Dichtigkeit zwischen verschiedenen Körpern geben auch Unterschiede in der Durchlässigkeit. Darauf beruht nun der Versuch, der diesen Strahlen so rasch ihre Popularität verschafft hat. Es gelingt dadurch, aus umhüllten oder verschlossenen Körpern den Inhalt zu photogra-

NEUNTES KAPITEL

phieren, wenn der Inhalt dichter ist als die Umhüllung. So kann man aus einem verschlossenen Portemonnaie das Geld, aus Holzblöcken etwa darin enthaltene Schrauben, aus der Hand die Knochen photographieren, wie letzteres in **Fig. 148** dargestellt ist, weil eben die Geldstücke weniger durchlässig sind als das Leder, die Schrauben weniger als das Holz, die Knochen und der Ring weniger als das Fleisch.

Jeder Körper, der von Kathodenstrahlen getroffen wird, ob er innerhalb der Röhre oder an der Röhrenwand sich befindet, wird an der getroffenen Stelle Ausgangsstelle von Röntgenstrahlen. Der Körper kann sichtbar fluoreszieren, wie es das Glas der Röhrenwand oder eingeschmolzenen Mineralien tun, der Körper kann aber auch ein Metall sein, welches nicht fluoresziert. Allgemein bezeichnet man einen in die Röhre eingeschmolzenen Körper, welcher von den Kathodenstrahlen getroffen wird und daher Röntgenstrahlen aussendet, als die Antikathode der Röhre.

Um möglichst scharfe photographische oder fluoreszierende Bilder zu erhalten, muß man danach trachten, die Röntgenstrahlen möglichst von einem Punkt ausgehen zu lassen, nicht von einer ganzen Fläche. Das erzielt man einfach dadurch, daß man die Kathode der Röhre hohlspiegelartig macht, da ja die Kathodenstrahlen dann in einem Punkt, dem Mittelpunkt des Hohlspiegels, zusammentreffen. Bringt man nun ungefähr an die Stelle dieses Mittelpunktes ein Metallblech in das Innere der Röhre, so wird dieses die Antikathode, und von ihm gehen dann die Röntgenstrahlen aus. Man bezeichnet derartige Röntgenröhren als *Fokusröhren*. **Fig. 149** zeigt eine solche Röhre. Man sieht links bei K die hohlspiegelartig geformte Kathode, rechts bei A die Antikathode, eine abgeschrägte Platinfläche an einem dicken Kupferstab, die in dem Brennpunkt der Kathodenstrahlen angebracht ist. Bei + ist die Anode der Röhre, doch kann man auch die Antikathode selbst zur Anode machen. Die Platinantikathode, auf der je nach der genauen Einstellung ein kleiner oder größerer *Brennfleck* sichtbar ist, sendet von der bestrahlten Seite aus die Röntgenstrahlen durch den vor ihr liegenden Teil der Glaskugel, welche dabei schön grün fluoresziert, nach außen.

Fig. 148

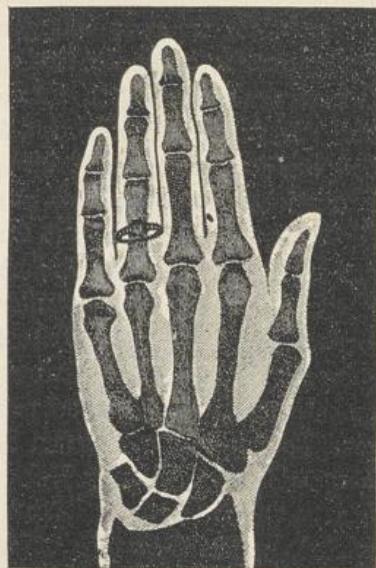
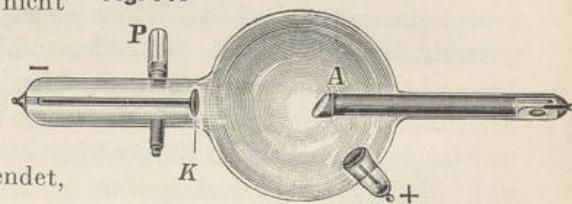


Fig. 149



DER DURCHGANG DER ELEKTRIZITÄT DURCH GASE • DIE RÖNTGENSTRÄHLEN

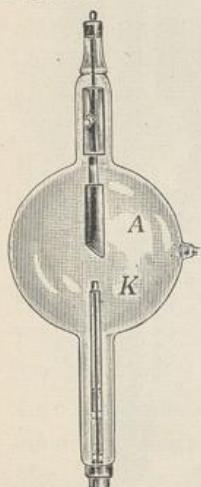
Je höher das Vakuum der Röhre ist, umso größer muß die Spannung sein, die an sie angelegt werden muß, um Kathodenstrahlen zu erzeugen, um so durchdringender werden aber auch die Röntgenstrahlen. Man unterscheidet die Röntgenstrahlen als *harte* und *weiche*, harte gehen durch dicke Schichten von Stoffen hindurch, weiche nur durch dünne.

Die Röntgenröhren werden aber jetzt fast ausschließlich nach dem Prinzip der *Glühkathoden* konstruiert. Bei diesen werden die Elektronen, die durch ihren Anprall auf die Antikathode die Röntgenstrahlen erzeugen sollen, durch eine glühende Kathode entwickelt. Wir haben oben S. 150 f. diese Erscheinungen der Thermionik besprochen. Durch solche *Elektronenemission* glühender Körper kann man also in einer möglichst gasfreien Röhre die genügende Zahl von Elektronen, und zwar in regulierbarer Anzahl, frei machen, damit sie beim Aufstoßen auf die Antikathode Röntgenstrahlen erzeugen. Dieses Prinzip ist zuerst von *Coolidge* in der jetzt üblichen Art angewendet worden.

Die *Glühkathodenröhre* (*Coolidge-Röhre*), **Fig. 150**, unterscheidet sich dem äußeren Ansehen nach wenig von einer der früher gebräuchlichen Röntgenröhren, aber sie ist eben möglichst gasfrei gemacht. Die Kathode jedoch ist besonders eingerichtet, sie besteht aus einer Heizspirale aus Wolfram, die von einer konischen Hülle aus Molybdän umgeben ist. Ihr gegenüber steht eine starke Antikathode A aus Wolfram, die bei dem Betrieb der Röhre infolge des Elektronenbombardements zu heller Gelbgelut kommt. Die Kathode wird von einem regulierbaren Heizstrom geheizt. Je höher die Temperatur der Kathode wird, umso mehr Elektronen gehen von ihr aus, umso größer ist daher die Menge, also die *Intensität* der Röntgenstrahlen. Je höher die Spannung ist, die zwischen Kathode und Antikathode angelegt wird, umso rascher bewegen sich die Elektronen, umso *härter* sind die erzeugten Röntgenstrahlen. Man kann so die Stärke und die Härte der Strahlen unabhängig voneinander regulieren.

Bei den Röhren für medizinische Diagnostik kommt es wesentlich darauf an, erstens sehr scharfe Bilder zu erhalten und zweitens sehr intensive Röntgenstrahlen anzuwenden, um die Expositionszeit zu verkürzen. Scharfe Bilder verlangen einen sehr kleinen Brennfleck auf der Kathode, der möglichst punktartig wirken soll. Sehr intensive Strahlen aber, die große Energie besitzen, erhitzen die Antikathode sehr stark, so daß man intensive Wasserkühlung anwenden muß. Ein wesentlicher Fortschritt in dieser Richtung ist durch die *Mediaröhre* von C. H. F. Müller in Hamburg erzielt. Bei dieser, die durch **Fig. 151** dargestellt ist, besteht die Kathode nicht aus einer Spirale, sondern aus einem Glühfaden, der auf der nur wenig abgeschrägten Antikathode einen strichförmigen Brennfleck (*Strichfokus*) erzeugt (von 4×16 mm). In der Hauptstrahlrichtung erscheint er aber nur von der Größe 4×4 mm, so daß er

Fig. 150



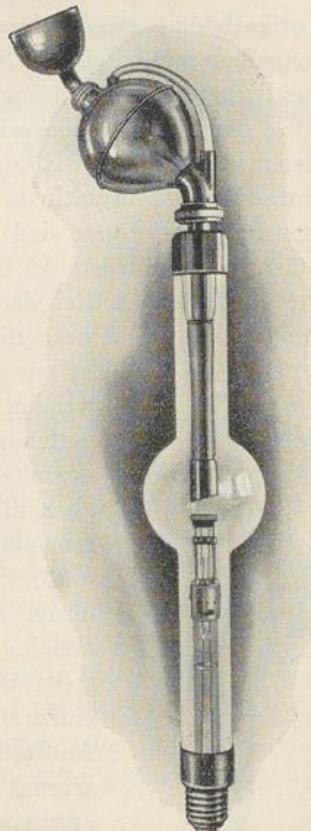
NEUNTES KAPITEL

ziemlich punktförmig, namentlich für größere Entfernungen, wirkt und doch eine starke Belastung verträgt. In der Tat kann diese Röhre mit 10 Kilowatt belastet werden (z. B. 125 Milliampere bei 80 000 Volt Spannung). Durch das oben angesetzte Wassergefäß wird die Antikathode gekühlt. Bei den Diagnostikröhren verwendet man meistens Spannungen bis etwa 80 Kilovolt und Stromstärken bis über 100 Milliampere, während bei den Röhren für die ärztliche Therapie sehr viel höhere Spannungen, bis 250 Kilovolt, angewendet werden, dafür aber die Stromstärke bedeutend geringer bleibt (4—8 Milliampere).

Die Röntgenstrahlen erlauben auch eine direkte *Durchleuchtung* des Körpers, so daß man, auch ohne Photographie, direkt das Innere desselben sehen kann. Dies beruht auf ihrer Eigenschaft, daß sie fluoreszenzfähige Körper zu sehr hellem Leuchten bringen. Man stellt Fluoreszenzschirme häufig her, die aus einem schwarzen Karton mit aufgestrichenem Bariumplatinzyanür, einem grünlichgelben Pulver, bestehen. Diese Schirme leuchten im Dunkeln, wenn sie von der Rückseite durch den Karton hindurch von Röntgenstrahlen getroffen werden, außerordentlich hell, weiß mit einem Stich ins Grüne. Bringt man nun zwischen die Röhre und den Schirm etwa eine Hand, so gehen die Röntgenstrahlen durch die Knochen der Hand nur schwach hindurch, und infolgedessen wird der Schirm an diesen Stellen nicht leuchtend, während er an den Stellen, wo die Strahlen das Fleisch passiert haben, hell aufleuchtet. Daher sieht man auf dem Schirm direkt ein Schattenbild der Knochen der Hand mit bloßem Auge, also ohne jede Photographie. Nicht bloß die Knochen der Hand und des Fußes kann man auf diese Weise sofort sehen, sondern auch die des Unter- und Oberarmes, des Unter- und Oberschenkels und auch die Rippen des Brustkastens. Durch Drehen und Bewegen der Körperteile kann man die entsprechende Bewegung der Knochen direkt verfolgen. Ja, die Schirme leisten noch mehr. Man kann nämlich auch, wegen ihrer verschiedenen Durchlässigkeit, innere weiche Organe, das Herz, das Zwerchfell, den Magen, sogar die Lunge direkt mit ihnen beobachten. Ja, man kann sogar die Bewegung des Zwerchfells beim Atmen und die Bewegung des Herzens bei seiner fortwährenden Tätigkeit direkt mit bloßem Auge dabei verfolgen.

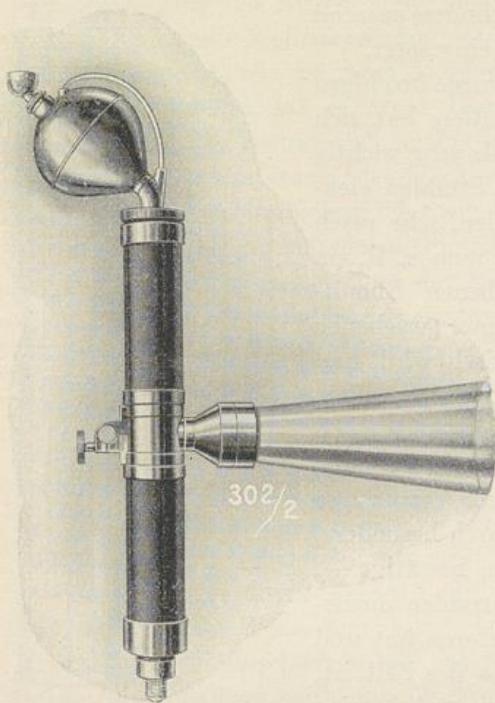
Die Erfolge, die mit dieser Methode in der Medizin täglich erzielt werden, namentlich zur Auffindung von Fremdkörpern, Kugeln,

Fig. 151



DER DURCHGANG DER ELEKTRIZITÄT DURCH GASE • DIE RÖNTGENSTRÄHLEN

Fig. 152



Nadeln, Metallsplittern im Körper, aber auch zur Untersuchung der inneren Organe, der Größe des Herzens usw., sind unschätzbar. Unzählige in dem Kriege Verwundete konnten dadurch auf möglichst einfache Weise und mit geringsten Schmerzen, da man die Lage des Geschosses sofort erkennen konnte, geheilt werden. Aber nicht bloß für die Diagnose, sondern auch für die Bekämpfung und Heilung von Krankheiten, namentlich in der Gynäkologie, und speziell zur Heilung des Krebses, haben sich die Röntgenstrahlen wertvoll erwiesen. Allerdings sind die Röntgenstrahlen für den menschlichen Körper nicht ungefährlich, ja, bei gewissen Personen haben sie sehr schwere Krankheiten hervorgebracht, so daß jedenfalls die Röntgenstrahlen am menschlichen Körper nur von durchaus erfahrener Ärzten mit Vorsicht gebraucht werden dürfen.

Bei diesen medizinischen Anwendungen ist es notwendig, daß die Ärzte und die Krankenschwestern durchaus vor den Strahlen geschützt werden; denn sie sind nicht, wie der Patient, bloß einige Minuten den Strahlen ausgesetzt, sondern dauernd, solange sie Kranke behandeln. Man hat deswegen überall Schutzmaßregeln getroffen, indem man die Röhren von dem Arzte durch Bleiplatten und Bleiglasfenster trennte. Ja man hat große Aufbauten in den Krankenhäusern gemacht, die bewirken sollten, daß von der Strahlung einer Röhre niemand getroffen werden könne als bloß der Patient und dieser bloß an der gewollten Stelle. In der einfachsten Weise ist aber diese Aufgabe durch neue Röhren der Röhrenfabrik Philips in Eindhoven gelöst worden. Sie konstruiert sowohl für Durchleuchtung wie für Therapie *vollständig metallisch umschlossene Röhren*, welche überhaupt nur an einer Stelle Strahlen nach außen lassen. Eine Ansicht einer solchen Röhre für Diagnostik, von H. F. Müller A.-G. in Hamburg, der „Müller Media-Metalix“ (Lizenz Philips), gibt Fig. 152. Die innere Einrichtung der Röhre ist in Fig. 153 gezeichnet. Die Strahlenerzeugung zwischen der Kathode f und der Antikathode geht in einem Chromeisenzyylinder von 2,5 mm Stärke vor sich, der an Glas angeschmolzen ist; dieser Zylinder ist von einem Bleimantel von 5 mm Stärke umgeben und dieser endlich von einer Messinghülse von 1,5 mm Stärke. An der Stelle, an der die Strahlen austreten

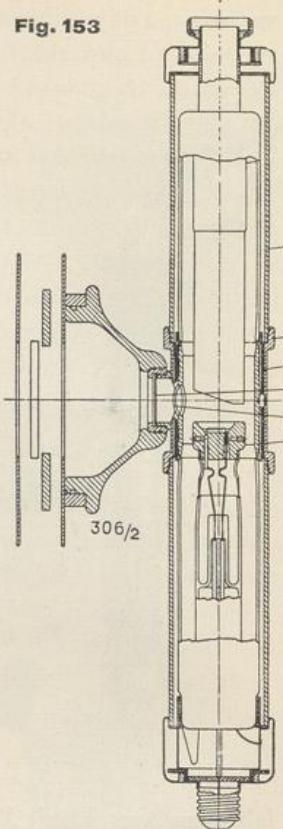
NEUNTES KAPITEL

sollen, sind die äußeren Schutzschichten entfernt, und entweder ist die Wand des Chromeisenzyinders passend dünner gemacht oder dort ein Fenster eingesetzt. Eine Eigenschaft der Röntgenstrahlen wurde im obigen noch gar nicht berührt, und gerade diese hat sich für den Fortschritt der Wissenschaft als sehr wichtig erwiesen. Sie besteht darin, daß diese Strahlen elektrisch geladene Körper, auf die sie fallen, sehr rasch entladen, unelektrisch machen. Ladet man z. B. ein Goldblattelektroskop mit einer geriebenen Ebonitstange, wodurch es negativ, oder mit einer geriebenen Glasstange, wodurch es positiv elektrisch wird, und läßt man nun Röntgenstrahlen auf dasselbe fallen, so gehen die Blättchen des Elektroskops sehr rasch zusammen, ein Beweis, daß es dadurch entladen wurde. Am einfachsten läßt sich dieser Versuch so deuten — und diese Deutung wird durch besondere, zu ihrer Prüfung angestellte Versuche bestätigt —, daß die Luft, die von den Röntgenstrahlen durchstrahlt ist, ihr Isolationsvermögen verloren hat und selbst leitend geworden ist. Wenn das der Fall ist, wenn die Luft leitend ist, so kann natürlich eine Ladung auf einem Körper nicht bestehen bleiben, sondern sie muß abgeleitet werden auf die Umgebung und schließlich auf die Erde, so daß dadurch der geladene Körper entladen wird. Natürlich wird die durchstrahlte Luft nicht etwa ein so guter Leiter wie Kupfer oder auch nur wie eine Salzlösung, die Leitungsfähigkeit ist noch außerordentlich gering, aber sie genügt doch, um die geladenen Körper, die Spannungen von einigen hundert oder tausend Volt gegen die Erde haben, sehr rasch zu entladen. Man nimmt auf Grund besonderer Erfahrungen an, daß durch die Strahlen die Moleküle der Luft in ihre Ionen zerspalten werden, so daß nun freie positive und negative Ionen in der durchstrahlten Luft enthalten sind, welche dann die Ladung des Goldblattelektroskops neutralisieren. Man sagt deshalb auch, die Luft werde durch die Röntgenstrahlen *ionisiert*.

Wenn Röntgenstrahlen auf einen Körper treffen, so wird dieser Körper Ausgangsstelle von neuen solchen Strahlen, die man als *sekundäre Röntgenstrahlen* bezeichnet. Diese sind immer weicher, also leichter absorbierbar als die sie erzeugenden Strahlen.

Über das Wesen der Röntgenstrahlen, ob sie wie die Lichtstrahlen auf einer Wellenbewegung des Äthers oder wie die Kathodenstrahlen auf einer Massenbewegung beruhen, ob sie also eine *Ätherstrahlung* oder eine *Elektronenstrahlung* darstellen, darüber hat man durch Experimente eine Entscheidung treffen

Fig. 153



DER DURCHGANG DER ELEKTRIZITÄT DURCH GASE • DIE RÖNTGENSTRÄHLEN

können. Man kann nämlich direkt beweisen, daß die Röntgenstrahlen eine Wellenbewegung des Äthers sind, also sich wie die Lichtstrahlen verhalten. Daß das Licht eine Wellenbewegung ist, wird nämlich streng dadurch bewiesen, daß es sich nicht, wie der erste Anschein glauben macht, durchaus geradlinig fortpflanzt, sondern daß es, wenn Hindernisse sich ihm entgegenstellen, um diese Hindernisse herum sich ausbreitet, ebenso wie sich die Wasserwellen eines Teiches, wenn ihnen Steinblöcke oder Schiffe im Weg stehen, um diese Hindernisse herum umbiegen, oder wie die Schallwellen um Ecken herumgehen und um Ecken herum von einem Ohr gehört werden. Nur sind natürlich, wegen der außerordentlichen Kleinheit der Lichtwellen, auch bloß sehr kleine, sehr wenig ausgedehnte Hindernisse imstande, das Licht stark von seiner sonst geradlinigen Ausbreitung abzubiegen. In der Tat, wenn man Licht durch ein System von regelmäßig angeordneten, sehr engen Spalten, ein sogenanntes *Beugungsgitter*, gehen läßt, so beobachtet man, daß man das Licht sehr stark von seiner geradlinigen Bahn abbeugen kann; man erhält ganz weit seitlich von dem einfallenden Lichtstrahl noch starke Lichtwirkungen.

Die Natur bietet uns nun in den *Kristallen*, in denen ja die Atome regelmäßig angeordnet sind, Gitter von außerordentlicher Feinheit. Und in der Tat zeigt es sich, daß man durch sie auch mit den Röntgenstrahlen starke Beugungswirkungen erhält. Wenn man ein schmales Bündel Röntgenstrahlen durch eine Kristallplatte hindurchgehen läßt, so zeigen sich auch weitab von der geradlinigen Fortpflanzungsrichtung Wirkungen, die eben auf der Beugung der Strahlen beruhen. In **Fig. 154** ist ein solches Beugungsbild bei Röntgenstrahlen abgebildet. Als Kristall diente Zinkblende, durch welche ein schmales Bündel Röntgenstrahlen hindurchgesendet wurde, das nach dem Durchgang durch den Kristall auf eine photographische Platte fiel. Man sieht in der Mitte der Figur

den direkten Durchstoßungspunkt des Röntgenstrahlbündels als scharfen schwarzen Fleck. Aber man sieht weiter rings um diesen mittleren Fleck in wunderbarer Schärfe und Regelmäßigkeit noch weitere schwarze Flecke, welche eben den abgebeugten, den von der geraden Bahn abgelenkten Strahlen entsprechen. Dabei zeigen diese Flecke eine ganz symmetrische Anordnung, die ganz genau der Symmetrie entspricht, welche der Kristall um die Richtung der Röntgenstrahlen herum besitzt.

Aus solchen Beugungerschei-

Fig. 154



NEUNTES KAPITEL

nungen kann man berechnen, daß die bei der obigen Figur benutzten Röntgenstrahlen Wellenlängen haben, die zwischen 0,3 und 1,5 AE (Ångström-Einheiten) liegen, wobei 1 AE gleich dem zehnmillionsten Teil eines Millimeters ist¹.

Wenn wir oben harte und weiche Röntgenstrahlen unterschieden haben, so können wir jetzt genauer sagen, die Röntgenstrahlen verschiedener Härte unterscheiden sich durch ihre Wellenlänge. Je kleiner ihre Wellenlänge ist, umso größer ist ihre Härte.

Nach der neuesten Entwicklung der Physik ist übrigens ein scharfer Unterschied zwischen Korpuskularstrahlung und Wellenstrahlung nicht vorhanden, vielmehr ist jede Korpuskularstrahlung mit Wellen, jede Wellenstrahlung mit Korpuskeln verbunden.

¹ Ausführliches darüber siehe L. Graetz, Die Atomtheorie in ihrer neuesten Entwicklung. 5. Aufl. Stuttgart, J. Engelhorn, 1925.