Arbeiter, der an Tüchtigkeit keinem Ausländer nachsteht; besonders in diesem Zweige der Industrie, in der Porzellanfabrikation, sind Luxemburger ins Ausland berufen worden und sind nun dort tätig auf eine Weise, durch die ihre Arbeitskraft und ihr Kunstsinn allgemeinste Anerkennung finden.

Was seine persönlichen Verdienste am Aufschwung der Firma angeht, so möchte Hr. Direktor Müller in seiner bescheidenen Art, daß sie nicht allzusehr hervorgehoben werden sollen, will sie aber begründen mit der ihm angeborenen zähen Energie und dem Festhalten an dem Grundsatz, dem der praktische Engländer einen bündigen Ausdruck verleiht mit den Worten: «right or wrong, my country»! Hrn. Müller liegt als Direktor die Pflicht ob, alles dreinzusetzen, diese heimische Industrie hoch zu halten und noch höher zu bringen, es ist eben ein Stück Heimat! Als Patriot sucht er dieses Ziel zu erreichen, um jeden Preis!

Hr. Lehrer Wampach sprach einige Dankesworte im Namen des Vorstandes vom Verein für Volks- und Schulhygiene und hob hervor, daß ein Besuch, wie der, den die Gesellschaft Luxemburger Naturfreunde und der Verein für Volks- und Schulhygiene (letzterer hatte den Vorstand der G. L. N. sich zum Besuche der Faïencerie anschließen zu dürfen gebeten) der Faïencerie abstatteten, ganz speziell die Heimatkunde fördere; es sei wünschenswert, daß das Luxemburger Land besser gekannt werde bezüglich seiner Naturschönheiten, was schon so oft gesagt worden sei, aber auch in Bezug auf die Arbeitsleistungsfähigkeit der Luxemburger Bevölkerung.

Zum Schluß, und wie üblich, machte Frl. Marie Lecorsais zur Erinnerung an diesen lehrreichen und fröhlichen Sommerabend eine photographische Aufnahme von den Versammelten, sowie von dem Musikkorps. Sie wird den Teilnehmern einen Abzug später anbieten.

Auch Hr. Direktor P. Müller gedenkt nach einigen Monaten die Besucher der Faïencerie mit einem kleinen Andenken zu überraschen. Frl. Lecorsais und Hr. Müller werden des Dankes aller Teilnehmer gewiß sein!

Die neuesten Fortschritte der Röntgentechnik.

Experimentalvortrag, gehalten am 24. Juni
in der Gesellschaft Luxemburger Naturfreunde gelegentlich des Besuches des bakteriologischen Institutes, von Dipl. Ing. **P. Medinger.**

Meine Damen und Herren!

Wir haben es wohl alle miterlebt, als Ende 1895 von Würzburg aus die Kunde in die Welt drang von der Entdeckung einer neuen Art von Strahlen, die es erlauben sollten, durch undurchsichtige Gegenstände hindurch zu sehen und zu photographieren.

In wieweit die Hoffnungen, die sich damals an dieses neue wunderbare Licht knüpften, bis heute in Erfüllung gegangen sind, und wohl in allernächster Zeit in Erfüllung gehen werden, das Ihnen zu zeigen, soll der Zweck meiner heutigen Ausführungen sein. Auf den mindestens ebenso interessanten Teil der maschinentechnischen Fortschritte auf diesem Gebiete will ich, weil dieses Thema unserer Vereinstätigkeit weniger enstspricht, nicht näher eingehen, sondern vor allem die mehr rein wissenschaftlichen Arbeiten der letzten Jahre und ihre Erfolge besprechen.

Röntgen machte seine Entdeckung bekanntlich während einer Arbeit über die Kathodenstrahlen, und da diese, wie wir gleich sehen werden, die Erreger der Röntgenstrahlen sind, müssen wir vor allem deren Erzeugung, Natur und Eigenschaften näher kennen lernen.

Schaltet man zwischen die Pole eines Hochspannungsgenerators eine Glasröhre, aus der man nach und nach die Luft auspumpt, so zeigt sich in der Röhre bei etwa 10 mm Druck ein dünnes leuchtendes Band, das sich in drehender Bewegung von einem Pol zum andern hinzieht. Bei weiterer Luftverdünnung wird das Band immer breiter und füllt schließlich die ganze Röhre aus. Dieses Lichtband zeigt aber an der Kathode (negat. Pol) eine Unterbrechung, einen dunkeln Raum, der sich bei weiterem Pumpen immer mehr ausdehnt und schließlich bei ca. 0,01 mm Druck das ganze Rohr ausfüllt. An dem jetzt dunklen Rohr tritt aber nun eine ganz neue Erscheinung auf: die der Kathode gegenüber sich befindliche Glaswand erstrahlt in hellem, grünen Phosphoreszenslicht. Es gehen von der Kathode unsichtbare, dunkle Strahlen aus, die, wo sie auf das Glas auftreffen, dieses zum Leuchten bringen, und diese Strahlen sind die Kathodenstrahlen, von Hittorf 1869 entdeckt, aber von Crookes und Lenard und andern genau erforscht.

Außer der bereits erwähnten Lichterscheinung beim Auftreffen auf Glas sind ihre wesentlichsten Eigenschaften folgende:

1) Sie erhitzen die Stellen wo sie auftreffen. Die Glaswand der Röhre kann dabei zum Schmelzen kommen. Wie intensiv diese Wärmeentwickelung werden kann, zeigt am besten die Tatsache, daß in neuester Zeit besonders von Tiede *) Kathodenstrahlenofen konstruiert wurden, in denen es mit Leichtigkeit gelingt, größere Mengen der Metalle, selbst von Platin, Tantal Bor usw. durch ein Kathodenstrahlenbündel in einigen Sekunden zum Schmelzen zu bringen.

2) Sie gehen senkrecht von der Kathodenfläche ab, ohne sich um die Anode zu kümmern; sie lassen sich also durch eine hohlspiegelförmige Kathode in einem Punkte konzentrieren.

*) Berichte der Deutschen chem. Gesellschaft, 1912, p. 2229.

3) Sie üben chemische Wirkungen aus und beeinflussen die photographische Trockenplatte.

4) Sie werden durch einen Magneten oder einen elektrischen Strom abgelenkt.

5) Sie durchdringen Glas nicht, wohl aber ganz dünne Aluminiumblättchen.

6) Alle Körper die sie treffen, laden sich negativ elektrisch.

7) Sie üben mechanische Wirkung aus.

Aus dem eingehenden Studium aller dieser Eigenschaften geht hervor, daß man die Kathodenstrahlen ansehen muß als einen Schwarm kleinster mit negativer Ladung behafteter Teilchen, die von der Kathode aus mit großer Wucht abgeschleudert werden.

Was die kleinsten Teilchen sind, darüber gibt uns die elegante Elektronentheorie von Lorentz Aufschluß. Nach dieser stellen wir uns die Atome der Körper vor als aus winzig kleinsten mit negativer Ladung behafteten Teilchen bestehend, die sich in großer Anzahl um einen Atomkern gruppieren. Diese kleinsten Teilchen nennen wir Elektronen. Trennen sich aus irgend einer Ursache Elektronen vom Atom ab, so bleiben Atomreste, die nun, da von den ursprünglich elektrisch neutralen Atomen ein Teil der negativen Ladung verschwunden ist, positive Ladung zeigen. Diese positiven Atomreste nennen wir Ionen, und den Vorgang der Elektronenabspaltung, also Ionenbildung: Ionisation.

Unter dem Einfluß eines elektrischen Feldes strömen die negativen Elektronen zur Anode, zum positiven Pol. Das Fließen des elektrischen Stromes durch einen Leiter erklären wir uns nach Lorentz durch die Bewegung der Elektronen. Im Vakuum der Crooke'schen Röhre werden unter dem Einfluß einer sehr hohen Spannung die Elektronen von der Kathode abgeschleudert. Ihre Masse ist zwar äußerst klein. Sie ist nach verschiedenen Verfahren übereinstimmend berechnet worden zu ein 2000stel derjenigen eines Wasserstoffatomes, welch letztere bekanntlich rund 0.000000000000000001 Milligramm beträgt. Dafür ist aber ihre Geschwindigkeit eine außerordentlich hohe; sie ist abhängig von der Spannung des elektrischen Feldes und von dem zurückgelegten Weg der Elektronen und beträgt im Mittel ca. 100 000 Kilometer pro Sekunde! Mit dieser ungeheuren Geschwindigkeit prallen die Elektronen an die der Kathode gegenüberliegenden Glaswand an, bringen die Glasatome zum Erzittern, Aufleuchten, werden abgebremst und verwandeln ihre kinetische Energie in Wärme und — Röntgenstrahlen. Denn diese entstehen, wie Röntgen festgestellt hat, überall dort, wo Kathodenstrahlen auf einen festen Körper auftreffen.

Bei den ersten Röntgenröhren, den Crookes'schen Röhren, entstanden die Strahlen also an der Glaswand. Das hatte den Nachteil, daß wegen der Erhitzung der Glaswand ein längerer Betrieb der Röhren unmöglich war; andrerseits gaben die von einer relativ großen Fläche ausgehenden Strahlen auf dem Leuchtschirm und auf der photographischen Platte verwischte Bilder. Diese Uebelstände werden in den neuen Röntgenröhren dadurch vermieden, daß man das durch eine hohlspiegelförmige Kathode konvergent gemachte Kathodenstrahlenbüschel auf einen in der Mitte der Röhre im Brennpunkte des Hohlspiegels sich befindenden Metallklotz (Antikathode) konzentriert. Von diesem einen Punkte aus verbreiten sich dann die Röntgenstrahlen gradlinig nach allen Seiten.

Es hat sich gezeigt, daß die Natur des Metalles der Antikathode von großer Bedeutung ist, indem u. a. von ihr umsomehr Röntgenstrahlen ausgesandt werden, je höher sein Atomgewicht ist. Andrerseits muß wegen der enormen Hitzentwickelung im Brennpunkt der Kathodenstrahlen das Metall der Antikathode einen möglichst hohen Schmelzpunkt haben. Hohes Atomgewicht und hohen Schmelzpunkt vereinigen vor allem Platin und Wolfram, und diese werden denn auch meist verwendet. Zur besseren Wärmeableitung wird die Antikathode noch mit starken Metallmassen oder auch mit Wasserkühlung versehen.

Die Röntgenstrahlen sind für unser Auge unsichtbar, sie verraten sich ihm jedoch indirekt dadurch, daß sie verschiedene phosphoreszierende Substanzen, vor allem Platinbariumcyanür zum Aufleuchten bringen, und die photographische Platte beeinflussen. Von ihren sonstigen Eigenschaften interessiert uns vor allem ihr großes Durchdringungsvermögen für die meisten nicht metallischen Körper.

Die Durchlässigkeit der verschiedenen Körper für Röntgenstrahlen ist eine Funktion des Atomgewichtes des betreffenden Körpers und der Anzahl der Atome pro Volumeinheit, also seiner Dichte. Je höher diese, und vor allem, je höher das Atomgewicht einer Substanz, desto undurchlässiger ist sie für das Röntgenlicht. Die meisten organischen Körper, u. a. die Weichteile des menschlichen Körpers sind nur aus Elementen von niederem Atomgewicht zusammengesetzt (Kohlenstoff = 12, Wasserstoff = 1, Sauerstoff = 16, Stickstoff = 14) und daher sehr durchlässig, während die Knochen vorwiegend aus Kalk = 40 und Phosphor = 31 bestehen, und weniger durchlässig sind, Schatten werfen. Gewöhnliches Glas und Aluminium haben im Durchschnitt ungefähr dasselbe Atomgewicht, ihre Permeabilität für Röntgenstrahlen ist annähernd dieselbe. Das für das gewöhnliche Licht so vollkommen klare und durchsichtige Bleiglas enthält Bleiatome von

hohem Atomgewicht (207 !) und läßt daher Röntgenlicht praktisch gar nicht durch! Die schwarze, vollkommen undurchsichtige Kohle und der wasserklare Diamant bestehen beide aus Kohlenstoff mit dem niederen Atomgewicht 12 und sind beide für Röntgenstrahlen vollkommen gleich durchlässig. Die künstlichen Diamanten dagegen bestehen meist aus dem für Röntgenlicht so undurchlässigen Bleiglas und verraten sich auf dem Leuchtschirm oder der photographischen Platte sofort durch ihre tiefschwarzen Schatten! Das aus gelben, durchsichtigen Kristallen bestehende Iodoform enthält Iodatome (A. G. = 127) und ist daher weniger durchlässig als die meisten Metalle. Es kann dies bei Röntgenaufnahmen von mit Iodoform behandelten Verletzungen sehr störend wirken. Eine Schicht des wasserhellen Schwefelkohlenstoffes (CS_2) absorbiert die Röntgenstrahlen genau eben so stark wie zwei übereinandergelegte Platten aus Schwefel und Kohle, von solcher Dicke, daß die Anzahl der vorhandenen Kohlenstoff- und Schwefelatome der Formel CS_2 und der Dicke der CS_2schicht entspricht. Eine praktische Anwendung dieser Gesetzmäßigkeit in der Durchlässigkeit für Röntgenstrahlen hat Lindemann gefunden, indem er zu Röntgenlampen statt des gewöhnlichen Glases aus Silicium = 28, Calcium = 40 und Natrium = 23 ein Glas aus Bor = 11, Lithium = 8 und Berylium = 9 verwandte. Diese Lindemannröhren geben eine bedeutend bessere Ausbeute an Strahlen.

Die Einwirkung der Röntgenstrahlen auf die photographische Platte scheint ihrer Natur nach von der des Lichtes völlig verschieden zu sein. So sind die so außerordentlich empfindlichen Σ-platten und Platten mit violett Etiquett von Lumière gegen Röntgenstrahlen weniger empfindlich als die gewöhnlichen Platten. Es scheint ein gewisser Antagonismus zu bestehen zwischen der Wirkung der beiden Lichtarten. Belichtet man eine photographische Platte durch Röntgenstrahlen und darauf die eine Hälfte ganz kurz durch gewöhnliches Licht, so erscheint beim Entwickeln die zweimal belichtete Hälfte heller, das heißt weniger stark belichtet als die andere. Ja, bei richtiger Dauer der beiden Belichtungsarten ist es möglich, eine Röntgenaufnahme durch nachträgliche sehr kurze Belichtung mit gew. Licht in ein Positiv umzuwandeln.

Man hat bald die Erfahrung gemacht, daß die von den Röntgenröhren gelieferten Strahlen in Bezug auf ihr Durchdringungsvermögen von sehr verschiedener Art seien, und daß sich die Wirkung der Strahlen bei längerem Gebrauch der Röhren beständig ändert. Die Strahlen werden immer härter, immer durchdringender, sodaß sie schließlich Weichteile und Knochen fast gleichmäßig gut durchdringen und nur sehr flaue Bilder

ohne allen Kontrast geben. Dies hat seinen Grund darin, daß die Lampen beim Gebrauch immer luftleerer werden; andrerseits geben Lampen mit ungenügender Luftleere nur sehr weiche, nur wenig durchdringende Strahlen. Die Erscheinung aber, daß eine jede Röntgenlampe stets ein Gemisch von Strahlen verschiedener «Härte» aussendet, liegt in den Eigenschaften der sie erzeugenden Kathodenstrahlen begründet. Wenn wir in einer Crookes'schen (oder besser Braun'schen) Röhre ein rundes Kathodenstrahlenbündel, das auf der Röhrenwand einen runden leuchtenden Fleck erzeugt, durch einen Magneten ablenken, so erscheint die leuchtende Stelle nicht mehr als eine runde Scheibe, sondern als leuchtendes Band. Es sind also nicht alle Kathodenstrahlen gleichmäßig stark abgelenkt worden. Die fliegenden Elektronen der Kathodenstrahlen haben ganz verschiedene Geschwindigkeiten, und es ist klar, daß die mit größerer Geschwindigkeit fliegenden weniger stark abgelenkt werden als die mit geringerer kinetischer Energie behafteten. Wir haben also auch in den Kathodenstrahlen ein Gemisch von schnellen, harten Strahlen mit langsameren, weicheren. Und diese harten und weichen Kathodenstrahlen erzeugen ihrerseits harte und weiche Röntgenstrahlen. Viel deutlicher und verständlicher werden uns alle diese Erscheinungen, wenn wir die Vorgänge in der Röntgenlampe im Lichte der Lorentz'schen Elektronentheorie etwas näher studieren. *) Und zwar wollen wir uns ein winzig schmales, von der Kathode zur Anode gehendes Strahlenbündel oder Gasröhrchen in ganz gewaltiger Vergrößerung vorstellen, so daß wir die Atome, Ionen und Elektronen sehen können. In Fig. 1, I. seien *a b* und *c* neutrale Gasatome, zusammengesetzt aus einem positiven Ion und vielen negativen Elektronen. Daneben befinden sich stets auch einige wenige freie Ionen, die unter dem «ionisierenden» Einfluß der ultravioletten Strahlen, der Wärme, radioaktiver Stoffe u. s. w. entstanden sind. Solange die Röhre nicht elektrisch erregt ist, befinden sich die Gasteilchen in Ruhe. Sobald wir aber die Anode (A) und Kathode (K) der Röhre mit den entsprechenden Polen eines Hochspannungsapparates verbinden, wandern die positiven Ionen mit großer Geschwindigkeit zur Kathode um ihre Ladung hier abzugeben. Auf ihrem Wege stoßen sie mit Gasatomen zusammen, die sie entweder zur Seite drängen, oder, wenn ihre kinetische Energie groß genug ist, zertrümmern. (Fig. 2, II) So zersplittern z. B. die Atome *a* und *b* durch den Stoß eines Ions (Stoßionisation) und zerfallen dabei in Ionen und Elektronen. Die so freiwerdenden Ionen wandern zur Kathode, die entstehenden Elektronen aber

*) Nach K. Lasser, Berliner klinische Wochenschrift 1916.

fliegen mit enormer Geschwindigkeit zur Anode (oder Antikathode) als Kathodenstrahlen. Wo sie auftreffen, erzeugen sie Wärme und Röntgenstrahlen. Auf ihrem Wege zur Antikathode

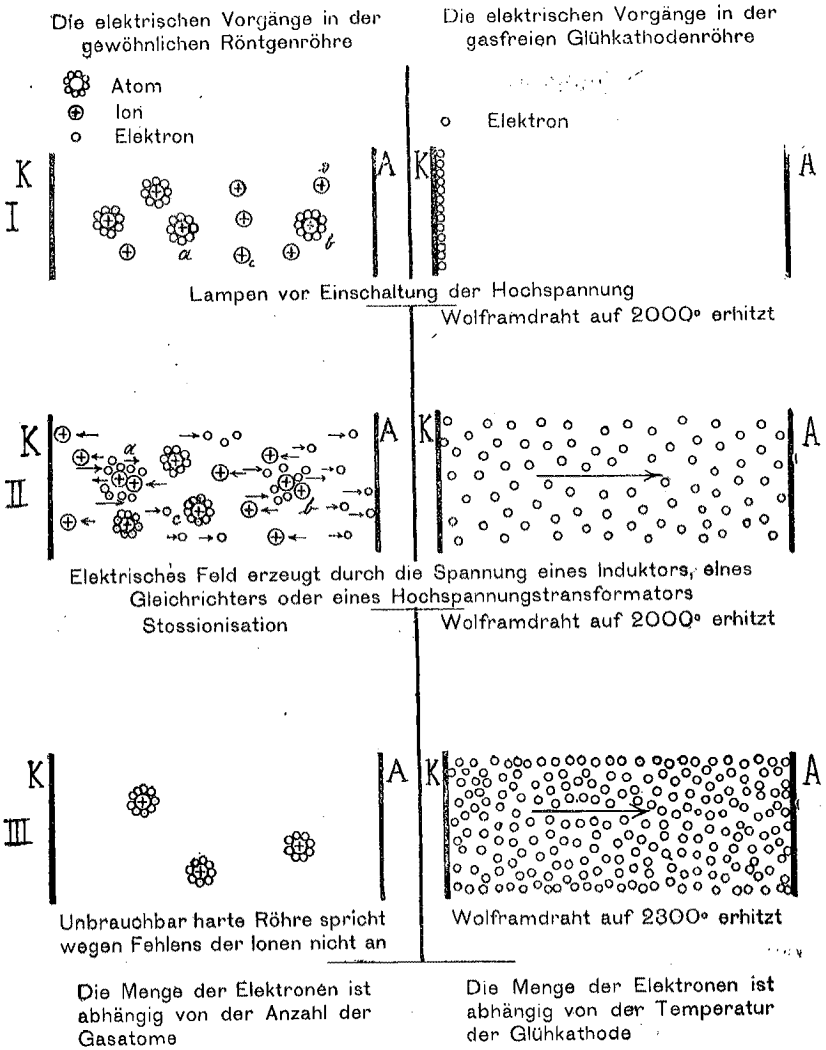


Fig. 1. **Fig. 2.**

werden die fliegenden Elektronen ihrerseits natürlich auch auf Atome und auf Ionen stoßen. Infolge ihrer außerordentlichen Kleinheit müssen wir annehmen, daß die Elektronen die Atomkomplexe durchfliegen und dabei nur abgebremst werden. Da-

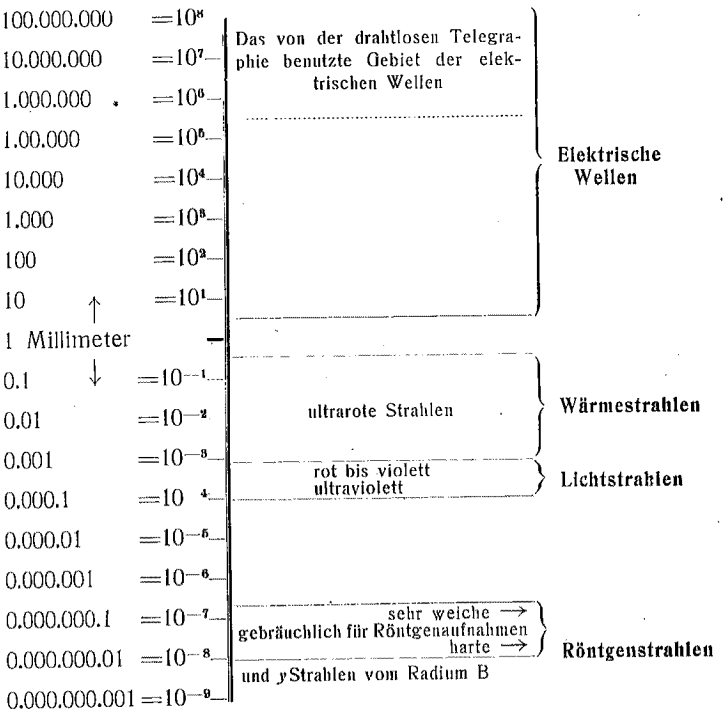
durch wird ihre Geschwindigkeit verringert, die Kathodenstrahlen werden weicher und erzeugen weichere Röntgenstrahlen. — So erklärt es sich, daß gasreiche Röhren vorwiegend sehr weiche Röntgenstrahlen erzeugen. Stoßen Elektronen mit einem Atom zusammen, so können sie wegen der elektrischen Wechselwirkung zwischen positiver und negativer Ladung von diesem abgefangen, gebunden werden, und es zu einem neuen neutralen Atom ergänzen. Dieses Entstehen neuer Gasatome nennt man Molisieren. Dieses Molisieren kann jedoch die durch Entladung der Ionen und Elektronen verschwindenden Atome nicht in gleichem Maße ersetzen und so wird nach längerem Gebrauch die Röhre immer gasärmer, immer «härter» und läßt schließlich wegen Mangel an Ionen den Strom gar nicht mehr durch (Fig. 1, III). Aus diesen Bildern sehen wir weiter, daß die unter dem ständigen Einfluß der abstoßenden Kraft der Kathode zur Antikathode fliegenden Elektronen hier mit um so größerer Geschwindigkeit auftreffen werden, je länger sie unter dem Einflusse dieser Kraft standen, d. h. je näher der Kathode K sie durch Stossionisation aus dem Atom entstanden sind. Wir erhalten also verschiedene harte Kathodenstrahlen und entsprechend verschieden harte Röntgenstrahlen.

Die Röntgenstrahlen wurden schon von Anfang an als Aetherschwingungen angesehen; der sichere Beweis für diese Annahmen wurde aber erst 1912 durch Laue, Friedrich und Knipping erbracht, indem sie nachwiesen, daß sich die Röntgenstrahlen an den extrem engen Spalten zwischen den Molekulreihen der Kristalle von ihrem geraden Weg durch Beugung ablenken lassen. Sie sind nach dem Ergebnis genauer Messungen als Aetherschwingungen von kürzester Wellenlänge (0,03 bis 0,15 μ = 0,00000003 bis 0,00000015 Millimeter) anzusehen. In der folgenden Tabelle *) sind die bis heute bekannten Aetherschwingungen ihrer Wellenlänge nach zusammengestellt. Auf die große Gruppe der elektrischen Strahlen, die bekanntlich in der drahtlosen Telegraphie benutzt werden, folgt ein kleines noch unbekanntes Gebiet von Strahlen der Wellenlänge von 4 mm bis ca 0,5 mm. Darauf folgen die Wärmestrahlen und die ultraroten Strahlen. Dann kommt die sehr kleine Gruppe der für unser Auge sichtbaren Aetherschwingungen: der Lichtstrahlen. Ein ausgedehntes unbekanntes Gebiet findet sich dann zwischen den ultravioletten Strahlen und den Röntgenstrahlen. Ihnen folgen die γstrahlen des Radiums und dann wieder terra incognita.

Ihrer Natur nach haben die Röntgenstrahlen ähnliche physikalische Eigenschaften wie die Lichtstrahlen. Außer der erwähn-

*) Nach K. Lasser, l. c.

ten Beugung gibt es auch eine Art Reflexion. Durch beide Ablenkungen kann man ein Bündel Röntgenstrahlen, indem man es durch ein gebogenes Glimmerblättchen gehen läßt, in ein band-



förmiges Spektrum auflösen. Das so erhaltene Röntgenstrahlenspektrum ist dem Lichtspektrum völlig analog; die Strahlen die in dem Spektralbande nebeneinander auftreffen unterscheiden sich durch ihre Wellenlänge und durch ihr Durchdringungsvermögen. Während die Strahlen des einen Endes des Bandes kaum ein Papierblatt durchdringen, gehen die des andern Endes mit Leichtigkeit durch meterdicke Holzblöcke. Da unser Auge die Röntgenstrahlen überhaupt nicht sieht, fehlen allerdings die Farbendifferenzen. Geradeso aber wie beim Licht das kontinuierliche Farbband der meisten Lichtquellen ihrer stofflichen Zusammensetzung entsprechend von besonders stark leuchtenden Banden und Linien durchsetzt ist, so zeigt auch das Röntgenlichtspektrum je nach der chemischen Natur des Körpers von dem es ausstrahlt, (der Antikathode) besonders starkwirkende charakteristische Bänder. Es hat sich ferner gezeigt, daß jedes Metall von höherem Atomgewicht beim Auftreffen von Röntgenstrahlen seinerseits sekundäre Röntgenstrahlen von je nach seiner chemischen Natur

ganz bestimmter Art aussendet. Es gibt also «Eisenstrahlen» «Goldstrahlen», «Kupferstrahlen» u. s. w. Ferner wurde gefunden, daß die Metalle in dünnen Blättchen gerade für die Strahlen, die sie aussenden, besonders durchlässig sind und alle andern stärker absorbieren. Nach alledem ist es nicht zu bezweifeln, daß die Spektralanalyse des Röntgenlichtes noch manche interessante Anwendungen finden wird. Im Anschlusse sei noch erwähnt, daß das Röntgenlicht auch polarisierbar ist.

Unsere Röntgenlampen senden nun, wie bereits mehrfach erwähnt, stets ein Gemisch von Strahlen verschiedener Wellenlänge und entsprechend verschiedener Härte, Durchdringungskraft aus. Bei weichen, gasreichen Lampen ist das ausgesandte Spektralgebiet mehr zur langwelligen Seite des Röntgenlichtspektrums verschoben, bei harten Lampen mehr zur kurzwelligen Seite. Ferner haben wir gesehen, daß die Art und Wirkung der erhaltenen Strahlung beim Gebrauch der Lampe nicht konstant bleibt, sondern beständig ändert. Auf diesen beiden Tatsachen beruhen die großen Schwierigkeiten, mit denen die «Röntgen nologen» bisher zu kämpfen hatten. Zur Erzeugung eines deutlichen kontrastreichen Bildes auf dem Leuchtschirm oder auf der photographischen Platte bedarf es für jedes Objekt, für jeden Körperteil Strahlen von besonderer Härte, die jeweilig zu weichen und zu harten Strahlen wirken nur schädlich. Und noch mehr ist dies der Fall bei der Heilanwendung der Röntgenstrahlen. Weiche Strahlen dringen nicht tief genug in das Gewebe ein, werden von der Haut absorbiert und führen schließlich zu schweren Verbrennungen, die wegen ihrer bösartigen Natur sehr gefürchtet sind. Um eine bestimmte «Tiefenwirkung» zu erzielen, sind Strahlen von bestimmter Härte erforderlich, alle andern können nur schädlich wirken. Alle diese eben genannten Uebelstände kommen, wie wir gesehen haben, zum größten Teil daher, weil wir in Bezug auf die Art der erzeugten Strahlen von dem jeweiligen veränderlichen Gasgehalt der Lampen abhängig sind.

Wenn wir nun die zur Bildung der Kathodenstrahlen nötigen Elektronen aus den Atomen des Materials der Kathode selbst erzeugen könnten, so könnten wir auf das Gas mit all seinen Mißständen ganz verzichten. Und das ist in den letzten Jahren in eleganter und geradezu idealer Weise gelungen durch Anwendung der Thermoionisation. Unter diesem Ausdruck versteht man die schon länger bekannte Erscheinung, daß beim Erhitzen der Körper auf hohe Temperatur Ionisation stattfindet, und zwar um so stärker, je höher die Temperatur. Wir brauchen also nur die Kathode durch einen darin angebrachten, elektrisch nach Art der Glühlampen erhitzten Wolframdraht auf hohe Temperatur zu bringen und wir erhalten im elektrischen Felde einen Strom von

Elektronen, dessen Intensität wir durch Regulierung der Heizvorrichtung nach Belieben ändern können. Auf Gasatome sind wir nicht mehr angewiesen, und deshalb können wir die Lampen praktisch völlig gasfrei machen. Diese neuen gasfreien Lampen von Lilienfeld, Coolidge und Siemens stellen den größten Fortschritt dar, der auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen seit ihrer Entdeckung gemacht wurde, und eben darauf wollte ich in meinen heutigen Ausführungen vor allem hinweisen. Die äußerst einfache und elegante Arbeitsweise dieser neuen Lampen im Vergleich mit den alten ist aus Fig. 2, I II und III recht klar ersichtlich. Bei I ist die Kathode auf ca. 2000° C. erhitzt und mit Elektronen bedeckt. Schalten wir nun die Lampe in den Stromkreis eines Hochspannungsapparates ein, so fliegt sofort ein Schwarm der an der erhitzten Kathode freiwerdenden Elektronen nach der Anode und erzeugt dort Röntgenstrahlen. Je höher wir den Wolframdraht in der Kathode erhitzen, desto dichter wird der Elektronenschwarm (III) und desto größer die Menge der erzeugten Röntgenstrahlen. Ein Abbremsen der Elektronen unterwegs durch Atome findet nicht statt, auch haben alle Elektronen genau gleich weiten Weg zurückzulegen. Die erzeugte Härte der Kathodenstrahlen wird also nur mehr von der Spannung abhängen. Je höher die an die Pole angelegte Spannung, desto härter, durchdringender werden die Röntgenstrahlen ausfallen. Durch Regulierung der Spannung und des Heizstromes können wir also am Schalttische Härte und Intensität der erzeugten Strahlen ganz nach Belieben einstellen. Damit sind mit einem Schlage 99% aller Schwierigkeiten besonders bei der Herstellung guter Röntgenbilder aus der Welt geschafft. Die Röntgenphotographie ist auf mathematische Basis gestellt, und ist leichter und sicherer in der Ausführung als die gewöhnliche Photographie. Damit stehen (nach Bucky) alle jene Röntgenologen, die den Schwerpunkt ihrer Tätigkeit in einer durch jahrelange Uebung und Erfahrung erlangten Geschicklichkeit und manuellen Fertigkeit in der Herstellung schöner Röntgenbilder sahen, vor einem offenen Grabe. In dieses Grab müssen sie alle ihre Geschicklichkeit hineinwerfen, müssen sie alles begraben, was sie durch mühsame Arbeit in langen Jahren erworben und worauf sie stolz waren. Diese müssen jetzt verzweifeln. Jene aber, die höhere Zwecke im Auge hatten, denen die Erlangung manueller Fertigkeit nur ein nicht zu umgehendes notwendiges Rüstzeug war, jenen erscheint die Kunde dieses gewaltigen Fortschrittes wie eine Offenbarung. Und jedem Freund der Wissenschaft, und das sind wir ja alle, geht das Herz auf, wenn er sieht, wie hier die praktische Anwendung von in jahrelanger ernster Forschung erworbenen und gefestigten Theorien diese in so eklatanter Weise be-

stätigt, und zugleich einen so schönen und großen praktischen Erfolg bedeutet.

Außer ihrer geradezu idealen Regulierbarkeit haben diese neuen Lampen noch manche andere Vorteile, wovon ich nur noch die viel längere Lebensdauer erwähnen will. Während die bisherigen Lampen eine durchschnittliche Lebensdauer (Arbeitszeit) von nur 12 bis 14 Stunden hatten, ist die Brauchbarkeit der neuen Lampen praktisch nur durch die Lebensdauer des Glühfadens bedingt, der 800 bis 1000 Stunden Brenndauer aufweist! Während des noch so langen Betriebes ändern sich die einmal eingestellte Intensität und Härte der Strahlen ungewollt gar nicht. Es gibt also kein Nachregulieren u. s. w.: wir sind, wie Prof. Holzknecht sich ausdrückt, «von der ewig der Putzscheere bedürftigen Kerze mit einem Sprung zur Bogenlampe gekommen».

Trotz ihrer gewaltigen Ueberlegenheit in Bezug auf Härteregulierung geben auch diese Lampen kein einheitliches Licht von einer bestimmten Wellenlänge und Penetrationskraft ab, sondern immer noch ein allerdings beschränkteres Gemisch von Strahlen verschiedener Härte. Für die Bildererzeugung ist die Einstellbarkeit der Härte völlig genügend. Für die Therapie dagegen muß man immer noch die schädlichen weicheren Strahlen auszuschalten suchen. Und das tut man, indem man sie durch dünne Aluminiumplatten «abfiltriert», so wie man, wenn man nur blaues Licht haben will, alle andern Lichtarten durch ein blaues Glas zurückhält. Durch dieses Abfiltrieren verlieren wir natürlich einen großen Teil der strahlenden Energie. Viel besser wäre der Wirkungsgrad, wenn unsere Lichtquelle direkt nur Strahlen bestimmter Wellenlänge, (bei unserm Vergleich nur blaues Licht) erzeugen würde. Und auch diesem Ideal ist man in der letzten Zeit sehr nahe gekommen, und zwar wieder durch Verwendung der Glühkathodenröhren als Ventilröhren. Die Ursache des Auftretens von Strahlen verschiedener Härte in den neuen Lampen liegt in dem Umstande, daß unsere bisherigen Hochspannungsapparate einen stark pulsierenden Gleichstrom liefern, bei dem das «Pulsierende» leider die Spannung ist. Diese geht also beständig auf und ab und erzeugt weiche und harte Röntgenstrahlen. Man hat nun gesucht, und es ist in letzter Zeit gelungen, mit Hilfe von Glühkathodenventilröhren einen sehr schwach pulsierenden hochgespannten Gleichstrom zu erzeugen. Auf die technische Ausführung will ich nicht weiter eingehen, ich will Ihnen nur noch an einem Vergleich zeigen, was damit erreicht ist. Man hat in der Literatur die Röntgenstrahlen in Bezug auf ihre Heilanwendung öfters verglichen mit dem Opium, d. h. mit dem Opium der Zeit, als man noch seine wirksamen Bestandteile nicht

kannte. Das Opium enthält, wie wir heute wissen, eine ganze Anzahl stark wirkender Stoffe, wie Morphin, Narcotin, Codein Thebain, Papaverin. Alle diese Alkaloide haben ganz verschiedene Wirkung und sind in ganz verschiedenen Mengen in den Opiumerzeugnissen enthalten. Früher mußte man nun das Opium nehmen wie es eben war, man mußte die Nebenwirkungen seiner sonstigen Bestandteile mit in den Kauf nehmen; man konnte nicht einmal seinen Wirkungsgrad, seinen Gehalt an wirksamen Bestandteilen bestimmen, weil man letztere eben nicht kannte und nicht isolieren konnte. Heute kann man aus dem Opium das Hauptprinzip seiner Wirksamkeit, das Morphin, rein isolieren, genau dosieren je nach Bedarf. Und ebenso das Codein, das Narcotin u. s. w. Und so ähnlich ist es heute auch mit dem Röntgenlicht: wir können aus dem ganzen Spektrum nur die Strahlen isolieren und zur Anwendung bringen, die wir eben brauchen und können diese Strahlen auch in ihrer Intensität und Wirkung nach Belieben dosieren.

Meine Damen und Herren! Ich habe Sie heute in ein neues Land geführt, dessen Entdeckung wir fast alle noch miterlebt haben. Entdeckt und erforscht wurde es vom Physiker. Nach ihm sind die Ingenieure und Elektrotechniker ins Land eingedrungen, und haben feste Straßen und Wege gebaut um den neuen Boden der Allgemeinheit zugängig zu machen. Als erste Kolonisten haben die Mediziner das neue Land bebaut und neue wertvolle Hilfsmittel im Kampfe gegen Krankheit und Tod aus ihm gewonnen. Ihnen auf dem Fuß folgen heute die Metallurgen, die Eisen- und Stahlblöcke durchleuchten zur Aufdeckung verborgener Gußfehler, Gas- und Schlackeneinschlüsse. Auch ihnen werden die neuen gasfreien Lampen, die ein Licht von bisher ungeahnter Intensität und Penetrationskraft liefern, wertvolle Dienste leisten. Es folgen weiter die Mineralogen, denen das neue Licht den intimsten Bau der Kristalle, die Anordnung der kleinsten Bausteine, der Molekule verrät. Und von den vielen, die noch folgen werden, will ich nur noch uns Chemiker erwähnen. Und es ist wirklich nicht schwer hier Prophet zu spielen und vorauszusehen, daß die Röntgenstrahlen bei der Erforschung der Natur und Zusammensetzung der Körper noch große Dienste leisten werden, und das hat mich bewogen, die Entwickelung der Röntgentechnik mit besonderem Interesse zu verfolgen. Ich erwähne nur noch einmal, daß die Permeabilität der Körper für Röntgenlicht bei gegebener Dichte eine Funktion ihres Atomgewichtes ist. Läßt uns doch schon heute ein Blick auf den Leuchtschirm echte und falsche Diamanten mit Sicherheit unterscheiden! Solange man nur mit einem Gemisch von Strahlen verschiedener

Härte arbeiten konnte, waren in dieser Richtung Fortschritte kaum zu erwarten; heute aber, wo wir sowohl Härte als Intensität genau einstellen können, berechtigt diese Gesetzmäßigkeit der Permeabilität zu den schönsten Hoffnungen. Und wenn man ferner bedenkt, daß die verschiedenen Metalle im Röntgenlicht sekundäre Strahlen von ganz bestimmtem Spektrum aussenden, drängt sich da nicht die Frage auf: Wie lange dauert es noch, und die Röntgenstrahlen zeigen uns nicht nur: in dem Körperteil, in der Börse steckt ein Metallkörper, sondern sie sagen uns auch: es ist eine Bleikugel, ein Stück Eisen, es ist Gold, Silber oder Kupfer!» Und wie die Spektralanalyse des Lichtes großes geleistet hat in der Analyse, so wird auch sicher das viermal größere Spektrum des Röntgenlichtes noch große Erfolge in der analytischen Chemie ermöglichen.

Doch es mögen diese kurzen Ausblicke in die Ferne genügen, um Ihnen zu zeigen, wie sehr sich der Horizont dieser neuen Wissenschaft erweitert hat, und wie er sich weiter und weiter klärt; um Ihnen zu zeigen, daß die Röntgenstrahlen heute interessanter erscheinen und zu größeren Hoffnungen berechtigen als zur Zeit ihrer Entdeckung; und ferner, daß wir heute, nach 22 Jahren ernster, mühsamer Forschung vor dem Zeitpunkte stehen, wo uns die Früchte dieser Arbeit in reicher und rascher Fülle zu reifen beginnen. Als uns 1895 der neue Stern des Röntgenlichtes aufging, waren wir erst geblendet und sahen nur sein Leuchten, sahen nur Licht und Schatten; heute beginnen wir im neuen Lichte zu sehen, und wunderbares hat es uns gezeigt! Zwar haben wir für die neuen Strahlen keinen Sinn, kein Auge, aber wir haben im leuchtenden Schirm, in der photographischen Platte und in Meßapparaten schon Brillen, Hilfsmittel, die uns ihre Gegenwart verraten und ihre Eigenschaften erforschen lassen. Und in dem Maße wie diese Hilfsmittel weiter vervollkommnet und ergänzt werden, werden wir nach und nach alles zu sehen im Stande sein, was uns das neue mächtige Licht zu zeigen vermag!