DIE EINRICHTUNGEN
ZUR
ERZEUGUNG DER RÖNTGENSTRAHLEN
UND IHR GEBRAUCH

VON

DR. B. DONATH

A W Isenthal
1899.

DIE EINRICHTUNGEN

ZUR

ERZEUGUNG DER ROENTGENSTRAHLEN

UND IHR GEBRAUCH.

GEMEINFASSLICH DARGESTELLT INSBESONDERE AUCH
FÜR ÄRZTE UND KLINIKEN

VON

Dr. B. DONATH.

MIT 110 ABBILDUNGEN IM TEXT UND 2 TAFELN

BERLIN,
VERLAG VON REUTHER & REICHARD
1899.

Vorwort.

Wenig mehr als drei Jahre sind verflossen, seit die Kunde von Röntgens wunderbarer Entdeckung die Länder durcheilte und in ungekannter Weise die ganze gebildete Welt auf viele Monate in Atem hielt. Der Reiz des Geheimnisvollen, die eminente praktische Bedeutung des gelehrten Experimentes vom ersten Augenblick an, weniger die spröde Unterordnung der neuen Strahlen unter die bekannten Gesetze der Physik, mögen die Hauptfaktoren gewesen sein, aus denen der beispiellose Erfolg der Würzburger Entdeckung sich zusammensetzte.

Seitdem ist man etwas nüchterner geworden, Zeit und Gewohnheit verlöschten den Eindruck des Wunderbaren und schafften Raum für kühleres Denken, zielbewusstes Vorgehen und Verbessern. Physik und Technik wetteiferten ihr Bestes zu geben, und Dank der Thätigkeit vieler fleissiger Hände und guter Köpfe können die Vorrichtungen zur Erzeugung der Röntgenstrahlen heute auf einer Höhe der Vollendung gesehen werden, die vor nicht allzu langer Zeit auch die Enthusiasten für kaum erreichbar hielten. Gegenüber diesen Erfolgen sind nunmehr auch die Stimmen verstummt, die das Verwendungsgebiet der Röntgenstrahlen als ein nur auf vereinzelte Fälle beschränktes gelten lassen wollten. In der That wird der Arzt ihrer im Interesse seiner Patienten und seines Rufes zu diagnostischen Zwecken nur ungern entbehren, der Industrielle wird sie zur Feststellung der inneren Struktur von Materialien, der Juwelier zur schnellen Entscheidung über die Echtheit der in einem Schmuck enthaltenen Steine mit Vorteil benutzen, u. s. f. Auch zum Nachweis von Nahrungsmittelfälschungen haben sie neuerdings die trefflichsten Dienste geleistet.

Man sieht, das Anwendungsgebiet ist nicht so klein, als es auf den ersten Blick erscheinen mag und es wird sich ständig erweitern, je mehr der Punkt, der die Meisten vor der Anschaffung einer leistungsfähigen Röntgenstrahlen-Einrichtung abschreckt, der hohe Preis derselben, seine Erledigung findet. In dieser Beziehung scheint jedoch eine Konstruktion der neuesten Zeit, der elektrolytische Unterbrecher, welcher

auch kleineren Instrumentarien eine gesteigerte Wirksamkeit verleiht, indem er dieselben zugleich dem direkten Anschluss an jedes beliebige Gleich-, Wechsel- oder Drehstrom - Lichtleitungsnetz zugänglich macht, wesentlich zu einer befriedigenden Lösung beitragen zu wollen.

Aber infolge der vielseitigen Verwendbarkeit der Röntgenstrahlen stehen wir heute vor der bemerkenswerten Thatsache, dass eine Gruppe zum Teil recht komplizierter physikalischer Apparate sich in den Händen von Nicht-Physikern befindet. Und das hat sein Missliches. Denn die Benutzung einer Röntgenstrahlen-Einrichtung erfordert, wenn sie von Erfolg begleitet sein soll, eine gewisse Summe von physikalischen und technischen Spezialkenntnissen, die auch dem gebildeten Laien nicht immer geläufig sein können. Infolgedessen bleiben dann Misserfolge nicht aus; durch gutgemeintes aber unverstandenes Herumprobieren wird viel verdorben und schliesslich wandert die ganze Einrichtung in die Rumpelkammer der Vergessenheit, während sie bei sachgemässer Behandlung die trefflichsten Dienste leisten könnte. Hierfür stehen dem Verfasser einige lehrreiche Beispiele, auch aus Krankenhäusern, zur Verfügung.

Das vorliegende Buch wird daher nicht unwillkommen sein, wenn es den Versuch macht, in einer auch dem Nicht-Fachmann fasslichen Form das Verständnis für die in Frage kommenden Apparate zu erschliessen. Es geht zu diesem Zweck von der Veranschaulichung einiger Grundbegriffe aus, bespricht dann die Konstruktion der Instrumente und giebt erschöpfende Auskunft über ihre Behandlung. Ebenso wenig fehlt natürlich eine, in einfacher Darstellungsweise gehaltene, Beschreibung aller bekannten Beobachtungs- und Messmethoden. Auch die photographische Technik ist in erforderlichem Masfe berücksichtigt worden. Dagegen folgt der Verfasser dem Mediziner auf ein Spezialgebiet der Untersuchung nicht. Einmal hält er sich als Physiker hierzu nicht für berechtigt und dann glaubt er einen Mangel hierin auch nicht erblicken zu dürfen, da es nach gründlicher Kenntnis der Elemente jedem gelingen wird, auf seinem Fachgebiet gute Erfolge zu erzielen. Zudem ist bisher eigentlich nur das diagnostische Anwendungsgebiet eifrig bebaut, für das therapeutische wenig gethan und was *v. Ziemssen**), *Levy - Dorn***), *Schiff*, *Albers - Schönberg*, *Küttner*, *Angerer*, *Unna*, *Rieder****) u. a. m. über beide gesagt haben, ist den Medizinern aus der Fachlitteratur sattsam bekannt, wie ja auch in den unter Mitwirkung von *v. Bramann*, *v. Bruns*, *Curschmann* durch

*) Verhandlungen des 16. Kongresses für innere Medizin 1898.

**) Eine besonders vollständige Zusammenstellung der einschlägigen medizinischen Fachlitteratur giebt Dr. *Levy-Dorn* in der Deutschen Medizinischen Wochenschrift No. 12 (23. März) 1899.

***) Münchener Medizinische Wochenschrift No. 4 u. 25 1898.

Deycke und *Albers-Schönberg* herausgegebenen „Fortschritten auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen“ ein besonderes Organ für die Förderung der medizinischen Ausbeute ins Leben getreten ist.

Doch auch der Fachmann, dem es daran liegt, sich mühelos und ohne Zeitverlust über die Masse des nunmehr von der „Röntgen-Industrie“ Gebotenen zu orientieren, wird das Buch nicht ungern zur Hand nehmen, zumal da es die bedeutenderen Erfindungen und Konstruktionen auch der neuesten Zeit bis auf die letzten Wochen in seiner Darstellung berücksichtigt. Ein Schlussabschnitt fügt ausserdem in Kürze und soweit es ohne Voraussetzung besonderer physikalischer Vorkenntnisse und ohne mathematisches Rüstzeug angeht, eine Übersicht hinzu, für alle diejenigen bestimmt, welche sich über die Geschichte und den Stand der exakten Forschung in der behandelten Materie im Grossen und Ganzen zu unterrichten wünschen.

In dem Bestreben, nur wirklich praktische Winke zu geben, wurde dagegen auf die Besprechung alles Überflüssigen verzichtet. So finden die Influenzmaschinen und die Tesla-Anordnung als Stromspender keine Erwähnung mehr. Ihre Inferiorität gegenüber dem allerdings teueren aber desto einfacheren und leistungsfähigeren Funken-Induktor in Verbindung mit einer geeigneten Stromquelle ist hinlänglich erwiesen und damit zugleich die Frage nach dem System, das heute zur Anschaffung empfohlen werden kann, entschieden worden.

Berlin, im Mai 1899.

Dr. B. Donath.

Inhaltsverzeichnis.

I. Abschnitt.

Einleitung und Veranschaulichung einiger Grundbegriffe.

Die Zusammensetzung einer modernen Röntgenstrahlen-Einrichtung ist kurz folgende. Die Röntgenstrahlen gehen von einem Platinblech innerhalb einer hochgradig evakuierten, von einem elektrischen Strome durchflossenen, gläsernen Röhre aus. Die Ströme jedoch, welche wir gewöhnlich als erzeugt von einer Batterie oder einer Dynamomaschine kennen, haben die Fähigkeit nicht, die Röhre ansprechen zu machen und bedürfen erst einer besonderen Transformation. Diese Umwandlung eines Stromes von grosser Intensität und niederer Spannung in einen solchen von geringerer Stärke und hoher Spannung wird in den sogenannten Funkeninduktoren vorgenommen, welche den kostspieligsten Teil einer Einrichtung bilden. Danach besteht in der Hauptsache ein Röntgenstrahlen-Instrumentarium:

1. Aus der Stromquelle,
2. dem Transformator (Funkeninduktor), welcher die von der Stromquelle gelieferte elektrische Energie in eine für die Röntgenröhre passende Form bringt und
3. der Vakuumröhre selbst, in welcher die elektrische Energie in Röntgenstrahlen umgesetzt wird.

Um diese wesentlichen Glieder scharen sich noch eine Anzahl von Nebenapparaten, welche teils zur Kontrolle der Hauptinstrumente oder zur Bequemlichkeit ihrer Benutzung dienen, teils auch dazu bestimmt sind, die Wirkung der unsichtbaren Röntgenstrahlen unseren Sinnen zu übermitteln. Die Gliederung des Stoffes ergiebt sich hiernach von selbst. Wir lernen, nach einer kurzen Orientierung über einige für das Verständnis alles Folgenden notwendigen Grundbegriffe, zunächst Wesen und Behandlung der Hauptapparate, darauf ihre Zusammenschaltung unter sich sowie mit den Nebenapparaten und zuletzt die zweckmässige Anwendung derselben für die Beobachtungsmethoden kennen.

Das Bestreben, die elektrischen Bewegungsgesetze zu veranschaulichen, hat eine Reihe von Bezeichnungen gezeitigt, welche der Betrachtung des fliessenden Wassers entnommen sind. Da die Gesetze der Hydraulik, soweit sie hier betrachtet werden, zahlenmässig mit denen der Elektricität recht wohl in Einklang zu bringen sind, kann man bei der bequemen und geläufigen Anschauungsweise bleiben, wenn man das Bewusstsein dafür nicht verliert, eben nichts als einen überraschend guten „Vergleich" vor sich zu haben. Dann wird man von einem elektrischen „Strome" sprechen dürfen, während in der That die Bewegung der Elektricität in einem Leiter mit der Ortsveränderung materieller Teilchen nichts gemein hat.

Am fruchtbarsten für unsere Zwecke ist die Betrachtung der Wasserbewegung in einer geschlossenen Rohrleitung, weil sie so derjenigen des elektrischen Stromes am meisten ähnelt, welcher ja ebenfalls an die Existenz eines in sich zurückkehrenden Leiters gebunden ist.

Eine bestimmte, in einem ringförmig geschlossenen Rohre enthaltene Wassermenge ruht so lange nutzlos, unfähig eine äussere Arbeit zu leisten, als nicht irgend eine Kraft das Wasser in Bewegung und Umlauf bringt. Wir wollen uns vorstellen, dass diese Leistung von einer Flügelschraube (Turbine) ausgeht, welche irgendwie von aussen her in Rotation versetzt, die Flüssigkeit in der Richtung der Pfeile (Figur 1) durch das Eisenrohr forttreibt und so zugleich auch als Quelle des entstandenen Stromes angesehen werden kann.

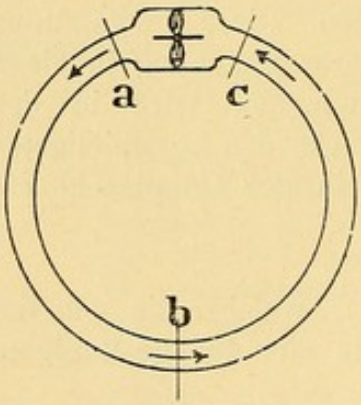


Fig. 1.

Legen wir uns die Frage vor, von welchen Faktoren die Menge des Wassers (die Stromstärke) abhängt, welche in der Zeiteinheit die Kreisleitung durchfliesst, so werden wir angeben können, dass dieselbe jedenfalls mit der motorischen Kraft der Turbine zusammenhängt und mit ihr wachsen wird. Sie wird zum Beispiel doppelt so gross sein, wenn die Turbine sich doppelt so schnell dreht. Ebenso leicht kann man verstehen, dass die Intensität des Stromes von dem Widerstand abhängt, welchen er in dem Rohre (durch Reibung an den Wänden und in sich) findet und dass, gleiche motorische Kraft der Stromquelle (der Turbine) vorausgesetzt, die Stromstärke um das Doppelte abnehmen wird, wenn der Widerstand um das Doppelte zunimmt. Mit kurzen Worten: Die Stromstärke wird proportional sein der motorischen Kraft der Turbine und umgekehrt proportional dem Leitungswiderstande.

Hieraus ergiebt sich ohne weiteres auch, dass in einer Leitung von doppelt erhöhtem Widerstande die frühere Stromstärke durch eine

Turbine von doppelt so hoher motorischer Kraft oder von zwei Turbinen von gleicher Kraft in Hintereinanderschaltung hervorgebracht werden kann (Fig. 2). Diese Vorstellungsreihe setzt voraus, dass zwischen dem Anfangs- und Endpunkt der Leitung (*a* und *c*) durch die Arbeit der Turbine eine Druckdifferenz zustande kommt, denn ohne eine solche kann man sich ja die Entstehung des Wasserstromes nicht vorstellen. Und diese Druckdifferenz wird um so grösser sein, je grösser die motorische Kraft der Turbine, oder der Turbinen, ist, da offenbar bei *A* das Wasser den vollen Druck der Turbine erfährt, während dieser bei *C* auf den Betrag Null gesunken ist. Hier nämlich geht der Druck ganz in ein Ansaugen über. Dies gilt jedoch nur für die der Turbine eng benachbarten Punkte innerhalb des Turbinengehäuses; betrachten wir dagegen einen Punkt der Leitung etwa *a*, so leuchtet sofort ein, dass die Spannung (der Druck) hier um so höher sein wird, je mehr sich das Wasser in der Leitung stauen muss d. h. je höher ihr Widerstand ist. Die Spannungsdifferenz rechts und links in den, dem Turbinengehäuse unmittelbar benachbarten Leitungsteilen wird dann zu ihrem grössten Betrag ansteigen, wenn der Leitungswiderstand unendlich gross wird. Dieser extremste Fall tritt ein, wenn die Leitung z. B. bei *a* und *c* unterbrochen und verstopft wird. (Fig. 3).

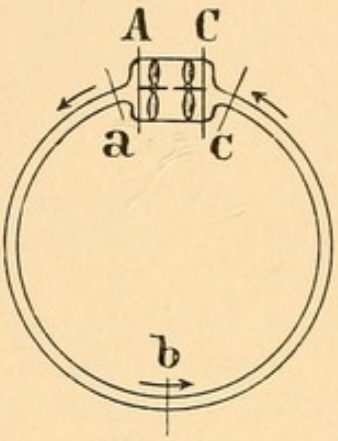


Fig. 2.

Die Turbine wird in dem Moment aufhören zu arbeiten, wo das bei a angespannte und von dort wieder zurückgestaute Wasser der Kraft der Turbine die Wage hält. Die Spannung bei *a*, bezgl. die Spannungsdifferenz zwischen *a* und *c* ist dann ein direktes Mafs für die motorische Kraft, sie ist ihr in diesem Falle, wo der Turbine kein Strom entnommen wird, gleich. In dem Augenblick, wo der Strom, wenn auch durch ein noch so dünnes Rohr (durch einen noch so hohen Widerstand) geschlossen wird, beginnt die Turbine wiederum Energie an das Wasser abzugeben und zwar um so mehr, je geringer der Widerstand wird. Daraus folgt, dass diese Energie- oder Arbeitsleistung, welche ja an irgend einer Stelle des Stromkreislaufes ausgenutzt werden kann, etwa indem sie dort eine zweite Turbine treibt und nach aussen Arbeit abgiebt, steigt mit der Spannung in der Leitung und ebenso mit der Strommenge. Die Arbeitsleistung ist also gleich dem Produkt aus Spannung (Druck) mal Stromstärke.

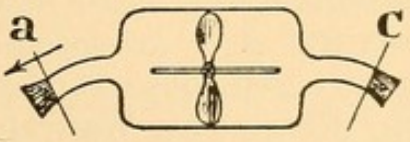


Fig. 3.

Wir wollen nun die Untersuchung auch auf den Fall ausdehnen, dass der Widerstand der äusseren Leitung sehr gering, mit anderen Worten, dass ihr Querschnitt sehr gross wird (Fig. 4). Wir sehen dann, dass die zu bewegenden Wassermassen im Vergleich zur motorischen Kraft sehr gross geworden sind und dass ihr Widerstand in der äusseren Leitung gegen den, welchen sie im Turbinengehäuse selbst finden, verschwinden Die Leistung wird also wesentlich nur von letzterem abhängen und der erstere überflüssig gering sein. Wir haben nunmehr den „inneren Widerstand“ (der Stromquelle selbst) von dem „äusseren Widerstand“ (dem der Leitung) zu unterscheiden und können nach dem Vorhergegangenen sagen, dass die Leistung der Turbine am besten ausgenutzt wird, wenn der innere Widerstand dem äusseren gleich ist.

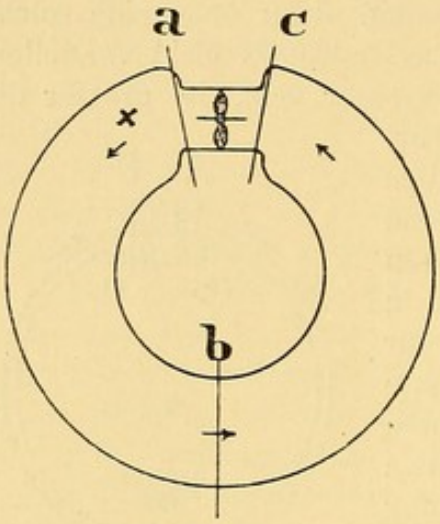


Fig. 4.

Sobald von der, durch eine äussere Kraft angetriebenen Turbine keine Leistung verlangt wird, steht sie still, sie wird um so mehr in Anspruch genommen, je höher die geforderte Leistung ist und langt an der Grenze ihrer Leistungsfähigkeit an, wenn die entnommene Arbeitsleistung gleich der aufgewendeten ist. Dies ist bei den angegebenen Widerstandsverhältnissen der Fall. Immer erfordert das Zustandekommen eines Stromes das Vorhandensein einer motorischen Kraft und einer Arbeitsleistung, gleichgültig, ob diese durch eine von aussen angetriebene Turbine oder etwa durch die Anziehungskraft der Erde (Gewicht des Wassers) dargestellt wird, gleichgültig auch, ob der Strom ein Wasserstrom, Luftstrom oder elektrischer Strom ist.

Denn auch um einen elektrischen Strom zu erzeugen und in Bewegung zu setzen, ist ein Arbeitsaufwand nötig und jede elektrische Stromquelle ist mit unserer Turbine vergleichbar. Nur dass nicht immer die Kraft zur Strombewegung einer so sinnfälligen, äusseren Arbeitsleistung entspringt, wie z. B. bei einer durch eine Dampfmaschine angetriebenen Dynamomaschine, sie kann etwa auch hervorgerufen werden durch einen bestimmten Aufwand an chemischer Energie. So bei den elektrischen Elementen, welche wir den Betrachtungen über die Bewegung des elektrischen Stromes, als Quellen desselben, zu Grunde legen wollen.

Elektromotorische Kraft, Widerstand und Stromintensität.

Unsere Röhrenleitung verwandelt sich in einen geschlossenen Drahtring und die Stelle der Turbine wird von dem Element eingenommen,

bestehend aus einem mit verdünnter Schwefelsäure gefüllten Gefäss, in welches, ohne sich zu berühren, eine Kupfer- und eine Zinkplatte tauchen mögen (Figur 5). Durch den Energieaufwand, welcher durch die Einwirkung der Säure auf die Metalle dargestellt ist, wird zwischen denselben eine „elektromotorische Kraft“ wachgerufen, welche den elektrischen Strom (ganz ähnlich der Turbine) erzeugt und ihn in der Richtung der Pfeile in dem Drahtleiter zum Umlauf bringt. Sie hängt ab von der Beschaffenheit der Metalle („Elektroden“) und der Flüssigkeit (des „Elektrolyten“).

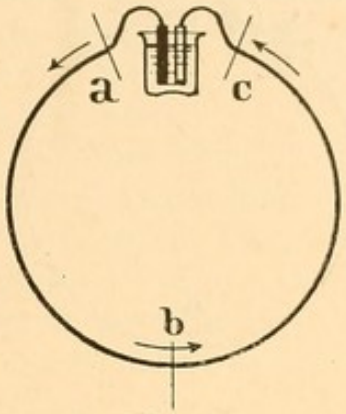


Fig. 5.

Je grösser die „elektromotorische Kraft“ der Stromquelle ist, desto grösser ist auch die Stromstärke, welche in dem Leiter zustandekommt, je länger und je dünner der Leiter ist, d. h. je mehr Widerstand er dem Strome bietet, desto kleiner ist die Stromintensität, welche die elektromotorische Kraft durch den Leiter zu pressen vermag. *Die Stromintensität oder Stärke wächst also direkt proportional mit der elektromotorischen Kraft und umgekehrt proportional mit dem Widerstande des Stromkreises.* In diesem einfachen und darum lange vergeblich gesuchten Gesetz fasste **Ohm** (1826) die drei Fundamentalgrössen Stromstärke, elektromotorische Kraft und Gesamtwiderstand zusammen. Schreiben wir dieses *Ohm*'sche *Gesetz* in mathematischer Form, so lautet es, indem die Stromstärke (Intensität) mit J, die elektromotorische Kraft mit E und der Gesamtwiderstand mit W bezeichnet wird:

$$J = \frac{E}{W}.$$

Möge, um ein Beispiel zu bilden, in einem Fall durch irgend eine Maſseinheit ausgedrückt, die Stromquelle die elektromotorische Kraft 2 und die Leitung ebenfalls den Widerstand 2 haben, so kommt offenbar ein Strom von der Stärke 1 zustande ($1 = {}^2/_2$). Wächst der Widerstand auf den doppelten Betrag (4) bei unveränderter elektromotorischer Kraft, so sinkt die Stromstärke auf den Wert ${}^1/_2$, (denn ${}^1/_2 = {}^2/_4$). Soll unter den neuen Widerstandsverhältnissen die frühere Stromstärke 1 wieder zustande kommen, so muss die elektromotorische Kraft auf ihren doppelten Wert erhöht werden (4). Wir erhalten dann in der That wieder die Stromstärke 1, (denn $1 = {}^4/_4$). Ins Praktische übertragen heisst das, wir müssen bei einem doppelt so grossen Widerstande, um die frühere Stromstärke hervorzurufen, nicht eine Stromquelle (Element) von der elektromotorischen Kraft 2 anwenden, sondern zwei oder noch mehr, je nach der Beschaffenheit des Widerstandes (Figur 6). Letzterer hängt

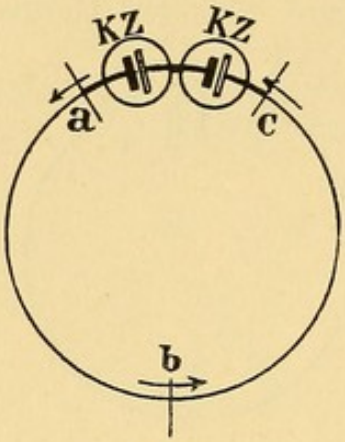


Fig. 6.

nicht nur, wie leicht einzusehen ist, ab von der Länge und dem Querschnitt des Leiters, sondern auch von seiner Substanz. Glas z. B. leitet den Strom fast gar nicht, es hat praktisch einen unendlich hohen Widerstand oder was dasselbe sagen will, eine Leitungsfähigkeit gleich Null. Setzt man die „spezifische" Leitungsfähigkeit des Quecksilbers = 1, so ergeben sich für die bekannteren zu Stromleitungszwecken oft verwendeten Materialien folgende Verhältniszahlen:

	Leitungsfähigkeit	Widerstand
Quecksilber	1	1
Neusilber	4	$^1/_4$
Blei	5	$^1/_5$
Eisen	8	$^1/_8$
Platin	8	$^1/_8$
Messing	13	$^1/_{13}$
Kupfer	55	$^1/_{55}$
Silber	64	$^1/_{64}$

Nach dieser Tabelle ist der „spezifische" Leitungswiderstand für Eisen etwa 7mal so gross als für Kupfer; man müsste also, um in einem Eisendraht dieselbe Stromstärke wie in einem gleich dimensionierten Kupferdraht hervorzubringen, eine 7mal grössere elektromotorische Kraft anwenden, oder den Querschnitt des Eisendrahtes bei gleicher elektromotorischer Kraft 7mal vergrössern.

Körper mit dem praktischen Leitungsvermögen Null werden Nichtleiter der Elektricität oder Isolatoren genannt. Weiter unterscheidet man schlechte oder Halbleiter (wie z. B. Holz) und Leiter, in der Hauptsache die Metalle.

Gerade wie die Existenz des Wasserstromes in der Röhrenleitung an eine Druckdifferenz, ist diejenige des elektrischen Stromes an eine Spannungsdifferenz gebunden, welche an den Enden des Kreisleiters zu beiden Seiten der Stromquelle herrscht. Diese Spannungsdifferenz wird wieder ein Maximum, wenn die Leitung unterbrochen und die Stromquelle (das Element) „offen" ist (Figur 7). Dann ist die „elektromotorische Kraft" gleich der Spannungsdifferenz an den Polen (Klemmen) des Elementes oder kurz gleich der „Klemmenspannung". Aber während die

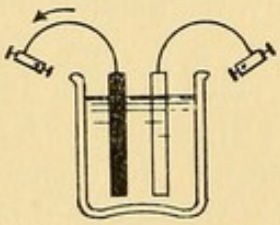


Fig. 7.

elektromotorische Kraft eine konstante Grösse bleibt, ist die Klemmenspannung variabel, denn sie wird sofort sinken, sobald die Stauung an den Klemmen nachlässt, d. h. sobald dem Element Strom entnommen wird. Spricht man daher von der Klemmenspannung einer Stromquelle, so darf man darunter gleichzeitig die elektromotorische Kraft nur bedingungsweise verstehen.

Ist die Leitungsfähigkeit des Stromkreises sehr gross (der Widerstand sehr klein), so wird die Stromintensität in der Hauptsache nur noch vom inneren Widerstand der Stromquelle abhängen, welcher kleiner wird mit der Leitungsfähigkeit des Elektrolyts (der Flüssigkeit) und wächst mit der Entfernung der Metallplatten (der Elektroden) von einander. Wiederum wird, wie bei der Betrachtung über die Wasserbewegung (Seite 4), der Effekt der Stromquelle am grössten, wenn der innere Widerstand (der Stromquelle) dem äusseren Widerstand (der Leitung) gleich ist.

Wird der äussere Widerstand geringer als der innere, so ist die Stromquelle kurz geschlossen und daher gezwungen, sich über ihre Kräfte anzustrengen. Ein solcher „Kurzschluss", welcher meist durch Unvorsichtigkeit entsteht, schädigt daher die Stromquelle.

Aus Gründen, welche hier unerörtert bleiben können, hat man den einen Pol der Stromquelle den positiven (+), und den anderen den negativen (−) genannt. Bei den Elementen hängt diese Polarität ab von der Art der Metalle, welche sich gegenüberstehen. In unserem Falle ist das Kupfer die positive Elektrode (die Anode) und das Zink die negative (die Kathode). Man ist darin übereingekommen, die Richtung des Stromes innerhalb der Stromquelle als von der Kathode zur Anode gehend zu betrachten; der Strom tritt also am positiven Pole der Stromquelle aus und geht durch die äussere Leitung zum negativen Pole zurück.

Elektrische Mafseinheiten.

Als *Einheit für die Stromstärke (Intensität)* hat man diejenige genommen, welche in einer Minute eine bestimmte chemische Arbeit liefert. Diese Einheit, welche man den Stromstärkemessungen zu Grunde legt, nennt man *1 Ampère* (zu Ehren des Physikers Ampère).

Der *Widerstand*, welchen ein nicht näher zu beschreibender Leiter von bestimmten Dimensionen und bestimmter Qualität dem Strome entgegensetzt, bildet die Einheitsgrundlage für die Widerstandsbestimmung und wird *1 Ohm* genannt (zum Gedächtnis G. S. Ohms).

Die *elektromotorische Kraft* endlich, welche in einem Leiter vom Widerstande 1 Ohm, die Stromstärke 1 Ampère hervorzubringen vermag, heisst *1 Volt* (nach Volta). Auch die Klemmenspannung wird in Volt gemessen.

Wir können die Faktoren des *Ohm*'schen *Gesetzes* nunmehr für

irgend einen Teil der Leitung, welcher die Stromquelle nicht enthält, auch folgendermafsen schreiben:

$$\text{Ampère} = \frac{\text{Volt}}{\text{Ohm}} \quad \text{oder kurz} \quad A = \frac{V}{\Omega}$$

Herrscht z. B. an den Hausanschlussklemmen, welche mit einer entfernten Stromquelle (einer elektrischen Centrale) in Verbindung stehen, eine Spannung (oder richtiger: eine Spannungsdifferenz) von 100 Volt und wird an die Klemmen ein Leitungskreis vom Widerstande 20 Ohm angeschaltet, so kann man sofort sagen, dass in der Leitung eine Stromstärke $\frac{100}{20} = 5$ Ampère zustande kommen wird.

Da zur Erzeugung eines elektrischen Stromes, wie wir gesehen haben, ein Arbeitsaufwand gehört, wird andererseits ein den Leitungswiderstand überwindender Strom eine Arbeitsleistung darstellen, gleichgültig in welcher Form dieselbe sichtbar wird, sei es als mechanische oder chemische Arbeit, oder etwa als Wärmeabgabe.

Diese elektrische Energie- oder Arbeitsleistung wird ebenso abhängen von der Stromstärke wie von der Spannung und gleich dem Produkt beider sein. *Wir messen die elektrische Energie in Volt-Ampère oder Watt.* Vermag z. B. eine Leitung eine Stromstärke von 8 Ampère bei einer Spannung von 100 Volt zu liefern, so steht eine Energie zur Verfügung, welche im Bedarfsfalle bis zu 800 Watt leistet. Ein mit dieser Energie betriebener Elektromotor hat ungefähr eine Pferdekraft. Läuft er 2 Stunden, so hat er 800 Watt 2 Stunden lang oder $2 \cdot 800 = 1600$ Wattstunden verbraucht. Mithin wird der *Verbrauch elektrischer Energie nach Wattstunden* gezählt und berechnet.

Verschiedene Schaltungsarten der Stromquellen.

Die vorangegangenen einfachen Ausführungen, welche im wesentlichen nichts anderes sind als die Verallgemeinerungen des Ohm'schen Gesetzes, werden für alle in der Röntgenpraxis vorkommenden Fälle genügen. In Folgendem sollen daher nur noch einige Angaben über die günstigste Schaltung der Stromquellen gemacht werden.

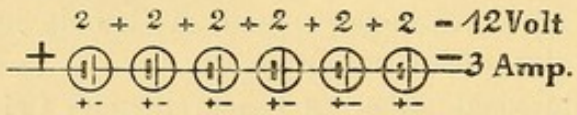


Fig. 8.

Stehen 6 Elemente mit der elektromotorischen Kraft von je 2 Volt und einer Stromabgabefähigkeit von je 3 Ampère zur Verfügung, so können dieselben auf zwei verschiedene Hauptarten geschaltet werden.

Entweder kann jeder positive Pol mit dem negativen des folgenden Elementes (Figur 8) oder aber es können alle positiven und alle negativen

Pole mit einander verbunden werden (Figur 9). Im ersten Falle addieren sich die elektromotorischen Kräfte der einzelnen Elemente und an den Klemmen der offenen Batterie herrscht eine Spannung von $2 \cdot 6 = 12$ Volt. Dagegen ist die von der Batterie gelieferte Stromstärke nicht höher als die eines einzelnen Elementes, also 3 Ampère

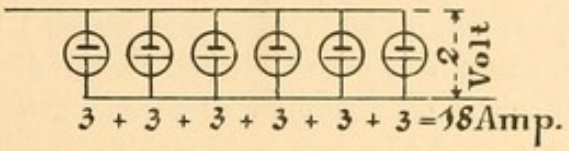


Fig. 9.

Im zweiten Falle hingegen ist die Spannung der Batterie nicht grösser als die eines Elementes (2 Volt), dagegen sind sämtliche Elemente jetzt für sich an der Stromlieferung beteiligt, so dass die Stromintensität $3 \cdot 6 = 18$ Ampère beträgt.

Die erste Schaltungsart heisst Reihen- oder „Hintereinanderschaltung", die zweite wird Parallel- oder „Nebeneinanderschaltung" genannt. Je nach dem Zweck, welchen die Batterie erfüllen soll (hoher oder geringer Widerstand im Leitungskreise), wird der einen oder anderen Schaltungsweise der Vorzug zu geben sein.

Wir merken den Satz: *Die „elektromotorische Kraft"* (und auch die Klemmenspannung) *wächst mit der Anzahl der „hintereinandergeschalteten", die „Stromstärke" mit der Zahl der „nebeneinandergeschalteten" Elemente.*

Wir fügen noch hinzu, dass die elektromotorische Kraft eines einzelnen Elementes abhängt von der Art der Elektroden und des Elektrolyten und seine Stromstärke von der Grösse der Elektroden.

Stromabzweigung (Nebenschluss).

Von der Notwendigkeit einer Spannungsdifferenz an den Enden einer Leitung für das Zustandekommen eines Stromes wurde bereits gesprochen. Der Spannungsabfall wird nicht von einem Punkte der Leitung zum anderen plötzlich seiner vollen Grösse nach eintreten, sondern sich über den ganzen Leiter verteilen, indem sich in letzterem vom Höchstbetrage bis zum niedrigsten ein gleichmässiges Spannungsgefälle (auch Potentialgefälle genannt) ausbildet.

Hat eine Stromquelle Q (Figur 10) beispielsweise zwischen ihren Polen die Spannungsdifferenz 3 Volt, so werden an Punkten der Leitung, welche in $^1/_3$ bezüglich $^2/_3$ der Kreisleiterlänge von a entfernt liegen, die Spannungen 2 Volt (bei b) und 1 Volt (bei c) herrschen. Zwischen den Punkten b und c besteht also eine Spannungsdifferenz von 1 Volt, welche ihrerseits wiederum befähigt ist, einen elektrischen Strom in einer die Punkte b und c verbindenden Leitung ins Leben zu rufen. Ist der Widerstand der neuen Abzweigung

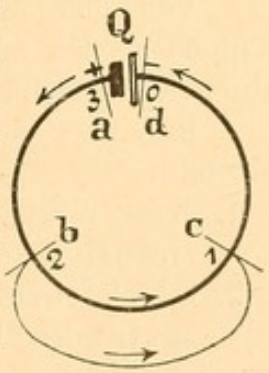


Fig. 10.

bekannt, so lässt sich die Stromstärke, welche in ihr in die Erscheinung tritt, leicht berechnen. Der Widerstand betrage 4 Ohm, die Spannung ist bereits bekannt gleich 1 Volt, mithin die Stromstärke J gleich $^1/_4 = 0{,}25$ Ampère.*) Nähert man die Abzweigpunkte *b* und *c* einander, so wird die Spannungsdifferenz zwischen ihnen kleiner und damit die Stromstärke in dem Nebenschluss geringer; der umgekehrte Fall tritt bei der Entfernung der Punkte von einander ein. Da der Widerstand der Hauptleitung mit ihrer Länge wächst, wird beim Nähern der Abzweigpunkte der Widerstand zwischen ihnen geringer und umgekehrt. Man kann also die Abzweigstellen ruhig an ihrem Platze lassen und, was jedenfalls bequemer ist, den Widerstand des Hauptleiterstückes zwischen ihnen verändern. Dies lässt sich, wie später gezeigt wird, auf sehr einfache Weise erreichen. Wächst dieser Widerstand vom Betrage Null zu einem unendlich grossen Wert, so steigt die Spannung an den Abzweigpunkten von dem Betrage Null bis zur Spannung der Stromquelle (der letztere Fall tritt ein, wenn die Hauptleitung zwischen *b* und *c* zerschnitten wird).

Die Kenntnis von den Gesetzen der Stromabzweigung setzt uns in den Stand, von einer für unsere Zwecke mit zu hoher Spannung behafteten Stromquelle einen Strom abzunehmen, dessen Spannung und Stärke wir in weiten Grenzen variieren können. Bei dem Anschluss von Röntgeneinrichtungen an die Leitungen einer elektrischen Centrale werden wir von dieser Schaltung ausgiebigen Gebrauch machen müssen. Leider — könnte man sagen, denn der Teilstrom, welcher, während der Benutzung des Nebenschlusses, den Hauptstromkreis zwischen den Abzweigpunkten durchfliesst, — und das ist in den meisten Fällen der bei weitem grössere Teil, — geht für unsere Zwecke nutzlos verloren. Der Gesamtaufwand an Strom wird um so grösser, je kleiner die erforderliche Spannung des Nebenschlusses und je grösser diejenige der Stromquelle ist.

Von den für den Betrieb von Einrichtungen zur Erzeugung der Röntgenstrahlen mit Vorteil verwendbaren Stromquellen soll der folgende Abschnitt handeln.

In Kürze sind die in diesem Abschnitt gewonnenen Hauptsätze folgende:

1. Jeder elektrischen Stromquelle wohnt eine spezifische „elektromotorische Kraft“ inne. (Seite 5.)
2. Die Stromstärke, welche in einem geschlossenen Leiter zustande kommt, ist der elektromotorischen Kraft

*) In Wahrheit verändert sich das Gesamtspannungsbild durch eine Stromentnahme bei *b* und *c*; diese Veränderung, welche in einer Herabminderung der Spannung im Hauptleiter besteht, kann jedoch unberücksichtigt bleiben, wenn die Stromentnahme durch den Nebenschluss gering ist.

direkt, dem Gesamtwiderstande des Stromkreises umgekehrt proportional. [Ohm'sches Gesetz.] (Seite 5.)

3. Die „Klemmenspannung“ einer Stromquelle ist gleich dem Produkt aus Stromstärke mal dem Widerstand des Leitungskreises. Sie ist bei „offener“ Stromquelle gleich der „elektromotorischen Kraft“, sonst kleiner. (Seite 6.)
4. Die „elektromotorische Kraft“ wird gemessen in „Volt“ [Symbol V], der „Widerstand“ in „Ohm“ [Symbol Ω], die „Stromstärke“ in „Ampère“ [Symbol A] (Seite 7), die „elektrische Arbeitsleistung“ in Volt-Ampère oder „Watt“. (Seite 8.)
5. Die „elektromotorische Kraft“ (Klemmenspannung) eines elektrischen Elementes hängt ab von der Art der Elektroden und des Elektrolyten. Die Stromstärkeleistung wächst mit der Oberfläche der Elektroden. (Seite 9.)
6. Die „elektromotorische Kraft“ (Klemmenspannung) einer Batterie, wächst mit der Anzahl der „hintereinander“, die „Stromstärke“ mit der Zahl der „nebeneinander“ geschalteten Elemente. (Seite 9.)
7. In einem Zweigleiter wächst die Spannung mit der elektromotorischen Kraft der Stromquelle und mit dem zwischen den Abzweigstellen befindlichen Widerstande.

II. Abschnitt.

Die Stromquellen und ihre Behandlung.

A. Die Tauchbatterieen.

Von den Stromquellen, welche für den Betrieb grosser Funkeninduktoren geeignet sind, kommen ausser den Akkumulatoren und ausser den Dynamomaschinen, welche den Strom für die Lichtleitungen liefern,

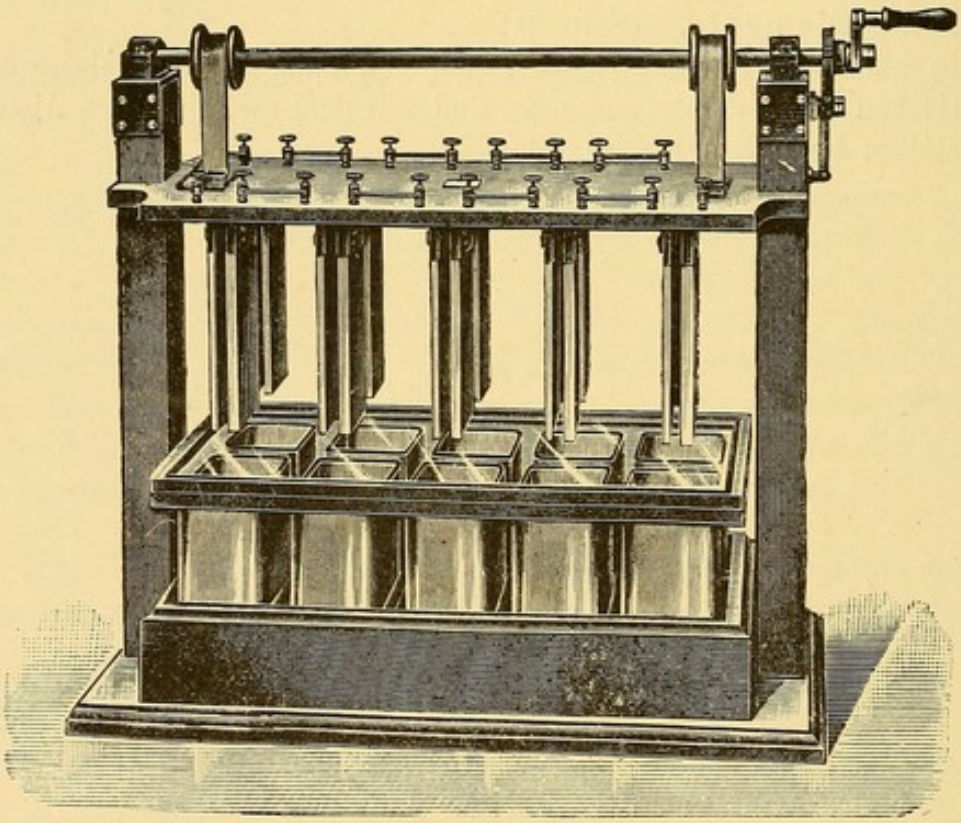


Fig. 11.

ernstlich nur die sogenannten Chromsäure-Tauchbatterieen in Frage. Sie werden überall da ein Notbehelf sein, wo eine Gelegenheit zum Laden einer Akkumulatorenbatterie fehlt. Ihrer untergeordneten Bedeutung wegen mögen wenige Fingerzeige für ihre Anschaffung und Behandlung genügen.

Die Stromgeber sind Elemente, bei denen eine Kohle und eine Zinkplatte in ein Gefäss mit einer Lösung von Doppelchromsaurem Kali taucht. Um die Oberfläche der Zinkplatte voll auszunutzen, lässt man sie meist von zwei Kohleplatten einschliessen. Letztere geben den positiven, die erstere den negativen Pol des Elementes ab. Durch eine Kurbelvorrichtung kann man sämtliche Platten der Batterie zugleich aus der Lösung heben, was stets zu geschehen hat, sobald dieselbe nicht benutzt wird. Figur 11 stellt eine Kurbelvorrichtung von Kohl-Chemnitz dar.

Nach öfterem Gebrauch wird die Lösung, welche zuerst eine prachtvoll rote Farbe hatte, dunkel, schliesslich tintig und ist dann nicht mehr zu benutzen. Man setzt die neue Füllung folgendermafsen zusammen:

1 Liter Wasser
104 ccm Schwefelsäure
100 gr Doppelchromsaures Kali.

Die Schwefelsäure giesse man langsam unter stetem Umrühren zum Wasser.

Hierbei ist eine Säuberung der Gläser, wie der Metallteile nicht dringend genug anzuraten. Die Kohleplatten werden mit heissem Wasser abgebrüht und dann getrocknet, die Zinkplatten, welche von der Säure heftig angegriffen werden, werden im Interesse ihrer Konservierung frisch amalgamiert. Dies geschieht auf folgende Weise. Ein flaches Gefäss, welches mit Wasser verdünnte Schwefelsäure (1:15) und auf seinem Boden etwas Quecksilber enthält, wird bereit gehalten. Die Zinkplatten werden durch Lösen der Schrauben aus ihrer Metallfassung genommen und, nachdem sie unter Wasser gründlich abgebürstet sind, flach in die Schale gelegt. Sie bedecken sich schnell (amalgamieren sich) mit einer Schicht von Quecksilber, wenn man sie öfter umdreht und evtl. noch mit einer alten Bürste das Quecksilber auf ihrer Fläche verteilen hilft. Die Zinkplatten werden dann sofort gespült, getrocknet und wieder mit ihrer Fassung verschraubt. Man sorge dafür, dass alle Kontakte peinlich sauber und stets metallisch blank gehalten werden. Nur durch gewissenhafte Beobachtung dieser Vorschriften kann eine Batterie auf der Höhe ihrer Leistungsfähigkeit erhalten werden.

Jedes Element giebt im Mittel eine Klemmenspannung bis zu 2,5 Volt. Diese sinkt jedoch bei Stromentnahme durch Polarisation der Platten nicht unbeträchtlich, sodass man praktisch mit einer Nutzspannung von etwa 1,5 Volt rechnen darf. Hiernach ist unter Berücksichtigung der Spannung, welche der Induktor zu seinem Betriebe erfordert, die Zahl der zu einer Tauchbatterie zu vereinigenden Elemente zu bestimmen. Die benötigte Stromstärke ergiebt die Grösse der

Platten; man wählt dieselben möglichst gross evtl. vereinigt man zwei Zink- und drei Kohleplatten oder noch mehr in einem Element.

B. Die Akkumulatoren.

Ein praktisches Mittel, die elektrische Energie an und für sich in brauchbarer Menge aufzuspeichern, besitzen wir bisher nicht; wir bedienen uns der, in den sogenannten elektrischen Akkumulatoren durch den Strom aufgespeicherten, chemischen Arbeit als Zwischenglied. Über den sich bei dieser Umwandlung abspielenden Prozess, welcher in seinen Einzelheiten jedenfalls sehr komplizierter Natur ist, sind die wissenschaftlichen Akten noch nicht geschlossen. Wir wollen es versuchen, uns an der Hand einer einfacheren Betrachtung wenigstens eine ungefähre Vorstellung von der Wirkung des Akkumulators auf folgende Weise zu verschaffen.

In ein Gefäss mit verdünnter Schwefelsäure mögen 2 von einander getrennte Bleiplatten tauchen. Die eine der Platten wird mit dem positiven (+), die andere mit dem negativen (—) Pole einer elektrischen Stromquelle verbunden, worauf sich sofort an der positiven Platte Sauerstoff, an der negativen Wasserstoff auszuscheiden beginnt. Sichtbar wird diese Bildung jedoch nur an der negativen Elektrode in Form aufsteigender Wasserstoffbläschen, an der positiven ist keine Entwickelung zu bemerken, was der Vermutung Raum giebt, es müsse hier eine chemische Veränderung stattfinden. Wird der Versuch nach einiger Zeit unterbrochen, so zeigt sich in der That die Farbe der positiven Bleiplatte verändert. Sie ist von der charakteristischen des Bleies in eine rotbraune übergegangen und die Untersuchung zeigt, dass sich die Bleiplatte mit einer Schicht von Bleisuperoxyd überzogen hat. Die negative Platte hat sich während des Vorganges an ihrer Oberfläche unter dem Einfluss der anwesenden Schwefelsäure mit Bleisulfat bedeckt und wir haben nun, nach Unterbrechung des Stromes 2 ihrer chemischen Zusammensetzung nach verschiedene Platten in einem Gefäss mit verdünnter Schwefelsäure, also ein elektrisches Element vor uns, aus dem bei Verbindung seiner Pole solange Strom entnommen werden kann, bis sich die durch die Ladung hervorgerufenen chemischen Prozesse zurückgebildet haben. Die Oberfläche der negativen Platte geht hierbei in schwammiges Blei über, das Bleisuperoxyd der positiven sinkt auf eine tiefere Oxydationsstufe, indem es sich in Bleioxyd verwandelt und eine bedeutend hellere Farbe, welche also ein oberflächliches Kriterium über den Stand der Entladung abgiebt, annimmt. Der Akkumulator ist nach dieser Rückbildung wieder fähig, neue Energie in sich aufzunehmen.

Da die chemische Formierung auch bei öfterer Wiederholung nur bis zu geringer Tiefe in die Bleiplatten eindringt, so ist die Auf-

nahmefähigkeit eines Akkumulators natürlich nicht beliebig gross, sondern hängt ab von der Grösse (oder Anzahl) der Bleiplatten und von ihrer Beschaffenheit. Man spricht von der „Kapacität“ eines Akkumulators und versteht darunter das Produkt aus dem maximalen Entladestrom und der Zeit der Entladung, gemessen in Stunden. Eine Akkumulatorzelle z. B., welche eine maximale Entladungsstromstärke von 6 Ampère bei zehnstündiger Entladung zulässt, hat eine Kapacität von 60 Ampère-Stunden.

In der Praxis verwendet man keine Bleiplatten, weil dieselben eine zu geringe Kapacität haben, sondern die verschiedenartigsten Bleigitter, in welche man die aktive Masse gleich in Form der Bleioxyde hineinstreicht. Man füllt das positive Gitter mit Pb_3O_4 (Mennige), das negative mit Pb O (Bleiglätte) und verbindet sämtliche positive und sämtliche negative Platten einer Zelle mit einander durch Bleilötung, wie es Figur 12 zeigt.

Durch die Grösse und Anzahl der Platten ist die Stromstärke bestimmt, mit welcher die Zelle geladen und entladen werden darf, ohne Schaden zu nehmen. Von der liefernden Firma wird dieselbe stets angegeben und man hüte sich, die obere zulässige Grenze der Beanspruchung zu überschreiten, denn trotz ihrer robusten Gestalt haben die Akkumulatoren eine recht zarte Gesundheit. Die aktive Masse derselben arbeitet nämlich ähnlich einer Lunge, sie dehnt sich bei der Ladung etwas aus und fällt bei der Entladung wieder zusammen. Wird beides mit zu grosser Stromstärke vorgenommen, so biegen sich die Platten, die aktive Masse bröckelt heraus und fällt zwischen den Platten herab. Hierdurch wird nicht nur die Kapacität verringert, sondern auch die Möglichkeit gegeben, dass durch die zu Boden sinkende Füllung eine direkte leitende Verbindung zwischen einer positiven und einer negativen Platte ein sogenannter innerer Kurzschluss hergestellt und durch die nun eintretende stürmische Entladung die Platten völlig zu Grunde gerichtet werden. Man schützt sich hiergegen am besten durch Einschaltung von Sicherungen und Strommessinstrumenten, welche in einem der folgenden Abschnitte noch eingehend besprochen werden.

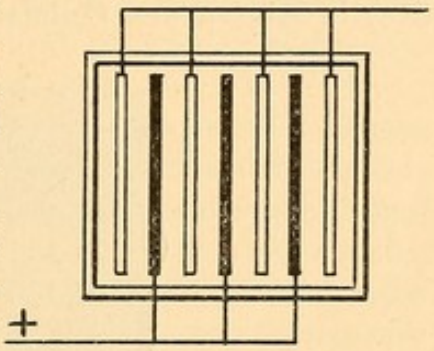


Fig. 12.

Die Akkumulatoren werden für Röntgeneinrichtungen meist zu je 3—5 Zellen in Holzkästen vereinigt, geliefert. Die Zellen sind dann, um ein Ausfliessen der Säure zu verhüten, mit einer harzigen Substanz vergossen, in welche oben zum freien Abzug der Gase kleine, für den Transport mit einem Gummistopfen versehene Tüllen eingelassen sind.

Sind die Zellen aus Glas, so lässt man sie wohl zur besseren Beaufsichtigung der Platten und des Säurestandes etwas über den Holzkasten hervorstehen (Figur 13), oder man versieht die Vorderwand der Kästen mit mehr oder minder grossen Ausschnitten. Letzteres ist bei den, in

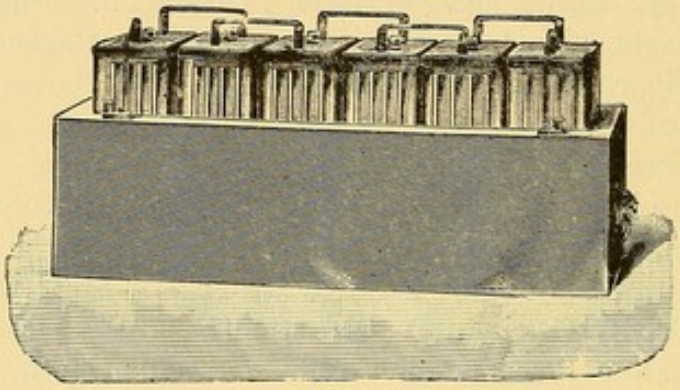


Fig. 13.

den Abbildungen 14 und 15 dargestellten transportablen Batteriekästen der Fall, welche je 4 einzelne Zellen mit einander vereinigen. Bei der letzteren Type (Figur 15), sind die Bleiplatten (3 positive und 5 negative) in Kästen aus Celluloid eingebaut, was eine grössere Haltbarkeit

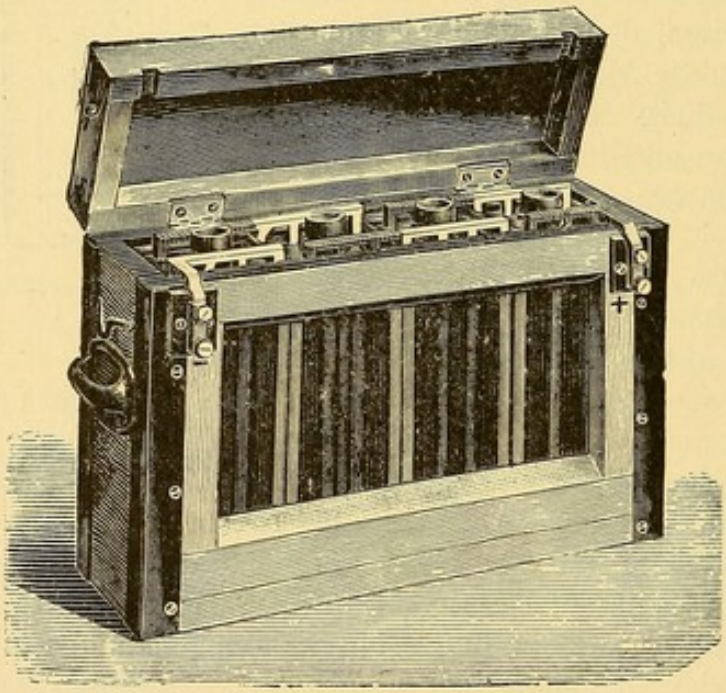


Fig. 14.

beim Transport gewährleisten soll. Bei einigermafsen sorgfältiger Montage und guter Verpackung der Zellen in Filzzwischenlagen ist diese Vorsicht wohl kaum nötig.

Die Zellen sind innerhalb eines Kastens hintereinander oder auf Spannung geschaltet, d. h. jeder positive Pol der vorhergehenden Zelle

ist mit dem negativen der folgenden verbunden (vergleiche Seite 8). Die elektromotorischen Kräfte der Zellen addieren sich und es entsteht

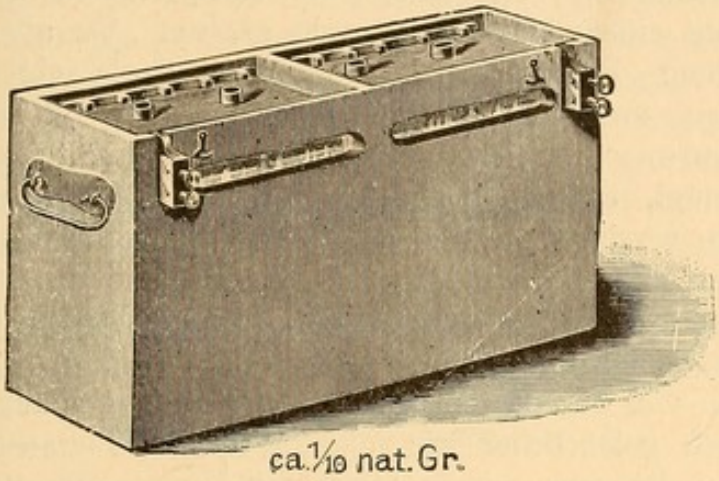


Fig. 15.

an den freien Endpolen der ganzen Kette eine Spannung, welche der Summe der elektromotorischen Kräfte der einzelnen Zellen entspricht, an den Klemmen eines Kastens, welcher z. B. 4 Zellen enthält, also eine Spannung von im Mittel $2 \cdot 4 = 8$ Volt, da jede Zelle im Durchschnitt eine Spannung von 2 Volt hat.

Wie schon erwähnt, ist es nicht gleichgiltig, mit welcher Stromstärke eine Akkumulatorenbatterie entladen wird; man hat sich daher bei einem Ankauf vorher zu vergewissern, welche Stromintensität (Stärke) und welche Spannung zum Betriebe des in Aussicht genommenen Induktoriums erforderlich ist. Gebraucht dasselbe beispielsweise eine Stromstärke von 7 Ampère bei einer Batterieklemmenspannung von 10 Volt, so werden 5 Zellen einer Type, welche mit 7 Ampère Entladestromstärke belastet werden darf, hintereinander zu schalten sein. Da jedoch beim Betriebe Störungen mit einer zeitweilig höheren Inanspruchnahme der Batterie vorkommen können, so wird man gut daran thun, die Zellen eher etwas zu gross als zu klein zu wählen.

Die Batterien sind meist für 3, 5 oder 10stündige Entladung gebaut. Diese Angabe dient als Maſsstab für die Entladungsstromstärke. Hat z. B. eine Batterie eine Kapacität von 70 Ampèrestunden und gestattet dieselbe eine 10stündige Entladung, so kann sie im Maximum mit 7 Ampère, oder bei 5stündiger Entladung mit 14 Ampère, bei 3stündiger Entladung mit etwa 23 Ampère entladen werden, ohne dass den Platten ein Schaden droht.

Weitaus am meisten werden für transportable Zwecke, welche hier wohl nur in Frage kommen, Zellen für 10—5stündige Entladung konstruiert. Zellen von zu grosser Kapacität zu wählen (über 80 Ampère-Stunden) empfiehlt sich nicht, weil dieselben für den Transport

zu schwer werden. Es ist auch ein Irrtum, anzunehmen, dass ein einmal geladener Akkumulator seine Ladung unversehrt aufbewahrt und dass es daher zur Vermeidung von Transportkosten nur von Vorteil sein könne, mit einem Male einen recht grossen „Vorrat“ von Elektricität zu erhalten. Denn jede Akkumulatorenbatterie zeigt durch sekundäre Vorgänge zwischen Bleiplatten und Elektrolyt eine gewisse „Selbstentladung“, welche, wenn sie auch verhältnismässig gering ist, doch genügt, um nach einiger Zeit den Vorrat an Elektricität wesentlich zu verringern. Wo daher eine Röntgenstrahleneinrichtung nicht fortdauernd im Betrieb ist, mag eine Batterie von kleiner Kapacität empfohlen werden; 30—50 Ampèrestunden dürften bei Zulässigkeit einer maximalen Entladestromstärke von 3—6 resp. 6—10 Ampère für Induktoren von 15—30 cm. Schlagweite vollauf genügen.

Fast noch gefährlicher wie eine zeitweise Überanstrengung der Akkumulatoren ist eine zu weite Entladung. Die Spannung von ungefähr 2,5 Volt pro Zelle, welche die Batterie in völlig geladenem Zustande zeigt, sinkt bei der Entladung schnell auf ca. 2 Volt herab und bleibt dann während der längsten Zeit derselben fast konstant, um erst gegen Ende der Entladung bei etwa 1,8 Volt rasch abzufallen. Eine Batterie von 8 Zellen würde also im geladenen Zustande etwa $8 \cdot 2{,}5 = 20$ Volt, im entladenen etwa $8 \cdot 1{,}8 = 14{,}4$ Volt, im Mittel während der Entladung $8 \cdot 2 = 16$ Volt Klemmenspannung zeigen. Ist die Gesamtspannung auf einen Betrag herabgesunken, welcher einer Spannung von 1,8 Volt pro Zelle entspricht, so darf die Entladung nicht weiter ohne Schaden für die Batterie fortgesetzt werden.

In der Höhe der Klemmenspannung besitzen wir mithin einen ziemlich sicheren Mafsstab für den Ladungszustand. Durch Beobachtung eines Messinstrumentes (Voltmeters), welches die Spannung in jedem Augenblick abzulesen gestattet, schützt man sich daher gegen eine zu weit gehende Entladung. Gegenüber dem Vorteil, welche ein Voltmeter für die Erhaltung der Akkumulatoren mit sich bringt, kann der Preis kaum ins Gewicht fallen und seine Anschaffung sei hiermit angelegentlichst empfohlen.*) Der Abschnitt VI enthält über Anwendung und Behandlung des Apparates alles Wissenswerte.

Glaubt man durchaus auf die Erwerbung eines Voltmeters verzichten zu müssen, so versäume man doch nicht, sich auf folgende Weise wenigstens ein ungefähres Urteil über die jeweilige Spannung der Batterie zu verschaffen. Hierzu wird eine Glühlampe von der mittleren Spannung der Batterie (also bei 8 Zellen eine Lampe von 16 Volt), welche mit

*) Das Instrument muss bei einer frisch geladenen und gesunden Batterie eine Spannung zeigen, welche das Doppelte der Zellenzahl übersteigt. Ist dies nicht der Fall, so sind die Akkumulatoren unvollständig geladen worden.

Fassung und Zuleitungsdrähten versehen von jeder elektrotechnischen Fabrik zu erhalten ist, an die Klemmen der Batterie gelegt. (Vergl. auch Seite 86). Sie brennt für gewöhnlich mit normaler Helligkeit, erst gegen Ende der Entladung wird man finden, dass die Leuchtkraft wesentlich nachlässt und man muss dann für eine sofortige Wiederladung Sorge tragen, da entladene Platten sich gern mit einer Schicht von Bleisulfat bedecken, welches dieselben eines grossen Teiles ihrer Aktivität beraubt. Es ist daher im Interesse der Konservierung ebenfalls dringend zu raten, eine Batterie im Falle einer längeren Nichtbenutzung stets geladen aufzubewahren, bezgl. eine Aufladung alle Monat einmal vornehmen zu lassen. Eine Untersuchung der Spannung sollte im Betriebe täglich vorgenommen werden.

Laden der Akkumulatoren.

Die verschiedenartigsten Elementsätze, welche von einigen Seiten zum Selbstladen der Akkumulatoren noch immer empfohlen werden, sind ganz unzureichend, und ihre Anwendung ist nicht viel mehr als eine kostspielige, unnütze und zeitraubende Spielerei.

Ist jedoch im Hause Anschluss an die Lichtleitung einer Centrale vorhanden, dann mag man immerhin versuchen, ob die Vorteile einer eigenen Ladung die Nachteile des Transportes und die Kosten der Ladung seitens der liefernden Firma wett machen. Man bedenke auch, dass im Falle eigener Ladung der Lieferant schwerlich eine weitere Garantie für die Haltbarkeit seiner Akkumulatoren übernehmen wird.

Eine Anschaltung der Akkumulatoren an die Lichtleitung hat stets mit grosser Vorsicht zu geschehen; man handle daher nach den sich aus Folgendem ergebenden Gesichtspunkten.

Von einer Stelle der Lichtleitung, welche fähig ist, die für die Ladung benötigte Strommenge abzugeben, also zum Beispiel in der Nähe eines Ausschalters für einen mehrflammigen Beleuchtungskörper, zweige man zwei starke, isolierte Kupferdrähte ab, welche man an der Wand in der Nähe der Akkumulatoren in zwei auf einem Brette montierten Klemmen endigen lässt. Die Klemmen sind ihrer Polarität nach deutlich mit + und — zu bezeichnen. Ferner wird in die Leitung eine auswechselbare Bleisicherung geschaltet, welche für die, von den Akkumulatoren verschluckte, maximale Stromstärke berechnet und geeignet ist, die Lichtleitung vor Ueberanstrengung zu schützen (vergl. Abschnitt VI auf Seite 86). Am besten wird das Verlegen der Leitung von einem verständigen und geübten Monteur ausgeführt.

Die Ladung erfolgt durch Verbindung der Plus- und Minusklemme der Batterie mit den gleichnamigen Polen der Lichtleitung. Ein Versehen hierbei kann von den übelsten Folgen sein. Man fordere daher von der die Akkumulatoren liefernden Firma, dass die Klemmen

an den Kästen deutlich ihrer Polarität nach, am besten durch Einbrennen der Zeichen + und —, bezeichnet sind. Auch die Angabe der maximalen Lade- und Entladestromstärke, sowie die Kapacität des Akkumulators in Ampèrestunden sollte auf den Kästen nicht fehlen. Wo dies der Fall ist, hole man das Versäumte nach, indem man die Pole mit dem Polsucher, einem im Abschnitt VI Seite 86 genauer beschriebenen, nützlichen und wohlfeilen Instrument bestimmt. Sind die Platten der Zellen sichtbar, so wird man die Plusklemme leicht auch ohne Polsucher auffinden können, da dieselbe mit den durch die Bleisuperoxydbildung dunkel gefärbten positiven Platten verbunden ist.

Die Verbindung der Batterie mit der Lichtleitung darf niemals ohne Zwischenschaltung eines ausreichenden Widerstandes und eines Strommessinstrumentes (Ampèremeters) geschehen, da es leicht begreiflich ist, dass, bei dem geringen inneren Widerstande der Akkumulatoren, sofort eine für diese verderbliche Ladestromstärke zustande kommen würde.

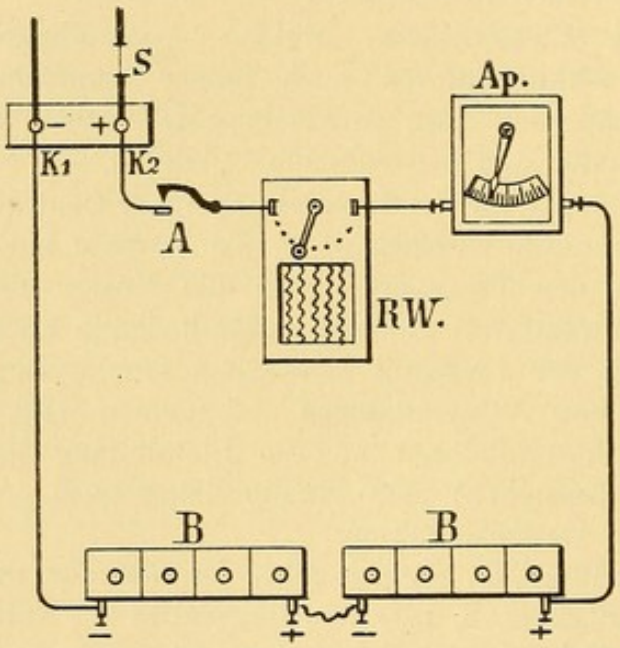


Fig. 16.

Figur 16 zeigt eine schematische Schaltungsskizze. K_1 und K_2 sind die Endklemmen der Lichtleitung, welchen die Bleisicherung S vorgeschaltet ist; BB ist die aus zwei hintereinander geschalteten Kästen zu je 4 Zellen bestehende Akkumulatorenbatterie, deren offene — Klemme mit der — Klemme der Lichtleitung K_1 verbunden ist, woraus die richtige Schaltung für die + Pole von selbst folgt.

Der Stromkreislauf durch die Batterie ist an irgend einer Stelle unterbrochen, um den Regulier-Widerstand RW und das Ampèremeter $Ap.$ aufzunehmen. Dieser Widerstand, welcher aus einem Stück spiralig aufgewundenen, vom Strome zu durchlaufenden Drahtes besteht, muss hinreichend gross gewählt sein. Man gebe daher bei der Anschaffung genau an, wie gross die Spannung der Lichtleitung in Volt und demgegenüber, wie gross die Spannung und maximale Ladestromstärke der Akkumulatoren ist.*)

*) Die Spannung in den Lichtleitungen beträgt meist 110 Volt, in seltenen Fällen 65 Volt.

Vor Stromschluss wird der Widerstand völlig eingeschaltet, sodass der Strom sämtliche Drahtwindungen durchlaufen muss. (Näheres über die Konstruktion der Widerstände findet sich im Abschnitt VI.) Schliesst man den Strom, so wird sich meist das Ampèremeter auf einen Betrag einstellen, welcher der maximalen Ladestromstärke noch nicht entspricht. Durch allmähliches Drehen der Widerstandskurbel bringt man denselben auf die zulässige Höhe.

Die Verschlusspfropfen der Zellenkästen werden bei der Ladung entfernt. Diese ist vollendet, wenn an den Platten der Batterie reichlich Blasen aufsteigen. Sollte die Stromstärke gegen Schluss der Ladung infolge der steigenden Gegenspannung der Akkumulatoren etwas sinken, so korrigiert man diesen Betrag ebenfalls.

Da die Beschaffung eines geeigneten Widerstandes (Rheostaten), wie wir später sehen werden, unumgänglich notwendig und das Vorhandensein eines Ampèremeters wünschenswert ist, so wird diese Art der Ladung meistens angewendet werden. Sie ist jedenfalls die sicherste und genaueste. Nur der Vollständigkeit wegen mag daher hier ein Verfahren angegeben sein, welches die Ladung auch ohne Widerstand und Ampèremeter erlaubt, indem diese Instrumente durch eine Reihe parallel geschalteter Glühlampen von bekannter Stromstärke ersetzt werden. (Fg. 17)

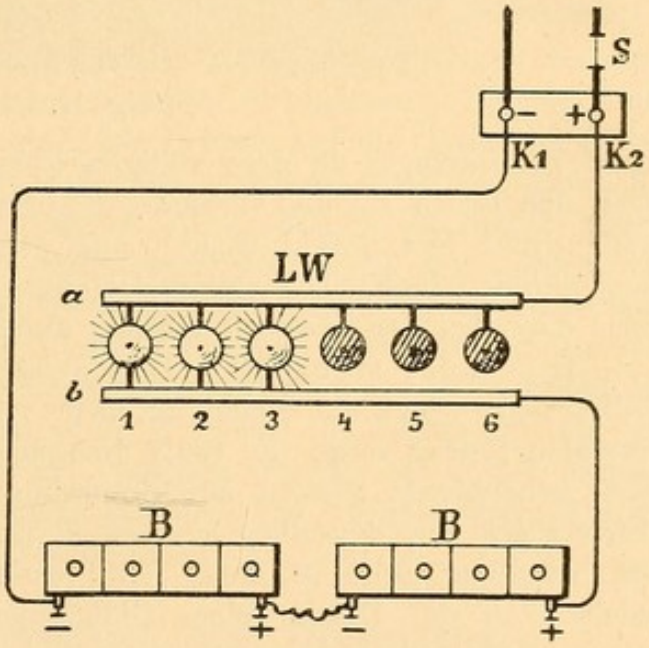


Fig. 17.

Die von K_2 kommende +Leitung endigt in einer Metallschiene *a*, der vom Pol der Batterie kommende Draht an der Schiene *b* des Lampenwiderstandes *LW*; beide sind von einander isoliert und bieten dem Strom keinen Weg. Das Hindernis lässt sich nun durch Glühlampen überbrücken, welche zwischen die Schienen eingeschaltet werden. Wählt man die Glühlampen so, dass sie beispielsweise 1 Ampère Strom verbrauchen, oder, was dasselbe ist, dass jede eine Stromstärke von 1 Ampère hindurchlässt, so wird beim Einschalten einer Lampe 1 Ampère zu den Akkumulatoren gelangen und bei jeder folgenden Lampe ein weiteres Ampère u. s. f. bis zur notwendigen Stromstärke.*)

*) Unsere Zeichnung Figur 17 stellt eine Ladung mit 3 Ampère Stromstärke, also mit drei brennenden Glühlampen zu je 1 Ampère dar.

Figur 18 zeigt einen Lampenrheostat für sechs Lampen, wie ihn die Firma Ferdinand Ernecke in Berlin ausführt. Es ist die Angabe der Spannung der Lichtleitung und der Akkumulatorenbatterie, sowie die maximale Ladestromstärke der letzteren notwendig. Die Lampen haben entweder eigene Ausschalter, oder werden durch Herausschrauben aus ihrem Gewinde ausgeschaltet.

Es erübrigt noch, einige Worte über die Krankheiten der Akkumulatoren und besonders der transportablen zu sagen. Die weitaus häufigste ist der Bruch der Bleiverbindungen zwischen den Zellen,

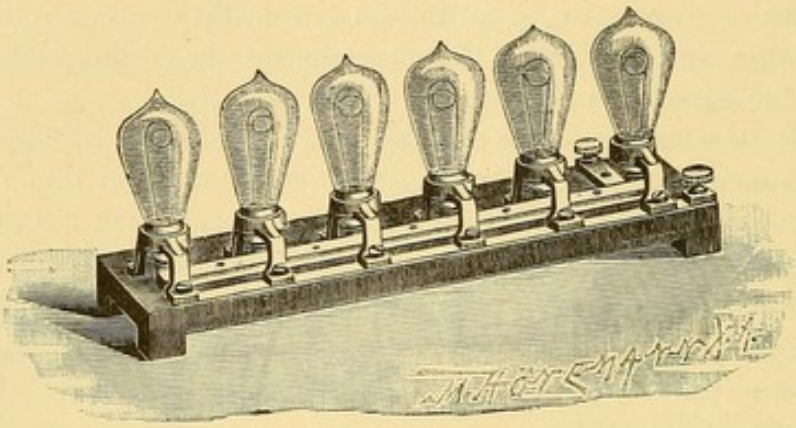


Fig. 18.

leicht zu erkennen an dem völligen Fehlen einer Stromabgabe. Man sucht den Bruch auf und verbindet die Enden, indem man einen weichen Kupferdraht fest darum wickelt und eventuell durch einen Klempner noch verlöten lässt. Die völlige Heilung des Schadens durch Bleilötung muss dann bei der nächsten Ladung durch die Fabrik erfolgen.

Eine oder mehrere Zellen nehmen an der Stromlieferung nicht teil, wenn die Spannung nach vollendeter Ladung nicht ihren normalen Betrag zeigt. Es rührt dies meist daher, dass beim Transport zwei benachbarte Platten zur Berührung gekommen sind oder dass aktive Masse aus denselben gebröckelt ist und Kurzschluss gegeben hat. Die betroffene Zelle ist dann völlig entladen; man findet sie heraus, indem man die Drähte eines Glühlämpchens von 2 Volt Spannung, welches jede Akkumulatorenfabrik liefert, mit den Polen jeder einzelnen Zelle verbindet und dieselben so der Reihe nach durchgeht. An der kranken Zelle leuchtet das Lämpchen garnicht oder doch nur sehr schwach. Man schaltet die Zelle ganz aus, indem man unter Überbrückung derselben die beiden Nebenzellen mit einem starken Drahte direkt verbindet. Die weitere Reparatur muss der Fabrik überlassen werden.

Ein starkes Sinken der Klemmenspannung während der Stromentnahme zeigt entweder an, dass die Batterie dem Ende ihrer Entladung entgegen geht, oder -- tritt diese Erscheinung bei frisch

geladener Batterie auf — dass eine der Verbindungen zwischen den Zellen zwar nicht durch-, aber doch stark angebrochen ist, oder endlich, dass trotz aller Mittel, welche man dagegen anwendet, die an den Bleizuführungen emporgekrochene Säure eine der Stellen, an welche die Klemmendrähte gelötet sind, angefressen hat. Man erkennt dies Emporkriechen der Säure, gegen welches kein Lack und kein Anstrich hilft, an der reichlichen Absonderung von schleimigweissem Bleisulfat, welches, immer weiter um sich greifend, schliesslich auch die blanken Metallteile der Zuführungsdrähte erfasst und dieselben unter Bildung von grünlichem, schwefligsaurem Kupferoxyd angreift. Man achte daher darauf, dass die Metallteile stets gesäubert werden.

Allmählich verdunstet die Säure in den Gefässen. Man sorge dann dafür, dass eine Nachfüllung mit verdünnter Schwefelsäure erfolgt, deren spezifisches Gewicht der Lieferant vorschreibt. Diese Säure darf weder Arsen, noch Chlor, Eisen, Kupfer oder Salpetersäure enthalten. Sie wird mit destilliertem Wasser verdünnt. Am besten überlässt man das Ersetzen der verdunsteten Säure der Fabrik und begnügt sich im Notfalle damit, nur destilliertes Wasser aufzufüllen.

Ebenso, wie die Aufnahmefähigkeit der Akkumulatoren begrenzt ist, ist es auch ihre Lebensdauer. Den fortdauernden Angriffen der chemisch wirksamen Kräfte sind die Platten auf die Dauer nicht gewachsen, d. h. sie vermögen nur eine begrenzte Zahl von Ladungen und Entladungen auszuhalten. Indem die Umbildung in Bleioxyd resp. in schwammiges Blei immer weiter nach dem Kern der Platten vordringt, lockert sich die innere Struktur und schliesslich fällt die Platte auseinander. Die negativen Platten scheinen lebensfähiger als die positiven zu sein, welche hauptsächlich den eben genannten Einflüssen unterworfen sind; eine Dauer von höchstens 4 Jahren ist für die positiven Platten transportabler Batterien wohl die obere Grenze. Unsachgemässe Behandlung kann natürlich ihr Übriges thun, um die Lebensdauer noch wesentlich abzukürzen.

Ladung der Akkumulatoren durch Thermosäulen.

Überall dort, wo Gasleitung vorhanden ist, kann die Ladung der Akkumulatoren auch durch Thermosäulen erfolgen, nur sei vorausgeschickt, dass ein solcher Ladebetrieb zwar praktisch möglich, aber schon durch die Anschaffung der Einrichtung sehr teuer wird. Auch eignet er sich lediglich für kleinere Anlagen, welche täglich nur kurze Zeit benutzt werden.

In der Thermosäule wird Wärme direkt in elektrischen Strom auf folgende Weise umgewandelt: Ist ein Kreisleiter aus zwei verschiedenen Metallen zusammengelötet, so entsteht in demselben allemal

dann ein elektrischer Strom, wenn zwischen den beiden Lötstellen eine Temperaturdifferenz herrscht, wenn also z. B. die eine durch eine Flamme erhitzt, die andere durch Eis abgekühlt wird. Aber die elektromotorische Kraft eines solchen thermo-elektrischen Elementes ist sehr gering und es bedarf der Aneinanderreihung vieler Elemente, ehe nur eine Klemmenspannung von 1 Volt erreicht ist.

Man hat vielfach versucht, die Thermo-Elemente zu Säulensätzen anzuordnen; die bekannteren Versuche nach dieser Richtung rühren von Noë und Clamond her. Aber eine praktisch brauchbare Form hat die Thermosäule doch erst durch Gülcher erhalten (Figur 19). Sie

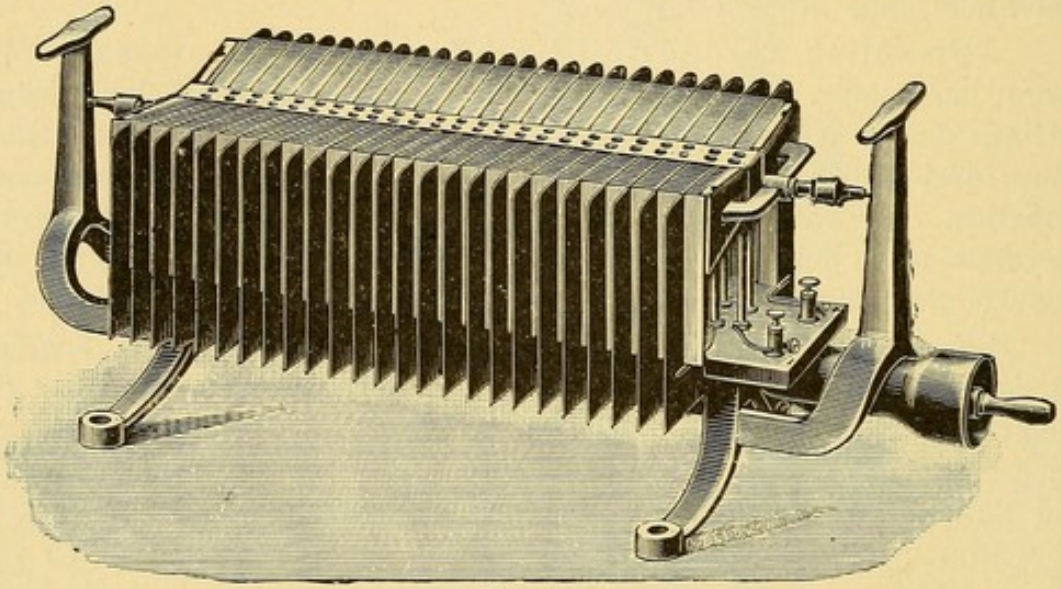


Fig. 19.

besteht aus 66 Elementen, welche einerseits ihre Abkühlung durch Metalllamellen mit sehr grosser Oberfläche, andererseits ihre Erwärmung durch eine Reihe von Bunsenflämmchen erhalten, die in der Mitte durch Nickelröhren herausbrennen. Letztere bilden zugleich die eine Elektrodenserie der Säule.

Um die Säule in Betrieb zu setzen, lässt man das Gas kurze Zeit ausströmen und fährt dann mit einem Streichholz langsam über die Brennerröhrchen hin, bis alle Flämmchen brennen, wovon man sich durch Hineinsehen überzeugt. Nach 8—10 Minuten hat die Säule ihre volle elektromotorische Kraft erlangt. Ein Kurzschluss schadet dem Apparat nicht.

Da eine Säule von 66 Elementen eine Klemmenspannung von nur 4 Volt hat, so folgt daraus, dass sie ohne weiteres zur Ladung einer Akkumulatorenbatterie in der von uns angewandten Reihenschaltung nicht tauglich ist. Es müssen daher die Zellen der Batterie zur Ladung nebeneinander geschaltet werden (vergl. Seite 9), derart, dass sämtliche negativen Pole mit der negativen Klemme, sämtliche

positiven mit der positiven Klemme der Thermosäule verbunden werden. Eine Vorrichtung, welche diese Umschaltung mit einem Griff erlaubt, „Pachytrop“ genannt, kann man sich leicht auf folgende Weise herstellen. Als Beispiel diene ein Pachytrop für eine Batterie von 3 Zellen. In ein starkes Holzbrett werden mit dem Centrumbohrer, etwa 1 Centimeter tief, 2 Reihen Löcher gebohrt. Wir wollen die Löcher der ersten Reihe von links beginnend mit 1, 2, 3, die der zweiten, ebenfalls von links gerechnet, mit 4, 5, 6 bezeichnen. Jedes Loch wird mit Quecksilber gefüllt und dann werden 1 und 4 mit den Polen der ersten Zelle, 2 und 5 mit der zweiten Zelle, 3 und 6 mit der dritten Zelle verbunden, so dass die Quecksilbernäpfe 1, 2, 3 positiv, 4, 5, 6 negativ werden. Man übersieht, dass bei einer Verbindung der Näpfe 1, 2, 3, bezgl. 4, 5, 6 sämtliche + Pole und sämtliche — Pole vereinigt, die Zellen also parallel oder nebeneinander geschaltet sind, und dass eine Hintereinanderschaltung eintritt, wenn die Näpfe 2 und 4 bezgl. 3 und 5 mit einander verbunden werden; 1 und 6 sind in jedem Falle die Endpole der Säule, welche bei Parallelschaltung zur Ladung mit der Thermosäule, bei der Entladung in Hintereinanderschaltung mit dem Induktor verbunden werden. Beide Verbindungsarten werden durch Drahtbügel auf schwächeren Brettchen fertig hergerichtet, sodass es nur des Einsetzens der Drahtstifte des einen oder des anderen Einsatzbrettes in die Quecksilbernäpfe bedarf, um die gewünschte Schaltungsart herzustellen. Es versteht sich wohl von selbst, dass für die Zusammenschaltung mit einem Pachytrop die Verbindung der Zellen mit einander innerhalb des Batteriekastens gelöst werden müssen, und dass die Thermosäule nie eher an die Schlusspole des Pachytrops gelegt werden darf, als bis eine Parallelschaltung der Zellen erfolgt ist.

Kohl in Chemnitz rüstet die zur Ladung mittels Thermosäule bestimmten Akkumulatoren mit einem Pachytrop aus, bestehend aus einer am Batteriekasten befestigten Walze, auf welcher Kontaktknöpfe die Schaltung vermitteln. Der Strom wird der Walze durch besondere Kontaktfedern zugeführt (Fig. 20).

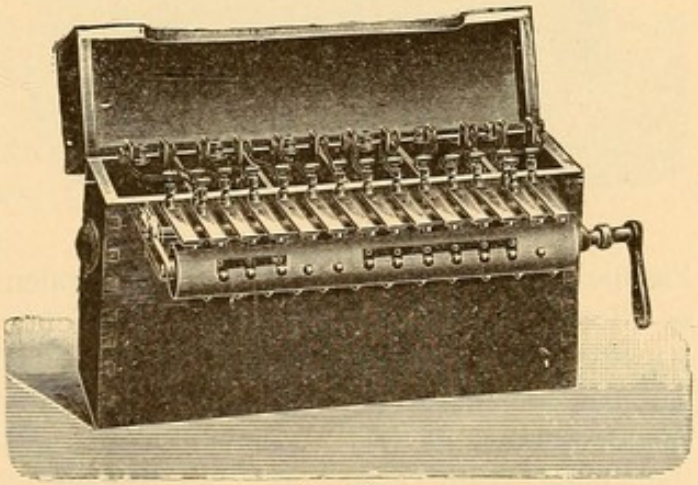


Fig. 20.

Negative und positive Klemme der Thermosäule werden zur Ladung mit den entsprechenden Endpolen der Batterie verbunden; die Einrichtung ist so getroffen, dass sich die Thermosäule

erst dann selbstthätig einschaltet, wenn der Walzenhebel auf Nebeneinanderschaltung gestellt wird. Bei Hintereinanderschaltung ist dagegen der Induktor angeschlossen.. Die ganze Vorrichtung wird vortheilhaft in einem kleinen, aufklappbaren Schränkchen untergebracht, welches in seiner oberen Abteilung die Thermosäule, darunter die Akkumulatorenbatterie enthält. (Fig. 21.)

Besitzt die Batterie in Parallelschaltung im Mittel 2 Volt und die Thermosäule 4 Volt Spannung, so kommt für die Ladestromlieferung eine Nutzspannung von 4 — 2 = 2 Volt zur Geltung. Hierbei geben die Gülcherschen Säulen etwa 3 Ampère Stromstärke ab. Wir wollen nach diesen Daten die Ladezeit für eine Akkumulatorenbatterie mit 5 Zellen von 30 Ampèrestunden Kapacität bestimmen. Da jede Zelle im entladenen Zustande etwa 1,7 Volt, im geladenen bis 2,8 Volt Spannung zeigt, so wollen wir annehmen, dass im Mittel eine Spannung von 2 Volt, also auch während der ganzen Ladezeit eine durchschnittliche Ladestromstärke von 3 Ampère herrschen möge. Dann würde eine Zelle zur Ladung 10 Stunden Zeit gebrauchen (3.10 = 30 Ampèrestunden), und 5 Zellen in Parallelschaltung 10 · 5 gleich 50 Stunden. Wird dann die Anlage zum Induktorbetrieb täglich eine Stunde lang mit durchschnittlich 6 Ampère Stromstärke beansprucht, so werden jeder Zelle der Batterie (welche nun hintereinander geschaltet sind), 6 Ampère-Stunden entnommen, die Thermosäule hat also bei Parallelschaltung 6 · 5 = 30 Ampèrestunden zur völligen Wiederladung zu liefern. Da sie 3 Ampère abgiebt, so gebraucht sie hierzu 10 Stunden. Dieser Zeitraum wird etwas zu klein genommen sein, da man nur bei völlig entladener Batterie mit einer mittleren Gegenspannung von 2 Volt rechnen kann und dieselbe in dem fingierten Fall höher sein wird. Im allgemeinen kann man aber annehmen, dass eine wie vorstehend beschaffene Batterie bei täglich 1stündiger Benutzung am anderen Tage durch die Säule wieder geladen sein wird.

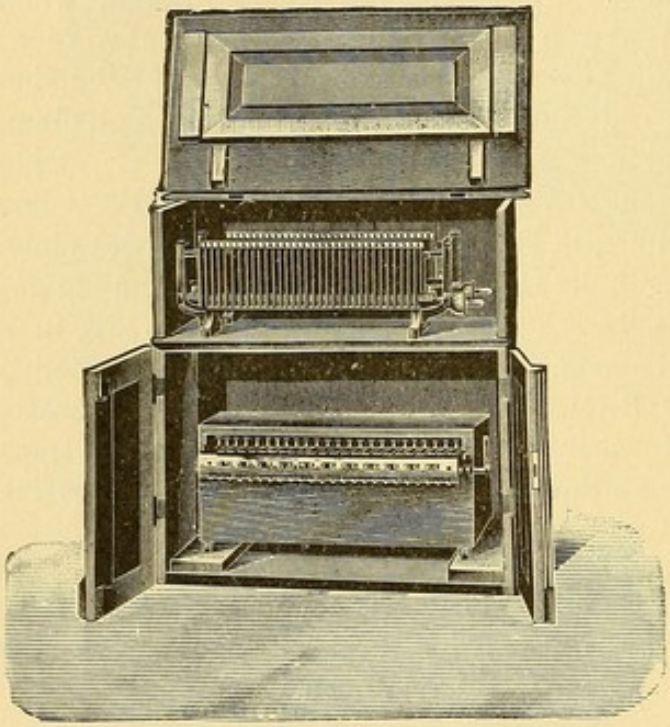


Fig. 21.

Die Anschaffungskosten einer Thermosäule sind ziemlich hohe. Der Gasverbrauch stellt sich auf etwa 2—3 Pfennige pro Betriebsstunde.

Fassen wir aus diesem Abschnitt noch einmal die auf die Akkumulatoren bezüglichen wesentlichsten Punkte zusammen, so sind dieselben folgende:

1. Jede Akkumulatorenzelle hat, gleichgültig wie viel Platten sie besitzt, eine Klemmenspannung von im Mittel 2 Volt. (Seite 17).
2. Diese Spannung wächst mit jeder hintereinander geschalteten Zelle um den Betrag von 2 Volt. Eine Batterie von n Zellen hat mithin 2.n Volt Klemmenspannung. (Seite 18).
3. Gegen Ende der Entladung sinkt die Spannung (zu messen, während aus der Batterie kein Strom entnommen wird), auf 1,8 Volt pro Zelle. Eine Batterie von n Zellen hat dann eine Klemmenspannung von 1,8.n Volt. Dies ist die untere Grenze, bis zu welcher ohne Schaden die Entladung fortgesetzt werden darf. (Seite 18).
4. Die Batterie darf nur bis zu einer bestimmten Maximal-Stromstärke, welche für jede Type von der Fabrik vorgeschrieben ist, beansprucht werden. Dieser Stromwert gilt sowohl für die einzelne Zelle, wie für die ganze Batterie, falls die Zellen hintereinander geschaltet sind; er wächst also *nicht* mit der Anzahl der Zellen.
5. An jeder Batterie müssen die Pole deutlich bezeichnet sein.
6. Man verbinde niemals die Pole der Batterie direkt durch einen Draht mit einander, etwa um an der Funkenbildung zu sehen, ob dieselbe geladen ist. Durch diesen Kurzschluss werden die Zellen beschädigt. Man benutzt vielmehr, um die Stromlieferung der Batterie festzustellen, eine Glühlampe von der Spannung der Batterie, welche man mit den Polen verbindet.
7. Eine Akkumulatorenbatterie muss im Interesse ihrer Erhaltung auch bei Nichtbenutzung etwa monatlich aufgeladen werden.

III. Abschnitt.

Die Induktoren.

Das Ohmsche Gesetz sagt aus, dass die Intensität oder Stärke eines elektrischen Stromes gleich ist seiner Spannung dividiert durch den Widerstand, welchen er in der Leitung findet. (Vergl. Seite 5.)

Da nun die Vakuumröhren zur Erzeugung der Röntgenstrahlen, in welchen die Luft bis auf eine verschwindende Spur entfernt ist, gleichgiltig aus welchen intimeren Ursachen, dem Durchgang des elektrischen Stromes einen enorm hohen Widerstand bieten, anderseits aber der Effekt der Röhre eine Funktion der Stromstärke ist, so wird zum Betriebe der Röhre eine sehr hohe Spannung erforderlich. Es mag gleich gesagt sein, dass diese Spannung viele Tausende von Volt beträgt und dass unsere Batterien ins Gygantische wachsen würden, wollten wir sie unserem Zweck entsprechend anordnen.

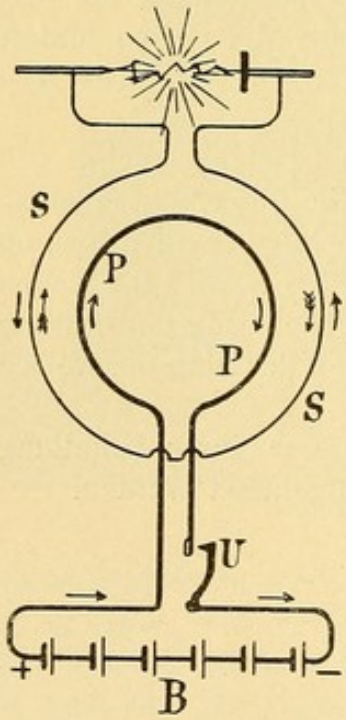


Fig. 22.

Es muss daher der zur Verfügung stehende Strom, welcher meist bei grosser Intensität eine nur geringe Spannung besitzt, in einen solchen von hoher Spannung umgeformt (transformiert) werden. Diesen Dienst leisten die mit dem Namen Transformatoren, oder in der Form, in welcher sie den vorliegenden besonderen Zwecken dienen, mit dem Namen „Induktoren“ bezeichneten Apparate. Das Prinzip derselben ist bekannt genug, um hier nur in Kürze erläutert zu werden.

Jeder elektrische Strom, welcher in einem Leiter erzeugt wird, ruft, in den Augenblicken seines Entstehens und Vergehens, d. h. also in dem Moment, wo er geschlossen oder geöffnet wird, in einem benachbarten geschlossenen Leiter einen zweiten Strom wach, den sogenannten „Induktionsstrom“. Dieser Vorgang wird durch Fig. 22

schematisch veranschaulicht. Die Batterie *B* ist mit einem ringförmigen Drahtleiter verbunden, in welchem nach Schliessung durch den zwischengeschalteten Unterbrecher *U* der „Primärstrom“ (*P*) in der Richtung der Pfeile umläuft. Er erzeugt hierdurch in dem benachbarten „sekundären“ Kreisleiter *S* einen Stromstoss, welcher entgegengesetzt, d. h. den ungefiederten Pfeilen nach, verläuft und dem im Augenblick der Unterbrechung des Primärstromes ein zweiter Stromstoss, diesmal aber in gleicher Richtung mit dem Hauptstrom (durch die gefiederten Pfeile angedeutet), folgt. Schliesst und öffnet man den Unterbrecher in rascher Folge, so entsteht also im Sekundärleiter ein Strom, welcher sich dadurch vom Primärstrom unterscheidet, dass er fortwährend seine Richtung ändert. Man hat es mithin, während in der Primärspule ein Gleichstrom läuft, in der Sekundärspule mit einem Wechselstrom zu thun.

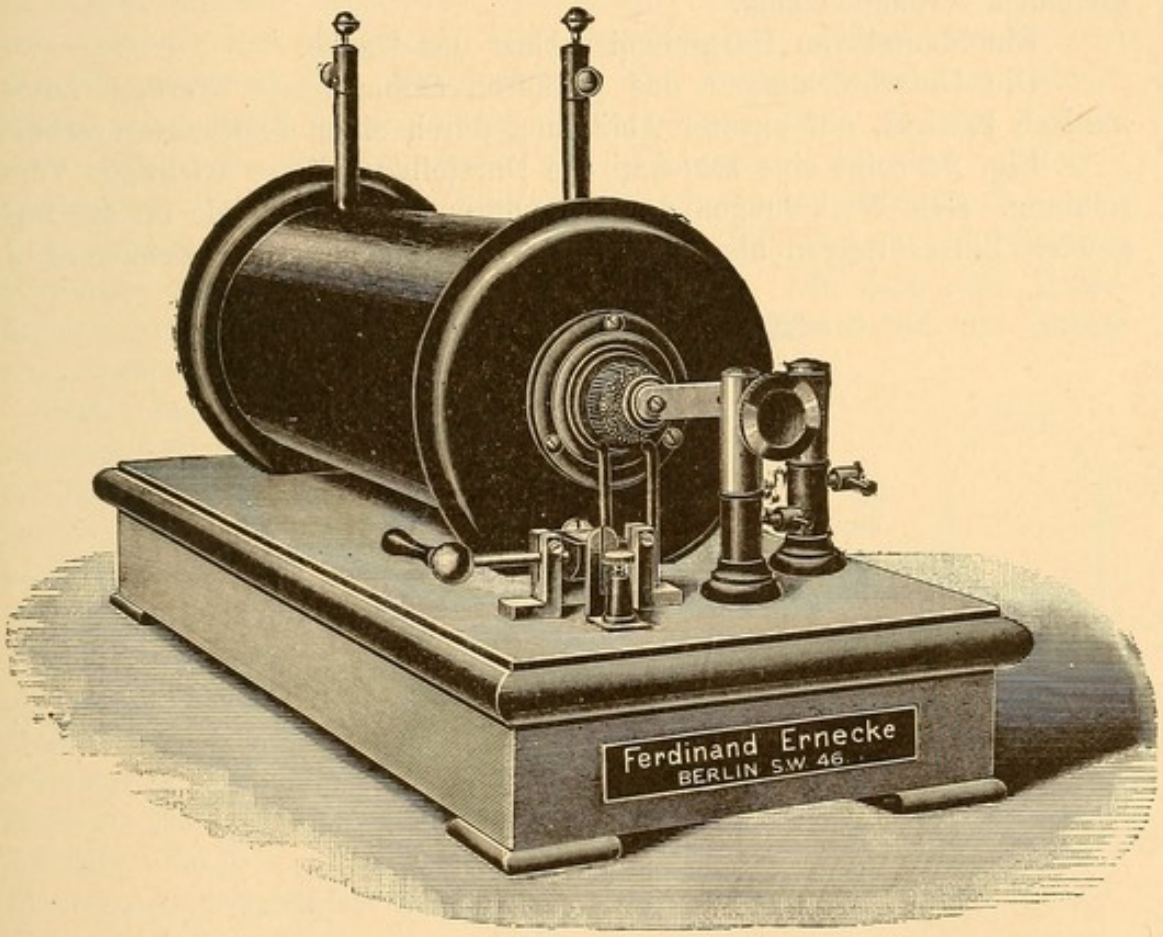


Fig. 23.

Bietet man nun diesem Strome einen dünnen Leiter von vielen Windungen, so addieren sich die elekromotorischen Kräfte desselben, und die durch den Primärstrom im Sekundärleiter hervorgerufene Energie wird die Form hoher Spannung an-

nehmen. Man sieht leicht, dass dies nur auf Kosten der Stromstärke geschehen kann. Die Aufgabe der Praxis ist es nun, die Faktoren des Produktes Stromstärke mal Spannung, so zu wählen, dass die Wirkung auf die Röntgenröhre möglichst ein Maximum wird.

Diese und andere Anforderungen, welche hier nicht erläutert zu werden brauchen, haben den Induktoren mit der Zeit die aus der Abbildung (Fig. 23) ersichtliche Gestalt gegeben.

Die Primärspule besteht der grossen Stromstärke der verwendeten Ströme wegen aus nur wenigen Lagen eines starken Drahtes; sie enthält in ihrem Innern zur Verstärkung der induzierenden Wirkung ein Bündel weicher Eisendrähte, welches rechts und links aus der Walze hervorragt. Um diese Primärspule ist in vielen Lagen sehr dünnen und aufs beste isolierten Drahtes die Sekundärspule gewickelt, deren freie Enden mit den beiden auf dem Induktor sichtbaren, hohen Polklemmen verbunden sind.

Ein Mantel von Hartgummi schützt das Ganze.

Die Unterbrechungen des primären Stromkreises werden automatisch bewirkt, auf unserer Abbildung durch einen Platinunterbrecher.

Fig. 24 zeigt eine schematische Darstellung dieser wichtigen Vorrichtung. (Die Wickelungen der sekundären Spule sind, als für die folgenden Betrachtungen überflüssig, aus den schematischen Zeichnungen

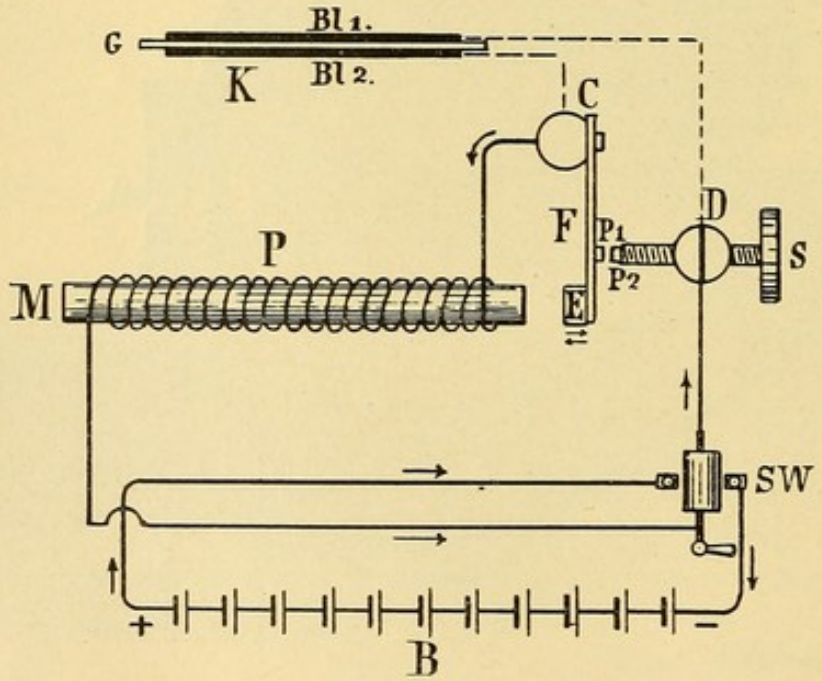


Fig. 24.

fortgelassen.) Der Eisenkern *M* wird von dem Primärstrom umkreist, welcher der Batterie *B* entstammt. Er ist gezwungen, auf seinem Wege einen Apparat zu passieren, welcher folgende Einrichtung hat. (vergl. auch Fig. 23.) An einer Messingsäule *C* ist eine Stahlfeder

F befestigt, welche an ihrem Ende ein Stück aus weichem Eisen E und ausserdem, noch weiter der Mitte zu, ein Platinklötzchen P_1 trägt. Diesem steht ein zweites gleiches Klötzchen P_2 gegenüber, das sich dem ersten durch eine Schraube S, an welcher es befestigt ist, nähern lässt. Die Messingsäule D verleiht dieser Schraube den Halt.

Man übersieht nun leicht den Verlauf des Stromes. Derselbe möge in der Richtung der Pfeile fliessen und zunächst, von der Batterie kommend, in die Säule D eintreten und seinen Weg durch die Metallschraube S bis in das Platinstück P_2 finden. Durch Heranschrauben der Schraube S bietet sich ihm der Uebergang zum Platinstück P_1, von wo aus er durch die Feder F, die Säule C und durch die Primärwindungen um den Eisenkern wieder zur Batterie zurückfliesst. Wir wissen, dass im Augenblick des Stromschlusses der weiche Eisenkern M zu einem Magneten wird und das an der Feder sitzende Eisenstück E zu sich heranzieht. Hierdurch trennen sich die Platinstücke P_1 und P_2 von einander und der Strom wird unterbrochen. Sofort verschwindet der Magnetismus des Eisenkernes, die Feder F schnellt wieder zurück und stellt einen neuen Stromschluss her, welcher seinerseits wiederum bewirkt, dass das Eisenstück E (der „Anker"), angezogen wird und eine weitere Unterbrechung veranlasst u. s. f. Der Primärstrom unterbricht sich also selbst, indem sich das geschilderte Spiel in rascher Folge wiederholt. Die Zahl der Unterbrechungen in der Zeiteinheit (Sekunde) hängt ab von der Länge und Spannung der Feder und der Masse des Ankers.

Bisher hat die Vorrichtung SW (Fig. 24), welche der Strom auf seinem Wege zum Unterbrecher und zur Primärspule durchsetzt, noch keine Erwähnung gefunden. Sie dient der Bequemlichkeit und ermöglicht es, mit einem Griff die Richtung, in welcher der Strom fliesst, zu ändern, ohne die an die Pole der Batterie gelegten Drähte mit einander vertauschen zu müssen. Wir werden sehen, dass dies unter Umständen von Vorteil sein kann.

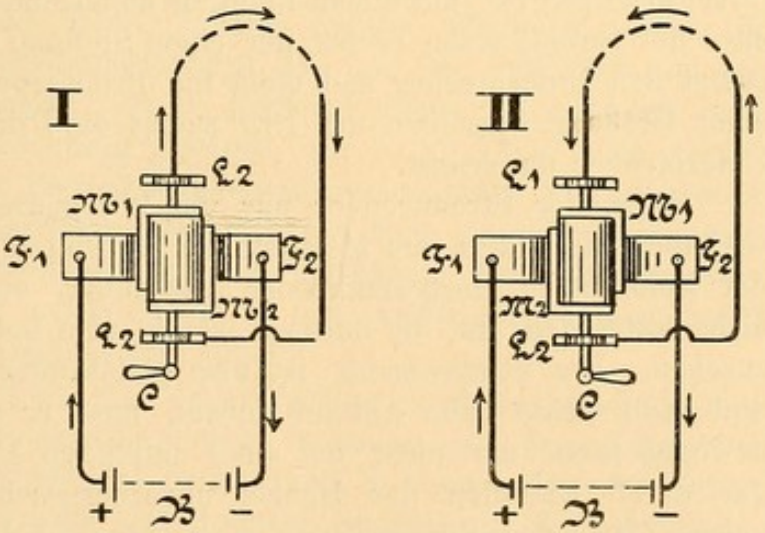


Fig. 25.

Der Apparat ist in Fig. 25, mit welcher man gleichzeitig auch die perspektivische Darstellung auf Seite 29 vergleichen wolle, in

vergrössertem Mafsstabe schematisch dargestellt. Man betrachte zunächst die Zeichnung I.

In den Metalllagern L_1 und L_2 lässt sich durch den Hebelgrift C eine Walze drehen, welche aus einem, den Strom nicht leitenden Material, meist aus Hartgummi, angefertigt ist. Mit Ausnahme dieser Walze und des Griffes sind alle anderen Teile stromleitend, d. h. sie bestehen aus Metall. Auf die Hartgummiwalze sind, einander gegenüber, zwei Messingwinkelstücke M_1 und M_2 geschraubt, welche sich an keiner Stelle berühren dürfen. Gegen diese schleifen die Kupferfedern F_1 und F_2.

Der Strom möge von dem positiven Pole der Stromquelle aus in die Klemme der Feder F_1 eintreten. Man übersieht, dass derselbe durch das Winkelstück M_1 und die leitende Achse zum Metalllager L_1, dann in der Richtung des aufsteigenden Pfeiles zur Verwendungsstelle fliesst, um in der Richtung des absteigenden Pfeiles durch das Lager L_2, Winkelstück M_2 und die Feder F_2 zum positiven Pole der Batterie zurückzukehren.

Durch Umlegen des Hebelgriffes C nach rechts wird die Walze um 180° gedreht (Darstellung II). — Hierdurch haben bei sonst unveränderten Verhältnissen die Winkelstücke M_1 und M_2 ihren Platz mit einander vertauscht, indem jetzt M_2 links und M_1 rechts liegt. Der Strom läuft nun von der Feder F_1 durch M_2 nach dem Lager L_2, dann mit dem aufsteigenden Pfeile zur Verwendungsstelle und von dort mit dem absteigenden Pfeile durch L_1, M_1, F_2 zur Batterie zurück. Er hat seine Richtung gewechselt. Auf unseren Fall der Verbindung des „Stromwenders“ mit einem Induktor angewendet, würde das bedeuten, dass der Strom, wenn er bei der einen Stellung des Stromwenderhebels zuerst den Unterbrecher und dann die Primärspule durchfliesst, er bei einer Drehung desselben um 180° zuerst die Primärspule und dann den Unterbrecher durchsetzt.

Wird der Stromwender nur um 90° gedreht (Hebel nach oben), so haben die Federn die Metallstücke M_1 und M_2 verlassen und stehen der isolierenden Hartgummiwalze gegenüber, ein Stromübergang kann nicht stattfinden und die Batterie ist als vom Induktor abgeschaltet anzusehen. Der Stromwender ist also gleichzeitig auch „Ausschalter“ und man achte beim Ankauf darauf, dass er sich hinreichend streng bewegen lässt, um nicht bei einer zufälligen leichten Berührung oder gar durch Umfallen des Hebels unvorhergesehenen Stromschluss zu geben. Hat der Stromwender statt des Hebelgriffes eine Kordel, so bringe man auf derselben ein Zeichen an, welches die Stellung jederzeit erkennen lässt.

Von der richtigen Wahl der Abmessungen der Primär- und Sekundärspule, des Eisenkerns, des Unterbrechers und des Kondensators ist die Leistungsfähigkeit eines Induktors abhängig. Der Kondensator

wurde bisher noch nicht erwähnt; er ist notwendig durch das eigentümliche Verhalten der Primärspule.

Wir haben gesehen, dass jeder elektrische Strom beim Entstehen und Verschwinden in einem benachbarten Leiter einen zweiten Strom induziert. Nun ist aber der Primärspule nichts so sehr benachbart als sie selbst, woraus folgt, dass in derselben im Augenblick des Schlusses und der Unterbrechung des Primärstromes oder Hauptstromes ein Neben- oder Extrastrom induziert wird, welcher in ersterem Falle dem Hauptstrom entgegengesetzt, in letzterem mit ihm gleichgerichtet ist, oder, was dasselbe sagen will, der ihn bei seinem Entstehen schwächt und bei seinem Verschwinden verstärkt. Trotz dieser letzteren Eigenschaft macht sich die Erscheinung, welche man als Selbstinduktion bezeichnet hat, für unsere Zwecke recht lästig; denn sie unterdrückt nicht nur die Wirkung, welche der Stromschluss auf die Sekundärrolle haben müsste, fast völlig, sondern bewirkt auch beim Oeffnen des Hauptstromes ein starkes Funken des Unterbrechers, das sein Material angreift und ausserdem die Exaktheit der Unterbrechung wesentlich beeinträchtigt.

Man legt deshalb an die Seiten der Unterbrechungsstelle eine Vorrichtung K (Fig. 24), welche die Bestimmung hat, beim Oeffnen des Unterbrechers den Extrastrom in sich aufzunehmen und unschädlich zu machen. Sie ist im wesentlichen nichts anderes als eine Leydener Flasche, deren Beläge den Extrastrom auf ihrer Oberfläche kondensieren. Aus praktischen Gründen hat man jedoch die Flaschenform aufgegeben und baut die Kondensatoren, indem man einen nichtleitenden Körper G (ein Dielektrikum), meist Glas, Parafin, Papier, Glimmer u. s. w. in Tafelform beiderseits mit Staniolblättern Bl_1 und Bl_2 bekleidet und mit dem Unterbrecher verbindet. Diese Angaben mögen über Zweck und Wirkungsweise der Vorrichtung genügen, nur so viel mag noch gesagt sein, dass der praktische Betrieb Kondensatoren erfordert, welche zwecks Vergrösserung ihrer Oberfläche aus mehreren über einander gelagerten Plattenschichten der beschriebenen Art bestehen. Der Platzersparnis wegen ordnet man sie zweckmässig in dem kastenartigen Fussgestell an, auf welchem die Induktorspule ruht.*)

Durch die Thätigkeit des Unterbrechers wird der Primär- oder Hauptstrom zu einem intermittierenden, indem er von dem Betrage O (beim Offensein des Unterbrechers) bis zu einem Maximum (beim Schliessen desselben) wächst. Vibriert der Unterbrecher, so wird ein Messinstrument, welches seiner Masse wegen den Stromschwankungen so schnell nicht

*) Die Wirksamkeit eines Kondensators wächst nicht immer mit seinen Abmessungen, sondern hängt wesentlich ab von einem richtigen Grössenverhältnis zur Primärspule. Man sagt, der Kondensator müsse auf den Induktor abgestimmt sein, ähnlich etwa wie der Resonanzkasten auf die Schwingungen einer Stimmgabel.

folgen kann, sich zwischen Null und dem Maximalbetrag auf einen Mittelwert einstellen, der als Berechnung für die Leistungsfähigkeit der Stromquelle zu Grunde gelegt wird. (Vgl. den Abschnitt II Seite 17). Die Stromquelle muss diesen Strombetrag ohne Überanstrengung liefern können. Um zeitraubende Versuche zu vermeiden und die Batterieen zweckentsprechend belasten zu können, achte man daher darauf, dass jedem Induktor die Angabe der Betriebsstromstärke bei „schwingendem Hammer", sowie die der erforderlichen Spannung am besten auf einem am Instrument selbst befestigten Täfelchen beigegeben wird.

Der Anschluss der Stromquelle erfolgt unter Zwischenschaltung eines Regulierwiderstandes und einer Bleisicherung an die Klemmen des Stromwenders, welcher zunächst noch geöffnet ist (vgl. Abschnitt VI). Spitze und Platte werden in die hohen Klemmen der negativen Spule auf dem Induktor eingeschoben in der Weise, wie es Abbildung Fig. 31 zeigt. Zur Einstellung der Funkenlänge ist die Stange, welche in einer Spitze endigt, in Centimeter eingeteilt; sie wird so weit durch ihre Klemme hindurch geschoben, dass der Nullstrich mit derselben abschneidet. Von der anderen Seite wird die Platte bis zur Berührung mit der Spitze vorgerückt und festgestellt. Durch Zurückziehen der Spitze werden dann die Schlagweiten hergestellt, welche man mittels der Einteilung gegen die Klemme direkt abliest.

Es möge für den ersten Versuch eine Funkenlänge gewählt werden, welche etwa ein Drittel der maximal für das Instrument zulässigen beträgt. Die Stromstärke wird durch Einschalten von Regulierwiderstand zunächst klein gewählt, darauf der Stromwender durch Umlegen nach irgend einer Seite geschlossen und der Hammer durch Heranschrauben des Platinkontaktes, evtl. unter Anstossen der Feder, in Gang gebracht. Sofort durchbricht der hochgespannte Sekundärstrom den Widerstand der Luft in Form eines zackigen, laut prasselnden Funkenbüschels zwischen Spitze und Platte. Ist dies nicht der Fall oder sind die Funken vereinzelt, so legt man den Stromwender nach der anderen Seite um und wird dann die erwähnte Erscheinung erhalten, falls der Primärstrom überhaupt schon stark genug gewählt war, um einen Funkenübergang bei der eingestellten Schlagweite zu ermöglichen. Durch stufenweises Ausschalten von Widerstand und Wiederholen des Versuches wird man sich jedenfalls bald überzeugen, dass eine der beiden Schlussstellungen des Stromwenders vor der anderen den Vorzug ausgiebigerer Funkenlieferung hat. Dieselbe wird notiert und ist allemal die richtige, solange an der Schaltung der Stromquelle gegen die Klemmen des Stromwenders nichts geändert wird. Man merkt sich daher auch, welcher Pol der Stromquelle in die rechte oder linke Stromwenderklemme eingeführt ist, um spätere Zeitverluste durch Vorversuche zu vermeiden. (Über das Erkennen der

Batteriepole, falls dieselben nicht bezeichnet sein sollten, siehe Abschnitt II Seite 20 und Abschnitt VI unter Polsucher.)

Fig. 26 *a* zeigt das Funkenbild bei falscher, *b* bei richtiger Stellung des Stromwenders. Obschon der Funkenstrom besonders bei nicht zu hohen Schlagweiten durch die erhöhte Leitungsfähigkeit der aufsteigenden erhitzten Luft von der Spitze aus stets etwas nach oben getrieben wird, schlagen doch im allgemeinen die Funken bei richtiger Stromwenderstellung mehr auf die Mitte der Platte über, während sie andernfalls deutlich an dem scharfen Rand der Platte ansetzen.

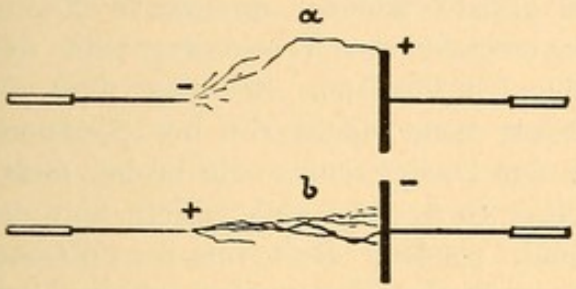


Fig. 26.

Die Spitze soll bei richtiger Schaltung zur Anode (+) und die Platte zur Kathode (—) werden.

Man wird nun nicht unbegründet den Einwurf machen, dass von einer Anode und einer Kathode, also von einer Polarität der sekundären Spule nicht wohl die Rede sein könne, da, wie bereits ausgeführt ist, in derselben ein Wechselstrom induziert wird, welcher naturgemäss auch einen fortdauernden Wechsel der Polarität zur Folge hat, derart, dass die Kathode im nächsten Moment zur Anode, die Anode zur Kathode wird u. s. w. In der That wird auch im Sekundärkreis ein Wechselstrom hervorgerufen, aber der Stromstoss, welcher in ihm durch Öffnen des Primärkreises in die Erscheinung tritt, ist dem durch Schliessen desselben entstandenen an Energie bedeutend überlegen, da, wie wir wissen, der Selbstinduktionsstrom in der Primärspule dem Schliessungsstrom entgegengesetzt ist und seine Wirkung auf die Sekundärwickelung abschwächt. Ist in diese eine Funkenstrecke oder Vakuumröhre, also ein Widerstand, eingeschaltet, so vermag nur der Öffnungsstrom der Primärwickelung in der sekundären einen Stromstoss von genügender Spannung zu induzieren, um den Luftwiderstand in Gestalt eines Funkens zu überwinden; der in entgegengesetzter Richtung verlaufende Stromstoss, vom Stromschluss der Primärspule herrührend, wird in bezug auf die Entladung zwischen Spitze und Platte völlig unterdrückt. Die Erklärung der ausgeprägten Polarität berechtigt hiermit, von einem negativen und positiven Pole der Sekundärspule, also von ihrer Kathode und Anode zu sprechen.

Versagt, „klebt" der Unterbrecher unter Glüherscheinung, so drückt Platinkontakt gegen Platinkontakt und es entsteht eine Stromstärke, welche für Spule und Batterie gleich verderblich werden kann. Man bringt in solchen Fällen durch Regulierung der Stellschraube und durch Anstossen der Feder den Unterbrecher unverzüglich wieder in

Gang, resp. schaltet man sofort den Stromwender aus. Näheres über die Behandlung der Unterbrecher im Abschnitt IV.

Es ist hier vielleicht angezeigt, einige Worte der Aufklärung über die Leistungsfähigkeit der Induktoren zu sagen. Man muss verausschicken, dass es ungerechtfertigt ist, dieselbe, wie es so oft geschieht, nach der Schlagweite allein zu beurteilen. Die Induktoren teilen hierin das Schicksal der grossen Fernrohre, welche der Laie ebenfalls nur nach ihrer Länge und ihrer Vergrösserung zu schätzen gewohnt ist. Und doch sind es gerade andere, qualitative Eigenschaften, die erst in der schwer erreichbaren Vereinigung mit den genannten den Wert eines Fernrohres ausmachen. So hängt auch die Leistungsfähigkeit eines Dampfkessels nicht allein von der Spannung ab, welche er hat, sondern von der Dampfmenge, die er bei dieser Spannung liefert, die Leistung eines Gewässers nicht allein von der Höhe, aus welcher es herabkommt, sondern auch von der Wassermenge, welche aus dieser Höhe zu Thale fliesst. Auf unseren Fall übertragen will das bedeuten: Derjenige Induktor ist der leistungsfähigere, welcher bei gleicher Spannung (Schlagweite) die grössere Strommenge liefert oder, mit anderen Worten, welcher die grössere Energiemenge abgiebt, denn diese stellt sich dar als das Produkt aus Spannung mal Stromstärke (vgl. Abschnitt I).

Nehmen wir um ein Beispiel zu wählen, an, dass ein Induktor von 50 cm Schlagweite die Stromstärke 1 und ein Instrument von 30 cm Funkenlänge die Stromstärke 2 geben möge, so ist offenbar das zweite dem ersten in der Leistung überlegen, denn es liefert eine grössere Energiemenge ($2 . 30 = 60$) als das erste ($1 . 50 = 50$). Wir machen hierbei noch die Voraussetzung, dass die Spannung proportional der Funkenlänge ansteigt, was in Wahrheit nicht der Fall ist, da die Schlagweite schneller wächst als die Spannung. Hiernach würde sich die Berechnung für die Leistung des grösseren Apparates noch ungünstiger gestalten. Denn der Effekt einer Röntgenröhre wächst mit der Stromstärke und nur insofern indirekt auch mit der Spannung, als dieselbe dazu dient, eben eine grössere Stromstärke durch die Röhre, bildlich genommen, hindurchzupressen, vorausgesetzt, dass der Induktor geeignet ist diese Stromstärke überhaupt zu liefern. Das hängt ab von der Energie des Primärstromes und von dem Güteverhältnis der Transformation.

Beträgt beispielsweise die Spannung des Primärstromes 20 Volt und die Stromstärke 8 Ampère, wird dem Induktor also eine Energie von $8 . 20 = 160$ Volt-Ampère oder Watt zugeführt und soll die Spannung an den Polen der Sekundärspule zur Ueberwindung des Röhrenwiderstandes sagen wir 100000 Volt betragen, so kann dabei höchstens eine Stromstärke von 0,0016 Ampère zustandekommen, denn 100000 Volt mal 0,0016 Ampère ergeben 160 Watt.

Das ist ein Nutzeffekt von 100 pCt., ein natürlich nur theoretisch möglicher Gütewert, welcher praktisch aus konstruktionellen Gründen auch nicht annähernd erreicht werden kann. Eben dieser erreichbare Nutzeffekt aber, welcher von der mehr oder minder glücklichen Wahl zahlreicher Faktoren abhängig ist, macht die Leistungsfähigkeit eines Induktors aus im Verhältnis zu seiner Grösse oder sagen wir nun, ohne Furcht vor einem Missverständnis, im Verhältnis zu seiner Schlagweite.

Wir wollen an dieser Stelle noch hinzufügen, dass über die angegebene maximale Spannungsleistung (Funkenlänge) ohne Gefahr für die Isolation ein Induktor nicht beansprucht werden darf. Man arbeitet daher niemals mit offener sekundärer Spule, auch nicht bei eingeschalteter Vakuumröhre, sondern sorgt stets für das gleichzeitige Vorhandensein einer auf den maximalen Betrag eingestellten Funkenstrecke, um im Fall des plötzlichen Versagens der Röhre, hier dem Strom einen Übergang zu bieten (vgl. auch Seite 87).

Zeigt sich die maximale Funkenlänge bei normaler Spannung und Intensität des Primärstromes und bei einwandfreiem Arbeiten aller Nebenapparate plötzlich beträchtlich vermindert, so kann man daraus schliessen, dass eine Isolationsverletzung eingetreten und die Spule durchschlagen ist. Eine durchgreifende und kostspielige Reparatur ist dann nicht zu umgehen.

Das Augenmerk der Konstrukteure richtet sich daher auf Herstellung einer undurchschlagbaren Isolation, besonders zwischen der Primär- und Sekundärspule, oder doch wenigstens auf eine Ausführung, welche eine schnelle und billige Ausbesserung des Schadens ermöglicht Levy-Berlin z. B. macht das Hartgummirohr zwischen den beiden Wickelungen auswechselbar und glaubt hierdurch eine Demontage des ganzen Apparates im Falle einer Isolationsverletzung vermeiden zu können.

Von wesentlichster Bedeutung für das Güteverhältnis der Transformation ist die Konstruktion des Unterbrechers. Der Platinunterbrecher, wie wir ihn bereits kennen gelernt haben, hat den Nachteil, dass er für grössere Stromstärken nicht geeignet ist, da seine Kontakte bei starker Funkenbildung der Verbrennung unterliegen. Der Gedanke liegt allerdings nahe, dem Induktor auch bei geringer Stromstärke eine grosse Energiemenge durch Erhöhung der Spannung bei passender Wahl der Primärwickelung zuzuführen. Aber auch das geht nicht an, da die hohe Spannung geeignet ist, beim Öffnen des Unterbrechers den Raum zwischen den Kontakten zu überbrücken, d. h. einen Lichtbogen zu ziehen. Hierdurch verliert die Unterbrechung ihre Exaktheit, von der in erster Linie der Induktionseffekt abhängt.

Dann liegt es in den Konstruktionsverhältnissen des einfachen

Platinunterbrechers begründet, dass er zu langsam und zu unregelmässig arbeitet. Erstere Eigenschaft ist bei der direkten Beobachtung mit den Fluorescenzschirm schliesslich unerträglich und letztere dehnt bei photographischen Aufnahmen die Expositionszeit ungebührlich aus. (Vgl. Seite 138.) Wir verlangen also von einem guten Unterbrecher folgende Kardinal-Tugenden:

1. Er soll gleichmässig und
2. womöglich auch geräuschlos arbeiten.
3. Er soll eine möglichst hohe Frequenz haben und
4. gleichmässig gut hohe Stromstärken wie Spannungen unterbrechen.
5. Die Unterbrechungen sollen rein und exakt sein.

Wissenschaft und Technik haben die Wichtigkeit dieser Punkte erkannt und allen Scharfsinn aufgeboten, die geforderten Eigenschaften in einem Instrument zu vereinigen. Unter diesen Bemühungen ist der moderne Unterbrecher zu einem selbständigen und für die Röntgenpraxis wertvollem Apparat geworden, der in einem besonderen Abschnitt eine eingehende Würdigung und Besprechung erfahren soll.

Die sich aus diesem Abschnitt ergebenden Sätze und Nutzanwendungen sind kurz folgende:

1. Jeder Strom ruft im Augenblick, wo er geschlossen wird, in einem benachbarten Leiter einen Induktionsstrom in entgegengesetzter Richtung, wenn er geöffnet wird einen solchen von gleicher Richtung wach. (Seite 29).
2. Diese Erscheinung wird in den Induktoren benutzt zur Transformation von Strömen niedriger Spannung und grosser Stromstärke in solche von grosser Spannung mit entsprechend verminderter Intensität.
3. Der induzierte, hochgespannte Strom ist in der Anlage ein Wechselstrom, dessen schwächere Phase jedoch unterdrückt wird. Mithin ist der Nutzstrom als intermittierender Gleichstrom von wechselnder Intensität zu bezeichnen. (Seite 35).
4. Die Stellung des Stromwenders ist nicht gleichgültig; sie ist nach Seite 34 zu ermitteln und für dieselbe die richtige Verbindung mit der Batterie anzumerken.
5. Der Induktionsstrom geht von der Anode [Spitze] zur Kathode [Platte]. (Seite 35.)
6. Zur Sicherung des Induktors gegen Isolationsverletzungen ist der Vakuumröhre stets eine Funkenstrecke parallel zu schalten. (Seite 37 und Seite 87.)
7. Der Induktor darf nicht über die maximale Funkenlänge beansprucht werden.
8. Bei der Gefährlichkeit hochgespannter Ströme versteht es sich von selbst, dass stromführende Leiter während des Betriebes nicht berührt werden dürfen.

IV. Abschnitt.

Die Unterbrecher für Gleich- und Wechselstrom.

1. Die Unterbrecher für Gleichstrom.

Die Platinunterbrecher.

Der einfache Hammerunterbrecher ist bereits im vorigen Abschnitt besprochen worden. Aus dem Bedürfnis heraus, die Frequenz zu erhöhen, ist der Deprez-Unterbrecher entstanden. Möglichste Symmetrie der schwingenden Massen wurde bei der Konstruktion angestrebt.

Ein um seine Mitte schwingendes, längliches Eisenstück (Fig. 27) wird durch Federkraft mit einem, an ihm befestigten Platinstück, gegen ein zweites gepresst, welches sich durch die Strom zuführende linke Kordelschraube (auf der Abbildung die zweite wagerechte vom Beschauer aus) vor und rückwärts gegen das schwingende Platinstück verstellen lässt. Auf der anderen Seite trägt der kleine Eisenbalken eine Platte aus Messing, welche dem Drahtkern des Induktoriums gegenüber angeordnet wird und den Zweck hat, den magnetischen Schluss zwischen Anker und Induktorkern zu verhindern. Beim Stromeintritt ist das Spiel dann das gleiche, wie bei dem gewöhnlichen Hammerunterbrecher, nur dass die Schwingungen viel gleichmässiger und schneller verlaufen. Die Stellfeder muss unter Berücksichtigung der angewandten Stromstärke stets so justiert werden, dass sie dem ihr entgegenwirkenden Magnetismus des Induktorkerns gegenüber nicht zu mächtig wird. Sollte es dennoch vorkommen, dass die Platinkontakte aneinander haften bleiben, so ist der Druck der Kontaktkordel zu vermindern.

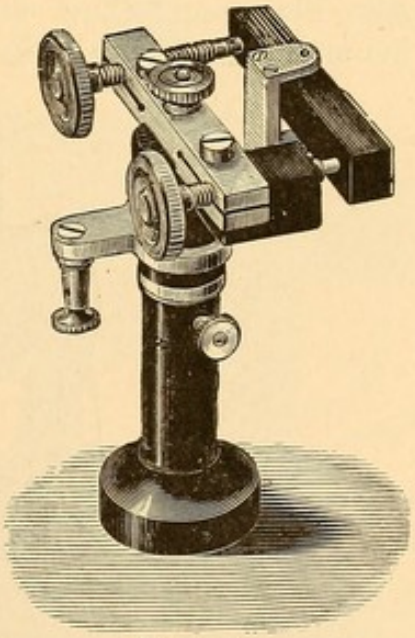


Fig. 27.

Fig. 28 zeigt die Anordnung von Ernecke-Berlin. Der Hammer kann durch Lösen der beiden Säulenschrauben herausgenommen und durch den Deprez-Unterbrecher ersetzt werden. Hierbei wird der Anker dem Induktorkern soweit genähert, als es seine Schwingungsweite erlaubt; berühren darf er denselben nicht. Der Deprez-Unterbrecher ist für Induktoren über 30 cm Schlagweite mit Vorteil nicht mehr anzuwenden, da er grössere Stromstärken nicht verträgt. Auch bei Spannungen über 50 Volt unterbricht er nicht mehr exakt genug. Immerhin wird ihn sein verhältnismässig gleichmässiger Gang für direkte Beobachtungen mit dem Fluorescenzschirm überall da empfehlen, wo kleinere Induktoren bei mässigen Strommitteln Verwendung finden. (Akkumulatoren-Betrieb

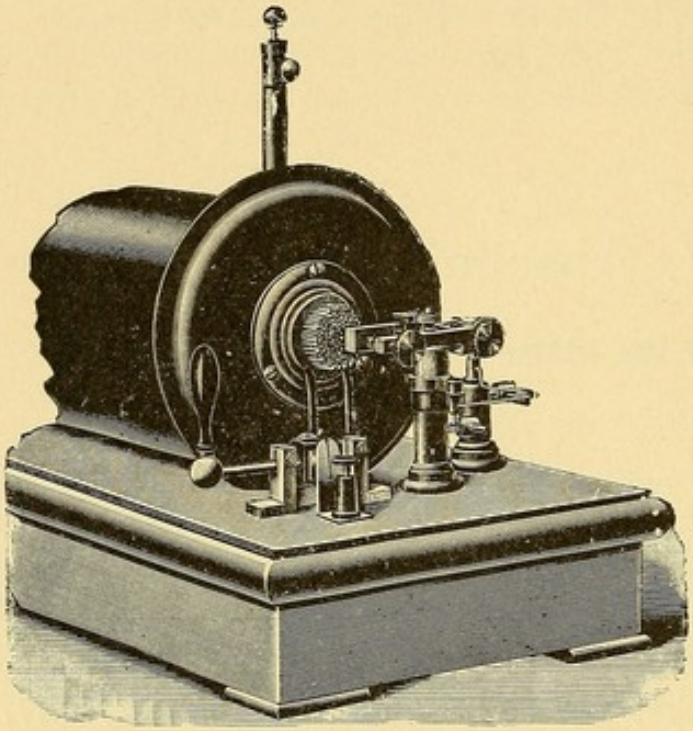
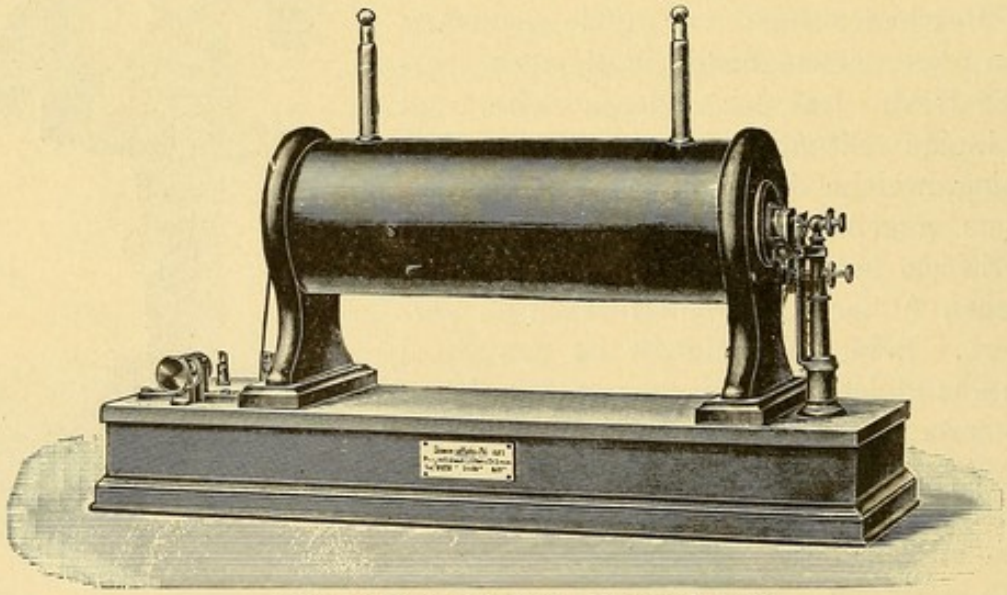


Fig. 28.



71412 mit 71415 und 71421. Maassstab 1 : 10.

Fig. 29.

mit 5—10 Zellen.) Er kann mit Strom soweit belastet werden, bis die Funken zwischen den Platinkontakten beginnen einen leuchtend-massigen

Charakter anzunehmen. Der Deprez-Unterbrecher lässt sich durch Anziehen der Feder auf etwa 15—40 Unterbrechungen in der Sekunde einstellen.

Siemens & Halske ziehen eine vertikale Anordnung des Unterbrechers vor; sonst ist er im Prinzip dem vorbeschriebenen gleich (Fig. 29).

Ein Versuch, die Schwingungszahl des alten Platin-Hammer-Unterbrechers zu erhöhen, ist nicht ohne Glück von der Allgemeinen Elektricitäts-Gesellschaft-Berlin gemacht worden. Die Steigerung der Frequenz wird durch eine Feder erreicht, welche, ähnlich wie beim Deprez-Unterbrecher, der Ankerfeder eine regulierbare Gegenspannung giebt. (Oberer Schraubengriff in der Abbildung Fig. 30.) Durch Linksdrehen des Griffes wird die Schwingungszahl erhöht, durch Rechtsdrehen vermindert. Fig. 31 zeigt die originelle Art der Befestigung am Eisenkern des Induktors.

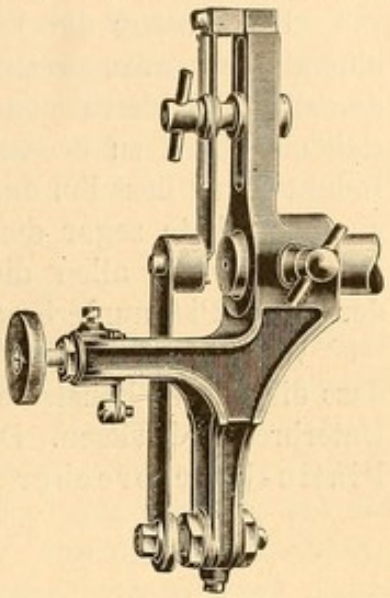


Fig. 30.

Auch dieser Unterbrecher ist nicht frei von den Fehlern der Platinunterbrecher. Er ist brauchbar für Induktoren bis zu etwa 30 cm

Fig. 31.

Schlagweite und seine Schwingungen lassen sich zwischen 15 und 50 in der Sekunde variieren.

Der Vorzug der Einfachheit, welcher den Platinunterbrechern nun einmal nicht abzusprechen ist, sowie die verhältnismässige Wohlfeilheit derselben hat den Konstrukteuren immer wieder Veranlassung gegeben, sich mit ihnen zu beschäftigen. Man trennte den Unterbrecher von dem Induktor und liess ihn durch einen besonderen Elektromagneten antreiben, man gewöhnte sogar den Kontakten die Unart des „Klebens" fast ganz ab, aber unter allen diesen Verbesserungen gingen die Hauptvorzüge der alten Platinunterbrecher, Einfachheit und Billigkeit, doch verloren.

Wenn man hiervon absieht, wird man aber gern zugeben können, dass die hübsch konstruierten Apparate manche Vorzüge vor dem Deprez-Unterbrecher besitzen. Die beistehende Abbildung zeigt den Präzisions-Platin-Unterbrecher von Dr. Max Levy-Berlin (Fig. 32). Auf

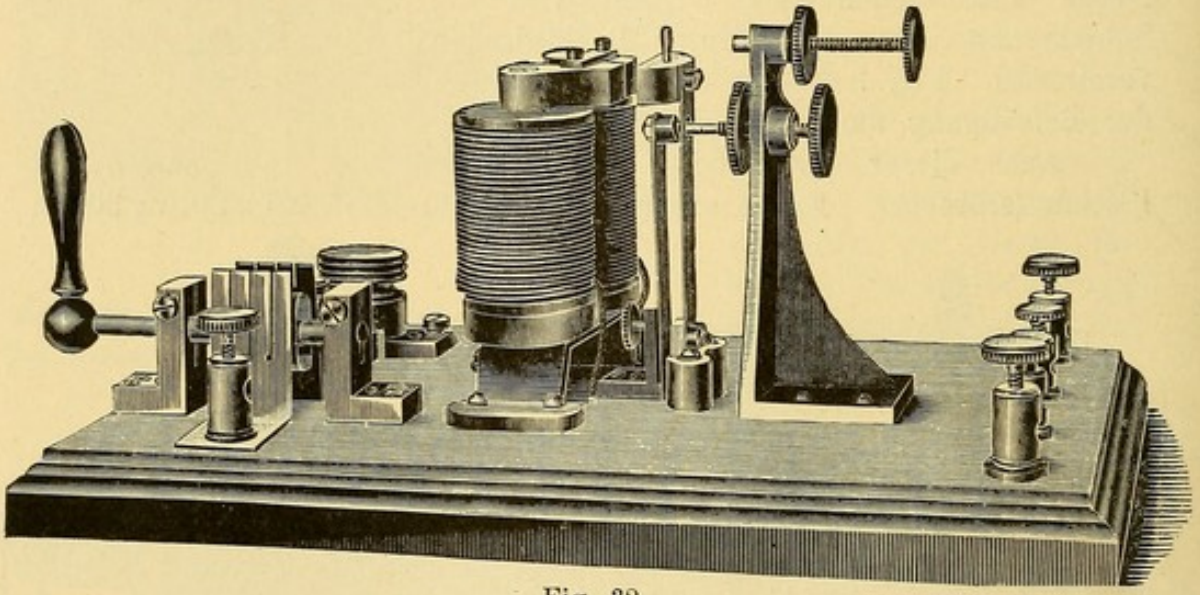


Fig. 32.

eine genauere Beschreibung desselben kann hier nicht eingegangen werden, nur soviel sei gesagt, dass sein Hauptvorteil dem einfachen Platinunterbrecher gegenüber in dem rapiden Abreissen der Kontakte besteht. Hierdurch wird die Unterbrechung momentan und infolgedessen von stark induktiver Wirkung auf die Sekundärspule des Induktors.

Alle Platinunterbrecher haben mit einander die schnelle Abnutzung der Kontakte gemein. Die neueren Konstruktionen sind daher mit Vorrichtungen zum Auswechseln der Platinstifte versehen. Es ist von Nutzen, dieselben öfter gegeneinander auszutauschen, da der, den positiven Pol darstellende, Stift der Abnutzung am meisten unterliegt.

Zeigt sich nach starkem Funken die Kontaktfläche korrodiert, so genügen einige sichere Feilenstriche, um den früheren Zustand vorübergehend wieder herzustellen.

Die einfache, saubere und bequeme Behandlung der Platinunterbrecher mit Ausnahme der einfachen Hammerunterbrecher, welche für Röntgenzwecke kaum brauchbar sind, hat ihnen überall da Eingang verschaft nnd Freunde erworben, wo eine Stromquelle von mässiger Spannung auf Induktoren mittlerer Grösse arbeitet und ausserdem auf Ruhe des Fluorescenzbildes und eine kurze Expositionszeit weniger Wert gelegt wird, als auf einen billigen Anschaffungspreis.

Einfache Quecksilberunterbrecher.

Die Platinunterbrecher sind für starke Ströme und für hohe Spannungen nicht verwendbar, weil die, zwischen den Kontakten plötzlich unterbrochene, elektrische Energie bestrebt ist, den entstehenden Zwischenraum mit Hilfe der von den hocherhitzten Kontakten stammenden Metalldämpfe zu überbrücken. Hierdurch verliert die Unterbrechung die zur Erzeugung eines kräftigen Induktionsstromes erforderliche Präzision und verursacht eine, besonders an Platinunterbrechern bei hoher Frequenz und starker Inanspruchnahme beobachtete, Schlagweitenverminderung. Man hat daher versucht, die Unterbrechung bei Abwesenheit von Luft in einem isolierenden Medium, z. B. Petroleum, vor sich gehen zu lassen, indem man den einen Kontakt durch Quecksilber, den anderen durch einen Metallstift ersetzt, welcher in das Quecksilber abwechselnd eingetaucht und herausgehoben wird.

Fig. 33 zeigt einen Quecksilberunterbrecher in seiner einfachsten Form, passend zu dem Eisenkern des Induktors Fig. 31. Das Glasgefäss wird bis zu etwa $^1/_3$ seiner Höhe mit Quecksilber und dann bis an den unteren Rand des Halses mit Petroleum gefüllt. Beim Durchgang des Stromes neigt sich der federnde Eisenanker gegen den Kern des Induktors und die an demselben mit einem leitenden Kupferbügel befestigte Platinspitze verlässt das Quecksilber und unterbricht den Strom, wodurch die Pendelbewegung des Unterbrechers eingeleitet wird. Der Kontaktstift steht mit der Primärspule, das Quecksilber mit einem der Pole des Stromwenders durch Drähte in leitender Verbindung. Durch Heben und Senken des Gefässes wird das Quecksilber zum Kontaktstift in eine günstig wirksame Höhe gebracht.

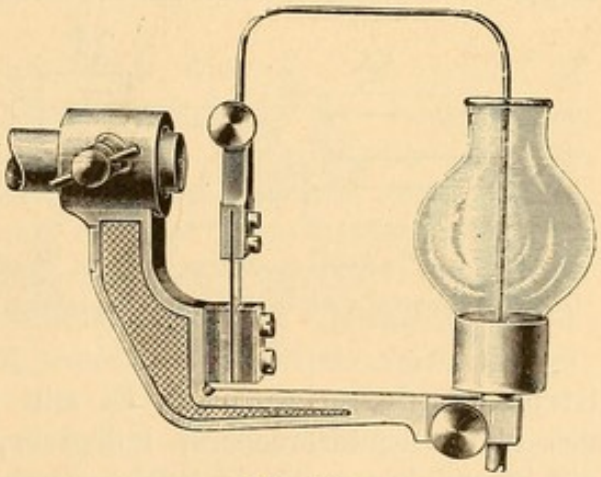


Fig. 33.

Dieser Quecksilber-Hammerunterbrecher hat mit den anderen Unterbrechern derselben Kategorie den Vorteil gemein, dass die Zeit des Stromschlusses gegen den Augenblick der Unterbrechung relativ gross ist und daher eine volle Ausbildung des Primärstromes bis zu seiner Unterbrechung begünstigt, dagegen ist er wegen seiner geringen Unterbrechungszahl (ca. 15—20 in der Sekunde) für die Röntgenpraxis nicht zu empfehlen, wenigstens nicht für die direkte Beobachtung.

Nach einiger Zeit beginnt bei allen Quecksilberunterbrechern das Quecksilber und das darüber befindliche Petroleum zu verschlammen und muss ersteres dann gereinigt werden. Ein einfaches Verfahren der Quecksilberreinigung ist am Schluss dieses Abschnittes angegeben. Die lästige Verunreinigung durch umhergeschleudertes Petroleum hat in vielen Fällen Alkohol vorziehen lassen.

Verfasser wendet mit Vorteil nur reines Wasser an, welches sich leicht dauernd spülend dem Unterbrechergefäss zuführen lässt und dessen, allerdings vorhandene, aber sehr geringe Leitfähigkeit durch Elektrolyse, gegenüber der Sauberkeit und Bequemlichkeit nicht ins Gewicht fällt.

Das Bestreben, die Vorteile des Quecksilberunterbrechers durch Erzielung einer höheren Frequenz auszunutzen, hat in kurzer Zeit eine Menge von Konstruktionen auf den Markt gebracht, welche zum Teil recht kompliziert sind. Da dieselben für grössere Induktoren bestimmt sind, welche ja ohnehin ein grosses Gewicht haben, so hat man die Unterbrecher von denselben ganz getrennt und behandelt sie zusammen mit dem Stromwender als besondere Apparate.

Uns interessiert noch der besonders häufig vorkommende Fall, dass ein gesonderter Quecksilberunterbrecher an einen Induktor angeschlossen werden soll, welcher mit Stromwender und irgend einem anderen Unterbrecher bereits versehen ist, z. B. der Induktor Fig. 23.

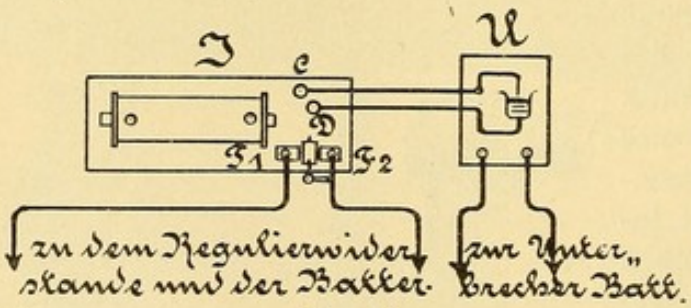


Fig. 34.

I. Die Schaltung gestaltet sich am einfachsten, wenn der gesonderte Unterbrecher einen eigenen Stromwender nicht hat. Er tritt dann ohne weiteres an die Stelle des Induktorunterbrechers, indem er, unter Entfernung desselben, an die Stromführungs-Säulenstücke geschaltet wird.

Fig. 34 giebt die schematische Anordnung. Es ist angenommen, dass die Schwingungen des Unterbrechers nicht durch den Primärstrom des Induktors, sondern durch eine besondere Vorrichtung unterhalten werden, welche entweder durch ein Uhrwerk oder durch den Strom einer gesonderten kleinen Batterie in Gang gesetzt wird. Die Klemmen

des Umschalters F_1 F_2 sind dann, ganz wie bisher, mit den Polen der Stromquelle verbunden, welche die Energie für den Induktor liefert.

II. Etwas komplizierter ist die Anordnung, wenn der Unterbrecher einen eigenen Stromwender hat. Er besitzt dann 4 Klemmenpaare, von denen eins der Unterbrechervorrichtung den Betriebsstrom von einer besonderen Batterie zuführt. Das zweite (mit dem Kommutator verbunden) nimmt den Hauptstrom für das Induktorium auf, das dritte muss mit den Polen der Primärspule und das vierte mit den Belägen des Kondensators verbunden werden. Man findet die richtige Schaltung leicht, wenn man sich dessen erinnert, was auf Seite 30 über das einfache Stromlaufschema gesagt ist.

Die Klemmen C_1 C_2 des Unterbrechers U (Fig. 35) sollen mit dem Kondensator, die Klemmen P_1 P_2 mit der Primärspule, die Stromwender-

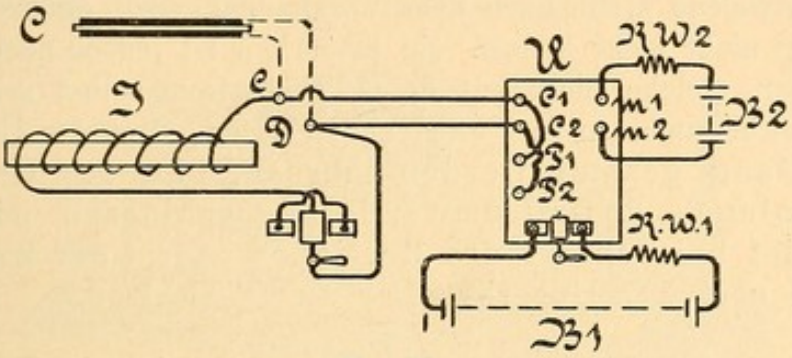


Fig. 35.

klemmen mit der Hauptbatterie B_1, die Klemmen M_1 M_2 endlich mit der Nebenbatterie B_2, welche den Unterbrecher bethätigt, verbunden werden.

Die letzten beiden Schaltungen sind, wie aus dem Schema ersichtlich, ohne weiteres unter Zwischenschaltung der erforderlichen Regulierwiderstände zu machen. C_1 und C_2 werden dadurch an den Kondensator gelegt, dass der bisherige Unterbrecher von seinen Stativsäulen *(C, D)* abgeschraubt wird und letztere durch Drähte von nicht zu geringer Stärke mit den Klemmen verbunden werden.

Durch Schluss des Induktorstromwenders und Verbindung seiner Klemmen mit einem dicken Draht, werden, wie leicht ersichtlich, die Säulen D und C gleichzeitig zu den Polen der Primärspule. Mit ihnen sollen die Klemmen P_1 P_2 verbunden werden, was am einfachsten gleich am Unterbrecher durch Verbindung der Klemmen C_1 C_2 mit den Klemmen P_1 P_2 geschieht. Was für den Stromwender am Induktorium mafsgebend war, gilt nunmehr auch für denjenigen des Unterbrechers (vergl. Seite 34).

III. Am einfachsten gestalten sich naturgemäss die Verbindungen mit den grösseren Induktoren, bei welchen von vornherein ein Betrieb

durch separaten Unterbrecher vorgesehen ist. Solche Induktoren besitzen nur 2 Klemmenpaare, die mit der Primärspule bzgl. mit dem Kondensator in Verbindung stehen. Fig. 36 veranschaulicht die

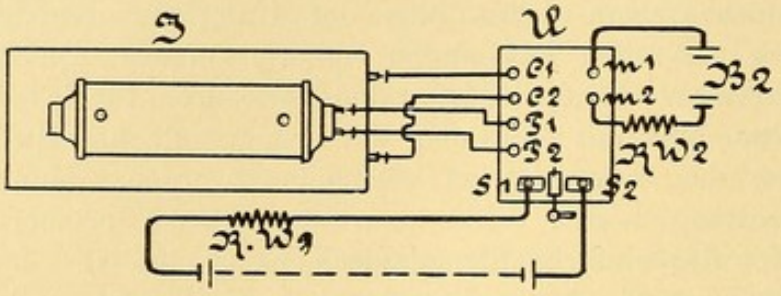


Fig. 36.

Schaltung, welche wohl nach dem Vorangegangenen einer besonderen Erläuterung nicht mehr bedarf. Zu bemerken ist jedoch noch, dass alle Unterbrecher, welche nicht mit dem Primärstrom selbst arbeiten, also mit wenigen Ausnahmen fast alle vom Induktor getrennten Unterbrecher erst in Gang gesetzt werden müssen, ehe der Hauptstrom durch Umlegen des Stromwenders geschlossen wird. Umgekehrt ist bei Schluss des Betriebes zuerst der Hauptstrom und dann erst der Unterbrecher auszuschalten.

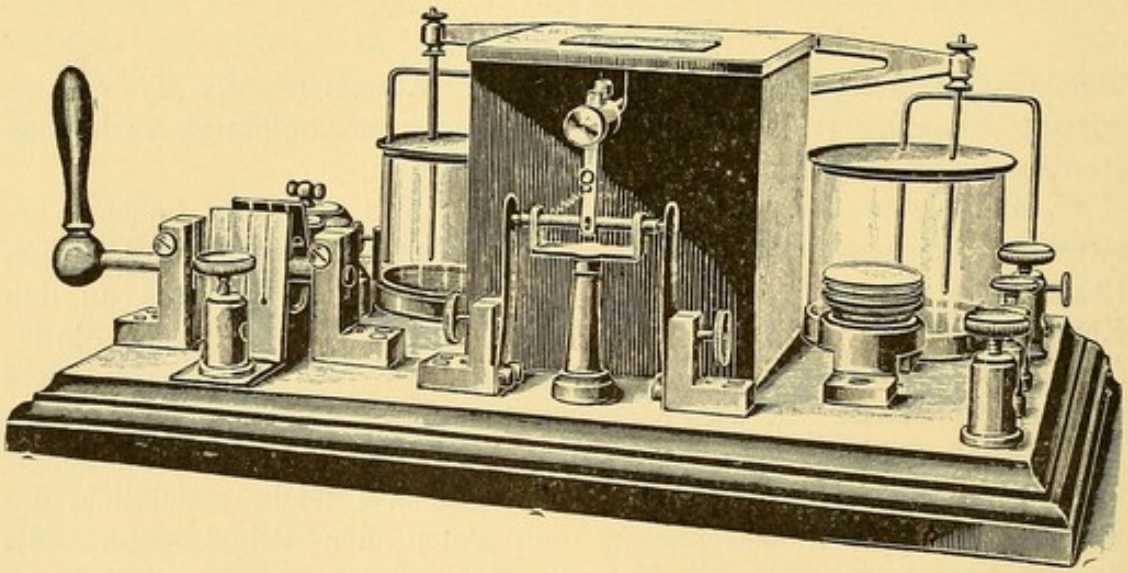


Fig. 37.

Bei der grossen Zahl der neueren Unterbrecher-Konstruktionen ist es nicht angängig, dieselben im Rahmen dieses Buches alle zu beschreiben und durch Abbildungen zu veranschaulichen. Die Besitzer der einen oder anderen Konstruktion, welche hier nicht angeführt ist, werden

sich durch Aufsuchen der Drahtverbindungen an den Apparaten (meist von unten sichtbar) und durch einige Überlegung nach den vorstehenden Angaben leicht zurechtfinden können. Eine kurze Besprechung der gangbarsten Modelle wird daher genügen.

Quecksilberdoppelwippe von Dr. Max Levy-Berlin (Fig. 37). Eine erhöhte Unterbrechungszahl wird durch Anordnung zweier Quecksilbergefässe erreicht, in welche die, an einem zweiarmigen Hebelarm aus Aluminium sitzenden, Kontaktstifte abwechelnd eintauchen. Der bewegende Elektromagnet ist durch einen Holzkasten geschützt. Die Unterbrechungszahl wird durch die vor dem Kasten sichtbaren Kontaktfedern reguliert, ebenso das gleichmässige Eintauchen der Stifte.

Der Elektromagnet ist für die jeweilige Betriebsspannung passend bewickelt und mit der Primärspule des Induktors hintereinander geschaltet. Mithin arbeitet der Unterbrecher mit dem Induktorstrom und

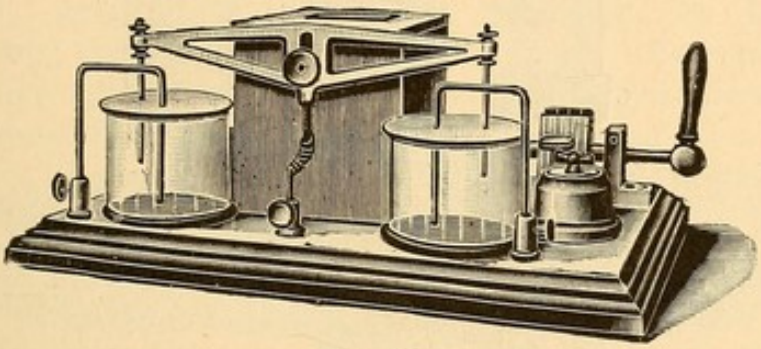


Fig. 38.

bedarf keiner besonderen Stromquelle. Die seitlich vom Stromwender angebrachten Klemmen werden mit der Batterie, die grösseren Aussenklemmen rechts mit der Primärspule, die kleineren zwischen ihnen mit dem Kondensator verbunden. Hat der Induktor einen eigenen Stromwender, so wird derselbe geschlossen und seine Klemmen werden mit einem starken Draht verbunden. (Vgl. Seite 45 unter II.) Der Unterbrecher eignet sich für Induktoren bis zu 30 cm Schlagweite. Fig. 38 zeigt die Vorderansicht.

Die Quecksilberwippe von Siemens & Halske-Berlin ist der vorbeschriebenen im Prinzip sehr ähnlich. Zwischen den Polen eines Elektromagneten *E*, und zwar normal zu den Kraftlinien desselben vibriert ein kleiner Eisenanker (Fig. 39), welcher in seinen extremsten Stellungen rechts wie links gegen Platinkontakte stösst und hierdurch den Stromschluss für den Elektromagneten herbeiführt. Im Ruhezustande hängt er senkrecht herab, so zwar, dass seine Schneiden denen der Magnetkerne gegenüberstehen. Der Unterbrecher läuft also nicht von selbst an und bedarf eines Anstosses oder eines kleinen Übergewichtes

auf der einen Hebelseite, welches den Anker gegen einen der beiden Kontakte sanft andrückt.

Zum Betriebe des Unterbrechers genügen 3—4 Trockenelemente, welche an die, neben dem Magneten sichtbaren, Klemmen geschaltet werden, auch ist es in diesem Falle nicht unzweckmässig, die Energie der Akkumulatorenbatterie zu entnehmen, da der Stromverbrauch ein sehr geringer ist (ca. 0,2 Amp.).

Die Unterbrechungen für den Induktorstrom erfolgen auf nachstehende Art. Rechts und links neben dem Elektromagneten sind zwei

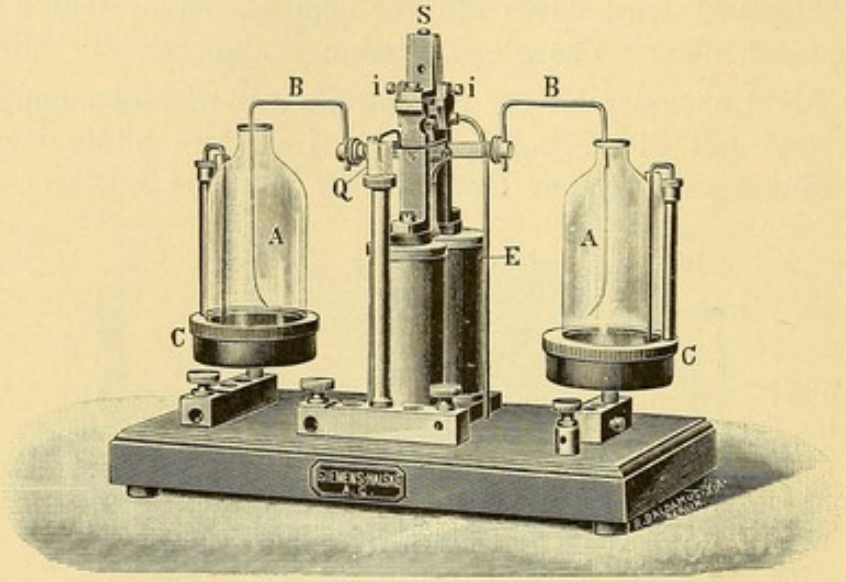


Fig. 89.

Quecksilbernäpfe *A* angeordnet, welche untereinander leitend verbunden sind. In diese ragen zwei, mit dem Ankerzüngelchen in Verbindung stehende, Kontaktstifte *B B* hinein und geben beim Schwingen des Ankers bald nach rechts und bald nach links hin Stromschluss. In der Ruhelage werden sie so eingestellt, dass sie sich etwa 5 mm über dem zugehörigen Quecksilberspiegel befinden. Das Quecksilber in den Gefässen einerseits und die Wippenbügel andererseits sind als die Pole des Apparates in bezug auf den Induktorstrom zu betrachten. Entsprechend bezeichnete Klemmen an beiden Teilen ermöglichen eine Verbindung wie auf Seite 44 unter I. angegeben. Die Frequenz kann durch Anspannen der Kontaktfedern *i i* reguliert werden.

Die rotierenden Quecksilberunterbrecher.

Jede linieare Hin- und Herbewegung wird um so schwerfälliger, je grösser die bewegte Masse ist. Daraus folgt, dass die Unterbrechungszahl eines auf diesem Prinzip basierenden Unterbrechers nach aufwärts rasch begrenzt ist. Man leitet daher die lineare Bewegung mit Vorteil von einer Kreisbewegung ab durch Verbindung des Unter-

brecherhebels mit einer Excenterscheibe oder einer Kurbel. Aus diesen Konstruktionselementen heraus sind die rotierenden, oder — da sie zu ihrem Antriebe einer besonderen Maschine bedürfen — auch Motorunterbrecher genannten Apparate hervorgegangen. Sie zeichnen sich durch eine, in weiteren Grenzen variable, hohe Tourenzahl und durch grosse Leistungsfähigkeit aus. Den Vorteilen steht leider der hohe Anschaffungspreis gegenüber.

Das Ausheben und Einsenken des Kontaktstiftes in das Quecksilber wird durch einen Elektromotor bewirkt, der seine Energie von einer besonderen kleinen Akkumulatorenbatterie oder von der Lichtleitung erhält. In letzterem Falle empfiehlt es sich, falls der Motor nicht bereits mit einer für die hohe Spannung geeigneten Bewickelung versehen sein sollte, demselben als Widerstand eine oder mehrere Glühlampen in Parallelschaltung vorzuschalten, je nach der erforderlichen Stromstärke. Die Wickelung würde sonst bei dem geringen Widerstande, welchen sie der hohen Spannung des Lichtleitungsstromes bietet, Gefahr laufen, durch zu grosse Stromstärke zu verbrennen. Der auf Seite 22 besprochene Glühlampenwiderstand eignet sich zu diesem Zweck; er wird hier ebenso vor den Motor geschaltet, wie dort vor die Akkumulatoren. Selbstredend kann der Motor auch von derselben Stromquelle aus, welche für den Induktor den Strom liefert, betrieben werden, falls dieselbe stark genug ist.

Die Unterbrechungszahl über 30 in der Sekunde zu treiben, ist bei den störenden Nebenerscheinungen, welche eine derartige Tourenzahl des Mechanismus mit sich bringt, nicht mehr von Vorteil.

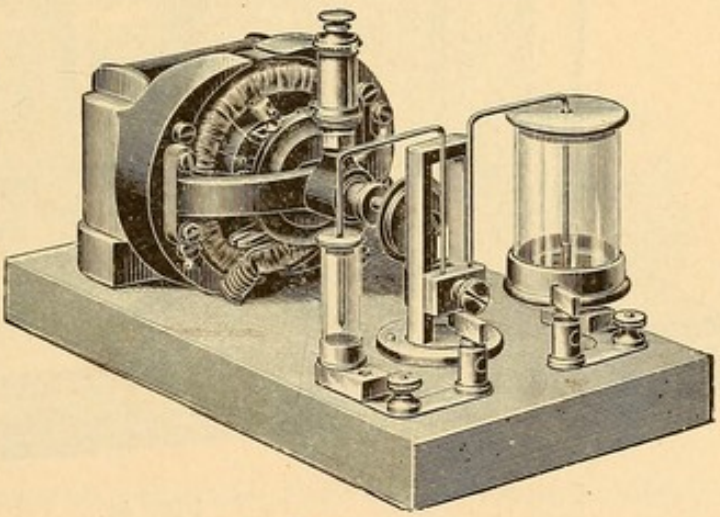


Fig. 40.

Motorquecksilberunterbrecher von Siemens & Halske, Berlin (Fig. 40). Der Kontaktstift ist in einfacher Weise mit der Excenterscheibe eines elektrischen Ringankermotors gekuppelt, welche die kreisende Bewegung in eine geradlinige überführt.

Der Motor erhält seinen Antrieb durch eine besondere Batterie oder durch die Lichtleitung und muss für jeden Fall mit einer zweckmässigen Bewickelung versehen werden. Beim Ankauf ist daher die vorhandene Betriebsspannung anzugeben. Die Primärstromzuführung

zum Kontaktstift geschieht durch ein kleines Standglas (links auf der Abbildung), in welchem Quecksilber so hoch aufgefüllt ist, dass der in das Glas tauchende und mit dem Kontaktstift verbundene Stromleitungsbügel bei seinem Auf- und Niedergang die Verbindung mit dem Quecksilber nicht verliert. Geschaltet wird der Unterbrecher wie unter I Seite 44 angegeben. Die Unterbrechungszahl ist etwa 20—30 in der Sekunde.

Etwas anders gestaltet ist der rotierende Unterbrecher von Dr. Max Levy-Berlin. Ein kräftiger Elektromotor von kompakter Form trägt auf seiner Achse, dem Beschauer zugewendet, eine mit einem excentrischen Stift aus gehärtetem Material versehene Metallscheibe.

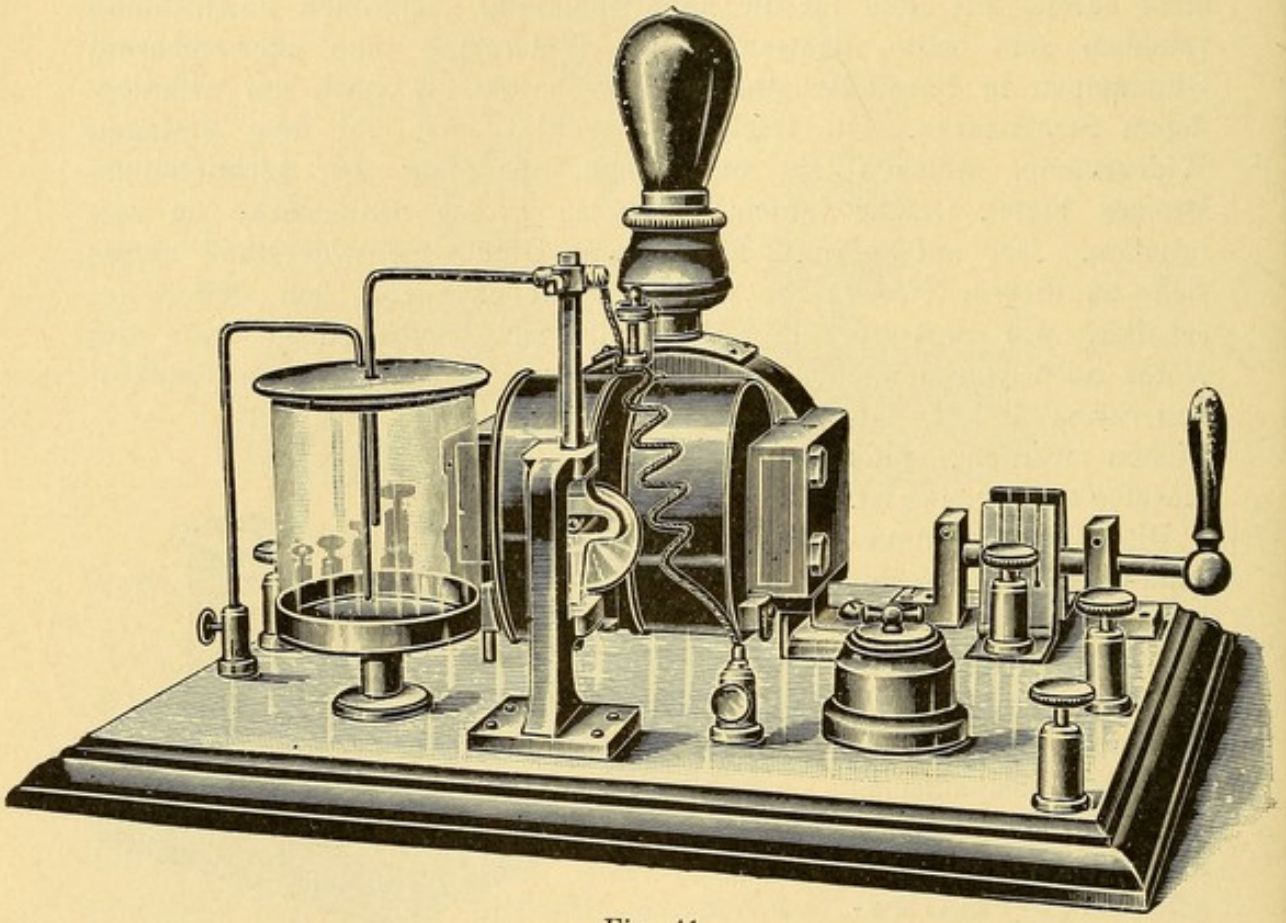


Fig. 41.

Der Stift bewegt sich bei der Rotation in einer Metallschleife hin und her, indem er sie gleichzeitig auf- und abführt. Die Bewegung wird in der, aus der Fig. 41 ersichtlichen Weise auf den Kontaktstift übertragen, während die Stromzuführung durch eine bewegliche, spiralig aufgewundene Kupferlitze geschieht. Diese Zuführung ist nicht so sicher wie die mittels eines Quecksilbernapfes, da sie dem Bruch leicht unterliegt; allerdings kann sie auch ebenso leicht durch eine neue Stromführungslitze ersetzt werden. Nach Lösung einer kleinen

Schraube lässt sich die Höhenstellung des Kontaktes justieren. Dem Quecksilber wird der Strom durch einen gebogenen Kupferdraht von oben her zugeführt.

Je nachdem der Motor von der Lichtleitung oder von einer Batterie mit geringerer Spannung laufen soll, wird eine Glühlampe höherer oder geringerer Spannung in die Fassung über dem Motor eingesetzt. Sie dient als Vorschaltewiderstand und wird bei Betrieb des Unterbrechers durch eine gesonderte kleine Batterie (etwa von 2 Zellen) durch eine Stöpselbleisicherung ersetzt. Ein Stromwender für den Induktorstrom und ein Drehausschalter für den Motor vervollständigen die Ausrüstung. Die im Vordergrunde rechts sichtbaren beiden Klemmen werden mit der Batterie für den Motor, die Klemmen des Stromwenders mit der Stromquelle für den Induktor, die grösseren Aussenklemmen links (durch das Glasgefäss sichtbar) mit der Primärspule und die zwischen ihnen befindlichen kleineren endlich mit dem Kondensator verbunden. Der Kontaktstift wird so eingestellt, dass er ebenso tief in das Quecksilber taucht als er über dasselbe emporgehoben wird. Um die Einstellung zu erleichtern, befinden sich an dem Glasgefäss Marken, welche den Stand des Quecksilbers und der Flüssigkeit darüber angeben. Als solche wird reines Wasser empfohlen.

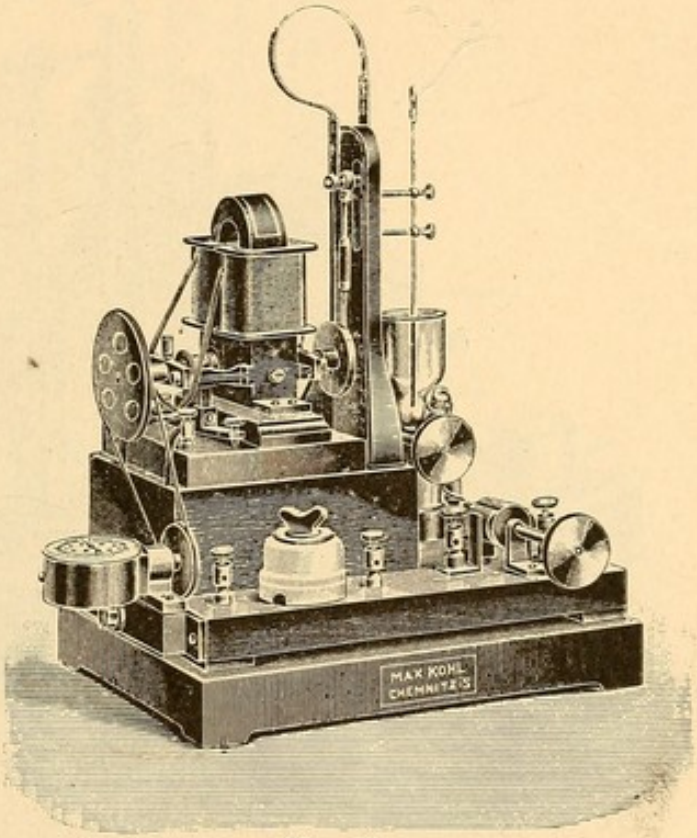


Fig. 42.

Der rotierende Unterbrecher, welchen Max Kohl-Chemnitz in den Handel bringt, zeichnet sich durch seine gedrungene Form angenehm aus (Fig. 42). Die Konstruktion ist ähnlich der vorbeschriebenen, nur wird die rotierende Bewegung nicht mit einer Kulissenschleife, sondern durch Kurbelstange und Schlitzführung in eine geradlinige verwandelt. Die Kontaktspitze (in diesem Falle ein Silberstift) wird so eingestellt, dass sie den Quecksilberspiegel eben berührt, die feinere Einstellung wird dann durch Heben und Senken des Glasgefässes, bei mässigem Lauf, mittels Drehen der Fussumrandung vorgenommen.

Der Hauptstrom wird den Stromwenderklemmen zugeführt, das hinter dem Glasgefäss versteckte äussere Klemmenpaar muss mit der Primärspule, das innere mit dem Kondensator verbunden werden. Die Stromzuführung für den Motor erfolgt durch die Klemmenschrauben zu beiden Seiten des Porzellanausschalters. Der Motor ist mit einem sogenannten Doppel-T-Anker versehen, welcher sich nicht aus jeder Stellung in Bewegung zu setzen vermag. Man hilft daher beim Anlassen etwas nach.

Als Nebenvorrichtung kann von der Motorwelle durch Schnurlauf ein Zeigerwerk angetrieben werden, welches in jedem Augenblick die Tourenzahl des Motors und also auch die Unterbrechungszahl in der

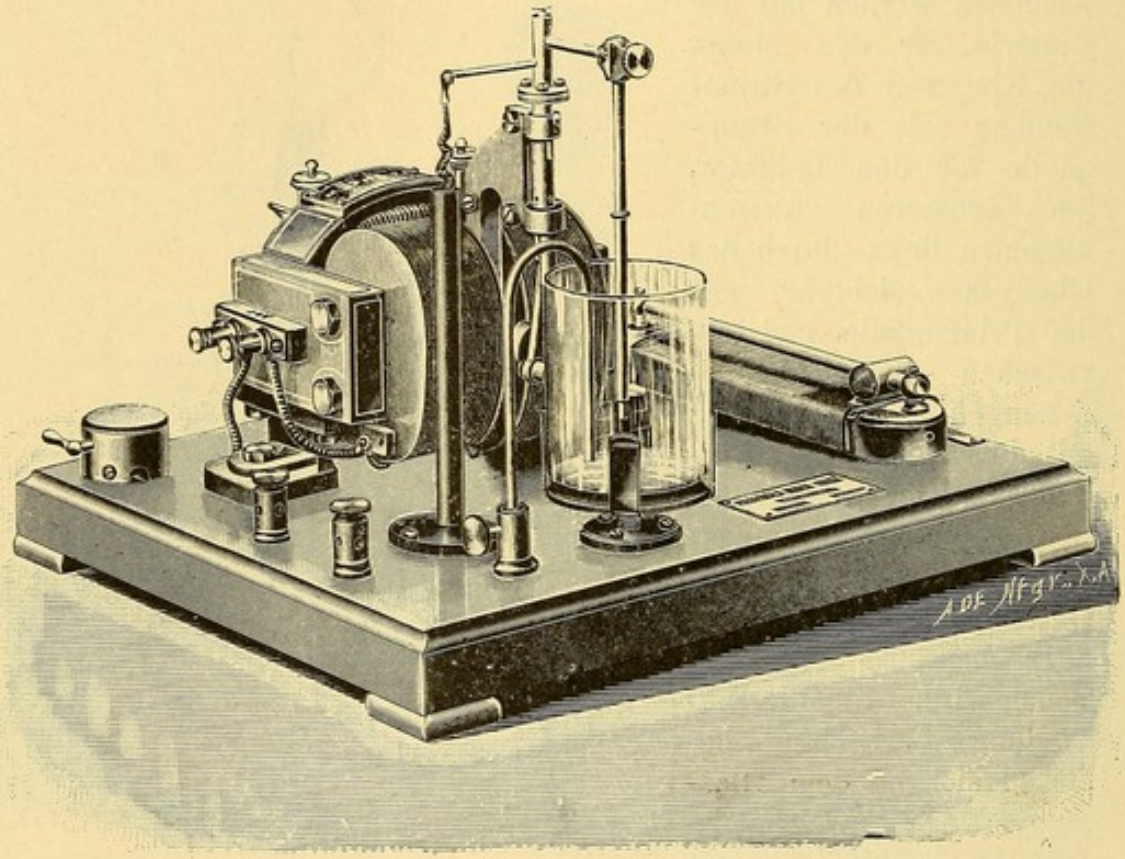


Fig. 43.

Minute abzulesen gestattet. Der Preis dieses Tachometers beträgt jedoch ein Drittel der Gesamtkosten für den Unterbrecher; es ist natürlich eine zwar bequeme aber nicht unbedingt erforderliche Zugabe. Um eine schädliche Amalgambildung zu verhüten, soll der Silberstift während der Nichtbenutzung aus dem Quecksilber herausgezogen werden.

Der Motor-Quecksilber-Unterbrecher von Reiniger, Gebbert & Schall-Erlangen ähnelt in der konstruktiven Anlage dem Levyschen Instrument (Fig. 43). Er vereinigt jedoch auf dem Grundbrett zu den anderen Apparaten noch einen, dem Elektromotor vorgeschalteten, recht

bequemen Anlass- und Regulierwiderstand. Der Bewegungsübertragung dient eine Kurbel und eine recht stabile Hülsenführung. Kontaktstift wie Quecksilbergefäss sind in der Höhe verstellbar. Einen Stromwender besitzt der Unterbrecher nicht, es muss daher derjenige des Induktors benutzt werden. Die in solchen Fällen eintretende Schaltung findet man auf Seite 44 unter Rubrik I. Dem Motor wird der Strom durch die seitlich links an ihm befindlichen Klemmen zugeführt; ein Dosenausschalter schliesst und unterbricht ihn.

Eine gleiche Schaltung erfordert der zierliche Voltohm-Motor-Unterbrecher der Voltohm-Elektricitäts-Gesellschaft-München (Fig. 44).

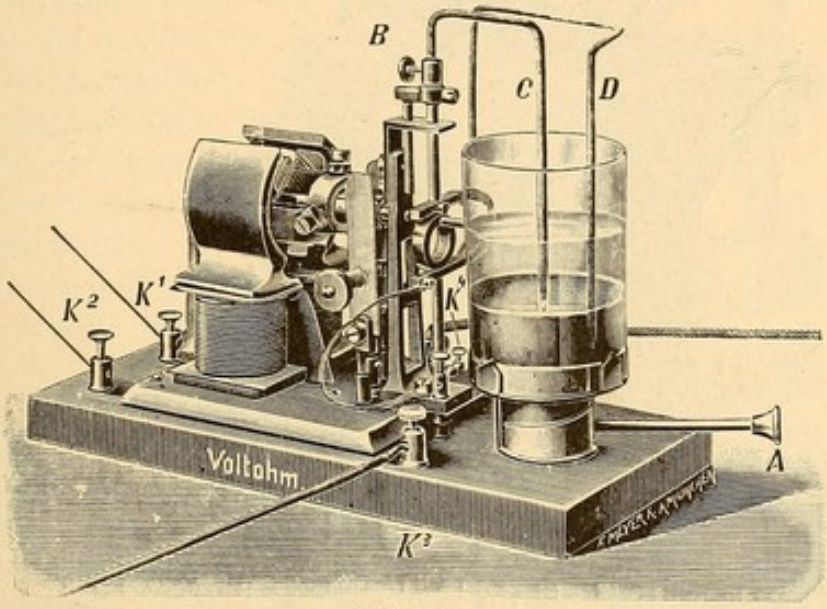


Fig. 44.

Er tritt wie der vorbeschriebene an Stelle des herausgenommenen Platinunterbrechers, indem die Klemmen K_3 K_4 mit den Säulen desselben verbunden werden. Der Hauptstrom wird dem Induktorstromwender zugeführt, während der Motor von den Klemmen K_1 K_2 aus gespeist wird. Die rotierende Bewegung wird in die hin- und hergehende durch einen auf die Motorachse gesetzten, excentrischen Ring und eine U-förmige Kulissengabel verwandelt.

Die Motor-Unterbrecher ähneln einander in den Grundprinzipien und meistens auch in der Ausführung durchaus. Die wenigen bisher erwähnten Formen mögen daher zur Orientierung des Lesers genügen.

Etwas abweichend in der Konstruktion ist der Rapid-Motor-Unterbrecher von Ferdinand Ernecke-Berlin gestaltet (Fig. 45). Der recht gefällig ausgestattete Apparat ist mit einer Einrichtung versehen, welche es gestattet, ohne Erhöhung der Tourenzahl eine fast doppelt so grosse Unterbrechungszahl wie bei den vorbeschriebenen Apparaten zu erreichen. Auf die nach beiden Seiten verlängerte Achse des erhöht

aufgestellten Motors sind zwei Kurbeln k_1 und k_2 geschraubt, welche gegeneinander um 180° versetzt sind und bei ihrer Bewegung abwechselnd zwei Kupferstifte in das Quecksilber der beiden Gefässe g tauchen. Die Kupferstifte sind untereinander ebenso wie die Queck-

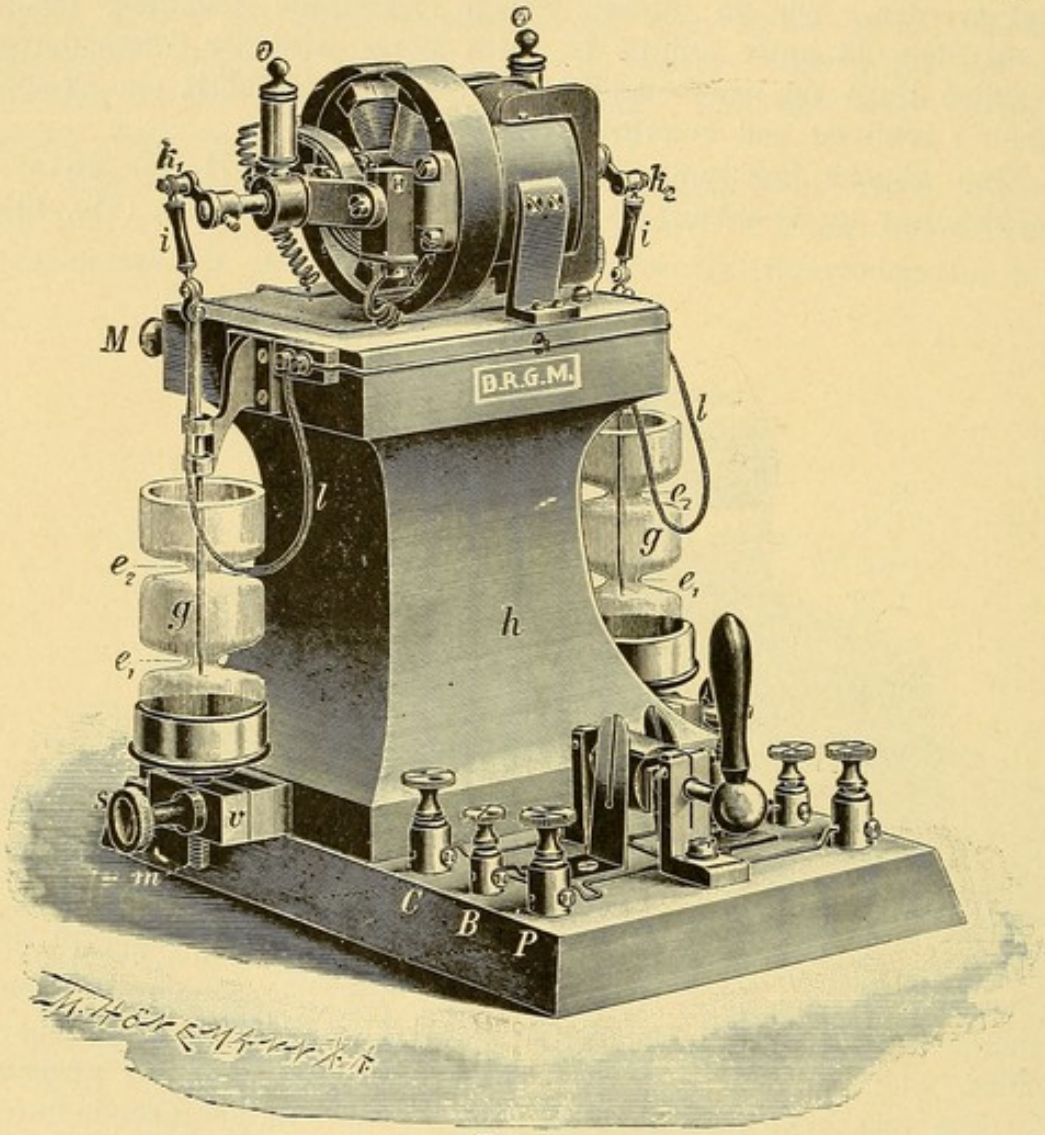


Fig. 45.

silbernäpfe verbunden. Es ist leicht zu übersehen, dass bei jeder Umdrehung des Motors eine zweimalige Unterbrechung des Stromes erfolgt. Wenn der Unterbrecher trotzdem die doppelte Frequenz eines solchen, nur mit einer Kontaktstange versehenen, nicht erreicht, so liegt dies an der Kürze der Kurbelstange i, welche die rotierende Umdrehung des Unterbrechers in die lineare Auf- und Abbewegung des Unterbrecherstiftes zu unvermittelt überleitet und bei höherer Inanspruchnahme den Mechanismus stark erschüttert. Dies ist vielleicht der einzige Fehler des sonst vortrefflichen Apparates, der auch dem Verfasser teilweise gute Dienste geleistet hat.

Zwei an der oberen Kante des Stativblockes befindliche Klemmen *M* (in der Zeichnung ist nur die eine sichtbar) vermitteln die Stromzuführung zum Motor, während auf dem Grundbrett des ganzen Apparates die Anschlussvorrichtung, die in 6 Klemmen und 1 Stromwender besteht, montiert ist.

Das Klemmenpaar *P*, rechts und links vom Stromwender, wird mit der Primärspule des Induktors, das Klemmenpaar *C* mit dem Kondensator desselben und das Klemmenpaar *B* mit der den Induktor speisenden Stromquelle verbunden.

Zwecks Füllen der Quecksilbergefässe bringt man die unteren Spitzen der Kontaktstifte auf gleiche Höhe, was durch Drehen beider Kurbeln in die horizontale Stellung erfolgt. Sodann giesst man in die Glasgefässe Quecksilber, bis es die Mitte der unteren Einschnürung e_1 e_1 erreicht hat, dann werden die Quecksilbergefässe vorläufig soweit herauf oder herunter geschraubt, bis die Kontaktspitzen (bei der oben angegebenen horizontalen Stellung der Kurbeln) ca. 3—4 mm über dem Quecksilber stehen. Darauf giesst man auf das Quecksilber Petroleum, bis es die unterhalb der oberen Einschnürung e_2 e_2 auf dem Glasgefässe eingeritzte Marke erreicht hat.

Das Entleeren der Quecksilbergefässe erfolgt in der Weise, dass man zuerst durch Hochdrehen der über dem betreffenden Quecksilbergefäss befindlichen Kurbel dem Kupferstift seine höchste Lage giebt, sodann schraubt man die untere vordere grosse Kurbelschraube *s* vollständig heraus, nimmt die Messingplatte *v* ab und zieht, während man das Glasgefäss etwas gegen den Holzblock neigt und den Gewindestift *m* der Fassung des Quecksilbergefässes aus der Hälfte der durchschnittenen Schraubenmutter herausnimmt, das Quecksilbergefäss schräg nach unten fort. Das Einsetzen des Gefässes erfolgt naturgemäss in umgekehrter Reihenfolge.

Nach Ingangsetzen des Motors stellt man durch Auf- oder Abwärtsschrauben der Quecksilbergefässe dieselben so ein, dass gleichmässig kräftige Unterbrechungen entstehen. Es ist darauf zu achten, dass die Gefässe nicht zu hoch stehen, da sonst statt der doppelten Unterbrechungen nur einfache entstehen, weil, noch ehe der eine Kontaktstift die Quecksilberoberfläche verlassen hat, der andere Kontaktstift bereits eintaucht.

Beim Verändern der Geschwindigkeit muss auch die Stellung der Quecksilbergefässe verändert werden, wenigstens sobald diese Geschwindigkeitsänderung eine wesentliche ist. Im allgemeinen müssen beim Schnellerlaufen des Motors die Gefässe aufwärts, beim Langsamerlaufen des Motors die Gefässe abwärts geschraubt werden.

Die Baumwolle in den Ölern *o o* auf den Motorlagern muss, nach Abnehmen der kleinen Messingdeckelchen, öfter mit Öl getränkt werden.

auch müssen alle reibenden Teile (Kurbelgelenke oben und unten, Führungslager der Kontaktstifte u. s. w.) öfter geölt werden.

ii sind Isolationsstücke, die die Motorachse von den Kontaktstiften isolieren, *ll* stromführende Drahtlitzen.

Da letztere durch die Oscillation der Unterbrecherstifte leicht abbrechen, werden die Apparate neuerdings mit einer Quecksilberstromzuführung, ähnlich der des Siemens'schen Apparates versehen. Zum Betriebe des Motors genügen zwei Akkumulatorzellen. Die Unter-

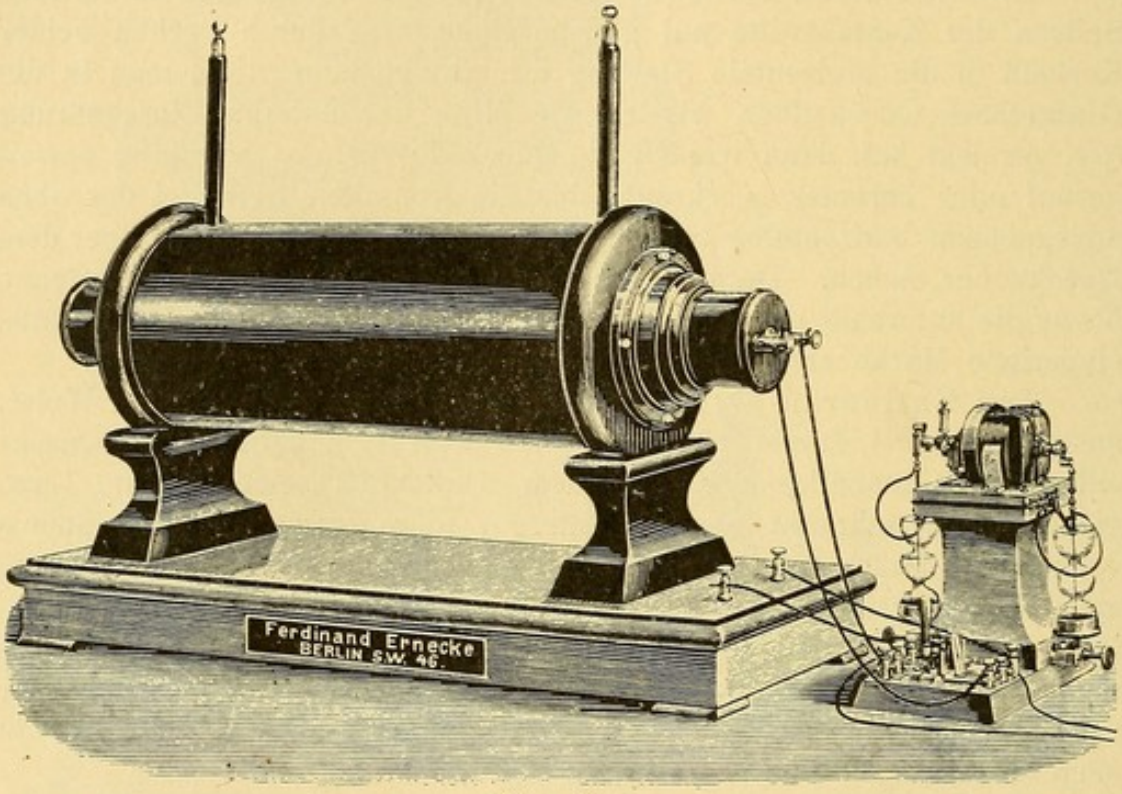


Fig. 46.

brechungen können mit dem Rapidunterbrecher ohne wesentlichen Nachteil für die Ausnutzung der Energie in der Primärspule bis auf etwa 40—50 in der Sekunde gesteigert werden.

Fig. 46 stellt den Unterbrecher vereinigt mit einem Induktor von 40 cm Schlagweite dar, welcher ebenfalls aus den Werkstätten der genannten Firma hervorgegangen ist.

Haben die Quecksilber-Unterbrecher den unverkennbaren Vorzug vor den Platin-Unterbrechern, dass sie grössere Stromstärken zu unter-

brechen gestatten und daher für Induktoren von 30—50 cm Schlagweite wohl verwendbar sind, so kann man doch nicht verkennen, dass sie Strömen höherer Spannung gegenüber ihre Exaktheit nicht beibehalten. Der Grund hierfür ist in der dann auftretenden Lichtbogenbildung zwischen Quecksilber und Kontaktstift zu suchen. Und gerade diese hohe Spannung zusammen mit einer starken Stromintensität ist notwendig, um bei hoher Unterbrechungszahl der Primärspule eine grosse Energiemenge zuzuführen.

Diesen Forderungen genügt der Quecksilber-Turbinen-Unterbrecher der Allgemeinen Elektricitätsgesellschaft in Berlin, welcher das Problem in recht befriedigender Weise löst, indem er gleichsam die Rolle des Kontaktstiftes und des Quecksilbers mit einander vertauscht.

Nicht der Kontaktstift ist hier der bewegte Teil, sondern das Quecksilber, welches durch schnelle Rotation eines rechtwinklig gebogenen Rohres um seine vertikale Achse aufgesaugt und gegen den Kontaktstift bei jeder Umdrehung einmal geschleudert wird.

Nun ist zweckmässig nicht nur ein Kontakt, sondern ein ganzer Kreis in Form eines ausgesparten, metallischen Segmentringes um die rotierende Winkelröhre aufgestellt. Sobald der Quecksilberstrahl auf ein Metallstück trifft, schliesst er den Strom, er öffnet ihn, sobald er durch eine der Aussparungen hindurchspritzt und zwar bei einem Umlauf so oft, als der Segmentring Metallstücke hat. Das ausgeflossene Quecksilber strömt auf den Boden des Unterbrechertopfes zurück und wird von dort wiederum angesaugt. Der Vorgang spielt sich unter Alkohol ab, der sich, wenn auch nicht mit gleichem Erfolge, durch Wasser ersetzen lässt.

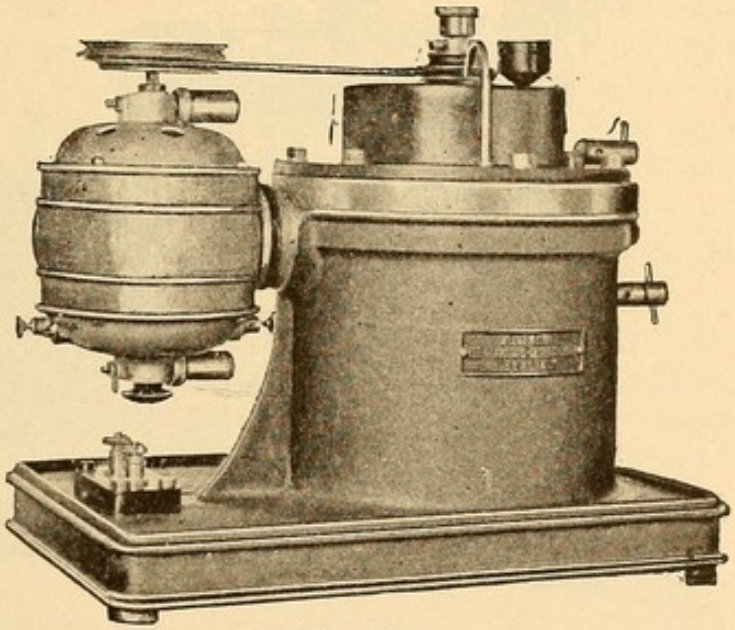


Fig. 47.

Man sieht, dass ein glücklicher konstruktiver Griff alle hin und her gehenden Teile durch nur rotierende ersetzt hat und dass daher die Frequenz des Unterbrechers eigentlich eine fast unbegrenzte ist. Wenn man für die Röntgenpraxis trotzdem nicht gern über 100 Unterbrechungen in der Sekunde geht, so liegt das an dem Umstande, dass

bei höheren Tourenzahlen die Unterbrechungen für grosse Stromstärken nicht mehr rein genug sind.

Die linke Seite der Abbildung Fig. 47 stellt den antreibenden Motor, die rechte das Turbinengehäuse dar, zu dessen Füllung etwa 140 ccm Quecksilber und 1300 ccm reiner Alkohol (nicht denaturiert), erforderlich sind. Der Motor wird mit einem Regulierwiderstand an die Lichtleitung geschaltet, während die Verbindung des Segmentkranzes bezgl. des Quecksilberinhalts des Turbinengehäuses an das Induktorium und die Stromquelle nach Rubrik I Seite 44 erfolgt.

Der Unterbrecher arbeitet relativ geräuschlos und verschafft ein ebenso ruhiges Fluorescenzbild wie eine kurze Exposition bei photographischen Aufnahmen. Er unterbricht selbstredend auch Ströme von geringerer Spannung, nur empfiehlt es sich dann zur besseren Ausnutzung des Induktors einen Segmentring einzusetzen, bei welchem der Stromschluss länger dauert als die Unterbrechung, also einen solchen mit breiteren Metallteilen.

Der Motor wird gewöhnlich für den Anschluss an die Lichtleitung gebaut, soll er von einer Batterie aus betrieben werden, so ist eine

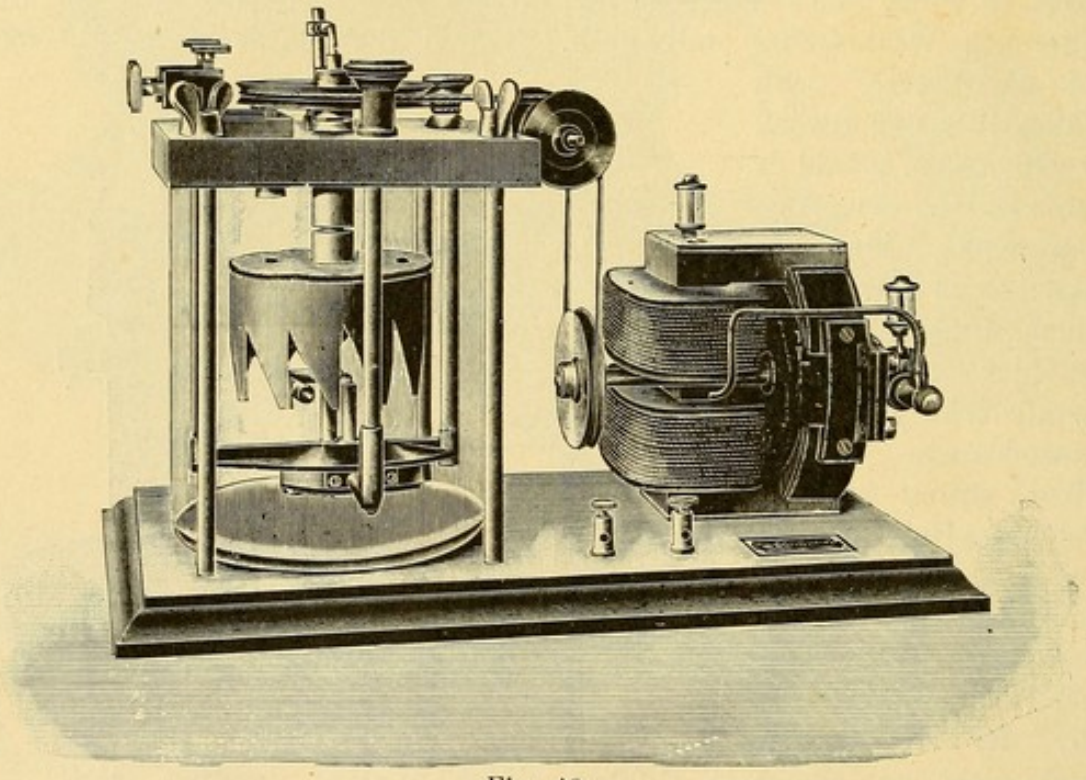


Fig. 48.

besondere Drahtbewickelung seines Ankers und seiner Feldmagnete erforderlich.

Ein Vorzug des Turbinen-Unterbrechers, welcher ihn für den Nichtfachmann besonders geeignet macht, ist seine Unempfindlichkeit gegen

den Induktor-Stromschluss beim Stillstande. Da während desselben kein Quecksilber ausspritzt, ist der Betriebsstrom stets unterbrochen und es kann der für ihn bestimmte Ausschalter geschlossen werden, ehe der Motor in Gang gesetzt wird. Ein Versehen in dieser Beziehung kann daher nicht schädlich werden (vergl Seite 46).

Den gleichen Vorzug besitzt der rotierende Quecksilberstrahl-Unterbrecher von Levy-Berlin, welcher im Prinzip dem vorstehenden eng verwandt ist (Fig. 48). Der Unterschied besteht im wesentlichen nur darin, dass nicht der Quecksilberstrahl, sondern der Segmentkranz rotiert. Das Quecksilber wird durch eine, mit dem Segmentkranz verbundene, Zahnradpumpe vom Boden des Gefässes durch ein rechtwinkliges Ausspritzröhrchen emporgetrieben und gegen die Segmente geschleudert. Da die Pumpvorrichtung schon bei geringen Tourenzahlen ansaugt, können die Unterbrechungen bereits von einer in der Sekunde an prompt zustandekommen. Die obere Grenze ist ebenso begrenzt wie bei dem vorbeschriebenen Turbinen-Unterbrecher, erreicht also etwa die Zahl von 100 Unterbrechungen in der Sekunde. Die Vertauschung des Segmentringes gegen einen anderen mit breiteren Lamellen für geringere Spannung, wird durch die eigentümliche Gestalt der letzteren vermieden. Dieselben sind nämlich aus Metalldreiecken gebildet, welche ihre Spitze nach unten kehren. Es bedarf nicht erst der Erwähnung, dass die Unterbrechungen gegenüber den Stromschlüssen am längsten dauern werden, wenn der Quecksilberstrahl gegen die Spitzen der Dreiecke gerichtet wird und dass sich das Verhältnis beider in dem Mafse zu Gunsten des Stromschlusses ändern muss, als man den Strahl hebt. Die einfache Stellvorrichtung gestattet daher, das Verhältnis so zu wählen, dass für jede Unterbrechungszahl die Wirkung auf den Induktor ein Maximum wird.

Um den Stand des Petroleums und das Vorschreiten der Verschlammung besser beurteilen zu können, besteht das Turbinengehäuse aus Glas, die Zuführung des Stromes zum Segmentkranz erfolgt durch ein centrisch zur Achse angebrachtes Quecksilbernäpfchen, der Antrieb durch einen besonderen Elektromotor.

Von den mechanischen Unterbrechern stellen die rotierenden Quecksilber-Unterbrecher die vollkommensten Apparate dar, welche man zur rationelleren Ausnutzung der Funkeninduktoren besitzt. Sie werden aus rein mechanischen Gründen kaum noch wesentlich verbessert werden. Ihre Vorteile gegenüber den Platin- und langsam schwingenden Quecksilber-Unterbrechern (exaktere Unterbrechung grösserer Stromstärken und erhöhte Frequenz) lassen ihre Nachteile (umständliche Wartung, hoher Preis) überall da verschmerzen, wo mit den Mitteln nicht gegeizt zu werden braucht.

In jüngster Zeit ist auf dem Felde der Konkurrenz ein neuer Unterbrecher erschienen, welcher im Prinzip von allen bisher gebräuchlichen gänzlich verschieden, in seiner beispiellosen Einfachheit und enormen Leistungsfähigkeit allerdings dazu berufen erscheint, in der Röntgenpraxis eine grosse Rolle zu spielen.

Der elektrolytische Unterbrecher nach Dr. A. Wehnelt-Charlottenburg beruht auf der geschickten Ausnutzung folgender den Physikern bekannten Erscheinung.

Stehen sich in einem Gefässe *U* mit verdünnter Schwefelsäure zwei Elektroden aus Platin gegenüber und werden dieselben mit einer Stromquelle *S* verbunden, so beginnt an der positiven (Anode) die Ausscheidung von Sauerstoff, an der negativen (Kathode) die Ausscheidung von Wasserstoff. (Vorgang der Elektrolyse.) Wird die Kathode *Pb* (Fig. 49), welche dann aus einem beliebigen Metall, am besten Blei, bestehen kann, der Anode *p* gegenüber, welche nur aus einer durch ein isolierendes Rohr gesteckten Platinspitze besteht, recht gross gewählt und gleichzeitig die Spannung bis auf etwa 80 Volt erhöht, so geht bei plötzlicher Stromstärkeverminderung (Stromumschlag) die Sauerstoffentwickelung an der Platinspitze unter einer eigentümlichen, gelbrötlichen Lichterscheinung vor sich. Dies Phänomen ist von Richarz und später von Koch und Wüllner (1892) eingehend studiert worden, welche bezugnehmend auf das, die Erscheinung begleitende, sausende Geräusch, auf den intermittierenden Charakter des Stromes hinwiesen. Wehnelt (1899) bemerkt hierzu, dass eine dem Apparat vorgeschaltete Drahtspule *W* von hoher Selbstinduktion den Vorgang wesentlich begünstigt, indem dann bei Erhöhung der Spannung der schon erwähnte Stromumschlag nicht eintritt. Die nunmehr ebenfalls wachsende Stromstärke bewirkt vielmehr ein rythmisches Abstossen der Sauerstoffblasen und ein ebenso regelmässiges Wiederzusammenfallen der auseinander geschleuderten Flüssigkeit am Platinstift. Da im ersteren Falle der Strom unterbrochen, im letzteren Falle wieder geschlossen wird, so leuchtet es ohne weiteres ein, dass die elektrolytische Zelle für den Erregerstrom die Rolle eines Unterbrechers spielen muss und zwar, nach der Reinheit und durchschnittlichen Höhe des bei dem Vorgang auftretenden Tones zu schliessen, eines

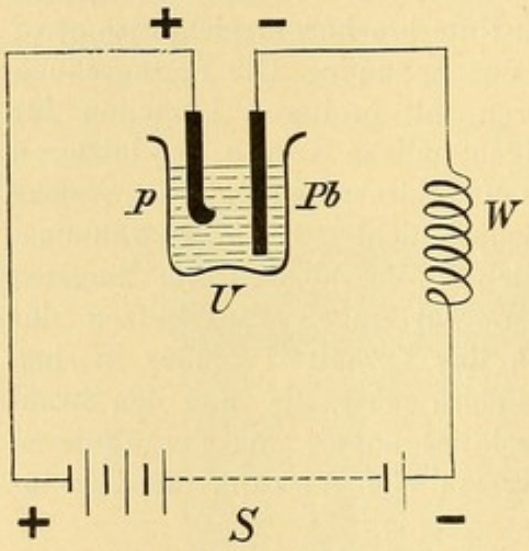


Fig. 49.

Unterbrechers von ausserordentlicher Exaktheit, Vollkommenheit und hoher Frequenz.

Es liegt auf der Hand, an eine Verwertung des elektrolytischen Unterbrechers für Induktoren zu denken, da ja die Primärspule derselben geeignet ist, die Stelle der vorgeschalteten Drahtspule zu übernehmen. Hierdurch wird die sonst lästige und hinderliche Selbstinduktion derselben in vorteilhafter Weise gleichsam zur Bethätigung des Unterbrechers nutzbar verwendet.

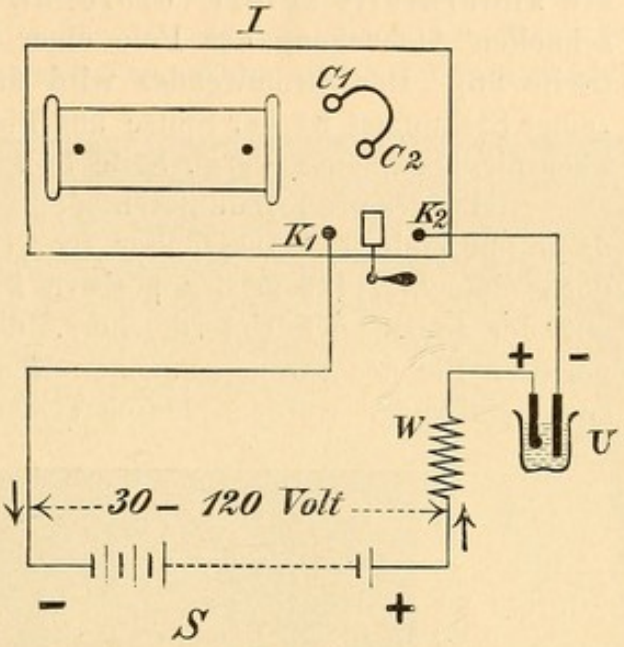


Fig. 50.

In der That haben dahingehende Versuche die gehegten Erwartungen auch in sofern bei weitem noch übertroffen, als die Reinheit und hohe Frequenz der Unterbrechungen den Kondensator zu einem toten und daher überflüssigen Apparat machen. Er wird daher beim Gebrauch schon vorhandener Induktoren am besten ausgeschaltet, bzgl. durch einen dicken Draht kurzgeschlossen.*) Die Schaltung gestaltet sich mithin überaus einfach und zwar für ein kleineres Induktorium mit Stromwender folgendermafsen (Fig. 50). — Der Platinunterbrecher wird herausgenommen und seine Stativsäulen, welche gleichzeitig die Pole des Kondensators sind (C_1 C_2), durch einen dicken Draht mit einander verbunden. Der *positive* Pol der Stromquelle wird mit der *Platinspitze* (Anode) des Unterbrechers in Verbindung gebracht, während der negative

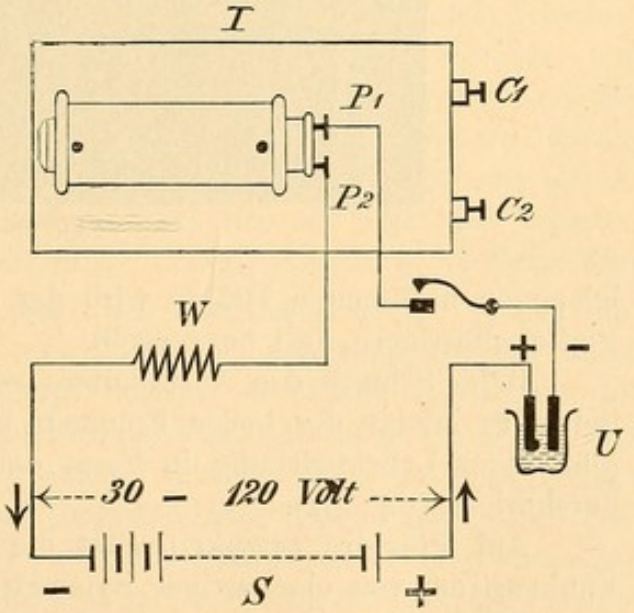


Fig. 51.

*) Ernecke konstruiert speziell für den elektrolytischen Unterbrecher Induktoren ohne Kondensator.

der Stromquelle und die Bleikathode der Unterbrecherzelle auf die Klemmen des Stromwenders (K_1 K_2) geschaltet werden. Man achte streng darauf, dass die Platinspitze positiv wird, da sie andernfalls sofort verbrennt. Ein recht bequemes Mittel zur schnellen Aufsuchung der Pole einer Stromquelle ist der „Polsucher" (Seite 86). Der Stromwender wird durch Umlegen geschlossen. Eine seiner Stellungen ist der Spitze und Platte der sekundären Spule gegenüber die bevorzugte (vergl. Seite 34).

Bei grösseren Induktoren ohne Stromwender, an dessen Stelle dann ein einfacher Ausschalter tritt (Fig. 51), ist die Schaltung fast noch einfacher, indem der positive Pol der Stromquelle (siehe oben) mit der Spitze des Unterbrechers, die Bleiplatte desselben und der negative Pol des Stromerzeugers mit den Klemmen P_1 P_2 der Primärspule verbunden werden. Durch Vertauschen der für die letztgenannten

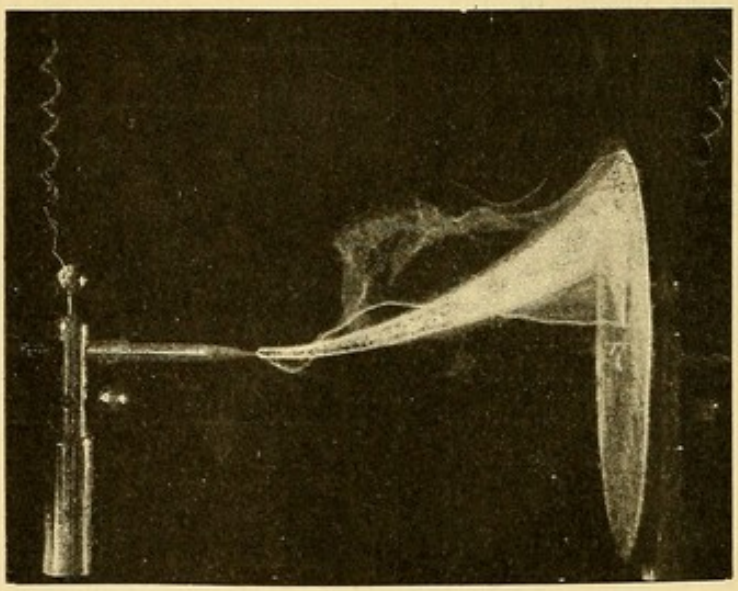


Fig. 52.

Klemmen bestimmten Drähte wird der für die Wirkung auf Spitze und Platte günstigere Fall ausgeprobt.

Beim Schluss des Ausschalters setzt sofort der Funkenstrom ein, indem er infolge der hohen Frequenz und Intensität die Luftschicht mit glänzender Leuchtwirkung in Form eines rauschenden Flammenbogens durchbricht (Fig. 52).

Auf grössere Strecken geht die Entladung in einen wirbelnden Funkenstrom von eigenartiger Symmetrie über (Fig. 53).*)

Wird die Stromstärke durch Ausschalten von Widerstand ohne Vergrösserung der Anode erhöht, so erhöht sich auch der Ton und

*) Die Erscheinung Fig. 53 wurde in $^1/_5$ Sekunde, der Lichtbogen Fig. 52 seines wenig aktinischen Lichtes wegen in 2 Sekunden photographisch aufgenommen.

mithin die Unterbrechungszahl der Zelle, wird hingegen die Oberfläche der Anode durch Vorschieben des Platinstiftes vergrössert ohne äussere Widerstandsverminderung, so erhöht sich naturgemäss zwar die Stromstärke und mit ihr die massige Struktur der Funken, die Unterbrechungszahl jedoch wird kleiner. Wir schliessen daraus, dass die Frequenz steigt mit der auf der Anode lastenden Stromdichte und bei unveränderter

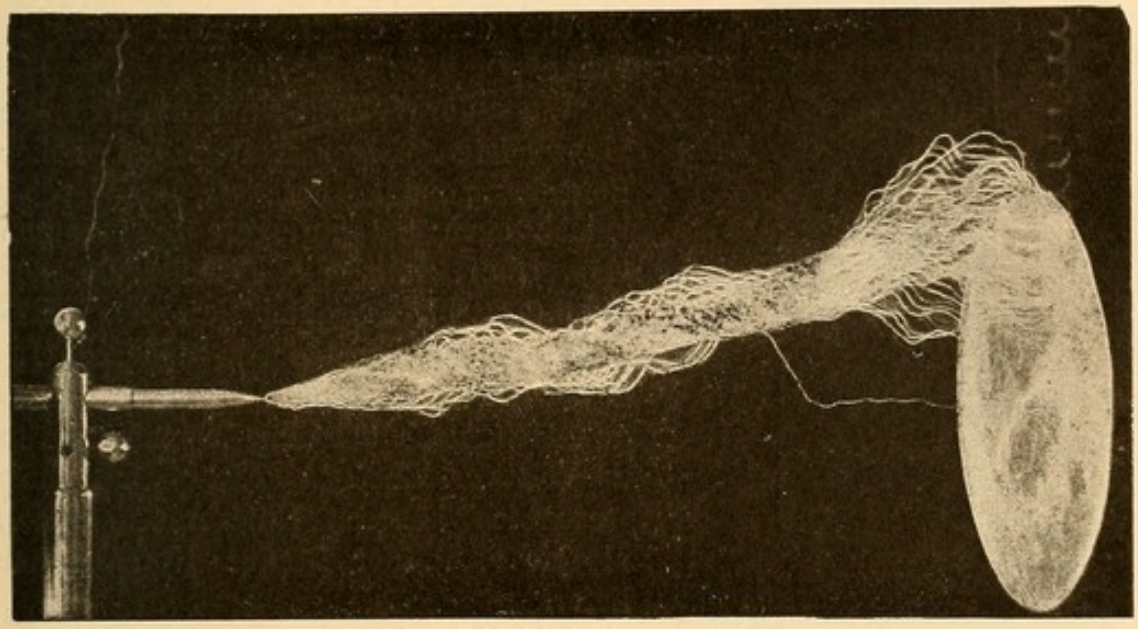


Fig. 58.

Anodenoberfläche mit der Spannung. Der Unterbrecher wird daher am vorteilhaftesten für die Lichtleitungsspannung benutzt und kann im allgemeinen ohne Vorschaltwiderstand direkt an das Netz der Centrale angeschaltet werden. *Die Stromstärke wird durch allmähliches Vorschieben der Platinspitze vergrössert.* Hierdurch entfallen alle stromverschwendenden Nebenschlussvorrichtungen, wie sie sonst zum Arbeiten mit Centralenstrom unentbehrlich sind. (Vergl. Abschnitt VI Seite 93.)

Ausser von der Stromdichte bzl. Spannung hängt jedoch die Unterbrechungszahl auch, wie sich leicht aus den Bedingungen, unter welchen die Erscheinung überhaupt auftritt, schliessen lässt, von der induktiven Beschaffenheit der Primärspule und da diese wiederum von der Beschaffenheit und der Belastung der Sekundärspule beeinflusst wird, auch von dieser ab. Die Unterbrechung kann daher unter Umständen bei einer zu geringen Selbstinduktion der Primärwickelung ganz aussetzen. Es ist dann angezeigt, dem Unterbrecher in solchen, allerdings seltenen Fällen noch einen Vorschaltwiderstand zu geben, welcher mit möglichst hoher Selbstinduktion ausgestattet ist. Die Firma Ferd. Ernecke-Berlin, welche auch den Vertrieb des Unterbrechers in Händen hat, fertigt geeignete Vorschaltwiderstände an,

deren letzte Windungen, welche dem Strom so gut wie kein Hindernis mehr bieten, stark induktiv gestaltet sind (Fig. 54).

Induktoren älterer Bauart, deren Primärwickelung meist für die Aufnahme schneller Schwingungen nicht geeignet ist, lassen sich mit Erfolg durch diesen, wie durch jeden anderen schnell arbeitenden Unterbrecher, nicht betreiben; sie kommen für Röntgenzwecke daher ernstlich nicht mehr in Frage.

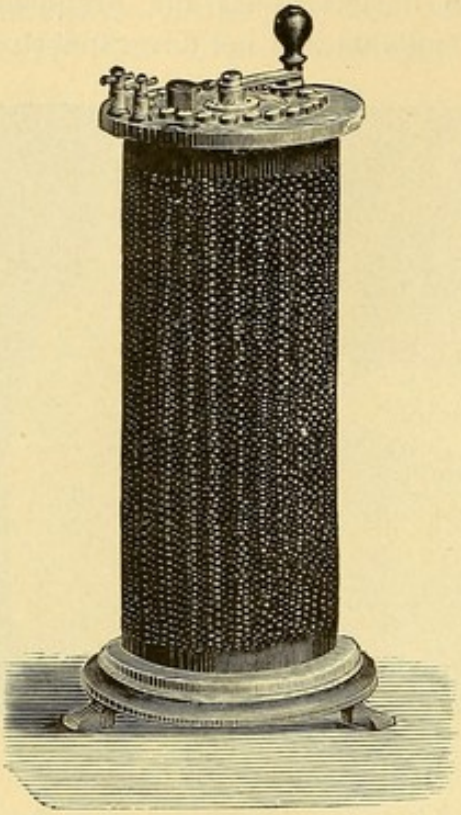


Fig. 54.

Wenn der Wehnelt-Unterbrecher seine glänzendsten Eigenschaften bei hoher Betriebsspannung entfaltet, so ist er jedoch auch für geringere Spannungen verwertbar, falls die Primärspule des Induktors hierzu qualifiziert ist. Das trifft bei den meisten der modernen Instrumente zu. Dem Verfasser ist es gelungen, noch bei einer Spannung von 24 Volt vorteilhaft zu arbeiten, mit einer wesentlich höheren Unterbrechungszahl, als sie z. B. der Deprez-Unterbrecher liefert.

Die Energiemengen, welche der Unterbrecher durch seine scharfen und reinen Impulse der Sekundärspule zuführt, sind in hohem Grade überraschend, die Funkenlängen kaum etwas verringert, ja bei kleineren Induktoren sogar nicht unwesentlich gesteigert. Dabei lässt sich die Frequenz je nach der angewandten Spannung und der Selbstinduktion der Primärspule bis auf 1700 Unterbrechungen und mehr in der Sekunde steigern. Die hieraus entspringenden Vorteile für die Röntgen-Praxis liegen zu Tage. Dank der hohen Unterbrechungszahl ist für den Beobachter am Fluorescenzschirm auch nicht das leiseste Flackern und Zucken des Gesichtsfeldes lästig; der Schattenwurf hat die Ruhe einer Photographie und bietet dem Studium die feinsten Details dar. Infolge der hohen Energieabgabe ist das Fluorescenzfeld fast blendend hell und erlaubt bei grösserem Röhrenabstande als sonst die Projektion scharfer Konturen.

Das Gleiche gilt für photographische Aufnahmen, bei welchen namentlich durch die grosse Anzahl der pro Zeiteinheit auf die Platte wirkenden Eindrücke eine gegen früher bedeutend gekürzte Expositionszeit genügt. Die in diesem Buche reproduzierten Aufnahmen wurden mit dem elektrolytischen Unterbrecher bei einer Betriebs-

spannung von 110 Volt gemacht. Die Leser werden sich an den beigedruckten Angaben über Expositionszeit, Induktor u. s. w. selbst ein Urteil über den Wert des Unterbrechers bilden können.

Als Beispiel für die Steigerung der Leistungsfähigkeit auch kleinster Induktoren sei erwähnt, dass der Verfasser mit einem für 2 cm Funkenlänge gebauten Instrument eine Aufnahme der Handknochen in 5 Sekunden erzielen konnte. Die Zahl der Unterbrechungen war der Tonhöhe nach nicht unter 800 in der Sekunde. Dasselbe Instrument zeigte sich für Durchleuchtung und direkte Beobachtung der oberen Extremitäten völlig geeignet.*)

Ohne Uebertreibung darf man daher sagen, dass der Röntgensache in dem elektrolytischen Unterbrecher eine bedeutende Hilfskraft erwachsen ist, nicht zuletzt vom pekuniären Standpunkt aus betrachtet. Denn abgesehen davon, dass das Instrument selbst verhältnismässig sehr wohlfeil ist und zu seinem Betriebe keines strom- und geldverzehrenden Nebenschlusses bedarf, verbilligt es auch durch den Fortfall des Kondensators und durch die Erhöhung des Transformations-Nutzeffektes die Anschaffungskosten für den Induktor. Für grössere Instrumentarien kann, soweit die genannten Apparate in Frage kommen, hierdurch eine bedeutende Ersparnis erzielt werden.**) Diese letztere verbilligende Eigenschaft, welche der elektrolytische Unterbrecher seinen übrigen guten Qualitäten hinzufügt, wird sicher nicht als die unliebenswürdigste empfunden werden.***)

Der einfache Apparat verlangt für den Gebrauch eine sehr gewissenhafte technische Durchbildung und namentlich für die isolierenden Teile ein ausgesuchtes Material, welches den heftigen mechanischen und chemischen Angriffen gewachsen ist.

In der Ernecke'schen, recht praktischen Ausführung besteht der

*) Auch von anderer Seite wird die hohe Leistungsfähigkeit in Verbindung mit kleineren Induktoren hervorgehoben. d'Arsonval (Paris) experimentierte im Institut des Prof. Hospitalier (école de Phisique et Chimie) mit einem Instrument von nur 4 cm Schlagweite und erhielt Röntgenstrahlen von erstaunlicher Kraft. Er machte von den Handknochen eine Augenblicksaufnahme (Une radiographie de la main a été instantanée) und behauptet, dass der Induktor mit dem elektrolytischen Unterbrecher etwa zehnmal mehr als mit dem Foucault'schen leistete. (La même bobine a donné des résultats au moins dix fois plus énergiques que lorsque je men sers l'interrupteur Foucault). Die Unterbrechungen betrugen etwa 3000 in der Sekunde. Auch d'Arsonval ist von der hohen Bedeutung des elektrolytischen Unterbrechers überzeugt: „qui semble réaliser l'idéal de l'interrupteur automatique". Comptes rendus (Tome C XXVIII) Nr. 9 (1899).

**) Bei einem Induktor von 30 cm Schlagweite, welcher die frühere Leistung eines Instruments für 50 cm Funkenlänge erreicht bis zu 40 pCt.

***) Die Verwendbarkeit des Unterbrechers auch für Wechsel- und Drehstrom wird auf Seite 71 besprochen, seine Schaltung zur Anlage auf Seite 95.

elektrolytische Unterbrecher aus einem viereckigen, mit einem durchlöcherten Hartgummi-Deckel versehenen Glastrog (Fig. 55), in welchen seitwärts ein durchbohrtes Isolationsstück zur Aufnahme des von aussen regulierbaren Platinstiftes säuredicht eingeschraubt ist. Durch eine Metallschraube mit Hartgummikordel kann der Platinstift aus seiner isolierenden Gummihülse vorgeschoben werden. Die Strecke, um welche der Platinstift aus dem Isolationsstück jeweilig in die Säure hineinreicht, also die wirksame Länge desselben, kann an einer auf der Stange eingeritzten kurzen Millimeterteilung abgelesen werden. Bei der Nullstellung fällt der Nullstrich mit der Kante des Ansatzröhrchens *a* zusammen. Die Klemme auf dem Deckel des Troges ist mit der Blei-Kathode verbunden. Das Gefäss wird mit verdünnter Schwefelsäure vom spez. Gewicht 1,18 (22° Bé.) bis etwa fingerbreit unter dem Rand gefüllt. Zum Betriebe wird die seitliche, mit + bezeichnete Klemme mit dem positiven Pole der Stromquelle verbunden; die übrigen Verbindungen erfolgen nach Fig. 50 oder 51. Die Einstellung der Stromstärke geschieht, wie schon erwähnt, durch Vorschieben des Platinstiftes mit Hilfe der seitlichen Hartgummi-Kordel. Man beginne zunächst mit der geringsten Stromstärke, bei welcher der Unterbrecher überhaupt anspricht und steigere erst allmählich den Effekt durch Vergrössern der Stromstärke und, falls die Bauart des Induktors einen induktiven Vorschaltwiderstand nötig macht, auch durch successives Ausschalten desselben.

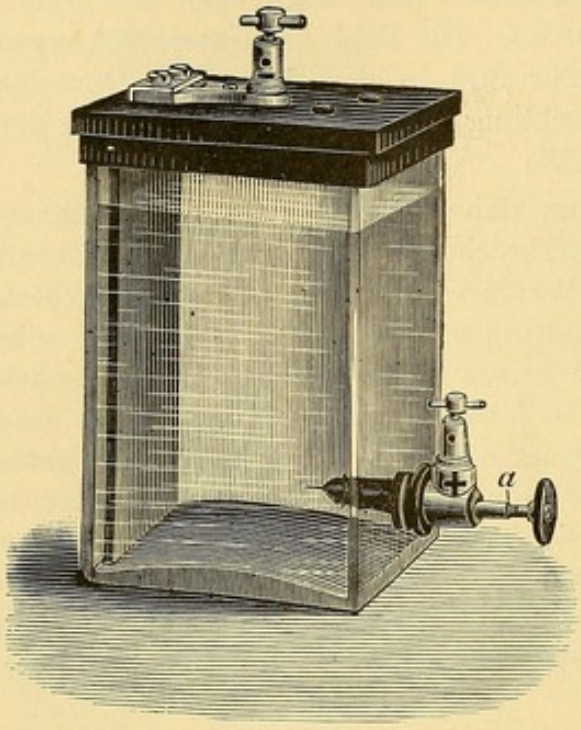


Fig. 55.

Unsere gangbaren Röntgenröhren vermögen allerdings bei grösseren Induktoren die volle Energieleistung des Unterbrechers nicht auszuhalten, da ihre Platin-Antikathoden unter der Wucht der auf sie prallenden Kathodenstrahlen leicht verbrennen. Geeignete Röhren-Konstruktionen, bei denen u. a. die Kathode und Antikathode eine besonders dicke Metallhinterlegung besitzt, werden im Abschnitt V besonders besprochen.

Soll der Unterbrecher für Dauerbetrieb benutzt werden, so verlangt er eine Kühlung. Man versieht dann das Glasgefäss mit einem Mantel von Blech und füllt Eisstückchen in den Zwischenraum. Vielleicht

noch bequemer ist es, ein Bleirohr mit vielen Schlangenwindungen als Kathode zu benutzen und von der Leitung her einen Strom von kaltem Wasser hindurchzuführen. Für Röntgenaufnahmen ist eine Kühlung nicht nötig, da wir vorerst Vakuumröhren noch nicht benutzen, welche einen Dauerbetrieb aushalten.

2. *Die Unterbrecher für Wechselstrom.*

Platinunterbrecher.

Die bisher besprochenen Unterbrecher eignen sich nur für Gleichstrom. Handelt es sich darum, einen Wechselstrom für den Induktorbetrieb zu verwenden, so muss, falls man nicht zu einer Transformation des Wechselstromes in Gleichstrom seine Zuflucht nehmen will, der Unterbrecher wesentlich anders konstruiert sein.

Der Wechselstrom, welcher von einigen Centralen aus Gründen, die in seiner leichten Transformierbarkeit zu suchen sind, anstatt des Gleichstromes geliefert wird, unterscheidet sich von letzterem durch rythmisches Schwanken der Intensität und durch den beständigen Wechsel der Richtung des Stromverlaufes.

Die Intensität des Wechselstromes wächst an von dem Betrage O bis zu einem gewissen Höchstwert A_1 (Fig. 56), um darauf wieder auf den Betrag O herabzusinken. Man vergleiche die nebenstehende Kurve, welche die Charakteristik eines Wechselstromes nach Intensität und Zeit giebt. Ist die Intensität gleich O geworden, so wechselt der Strom seine Richtung. (Die Polarität kehrt sich um.) Eine Stromklemme, welche eben noch positiv war, wird daher nun negativ. Die Stromstärke nimmt wiederum zu, erreicht bei B_1 einen zweiten Höchstwert und kehrt hierauf, nach der Abcisse abfallend, zum Wert O zurück, um, abermals die Richtung wechselnd, in A_2 zu kulminieren u. s. w.

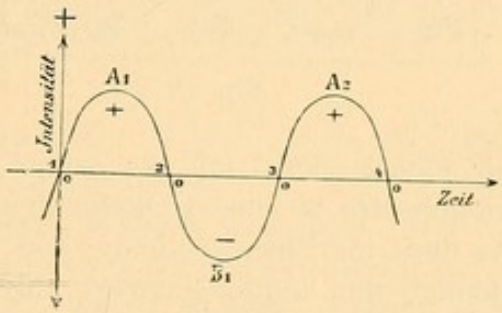


Fig. 56.

Die Strecke der Kurve zwischen den beiden Punkten 1 und 3 wird eine Periode genannt; sie besteht aus einer positiven und einer negativen Phase, d. h. sie enthält einen einmaligen Wechsel der Stromrichtung. Die Wechselstromcentralen entsenden einen Strom von meist 60—100 Wechseln in der Sekunde. Dieser würde nach den Bedingungen, welche auf Seite 60 angeführt sind, an und für sich befähigt sein, der Primärspule zugeführt, in der Sekundärspule einen Induktionsstrom zu erzeugen. Da dieser jedoch ebenfalls den Charakter des Er-

regerstromes besitzt, also ebenfalls ein Wechselstrom ist, kann er zum Betriebe einer Röntgenröhre nicht verwendet werden.

Es bleibt mithin nichts übrig, als die gleichartigen Phasen des Erregerstromes, etwa die negativen, zu unterdrücken oder ihnen doch die Fähigkeit, wesentlich induktiv zu wirken, zu nehmen und nur die positiven auszunutzen.

Dies geschieht durch die Wechselstrom-Unterbrecher, welche den Strom auf dem Gipfel der gleichnamigen Phasen, also im Augenblick der höchsten Energieentfaltung (bei den Punkten A_1 A_2 u. s. w.) unterbrechen und daher mit den Wechseln der Stromquelle gleichen Takt halten müssen. Dieser Synchronismus lässt sich auf verschiedene Weise erreichen. Der Platin-Unterbrecher von Kohl in Chemnitz ist dem Prinzip nach jedenfalls der verständlichste.

Man denke sich einen Deprez-Unterbrecher (vgl. Seite 39) vor dem Kern eines Elektromagneten E (Fig. 57) angeordnet, welcher durch Wechselstrom gespeist wird und mit demselben seine Polarität ändert.

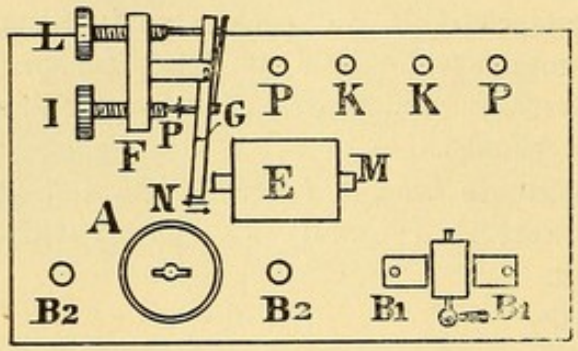


Fig. 57.

So steht dem Anker G des Unterbrechers in rascher Folge einmal der Nordpol und darauf der Südpol des Magneten gegenüber, welche beide den Anker anziehen würden, wenn er aus unmagnetischem weichen Eisen bestünde. Sein Material ist jedoch Stahl und er selbst ein permanenter Magnet, welcher im Gegensatze zu dem Elektromagneten E seine Polarität nicht wechselt, so dass im Phasenrythmus der Stromquelle sich abwechselnd gleichnamige und ungleichnamige Magnetpole gegenüberstehen. Von letzteren weiss man, dass sie sich anziehen, von ersteren, dass sie sich abstossen.

Die von uns als negativ bezeichnete Richtung des Wechselstromes möge N gegenüber in E einen Nordpol erzeugen und der permanente Ankermagnet G bei N ebenfalls einen festen Nordpol haben. Dann wird jede negative Phase des Erregerstromes den Anker abstossen und die Platinkontakte P, welche bestimmt sind, den Hauptstrom für den Induktor zu unterbrechen, aneinanderpressen.

Hingegen bewirkt eine positive Phase ein Anziehen des Ankers und eine Trennung der Platinkontakte.

Da der, die Primärspule speisende Strom dem Leitungsnetz entnommen wird, welches ebenfalls dem Unterbrechermagneten Energie liefert, so folgt, dass durch die Unterbrechung nur gleichnamige Phasen (in diesem Falle die positiven) des Stromes auf den Induktor zur Wirkung

kommen. Durch Justieren der Federkordel L wird die Ankerspannung so gewählt, dass der Strom nur in den Momenten seiner grössten Intensität, also in den Punkten A_1 A_2 . . . der Kurve, die Kontakte P von einander zu reissen vermag.

Die Klemmen B_2 neben dem Unterbrecher-Ausschalter A (vgl. auch die perspektivische Ansicht Fig. 58) werden unter besonderen Vorsichtsmafsregeln mit dem Wechselstromnetz verbunden. Das Nähere darüber

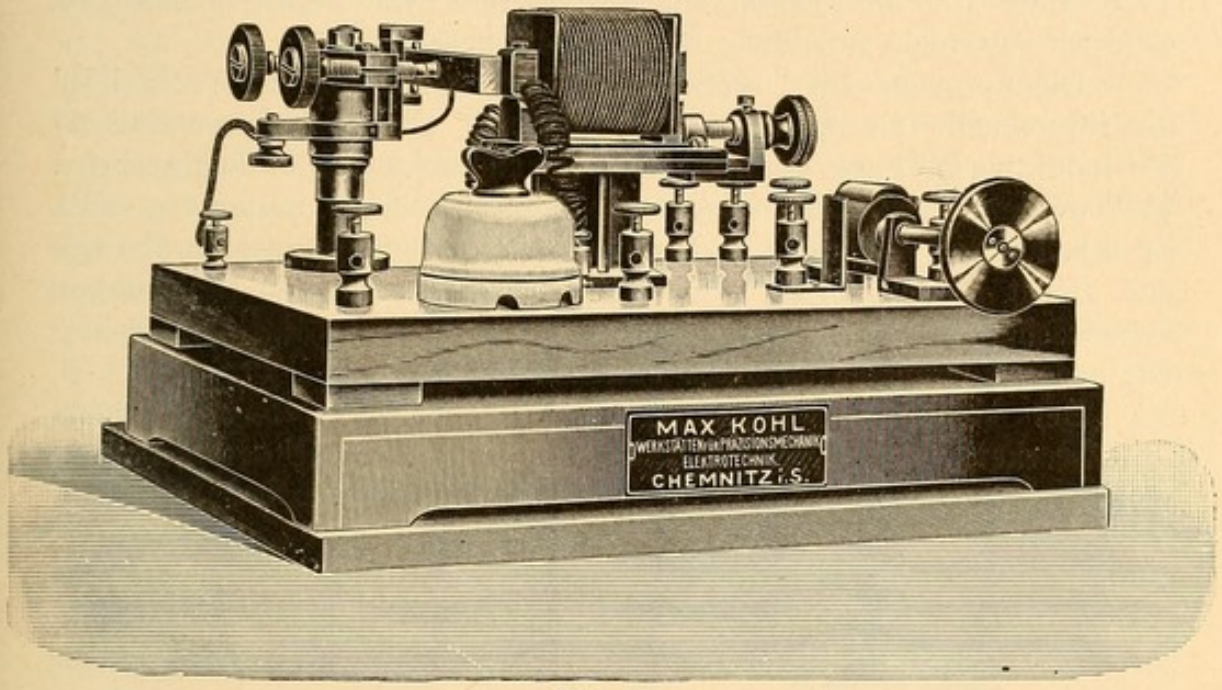


Fig. 58.

findet der Leser im Abschnitt VI Seite 97. Nach Schluss des Ausschalters setzt sich der Anker in Bewegung, indem er in synchrone Schwingungen mit der Stromquelle gerät. Spricht er jedoch nicht an, so ändere man zunächst an den Einstellungen der Platinkontakte sowie an der Federspannung, welche von der Fabrik bereits justiert sind, nichts, sondern bemühe sich durch Anstossen mit dem Finger die Bewegung des Ankers einzuleiten. Bei einiger Geduld wird dies gelingen.

Arbeitet der Unterbrecher dennoch nicht, so ist die Federspannung zu stark und muss an der Kordel L vorsichtig etwas nachgelassen werden. An dem verschiebbaren Elektromagneten verändere man nichts.

Ist die Federspannung zu gering, so arbeitet der Unterbrecher unstät und unterbricht unter Umständen auch die negativen Phasen. Der Induktor liefert dann Wechselstromfunken, welche abwechselnd auf die Mitte und den Rand der Platte überspringen und in ihrer Erscheinung unabhängig von der Stellung des Stromwenders sind. Man ziehe dann die Kordel L an und überzeuge sich, durch Umlegen des Stromwenders, dass der Induktor wirklich Gleichstrom liefert. (Die

Funken schlagen dann von der Spitze mehr nach der Mitte der Platte über und eine der beiden Stromwenderstellungen ist für die Ausbildung der Funken die günstigere (vgl. Seite 34.) Die Platinkontakte werden so einreguliert, dass die Funkenlänge ein Maximum wird.

Die Klemmen B_1 werden mit Hilfe eines Regulierwiderstandes (Seite 88) an die Leitung angeschlossen. Der Kondensator und die Primärspule des Induktors stehen mit den Klemmen $K\,K$ bezgl. $P\,P$ in Verbindung (für Induktoren mit Stromwender wie unter II Seite 45, ohne Stromwender wie unter III Seite 46 beschrieben).

Die Frequenz des Unterbrechers hängt allein von der Wechselzahl der Stromquelle ab, ist also nicht variabel. Da eine Phasenreihe für die induktive Wirkung gar nicht und die andere auch nur zum geringen Teil während des Augenblicks der Unterbrechung ausgenutzt wird, so arbeitet der Apparat mit einem relativ grossen Verlust an Energie und ähnelt hierin den für die Netzspannung verwendeten Gleichstromunterbrechern, welche mit wenigen Ausnahmen diesen Nachteil, freilich aus anderen Gründen, ebenfalls besitzen.

Der bereits auf Seite 57 beschriebene **Quecksilber-Turbinen-Unterbrecher,** dessen Prinzip sich für Wechselstrom-Unterbrechungen ebenfalls verwenden lässt, arbeitet in dieser Hinsicht etwas wirtschaftlicher, da er die eine Phasenreihe völlig unterdrückt.

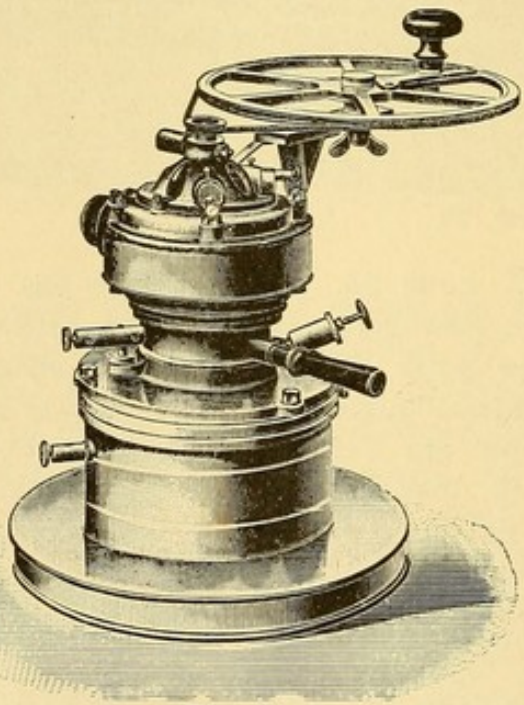


Fig. 59.

Statt von einem Gleichstrommotor wird er nun von einem Wechselstrommotor angetrieben, welcher aus Gründen, deren Darlegung hier zu weit führen würde, stets mit der stromliefernden Dynamomaschine gleichen Takt halten muss. Die Einrichtung wird so getroffen, dass der Quecksilberstrahl jedesmal dann ein Metallsegment verlässt, wenn der Strom seine grösste Intensität in positivem oder negativem Sinne erreicht hat. Die Segmentstücke sind so gestellt, dass die Unterbrechungen nur auf dem Gipfel der gleichnamigen Phasen erfolgen.

Die Gestalt des Turbinen-Unterbrechers der A. E. G. für Wechselstrom ist von der für Gleichstrom beschriebenen Ausführung allerdings wesentlich verschieden (Fig. 59). Da ein absolutes Synchronlaufen

von Motor und Turbine erfordert wird, muss jede gleitende Riemenverbindung zwischen beiden Teilen vermieden werden. Motor und Turbine sitzen daher auf derselben Achse und zwar ist der Motor über dem Turbinengehäuse angeordnet.

Aus Gründen rein technischer Natur ist es sehr schwer, einen kleinen Synchronmotor herzustellen. Der Synchronismus mit der Stromquelle wird in diesem Falle durch einen besonderen Kunstgriff hergestellt, dessen innere Begründung an dieser Stelle nicht möglich ist. Es wird nämlich nur der rotierende Anker der kleinen Maschine vom Wechselstrom der Leitung durchflossen, während der feststehende Magnetkranz durch den Gleichstrom einer kleinen Batterie gespeist wird. Handrad und Schnurlauf gestatten, den Motor, welcher von selbst nicht angeht, in das erforderliche Tempo zu bringen. Die Schaltung des Unterbrechers zum Induktor erfolgt nach Seite 44 wie dort unter I angegeben.

Elektrolytischer Unterbrecher für Wechselstrom nach Dr. Wehnelt. Während die ersten Bogen dieses Buches schon in den Händen des Setzers sind, kommt aus Paris die Nachricht, dass es d'Arsonval gelungen ist, den elektrolytischen Unterbrecher (Seite 60), ohne alle Veränderungen, mit bestem Erfolg auch zur Unterbrechung von Wechselstrom zu verwenden und für den Induktorbetrieb nutzbar zu machen.*)

Der Vorgang, welcher sich hierbei innerhalb des Unterbrechers vollzieht, ist folgender: Die Platinspitze wechselt im Phasenrythmus der Stromquelle ihre Polarität und wird abwechselnd zur Anode und Kathode, aber während die Erscheinungen im ersteren Falle dieselben sind, welche wir bereits kennen lernten, tritt im zweiten ein wesentlich anders gestaltetes Phänomen auf. Die Unterbrechungen verlieren ihren scharf ausgeprägten Charakter. Infolgedessen lässt der Unterbrecher wirksam nur die eine Reihe der gleichnamigen Phasen (etwa die positive) hindurch und ist daher nicht nur ein Unterbrecher, sondern auch ein Stromrichtungsscheider in bezug auf das Resultat an den Polen der Induktorspule.**)

Was dem elektrolytischen Unterbrecher einen ganz besonderen Wert verleiht, ist der schon angeführte Umstand, dass er für Wechselstrom die gleiche Einrichtung wie für Gleichstrom behält und dass alle Schaltungen dieselben bleiben, unbekümmert um die Art des Betriebsstromes. Mithin gelten die auf den Seiten 61 und 96 für den elektro-

*) Comptes rendus (Tome CXXVIII) Nr. 9 (1899) pg. 529.

**) d'Arsonval, dessen Darstellung wir vorzugsweise folgen, sagt:

„Le nouvel interrupteur est donc en même temps un séparateur de courants, condition précieuse pour la radiographie, qui se fera également bien avec le courant continu et avec le courant alternatif, sans rien modifier au matériel".

lytischen Unterbrecher gegebenen Stromlaufschemata ohne jede Änderung auch für den Fall, dass das Leitungsnetz Wechselstrom liefert.*)

Die Plusphasen werden nicht nur einmal, wie bei den synchronlaufenden Unterbrechern, sondern mehrere Male unterbrochen. (Abhängigkeit der Unterbrechungszahl von Stromdichte [Spannung] und Selbstinduktion, siehe Seite 63.) Die Frequenz ist daher nicht gleich der Periodenzahl der Stromquelle, sondern in weiten Grenzen variabel.

Freilich ist die Oekonomie nicht viel grösser als bei dem Platin-Unterbrecher, da hier wie dort auch die nicht induktiv gestaltete zweite Phasenreihe, wenn auch wegen des auftretenden Stromumschlages in verringerter Stärke, hindurch gelassen wird.

Wesentlich wirtschaftlicher wird der Unterbrecher durch Verwendung eines Aluminiumbleches statt der Bleielektrode. Diese Anordnung hat die Eigentümlichkeit, dass sie den Strom in der Richtung von der Platinspitze zum Aluminium leichter hindurchlässt als umgekehrt und dabei etwa 20 Volt der Betriebsspannung vernichtet. (Graetz'scher Effekt.)

Die beste Ausnutzung lässt sich allerdings (nach Swinton) auf folgende Weise erreichen. Der Wechselstrom durchfliesst nicht nur einen, sondern zwei nebeneinander geschaltete Unterbrecher, welche in bezug auf Spitze und Platte eine gekreuzte Stellung haben. Indem nun jede Stromrichtung ihren Weg durch einen der beiden Unterbrecher findet, wird sowohl die positive als die negative Phasenreihe induktiv wirksam unterbrochen. Allerdings giebt die Sekundärspule des Induktors dann Wechselstrom, welcher für Röntgen-Röhren unbrauchbar ist. Swinton stellt daher die Primärspule aus zwei übereinander gewickelten Windungsreihen her, deren zweite der ersten entgegenläuft. Werden dieselben mit je einem der wie vorstehend geschalteten Unterbrecher verbunden, so wird in der That der Sekundärstrom stets in gleicher Richtung induziert werden. Es kommen daher beide Phasenreihen induktiv zur Geltung.

Orientierende Vorversuche haben den Unterbrecher für Wechselströme in der praktischen Form von 100 Perioden und 110 Volt Spannung tauglich gezeigt. Die obere Grenze für die Spannung scheint 180 Volt zu sein, bei welcher bereits beide Stromrichtungen induktiv gestaltet werden und daher in der Sekundärspule ebenfalls einen Wechselstrom hervorrufen. Die untere Grenze der Spannung ist diejenige, bei welcher der Unterbrecher überhaupt anspricht, also etwa 25 Volt.

Danach scheint in der That der einfache Apparat für die Röntgenpraxis ein Universalinstrument werden zu wollen, welches das Ideal

*) Das, für die Gleichstromanordnung erforderliche Aufsuchen der Pole entfällt natürlich, da eine dauernde Polarität nicht vorhanden ist.

eines Unterbrechers nahezu erreicht. Keine Frage: Der Induktorbau wird sich nach ihm zu richten haben.

Die Reinigung des Quecksilbers.

Das in den Quecksilber-Unterbrechern schnell verschlammende Quecksilber kann auf folgende einfache Weise durch Filtration sehr gut von den anhaftenden Unsauberkeiten befreit werden. Ein gewöhnlicher Glastrichter (Fig. 60) wird mit einem gläsernen Ansatzrohr von etwa 30 cm Länge, welches am unteren Ende etwas umgebördelt und mit einem Stückchen gewöhnlichen festen Fensterleders zugebunden ist, versehen.

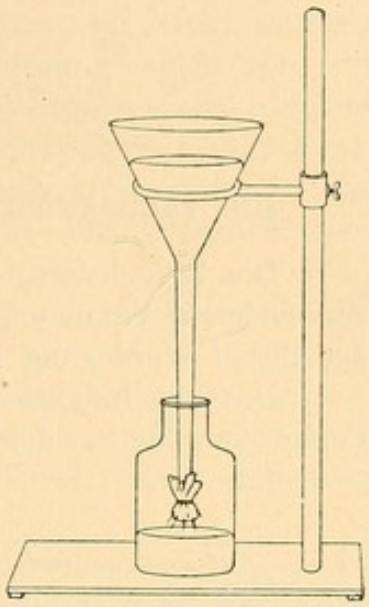


Fig. 60.

In den Trichter wird das schmutzige Quecksilber vorsichtig eingegossen, bis es am unteren Ende das Leder in feinen Strahlen durchdringt, und sich allmählich in der untergestellten Flasche ansammelt. Die ganze Vorrichtung wird in einem Stativ festgeklemmt, das seinen Platz am besten in einer Schale hat, um den Verlust von vorbeigegossenem Quecksilber zu verhüten.

Ist das Quecksilber durch Petroleum verunreinigt, so muss dasselbe vor dem Filtrieren sorgfältig erst mit Benzin und dann mit heissem Sodawasser ausgewaschen werden. Zuletzt spült man es mit reinem Wasser ab, trocknet mit Fliesspapier durch Abtupfen und bringt es in den Filtrierapparat. Bei Verunreinigung des Quecksilbers durch Alkohol genügt die Abspülung mit Wasser und Trocknung mit Fliesspapier vor dem Filtrieren.

Verschmutzte Quecksilberflaschen werden mit Salpetersäure ausgeschwenkt, mit Wasser gut gespült und ausgetrocknet.

V. Abschnitt.

Die Vakuumröhren zur Erzeugung der Röntgenstrahlen.

Die Eigenheiten, welche die, zur Erzeugung der Röntgenstrahlen verwendeten, Vakuumröhren im Gebrauch zeigen, lassen sich am besten aus ihrem Werdegang heraus verstehen.

Der am Induktor in glänzenden Zickzackstrahlen überspringende Funke verändert sofort seine Gestalt, wenn er in eine Röhre mit verdünnter Luft eingeschlossen wird (Fig. 61 Darstellung A). Er wächst zu einem labilen Lichtbande von rötlicher Farbe aus, das bei steigender Luftverdünnung breiter und breiter wird und zuletzt bestrebt ist, die ganze Röhre auszufüllen.

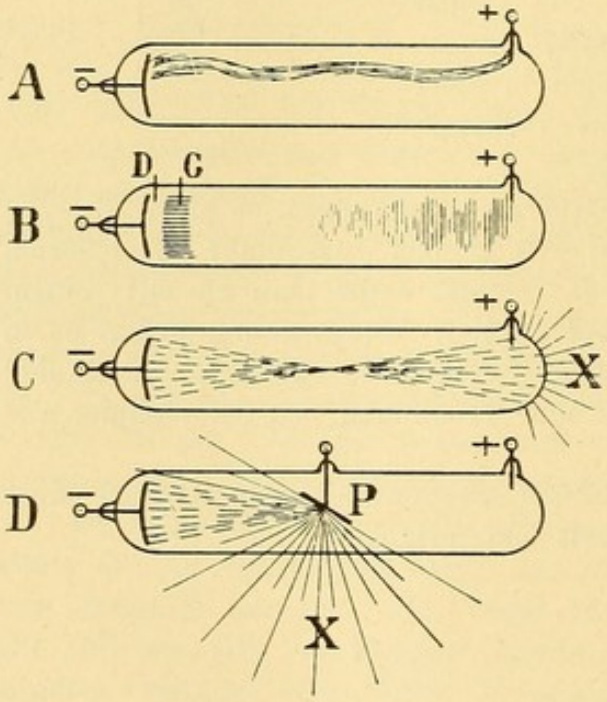


Fig. 61.

Ein noch weiter erhöhtes Vakuum zerlegt den rötlichen Lichtnebel, welcher gleichzeitig beginnt sich von der hohlspiegelförmig gestalteten Kathode zurückzuziehen, in eigentümliche Schichtungen, die ihren deutlichen Ursprung an der Anode haben und deshalb als positives Licht angesprochen werden (Darstellung B). Während dessen ist auch an der Kathode eine bedeutsame Veränderung vor sich gegangen. Nachdem zuerst an ihr einige glänzende, von verbrennenden Unreinigkeiten herrührende Sternchen erschienen sind, bedeckt nun ein feiner bläulicher Flimmer, das Glimmlicht *G*, die ganze Fläche.

Dem aufmerksamen Beobachter wird es nicht entgehen, dass das Glimmlicht nicht an der Kathode haftet, sondern durch eine feine, nicht-

leuchtende Schicht, dem dunklen Raum *D*, von derselben getrennt ist. Lässt man die Luftverdünnung weiter fortschreiten, was mit Hilfe besonders konstruierter Quecksilberluftpumpen geschieht, so beginnt der, das Glimmlicht verdrängende, dunkle Raum zu wachsen, während sich gleichzeitig das positive Licht ganz auf die Anode zurückzieht. Schliesslich ist dasselbe verschwunden und der dunkle Raum hat sich über die Röhre ausgedehnt, welche nun von einer ganz eigenartigen neuen Erscheinung eingenommen wird. Diese besteht aus Strahlen von fein bläulichem, dem Auge kaum sichtbarem Licht, welche von der Kathode ausgehen, rechtwinklig auf ihrer Fläche stehen und also bei einer Hohlspiegelkathode sich in einem Brennpunkt (Darstellung C) schneiden. Es sind die von Hittorf (1869), Crookes (1879) und besonders von Lenard (1896) untersuchten Kathodenstrahlen.

Um den bläulichen Dunst, der als Rest des Glimmlichtes die Röhre noch immer erfüllt, zu beseitigen, muss der Luftdruck bis auf etwa ein Milliontel Teil des Atmosphärendruckes gebracht werden. Hierzu wird eine Erwärmung der Röhre durch einen fortdauernden Stromdurchgang nötig, welche die an den Glaswänden zäh anhaftenden Luftteilchen loslöst.

Das Kathodenstrahlenbündel erscheint nun ganz rein, aber es ist weit blasser, feiner geworden. Man bemerkt, dass sich die Kathodenstrahlen zwar geradlinig fortpflanzen, aber dass jeder Magnet imstande ist, dieselben aus ihrer Bahn abzulenken. Da, wo die Strahlen auf die gegenüberliegende Glaswand (bei *X*) auftreffen, erregen sie ein intensives Fluorescenzlicht, grün oder blau, je nach der Glassorte.

Es bedarf aller technischen Hilfsmittel, die Luftverdünnung so weit zu treiben, dass das Kathodenlicht fast völlig unsichtbar wird. Während nun alles blaue Licht aus der Röhre verschwunden ist, fluoresciert dieselbe in allen Teilen; weder an der Kathode, noch an der Anode ist mehr eine Lichterscheinung zu bemerken, aber dort, wo die unsichtbaren Kathodenstrahlen auf der Glaswand den intensiven Fluorescenzfleck erzeugen, ist die Wiege jener rätselhaften Strahlen, mit deren Entdeckung von Röntgen (1896) sich auf Monate und Jahre hinaus zum populärsten Mann machte.

Die Entdeckungsgeschichte der Röntgenstrahlen ist zu bekannt, als dass sie hier wiederholt zu werden brauchte So viel sei gesagt, dass es ihre Wirkung auf eine fluorescierende Substanz war, welche die Aufmerksamkeit des Würzburger Gelehrten auf sich lenkte. Wer diese Erscheinung in der geringen Intensität, welche ihr die ersten Vakuumröhren gaben, gesehen hat, wird den Fortschritt der Radioskopie zu würdigen wissen, er wird aber auch von Bewunderung erfüllt sein für den Forscher, der mit sicherem Blick die Äusserung der neuen Strahlung erkannte und richtig deutete.

Die Röntgenstrahlen, welche von der Glaswand nach allen Seiten hin sich in dem Raum ausbreiten, sind dem menschlichen Auge nicht sichtbar. Im Gegensatze zu den, sie erzeugenden, Kathodenstrahlen werden sie durch einen Magneten nicht abgelenkt, auch gehorchen sie weder dem Beugungs- noch den Brechungsgesetzen, welche mit der Vorstellung einer, sich durch Wellenbewegung der Ätheratome im Raume fortpflanzenden, Energiestrahlung bis jetzt untrennbar verknüpft erscheinen (Undulationstheorie von Huygens 1678*).

Dieses Verhalten der Röntgenstrahlen ist vielleicht das Wunderbarste und Unerklärlichste an ihnen, aber es interessiert allein den Physiker, während ihre materiedurchdringende Kraft den beispiellosen und nachhaltigen Eindruck auf die breiteren Schichten des Publikums ausgeübt hat. Auch sie würde, ebenso wie die Strahlung selbst, den menschlichen Sinnen verborgen bleiben, wenn die Röntgenstrahlen nicht mit der Fähigkeit begabt wären, chemische Zersetzungen hervorzurufen und einige Substanzen zu Schwingungen einer dem Auge verständlichen Art anzuregen. Photographie und Fluorescenz sind die Hilfsmittel zum Studium der Röntgenstrahlen. Beiden ist in diesem Buche ein besonderer Abschnitt gewidmet.

An dieser Stelle nur so viel, dass von den fluorescierenden Substanzen namentlich das Barium-Platincyanür besonders hell in grüner Farbe aufleuchtet, sobald es von Röntgenstrahlen getroffen wird. Bringt man zwischen eine die X-Strahlen aussendende Röhre und einem mit der fluorescierenden Substanz bestrichenen Schirm verschiedene Körper in gleicher Schichtendicke, z. B. Platin, Glas, Leder, Papier, Holz u. s. w., so beobachtet man an dem Schatten, welcher auf dem Schirm entsteht, dass dieselben für Röntgenstrahlen verschieden durchlässig sind. Der vom klaren Glas herrührende starke Schatten wird besonders überraschen.

Die Untersuchung vieler Körper hat ergeben, dass ihre Durchlässigkeit für Röntgenstrahlen von nichts so sehr abhängt, als von ihrem Molekulargewicht, womit nicht gesagt sein soll, dass nicht einige Substanzen eine spezifische Durchlässigkeit besässen. Im allgemeinen nimmt aber die Durchlässigkeit ab mit dem Molekulargewicht und natürlich auch mit der Dicke der Körper. So kommt es, dass z. B. die Knochen der Hand, welche eine grössere Dichte besitzen als das sie umgebende Fleisch, schwerer durchstrahlt und durch ihren dunkleren Schattenwurf sichtbar werden.

Bisher haben wir angenommen, dass die von den Kathodenstrahlen getroffene Glaswand die Röntgenstrahlen aussendet. Versuche

*) von Röntgen bezeichnete die neu entdeckten Strahlen mit X, um die Frage nach ihrer Natur zunächst noch offen zu lassen.

haben gelehrt, dass die Emissionsfähigkeit des Glases relativ gering ist und dass es vom Platin bedeutend übertroffen wird. Infolgedessen lässt man bei allen jetzt gebräuchlichen Vakuumröhren die Kathodenstrahlen auf Platin fallen, welches dort angebracht wird, wo die Kathodenstrahlen am dichtesten sind, d. h. im Brennpunkt des Kathodenhohlspiegels (Fig. 61 Darstellung D). Die Röntgenstrahlen gehen dann vom Platinblech *P* aus und treten, indem sie die Glaswand der Röhre durchdringen, in den Raum aus und zwar in gleicher Stärke nach allen Richtungen, aus welchen die von den Kathodenstrahlen getroffene Fläche des Platins gesehen werden kann.

Man hat, experimentell wie es scheint mit Erfolg, versucht, das Platin durch eine Schicht von Uransalzen, welche allerdings eine etwas höhere Emissionsfähigkeit besitzen, zu ersetzen. Namentlich grünes Uranoxyd und Uranwolframat sollen sich nach Dr. Langer-Ohrdruf besonders eignen.*) Die Schwierigkeit besteht in einer sicheren Be-

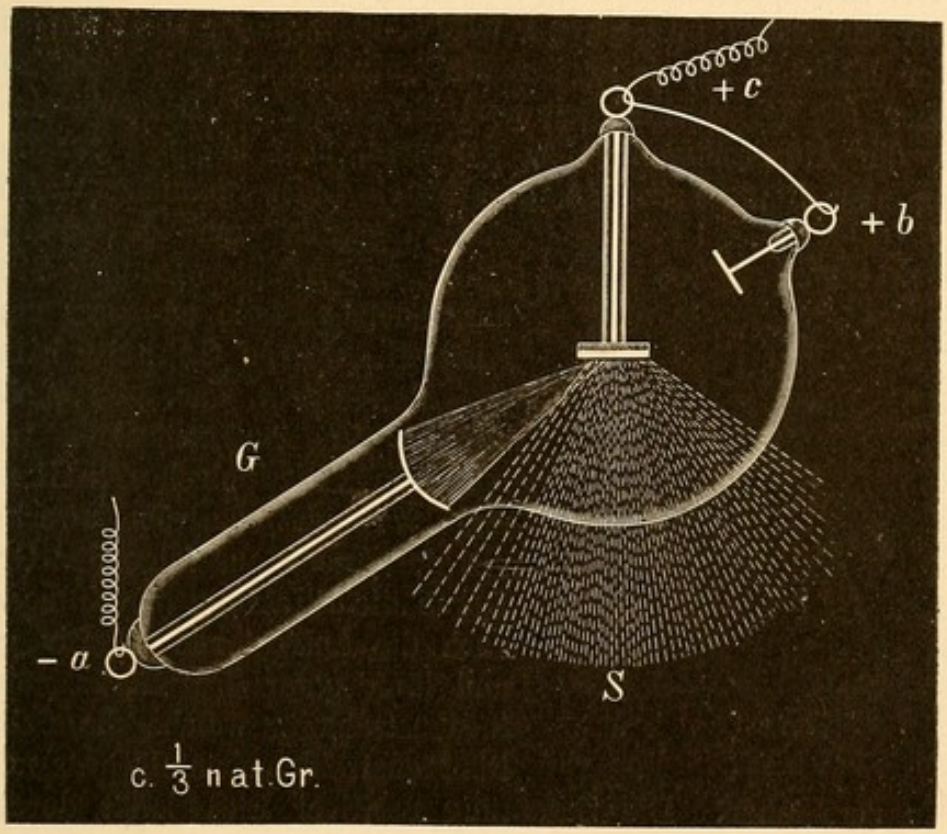


Fig. 62.

festigung der Uranschicht auf ihrer Unterlage durch geeignete Schmelzmittel. Da die Uransalze unter dem Angriff der Kathodenstrahlen nicht allzu heiss werden dürfen, wird die Hinterlegung aus einem, die

*) Dr. Langer, Naturwissenschaftl. Wochenschrift (Berlin) Nr. 16, 1897.

Wärmezufuhr aufnehmenden, Silberstück von etwa 5 mm Dicke hergestellt. Es bleibt abzuwarten, ob diese Röhren über das Versuchsstadium hinausgebracht werden können und ob sie sich den neuen Unterbrechertypen hoher Frequenz gegenüber als widerstandsfähig genug erweisen.

Die Röntgen-Röhren sind im Laufe der Zeit mehrfach modifiziert und in zweckmässige Formen gebracht worden. Eine der weitaus gebräuchlichsten Typen ist in der Abbildung Fig. 62 dargestellt. Die Röhre hat, um ein möglichst grosses Volumen zu erreichen, die Form einer Kugel erhalten, in welche durch Ansatzröhren die Elektroden eingeführt sind. Früher machte man den Kathodenspiegel aus Platin, später allgemein aus Aluminium, da es sich zeigte, dass das Platin zerstäubt und sich in Form eines schwärzlichen Spiegels an den Wänden der Röhre ablagert. Auch die Anode besteht aus Aluminium und zwar nur aus einer kleinen Platte oder einem Stift.

Der Brennpunkt der Aluminium-Hohlkathode verändert seinen Platz während die Röhre ausgepumpt wird und zwar rückt er um so mehr von der Kathode ab, je weiter die Luftverdünnung vorschreitet. Es ist daher der Geschicklichkeit und Erfahrung des Glasbläsers überlassen, die Abmessungen so zu gestalten, dass bei der für die Entstehung der Röntgenstrahlen günstigsten Luftverdünnung der Brennpunkt gerade auf das Platinblech fällt. Andernfalls wird die Strahlung aussendende Stelle zu gross und entwirft unscharfe Schattenbilder.

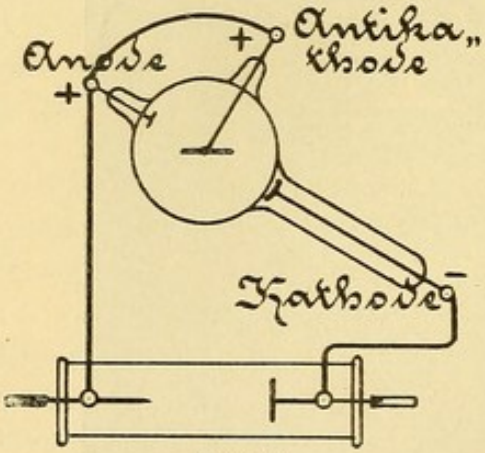


Fig. 63.

Man nennt das, die Kathodenstrahlen in Röntgenstrahlen transformierende Platinblech Antikathode und verbindet dasselbe zweckmässig mit der Anode aus folgenden Gründen. Durch die Strahlung der Kathode wird auch die Antikathode negativ geladen und läuft unter dem Einfluss der Kathodenstrahlen, welche sie nebst den Röntgenstrahlen ebenfalls aussendet, Gefahr, zu zerstäuben. Die Zuführung positiver Elektricität durch Verbindung mit der Anode verhindert dies einigermafsen.

Wir merken als Hauptregel: *Die Antikathode wird mit der Anode und letztere mit der positiven Elektrode des Induktors (Spitze) verbunden, die Kathode (der Hohlspiegel) erhält den Strom von der negativen Elektrode (Platte) des Induktors* (Fig. 63).*)

*) Über die richtige Stellung des Stromwenders siehe Seite 34.

Nach einiger Übung lernt man eine falsche Stromrichtung in der Röhre bald erkennen. Sie ist meist durch das Auftreten blauen Lichtes und durch einen scharfen, von der Antikathode herrührenden Schatten innerhalb der Kugel gekennzeichnet, auch ist die Emission von Röntgenstrahlen gar nicht vorhanden oder doch bedeutend verringert, was am Fluorescenzschirm leicht erkannt wird*). Da eine falsche Verbindung für die Röhre meist recht schädlich ist, schaltet man diese nicht eher an, als bis man sich von der Richtigkeit der ganzen Anordnung überzeugt hat. (Siehe Seite 87.)

Für das Zustandekommen kräftiger Röntgenstrahlen ist der Grad der in der Röhre vorhandenen Luftverdünnung von der grössten Bedeutung. Denn nicht nur, dass die Röntgenstrahlen bei einem bestimmten Evakuationsgrade überhaupt erst entstehen, sie verändern mit demselben auch ihren Charakter, *indem bei wachsender Luftverdünnung ihre Durchdringungskraft zunimmt.*

Leider ist nun der Luftgehalt der Röhren im Betrieb einer dauernden Veränderung unterworfen.

Es ist zwar möglich durch starke Erwärmung während des Evakuierens die an den Glaswandungen haftenden Luftreste etwas zu lösen; ganz gelingt es nie. Wird nun die erwärmte Röhre bis auf den gewünschten Betrag ausgepumpt, und kühlt nach der Trennung von der Pumpe wieder ab, so wird die noch vorhandene Luft zum Teil an den Wänden niedergeschlagen und das Vakuum ist für den Stromdurchgang nicht mehr geeignet. Die Entladungen werden unruhig, flackernd und kommen schliesslich gar nicht mehr zustande; man sagt dann, die Röhre ist zu hart geworden.

Anderseits bewirkt jeder Stromdurchgang eine Erwärmung der Röhre und löst Luft von den Wänden ab, sodass eine anfangs richtig evakuierte Röhre nach wenigen Minuten der Benutzung zu viel Luft enthält, um noch Röntgenstrahlen von hinreichend durchdringender Kraft auszusenden. Man bezeichnet dann die Röhre, welche meist schon blaues Glimmlicht zeigt, als zu weich.

Um den Vorgang noch zu komplizieren, nimmt auch das Platinblech der Antikathode mit den kleinen Partickelchen, die trotz aller Vorsichtsmafsregeln von ihr abfliegen, namentlich in warmem Zustande an der Luftabsorption teil.

Infolgedessen wird jede Röhre während der Dauer jeder Benutzung zwar weicher (durch Stromerwärmung und Ablösen der Luft von den Wänden), im Laufe der Zeit jedoch härter und härter (durch Absorption der von den Wänden stammenden Luft durch das wiedererkaltende Platin).

*) Bei einer Röhre aus einer blaufluorescierenden Glassorte ist die Beurteilung natürlich besonders erschwert.

Hat das Platin alle Luft von dem Glase an sich gerissen, so vermag keines der unten angegebenen Mittel die Röhre wieder stromleitungsfähig zu machen. Sie muss dann geöffnet und von neuem ausgepumpt werden. Andernfalls kann man sich folgendermafsen helfen.

I. *Ist die Röhre zu hart,* so erwärme man dieselbe, um Luft von den Wänden abzulösen, vorsichtig durch eine, in einiger Entfernung untergestellte Spirituslampe. Finden die Entladungen erst wieder regelrecht statt, so übernimmt der Stromdurchgang die weitere Erwärmung.

Von guter Wirkung ist meist auch ein Umschlag von in Glycerin getränktem Fliesspapier (in Streifen von etwa 4—5 cm Breite), um diejenige Stelle des Ansatzrohres, welche die Kathode einschliesst. Statt dessen thut ein dünner Holzcylinder, der über das Ansatzrohr geschoben wird, ebenfalls gute Dienste. Man behaucht ihn innen vor dem Ueberstecken oder befeuchtet ihn mit Glycerin. Was diesem einfachen Mittel doch nicht den anfangs prophezeiten allgemeinen Eingang verschafft hat, ist die Gefahr des Durchschlagenwerdens der Röhre durch Ueberspringen der Funken nach dem Cylinder.

II. *Ist die Röhre zu weich,* dann kehre man die Stromrichtung mit Hilfe des Stromwenders auf einige Augenblicke um, bezw. vertausche man bei nicht vorhandenem Stromwender die zur Röhre führenden Drähte. Hierdurch wird das Platinblech zur Kathode und die von ihr heftig abstäubenden Teilchen absorbieren einen Teil der Luft, indem sie sich an der Glaswand als dunkler Niederschlag festsetzen. Derselbe beeinträchtigt die Wirksamkeit der Röhre nicht wesentlich. Keinesfalls darf jedoch eine schon etwas harte Röhre falsch geschaltet werden.

Am besten, man hat die angegebenen Rezepte überhaupt nicht nötig und hält sich, da für jeden Fall der Durchleuchtung (siehe Radioskopie Abschnitt VII) oft ein anderer Härtegrad notwendig ist, mehrere Röhren verschiedener Reife vorrätig.

Der Erwähnung bedarf es wohl kaum noch, dass nicht jede Röhre für jeden Induktor brauchbar ist; sie kann weich sein für ein grösseres, hart sein für ein kleineres Instrument. Bei Beschaffung von Röhren ist daher eine Angabe der maximalen Funkenlänge des Induktors nötig.

Röhren mit regulierbarem Vakuum.

Der Nachfrage nach Röhren, deren Vakuum in weiten Grenzen mit Sicherheit zu verändern ist, haben einige Fabriken durch Konstruktionen entsprochen, welche nachstehend erläutert werden. Sie genügen

im allgemeinen den an sie gestellten Anforderungen, benötigen aber eine sachgemässe und vorsichtige Behandlung.

Siemens & Halske, Berlin, benutzen zum Härten der Röhren die bekannte Eigenschaft des erhitzten Phosphors, mit Begierde den Sauerstoff der Luft an sich zu reissen.

Die Ausführung der Röhren ist folgende: An ein grösseres cylinderförmiges Rohr (Fig. 64) ist seitlich ein Glasrohr angesetzt, das eine, mit einem Ansatzröhrchen versehene Kugel trägt. Der an seinem Ende verschlossene Ansatz enthält Phosphor.

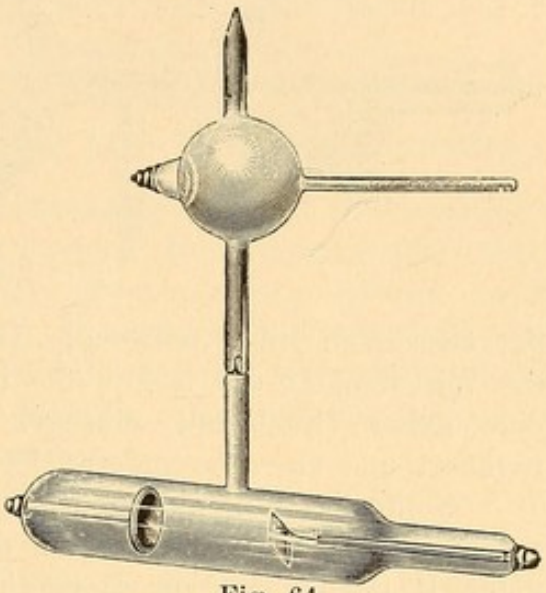


Fig. 64.

Der positive Pol des Induktors wird mit dem Platinblech, der negative mit der Hohlkathode verbunden. Eine besondere Antikathode ist nicht vorhanden. Wird die Röhre zu weich, so hakt man den Anodendraht in die Oese der Elektrode, welche dem Phosphorröhrchen gegenüber angebracht ist und lässt den Strom einige Sekunden hindurchgehen. Der Phosphor beginnt dann die Luft zu absorbieren und das Vakuum wird verbessert. Von Zeit zu Zeit überzeugt man sich durch Wiederanschalten der Anode und durch den Gebrauch des Fluorescenzschirmes von dem Fortschritt der Härtung. Man gehe mit letzterer nicht zu weit, da die Röhre meist noch nachhärtet.

Weicher wird die Röhre, welche übrigens meist aus blau fluorescierendem Glase angefertigt ist, durch vorsichtiges Erwärmen der kleinen Glaskugel an einer nicht zu grossen Stelle.

Die Gesellschaft Voltohm-München geht von der Voraussetzung aus, dass jede Röhre im Laufe der Zeit ohnehin spröde wird und einer besonderen Einrichtung zum Härten daher nicht bedarf.

Zwei gleich grosse Glaskugeln (Fig. 65) sind durch einen kurzen Stutzen mit einander verbunden. Kathode und Antikathode befinden sich in der einen Kugel, während die andere nur die Anode enthält. Die Konstanz der Röhre hängt mit dem Verfahren zusammen, welches beim Auspumpen beobachtet wird. Während desselben wird nämlich nur die rechte Kugel erhitzt und die Luft von den Wänden derselben so gründlich abgetrieben, dass die spätere Erwärmung durch den Betriebsstrom, welche nur in der rechten Röhrenhälfte stattfindet, eine wesentliche Verschlechterung des Vakuums nicht mehr herbeiführen kann. Dagegen hat die linke Kugel eine relativ bedeutendere

Luftmenge an ihren Wänden zurückbehalten und dient als Vorratskammer, nach welcher bei längerer Benutzung, die durch den Stromdurchgang in der anderen Kugel erzeugte Wärme mittels Leitung allmählich herüberdringt und soviel Luft loslöst, als zur Vernichtung

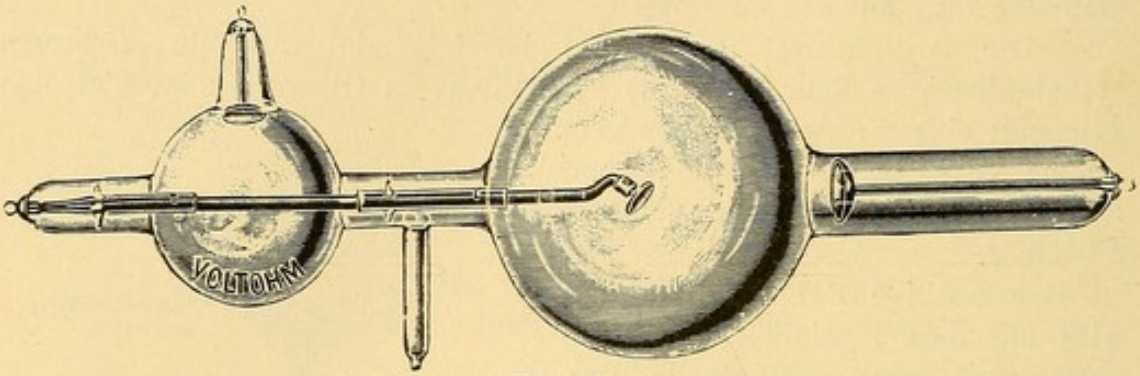


Fig. 65.

der äussersten Härte notwendig ist. So wenigstens versteht Verfasser die Wirksamkeit der Röhre, die Fabrik bezeichnet dieselbe, ohne auf eine nähere Erklärung einzugehen, als vom Stromdurchgang selbst reguliert und einer besonderen Erwärmung nicht bedürfend.

Sollte der Fall eintreten, dass die Röhre zu weich wird, so muss jedenfalls ein kurzes Umkehren der Stromrichtung, wie auf Seite 80 unter II angegeben, zur Herstellung eines guten Vakuums genügen.

Recht eigenartig ist eine Röhrenkonstruktion von Dr. Levy-Berlin, welche sich nach dem Urteil kompetenter Benutzer im Betrieb sehr gut erhalten soll. Die hochgradig evakuierte Röntgenröhre (Fig. 66) ist mit einer kleineren Kugel von höherem Luftdruck verbunden; ein sauber eingeschliffener und mit Fett abgedichteter Glashahn schliesst beide Kugeln gegeneinander ab. Wird nun die Luftverdünnung durch die Absorption des Platins in der Hauptkugel zu gross, dann genügt eine Drehung des Hahnes, um aus der weniger evakuierten Kugel, vermittels einer sinnreichen Anordnung, eine Wenigkeit Luft in die grosse Röhre übertreten zu lassen.

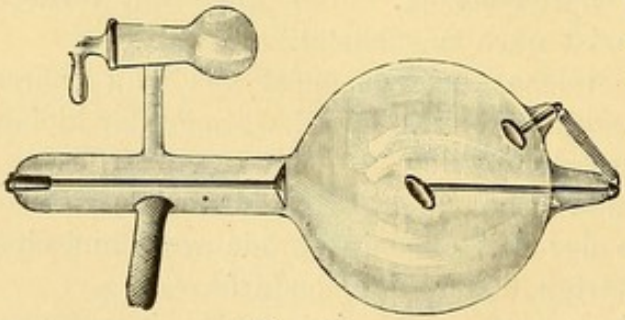


Fig. 66.

Wer sich jemals mit der Herstellung hoher Vakua beschäftigt hat, wird jedoch wissen, dass selbst der beste Schliff nicht imstande ist, dauernd das Eindringen von Luft zu verhindern. Zweifellos dringt also auch durch den Hahn ganz allmählich Luft in die Röhre ein, aber gerade hierauf scheint unbeabsichtigt die gute Konstanz derselben

zu beruhen. Denn eben diese wenigen Luftmoleküle werden sehr erwünscht sein, um der Absorption die Wage zu halten und nur bei sehr starker Inanspruchnahme wird der Luftvorrat der Anhängekugel in Anspruch genommen werden müssen. Jedenfalls darf die Röhre der langsam nachdringenden Luft wegen, welche dann das Vakuum zu weit erniedrigen würde, nicht lange unbenutzt bleiben und ist daher besonders für eine ausgiebige Verwendung bestimmt und geeignet. Namentlich zu Anfang muss sie recht oft im Gebrauch genommen werden, um die vom Hahnenschliff herrührenden Fettdämpfe zu absorbieren.

Röhren für hohe Energieabgabe und hohe Unterbrechungszahlen.

Die Anwendung des Turbinen-Unterbrechers und des elektrolytischen Unterbrechers, von denen besonders letzterer bei ausserordentlich hoher Frequenz dem Induktor bedeutende Energiemengen zuführt, macht Röhren kräftigster Konstruktion von besonderer Widerstandsfähigkeit nötig. Namentlich muss die Platinantikathode vor der Zerstörung durch Verbrennen geschützt und auch die Kathode möglichst massiv gestaltet werden, um den Stromangriffen zu trotzen.

Verfasser hatte Gelegenheit, die Aufnahmen für dieses Buch mit einer von Ernecke für den elektrolytischen Unterbrecher besonders konstruierten Röhre mit recht gutem Erfolg zu machen. Das Platinblech war auf ein starkes Eisenstück gelötet, welches einerseits durch seine hohe Wärmekapacität ein Glühendwerden des Platins wirksam verhinderte, andererseits beim Stromdurchgang dem Zerstäuben nicht so ausgesetzt war wie Kupfer. Die Kathode bestand aus einem dicken Zinkspiegel und war mit dem starken Zuführungsdraht fest verschraubt.

Immerhin stand auch diese Röhre — wennschon für den elektrolytischen Unterbrecher die einzig brauchbare — noch nicht ganz auf der Höhe, ja man kann ohne Übertreibung sagen, dass wir zur Zeit überhaupt Röntgenröhren nicht besitzen, welche für Dauerbetrieb geeignet und fähig wären, die ihnen zugeführten Energiemengen voll zur Geltung zu bringen. Sie kranken alle an einer schnellen Verschlechterung des Vakuums während des Betriebes und zeigen Launen, die ebenso lästig wie unberechenbar sind. Es muss der Wissenschaft und Technik überlassen bleiben, ein neues Wort in dieser Frage zu sprechen und Röhren zu schaffen, die den vervollkommneten Induktoren und Unterbrechern ebenbürtig sind.

Wahrscheinlich muss die jetzige Röhrenform ganz und gar aufgegeben und vor allem der Bedeutung des dunklen Kathodenraumes mehr Beachtung geschenkt werden. Wehnelt hat bereits 1898 darauf hingewiesen, dass es, unter geeigneten Konstruktionsverhältnissen der übermässig hohen Evakuation gar nicht bedarf, um kräftige Röntgen-

strahlen zu erzeugen und es unterliegt kaum einem Zweifel, dass nach den von ihm angegebenen wissenschaftlichen Prinzipien Röhren konstruiert werden können, deren Luftdruck, ohne den Strahlencharakter zu verändern, in weiten Grenzen verändert werden kann. Wir werden daher auf diese Versuche noch zurückkommen müssen. (Abschnitt IX.)

Die Amerikaner sind uns in der Konstruktion guter Röhren für hohe Inanspruchnahme etwas voraus. So verfertigen u. A. Kirmayer & Ölling in Boston Röhren mit Antikathodenkühlung. Sie erfolgt durch einen Wasserstrom, der durch ein Platinröhrchen in das Innere der Röhre eingeführt wird. Die Abschlusswand des Röhrchens ist zugleich Antikathode. Billig dürften diese Vakuumröhren nicht sein.

Wir stellen die Hauptpunkte dieses Abschnittes noch einmal kurz zusammen:

1. Fallen Strahlen, welche an der Kathode in einem hochgradig luftverdünntem Raume entstehen auf ein Platinstück, so sendet letzteres Röntgenstrahlen aus (Seite 77).
2. Der Charakter der Röntgenstrahlen (ihre Durchstrahlungskraft) hängt in erster Linie von dem Grade der Luftverdünnung in der Röhre ab (Seite 79). Der Härtegrad der Röhre nimmt zwar im Laufe der Zeit zu, ist aber in gewissen Grenzen regulierbar (Seite 80).
3. Man achte auf einen richtigen Stromverlauf in der Röhre (Seite 78). Eine Umkehrung desselben darf nur zum Zweck der Härtung ausnahmsweise herbeigeführt werden (Seite 80). Die Röhre darf nicht so weit beansprucht werden, dass die Antikathode in stärkere Glut gerät, da andernfalls nach dem Erkalten ein schnelles Hartwerden zu befürchten ist.
4. Wird die Röhre plötzlich weich und versagt nach wenigen Sekunden ganz, so ist anzunehmen, dass ein abirrender Funke die Röhre durchschlagen hat. Dieser Fall tritt besonders leicht bei zu spröden Röhren ein. Ein vorbeugendes Mittel ist eine parallel geschaltete Funkenstrecke (Seite 87).

VI. Abschnitt.

Zusammenschaltung der Apparate.

Der Fachmann wird zu einer leistungsfähigen Röntgenstrahleneinrichtung ausser einer Stromquelle, einem Induktor, einer Röhre und etwas Leitungsmaterial nicht viel bedürfen, denn alle anderen Apparate können bei einigem Verständnis und ausreichender Geschicklichkeit improvisiert werden. Dem Laien aber, der auf Bequemlichkeit, stete Bereitschaft und stabile Gediegenheit seiner Anlage etwas giebt, ist dringend zu raten, von solchen Versuchen fern zu bleiben und nicht an unrichtiger Stelle einige Mehrkosten zu scheuen. Freilich ist nicht zu leugnen, dass die sogenannten kompletten Einrichtungen recht viel Überflüssiges enthalten und dass namentlich in der äusseren Ausstattung nebensächlicher Dinge, wie Tische, Schränke, Gestelle u. s. w. ein oft nicht einmal geschmackvoller Aufwand von dekorativem Beiwerk beliebt wird, welcher dem ernsten Zweck der Anlage nicht entspricht und sie jedenfalls ganz unnötig verteuert. Möge man daher in dieser Hinsicht alles Überflüssige vermeiden.

Zur Verbindung der Apparate untereinander verwende man Drähte von nicht zu geringem Querschnitt. Denn jede Leitung bietet dem Strome einen Widerstand (gemessen in Ohm; vgl. Seite 7), welcher proportional ist der Länge der Leitung und umgekehrt proportional ihrem Querschnitt; ausserdem hängt derselbe von ihrem spezifischen Leitungsvermögen ab. Da die Längen der Leiter für unsere Schaltungen durchweg sehr gering sind, interessiert uns vornehmlich der erforderliche Querschnitt. Wir werden für alle Zwecke mit weichen Kupferdrähten von etwa 2 mm Durchmesser ausreichen. Eine Umhüllung derselben mit gewachster Baumwolle genügt zur Isolation vollkommen.

Anders bei den Drähten zwischen Induktor und Röhre. Wegen der hohen Spannung und entsprechend sehr geringen Stromstärke, welche sie führen, kann der Querschnitt klein gewählt werden, man achte jedoch darauf, dass ihre Isolation eine vorzügliche ist und mache zur Verhütung einer Ausstrahlung der hochgespannten Elektricität die Verbindungen zwischen Induktor und Röhre so kurz als möglich. Mit

Vorteil führt man die Drähte durch dünne Gummischläuche oder wählt die neuerdings in den Handel gebrachten biegsamen Hochspannungskabel.

In Folgendem sollen eine Reihe von Schaltungseinrichtungen, von den einfachsten bis zu den vollkommensten, besprochen und die erforderlichen Nebenapparate im Zusammenhange erläutert werden. Die Bekanntschaft mit der Schaltungsweise der Unterbrecher gegen den Induktor und mit der Behandlung der Stromquellen muss hierbei vorausgesetzt werden. (Abschnitt III.)

Zur Bestimmung der Pole ist ein kleiner Apparat sehr bequem, der aus einem kurzen mit einer Flüssigkeit angefüllten Glasrohr besteht, in welches von beiden Seiten, jedoch ohne dass in der Mitte eine Berührung stattfände, zwei Platindrähte hineinragen (Fig. 67). Werden die beiden Klemmen des Instruments mit den, ihrer Benennung nach noch unbekannten Polen der Stromquelle verbunden, so färbt sich die Flüssigkeit an dem negativen Pole rosarot. Da sich die Färbung durch Schütteln wiederum verliert, ist der Polsucher stets gebrauchsfertig.

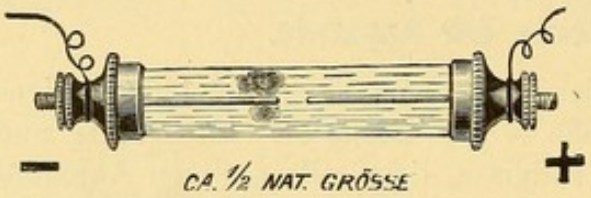


Fig. 67.

Mit Hilfe desselben werden die Pole der Stromquelle festgestellt und deutlich bezeichnet.

I. Fig. 68 zeigt schematisch die Anordnung einer *möglichst einfachen Einrichtung.* Der Stromwender eines kleinen Induktors ist mit den Klemmen einer Akkumulatorenbatterie von 5 Zellen verbunden. Eine Reguliervorrichtung für den Strom ist nicht vorhanden; an ihre Stelle tritt eine Sicherung *S*, welche sowohl die Stromquelle als das Indnktorium vor Überlastung schützt. Die Sicherung besteht aus einem Bleidraht, dessen Dimensionen so gewählt sind, dass er bei einer den maximal zulässigen Betrag übersteigenden Stromstärke durchschmilzt und den Strom unterbricht. Man verwendet mit Vorteil eine auf Porzellan montierte Sicherungsfassung, in welche nach Art einer Glühlampe ein Stöpsel gedreht wird, der den abgeglichenen Bleidraht enthält. Beides ist in jedem Geschäft, das Licht-Installationen ausführt, erhältlich. Die Angabe der maximalen Entladestromstärke der Akkumulatoren ist beim Kauf erforderlich.

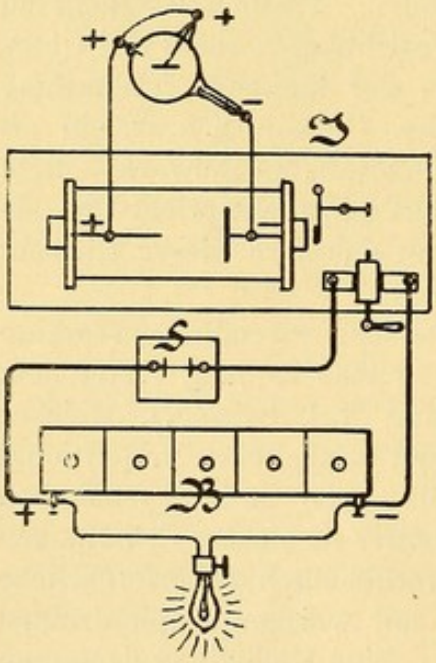


Fig. 68.

Ernecke-Berlin konstruiert eine Sicherung, bei welcher der Bleidraht durch ein auswechselbares Staniolstreifchen ersetzt ist (Fig. 69).

Zur ungefähren Beurteilung der Batteriespannung (siehe auch Seite 18) wird eine Glühlampe benutzt für eine Spannung, welche der der Batterie in geladenem Zustande entspricht. Bei n Zellen beträgt diese Spannung 2 . n Volt. Die Lampe mit Ausschalter wird mit Vorteil so angebracht, dass sie zeitweise auch zur Beleuchtung dienen kann. Man beschränke indess die Inanspruchnahme der Batterie zu Beleuchtungszwecken auf ein Mindestmafs. Ist die Batterie frisch geladen, so wird man bemerken, dass die Leuchtkraft beim Einschalten des Induktorstromes nicht allzu beträchtlich sinkt; ein starkes Nachlassen zeigt an, dass die Entladung ihrem Ende entgegen geht. Man kann jedoch solange Strom entnehmen, bis die Lampe ohne anderweitige Stromentnahme deutlich mit nicht mehr normaler Kraft brennt.

ca. $^1/_6$ nat. Grösse.
Fig. 69.

Durch Umlegen des Stromwenders wird die günstigere Stellung desselbeu erprobt (Seite 34) und darauf Spitze und Platte auf maximale

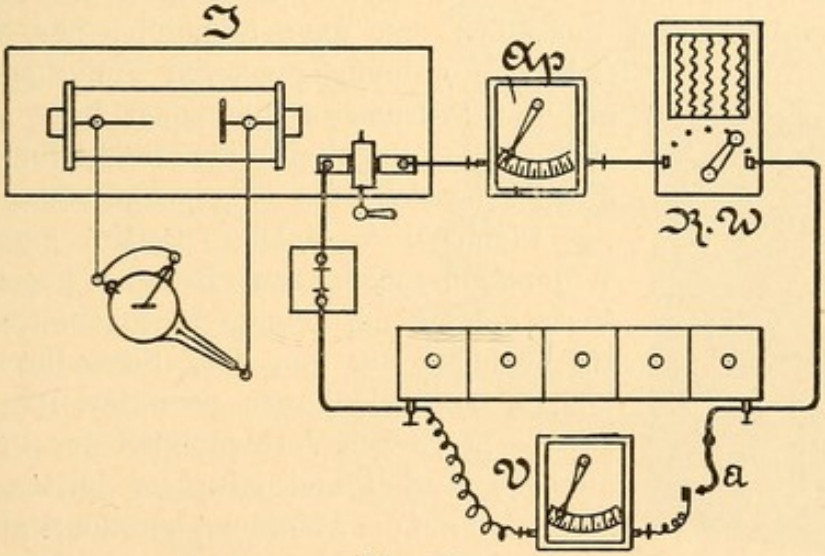


Fig. 70.

Funkenlänge auseinander gezogen. Anode und Antikathode der Röhre werden mit der Spitze, die Kathode mit der Platte des Induktors verbunden. Wächst der Widerstand der Röhre plötzlich, so bahnt sich die Entladung nicht um die Röhre, sondern über Spitze und Platte einen Weg und vermag so weder an der Röhre noch in der Sekundärspule Schaden anzurichten.

(Über die Behandlung der Platin - Unterbrecher siehe das Nähere im Abschnitt III.)

II. *Eine etwas vollkommenere Anlage* als die vorbesprochene zeigt die beistehende Skizze (Fig. 70). Dem primären Stromkreislaufe sind ausser einer Sicherung auch noch eine Reguliervorrichtung und Instrumente zum Messen der Stromstärke und der Spannung eingefügt.

Der Regulier-Widerstand besteht in der meist gebräuchlichen Form aus einer Anzahl von Drahtspiralen, welche straff über einen Holzrahmen gespannt sind. Diese Spiralen werden in grösserer oder geringerer Anzahl in den Stromkreis eingeschaltet und bieten so, da der Widerstand eines Leiters mit seiner Länge wächst, dem Strome einen grösseren oder kleineren Widerstand. Das Ende jeder vorangehenden Spirale ist mit dem Anfang der folgenden durch je einen Kontaktknopf verbunden. Während das letzte Kontaktstück mit dem einen Pol der Leitung verbunden ist, liegt der andere Pol an einem Hebel, der über die Knöpfe hingleitet und um so mehr Widerstandswickelungen ausschaltet, je weiter er dem mit der Leitung verbundenen Kontaktknopf genähert wird. Steht die Kurbel auf dem letzten Kontakt, so ist sämtlicher Widerstand ausgeschaltet und der Strom kommt auf den Induktor zur vollen Wirkung. Diese Stellung wird auf dem Rahmen deutlich bezeichnet (etwa durch ein *E*).

Man beginnt beim Betriebe stets mit einigem Widerstande zu arbeiten und schaltet denselben erst dann allmählich aus, wenn man sich vom ordnungsgemässen Funktionieren aller anderen Instrumente überzeugt hat. Die Ruhestellung des Regulier-Widerstandshebels ist also die der bezeichneten entgegengesetzte.

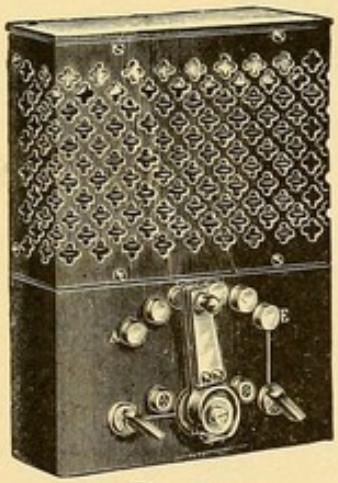


Fig. 71.

Siemens & Halske - Berlin umhüllen die Widerstandsspulen zum Schutze gegen äussere Verletzungen mit einem Blechgehäuse, welches zur Kühlung der von dem Stromdurchgang erhitzten Drahtwindungen perforiert ist (Fig. 71). Die besprochenen Verbindungen der Polklemmen mit der Kurbel und mit dem letzten Kontaktstück sind auf der Abbildung besonders gut sichtbar.

Reiniger, Gebbert & Schall - Erlangen konstruieren einen recht kompendiösen Schieberwiderstand (Fig. 72). Derselbe besteht aus einem Schieferklotz, auf welchem der Widerstandsdraht aufgewickelt ist. Das Ende der Spule und ein auf derselben verschiebbarer Kontakt stehen mit den Klemmen des Apparates in Verbindung. Der Schiebekontakt schaltet um so mehr Widerstand in den Stromkreis, je weiter er von dem Pole der Spirale entfernt ist.

Ein Instrument (Ap), welches die Stromstärke zu messen gestattet, ist zwar nicht unbedingt notwendig, aber es mag empfohlen sein, da es zur Erhaltung der übrigen Apparate wesentlich beiträgt und überdies eine einmal als vorteilhaft erkannte Stromstärke in jedem Falle genau wieder herzustellen gestattet. Zur Feststellung der Expositionszeiten, welche durch Vergleich mit einer Belichtungsdauer bei bekanntem Objekt, bekannter Röhrenentfernung und Stromstärke gefunden werden, ist das Instrument ganz besonders wertvoll.

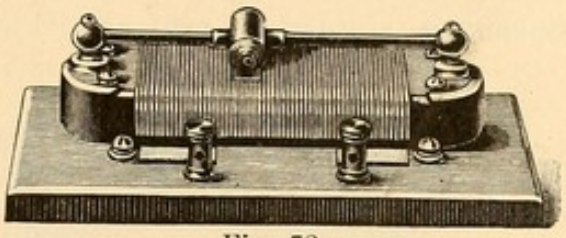
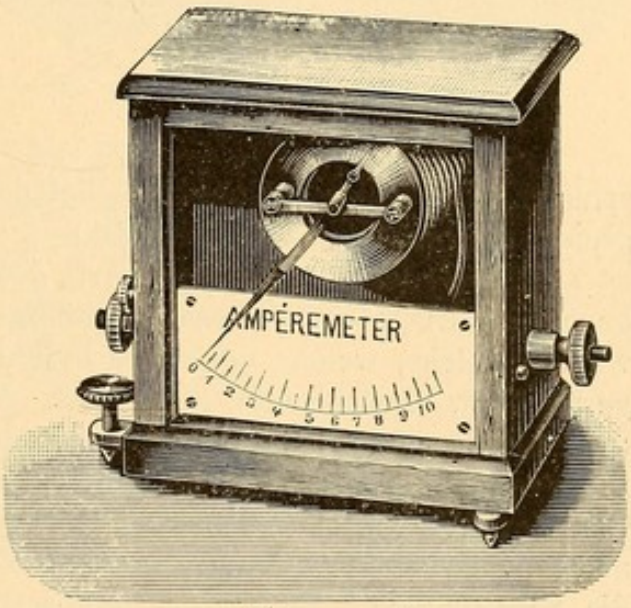


Fig. 72.

Das Prinzip der Stromstärkemesser (Ampèremeter) ist ein sehr einfaches und beruht in den weitaus meisten Fällen auf der Erscheinung, dass ein an einer Spiralfeder hängender Eisenkern um so weiter in eine Drahtspule hineingezogen wird, je stärker der in ihr fliessende Strom ist. Die Bewegung des Kerns wird in einfacher Weise auf einen Zeiger übertragen, welcher über einer Skala spielt. Diese ist durch Vergleich mit einem Strommessungs-Instrument anderer Art geeicht und in Ampère eingeteilt. Irgend ein Gehäuse schützt den Mechanismus vor Verletzung (Abbildung Fig. 73 nach Erneckе-Berlin). Das Instrument Ap. bildet einen Teil des Stromkreises (Fig. 70) und bleibt dauernd eingeschaltet. Seine Wickelung ist daher so bemessen, dass sie ohne wesentlichen Widerstand die maximale Stromstärke hindurchlässt. Für kleinere und mittlere Induktoren (bis 30 cm Schlagweite) genügen Strommesser mit einem Messbereich bis zu 6 bezgl. 8 Amp., für grössere (50 cm Schlagweite und darüber) solche bis zu 15 Amp.



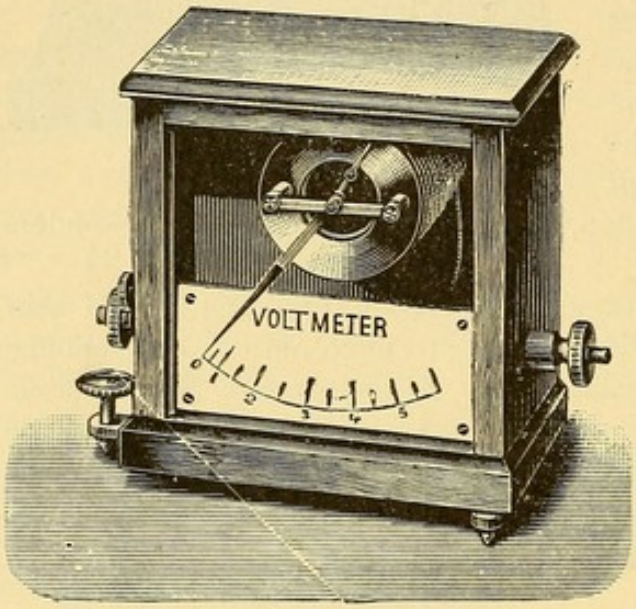
CA. 1/4 NAT. GRÖSSE

Fig. 73.

Vor der Benutzung wird das Ampèremeter durch Drehen an den Fussschrauben so eingestellt, dass der Zeiger auf den Nullstrich einspielt.

Besser als eine Glühlampe verschafft ein Voltmeter ein Urteil über die jeweilige Klemmenspannung der Stromquelle *B*. Das

Instrument ähnelt in äusserer Form und innerer Einrichtung durchaus dem Ampèremeter, nur dass die Spule mit weit dünnerem Draht in vielen Lagen bewickelt ist (Abb. Fig. 74). Es geschieht dies, um einen grösseren Stromverbrauch zu verhüten, der das Sinken der Spannung an den zu prüfenden Punkten der Leitung zur Folge haben würde. Während das Ampèremeter in den Verbrauchsstromkreis geschaltet wird, liegt das Voltmeter stets parallel (im Nebenschluss) zu demselben und zeigt auf der in Volt geteilten Skala die Spannung an den Abzweigstellen an. Für unsere Zwecke wird dasselbe mit den Polen der Batterie verbunden (Fig. 70), jedoch unter Zwischenschaltung eines Ausschalters *A*, welcher nur während der kurzen Dauer einer Spannungsprüfung geschlossen wird. Auf der Skala merkt man diejenigen Zeigerstellungen an, welche der Batteriespannung bei voller Ladung und bei der unteren erlaubten Entladungsgrenze entsprechen. (vgl. Seite 18.)



CA. 1/4 NAT. GRÖSSE

Fig. 74.

III. *Grössere Anlage mit gesondert betriebenem Unterbrecher.* Unter einer grösseren Röntgenstrahlen-Einrichtung verstehen wir eine solche, welche mit einem Induktor über 30 cm Schlagweite ausgerüstet ist. Instrumente dieser Art, die in der Regel über 7 Amp. Stromstärke zu ihrem Betriebe gebrauchen, werden kaum mit eigenem Stromwender gebaut und bedürfen eines gesonderten Unterbrechers, mit Vorteil eines rotierendem Quecksilber-Unterbrechers, der dann meist auch eine Vorrichtung zum Wenden des Stromes besitzt. Ueber die Schaltung und Einrichtungen der Quecksilber-Unterbrecher, welche sich auch kleineren Induktoren gegenüber bewähren, findet sich alles Nähere im Abschnitt IV.

Vielfach wünscht man die Motoren der rotierenden Unterbrecher von derselben Batterie aus zu speisen, welche auch dem Induktor den Strom liefert. Dies kann geschehen, wenn die Wickelung des Motors mit der Spannung der Betriebsbatterie einigermafsen im Einklang steht und ferner die Batterie stark genug ist, um eine Unabhängigkeit beider Stromkreise von einander zu sichern. Meistens verwendet man

daher Unterbrechermotoren, welche für eine geringe Spannung (etwa 4—6 Volt) gewickelt sind und zieht dem Betrieb derselben durch eine gesonderte kleine Batterie vor. Durchaus zu verwerfen ist der Anschluss des Motors nur an so viel Zellen der Hauptbatterie, als der erforderlichen Spannung entspricht. Hierdurch wird ein Teil der Akkumulatorenbatterie früher entladen als der andere und nicht nur die Abgabefähigkeit derselben vor der Zeit verringert, sondern unter Umständen auch eine Ueberentladung der stärker beanspruchten Zellen

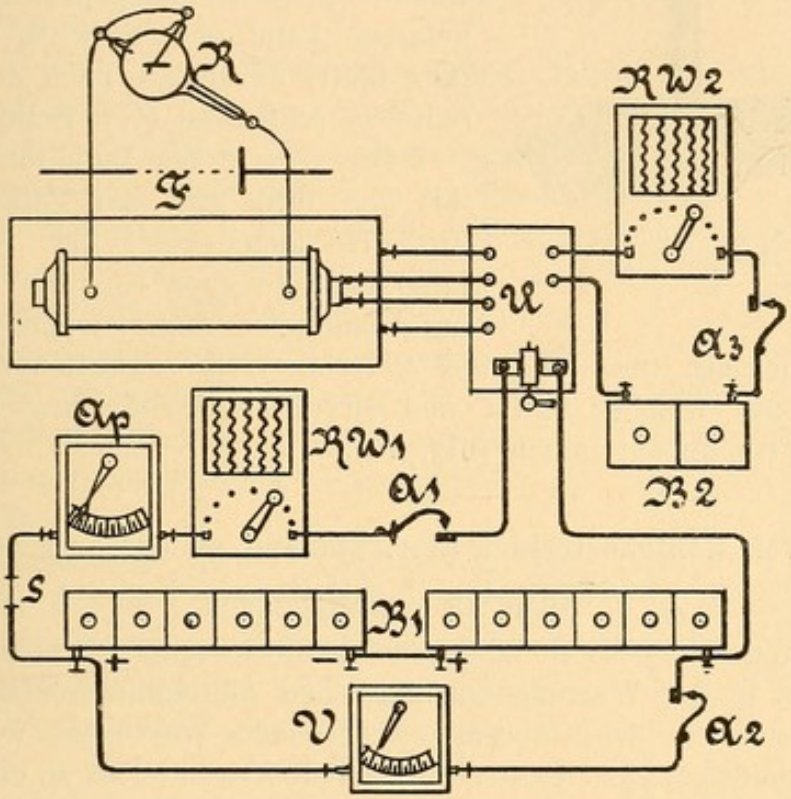


Fig. 75.

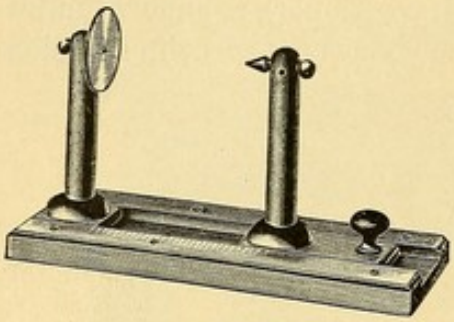
oder gar eine Umpolarisation derselben herbeigeführt, welche ihnen nur von Schaden sein kann.

Fig. 75 stellt eine Anlage mit gesonderter Unterbrecherbatterie dar.

Die Betriebsbatterie B_1, welche aus zwei hintereinander geschalteten Kästen zu je 6 Zellen bestehen möge, ist mit dem Unterbrecher U (vorausgesetzt, dass der Unterbrecher einen Stromwender hat, sonst wie unter I Seite 44) unter Zwischenschaltung einer Sicherung S, eines Ampèremeters Ap, eines Regulier-Widerstandes RW_1 und eines Ausschalters A_1 verbunden. Parallel zur Batterie ist mit Verwendung eines Ausschalters A_2 das Voltmeter V geschaltet.

Der Motor des Unterbrechers U wird durch eine besondere Batterie B_2 angetrieben; ein Regulier-Widerstand RW_2 gestattet die

Tourenzahl desselben in weiten Grenzen zu ändern. Über die Schaltung des Unterbrechers zur Primärspule und zum Kondensator sagt Abschnitt III Seite 44 u. ff. alles Wissenswerte. Hier sei noch einmal daran erinnert, dass der Hauptstrom nicht eher eingeschaltet werden darf, als bis der Unterbrecher in vollem Gange ist. Der Ausschalter A_1 ist nicht unbedingt nötig (vgl. Seite 32), aber sehr bequem, da man dann den Stromwender in seiner ausgeprobten Stellung belassen kann und nicht so leicht Gefahr läuft, denselben nach der falschen Seite zu schliessen (vgl. Seite 80).



Funkenstrom.
71426 Massstab 1:10
Fig. 76.

Die Grösse des Induktors bringt es mit sich, dass man mit Vorteil, wie in Fig. 75 angedeutet, die Sicherheitsfunkenstrecke ganz von ihm trennt und auf besonderen Stativen anordnet, wobei man zweckmässig (nach Siemens & Halske) eine Schlittenverschiebung verwendet, auf welcher Skala und Index die Entfernung von Spitze und Platte bestimmen lassen (Fig. 76).

Anschluss von Röntgenstrahlen-Einrichtungen an das Netz elektrischer Centralen (Lichtleitung).

Der Wunsch, eine Röntgenstrahlen-Einrichtung ohne die schwerfälligen und in der Wartung umständlichen Akkumulatorenbatterien betreiben zu können, wird überall da besonders rege sein, wo der Anschluss an das Netz einer Centrale vorhanden oder leicht zu erreichen ist.

Allerdings ist eine Verbindung ohne weiteres wegen der hohen Spannung (meist 110 Volt), welche die Lichtleitungen führen, im allgemeinen durch das Verhalten der Unterbrecher unmöglich gemacht. Sowohl Platin- wie Quecksilber-Unterbrecher beginnen bei dieser Spannung an der Unterbrechungsstelle einen Lichtbogen zu ziehen, der die Exaktheit der Unterbrechung vernichtet. Die Spannung muss daher herabgesetzt werden.

Wir haben hierzu zwei Mittel, entweder transformieren wir den Strom oder wir legen zur Hauptleitung einen Nebenschluss. Letzteres Verfahren hat die grössere Einfachheit für sich, welche im Verein mit der Bequemlichkeit einer stets bereiten Stromquelle den Verlust an Energie verschmerzen lässt (vgl. Seite 10).

Sollte der Strom in eine für den Unterbrecher des Induktors passende Form ohne grossen Energieverlust gebracht werden, so transformiert man ihn auf folgende Weise. Der Strom aus der Lichtleitung

speist einen Elektromotor mit einer Wickelung für 110 Volt Spannung. Von diesem wird durch Riemenlauf oder besser durch direkte Achsenkuppelung eine Dynamomaschine angetrieben, welche ihrerseits wiederum durch eine passende Wickelung befähigt ist, einen Strom von geringerer Spannung (etwa 20 Volt) bei erhöhter Stromstärke zu liefern. Diese dient dann zum Betriebe des Induktors.

Da die Wartung der Maschinen umständlich ist und sie ausserdem recht teuer sind, so zieht man allgemein die Abnahme eines Stromes von geringerer Spannung mit Hilfe eines einfachen Nebenschluss-Widerstandes vor.

Das Prinzip dieser Stromverzweigung haben wir bereits im Abschnitt I auf Seite 9 kennen gelernt. Es erübrigt hier noch zu sagen, dass nicht nur zwischen den Abzweigstellen, sondern auch vor einer derselben im Hauptstromkreise Widerstand liegen muss. Weiterhin ordnet man im Nebenschlusskreise bisweilen einen Regulier-Widerstand an, um innerhalb der abgenommenen Spannungsgrenzen noch eine feinere Stromstärkeabstufung zu haben. Die schematische Anordnnng der ganzen Vorrichtung ist aus beistehendem Stromlaufbild zu ersehen (Fig. 77).

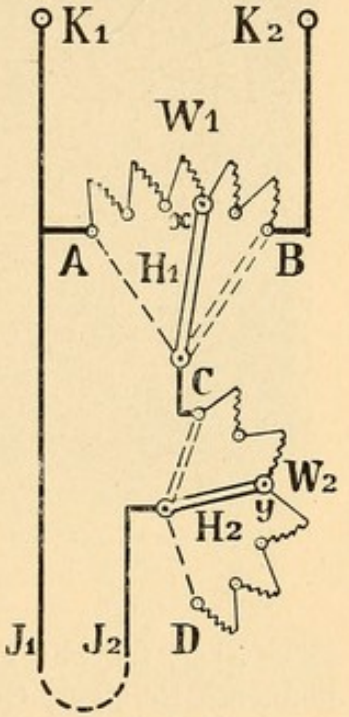
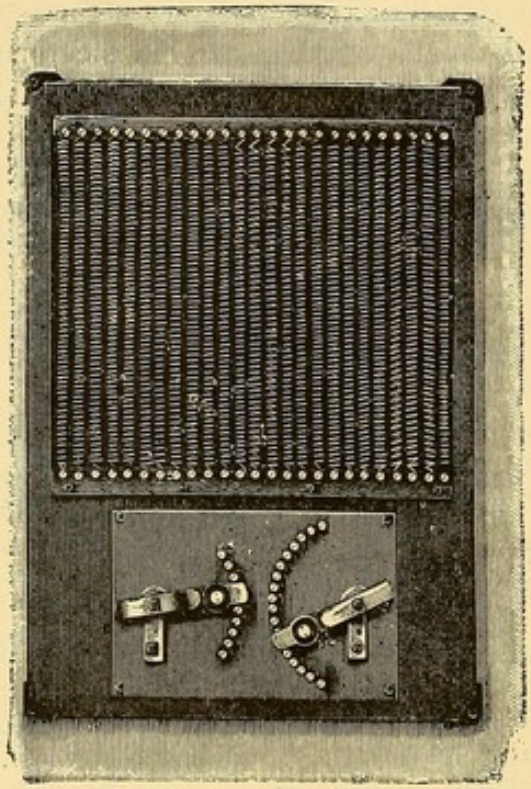


Fig. 77.

Der electrische Strom kommt von den Klemmen K_1 K_2 der Lichtleitung und ist durch die Drahtspiralen W_1, welche einen genügend hohen Widerstand darstellen müssen, geschlossen. Auf den Kontaktknöpfen des Widerstandes W_1 schleift der Stromabnahmehebel H_1, der seinerseits wieder mit den Widerstandsspiralen W_2 in Verbindung steht. Eine zweite auf W_2 gleitende Kontaktkurbel H_2 ist mit der Leitung J_2 verbunden.

Der Stromlauf ist leicht zu übersehen. Vorausgesetzt, dass die Zuleitungen stark genug und der Widerstand W_1 nicht zu gering ist, wird zwischen A und B die volle Spannung der Lichtleitung herrschen und ebenfalls an den Enden der Nebenschlussleitung J_1 J_2, falls Hebel H_1 auf B und Hebel H_2 auf C steht. Denn dann läuft der Strom, welcher von K_2 hereintreten möge, über H_1, H_2, J_1 nach K_1 zurück, ohne einen Widerstand zu finden. In dem Maſse nun, als der Hebel H_1 nach A vorgerückt wird, tritt der Widerstand Bx in die Nebenschlussleitung, gleichzeitig wird der Widerstand Ax zwischen den Abzweigpunkten mehr und mehr ausgeschaltet, was, wie wir ebenfalls aus dem Abschnitt I wissen, eine Verminderung der Spannungsdifferenz zwischen Ax als

auch zwischen J_1 J_2 zur Folge hat. Bei der Hebelstellung auf A_1 ist die Potentialdifferenz = 0 geworden und den Nebenschluss durchfliesst kein Strom mehr. Man hat es also durch Verstellen der Kurbel in der Hand, die Spannung für den Nebenschluss vom Betrage 0 bis zur Betriebsspannung beliebig zu wählen. Der Widerstand W_2 erlaubt für jeden Fall noch eine zarte Abstufung der Stromstärke. Jener Strombetrag, welcher durch den Widerstand W_1 von A nach B direkt übergeht, stellt den Verlust dar, von dem wir bereits gesprochen haben. Die Leitungen J_1 und J_2 führen zur Gebrauchsstelle.



No 3637, ca. 1/11 nat. Grösse.

Fig. 78.

Ernecke - Berlin baut einen Widerstand, bei welchem durch Verstellen der beiden Kurbeln und bei einer Betriebsspannung von 110 bezgl. 65 Volt, die Nutzspannung zwischen 5 und 35 Volt variiert werden kann (Fig. 78). Beide Widerstandssätze und ebenso beide Kurbeln sind auf einer Grundplatte vereinigt. Mit Hilfe einer derartigen Nebenschlussvorrichtung können natürlich Induktoren jeder Konstruktion vom Leitungsnetz aus betrieben werden.

Nicht für alle Fälle ist es nötig, zwei Widerstände verändern zu können. Reiniger, Gebbert & Schall ziehen es daher vor, den Apparat der Einfachheit halber nur mit einer Regulierkurbel zu versehen (Fig 79) und geben ihm im übrigen durch eine Verkleidung mit perforiertem Blech ein recht gefälliges Aeussere. Sicherung und Ausschalter für die Betriebsleitung sind ebenfalls auf dem Grundbrett montiert.

Unter Benutzung eines Abzweig-Widerstandes würde also eine Anlage mit grösserem Induktor ohne Stromwender und einem, ebenfalls von der Lichtleitung aus zu betreibenden, gesonderten Motor-Unterbrecher, etwa folgende Gestalt zu erhalten haben. Von der Lichtleitung (Fig. 80) werden die Leitungen L_1 und L_2 abgezweigt. Erstere speist den Motor des Unterbrechers, letztere den Induktor. Wir verfolgen zunächst die Leitung L_2, welche von den Klemmen K_1 K_2 ausgeht und an den Abzweigwiderstand AW, je nach der Konstruktion desselben verschieden,

angeschlossen wird. A ist der Hauptausschalter. Man kann denselben auch noch vor die Bleisicherung S legen, was den Vorteil hat, dass er dann zugleich auch die Leitung L_1 stromlos macht.

Von dem Abzweig-Widerstand AW läuft die Leitung zum Stromwender des Unterbrechers U, nachdem sie das Ampèremeter Ap durchsetzt hat. Um den Betrag zu kennen, bis auf welchen jeweils der Abzweig-Widerstand die Spannung ermässigt, wird zweckmässig in Parallelschaltung zur Hauptleitung das Voltmeter V angefügt. Der Anschluss des Unterbrechers erfolgt nach einer der Schemata auf Seite 45 und Seite 46. Gezeichnet ist in unserer Figur Schema III, welches voraussetzt, dass ein, durch einen Motor angetriebener, gesonderter Unterbrecher zur Verwendung gelangt.

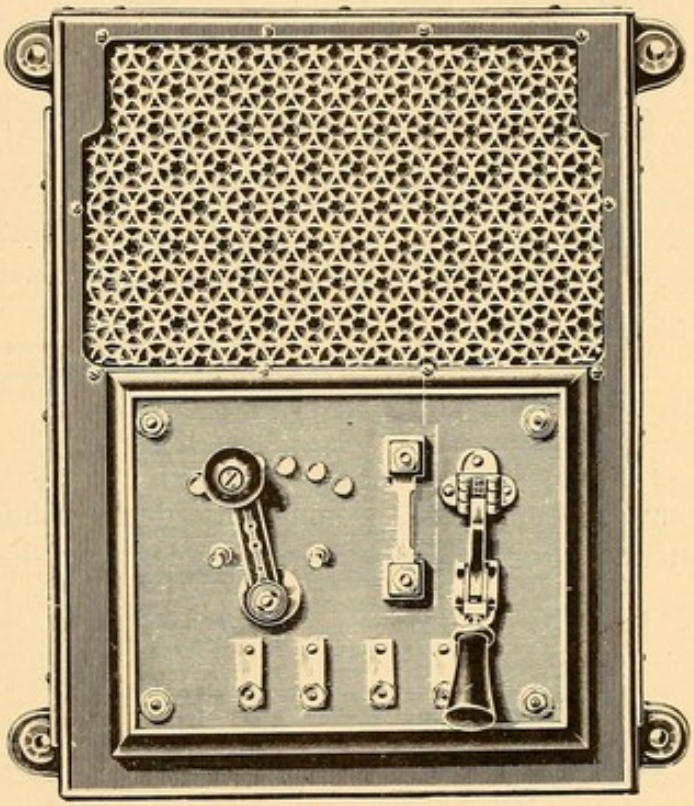


Fig. 79.

Der Strom für den Unterbrecher - Mechanismus wird, wie schon erwähnt, mittels der Leitung L_1, ebenfalls der Lichtleitung entnommen. Die Abzweigung erfolgt am besten so, dass die Bleisicherung S ebenfalls im Stromkreise L_1 liegt. RW ist ein Regulier-Widerstand, welcher die Geschwindigkeit des Motors beliebig abzustufen gestattet, A_2 ein Ausschalter für denselben (in der Figur nicht bezeichnet).

Wir machen an dieser Stelle wiederum darauf aufmerksam, dass der Stromwender des Unterbrechers bezgl. der Ausschalter nicht eher geschlossen werden darf, als bis der Motor in Bewegung ist. Nicht nötig ist diese Vorsicht bei den Turbinen-Unterbrechern (siehe Seite 57 ff.).

Wesentlich einfacher wird die *Anlage bei Benutzung des elektrolytischen Unterbrechers.* Da derselbe vorzugsweise gut bei der Spannung von 110 Volt arbeitet, so fällt der Nebenschluss-Widerstand fort. Die positive Klemme der Lichtleitung (Fig. 81) wird mit der regulierbaren Platinspitze des Unterbrechers U verbunden, die Bleiplatte mit der

Primärspule des Induktors. Hat der letztere an und für sich die zur Auslösung der Unterbrecherthätigkeit erforderliche Selbstinduktion, so

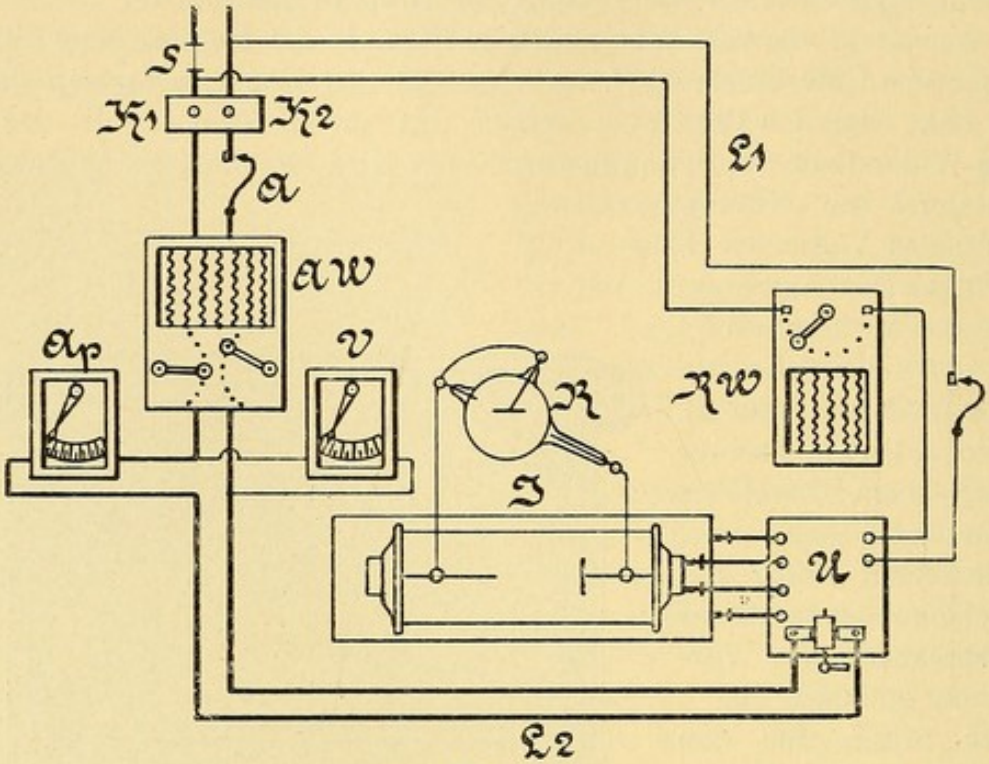


Fig. 80.

kann die negative Klemme K_1 der Leitung ohne weiteres an den anderen Pol der Primärspule gelegt werden. Die Stromstärke wird dann durch allmähliches Vorschieben des Platinstiftes reguliert. Andernfalls ist ein induktiv gehaltener Vorschaltwiderstand *IW* nötig, welcher unter gleichzeitiger Beobachtung eines in die Leitung geschalteten Ampèremeters reguliert wird. Das Anlassen des Induktors gestaltet sich dann folgendermafsen. Die Platinspitze wird ganz in ihre Hülse zurückgeschraubt,

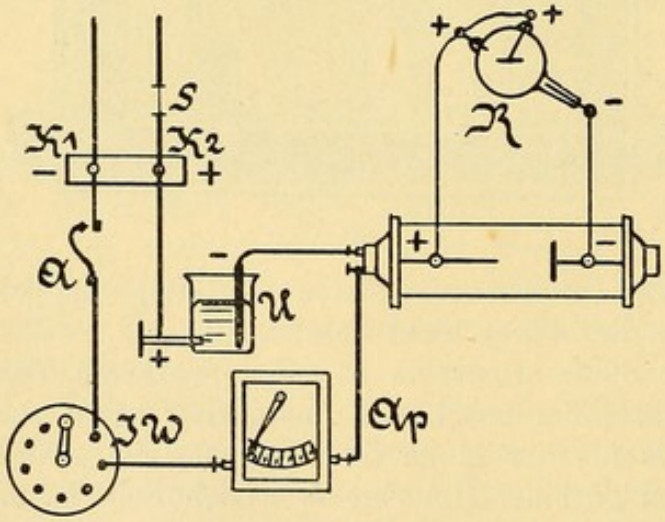


Fig. 81.

dann der Regulierhebel des Widerstandes etwa auf die Mitte gestellt und der Ausschalter *A* geschlossen. Nun dreht man den Platinstift hervor, bis die Unterbrechungen einsetzen und liest das

Ampèremeter ab. Es wird im allgemeinen die gewünschte Stromstärke noch nicht zeigen. Durch allmähliches Ausschalten des Widerstandes und — sollte die Stromstärke dabei zu hoch werden — durch Zurückziehen des Platinstiftes, erreicht man es, dass schliesslich aller Widerstand bis auf die letzte besonders induktiv gestaltete Windung ausgeschaltet ist. Fernerhin genügt der Schluss des Ausschalters, um die Vorrichtung sofort in Gang zu setzen. Weitere Stromstärkeregulierungen werden dann zweckmässig nur durch Verschieben der Platinspitze vorgenommen.

Eines Kondensators bedarf der Induktor nicht und die Klemmen eines etwa an demselben vorhandenen bleiben offen (vergl. Seite 61). Sollte der Unterbrecher aussetzen, was jedoch nur bei sehr geringen Stromstärken (kleiner Spitze) vorkommt, so genügt ein schnelles Oeffnen und Schliessen des Ausschalters, um die Unterbrechungen wieder in Gang zu bringen.

Da der elektrolytische Unterbrecher nur durch 2 Drähte mit dem übrigen Instrumentarium in Verbindung steht, ist es ein Leichtes, ihn in einem anderen Zimmer unterzubringen. Diese Anordnung wird sich namentlich bei Aufnahmen und Durchleuchtungen nervöser Personen bewähren.

Durchaus anders gestaltet sich eine *Anlage für Wechselstrom* bei Benutzung des Kohlschen Wechselstrom - Unterbrechers, welcher auf Seite 68 der Konstruktion nach eingehend gewürdigt wurde. Der Wechselstrom, der den Klemmen der Hauptleitung (Fig. 82) seine

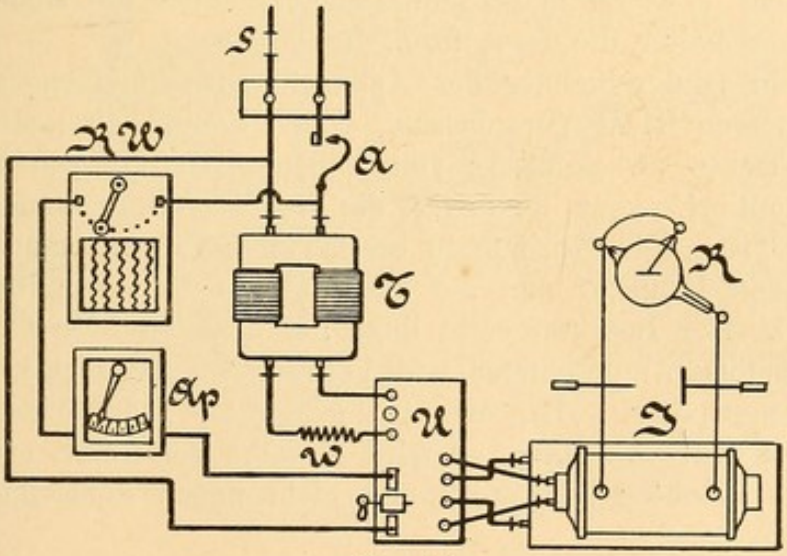


Fig. 82.

Impulse zuschickt, soll sowohl dem Induktor als auch dem Erregermagneten des Unterbrechers Energie zuführen. Zu dem Zweck verzweigt sich die Leitung hinter dem Ausschalter *A*. Der eine Zweig

führt über den Regulier-Widerstand *RW* zu den Stromwenderklemmen des Unterbrechers *U*, dessen Schaltung zum Induktor sich im besonderen nach Seite 69 ergiebt. Der andere führt über den Transformator *T*, den Widerstand *W* zu den Klemmen des Ausschalters für den Unterbrechermagneten. *T* und *W* dienen im allgemeinen der Abschwächung des Stromes, ihre intimere Wirkungsweise braucht hier nicht erläutert zu werden. Der Unterbrecher wird zuerst in Gang gesetzt und dann erst der Stromwender geschlossen. Die Behandlung des Unterbrechers wurde ebenfalls bereits auf Seite 69 besprochen.

Für die zweckmässige Anordnung der Apparate im allgemeinen sollen hier noch einige Winke folgen. Alle zusammengehörigen Apparate, also der Induktor, der Unterbrecher, sowie die zugehörigen Widerstände und Messinstrumente werden womöglich an einem Tisch vereinigt. Wennschon es vorteilhaft ist, die Instrumente so anzuordnen, dass der Stromverlauf ein möglichst klarer und übersichtlicher bleibt, so darf darunter doch nicht die Sicherheit des Betriebes leiden und diese verlangt, dass jeder Apparat bequem zur Hand ist und auch im Dunkeln ohne Irrtum gefunden werden kann. Hierdurch ergiebt sich eine Gruppenbildung von selbst.

Der Hauptausschalter, unter welchem wir denjenigen verstehen, welcher hinter der Stromquelle eingefügt, dieselbe sofort von allen übrigen Apparaten zu trennen vermag, sollte gleich zur rechten Hand sein, ebenso der Ausschalter für den Unterbrechermotor. Um Verwechselungen im Dunkeln vorzubeugen, können verschiedene Typen gewählt werden, z. B. für den Hauptstromausschalter die Hebelform, für den Motorausschalter die Dosenform.

Um ein Hintereinander der Apparate zu vermeiden, welches zu einem Umstossen leicht Veranlassung geben kann, hält man die Plattform des Tisches zweckmässig von Nebenapparaten nach Möglichkeit frei und montiert, wenn angängig, die Regulier-Widerstände vorn oder seitlich am Tisch, die Kurbeln in erreichbarer Höhe. Dann bleibt die Platte für den Induktor und die Messinstrumente sowie für den Ausschalter frei. Der Induktor steht links auf dem Tisch, vor oder rechts neben demselben Ampèremeter und Voltmeter, ganz rechts, gleich zur Hand die Ausschalter. Ist, wie bei grösseren Induktoren, eine besondere Funkenstrecke nötig, so wird dieselbe vorteilhaft etwas erhöht hinter dem Induktor aufgestellt und nicht neben demselben, wo sie nur im Wege ist.

Verfügt man über ein besonderes auf dem Fussboden stehendes Röhrenstativ, so ordnet man dasselbe gerade vor dem Induktor an, um unnütze Stromverluste zu vermeiden, so dicht an demselben, als es die besonderen Umstände irgend gestatten. Jede allzu lange Zuleitung zu der Röhre ist zu vermeiden. Gut ist es, der Röhre eine Viertelwendung

zu geben, so dass die Emission der Strahlen parallel zur Tischkante erfolgt. Dies hat den Vorteil, dass der Beobachter während der Durchleuchtung mit der rechten Hand die Ausschalter, den Unterbrecher und die Widerstände bedienen kann.

Wenn irgend angängig, sollte man für Durchleuchtung und photographische Aufnahmen einen eigenen Raum zur Verfügung haben. Er braucht nicht gross zu sein, 10 qm Grundfläche genügen vollkommen. Man kann dann in Ruhe alles vorbereiten und jedem Stück seinen besonderen Platz geben, damit es in der Eile nicht erst gesucht zu werden braucht. Recht brauchbar ist ein Raum, der, des Transportes der

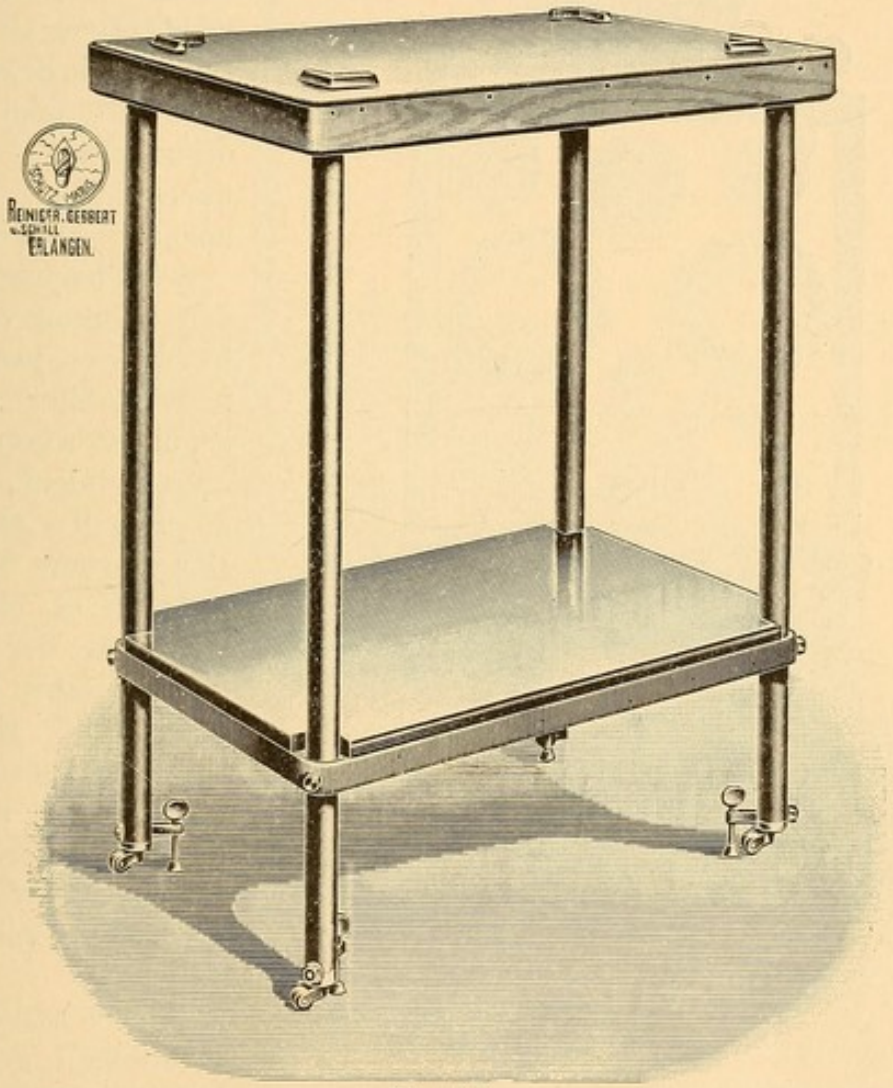


Fig. 83.

schweren Akkumulatoren wegen, zu ebener Erde liegt. Will man eine besondere Dunkelvorrichtung vermeiden, so verklebt man die Fenster mit schwarzem sogen. Dunkelkammerpapier. Man kann allerdings auch bei Licht beobachten, aber das Fluoroskop ist nicht immer bequem und

wird der besseren Orientierung wegen oft durch den freien Leuchtschirm ersetzt werden müssen.

Drahtstücke halte man in passenden Längen zugeschnitten vorrätig; sehr empfehlenswert sind biegsame Drahtlitzen, an deren entblössten Enden man passend zu den Durchbohrungen der Klemmen Drahtstücke von etwa 2 cm Länge anlöten lässt. Um sie stets bereit zu haben, hängt man sie der Länge nach geordnet an die Wand über Nägel. Drähte spiralförmig aufzurollen und in Schubladen aufzubewahren, ist durchaus nicht ratsam; sie werden sich stets in dem Augenblick, wo man sie am dringendsten braucht, unentwirrbar in einander verhakt haben.

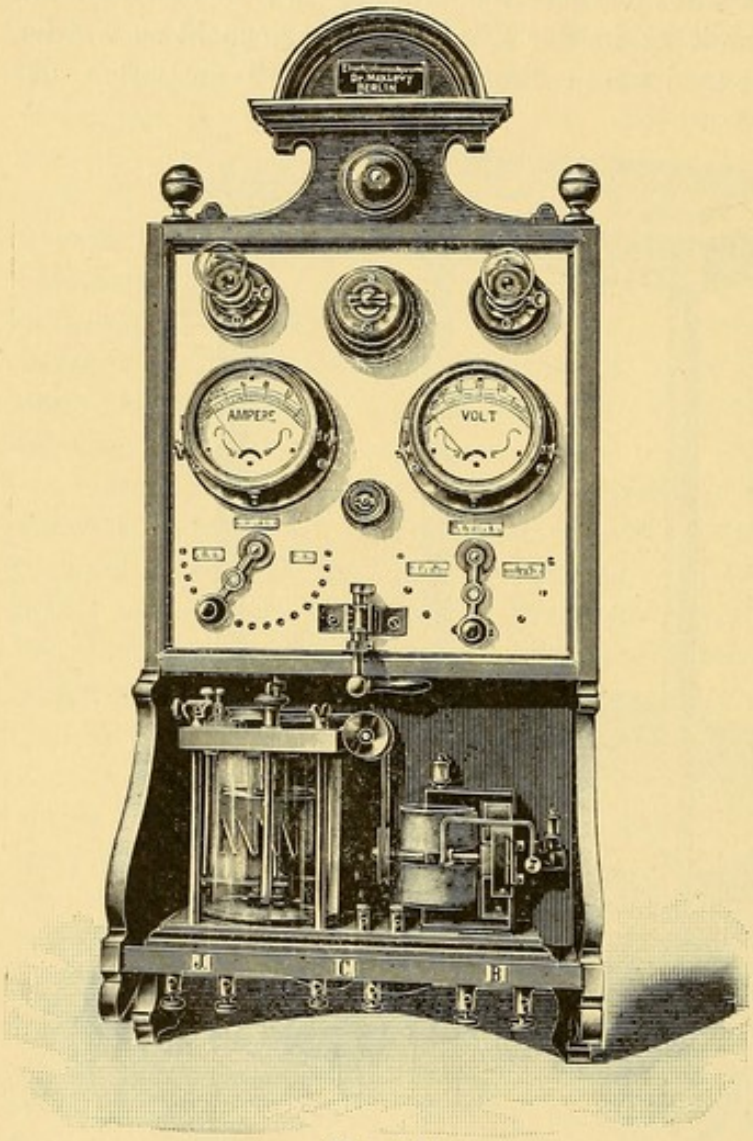


Fig. 84.

Sehr bequem ist für den Induktor ein fahrbarer Tisch, je einfacher und stabiler derselbe ist, um so besser (Fig. 83 nach Reiniger, Gebbert & Schall - Erlangen). Der fahrbare Tisch ermöglicht es, ohne Verlängerung der Verbindung zwischen Induktor und Röhre sich dem Untersuchungsobjekt zu nähern, was z. B. bei Kranken, deren Lage sich nur schwer verändern lässt, von Vorteil sein kann.

Bei den neueren Konstruktionen geht überhaupt das Bestreben mehr und mehr dahin, den Induktor beweglich und unabhängig von den übrigen Apparaten zu machen. Die letzteren werden dann in passender Gruppierung auf einem Schaltbrett vereinigt, sogar der Unterbrecher, falls er gesondert betrieben wird, erhält seinen Platz auf demselben (Fig. 84 nach Levy-Berlin). Die Akkumulatoren werden dann auf der unteren Plattform des Tisches dem Induktor zugeordnet oder unter das

Schaltbrett gestellt. Die Anordnung hat den Nachteil, dass der Beobachter meist nicht zugleich die Schaltapparate bedienen kann, den Vorteil, dass bei ihrer Einstellung, namentlich im Dunkeln, die gefährliche Nähe des Induktors nicht vorhanden ist.

Für Krankenhäuser wird es oft wesentlich sein, eine fahr- und tragbare Einrichtung zu besitzen, welche ohne besondere Mühe an das Krankenbett gebracht werden kann. Hierzu müssen die schweren Akkumulatoren durch Teilung in kleinere Kästen transportabel gemacht werden. Alle übrigen Apparate, also Induktor, Widerstände, Unter-

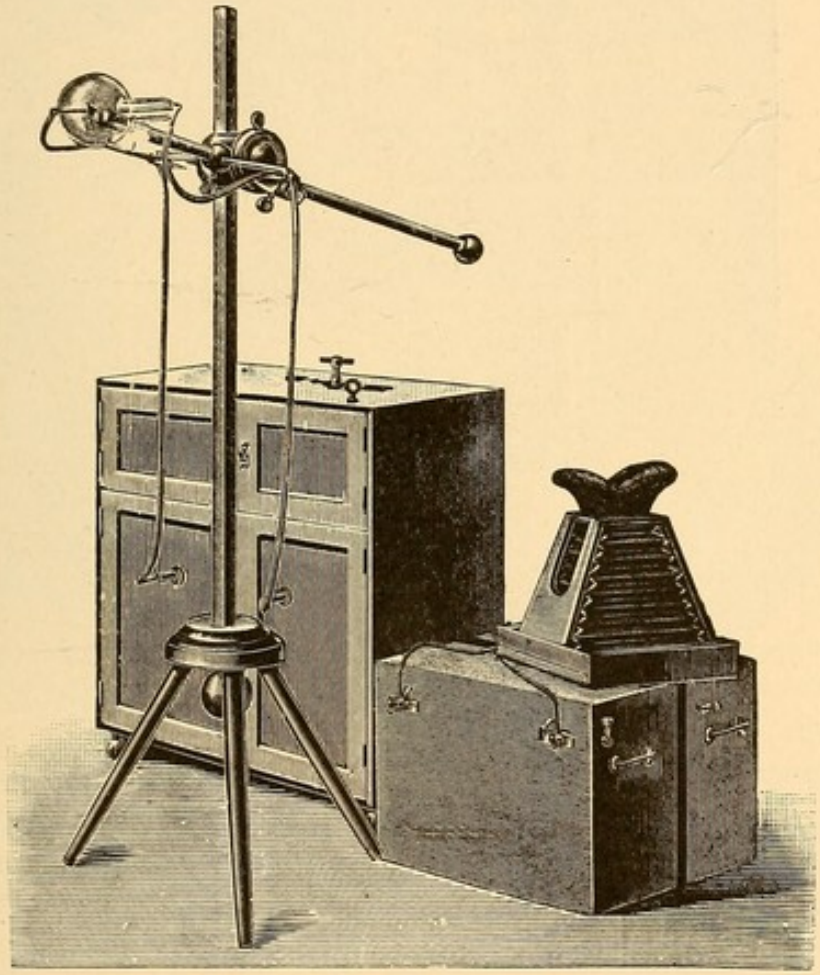


Fig. 85.

brecher u. s. w. werden in einem Schränkchen vereinigt, das mit Rollen versehen ist und an den Seiten zwei starke Handgriffe hat, an denen es die Treppen hinauf transportiert und über Schwellen gehoben werden kann (Fig. 85 und 86 nach Levy-Berlin). Die Akkumulatorenkästen werden einzeln transportiert und erst an Ort und Stelle zusammengeschaltet, was wenige Augenblicke Zeit erfordert. Ist in den einzelnen Krankensälen Anschluss an die elektrische Lichtleitung vorhanden, so gestaltet sich die ganze Anordnung natürlich entsprechend einfacher.

Störungen im Betriebe.

Fast kein Tag vergeht, an dem nicht etwas an einer Röntgenstrahlen-Einrichtung in Unordnung geriete. Bald versagt der Unterbrecher, bald die Röhre, bald die Stromquelle u. s. w.

Sofern der Sitz des Fehlers festgestellt ist, kann man nach den Abschnitten verfahren, in welchen jeweilig das defekte Glied des

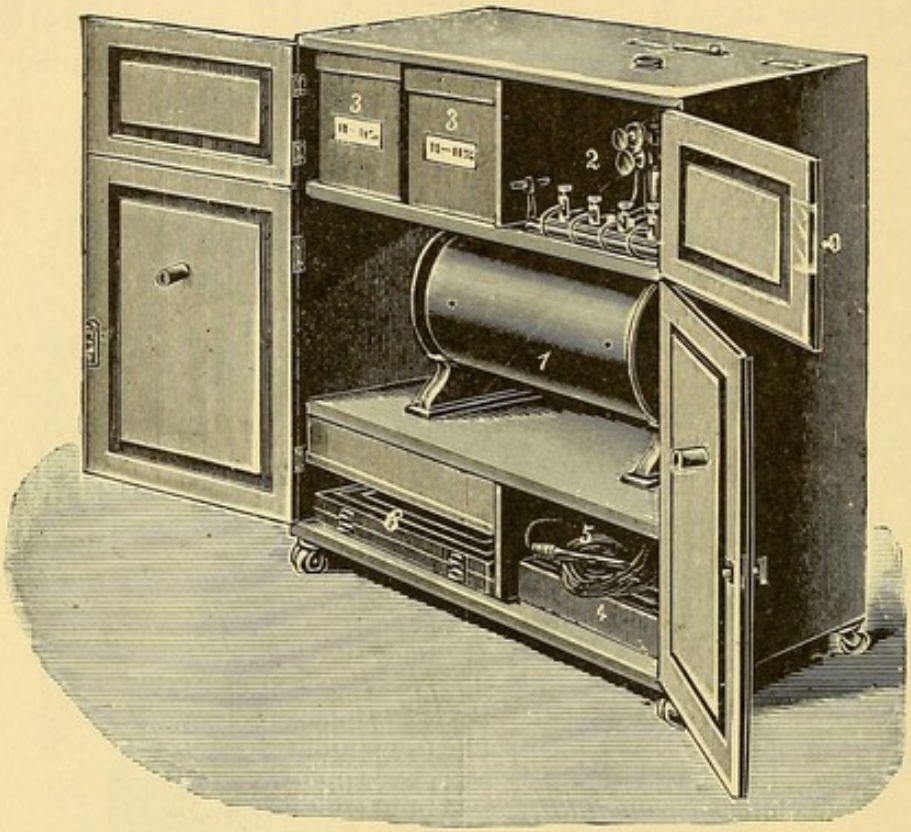


Fig. 86.

Instrumentariums beschrieben ist. Die Bestimmung des Fehlers selbst aber kann, falls die Ursache der Störung nicht augenfällig ist, oft erhebliche Schwierigkeiten und fatalen Zeitverlust herbeiführen.

Da es an dieser Stelle natürlich nicht angeht, jede nur mögliche Störung zu besprechen, so soll nur in Kürze der Weg angegeben werden, auf welchem man bei einer Untersuchung am schnellsten zum Ziele kommt. Es wird oft nicht der kürzeste sein.

Vor allem sollte bei jeder Einrichtung eine vollständige Schaltungsskizze vorhanden sein. Liefert die Fabrik dieselbe nicht mit, so fertigt man sie selbst an und hängt sie in der Nähe des Instrumentariums fest auf.

Jeder Teil der Anlage kann der Sitz der Betriebsstörung sein und um so mehr Glieder des Mechanismus werden von ihr betroffen, je näher der Fehler der Stromquelle, dem Herzen der Anlage, liegt.

Durch Eingrenzung von der Peripherie her kann der Defekt am sichersten gefunden werden.

Um ein Beispiel zu bilden, wollen wir annehmen, dass die auf Seite 91 gezeichnete und beschriebene Anlage plötzlich ohne auffällige Veranlassung aussetzen möge. Wir beginnen unsere Untersuchung an der Röhre selbst. Sie erhält keinen Strom, auch das Knistern der stillen Entladungen am Induktor hat aufgehört. Wir bemerken indess, dass der Unterbrechermotor noch läuft; der Teil der Anlage, welcher die Batterie B_2, den Widerstand RW_2, den Motor und die zugehörige Leitung enthält, ist also jedenfalls intakt. Hierdurch wird der Fehler bereits stark eingeengt. Er muss in der Hauptleitung vom Induktor bis zur Batterie B_1 liegen.

Zur weiteren Untersuchung benutzen wir am besten ein Glühlämpchen von Batteriespannung, dessen einen Draht wir an die Minusklemme der Batterie legen; mit dem anderen suchen wir die positive Leitung von der linken Stromwenderklemme nach der Batterie zu ab Nachdem die Klemmen des Ausschalters, des Widerstandes RW_1 und des Ampèremeters berührt worden sind und die Lampe noch immer nicht leuchtet, liegt allerdings der Gedanke nahe, dass die Bleisicherung S durchgebrannt ist. Aber wir berühren die Klemme derselben, welche nach der Batterie zu liegt und noch immer erhält das Lämpchen keinen Strom. Folgerung: Der Fehler liegt in der Batterie selbst. Doch auch an der linken Plusklemme und ebenso an der Minusklemme des ersten Batteriekastens zeigt sich kein Erfolg. Endlich, bei der Berührung der Plusklemme des zweiten Kastens leuchtet die Lampe, schwach natürlich, da sie nur die Hälfte der Batteriespannung enthält. Wir folgern nunmehr, dass der Defekt zwischen der Minusklemme des ersten und der Plusklemme des zweiten Kastens liegen muss. Eine Untersuchung ergiebt in der That einen Bruch des Verbindungsdrahtes dicht an der einen Klemme.

Nicht immer wird man natürlich seine Zuflucht zu einer so pedantischen Untersuchung zu nehmen brauchen. Es giebt viele Betriebsstörungen, bei denen man von vornherein ein bestimmtes Organ im Verdacht hat; so z. B. wird bei einem plötzlichen Aussetzen des Stromes zunächst die Vermutung nahe liegen, dass die Sicherung durchgebrannt ist, bei einem plötzlichen Aufbrausen der Akkumulatoren, dass irgendwo ein Kurzschluss entstanden ist u. s. f. Darüber entscheidet die Erfahrung. Dem Anfänger ist es jedenfalls anzuraten, systematisch vorzugehen, solange er sich dieselbe nicht erworben hat.

VII. Abschnitt.

Radioskopie und Messkunde.

Von den Körpern, die unter dem Einfluss der Röntgenstrahlen besonders hell aufleuchten, sind an erster Stelle das Bariumplatincyanür und Kaliumplatincyanür zu nennen.

Dies „Fluorescenz“ genannte Selbstleuchten kommt nur während der Dauer der Bestrahlung zustande und unterscheidet sich hierdurch von der „Phosphorescenz“ genannten Erscheinung; es ist im Grunde nichts anderes als eine schwingende Bewegung innerhalb eines jeden Moleküls der fluorescierenden Substanz, hervorgerufen durch den Einfluss der Erregerstrahlen. Daher wird ein, mit der Eigenschaft der Fluorescenz begabter Körper um so stärker leuchten, je mehr Erregerstrahlen er absorbiert.

Wir sehen also nur die Wirkung der Röntgenstrahlen am Bariumplatincyanür, nicht diese selbst, und streng genommen darf auch nicht von einem „Schatten“ gesprochen werden, den zwischen Röhre und Leuchtschirm gebrachte Körper auf letzteren werfen, wenigstens nicht in einem gegensätzlichen Sinne zum „Licht“, denn den Ätherschwingungen, welche wir als Licht empfinden, gehören die Röntgenstrahlen nicht an. Die oft gebrauchten Bezeichnungen „Röntgenlampe“ und „Röntgenlicht“ sind daher ebenfalls geeignet, dem Physiker einiges Unbehagen zu verursachen. (Siehe IX. Abschnitt.)

Das Bariumplatincyanür ist dem Kaliumplatincyanür an Leuchtwirkung nicht unbeträchtlich überlegen; ersteres fluoresciert grün, letzteres blau. Dafür hat das zweitgenannte den Vorteil, etwa um die Hälfte billigere Leuchtschirme zu liefern; mässigen Ansprüchen mag es daher auch für direkte Durchleuchtung genügen.

Beide Substanzen werden auf starkes, in Rahmen straff befestigtes Papier aufgetragen (Fig. 87). Ein Ueberzug mit Firnis schützt die Leuchtschicht und bietet den Vorteil, Unreinigkeiten mit kaltem Wasser und einem Schwamm beseitigen zu können. Schutzüberzüge aus Galatine oder Celluloid, welche die Cyanürschicht vor mechanischer Verletzung bewahren sollen, geben dem Schirm durch Kräuseln und

Verwerfen meist ein recht unansehnliches Äussere. Bei einem Ankauf achte man vorzugsweise auf ein feines und gleichmässiges Korn des Bariumplatincyanürs.

Die direkte Beobachtungsmethode stützt sich auf die Eigenschaft der fluorescierenden Körper, unter den Röntgenstrahlen in Schwingungen zu geraten, die innerhalb der von uns als Licht bezeichneten Oktave von etwa 400 bis 800 Schwingungsbillionen liegen. Sie hat trotz ihrer Jugend eine grosse Reihe mehr oder minder schöner Namen erhalten. Radioskopie, Fluoroskopie, Diaskopie, Aktinoskopie, Kryptoskopie sind noch die besten. Wir wählen in Ermangelung eines prägnanten deutschen Ausdruckes die Radioskopie und stellen dieselbe der Radiographie gegenüber, welche die Wirkung der Röntgenstrahlen auf die photographische Platte in den Dienst der indirekten Beobachtungsmethode stellt.

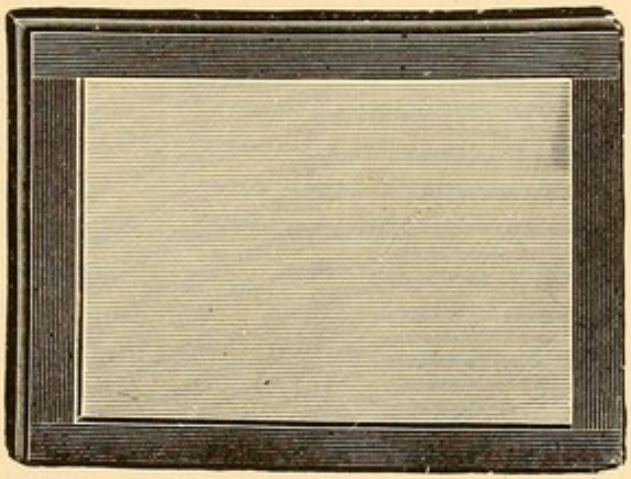


Fig. 87.

Während noch vor nicht allzulanger Zeit von einer erfolgreichen Anwendung der direkten Beobachtungsmethode wegen der geringen Kraft der Röhren und der Unstätheit des Leuchtfeldes kaum die Rede sein konnte, ist dieselbe heute in vieler Hinsicht der photographischen ebenbürtig, teilweise überlegen, zur Beobachtung von Bewegungsvorgängen, wie z. B. der Atmungs- und Herzthätigkeit sogar die einzig mögliche.

Vor jeder Untersuchungsreihe vergewissert man sich über die richtige Stellung des Stromwenders (Seite 87), dann erst zieht man Spitze und Platte auf maximale Schlagweite auseinander und verbindet die Elektroden der Röhre mit den Polen des Induktors nach Fig. 63. Im Interesse einer langen Lebensdauer der Röhre wird dieselbe nur soweit durch Verstellen des Regulier-Widerstandes mit Strom belastet, als zur Erreichung des beabsichtigten Zweckes eben erforderlich ist. Gerät die Antikathode in starke Glut, so wird beizeiten ausgeschaltet und, unter Zerlegung der Beobachtung in mehrere Abschnitte, der Röhre Zeit zur Abkühlung gelassen.

Ein durables Stativ zum Einklemmen der Röhre ist immer erforderlich; man stellt dasselbe entweder auf den Tisch oder in grösserer Ausführung auf den Fussboden. Beweglichkeit des Röhrenhalters nach

allen Richtungen muss vorhanden sein (Fig. 88 nach Kohl). Die Röhre wird so gedreht, dass die von den Kathodenstrahlen getroffene Seite des Platinbleches von allen Stellen aus sichtbar ist, welche durchleuchtet werden sollen. Führt man den Fluorescenzschirm um die arbeitende Röhre, so wird man sich überzeugen können, dass in der That die Strahlung nach allen diesen Punkten gleich stark ist. Der Schirm wird hierbei so gehalten, dass die Cyanürschicht dem Beobachter zugekehrt ist, während die von der Röntgenröhre ausgehenden Strahlen zunächst die Papierschicht durchdringen. Stört das von der Röhre ausgehende Fluorescenzlicht, so hängt man über dieselbe ein dunkles Tuch und achtet darauf, dass die Zuführungsdrähte hinreichend weit von einander entfernt bleiben. Sehr vorteilhaft ist daher eine verschiebbare Stockklemme von isolierendem Material, welche die Hochspannungskabel auseinander hält (siehe Abbildung).

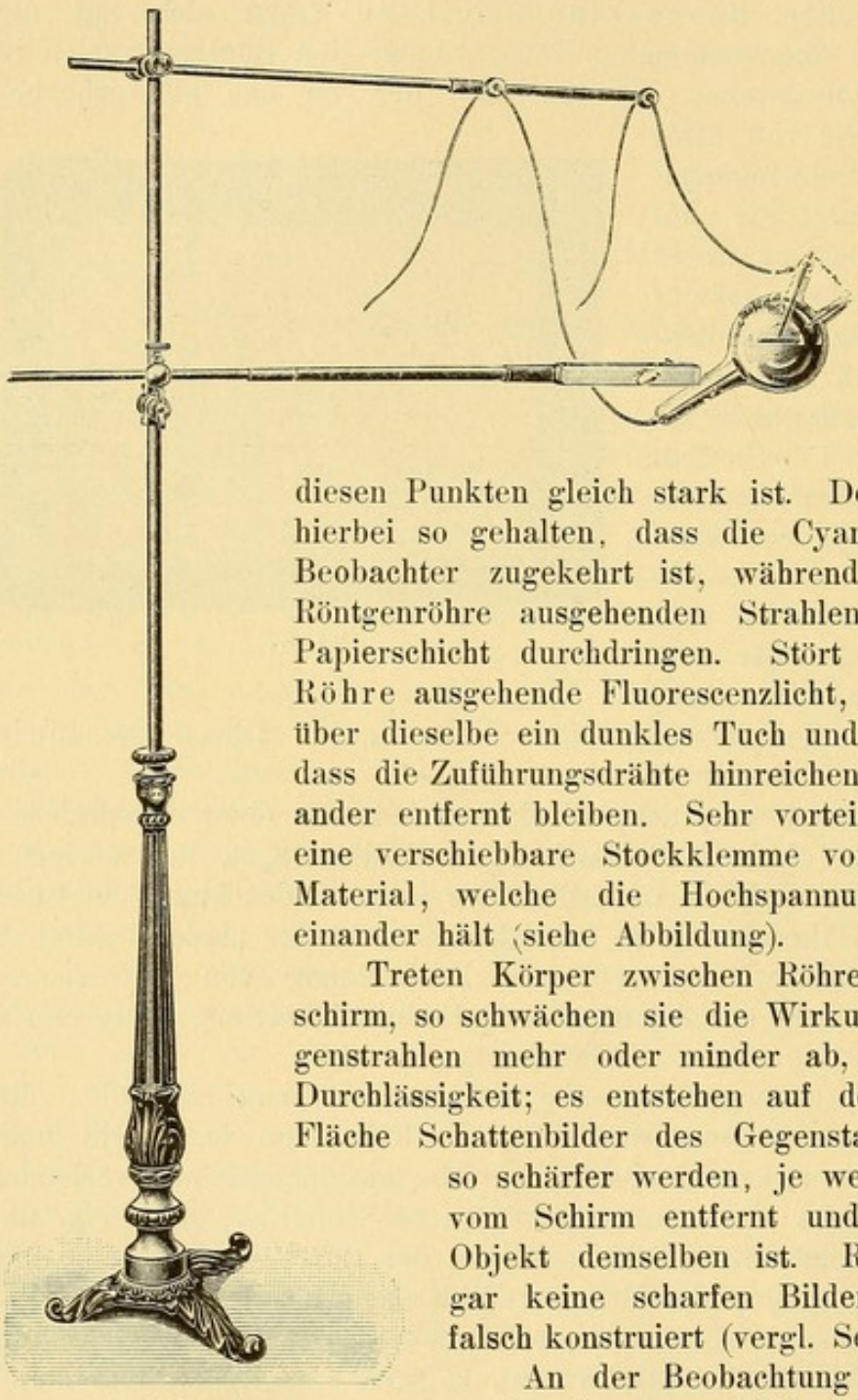


Fig. 88.

Treten Körper zwischen Röhre und Leuchtschirm, so schwächen sie die Wirkung der Röntgenstrahlen mehr oder minder ab, je nach ihrer Durchlässigkeit; es entstehen auf der leuchtenden Fläche Schattenbilder des Gegenstandes, die um so schärfer werden, je weiter die Röhre vom Schirm entfernt und je näher das Objekt demselben ist. Röhren, welche gar keine scharfen Bilder geben, sind falsch konstruiert (vergl. Seite 78).

An der Beobachtung des Schattenwurfes eines menschlichen Armes sollen im Folgenden die charakteristischen Eigenschaften der Röntgenstrahlen kurz besprochen werden. Wir legen zu diesem Zweck zunächst unsere Hand dicht hinter den Leuchtschirm und bringen beides mit einen Abstand von etwa 20 cm vor die arbeitende Röhre.

I. Das Fluorescenzfeld leuchtet mässig hell und der Schatten der Hand ist gut erkennbar, von den Knochen derselben sind jedoch nur schwache Andeutungen vorhanden. Man wird daraus den Schluss ziehen, dass die Röntgenstrahlen zwar vorhanden und auf dem Fluorescenzschirm wirksam, jedoch ohne genügende Durchdringungskraft sind. Das blaue Licht, das hierbei in der Röhre als Rest des Glimmlichtes meist beobachtet werden kann, zeigt, dass die Röhre relativ viel Luft enthält, oder wie wir es nennen, „zu weich" ist. (Wir härten nach Seite 80).

II. Die Intensität der Fluorescenz hat bedeutend zugenommen, jetzt wird auch das Fleisch der Hand durchstrahlt, so dass die Schatten der Knochen kontrastreich hervortreten. Bei ruhigem Fluorescenzfeld wird auch die Struktur der Knochen sichtbar. Deutlich treten die Handwurzelknochen, Elle und Speiche, Ellenbogengelenk und schliesslich auch der Oberarmknochen hervor. In diesem Zustand ist die Röhre photographisch am wirksamsten. (Vergl. Seite 124).

III. Wird die Röhre „härter", so erhält dieselbe allerdings die Fähigkeit, immer stärkere Körperteile zu durchstrahlen, aber die Kontraste zwischen Fleisch und Knochen gehen verloren. Dabei wird das Fluorescenzfeld dunkler, so dass schon aus diesem Grunde die direkte

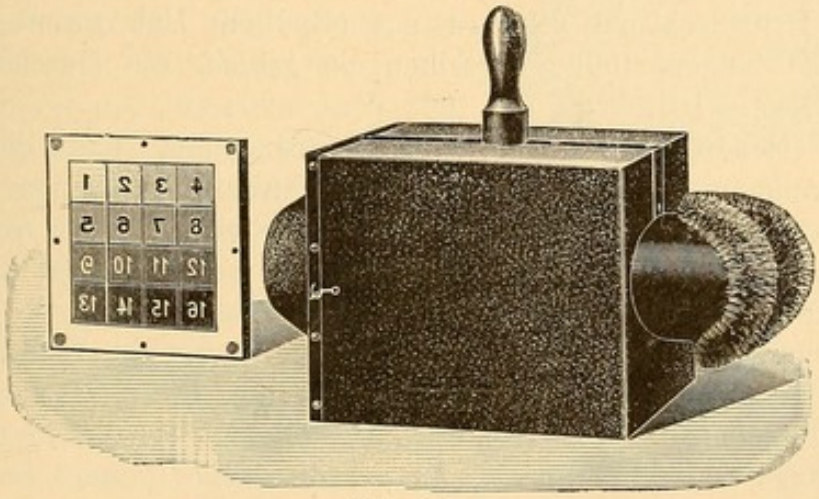


Fig. 89.

Beobachtung stärkerer Teile, z. B. des Beckens grossen Schwierigkeiten begegnet. Hier zeigt auch heute noch die photographische Aufnahme ihre volle Überlegenheit (Seite 131).

Offenbar giebt es also keine für alle Zwecke gleich gut geeignete Röhre, und der Anfänger wird, wenn er mehr als mittelmässige Erfolge erzielen will, Mühe genug haben, seine Apparate zu beherrschen und für jeden besonderen Fall geeignet auszunutzen. Vor allem muss er sie dazu von Grund aus verstehen, mit Regeln und Vorschriften, die doch nicht für alle Vorkommnisse ausreichen, ist ihm wenig

und nur für das Gröbste gedient. Ein Geübter kann allerdings mit einer einzigen Röhre viel ausrichten. Er wird sie für jeden Körperteil besonders härten, geeignet aufstellen, passend mit Strom belasten und vor allen Dingen niemals von ihr verlangen, was sie nicht zu leisten vermag.

Man hat daher Apparate konstruiert, welche ein Urteil über die jeweilige Leistungsfähigkeit der Röhre erleichtern sollen und in der Hand des Geübteren ohne Zweifel auch einen bedingten Wert haben mögen. Der Anfänger wird durch sie meist mehr verwirrt als unterstützt werden. Diese als „Skiameter", Aktinometer u. s. w. in den Handel gebrachten Instrumente beruhen auf folgendem Prinzip (Fig. 89 nach Kohl-Chemnitz).

Zwischen Fluorescenzschirm und Röhre, und zwar dicht an ersterem anliegend, befindet sich eine Skala aus Staniolblättchen, welche stufenweise übereinander liegen, so dass der Reihenfolge nach jedes folgende der sich bildenden kleinen Quadrate ein Staniolblättchen mehr als das vorhergehende in Uebereinanderlage enthält. Jedem der Quadrate ist eine Zahl aus Blei aufgefügt, derart, dass das erste freibleibende die Zahl *1* und das letzte, welches aus 15 übereinander gelegten Blättchen besteht, die Zahl *16* trägt. Die Zahlen erscheinen im Schattenbilde auf dem Leuchtschirme schwarz auf erhelltem Untergrund und zwar eine um so längere Reihe derselben, je grösser die Durchstrahlungskraft der Röhre ist.

Zur sicheren Benutzung des Instrumentes, das die Staniolskala zusammen mit einem kleinen Leuchtschirm in einem Kästchen vereinigt enthält, gehört einige Uebung. Um einen festen Abstand von der Röhre zu sichern, hat das Kästchen an seinem einen Ende einen Tubus, der gegen die Röhre gedrückt wird.

Es versteht sich, dass das Skiameter nur ein Urteil über die Durchdringungskraft der Strahlen erlaubt, über die spezifischen Eigenschaften derselben, also über die Kontrastwirkungen, welche sie hervorbringen, sagt es nichts aus. Und gerade darauf kommt es meist an. Es kann z. B. eine Röhre im Skiameter eine sehr hohe Zahl zeigen und trotzdem für Durchleuchtung und Photographie unbrauchbar sein, auch kann es vorkommen, dass eine Röhre von hoher Durchdringungskraft eine verhältnismässig niedrige Zahl sichtbar macht, da, wie wir gesehen haben, die Leuchtwirkung des Fluorescenzschirmes mit dem Härterwerden der Röhre zurückgeht.

Von störendstem Einfluss ist das Fluorescenzlicht auf dem Beobachtungsschirm ausserhalb des Schattenbildes bei kleineren Objekten. Man verwendet dann mit Vorteil eine Kollektion von Pappblenden mit verschiedenen Ausschnitten, die zur jeweiligen Grösse des beobachteten Gegenstandes ausgesucht und auf die fluorescierende Schicht gelegt werden.

Für alle Untersuchungen muss das Zimmer möglichst vollkommen verdunkelt werden können, doch kann man sich, um diese Unbequemlichkeit zu umgehen, auch eines lichtdichten Tuches bedienen, das man rings am Rande des Leuchtschirms mit Reissnägeln befestigt und über den Kopf nimmt. Hat man ein verstellbares Stativ zur Hand, so wird der Leuchtschirm vorteilhaft an demselben in passender Höhe befestigt.

Ein recht bequemes Instrument, welches in gleicher Weise die Beobachtung auch bei Licht erlaubt, wird als „Kryptoskop“ oder „Fluoroskop“ vielfach verkauft. Es ist nichts anderes als ein Leuchtschirm, von dem durch einen passend gestalteten Papptrichter fremde Lichtstrahlen abgehalten werden (Fig. 90 nach Levy-Berlin). Die Papphülse verjüngt sich zu einem Einguckloche, welches zum dichten Abschluss mit Genille umfüttert ist. Ein seitlicher Griff dient zur Handhabe. Beim Gebrauch des Instrumentes überzeuge man sich durch öfteres Aufschauen, ob sich in der Stellung vom Objekt zur Röhre nichts geändert hat.

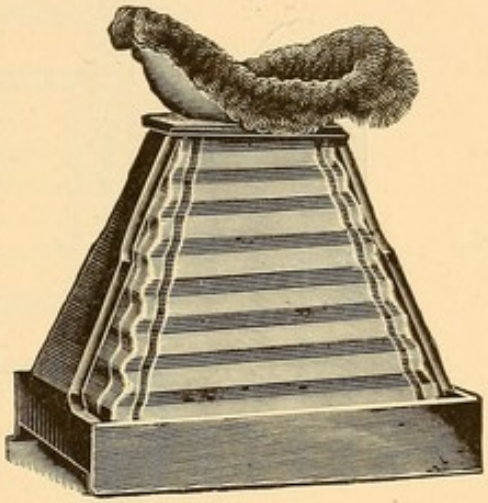


Fig. 90.

Bei Durchleuchtung grösserer runder Körper ist die starre Form des Schirmes wegen der Verzerrung und Undeutlichkeit der Schatten nach dem Rande zu ungünstig. Man fertigt daher vielfach flexible Schirme ohne Rahmen an, die dem jeweilig zu untersuchenden Körperteil eng angeschmiegt werden können.

Wie überall, so ist auch bei der Radioskopie viel Übungssache; nicht jeder wird gleich im Anfange imstande sein, die Bewegung des Herzens zu erkennen, oder den Schatten der Staubgefässe in einer geschlossenen Blüte zu sehen. Der Anfänger versäume daher niemals, sich über die Ursache jeder noch so feinen Schattennüance Rechenschaft zu geben und sich selbst Aufgaben zu stellen, wo immer er Gelegenheit dazu hat. Man lege z. B. zwei verschieden grosse Münzen zwischen verschiedene Seiten in ein Buch und versuche durch Hin- und Herdrehen und am Schattenwurf zu erkennen, welche von beiden die dem Schirm nähere ist; vielleicht kann man auch etwas über die ungefähre Entfernung beider von einander angeben. Oder man lasse verschiedene Gegenstände in einer Kiste verbergen und bestimme Art, Lage, Form und womöglich auch Material derselben; man bemühe sich durch Betrachtung des Schattens eines Körperteiles bei verschiedenen Stellungen desselben ein Urteil über seine wahre Gestalt zu bilden; man zähle die Herzschläge u. s. w.

Messmethoden.

Mangel an Übung im gewissenhaften Beobachten verschuldet oft falsche chirurgische Eingriffe zur Entfernung von Fremdkörpern. Allerdings kann nicht geleugnet werden, dass sich die Lage derselben

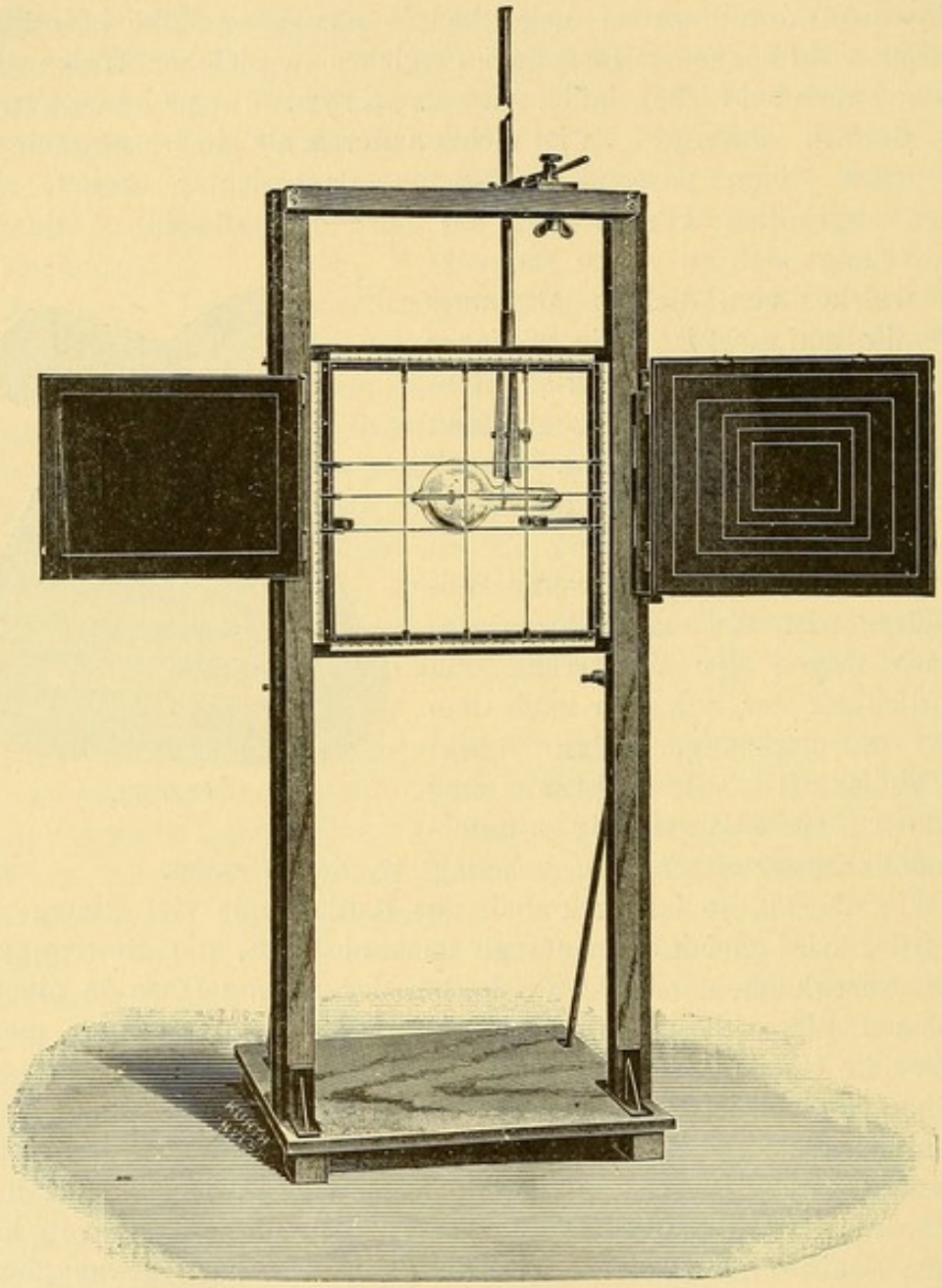


Fig. 91.

ebenso schwer mit absoluter Genauigkeit bestimmen lässt, als es im allgemeinen leicht ist, ihre Anwesenheit nachzuweisen.

Man ist daher bemüht gewesen, Messinstrumente zu konstruieren, die der Schätzung zu Hilfe kommen sollen.

Das Messstativ von Dr. A. Hoffmann (konstruiert von Kohl-Chemnitz) besteht aus einem hohen festen Rahmen, in dem sich ein kleinerer quadratischer Rahmen schlittenartig der Höhe nach verschieben

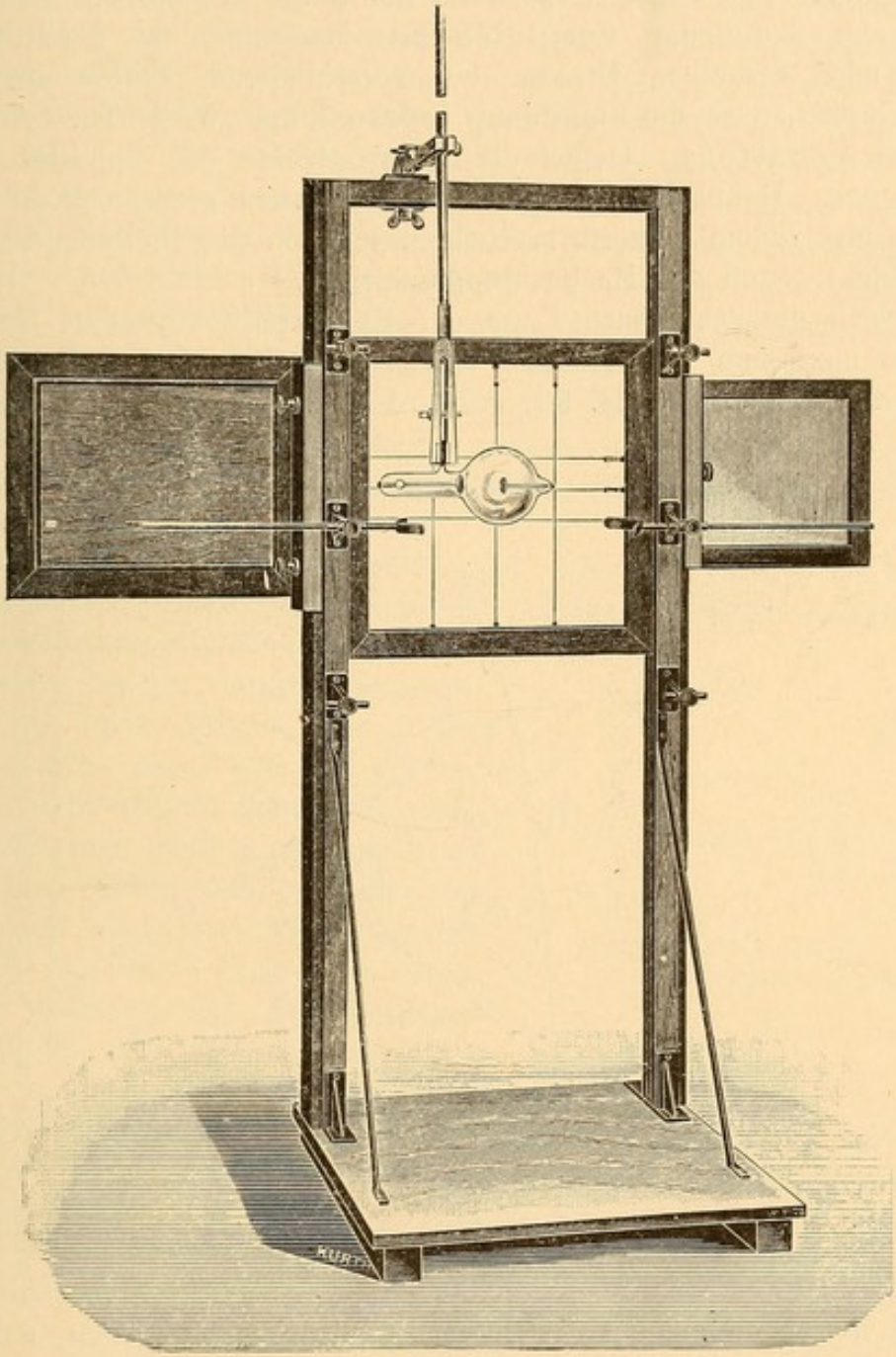


Fig. 92.

lässt (Fig. 91 und Fig. 92). Letzterer trägt an seinen Leisten Skalen von Metall, über welche wechselseitig mit Drähten verbundene Schieber laufen. An dem Stativrahmen sind mit Scharnieren ein Leuchtschirm und eine photographische Kassette befestigt, die vor das bewegliche

Drahtsystem geklappt werden können. Tritt eine Person zwischen Röhre und Rahmen, so projizieren sich zugleich mit den Organen auch die Drähte und es ist leicht, dieselben auf die Umrisse des Schattens einzustellen. Die Mafse werden an der Skala abgelesen. Das Instrument kann dazu dienen, vergleichende Messungen des Schattenwurfes eines und desselben Organs zu verschiedenen Zeiten anzustellen, vorausgesetzt, dass die Anordnung jedesmal die gleiche ist. Aber auch nur des Schattens. Ueber die wahre Grösse des Objektes sagt es nichts aus. Denn der Schattenwurf wird stets grösser sein, als das Objekt und zudem verzerrt erscheinen je nach der Stellung der Röhre, des Objektes und des Beobachtungsschirmes.

Auch die scheinbare Lage der Körperteile verändert sich. Betrachtet man zum Beispiel den Gegenstand *K* auf dem Leuchtschirm bei dem Röhrenort *A*, (Fig. 93) so wird derselbe zwischen den Schatten

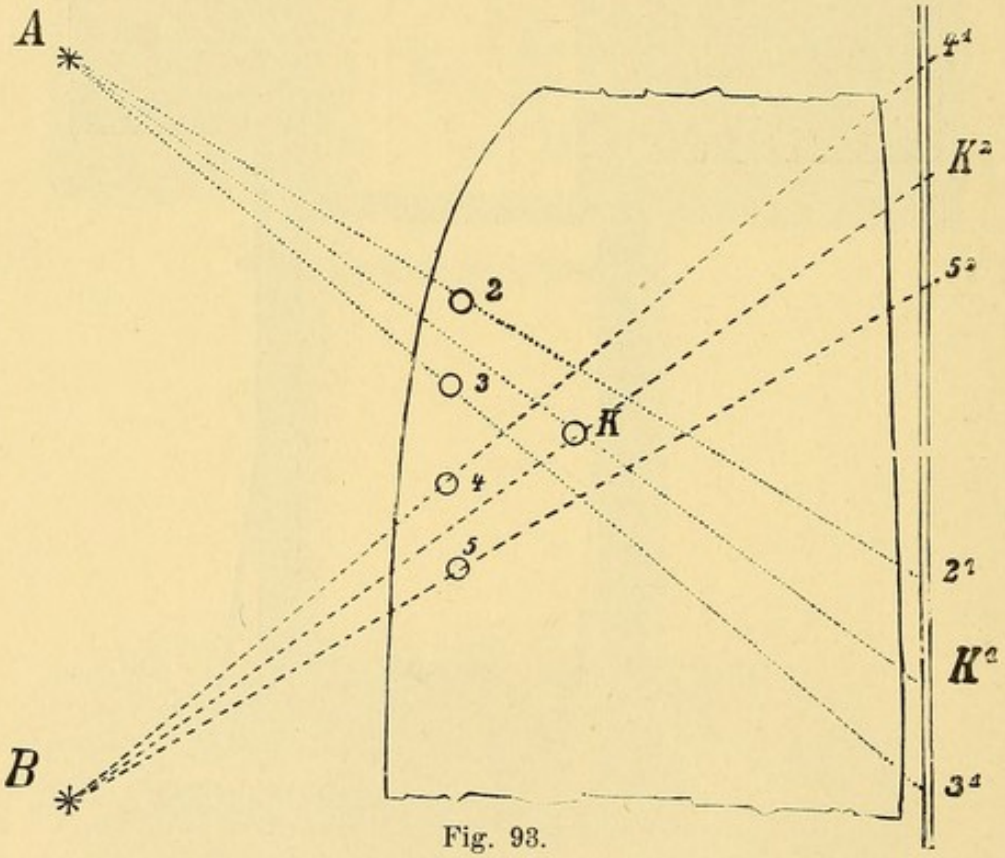


Fig. 93.

2^1 und 3^1 erscheinen, die den vor *K* liegenden Körpern *2* und *3* angehören. Bei dem Röhrenstand *B* dagegen erscheint der Schatten K^2 zwischen den von den Körpern *4* und *5* herrührenden Schattenbildern 4^1 und 5^1. Die Röhrenstellung *A* lässt also den Gegenstand *K* zwischen *2* und *3*, die Röhrenstellung *B* zwischen *4* und *5* vermuten. In Wirklichkeit liegt derselbe jedoch zwischen *3* und *4*. Vollends über die Entfernung des Fremdkörpers von der Oberfläche oder von den

vor ihm liegenden Körpern bleiben wir, ohne Zuhilfenahme einer aus der Parallaxe abgeleiteten trigonometrischen Rechnung, ganz im Unklaren, wenn wir nicht die mit der Entfernung vom Leuchtschirm zunehmende Unschärfe der Objekte zu einem ungefähren Urteil benutzen wollen.

Es liegt nun allerdings nahe, die Lage durch den Schattenwurf eines Vergleichskörpers zu finden, dessen Abstand von dem Leuchtschirm man beliebig ändern kann und dessen Schatten auf gleiche Schärfe mit dem des zu bestimmenden Objektes gebracht wird. Aber abgesehen davon, dass der Vergleichskörper zum mindesten doch aus entsprechendem Material bestehen müsste, befindet sich auch das freie Vergleichsobjekt unter wesentlich anderen Beleuchtungsverhältnissen und kann nur unter Berücksichtigung dieser mit dem Fremdkörper verglichen werden. Dazu gehört freilich viel Übung.

Einfacher und sicherer ist schon die Methode der Berechnung durch Koordinaten; sie setzt freilich voraus, dass es möglich ist, den zu untersuchenden Körper nach zwei aufeinander senkrechten Achsen zu beobachten.

Ergiebt z. B. die Beobachtung I (Fig. 94) auf dem Leuchtschirm eine Entfernung des Fremdkörperschattens von der Aussenkontur des Untersuchungsobjektes von *a mm*, eine zweite zu ihr senkrecht ausgeführte *(II)* einen Abstand von *b mm*, so lässt sich, wenn wir die Vorderseite des Objektes betrachten, der Fremdkörper in einer Entfernung von *a mm* vom linken Schattenrand und von hier aus in einer Tiefe von *b mm* suchen. Natürlich ist seine Lage nur angenähert bestimmt, da die Schattenprojektion für alle Teile des Objektes niemals zugleich senkrecht auf dem Beobachtungsschirm stehen kann. Eine ziemlich umständliche Korrektion muss daher besonders bei Objekten mit unregelmässiger Begrenzung stets angebracht werden. Immerhin ist die Betrachtung nach zwei aufeinander normalen Richtungen ein gutes Orientierungsmittel.

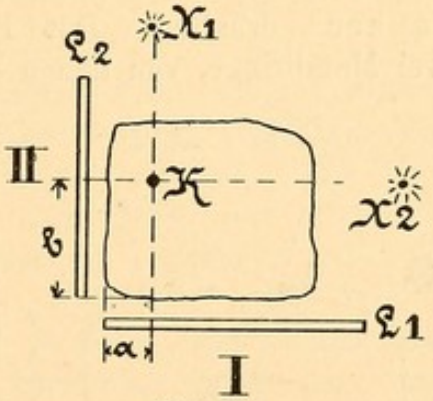


Fig. 94.

Hierfür ein einfaches Beispiel: Ein Glied des menschlichen Körpers, z. B. der Unterarm möge einen kleinen Fremdkörper, vielleicht ein Schrotkorn, enthalten, dessen genaue Lage festzustellen ist.

Man projiziert den Arm zunächst in der Richtung der beiden Unterarmknochen (Fig. 95) beispielsweise so, dass der Daumen der flachen Hand nach dem Fluorescenzschirm zeigt. Der Schatten des Fremdkörpers möge sich dann unterhalb der vereinigten Knochenschatten zeigen. Man weiss nun jedenfalls, dass der Körper nach der Hand-

flächenseite zu liegen wird. Um seine Lage fest zu bestimmen, wird der Arm langsam um 90° gedreht, so dass der Daumen nach oben gerichtet ist. Während sich die Schatten der Elle und Speiche von einander trennen, bewegt sich das Schattenbild des Fremdkörpers nach oben und deckt sich schliesslich mit der Speiche. Hierdurch wird die Lage desselben eindeutig bestimmt; er muss von der Handflächenseite aus betrachtet zwischen Haut und Speiche liegen. Ueber die Tiefe, bis zu welcher der Fremdkörper eingedrungen ist, giebt die erste Durchleuchtung genügenden Aufschluss.

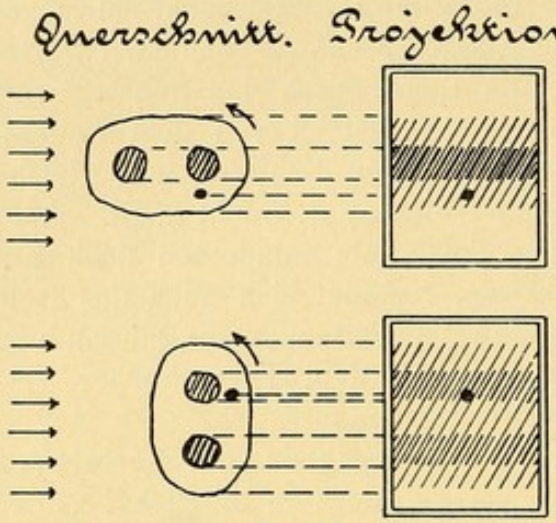


Fig. 95.

Ein entschieden sehr brauchbares Instrument hat die Schattenmesskunde in dem, von der Gesellschaft Voltohm-München in neuester Zeit in den Handel gebrachten, Dr. Rosenthal'schen „Punktographen" erhalten. Das Prinzip desselben ist ein sehr einfaches. Zwei Metallringe, von denen der eine auf die Röhrenseite, der andere auf die Schirmseite des zu untersuchenden Körpers aufgelegt wird (Fig. 96), werden so lange verschoben, bis sich ihre Schattenbilder auf dem Fluorescenzschirme decken. Es wird leicht sein, dieselben so zu dirigieren, dass auch der Schatten eines Fremdkörpers *K* innerhalb der Ringe erscheint. Die Stellungen derselben werden dann auf der Haut markiert (*1, 2*). Verschiebt man die Röhre um eine beliebige Strecke, so lässt sich der Körper abermals in die Ringe fassen, man erhält zwei neue Marken (*3, 4*), und es ist sofort klar, dass der gesuchte Körper auf dem Schnittpunkte der Verbindungslinien *1—2* und *3—4* liegen muss. Hieraus lässt sich leicht seine Entfernung von einer der beiden Objektflächen aus einer einfachen Proportion berechnen.

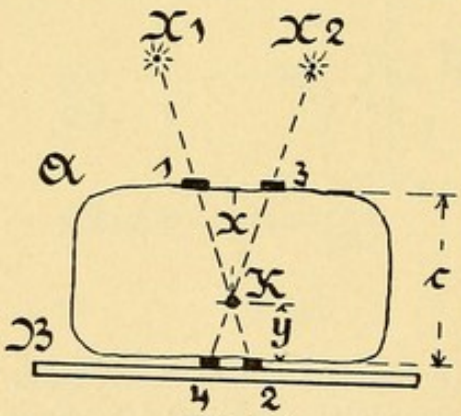


Fig. 96.

Ist d die Dicke des Objektes
a der Abstand der Ringe auf der Fläche A,
b der Abstand der Ringe auf der Fläche B,
x die Entfernung des Fremdkörpers von der Fläche A,
y die Entfernung des Fremdkörpers von der Fläche B,

so ist allgemein

$$x = \frac{a \cdot d}{(a + c)}; \quad y = \frac{b \cdot d}{(a + b)}.$$

Beispiel: Die Dicke des Untersuchungsobjektes betrage $d = 20$ cm; es wird gemessen $a = 30$ cm, $b = 10$ cm, so ist die Entfernung des Fremdkörpers von der Fläche A

$$x = \frac{30 \cdot 20}{30 + 10} = 15 \text{ cm};$$

von der Fläche B

$$y = \frac{10 \cdot 20}{30 + 10} = 5 \text{ cm}.$$

Der „Punktograph“ (Fig. 97) markiert durch einen Druck den Mittelpunkt der Ringe und zwar die zueinander gehörigen Punkte in derselben Farbe.

Da die Verbindungslinien nur gedacht sind, so wird es namentlich bei umfangreichen Objekten einige Übung erfordern, den Schnittpunkt

Fig. 97.

an die richtige Stelle zu verlegen. Verfasser konnte das Instrument nicht selbst prüfen, glaubt jedoch, dass dasselbe recht wohl verwendbar ist, was auch von anderer Seite bestätigt wird.

Die mitgeteilten Formeln gelten genau natürlich nur für den Fall vollkommener Parallelität der Flächen A und B; praktisch kommt eine kleine Abweichung nicht in Betracht.

Die bisher besprochenen Methoden gestatten nur vergleichende Messungen der Schattenbilder oder die Bestimmung der Lage eines Körpers innerhalb eines anderen, über die „wirkliche Grösse“ derselben, sowie über die „wahre Entfernung“ zweier verborgener Körper von einander erhalten wir durch sie keinen Aufschluss. Gerade letztere zu wissen, ist für die Medizin von hoher Bedeutung.

Eine vom Verfasser konstruierte Vorrichtung, welche von Ernecke-Berlin gebaut wird, versucht dem Mangel abzuhelfen. Sie beruht auf dem Gedanken, das Schattenbild dort, wo es beobachtet wird, stets senkrecht auf den Fluorescenzschirm fallen zu lassen, so dass mit dem Schatten zugleich die wahre Grösse des Objektes gemessen wird.

Zu dem Zwecke ist die Röntgenröhre über einer in Millimeter geteilten Skala S (Fig. 98) verschiebbar angeordnet. Fest verbunden mit der Röhre X gleitet ein Indexschieber über die Skala und lässt den Röhrenort ablesen. Am Röhrenhalter ist ein leichter, aber fester Metallbügel befestigt, welcher der Röhre gegenüber einen Leuchtschirm L_1

trägt. Nach Lösen einer Schraube *M* lässt sich der Schirm der Röhre mehr oder weniger nähern. Er ist mit einer Metallmarke versehen, welche so justiert ist, dass die Verbindungslinie zwischen ihr und der Antikathode bzgl. dem Röhrenindex stets senkrecht auf der Skala steht. Zwischen Röhre und Schirm, welch letzterer sich zugleich mit der Röhre bewegt, wird das zu untersuchende Objekt gebracht. Es handle sich z. B. darum, die wahre Entfernung zweier in einem Körper *K* befindlichen Knochen von einander zu messen. Die Röhre wird verschoben, bis sich auf dem Beobachtungsschirm die Marke mit dem inneren Rande des Knochens *1* deckt. Am Röhrenindex wird dessen Stellung durch einen Laufschieber markiert und dann Röhre und Schirm in der Richtung des Pfeiles weitergeschoben, bis die Schirmmarke mit der Kontur des Knochens *2* zusammenfällt. Die Differenz der Ablesungen auf der Skala ergiebt dann ohne weitere Rechnung die wahre Enfernung der Knochen von einander. Soll die Grösse eines Körpers gemessen werden, so wird auf den rechten und linken Rand desselben eingestellt. Um die Messungen nach allen Seiten hin vornehmen zu können, lassen sich Skala und Bügel beliebig verstellen. Wesentlich ist, dass die Objekte, deren Distanz bestimmt werden soll, in eine zur Skala möglichst parallele Ebene gebracht werden. Ist dieselbe nicht genau bekannt, so macht man mehrere Messungen, indem man das Objekt in der Richtung der kleinen Pfeile (Fig. 98) hin- und herdreht. Der grösste erhaltene Wert der Zahlenreihe ist dann der wahrscheinlichste. In allen Fällen erspart eine vorangehende Orientierung mit dem Fluorescenzschirm Zeit.

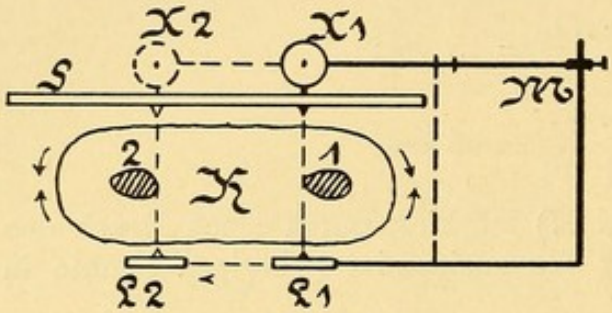


Fig. 98.

Die Instrumente werden mit oder ohne Fluorescenzschirm gebaut; in letzterem Falle trägt der Metallbügel nur einen Index und der Schirm wird so vor denselben gehalten, dass er ihm ohne Berührung möglichst nahe kommt. Bei einiger Übung ist es nicht schwer, leichteren Objekten gegenüber eine Genauigkeit der Messung von 1—2 %, bei schwierigeren eine solche von 2—5 % zu erzielen.

VIII. Abschnitt.

Die Radiographie.

Neben der Radioskopie wird die Radiographie überall da ihren Platz behaupten, wo es von Wichtigkeit ist, das von den Röntgenstrahlen entworfene Schattenbild dauernd zu fixieren oder wo es sich darum handelt, von besonders dichten und starken Körpern, welche die Strahlen in hohem Mafse absorbieren, Abbildungen zu erhalten. Denn das Auge ist nicht fähig, einander folgende Eindrücke zu summieren. Jeder Lichtstrahl, der, von der Linse koncentriert, auf die Netzhaut fällt, bewirkt allerdings eine Zersetzung des Sehpurpurs, aber dieser wird in jedem Augenblick durch neuen, von der Lebensthätigkeit hervorgebrachten, Farbstoff ersetzt. Das eben entstandene Bild verschwindet wieder von der Netzhaut, indem es durch die Funktion des Sehnerven dem Gehirn und dem Bewusstsein übermittelt wird. Anders die photographische Platte. Jeder Lichteindruck, mag er an und für sich auch noch so gering und scheinbar wirkungslos sein, übt doch eine, mit der Belichtungsdauer wachsende, chemische Zersetzung auf sie aus und führt schliesslich zu einem sichtbaren Endresultat, welches als Summe aus sämtlichen Momentaneindrücken aufzufassen ist.

Die moderne photographische Platte ist die „Trockenplatte", so genannt im Gegensatz zur nassen Platte der früheren photographischen Technik, welche vom Photographen selbst präpariert und sofort „noch nass" zur Aufnahme verwendet werden musste. Unsere heutigen Platten, deren Haltbarkeit und Bequemlichkeit gegenüber den nassen Platten den ganzen Aufschwung des photographischen Dilettantismus erzeugt haben, werden von besonderen Fabriken angefertigt und bestehen im allgemeinen aus einer Glasfolie mit einem einseitigen Ueberguss von Gelatine. Ein Zusatz von Bromkalium und Silbernitrat macht die Emulsion lichtempfindlich. Es findet zwischen den genannten Chemikalien eine Wechselzersetzung unter Bildung von Kaliumnitrat und Bromsilber statt. Das Kaliumnitrat wird ausgewaschen und es bleibt allein das Bromsilber zurück, welches in der Emulsion fein verteilt enthalten ist. Die Gelatineschicht trocknet dann ein, die Platte ist versandfähig und hält sich dunkel und trocken aufbewahrt lange Zeit.

Das Bromsilber wird durch den Einfluss des Lichtes zersetzt und zwar um so mehr, je stärker und länger der Lichteindruck ist. Aber auch die Art des Lichtes ist nicht gleichgiltig. Lässt man z. B. das Sonnenspektrum auf die photographische Platte fallen, so wird auch nach langer Exposition sich die Stelle, auf welche das Rot fiel, so gut wie gar nicht, wenig die vom Gelb getroffene Partie, mehr schon der dem grünen Licht ausgesetzte Teil der Bromsilber-Emulsion zersetzen. Am wirksamsten ist das blaue und violette Licht.

Man sieht, dass die brechbareren Lichtstrahlen von dem Bromsilber am stärksten absorbiert werden, denn nur so lässt sich ihre Wirksamkeit erklären. Die anderen Lichtarten gehen dagegen durch die Schicht um so wirkungsloser hindurch, je mehr sie sich in der Reihenfolge Violett, Blau, Grün, Gelb, Rot, dem Rot nähern.

Aber auch jenseit des Violett, im Gebiet jener kurzwelligen Aetherschwingungen, welche das Auge als Licht nicht mehr zu empfinden vermag, hört die chemische Einwirkung nicht auf; das photographierte Sonnenspektrum zeigt sich gegen das mit blossem Auge gesehene über das Violett hinaus nicht unbeträchtlich verlängert. Es giebt also auch „unsichtbare“ Strahlen chemischer Wirksamkeit. Gleichwohl gehören die Röntgenstrahlen, obgleich sie ebenfalls unsichtbar und aktinisch sind, nicht in das Gebiet der ultravioletten Strahlen.

Ihre Wirkung auf die photographische Platte besteht hingegen ebenso wie die des Lichtes in einer Einleitung der Zersetzung des Silbersalzes. Vollendet wird dieselbe durch die Behandlnng der Platte in reduzierenden Lösungen, welche die Silberteilchen an den belichteten Teilen kräftiger ausscheiden als an den unbelichteten. Da die Ausscheidung des Silbers unter Schwärzung desselben erfolgt, so erscheint in allen Abstufungen auf der lichtempfindlichen Schicht ein Bild, das dem auf der Platte liegenden und von den Röntgenstrahlen in seinen einzelnen Partieen mehr oder weniger durchdrungenen Gegenstande entspricht. Aber es entsteht ein Negativ, da die tiefsten Schatten in der Emulsion naturgemäss die geringste Zersetzung hervorrufen.

Die photographische Technik schreibt der Reihe nach folgende Manipulationen vor:

Negativprozess:
1. Das Einlegen der Platte in die Kassette.
2. Die Bestrahlung der Platte.
3. Das Entwickeln, Fixieren und Fertigmachen der Platte.

Positivprozess:
1. Das Kopieren der Platte zur Herstellung eines positiven Bildes.
2. Das Fertigmachen der Abzüge (Tonen, Fixieren u. s. w.).

Die aufgeführten Punkte sollen im Folgenden nur in soweit besprochen werden, als ihre Kenntnis zur Herstellung einer guten Radiographie nötig ist.

Das Einlegen der Platte.

Es ist allgemein bekannt und nach dem Vorangegangenen versteht es sich eigentlich von selbst, dass sämtliche Operationen mit der Platte, soweit sie sich nicht auf die Aufnahme selbst beziehen, in einem Raume vorgenommen werden müssen, der Schutz vor aktinischen Strahlen gewährt. In dieser Dunkelkammer wird die Beleuchtung durch rotes Licht hergestellt, welches wir als am wenigsten chemisch wirksam bereits kennen gelernt haben.

Wenn es irgend die Verhältnisse gestatten, sollte man stets für die Dunkelkammerarbeiten einen besonderen Raum zur Verfügung haben und nicht darauf angewiesen sein in demselben Zimmer, in welchem die Röntgen-Einrichtung aufgebaut ist, auch entwickeln zu müssen.

Man wählt zur Dunkelkammer einen kleinen Raum, der womöglich kein Fenster enthält (Keller). Alles etwa von der Thürrahmenritze her eindringende Licht wird sorgfältig abgeblendet und evtl. vor der Thüre noch durch einen dichten Vorhang zurückgehalten. Etwa vorhandene Fenster verklebt man am besten mit schwarzem, undurchlässigem Papier und nagelt ein dichtes Tuch vor den Rahmen. Hat sich das Auge allmählich an die Dunkelheit gewöhnt, so werden sich hie und da noch Undichtigkeiten zeigen, die ebenfalls beseitigt werden müssen. Sehr bequem ist es, da wo die Mittel dazu reichen, eine Dunkelvorrichtung anbringen zu lassen, bestehend aus einem dicken filzartigen Vorhang, der sich von einer Walze in seitlichen Nutenführungen lichtdicht vor dem Fenster herabrollt.

Die Beleuchtung erfolgt durch eine rot verglaste Laterne. Das Licht derselben sollte durchaus monochrom sein. Man kann jedoch darauf rechnen, dass von zehn angebotenen roten Scheiben nur eine den Anforderungen genügt. Am besten ist das sogenannte rote spektroskopisch geprüfte Kupferüberfangglas. Auf folgende einfache Weise kann man sich selbst ein Urteil über den Wert der Scheibe bilden. Man hält dieselbe gegen das Fenster oder gegen eine Lampe und blendet das Licht durch eine mit einem Schlitz versehene Pappscheibe bis auf einen schmalen Streifen ab. Betrachtet man den roten Lichtstreif durch ein Prisma, dessen brechende Kante parallel zum Schlitz gehalten wird (durch Drehen des Prismas und Hin- und Herbewegen des Auges findet man das Bild leicht auf), so muss der Spalt klar begrenzt und nur in roter Farbe erscheinen; zeigt das Bild einen ver-

waschenen Rand in gelber, grüner oder gar blauer Färbung, so ist die Scheibe für photographische Zwecke untauglich.*)

Eine andere Probe kann mit einer Platte gemacht werden, welche man, zur Hälfte mit einem Karton bedeckt, in der Dunkelkammer dem Licht der Laterne aussetzt und dann entwickelt. Zeigt sich nach einer Exposition von 1—2 Minuten bei einem Abstand von 1 Meter von Laterne kein Unterschied zwischen den Plattenhälften, so kann die Laterne brauchbar genannt werden.

Roten elektrischen Glühlampen gegenüber hege man einiges Misstrauen. Sind dieselben nur mit einem Anilin-Kollodium-Ueberguss gefärbt, so sind sie meist völlig unbrauchbar; sie sollten ebenfalls aus rotem Ueberfangglas bestehen, das wegen der grossen Leuchtkraft des Lampenfadens recht dunkel sein muss. Man lasse sich jedoch hierdurch nicht verleiten zu glauben, dass allemal ein möglichst dunkles Glas auch unaktinisch sein müsse.

Die elektrische Dunkelkammer-Beleuchtung, so bequem sie auch sein mag, ist nur dann zu empfehlen, wenn sie an den Centralenstrom angeschlossen werden kann. Der Betrieb von der Batterie, welche auch die Röntgenstrahlen-Einrichtung speist, wird sehr teuer und entzieht die Akkumulatoren in zu hohem Mafse ihrem eigentlichen Zweck. Die besten Dienste thut noch immer eine einfache Petroleumlampe (Flurlampe) mit einem guten, von einer Lichtkappe gekrönten roten Cylinder. Ein Tuch oder eine um Glasbassin und Brennerkorb befestigte Papiermanschette verhindert den Austritt weissen Lichtes nach unten.

Die Einrichtung der Dunkelkammer sei so einfach wie nur möglich. Ein einfacher, fester Tisch und über demselben an der Wand ein Paneelbrett zum Aufstellen der wenigen Chemikalien genügen; schliesslich reicht auch ein mit frischem Wasser gefüllter Eimer zum provisorischen Abspülen der Platten aus. Hat man jedoch Wasserleitung und Ausguss im Zimmer, so wird man sich dieser Einrichtung mit grossem Vorteil bedienen; glaubt man auf ein Abwaschen der Platten mit fliessendem Wasser nicht verzichten zu dürfen, dann kann man mit Hilfe einer hoch aufgestellten grossen Glasflasche und eines Hebers mit etwas Gummischlauch eine Spülvorrichtung leicht improvisieren.

Besondere, mit allen Vorrichtungen versehene Entwickelungstische werden von verschiedenen Firmen gebaut, Fig. 99 zeigt einen solchen in der bewährten Ausführung von Levy-Berlin. Er enthält alles, was man nur braucht: Ein Schalenregal, seitlich einen Auszug für das Fixierbad, Brett für Chemikalien, Dunkelkammer-Laterne u. s. w.

*) Allenfalls kann man für den Versuch ein gut geschliffenes Prisma von einer Krystallkrone nehmen.

Für das stetig zu bewegende Entwickelungsbad ist eine Wippe mit schwerem Pendelgewicht vorgesehen.

Man braucht für jede Operation eine besondere Schale aus Porzellan oder Papiermaché, welche stets nach Gebrauch auf das peinlichste gesäubert werden muss. Ebenso darf

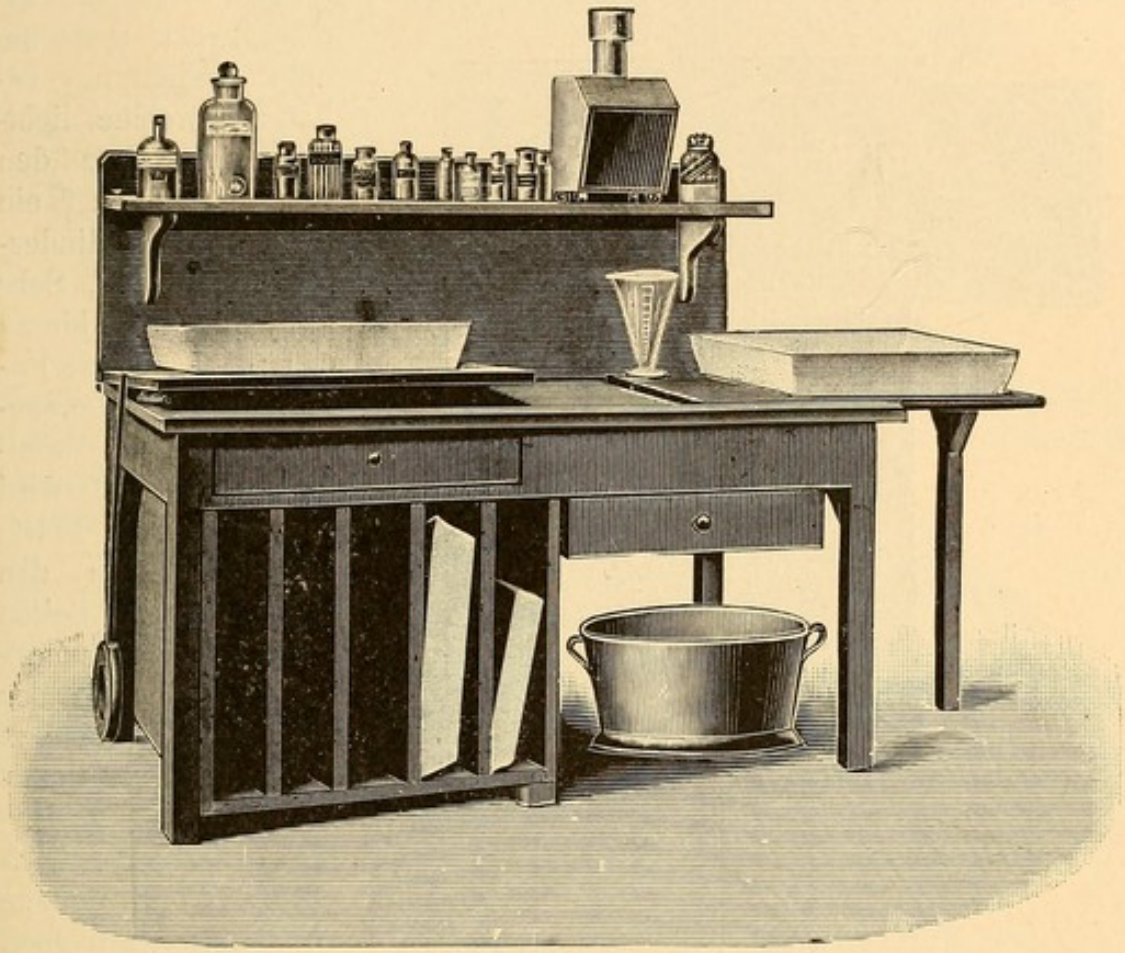


Fig. 99.

eine Verwechselung durchaus nicht vorkommen. Man gebe daher jeder Schale eine deutliche, ihren Gebrauchszweck andeutende Aufschrift.

Zum Aufbewahren der neuen entwickelten Platten verwendet man zweckmässig ein kleines staubdichtes Schränkchen (Fig. 100). Muss das Aufnahmezimmer zugleich als Dunkelkammer dienen, so denke man an die materiedurchdringende Kraft der Röntgenstrahlen und mache es sich zur Regel, unentwickelte Platten niemals in der Nähe der Röhre aufzubewahren, sondern womöglich in einem anderen Zimmer oder in einem mit Bleiblech ausgeschlagenen Kasten. Anfänger sündigen gegen dies Gebot sicherlich mehr als einmal.

Die Platte wird (natürlich bei rotem Licht) aus dem Karton genommen und mit einem weichen, breiten Pinsel gut abgestaubt. Man vermeide es hierbei, sie dem Lichte mehr als nötig auszusetzen.*)

Die mattweisse Seite der Platte ist die lichtempfindliche, sie soll später den einfallenden Röntgenstrahlen ausgesetzt werden. Zu dem Zweck muss sie eine Umhüllung erhalten, welche lichtdicht ist, ohne den Röntgenstrahlen ein nennenwertes Hindernis zu bieten. Sehr gut eignet sich hierzu das mattschwarze Papier, welches alle photographischen Handlungen führen. Es wird sauber um die Platte geschlagen, an den überstehenden Seiten nach hinten umgekniffl und auf der Seite nach welcher zu die Schicht liegt, mit Kreide bezeichnet. Mehrere solcher Couverts für verschiedene Plattengrössen werden fertig gekniffl vorrätig gehalten. Jede Berührung der Plattenschicht mit der Hand ist durchaus zu vermeiden. Man fasst die Platte an der Kante mit Daumen und Zeigefinger beider Hände und unterstützt dieselbe mit den anderen Fingern nötigenfalls von der Glasseite her.

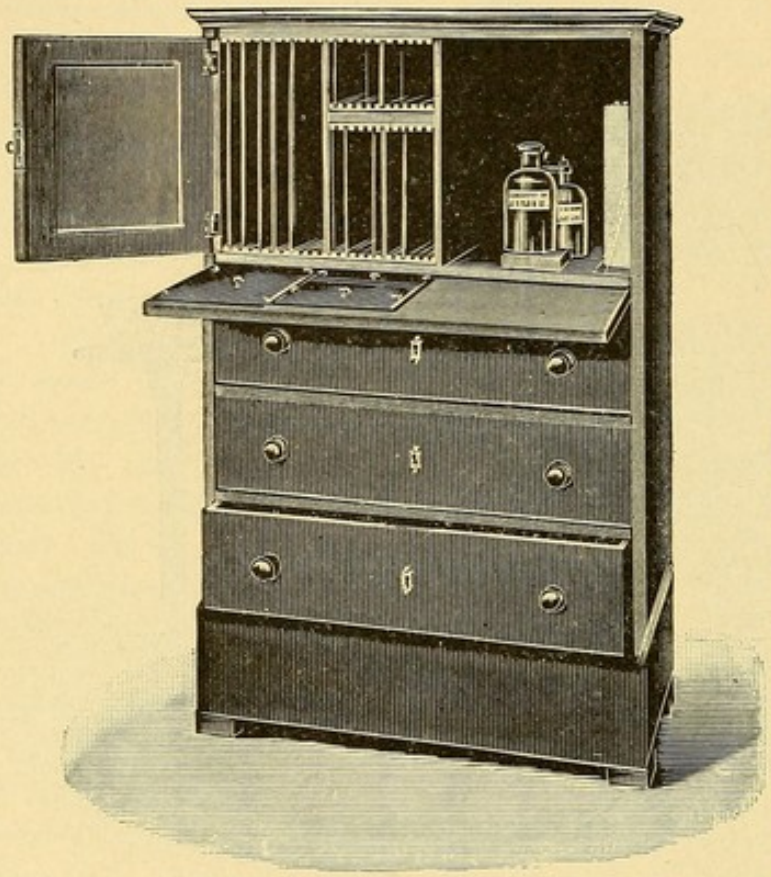


Fig. 100.

Sehr bequem sind Kassetten, deren eine Wand aus dünner, lichtdichter Pappe besteht (Fig. 101 nach Kohl-Chemnitz). Die Platte wird so eingelegt, dass die empfindliche Schicht die Pappseite berührt. Eine Kassette für mehrere Plattenformate muss ineinander passende Rahmeneinsätze haben, deren Mafse aussen auf dem Deckel ebenfalls im Linienumriss angegeben sind (Fig. 102 nach Levy-Berlin).

*) Auch vergesse man nicht vor dem Verlassen der Dunkelkammer die Platten wieder sorgfältig in das schwarze Papier einzuwickeln und den Karton lichtdicht wieder zu schliessen.

Die Bestrahlung der Platte.

Die Bestrahlung kann nun bei vollem Tageslicht vorgenommen werden. Man hat dafür zu sorgen, dass die Mitte der Platte möglichst

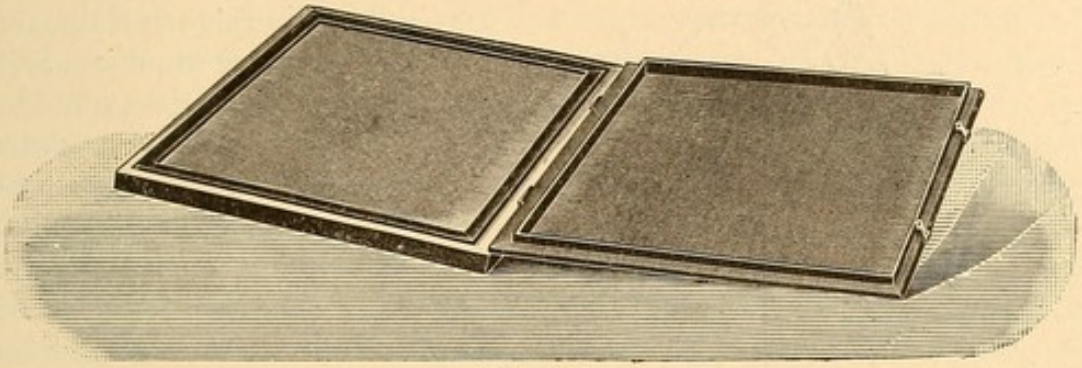


Fig. 101

senkrecht von den Röntgenstrahlen getroffen wird und dass der Körper, dessen Schattenwurf auf ihr erscheinen soll, sich der Kassettenoberfläche gut anschmiegt. Die Versuchsanordnung ist also sehr einfach (Fig. 103). Die Kassette liegt auf einer festen Unterlage, Schichtseite der Platte nach oben, der Abstand der Röhre richtet sich nach der Dicke des Objektes und auch nach der Schärfe, welche erzielt werden soll, ausserdem ist je nach der Schlagweite des Induktors, um das Ueberspringen von elektrischen Entladungen auf das Objekt zu verhüten ein Sicherheitsabstand zwischen diesem und der Röhre einzuhalten; 15—20 cm werden meistens genügen.

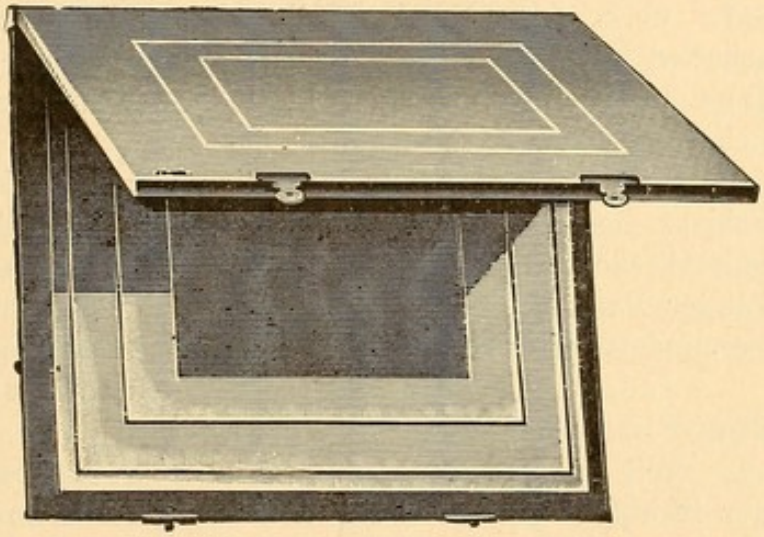


Fig. 102.

Man beachte, dass mit der Annäherung der Röhre an das Aufnahmeobjekt die Verzerrung des Schattenbildes wächst. Schon aus diesem Grunde wird es empfehlenswerth sein, einen gewissen Minimalabstand von der Platte einzuhalten, für die Handaufnahme etwa 15 bis 25 cm, für ausgedehntere Objekte natürlich entsprechend mehr. Von der zweckmässigen Wahl des Röhrenabstandes hängt für die Auf-

nahme viel ab, ebenso wie von der Stellung der Röhre. Dass der Ausgangspunkt für die Röntgenstrahlen, die Antikathode, möglichst senkrecht über der Plattenmitte stehen müsse, wurde bereits gesagt, es ist noch hinzuzufügen, dass die von den Kathodenstrahlen getroffene Seite des Platinbleches von allen Stellen der Platte sichtbar sein muss. Um ein möglichst gleichmässiges Bild zu erzielen, wird man oft — vorausgesetzt, dass dadurch zu starke Verschiebungen nicht eintreten — die Röhre über den dichtesten Teil des Objektes aufstellen, z. B. bei einer Aufnahme der Hand nicht senkrecht über der Mitte derselben, sondern über den Handwurzelknochen. Die Verzerrung der Fingerschatten ist, wegen ihrer dichten Anlage an die Platte, hierbei gering. Eine Parallelität zwischen Platte und Platinblech ist nicht erforderlich (Fig. 103).

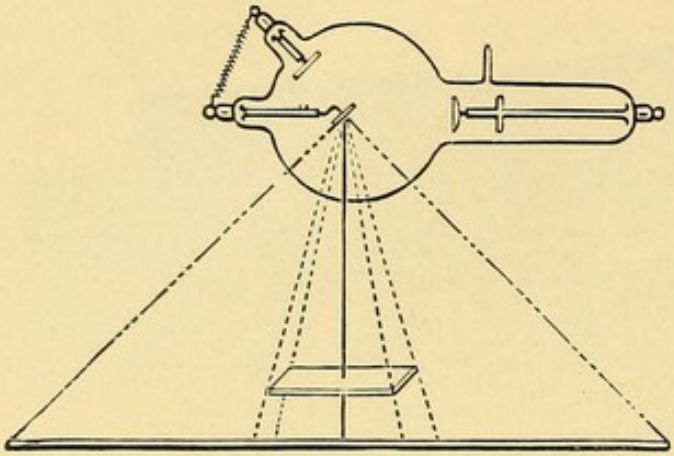


Fig. 103.

Verwendet man nur in Papier eingewickelte Platten, so wird die Schicht bei längerer Exposition leicht durch die feuchte Wärme des animalischen Objektes beeinflusst. Dann ist es zweckmässig einige Blätter Papier unterzulegen, durch welche die Strahlung nicht wesentlich vermindert wird; ein Stückchen Guttaperchapapier eignet sich am besten.

Jeder Aufnahme sollte eine Untersuchung der Röhre mit dem Fluorescenzschirm vorangehen.

Wir haben bereits erwähnt, dass die photographische Wirksamkeit der Strahlen wesentlich vom Zustande der Röhre abhängt. Der Grad der Luftverdünnung spielt dabei die Hauptrolle und wir können nach den bisher gemachten Erfahrungen sagen, dass jedenfalls die von harten Röhren herrührenden, also mit der grössten Durchdringungskraft ausgerüsteten Strahlen, die chemisch wirksamsten nicht sind. Je nach der Zusammensetzung der empfindlichen Schicht, werden diejenigen Strahlen für photographische Aufnahmen am geeignetsten sein, welche am Fluorescenzschirm die stärksten Kontraste zwischen Fleisch und Knochen hervorrufen und hierbei das Feld am stärksten aufleuchten machen. Auch die Fluorescenz der Röhrenwände scheint dann ein Maximum zu sein und zeigt ein gesättigtes, intensives Grün, ohne dass im übrigen bereits blaues Glimmlicht an der Kathode aufträte.

Man reguliert daher vor der Aufnahme die Röhre so ein, dass bei kräftiger Fluorescenz die Knochenschatten der Hand, welche allgemein als Versuchsobjekt dienen, eben beginnen bei kontrastvoller Tiefe doch schon deutliche Gliederung und Struktur zu zeigen.

Ist die Röhre erst so hart geworden, dass der Schattenwurf seine Kontraste zu verlieren und eine schwer zu beschreibende Fadenscheinigkeit anzunehmen beginnt, so wird man niemals eine gute Aufnahme erzielen. Solche Röhren verwendet man dann ausschliesslich für Objekte, deren Kompaktheit und Stärke eine grössere Durchdringungskraft der Röntgenstrahlen erfordern (Radioskopie).

Da es sich meist um längere Expositionszeiten handelt, sorge man vor allem für eine sichere und bequeme Lage des Objektes. Mit Hilfe einiger zusammengelegter Tücher und kleiner Klötzchen wird sie leicht zu erreichen sein, am leichtesten natürlich bei einfachen Objekten wie z. B. bei der Hand und dem Unterarm, die man auf einem Tisch auflagern lassen und passend unterstützen kann. Aufnahmen des Oberarmes, des Brustkastens, der unteren Extremitäten sind natürlich schwerer zu arrangieren, aber bei einigem Geschick wird man sich auch dort ohne besondere Vorrichtungen behelfen können. Man bedenke, dass man es ja gar nicht nötig hat, das Objekt passend zur Röhre anzuordnen, sondern vielmehr richtiger die Röhre in die günstigste Stellung zum Objekt bringt.

So lassen sich die Aufnahmen des Schädels, des Oberarmes, des Kniegelenkes u. a. m. sehr gut vornehmen, wenn der Kopf mit der Platte gegen die Wand gedrückt, bzgl. die Kassette zwischen Oberarm und Brustkasten oder endlich zwischen die beiden Kniee eingeklemmt wird. Die Röhren-Anordnung ist dann in allen Fällen seitlich zum Objekt.

Oft ist man jedoch in der freien Beweglichkeit von Objekt und Röhre behindert, so z. B. bei Schwerkranken, deren Lage man nicht unnütz verändern möchte. In solchen Fällen leisten die von den meisten Fabriken gebauten Kassettenstative durch ein Anpassen der Platte an den zu untersuchenden Körper von allen Seiten her gute Dienste (Fig. 104 nach Ernecke - Berlin). Ein in der Höhe verstellbares kräftiges Stativ aus Holz ist am oberen Ende der vierkantigen Auszugsäule mit einem Scharnier und letzteres wiederum mit einem Kugelgelenk versehen, so dass die mit demselben verbundene Kassette nach allen Seiten hin frei beweglich ist. Die Abbildung veranschaulicht die Stellung zur Aufnahme des Ellenbogen-Gelenkes. Eine zweckmässige Vorrichtung gestattet gleichzeitig auch die Röhre in einer bestimmten Stellung der Platte gegenüber zu fixieren.

Ist zur Aufnahme alles bereit, so ist die Frage nach der Expositionszeit zu beantworten und das ist heute bereits recht schwierig.

Vor nicht allzulanger Zeit war die Antwort sehr einfach: Man bestrahle so lange, als es der Zustand der Röhre und die Geduld des Patienten irgend zulässt, das Resultat wird doch eine Unterexposition der Platte sein. Verfasser kann sich recht gut der Zeit erinnern, wo die Aufnahme einer Hand noch $^3/_4$ Stunden und länger dauerte. Heute ist das anders geworden. Die vervollkommneten Apparate machen allerdings eine Überexposition, wenigstens leichteren Objekten gegenüber, möglich; hier entscheidet allein die Erfahrung.

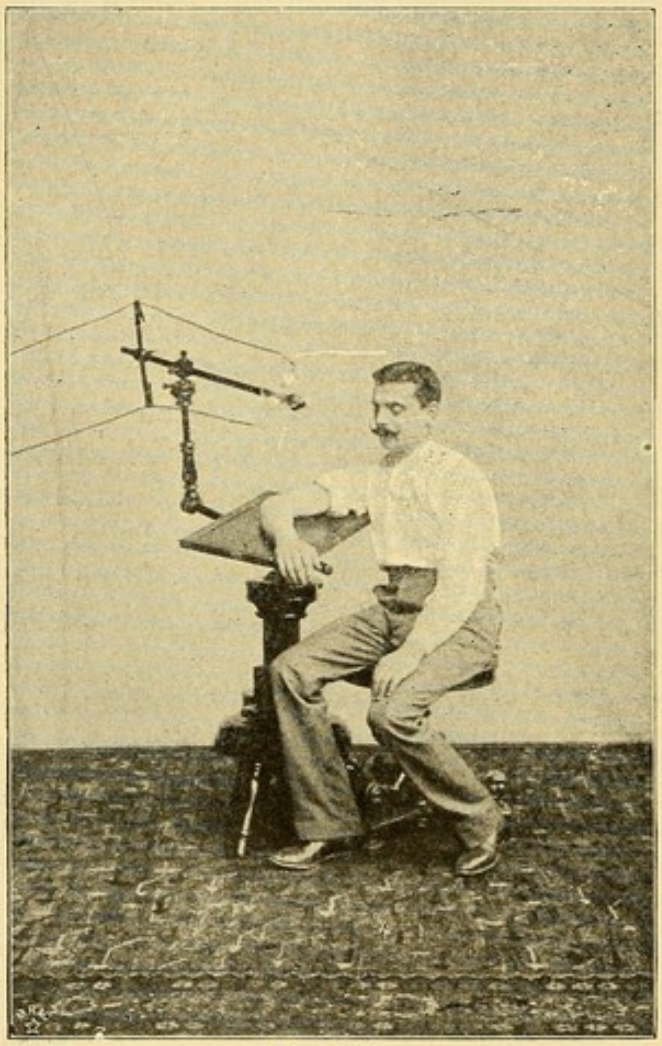


Fig. 104.

Wenn daher nachstehend einige Fingerzeige und Regeln gegeben werden, so sollen sie jedenfalls nur zur rohen Orientierung dienen und dem Anfänger die gröbsten Fehler ersparen.

Die Röntgenröhre sendet wie eine Lichtquelle Energie in den Raum aus, welche schnell abnimmt und zwar wie beim Licht mit dem Quadrat der Entfernung vom Ausstrahlungspunkt. So wird also eine photographische Platte in doppelter Entfernung eine viermal geringere Energiemenge in der Zeiteinheit erhalten oder zur Erzeugung desselben chemischen Zersetzungseffektes einer viermal so langen Zeit bedürfen. Natürlich wächst diese Zeit noch mit der Dichte des zwischen der Platte und der Röhre befindlichen Mediums.

Ist z. B. in einem Falle die Expositionszeit = 1 gefunden bei einem Röhrenabstande = 3 und der Dichte des Zwischenmediums = 1, und soll dieselbe für ein Medium von der Dichte = 3 bei einem Röhrenabstand = 6 bestimmt werden, so ist folgende Erwägung nötig.

Es ist ohne weiteres verständlich, dass die Strahlungswirkung abnehmen wird mit der Dichte des Mediums, mit anderen Worten, dass

sie ihr umgekehrt proportional sein muss. Infolgedessen ist die Expositionszeit der Dichte proportional und erhöht sich mithin in unserem Falle zunächst auf den Wert 3. Ausserdem ist noch der Zuwachs an Entfernung zu berücksichtigen. Dieselbe beträgt im ersteren Falle 3, im zweiten 6 und hat also um das Doppelte zugenommen und daher die Expositionszeit um das Vierfache erhöht. Mithin setzt sich die zu bestimmende Expositionszeit aus den Beträgen $1 \cdot 3$ und $1 \cdot 4$ zusammen; sie wird gleich der Summe beider, also $= 3 + 4 = 7$ sein.

Jedenfalls kann die Expositionszeit nur vergleichsweise bestimmt werden unter der Voraussetzung, dass sich ausser der Dichte des Objektes und dem Abstand der Röhre nichts ändert. Das ist nun leider stets der Fall und hier ist die Stelle, wo die Erfahrung korrigierend und entscheidend eintreten muss.

Ausser mit der Dichte des Zwischenmediums wächst die Expositionszeit auch mit der Dicke des Mediums. Das Produkt beider kann als Gesamtwiderstand gegen die Durchstrahlung angesehen werden.

Zur leichteren Auffindung der Expositionszeit sind in der beistehenden Tabelle die Widerstände einzelner menschlicher Körperteile zusammengestellt, wobei der Widerstand der Hand mit 1 bezeichnet wurde.

Tabelle.

Widerstand einzelner Körperteile gegen Röntgenstrahlung in Verhältniszahlen. Mittelhand = 1.

	W.		W.
Hand	1	Brustkorb	3—4
Unterarm	1,4	Brustbein	3,8
Ellenbogengelenk . .	1,5	Fuss	1,4
Oberarm	1,8	Unterschenkel . . .	1,8
Schultergelenk . . .	3	Knie	2
Schlüsselbein . . .	2,7	Oberschenkel . . .	3—5
Hals	3	Hüftgelenk	5—6
Schädel	4,5	Becken	8—10

Einige Beispiele werden genügen, um die Benutzung der Tabelle zu zeigen. Für eine bestimmte Röhre, bestimmtem Abstand derselben von der Platte, bekannte Stromstärke und Unterbrechungszahl, wird die Expositionszeit für irgend einen Körperteil, aus Bequemlichkeitsgründen am besten für die Hand, bestimmt. Von dieser Erfahrungsbasis aus lässt sich dann die Aufnahmezeit für einen anderen Körperteil unter Berücksichtigung dessen, was wir bereits über den Einfluss

der Dichte des Körpers und des Röhrenabstandes sagten, folgendermafsen ableiten.

Ist a der Röhrenabstand bei der Handaufnahme
z die Zeit, welche zu dieser Aufnahme erforderlich war,
ferner b der Röhrenabstand für die herzustellende Aufnahme
W der Durchleuchtungs-Widerstand des aufzunehmenden Körpertheiles nach der Tabelle; dann ist
die erforderliche Expositionszeit

$$z' = z \,.\, W \,.\, \left(\frac{b}{a}\right)^2$$

Beispiel I: Die zu einer Handaufnahme erforderliche Zeit z betrage 15 Sekunden ($z = 15$), der Röhrenabstand von der Platte 20 cm ($a = 20$); zu bestimmen sei die Expositionszeit für einen Brustkorb.

Aus der Tabelle findet man $W = 4$; die Stärke des Objektes möge einen Röhrenabstand von 40 cm erforderlich machen ($b = 40$), dann lautet die Gleichung:

$$z' = 15 \,.\, 4 \,.\, \left(\frac{40}{20}\right)^2$$
$$= 60 \,.\, 2^2 = 60 \,.\, 4 = 240 \text{ Sekunden}$$
$$= 4 \text{ Minuten.}$$

Beispiel II: Mit einer Röhre, welche in 17,5 cm Entfernung ($a = 17{,}5$) eine gute Handaufnahme bereits in 8 Sekunden möglich macht ($z = 8$), soll ein Becken aufgenommen werden. Die Korpulenz der Person mache einen Röhrenabstand von 64 cm nötig ($b = 64$). Aus der Tabelle ist für das Becken $W = 8$; dann ist

$$z' = 8 \,.\, 8 \,.\, \left(\frac{64}{17{,}5}\right)^2$$
$$= 64 \,.\, 3{,}66^2 = 858 \text{ Sekunden}$$
$$= 14 \text{ Minuten, } 18 \text{ Sekunden.}$$

Es braucht wohl nicht nochmals darauf hingewiesen zu werden, dass diese Bestimmungen nur Näherungswerte sind, die durch das Spiel verschiedener Faktoren nicht unbeträchtlich verschoben werden können. So wird zu berücksichtigen sein, dass die Tabellenzahlen sich nur auf die Messungen an derselben Person beziehen können und dass es nicht angängig ist, jeder Aufnahme irgend eines Körperteiles die Aufnahme der Hand desselben Individuums vorangehen zu lassen. Hier ist es Sache des Gefühls zu entscheiden, wie man auf Grund des vom Leuchtschirm gelieferten Bildes bei einem angenommenen Röhrenabstande, auf die Hand, richtig exponieren würde. Dann behalten die Tabellenzahlen ihren Wert.

Zur Exposition ist ein Sekundenchronometer recht bequem, welches zugleich mit dem Beginn der Bestrahlung von dem Betrage O zu

zählen beginnt. Das Zifferblatt ist in $^1/_5$ Sekunden eingeteilt. Beim ersten Druck auf die Knopfkordel beginnt der grosse Zeiger umzulaufen, während ein kleinerer die ganzen Minuten anzeigt. Bei einem zweiten Druck werden die Zeiger arretiert, beim dritten springen sie auf *O* zurück (Fig. 105 nach Kohl).

Schwierige Aufnahmen.

Jede Aufnahme muss als schwierig angesehen werden, bei der die Beschaffenheit des Aufnahme-Objektes eine lange Expositionszeit bei starker Inanspruchnahme der Röhre erforderlich macht. Nicht als ob hierbei an die Unschärfe gedacht würde, welche durch die willkürlichen Bewegungen des Objektes entsteht. Hier lässt sich durch geschickte Anordnung und Unterstützung des Körpers genügende Ruhe erzielen. So kann man Brust- und Beckenaufnahmen — und um diese handelt es sich hier vorzugsweise — durch Lagerung des Patienten auf einen Tisch mit untergeschobener Platte machen, ohne dass sich der zu Untersuchende wesentlich bewegen wird.

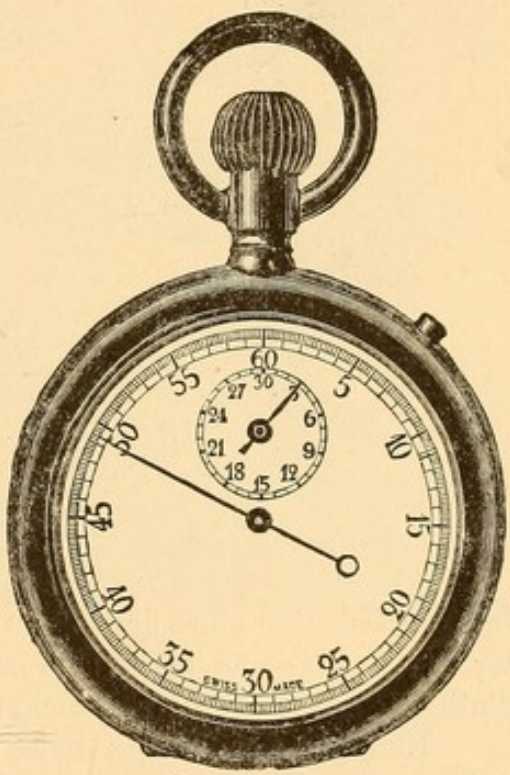


Fig. 105.

Soll die Kassette auf der Bauchseite aufliegen, was z. B. erforderlich ist, wenn ein Fremdkörper mehr der Front zu vermutet wird, so braucht die sichere, liegende Stellung nicht aufgegeben zu werden. Man kann dann die Röhre unterhalb des Objektes anordnen, vorausgesetzt, dass ein Tisch vorhanden ist, dessen Platte durch einen mit festem Segeltuch straff überspannten Rahmen ersetzt ist. Derartige Aufnahmetische werden in verschiedenen Formen konstruiert; Fig. 106 zeigt einen solchen von Kohl in Chemnitz. Derselbe ist mit einer besonderen Vorrichtung zur Unterstützung des Oberkörpers versehen, ein seitlich an dem Tischrahmen befestigtes Stativ trägt, in der Höhe und nach allen Seiten verstellbar, die Kassette. Die Röhre wird unter dem Tisch angeordnet.

Für Brustaufnahmen zieht Verfasser, wenn es der Zustand des Patienten erlaubt, ein Sitzen des Körpers mit ruhiger Anlage desselben an die Stuhllehne vor (Fig. 107). Die Befestigung der Kassette an der

Stuhllehne macht alle besonderen Vorrichtungen entbehrlich und die gewohnte Stellung des Körpers bei horizontalem Röhrenabstand wirkt weniger beängstigend auf den zu Untersuchenden als eine gestreckte Lage auf einem Tisch unterhalb der unheimlich leuchtenden Röhre und der funkensprühenden Drähte.

Die gesteigerte unwillkürliche Bewegung des Atmens als Ausfluss einer starken Erregung ist der photographischen Aufnahme besonders im Wege, namentlich wenn es sich um die Aufsuchung eines Fremdkörpers von geringen Abmessungen handelt. Denn es ist verständlich,

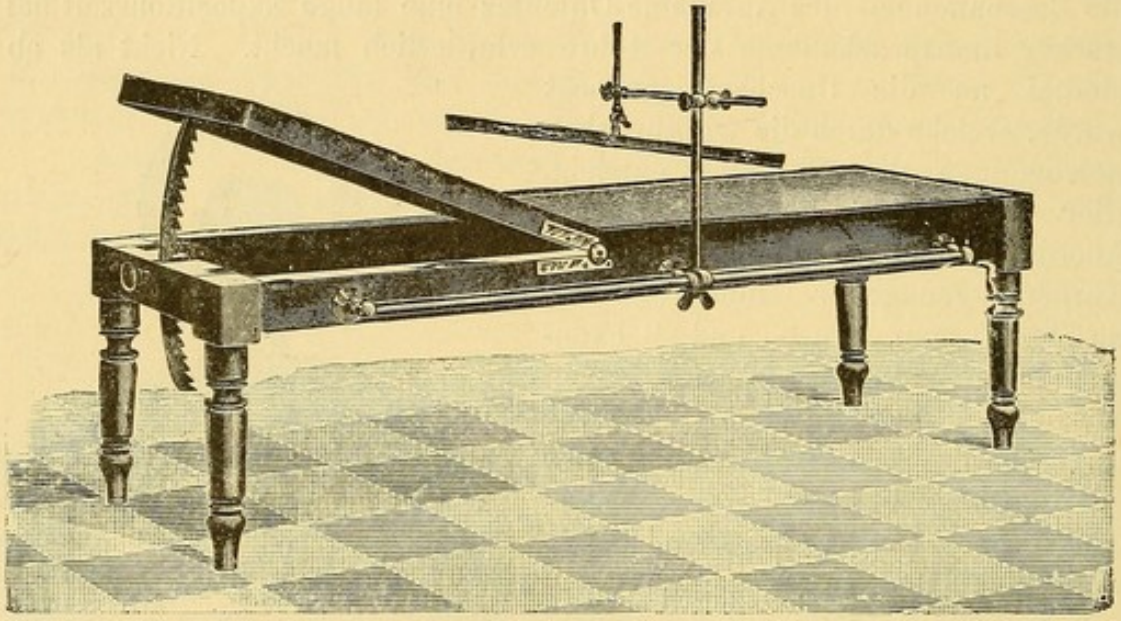


Fig. 106.

dass der Schatten eines derartigen Körpers durch die Atembewegungen auf der Platte hin- und hergeführt wird und unter Umständen bei grosser Plattendistanz mit Sicherheit nicht mehr erkannt und gedeutet werden kann.

Nun hat man es in neuerer Zeit durch Hilfsmittel, welche wir weiter unten kennen lernen werden, zwar zuwege gebracht, Brustkorb-Aufnahmen bei angehaltenem Atem zu machen, aber diese gehören doch zu den Ausnahmen. Will man bei längeren Expositionen möglichste Schärfe erzielen, so lasse man zu Anfang tief Atem holen, wodurch die Lungensäcke mit Luft gefüllt und durchscheiniger werden, und beschränke weiterhin die Tiefe der Atemzüge auf ein Mindestmafs. Aber nicht jeder Patient wird zu dieser Art Atmung fähig sein. Es ist daher vielleicht von Interesse, eine hübsche Anordnung kennen zu lernen, die, von Thomson angegeben, dahin zielt, die Röhre jedesmal nur dann einzuschalten, wenn sich die Lungensäcke mit Luft gefüllt haben. Dies geschieht automatisch. Auf der Brust des Liegenden wird in irgend einer sicheren Weise in aufrechter Stellung ein kleines, etwa zur Hälfte mit Quecksilber gefülltes Glasröhrchen befestigt. Von oben her, und

durch ein seitlich aufgestelltes Stativ gehalten, kann in das Röhrchen ein Metallstift eingeführt und so in der Höhe justiert werden, dass er immer dann in das Quecksilber eintaucht, wenn die Brust des Atmenden sich voll gehoben hat. Tritt diese Vorrichtung an Stelle des Ausschalters in den Primärstromkreis, so wird in der That eine Bestrahlung selbstthätig nur in den Augenblicken tiefster Einatmung erfolgen und jedenfalls die Aufnahmeobjekte immer wieder auf dieselbe Stelle der Platte projizieren. Dies ist das Prinzip der Thomson'schen Anordnung. Welche Modifikationen dieselbe für den praktischen Gebrauch angenommen hat, ist dem Verfasser unbekannt, auch glaubt er kaum, dass sie noch viel Anwendung finden wird, nachdem es gelungen ist, mit Hilfe des elektrolytischen Unterbrechers Aufnahmen des Brustkorbes in wenigen Sekunden zu machen.

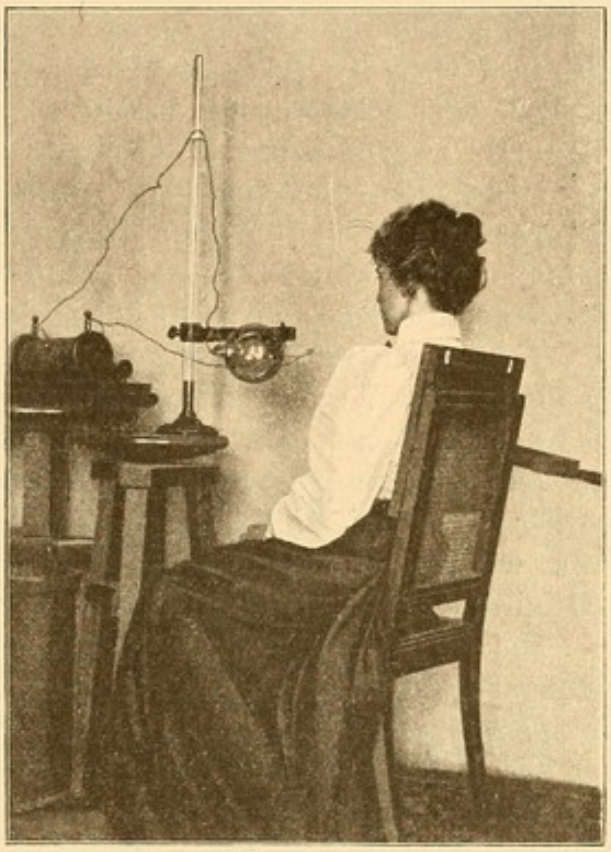


Fig. 107.

Beim Thorax liegen die Aufnahmebedingungen noch verhältnismässig günstig. Die Muskulatur, welche vorzugsweise einer Durchstrahlung hinderlich ist, tritt in dünnen Lagen auf, die Lungensäcke bieten kaum einen nennenswerten Widerstand und die Knochenpartieen liegen dicht an der Platte an. Auch die Röhrenentfernung kann gering genommen werden, da man von vornherein darauf verzichten muss, auch die der Röhre zunächstliegenden Partieen der Rippenreifen mit zur Darstellung zu bringen. Daher wird in allen Fällen mit einem Röhrenabstande von etwa 40 cm von der Platte eine genügend grosse Schärfe erzielt werden können.

Anders beim Becken. Hier vereinigen sich alle Umstände, um die Durchstrahlung zu einer denkbar ungünstigen zu machen. Nicht nur, dass die inneren Teile von einer sehr kräftigen Muskulatur eingeschlossen sind, nicht nur, dass die in den Därmen eingeschlossenen Kotmassen ein hohes Widerstandsvermögen besitzen, auch der Abstand des Knochengerüstes von der Platte ist ein nicht unbeträchtlicher, von welcher Seite man dieselbe auch anlegen mag. Ausserdem herrscht

zwischen den Knochen und den sie umgebenden Fleischteilen ein ungünstiges Verhältnis. Das ist folgendermafsen zu verstehen. Die Knochenkörper sind zwar an und für sich spezifisch bedeutend dichter und daher durchstrahlungsfester als die sie umgebenden Fleischmassen, aber jene übertreffen sie bei weitem an Stärke. Nun nimmt aber der Durchstrahlungs-Widerstand nicht nur mit der Dichte sondern auch mit der Stärke zu und so kommt es, dass der Gesamt-Widerstand der Fleischteile fast eben so hoch ist als der der Knochen. Freilich wird sich trotzdem der Schattenwurf immer etwas markieren müssen, da die Differenz zwischen dem Widerstande der Knochen und dem der durch jene verdrängten Fleischpartieen additiv gegenüber dem Gesamt-Widerstande des Fleisches zum Ausdruck kommen muss. Aber jedenfalls wird dies Plus sehr gering sein und unter Umständen bei korpulenten Personen unmerklich werden können.

Ausserdem zeigen die zarten Knochenschatten des Beckens auf der Platte eine Verwaschung, welche sich aus dem grossen Abstande der Knochen von der Platte allein nicht erklären lässt. Denn auch eine Vergrösserung des Röhrenabstandes über das schon an und für sich zur Vermeidung allzugrosser Verzerrungen erforderliche Mafs ändert daran wenig. Der Grund für diese Erscheinung ist vielmehr eine Diffusion der Röntgenstrahlen innerhalb der Fleischteile.

Man weiss, dass die X-Strahlen diffus werden, sobald sie das Vakuum der Erzeuger-Röhre verlassen haben, d. h. dass jedes von ihnen getroffene Luftteilchen wiederum seinerseits, wenn auch in verringertem Mafse fähig ist, Röntgenstrahlen auszusenden. Dies tritt noch intensiver in den dichteren Fleischteilen auf und die Strahlen werden dort zerstreut, wie etwa ein Lichtstrahl in einer milchigen Flüssigkeit. So dringen nicht nur von aussen, von der Röhre her, Strahlen in den Körper, sondern es bilden sich Strahlen-Quellen auch innerhalb desselben aus, deren Wirkung, wenn sie seitlich erfolgt, in einer Verschleierung der Schattenkonturen besteht. Man muss daher bestrebt sein, die Bestrahlung aller den aufzunehmenden benachbarten Körperteile möglichst zu verhindern. Das geschieht mit Hilfe der Bleiblenden.

Zwischen Röhre und Platte tritt ein Schirm aus Blei mit einem, dem Plattenformat entsprechenden Ausschnitt.

Kohl in Chemnitz konstruiert derartige Bleiblenden, indem er einen Kasten mit passenden Ausschnitten für Leib und Extremitäten über das Becken stellt. Der Deckel ist durch ein viereckig ausgeschnittenes Bleiblech ersetzt; ein weiterer Blendenaufbau, sich bis zur Röhre erstreckend, vervollständigt den Apparat (Fig. 108).

Verfasser verwendet kleinere Blenden und bringt dieselben gleich unterhalb der Röhre mit einer Klemme an, welche am Röhrenstativ

selbst befestigt ist. Die genaue Einstellung der Blende ist trotzdem sehr einfach. Zunächst wird die Röhre so aufgestellt, dass sie die gewünschte Entfernung von der Platte hat, darauf wird an Stelle der Platte ein Fluorescenzschirm auf den Aufnahmetisch gelegt und dann

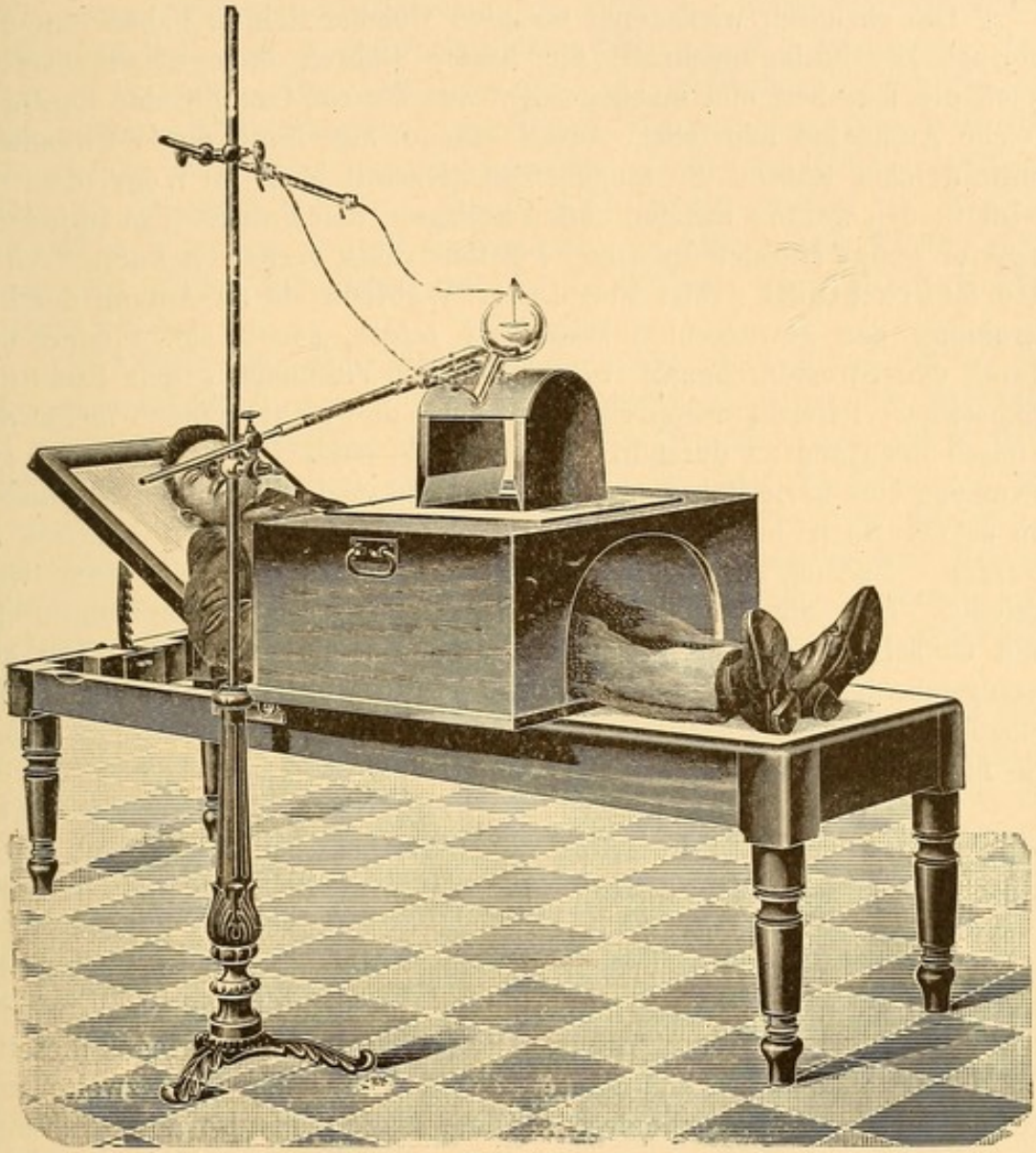


Fig. 108.

die Blende in der Höhe so verstellt, dass gerade nur ein der Plattengrösse entsprechendes Stück des Schirmes zum Aufleuchten kommt. An diese Stelle wird dann die Platte und darüber das Aufn-Oahmebjekt gelegt.

Ein gewisser Nutzen lässt sich den Bleiblenden nicht absprechen, immerhin ist derselbe den sonstigen ungünstigen Aufnahmebedingungen gegenüber doch mehr ein theoretischer.

Im Vorangehenden wurden nur die Schwierigkeiten besprochen, die für eine Beckenaufnahme aus den eigentümlichen Verhältnissen dieses Objektes selbst hervorgehen. Weit misslicher ist die Veränderung des Strahlencharakters infolge der langen Exposition und der hohen Inanspruchnahme der Röhre.

Die chemisch wirksamen Strahlen weicher Röhren haben eine nur geringe Durchdringungskraft, die harter Röhren dagegen durchsetzen auch die Knochen und machen schon aus diesem Grunde eine kontrastreiche Aufnahme unmöglich. Nun stände am Ende der Verwendung mittelweicher Röhren die lange Expositionszeit nicht im Wege, denn es wird in den weitaus meisten Fällen gelingen, den Patienten so zu lagern, dass er einige Minuten in seiner Position ruhig verharren kann. Aber die Röhre bleibt nicht konstant. Während sie zu Anfang der Bestrahlung den gewünschten Härtegrad zeigte, sendet sie, infolge des durch den Stromdurchgang verschlechterten Vakuums, gegen Ende der Exposition vielleicht schon Strahlen aus, die nicht einmal mehr das Fleisch der Hand zu durchdringen imstande sind. So ist man denn gezwungen, eine harte Röhre zu verwenden und es dem Zufall zu überlassen ob es derselben beliebt, während des Stromdurchganges weicher zu werden. Das ist, wie man denken sollte, stets der Fall; doch weit gefehlt. Hier fangen die unberechenbaren Launen der Röhren an und es scheint einen Grad der Evakuation zu geben, bei dem sie, wenigstens in höherem Alter, statt weich zu werden, während der Benutzung lieber ins Gegenteil umschlagen. In diesem Zustande geben sie niemals eine brauchbare Beckenaufnahme.

Solange es daher wirklich brauchbare Röhren im Sinne einer Konstanz auf beliebigem Härtegrade nicht giebt, muss man versuchen die Expositionszeit möglichst abzukürzen. Und dahin zielen die Bemühungen der Fachleute.

Zunächst bedarf es wohl kaum eines Hinweises darauf, dass die von der Röhre ausstrahlende Energie in der lichtempfindlichen Schicht denkbar schlecht ausgenutzt wird. Die X-Strahlen durchdringen dieselbe wie Papier und man kann hinter der Platte noch eine zweite und dritte Platte wirksam exponieren. Ohne Frage geht also alle Strahlung, die sich auf den hinterliegenden Platten noch bemerklich macht, der ersten Platte verloren und zwar ein um so grösserer Betrag, je weniger Strahlen von der Hauptplatte absorbiert werden. Die Abhilfe erscheint mithin sehr einfach. Man vereinige sämtliche Platten in einer, indem man sie mit mehreren Gelatineschichten begiesst oder man gestalte die strahlenempfindliche Schicht so, dass sie möglichst viel Energie absorbiert.

Nach beiden Richtungen sind und werden in der That Versuche angestellt. Nicht mit vollem Erfolg. Denn die absorbierenden Aggregate sind entweder zu kostspielig oder sie wirken zersetzend auf die

empfindliche Bromsilberschicht ein und der Aufguss mehrerer Gelatinehäute ist begrenzt durch die Unfähigkeit des Entwicklers, bis zu ihnen vorzudringen. Man begnügt sich daher mit einem starken Aufguss auf Vorder- und Rückseite der Glasplatte. Der X-Strahl durchdringt dann die vordere Schicht, darauf das Glas und die zweite Schicht, auf jeder seine Spuren zurücklassend. So entsteht auf beiden Seiten der Platte ein Bild und in der Durchsicht addieren sich die dunklen Partieen zu einander. Der Aufnahme fehlt es daher nicht an Kontrasten. Die Konturen fallen allerdings doppelt aus, können jedoch für die direkte Betrachtung der Platte an der jeweilig beobachteten Stelle stets zur Deckung gebracht werden. Auf Kontaktabzügen treten sie dagegen störend hervor und daher eignen sich doppelt belegte Platten auch nicht für solche Aufnahmen, welche in Büchern reproduziert werden sollen.

Zweifellos ist aber auch das dicke Glas noch deswegen ein für Doppelschichtplatten wenig geigneter Schichtträger, weil es die Strahlung in hohem Mafse absorbiert und der zweiten Emulsion nur noch verhältnismässig wenig Energie zukommen lässt. Deckung der Konturen und Ausnutzung der Strahlung werden um so vollkommener, je dünner der Schichtenträger und je durchlässiger er ist. Die sogenannten Films, Schichtenträger aus dünner Folie von Lederkollodium, Celluloid oder Gelatine genügen beiden Bedingungen. Allerdings sind sie teuer und in der Behandlung nicht ganz einfach (siehe Seite 143).

Ein anderer Weg zur besseren Ausnutzung der Platten führt über die Transformation der Röntgenstrahlen in eine Lichtwirkung mittels der fluorescierenden Substanzen. Der fluorescierende Schirm wird mit seiner Schichtseite in Kontakt mit der Schichtseite der Platte gebracht und die auf ihm entstehende Lichtwirkung zersetzt dann in erster Linie die Bromsilberschicht. Ausserdem kommen auch noch alle diejenigen Röntgenstrahlen chemisch zur Geltung, die den Leuchtschirm durchsetzen und von der empfindlichen Schicht absorbiert werden.

Da nur die blauen Lichtstrahlen vorzüglich von chemischer Wirkung sind, so eignet sich ohne weiteres das intensiv grün-fluorescierende Bariumplatincyanür für „Verstärkungsschirme“ wenig. Dagegen geben besonders präparierte, sog. „farbenempfindliche“ Platten mit ihnen gute Resultate. Die Schicht derselben enthält einen Farbstoff, welcher auch die grünen Lichtstrahlen absorbiert und photographisch zur Geltung bringt.

Heute hat man wohl allgemein den Gebrauch der teueren farbenempfindlichen Platten aufgegeben und benutzt ausschliesslich das blau leuchtende Kaliumplatincyanür zu Verstärkungsschirmen. In zweckmässiger Weise wird die fluorescierende Schicht im Jnneren einer der bereits auf Seite 123 erwähnten Spezialkasseten so angebracht, dass die

eingelegte Platte durch Federn fest mit ihrer empfindlichen Seite gegen die Leuchtschicht angedrückt wird. Die Reihenfolge der einzelnen Teile von der Röhre aus gerechnet ist dann folgende:

Röhre,
Pappdeckel der Kassette oder Emballage der Platte,
Leuchtschirm,
Empfindliche Schicht (der Leuchtschicht fest anliegend),
Schichtträger.

Leider leuchtet das Kaliumplatincyanür, obgleich es, wie man sich durch Hinterhalten eines zweiten Leuchtschirmes überzeugen kann, einen nicht unbeträchtlichen Strahlungsbetrag absorbiert, nur schwach. Es ist deshalb zu erwägen, ob es nicht unter Umständen vorteilhafter sein kann, die Stellung von Verstärkungsschirm und Platte mit einander zu vertauschen, d. h. so zu wählen, dass die Strahlen zuerst die empfindliche Schicht durchdringen und dann den Leuchtschirm treffen. Ohne Frage kommt dann die Strahlung zunächst auf die Schicht voll zur Geltung und der nicht aufgenommene und auf den Leuchtschirm übergehende Betrag wird zum grossen Teil als Licht auf die Platte zurückgeworfen. Die Reihenfolge ändert sich dann folgendermafsen:

Röhre,
Pappdeckel der Kassette, bzgl. Emballage der Platte,
Schichtträger,
Empfindliche Schicht der Platte,
Leuchtschicht.

Es versteht sich, dass der Schichtträger dann nicht Glas sein darf, sondern ein Material, das die Röntgenstrahlen ungehindert passieren lässt, also z. B. eine Filmplatte.

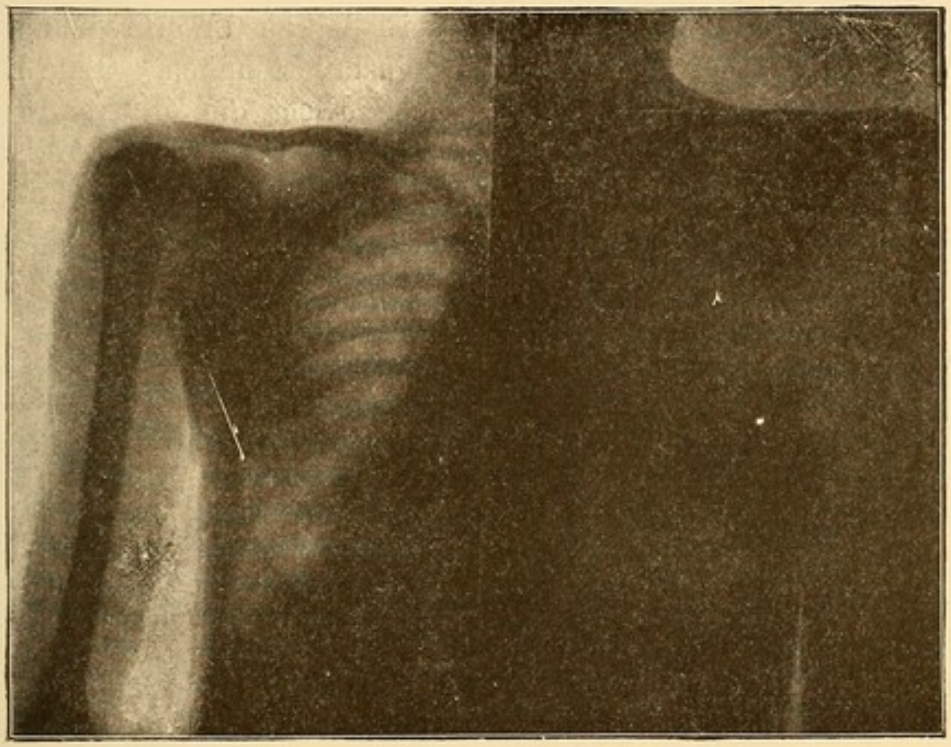
Mit recht gutem Erfolg kann man bei dieser Anordnung jedoch auch statt der Platte Bromsilberpapier anwenden und hat dann den Vorteil, sogleich ein fertiges Papierbild, allerdings ein Negativ, zu haben, dessen Kontraste jedoch infolge des matt hindurchschimmernden Papieruntergrundes besonders nach der Verstärkung, welche wie bei jeder gewöhnlichen Platte vorgenommen wird, sehr rein und tief sind. Zudem ist das Verfahren ein relativ billiges und, da die Expositionszeit für Bromsilberpapier mit Leuchtschirm nicht grösser ist als für eine gewöhnliche Platte ohne Leuchtschirm, gewiss in sehr vielen Fällen vorteilhaft anzuwenden.

Die höchste Energieausbeute lässt sich natürlich durch eine dünne, zwischen zwei Leuchtschirmen liegende und doppelt begossene Filmplatte erreichen. Die Reihenfolge, in der die Röntgenstrahlen die Anordnung durchdringen, ist in diesem Falle:

Pappdeckel der Kassette,
Leuchtschicht I.

Empfindliche Schicht I,
Schichtträger,
Empfindliche Schicht II,
Leuchtschicht II.

Aber auch eine derartige Anordnung lässt noch immer Röntgenstrahlen unausgenützt hindurch, wie ein hinter dieselbe gehaltener Leuchtschirm lehrt. Immerhin muss die Ausnutzung eine relativ vollkommene genannt werden. Die Expositionszeit wird durch sie auf den 4. bis 5. Teil, bei Benutzung nur eines Verstärkungsschirms auf etwa den 3. bis 4. Teil gegen eine gewöhnliche Platte abgekürzt. Nicht unerwähnt



Wirkung gleicher Strahlungsdauer auf
Doppelschichtfilm zwischen zwei Leuchtschirmen. | einseitig begossene gewöhnliche Platte.

Fig. 109.

darf bleiben, dass durch einen Verstärkungsschirm viel von der Schärfe der Aufnahme verloren geht, doch wird dieselbe bei grösseren Objekten zu einfachen diagnostischen Zwecken hinreichend sein.

Fig. 109 stellt eine Brustkastenaufnahme dar, welche zur Hälfte mit Verstärkungsschirm, zur anderen Hälfte ohne Verstärkungsschirm erzielt wurde.

Wir kommen nun, mit diesen Hilfsmitteln ausgerüstet, noch einmal auf die Beckenaufnahme zurück. Es wurde bereits ausgeführt, dass zur Herstellung einer möglichst kontrastreichen Aufnahme eine weiche Röhre erforderlich ist, von grosser Konstanz und fähig in kurzer Zeit

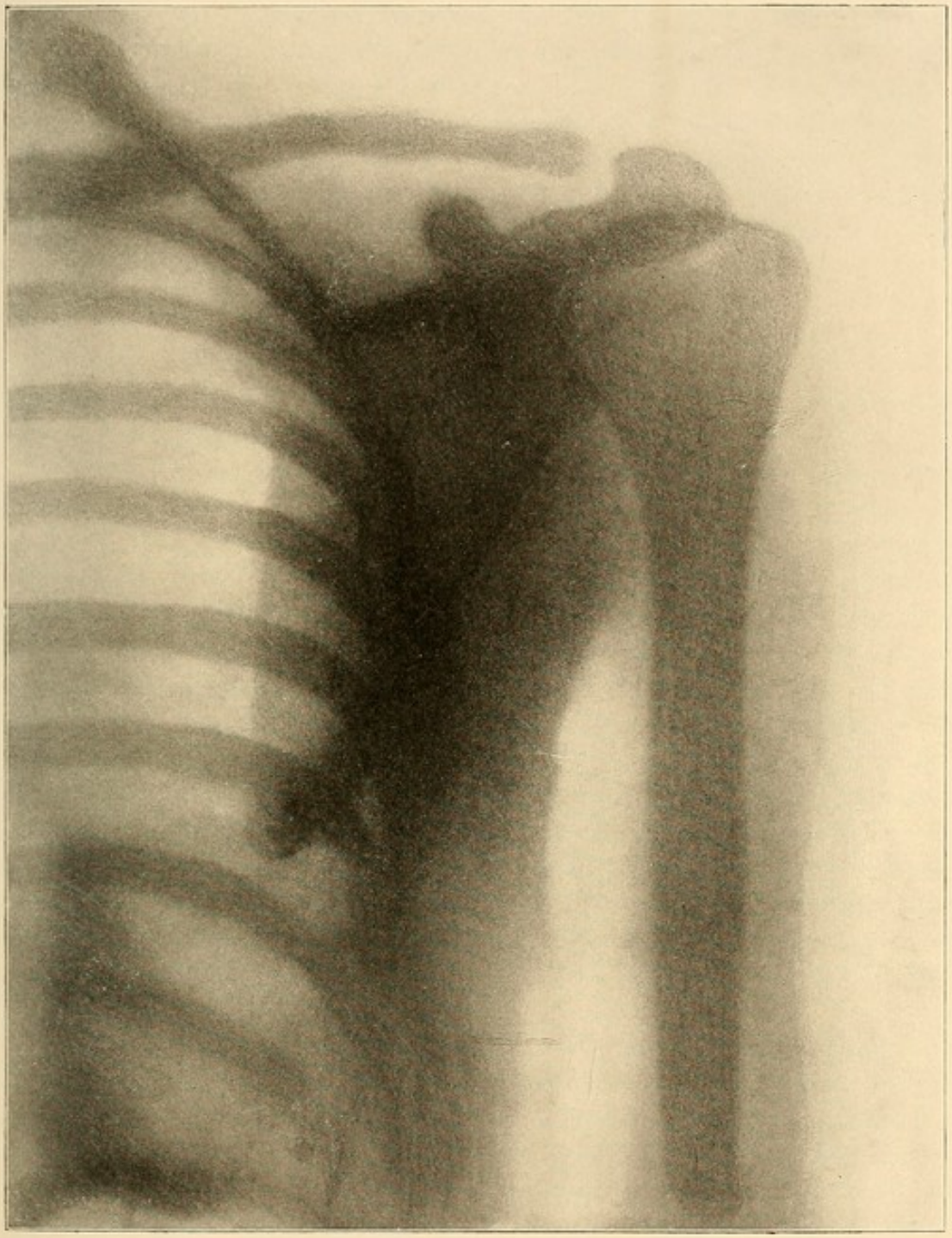
eine bedeutende Energiemenge aufzunehmen und abzugeben, da sonst eine Erwärmung durch längeren Stromdurchgang die Emission weicher Röhren sofort bis zur Unbrauchbarkeit herabstimmt. Die Anwendung von Verstärkungsschirmen leistet daher zur Herabminderung der Expositionszeit gute Dienste. Aber es giebt noch ein anderes Mittel: die Erhöhung der Unterbrechungsfrequenz des Induktors.

Man muss annehmen, dass zur Herstellung einer ausexponierten Aufnahme eine gewisse Menge der Strahlungsenergie, oder sagen wir eine bestimmte Anzahl von Unterbrechungen in jedem Fall nötig ist und dass die Expositionszeit daher in dem Mafse abgekürzt wird, als die Unterbrechungen zunehmen. Dies wird von vielen Seiten bestritten, man will sogar bei höheren Unterbrechungszahlen eine Verlängerung der Expositionszeit konstatiert haben. Ohne Zweifel, nur täuscht man sich in der Ursache. Nicht die erhöhte Frequenz, sondern die mit derselben bei den meisten Unterbrechern Hand in Hand gehende Herabminderung der Funkenlänge und also auch der Energieabgabe, nicht die Dichte der Impulse, sondern die infolge der heftigen Angriffe erschütterte Konstanz des Vakuums müssen zur Erklärung herangezogen werden. Jedenfalls liegt kein plausibler Grund für die Annahme einer durch erhöhte Unterbrechungszahlen verminderten chemischen Reaktion innerhalb der Bromsilberschicht vor.

Die Versuche mit dem neuen elektrolytischen Unterbrecher bestätigen dies vollauf.

Bei dem ausserordentlichen Interesse, dem dieser Apparat überall begegnet, ist es daher wohl angezeigt, in Ausführung des bereits im Abschnitt IV Gesagten etwas näher auf die mit ihm in der Radiographie erzielten Resultate an der Hand der in Autotypie beigehefteten Aufnahmen eines Brustkorbes und eines Beckens einzugehen.

Während der elektrolytische Unterbrecher für direkte Durchleuchtungen grossen Stils bereits von allen Seiten als unentbehrlich anerkannt wird, sprechen ihm einzelne Fachleute für die Radiographie nur einen bedingten Wert zu. Verfasser muss gestehen, dass er ihn sogar für untauglich hielt und zwar wegen der durch seine heftigen Impulse schon nach kurzer Zeit veranlassten Verschlechterung des Röhrenvakuums. In der That zeigten bei eigenen Versuchen weichere Röhren, vorausgesetzt, dass sie durch starke Hinterlegung der Antikathode und durch eine dicke Kathode überhaupt dem Energieangriff zu widerstehen imstande waren, bereits nach etwa 15—20 Sekunden blaues Licht. Eine in dieser Zeit hergestellte Aufnahme des Brustkorbes eines Erwachsenen machte den Eindruck der Unterexposition bei etwas verschleierter Platte. Infolgedessen musste allerdings im Hinblick auf die Unmöglichkeit, länger zu bestrahlen, der Unterbrecher für untauglich erklärt werden. An eine Überexposition wurde nicht gedacht. Erst



Verlag von Reuther & Reichard in Berlin.

Schultergelenk und Brustkorb

eines 20 jährigen Mädchens.

Aufnahmenotizen:

Induktorschlagweite: 30 cm.
Unterbrecher: elektrolytischer.
Zahl der Unterbrechungen: 450 i. Sk.
Betriebsspannung: 110 Volt.
Platte: einfach begossen m. Verstärkungsschirm.

Entfernung der Antikathode von der Platte: 40 cm

Expositionszeit: 2 Sekunden.

die Messung der Unterbrechungszahl aus der Tonhöhe führte auf den richtigen Weg und zwar unter Vergleich mit einem Motor-Unterbrecher, dessen Frequenz ca. 30 in der Sekunde war und der unter günstigen Umständen eine Aufnahme desselben Objektes in 30 Sekunden gestattete.

Die Unterbrechungszahl des elektrolytischen Unterbrechers betrug 450 in der Sekunde. Danach ergab sich freilich — unter Annahme einer Reziprozität zwischen Aufnahmezeit und Unterbrechungszahl — die gesuchte Expositionszeit zu

$$\frac{30 \cdot 30}{450} = 2 \text{ Sekunden.}$$

Eine in dieser Zeit hergestellte Aufnahme des Brustkorbes lieferte eine brillant durchgearbeitete Platte.

Nach diesem hervorragenden Erfolg liegt es auf der Hand, den Grund negativer Resultate mit dem elektrolytischen Unterbrecher in einer Überexposition zu suchen, die allerdings angesichts dieser relativ sehr kurzen Zeiten recht leicht eintreten kann. So ergab eine 3 Sekunden bestrahlte Platte bereits ein kontrastloses Bild und eine in 4—5 Sekunden hergestellte Aufnahme erwies sich als unbrauchbar.

Der Hauptpunkt, welcher besonders hervorgehoben zu werden verdient, ist jedenfalls der, dass bei einer so herabgeminderten Expositionszeit die Röhre gar keine Zeit hat, ihren Strahlungscharakter zu ändern. In der That zeigte sich auch bei stärkster Belastung innerhalb der zu einer Aufnahme erforderlichen Zeit von wenigen Sekunden kaum eine Spur von Erwärmung — immer vorausgesetzt natürlich, dass die Antikathode stark hinterlegt war. Desgleichen trat eine nennenswerte Verschlechterung des Vakuums nicht ein. Es konnten also weiche Röhren kontrastreichster Schattengebung benutzt werden.

Bei schwereren Beckenaufnahmen, die der Verfasser durch die Güte des Herrn Dr. Wehnelt-Charlottenburg in dessen Laboratorium machen konnte, lagen die Verhältnisse etwas ungünstiger, wenigstens für weiche Röhren, welche die Neigung zeigten, noch vor Beendigung der Exposition (ca. 20 Sekunden) „umzukippen“ und blaues Licht zu zeigen. Während die Beckenaufnahme eines 13 jährigen Knaben noch mit einer sehr weichen Röhre in 7 Sekunden hergestellt werden konnte, bedurfte es für das Becken eines erwachsenen Mädchens einer Ratenexposition oder einer mittelharten Röhre, welche sich während der ersten Sekunden konstant zeigte, um dann, mit fortschreitender Erwärmung die Härteskala durchlaufend, bei der Beendigung der Exposition auf dem Wert „weich“ anzugelangen.

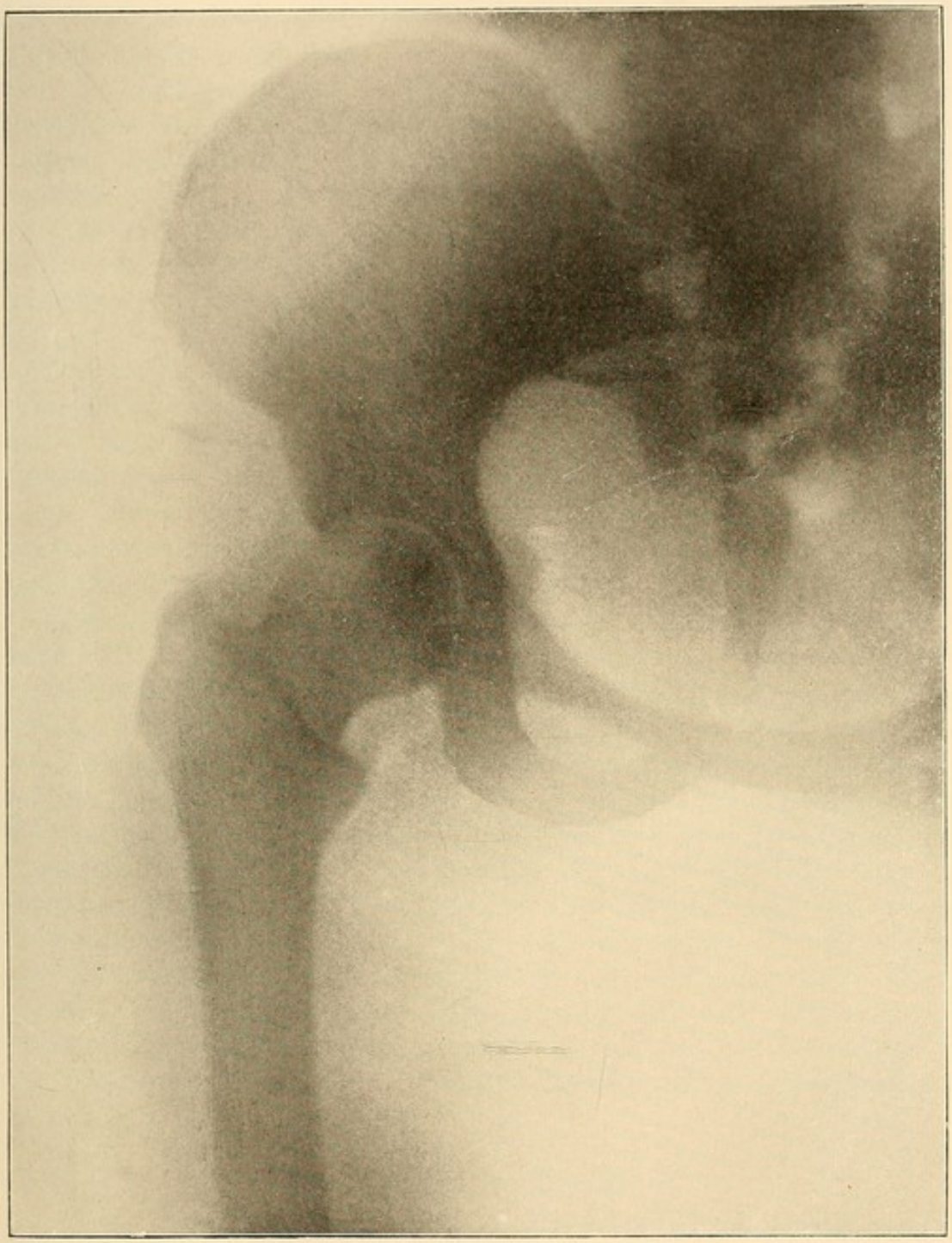
Wir können also aus eigener Erfahrung sagen, dass sich bei einigem Verständnis der elektrolytische Unterbrecher mit grossem

Vorteil auch für die Radiographie anwenden lässt und empfehlen ihn überall da, wo Strom hinreichender Spannung zur Verfügung steht. Jedenfalls haben wir in ihm ein Hilfsmittel zu begrüssen, das die Expositionszeit auf einen bisher nicht gekannten Wert herabmindert.

In dieser Hinsicht stellen die beigegebenen Aufnahmen, obwohl sie — natürlich nur hinsichtlich der Kürze der Exposition — zur Zeit unerreicht dastehen mögen, noch keineswegs das höchste Mafs des Erreichbaren dar. Wir können vielmehr sagen, dass es mit den heutigen Hilfsmitteln gelingen wird, das Becken einer erwachsenen Person in wenigen Sekunden, den Brustkorb in höchstens einer Sekunde und die übrigen Körperteile, abgesehen vom Schädel, in noch kürzerer Zeit aufzunehmen.

Gegenüber den relativ grossen Energiemengen, welche die vervollkommneten neuen Apparate in Röntgenstrahlen umsetzen, ist die Frage nach den Unannehmlichkeiten, denen der bestrahlte menschliche Körper ausgesetzt sein soll, wieder aufgetaucht. Zur Beruhigung überängstlicher Gemüter mag gesagt sein, dass wir an die zum Teil schaudervollen Geschichten — meist aus den Tageszeitungen stammend — nach denen hier eine Frau eine brandige Wunde empfangen, dort ein Assistent seinen vollen Haarschmuck eingebüsst haben soll, nicht glauben. Wir fügen noch hinzu, dass uns durch unsere eigenen Erfahrungen und die anderer, soweit sie uns zugänglich gewesen sind, auch nicht ein Fall bekannt ist, in welchem die geringste Schädigung eines Menschen stattgefunden hätte. Und der auf unserem Gebiet arbeitende Physiker kommt doch bei seinen Untersuchungen auf Wochen und Monate aus den Röntgenstrahlen gar nicht heraus. Jedenfalls ist es beachtenswert, dass immer nur das gerade radioskopierte oder radiographierte Objekt vom Unheil betroffen wurde, niemals der Beobachter, der in der Nähe stehend, sicherlich ebenso dem Einfluss der Strahlung ausgesetzt war, wie das Objekt, und nicht nur in einem Fall und während einer kurzen Zeit, sondern doch meist während der Dauer mehrerer Beobachtungen und Aufnahmen.

Sicherlich wird unser Körper in jeder Sekunde von vielen unsichtbaren Strahlen, bekannten und unbekannten, getroffen und ohne Nachteil auch durchdrungen; warum sollen also gerade die Röntgenstrahlen so heimtückischen Charakters sein? Weil in der That bei wenigen Bestrahlungen Rötungen der Haut vorgekommen sind oder weil die Rieder'schen Versuche die abtötende Wirkung auf Lebewesen zu demonstrieren scheinen? Kein Zweifel, dass man in bezug auf das Endresultat richtig gesehen hat, kein Zweifel auch, dass Verbrennungserscheinungen vorkommen können und vorgekommen sind, immerhin



Verlag von Reuther & Reichard in Berlin.

Hüftgelenk und Becken

eines 20 jährigen Mädchens.

Aufnahmenotizen:

Induktorschlagweite: 30 cm.
Unterbrecher: elektrolytischer.
Zahl der Unterbrechungen: 450 i. Sk.
Betriebsspannung: 110 Volt.
Platte: einfach begossen m. Verstärkungsschirm.

Entfernung der Antikathode von der Platte: 56 cm.

Expositionszeit: 20 Sekunden.

sollte man doch mit einer Verdächtigung der Röntgenstrahlen nicht so schnell bei der Hand sein.

Vielleicht darf hier der Physiker dem Arzt, ohne missverstanden zu werden und ohne im übrigen sein fachmännisches Urteil trüben zu wollen, eine einfachere Erklärung vorlegen mit der Bitte, sie vorkommenden Falles mit zu berücksichtigen.

Man bedenke doch, dass von der arbeitenden Vakuumröhre nicht allein Röntgenstrahlen ausgehen, sondern in hohem Mafse auch elektrische Entladungen und starke elektrische Wellen. Wenn auch die letzteren an und für sich dem von ihnen durchdrungenen Körper nicht schädlich werden können, so rufen sie doch allenthalben Entladungserscheinungen hervor, die vielleicht nicht so harmloser Natur sind. Man beobachte Kassetten, Stative, schlecht zusammengeleimte Leuchtschirme und man wird überall an ihnen Funken überspringen sehen. Weit bedenklicher sind aber die Ausstrahlungen elektrischer Energie, welche von den Drähten und der Röhre direkt auf den Körper übergehen und bei geringen Röhrenabständen jenes oft empfundene Prickeln während der Bestrahlung verursachen. Angesichts der Thatsache, dass bei grösseren Instrumentarien oft ein bis zwei Pferdekräfte in elektrische Entladungs-Energie und nur zum geringen Teil in Röntgenstrahlen umgesetzt werden, liegt doch die Möglichkeit recht nahe, dass alle Verbrennungserscheinungen nur eine Folge elektrischer Entladungen auf die Haut sind. Jedenfalls ist diese Annahme vom Standpunkt des Physikers aus die ungezwungenere. Ob der Arzt ausserdem noch suggestive Momente gelten lassen will, wäre vielleicht interessant zu erfahren. Immerhin ist der Verfasser der Ansicht, dass bei einiger Aufmerksamkeit, d. h. bei einer Versuchs-Anordnung, die ein Uebergehen elektrischer Strahlung auf den Körper entweder durch angemessenen Röhren-Abstand oder durch Isolation wirksam verhindert, von selbst alle jene üblen Zufälle verschwinden müssen, als deren Urheber man, wahrscheinlich mit Unrecht, die Röntgenstrahlen verantwortlich machen will.

Das Hervorrufen der Bilder.

Von der Einwirkung, welche die auf die Bromsilberschicht prallenden und sie durchsetzenden Röntgenstrahlen hinterlassen haben, ist dem spähenden Auge zunächst nichts bemerkbar. Die bei rotem Licht enthüllte Platte zeigt scheinbar nicht die geringste Veränderung; das Bild ist in allen seinen Feinheiten und Abstufungen zwar schon vorhanden, aber noch latent. Zu seiner „Hervorrufung“ bedarf es einer besonderen Behandlung der lichtempfindlichen Schicht in einem Entwickler, dessen Einwirkung eine weitere Zersetzung und Schwärzung der von den Röntgenstrahlen ausgeschiedenen Silberteilchen übernimmt.

Trotz der grossen Zahl der Entwickler hat jeder seine eigene, auf ihn schwörende Gemeinde. Die Eisen-Oxalatler rühmen die Kraft, die Hydrochinonten die Sauberkeit und Bequemlichkeit, die Eikonogenisten den energischen Charakter ihres Schützlings. In Wirklichkeit ist für unseren Zweck jeder Entwickler brauchbar, und wenn man hört, dass hie und da mit dem einen oder anderen keine Resultate erzielt worden sind, so hat das seinen Grund meist weniger in der Qualität des Entwicklers als in der des Photographen.

Die Platte wird, natürlich in der Dunkelkammer, bei rotem Licht, mit der Schichtseite nach oben, in eine passende Schale gelegt, die genug Entwickler enthält, um mit einem Schlage vollständig zu decken.

Nachdem durch leichtes Hin- und Herneigen der Entwickler kurze Zeit über die Platte gelaufen ist, beginnt sich das Bild zu zeigen. Man entwickelt nun so lange, bis das Bild, in der Durchsicht, gegen das rote Licht betrachtet, hinreichend kräftig erscheint und bis die hellsten Stellen, in der Aufsicht gesehen, beginnen grau zu werden. Man merke sich, dass allein die Durchsicht ein Urteil über das Entwicklungsstadium zulässt, und dass eine Platte, welche in der

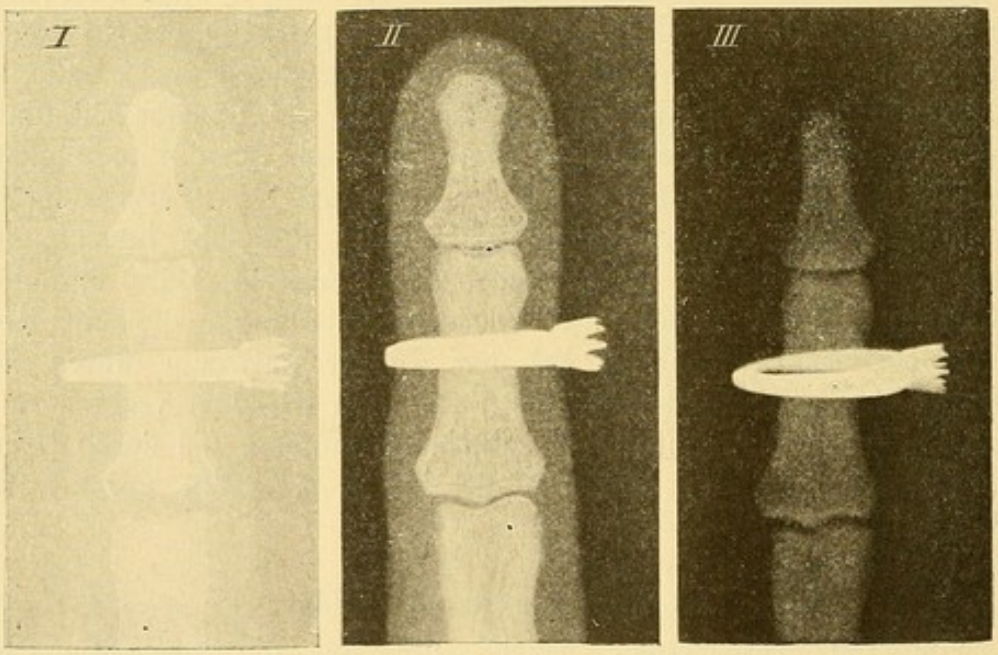


Fig. 110.

Aufsicht bereits überentwickelt erscheint, in Wirklichkeit noch kontrastlos und flau sein kann. Es hängt diese Erscheinung mit dem langsamen Eindringen des Entwicklers in die Emulsionsschicht zusammen.

Erscheint das Bild relativ langsam und mühsam, ohne Details, gleichsam nur in der groben Anlage und durchscheinig, so war die Aufnahme unterexponiert (Fig. 110 I). Kommt das Bild schnell, um gleich darauf wieder kontrastlos unter einem monotonen grauen

Schleier zu verschwinden, so kann man auf eine überexponierte Aufnahme schliessen (Fig. 110 III).

Eine richtig exponierte Platte erscheint klar und kontrastreich, in allen Details fein durchgearbeitet und ohne Härten (Fig. 110 II). Die Uebung in der richtigen Beurteilung von Platten wird erst sehr allmählich gewonnen, Erfahrung ist hier alles. Man unterlasse es darum nicht, die gewonnenen Resultate in eine Tabelle einzutragen, der man die auf Seite 146 skizzierte Gestalt geben kann.

Ist zur Aufnahme eine auf beiden Seiten mit Bromsilbergelatine begossene Platte verwendet worden, so muss man, um eine Verletzung der unteren Schicht zu verhüten, Hartgummiklemmen verwenden, welche, seitlich an den Rand der Platte gesteckt, eine Berührung derselben mit dem Schalenboden verhindern. Ferner ist es ratsam, den Entwickler etwas reichlich zu nehmen und die Platte einige Male zu wenden. Mit doppelt begossenen Films verfährt man in gleicher Weise.

Nach vollendeter Entwickelung wird die Platte sofort tüchtig in einem Eimer oder besser unter einem Wasserstrahl abgespült und dann, wiederum Schichtseite nach oben, in das Fixierbad gebracht.

Man mache es sich zur Regel, niemals Teile des Fixierbades mit dem Entwickler, etwa durch Uebertragung mit den Fingern, in Berührung zu bringen, da die geringsten Spuren von Natron genügen, um den Entwickler zu verderben. Daher stelle man das Fixierbad möglichst entfernt vom Entwickler, womöglich auf einem besonderen Tische auf und wasche sich nach jeder Berührung mit demselben die Hände. Peinliche Sauberkeit in der Behandlung der Chemikalien ist eine Hauptbedingung zur Erzielung guter Platten.

Fixierbad.

100 gr. Unterschwefligsaures Natron,
500—600 gr Wasser.

In diesem Bade bleibt die Platte so lange, bis alles nicht zersetzte Bromsilber verschwunden und die Schicht in allen ihren Teilen in der Durchsicht ganz klar geworden ist. Zu langes Fixieren schadet wenig. Zeigt die Platte schon im Entwickler Neigung an den Rändern zu kräuseln, was namentlich in der wärmeren Jahreszeit vorkommt, so bade man sie, bevor man sie in das Fixierbad bringt, einige Minuten in einer Alaunlösung 1:5 und spüle sie ab. Hat die Platte das Fixierbad verlassen, so ist sie lichtfest und kann die Dunkelkammer verlassen. Sie wird nun gründlich gespült, um alles Fixiernatron, das beim Trocknen gelbe Flecke hinterlässt, aus der Emulsion herauszuschaffen und zwar bis 2 Stunden lang unter fliessendem Wasser, noch länger in ruhigem Wasser unter öfterem Wechsel desselben. Hat man eine Brause zur Verfügung, so lässt man einige Male das Wasser

unter vollem Leitungsdruck in schräger Richtung die Platte abstäuben. Eine Verletzung der Emulsion ist hierbei nicht zu befürchten, man kann dieselbe sogar mit den Fingerspitzen sanft abreiben, wenn man vorsichtig genug ist, die Schicht weder mit den Fingernägeln noch mit den Ringen zu berühren.

Die gut gewässerte Platte wird dann an einem trockenen und staubfreien Orte, am besten in einem der billigen Trockenständer, aufgestellt. Sie trocknet etwa in 24 Stunden. Keinesfalls glaube man das Trocknen durch Erwärmen beschleunigen zu können, etwa indem man die Platte auf den Ofen stellt. Dies würde nur ein Aufweichen und Herabfliessen der Emulsion zur Folge haben. Hat man mit der Platte wirklich grosse Eile, so lege man sie einige Minuten in absoluten Alkohol und lasse sie dann trocknen, was in kurzer Zeit geschehen ist.

Dann versuche man sich an der fertigen Platte ein Urteil darüber zu bilden, ob dieselbe richtig entwickelt ist, denn ebenso wie eine Platte über- und unterexponiert werden kann, kann sie auch, bei sonst richtiger Exposition, über- und unterentwickelt werden. Im ersteren Falle ist sie zu „dicht", im letzteren, bei allen Details, zu wenig kontrastreich. Es ist schwer für die richtige Entwickelung ein allgemein giltiges Rezept zu geben, zumal da verschiedene Plattensorten im Fixierbad verschieden stark zurückgehen. Uebung macht auch hier den Meister.

Die fertigen Platten werden Schicht auf Schicht aufbewahrt, mit einer Zwischenlage von weichem Papier.

Obgleich alle Entwickler im Ganzen oder in ihren haltbaren Hauptteilen in den photographischen Handlungen fertig zu haben sind, ist es doch, bei den für Röntgenzwecke meist benötigten grossen Quantitäten, lohnend, die Zusammensetzung selbst vorzunehmen. Man nimmt dabei für jede neue Platte auch neuen Entwickler; eine Mischung mit schon gebrauchtem, durch welche man beispielsweise in der Landschaftsphotographie grosse Erfolge erzielen kann, ist für Röntgen-Aufnahmen nicht angezeigt. Es mögen hier einige bewährte Rezepte für Entwickler angegeben sein, ohne im übrigen einem derselben den Vorzug einzuräumen.

I. Eisen-Oxalat-Entwickler.

In 2 Lösungen, getrennt von einander, gut verstöpselt aufzubewahren.

I. gesättigte Lösung von neutralem, oxalsaurem Kali.
II. gesättigte Lösung von reinem Eisenvitriol unter Zusatz von einigen Tropfen Schwefelsäure.

Die gesättigten Lösungen stellt man her, indem man die Chemikalien in reichlicher Menge in Flaschen füllt und etwa die gleiche

Quantität Wasser aufgiesst. Sie halten sich solange gesättigt, als Kali beziehungsweise Eisen, noch unaufgelöst in ihnen vorhanden ist. Man füllt daher die Flaschen nach jeder Benutzung wieder mit Wasser an und hat so stets gebrauchsfertige Lösungen zur Hand. Die für das Kali bestimmte Flasche muss etwa viermal mehr Inhalt haben als die für das Eisen. Von letzterem setze man überhaupt nicht zu grosse Quantitäten an, da es leicht verdirbt.

Zum Gebrauche werden 3 Teile von Lösung I mit 1 Teil von Lösung II gemischt.

Der Entwickler bringt das Bild verhältnismässig schnell und klar heraus, hat jedoch die Unart, bisweilen während des Gebrauches Eisen auszufällen. Die schön rote Mischung wird dann plötzlich schmutziggelb und trübe und die Emulsion fühlt sich griesig an. Durch Abspülen derselben, sauberes Auswaschen der Schale und Anwendung neuen Entwicklers kann man die Platte oft noch retten. Das Ausfällen lässt sich vermeiden, wenn man darauf achtet, dass die Eisenlösung sauer reagiert (Zusatz von Schwefelsäure) und dass die Oxallösung stets koncentriert ist.

II. Hydrochinon-Entwickler:

35 gr schwefligsaures Natron,
44 gr kohlensaures Kali (Pottasche),
200 gr Wasser.

Die Mischung wird in einer Kochflasche erwärmt bis zur völligen Lösung der Chemikalien. Dann erst werden hinzugesetzt:

6 gr Hydrochinon.

Zum Gebrauche wird der Entwickler mit 4 Teilen Wasser verdünnt. Er ist haltbar, sauber, bequem und wirkt am besten bei einer Temperatur von 16—18° C., hat jedoch den Nachteil, dass er bei zu langen Entwickelungen die Platte leicht grau färbt. Das Bild erscheint langsamer als beim Eisen-Oxalat-Entwickler.

III. Eikonogen-Entwickler:

In 1000 gr (1 Liter) Wasser werden gelöst nacheinander:

70 gr schwefligsaures Natron (krystallisiert),
6 Tropfen koncentrierte, reine Schwefelsäure,
17 gr Eikonogen,
50 gr kohlensaures Natron (Soda).

Hiermit ist der Entwickler fertig zum Gebrauche, er arbeitet schneller als der Hydrochinon-Entwickler.

IV. Metol-Entwickler:

In 1000 gr (1 Liter) Wasser werden gelöst:

90 gr schwefligsaures Natron,
45 gr kohlensaures Kali (Pottasche),
15 gr Metol.

Der Entwickler, welcher zum Gebrauch zur Hälfte mit Wasser verdünnt wird, wirkt sehr energisch.

Die vorstehend genannten Entwickler haben sich in der Praxis gut bewährt. Trotzdem soll nicht gesagt sein, dass es nicht noch andere giebt, welche ebenfalls gute Dienste leisten.

Expositionstabelle.

Datum	Gegenstand	Intensität des Primärstromes in Amp.	Spannung des Primärstromes in Volt	Induktor-Schlagweite	Frequenz des Unterbrechers	Röhre No.	Expositionszeit in Sek.	Platten-Notiz	Verstärkungsschirme	Resultat

Das Verstärken der Platten.

Einfach belegte Platten, denen die Röntgenstrahlen nur einen Bruchteil ihrer Energie abgeben, bedürfen nach der Entwickelung und Fixage meist noch der Verstärkung. Diese geschieht auf folgende Weise. Die Platte wird, am besten wenn sie noch nass aus dem Spülwasser kommt, in folgendes Bad gebracht:

*Quecksilberverstärker.**)

Bad I.

200 gr destilliertes Wasser,
4 gr Quecksilberchlorid († !)
(warm gelöst).

*) Der Quecksilberverstärker wird aufbewahrt und kann öfter gebraucht werden.

In diesem Bad, welches mit einem Guss über die Platte fliessen und stetig bewegt werden muss, bekommt letztere einen grauen, an Dichte schnell zunehmenden Schleier. Man kann Röntgen-Aufnahmen getrost ziemlich weit verstärken und den Schleier gut decken lassen. Nach vollendeter Verstärkung wird die Platte aufgenommen, gut gespült (zwei Minuten unter einem Wasserstrahl genügen) und darauf in folgendes Bad gelegt:

Bad II.
200 gr Wasser,
etwa 20 gr Ammoniak.

In diesem färbt sich die Platte schnell braun und darauf schwarz, während die Kontraste wieder sichtbar werden. Sie wird dann gespült (eine halbe Stunde) und zum Trocknen aufgestellt.

Von grösster Wichtigkeit ist die Säuberung der Platte vor der Verstärkung; jede Spur von Fixiernatron, welches dieselbe noch enthält, giebt sonst Veranlassung zu hässlichen Flecken.

Man glaube nicht, dass die Verstärkung (die natürlich bei Tageslicht vorgenommen wird) eine Art Nachentwickelung ist und Einzelheiten herausbringt, welche die Platte vorher nicht enthielt. Es ist daher zwecklos, Platten verstärken zu wollen, die nicht wenigstens einige Details, wenn auch nur in feinster Anlage, aufzuweisen haben.

Der Positivprozess.

Im allgemeinen wird für alle Untersuchungen die Herstellung einer Platte genügen. Man betrachtet dieselbe in der Durchsicht, nicht gegen das Fenster, sondern gegen eine mattweisse Fläche, von welcher das Licht reflektiert wird.

Soll von der Platte ein positives Bild angefertigt werden, so wird das bequeme und billige

Blauverfahren

für die meisten Fälle zu provisorischen Abzügen genügen.

In einem Kopierrahmen wird die Platte mit sogenanntem Eisenblaupapier hinterlegt, derart, dass die grüne empfindliche Seite des Papiers auf die Schichtseite der Platte zu liegen kommt und letztere bei geschlossenem Rahmen vom Licht auf der Glasseite getroffen wird.

Wird der Kopierrahmen dem Licht ausgesetzt, so durchdringt dasselbe die Platte und färbt alle diejenigen Partien des darunter liegenden Papiers am dunkelsten, welche auf der Platte am durchsichtigsten waren. So entsteht ein positives Bild.

Man belichtet das wenig sensible Eisenpapier womöglich in der Sonne und überzeugt sich durch teilweises Öffnen des Rahmens öfter, wie

weit die Kopie vorgeschritten ist. Das Bild erscheint wenig kontrastreich und ist dann vollendet, wenn die tiefsten Schatten einen graugrünen Ton annehmen und sich wieder etwas aufzuhellen beginnen. In der Mittagsonne genügt bei normaler Platte meist eine Exposition von 3—5 Minuten, je nach der Jahreszeit, bei hellem Tageslicht eine solche von 10—20 Minuten.

Die fertig belichtete Kopie wird in ein Wasserbad gelegt und dieses so oft erneuert, als das Wasser noch grünlich gefärbt abläuft. Das Bild entwickelt sich unter Wasser schön blau und kontrastreich und ist, ohne einer besonderen Fixage zu bedürfen, nachdem es das Bad verlassen hat, fertig.

Das sehr billige blausaure Eisenpapier, welches von jeder photographischen Handlung oder jedem grösseren Zeichenmaterialiengeschäft zu erhalten ist, hält sich trocken und dunkel aufbewahrt, monatelang. Die Feinheiten der Platte giebt dasselbe nur unvollkommen wieder.

Glaubt man auf diese nicht verzichten zu können, so giebt das allerdings umständlichere Druckverfahren auf

Celloidinpapier

die gewünschte Schärfe der Abzüge.

Das Celloidinpapier, das auch an Empfindlichkeit dem Eisenpapier wesentlich überlegen ist, wird im Kopierrahmen mit der blanken Seite auf die Schichtseite der Platte gelegt und im hellen Tageslicht (nicht in der Sonne) so lange kopiert, bis die dunkelsten Stellen einen schwach bronceartigen Anflug bekommen. Das Bild erscheint nun zu dunkel, geht aber später im Tonfixierbad sehr stark zurück.

Tonfixierbad.

Lösung I.	1000 gr	destilliertes Wasser,
	250 gr	Fixiernatron,
	10 gr	Essigsaures Blei,
	8 gr	Alaun,
	8 gr	Citronensäure,
	10 gr	Salpetersaures Blei.
Lösung II.	300 gr	destilliertes Wasser,
	1 gr	Chlorgold.

Zum Gebrauch nimmt man 4 Teile Lösung I und 1 Teil Lösung II.

Die Bilder werden, so wie sie aus dem Kopierrahmen kommen, in das Tonfixierbad gebracht und dort bei gedämpftem Tageslicht so lange belassen, bis der zu Anfang auftretende fuchsige Farbenton in den gewünschten übergeht. Ist das Bad, welches ständig bewegt werden

muss, zu kalt (unter 15—18° C.), so tonen die Bilder langsam und schlecht. Das Tonfixierbad kann mehrere Male, evtl. unter Zusatz von etwas neuer Lösung benutzt werden. Die photographischen Handlungen halten dasselbe in zwei Lösungen getrennt vorrätig.

Nach dem Tonen werden die Bilder unter fliessendem Wasser gründlich gewaschen (mindestens 45 Minuten lang) und dann mit Holzklammern an einer Schnur zum Trocknen aufgehängt.

Zum Aufkleben auf Karton schneidet man die Bilder trocken mit einem scharfen Messer auf einer harten Unterlage (Zinkplatte) in das gewünschte Format, zieht dieselben dann durch Wasser, trocknet mit Fliesspapier ab und klebt sie mit Stärkekleister noch feucht auf den Karton. Die Ränder müssen unter Zwischenlage von dünner Glanzpappe besonders gut angedrückt werden.

Positive auf Bromsilberpapier.

Sollen Abzüge von einer Platte besonders schnell und unabhängig vom Tageslicht gemacht werden, so kann man sie mit gutem Erfolg auf Bromsilberpapier anfertigeu. Da dasselbe einer photographischen Platte an Empfindlichkeit nicht viel nachsteht, so werden alle Manipulationen in der Dunkelkammer bei rotem Licht vorgenommen.

Das Bromsilberpapier wird im Kopierrahmen mit der mattglänzenden Schicht auf die Platte gelegt und dann bei dem Licht einer Kerze oder einer Gasflamme exponiert. Die Exposition dauert nur kurze Zeit, bei einem gewöhnlichen Gasschnittbrenner in einer Entfernung von 1 Meter etwa 8—15 Sekunden.

Die Kopie wird dann ganz wie eine photographische Platte behandelt und in einem der auf Seite 144—146 angegebenen Entwickler hervorgerufen. Es ist ratsam, den Entwickler etwas mehr mit Wasser zu verdünnen und einige Tropfen Bromkalilösung (1 : 10) hinzuzufügen.

Das Bild erscheint gewöhnlich rasch und erreicht bald die erforderliche Kraft. Man betrachtet dasselbe in der Aufsicht und unterbricht, da die Kopie im Fixierbade nicht zurückgeht, die Entwickelung, sobald die Zeichnung in den Lichtern erschienen ist. Die Fixage und weitere Behandlung erfolgt dann weiter wie bei jeder Platte. Hat das Bild einen gelblichen Ton angenommen, so kann derselbe leicht durch Baden in einer koncentrierten Kochsalzlösung entfernt werden.

Um das Rollen der Kopien zu vermeiden, trocknet man sie zwischen Fliesspapier unter leichtem Druck. Hinsichtlich der Schärfe der Zeichnung halten die Bromsilberkopien etwa die Mitte zwischen den Eisen- und Celloidinkopien inne.

In der folgenden Tabelle findet der Leser eine Zusammenstellung derjenigen Fehler, welche am häufigsten das Misslingen einer Aufnahme verschulden.

Zeichen.	Ursache.	Abhilfe.
1. Das Negativ zeigt hellere, unregelmässig umgrenzte Flecke.	Der Entwickler hat die Platte nicht mit einem Schlag bedeckt.	Reichlicher Entwickler.
2. Das Negativ ist mit einem metallischen Schleier bedeckt.	Der Entwickler war mit Fixiernatron verunreinigt.	Kurzes Bad in folgender Lösung: Fixiernatron 40 gr, Wasser 200 gr, von koncentr. Blutlaugensalzlösung 30 Tropfen.
3. Nadelstichartige, helle Punkte auf der Platte.	Platte war verstaubt.	Abstauben der Platte vor dem Einlegen in die Kassette mit einem weichen Pinsel.
4. Das Negativ ist undurchsichtig und kontrastlos.	Überexposition.	Wie unter 2.
5. Negativ schwach, aber klar durchsichtig ohne Details.	Unterexposition.	Verstärkung, wenn auf Seite 147 angegebene Bedingungen zutreffen.
6. Negativ in der Anlage kontrastreich, aber stark gedeckt.	Überentwickelung.	Bad: Lösung I: 100 gr. unterschwefliges Natron, 500 gr. Wasser. Lösung II: 10 gr. rotes Blutlaugensalz, 50 gr. dest. Wasser. 100 Teile I, 5 Teile II.
7. Rückseite der Platte zeigt weisse Stellen, die in der Durchsicht dunkel erscheinen.	Ungenügende Fixage.	Zurückbringen in das Fixierbad bzgl. Verstärkung desselben.
8. Negativ zeigt dunkle Streifen.	Plattenkasten oder Kassette undicht.	
9. Platte griesig, stark gekörnt.	Emulsion zu alt und schon zersetzt.	

IX. Abschnitt.

Über die Natur der Röntgenstrahlen.

Das Gebiet der elektrischen Entladungen, worunter wir hier einschränkend nur die Erscheinungen im luftverdünnten Raume verstehen wollen, ist eines der interessantesten der Physik, aber sicher auch eines der allerdunkelsten, trotz der sehr stattlichen Reihe einschlägiger Experimental-Untersuchungen und trotz dickleibiger Bände, welche man über dasselbe geschrieben hat. So ist man denn auch über die Natur der Röntgenstrahlen noch ganz im Unklaren und lustiger als sonst auf einem anderen Felde blüht hier der Weizen der Theoretiker. Überhaupt giebt es wohl kaum einen Physiker, der sich bei aller Scheu vor den offiziell bestehenden, nicht noch eine kleine Privattheorie gesichert hätte.

Gewiss, sagt sich der Laie, ist es die Fähigkeit der Röntgenstrahlen, undurchsichtige Körper zu durchdringen, die den Physikern Kopfzerbrechen verursacht hat. Und doch ist ihnen wohl gerade diese Eigenschaft am wenigsten wunderbar erschienen. Denn unsichtbare Strahlenarten, auch solche, welche mit einer die Materie durchdringenden Kraft begabt sind, kannte man bereits und kennt man jetzt eine ganze Anzahl. Die ultraroten Strahlen beispielsweise gehören dieser Kategorie an. Wir finden sie vor dem am wenigsten abgelenkten Teile des Lichtspektrums, mit dem wir uns orientierend einige Augenblicke beschäftigen müssen.

Die Zerlegung des Lichtes in seine Farbenbestandteile mit Hilfe eines Prismas darf als bekannt vorausgesetzt werden, sie liefert den Farbenfächer, dessen reine Pracht wir am vollständigsten an dem Spektrum der Sonne und dem des elektrischen Bogenlichtes bewundern. Der das, aus einem durchsichtigen Medium bestehende, Prisma durchsetzende rote Lichtstrahl wird am wenigsten aus seiner Richtung abgelenkt, mehr schon der gelbe und grüne, am meisten der blaue und violette. So kommt es, dass die im weissen Lichtstrahle vor dem Prisma gemischt enthaltenen Farbenstrahlen hinter demselben nebeneinander erscheinen.

Diese Erscheinung erhält ihre besondere Bedeutung, wenn wir von den Vorstellungen etwas erfahren, die man sich über die Natur des Lichtes gemacht hat.

Heutzutage hat man die Newton'sche Emissions- oder Emanationstheorie (1669), welche das Licht als einen Stoff ansah, dessen Teilchen von dem lichtspendenden Körper mit einer enormen Geschwindigkeit in den Raum hinausgeschleudert werden, ganz aufgegeben und glaubt allgemein an die Huygens'sche Undulationstheorie (1678), deren Wesen sich in der That den Beobachtungsergebnissen am ehesten anschmiegt. Diese Theorie nun nennt das Licht eine *Wellenbewegung des Äthers*, jenes hypothetischen, äusserst feinen, für uns unwägbaren Stoffes, mit dem wir uns ebenso die Räume zwischen den Gestirnen wie zwischen den Molekülen der Körper angefüllt denken müssen. Von der Erregerstelle geht eine Störung der ruhenden Ätherteilchen aus, diese pflanzt sich nach allen Seiten als Welle fort (etwa wie eine Flüssigkeitswelle auf einem durch einen Steinwurf gestörten Wasserspiegel) und brandet schliesslich an die Netzhaut des Auges, um hier eine von uns Licht genannte Empfindung auszulösen. Dabei verlassen die Ätherteilchen ihren Platz nicht, etwa in der Fortpflanzungsrichtung, sondern führen lediglich eine Auf- und Ab-, Hin- und Herbewegung aus, ganz ähnlich wiederum wie die Partikelchen einer Wasserwelle oder die Halme eines wellenschlagenden Ährenfeldes. Aber diese Undulation der Lichtätheratome ist eine enorm frequente, sie besteht aus mehreren hundert Billionen Schwingungen in einer Sekunde und die, durch die Wechselwirkung zwischen den Atomen erzeugte Bewegungserscheinung schreitet mit einer Geschwindigkeit von 300000 km in der Sekunde durch den Raum fort. Der Quotient aus Fortpflanzungs-Geschwindigkeit und Schwingungszahl ergiebt naturgemäss die Länge der Lichtwellen in Bruchteilen eines tausendstel Millimeters und das menschliche Auge ist in wunderbarer Weise befähigt, diese feinsten Unterschiede in den Wellenlängen und in den Schwingungszahlen nachzuweisen und als Farben zu empfindeu. Etwa 450 Billionen Ätherschwingungen erzeugen auf der Netzhaut den Eindruck des tiefen Purpurrots, 800 Billionen Schwingungen, also etwa das Doppelte, die Empfindung violetten Lichtes, und dazwischen liegt die ganze Farbenskala, wie wir sie im Spektrum sehen, vom Rot über Orange, Gelb, Grün, Blau zum Violett. Ziehen wir einen Vergleich aus dem Gebiet der Töne heran, so übersieht das Auge also nicht ganz eine Licht-Oktave.

Es fragt sich nun, ob es ausser dieser Oktave sonst noch Aetherschwingungen langsamerer oder schnellerer Art giebt, oder mit anderen Worten, ob nicht das von unserem Auge als Licht aufgefasste Gebiet von 450—800 Schwingungsbillionen nur einen kleinen Ausschnitt aus

einer weiten Skala darstellt, deren Schwingungen, wennschon sie den Sinnen unmittelbar verschlossen sind, doch nicht zwecklos verlaufen. Aber was geschieht dort, wo unser Sehnerv die Impulse des Äthers noch nicht oder nicht mehr empfindet, also jenseits des Rot und jenseits des Violett?

Von der chemischen Wirksamkeit der ultravioletten Strahlen wurde bereits gesprochen (Seite 118). Wir nahmen wahr, dass sich eine photographische Platte auch hinter dem dunkelsten Violett des Spektrums noch lebhaft schwärzt. Auch durch den Bariumplatin-Cyanürschirm, welcher von den ultravioletten Strahlen lebhaft zum Leuchten gebracht wird, kann man das Vorhandensein dieser unsichtbaren Strahlung nachweisen. Man sieht dann das Spektrum auf dem Schirm über das Violett noch um ein nicht unbeträchtliches Stück verlängert.

Dagegen zeigt sich jenseit des Rot auf der photographischen Platte keinerlei Wirkung, ja auch das Rot selbst und zum Teil auch das Gelb hinterlassen auf ihr kaum noch einen Eindruck. Die ultraroten Strahlen unterscheiden sich also wesentlich von den ultravioletten durch ihre Unfähigkeit chemische Zersetzungen hervorzubringen. Dafür besitzen sie eine Wärmewirkung. Schon der berühmte Astronom Herschel führte, von den violetten Strahlen beginnend, ein Thermometer dem Spektrum entlang und entdeckte eine stetig zunehmende Wärmestrahlung, die mit dem letzten sichtbaren Rot nicht aufhört, sondern vielmehr weit über dasselbe hinausreichend, erst in einem, dem Auge völlig verschlossenen Gebiet, ihren höchsten Wert erreicht (1800).

Liegen also hinter dem Lichtspektrum, in einem dem Auge nicht mehr sichtbaren Schwingungsgebiet, die Strahlen chemischer Wirksamkeit, so sind vor demselben unterhalb der 450. Schwingungs-Billion die Wärmestrahlen zu finden, welche, nach unserer Ausdrucksweise, dem Auge noch nicht sichtbar sind. Erstere sind mithin kurzwelliger, letztere langwelliger als die Lichtstrahlen.

Einer sonderbaren Eigenschaft der Wärmestrahlen muss an dieser Stelle besonders gedacht werden, nämlich ihrer Fähigkeit, das Licht phosphorescierender Substanzen, z. B. das blaue Leuchten der bekannten Balmain'schen Farbe, auszulöschen, besonders deshalb, weil diese Wirkung auch durch dickere Platten von Ebonit zustande kommt. Wir begegnen also hier bereits einer unsichtbaren, mit einer Durchdringungskraft für undurchsichtige Materie begabten Strahlenart. Allerdings wäre die Durchdringung eines durchsichtigen Körpers nicht weniger wunderbar, aber unwillkürlich denken wir, sobald wir von Strahlen hören, an Lichtstrahlen und können uns nur schwer von

einer Anschauung losmachen, deren Wesen in der täglichen Erfahrung begründet ist.

Nach den Untersuchungen von Perrigot und Becquerel*) ist das sogenannte „schwarze Licht“ (la lumière noire) des Franzosen Le Bon — übrigens eine recht unglückliche und unphysikalische Bezeichnung, denn von einem unsichtbaren (schwarzen) Licht kann begreiflicherweise nicht gesprochen werden — nichts anderes als eine ultrarote Strahlung. Bekanntlich machte die Entdeckung Le Bon's seiner Zeit — allerdings mehr in Laienkreisen — einiges Aufsehen.

Nachdem sie ihr Energiemaximum gehabt haben, werden auch die Wärmewellen schwächer, immerhin aber kann man sie noch bis zur zwanzigfachen Länge der roten Lichtwellen nachweisen, dann folgt ein unbekanntes Gebiet und schliesslich, von einem Prisma noch weniger aus ihrer Bahn gelenkt als die Wärmestrahlen, treten die *Strahlen elektrischer Kraft* auf. Denn auch die Fortpflanzung der elektrischen Wirkungen in den Raum erfolgt mit Hilfe des Aethers in Form von Wellenstrahlen, wie es zuerst, in Verfolg der Maxwell'schen rein theoretisch-mathematischen Arbeiten, der geniale früh verstorbene Heinrich Hertz**) auch experimentell nachwies. Leider ist es uns versagt, auf diese epochemachenden Versuche auch nur andeutungsweise einzugehen. Hier nur soviel, dass auch die elektrischen Strahlen in hohem Maſse fähig sind, Körper zu durchdringen. Holz- und Mauerteile bieten ihnen beispielsweise keinen nennenswerten Widerstand und nur Metalle halten sie auf.

Während die längsten Wärmewellen immerhin nur etwa eine Länge von 0,02 mm haben, sind die kürzesten nachweisbaren elektrischen Wellen schon bereits einige Millimeter lang. Von beiden Seiten her wird eifrig an der weiteren Aufschliessung dieser interessanten Gebiete gearbeitet; man weist immer kleinere elektrische Wellen, immer grössere Wärmewellen nach, und es gewinnt den Anschein, als ob wirklich irgendwo beide Gebiete des Naturgeschehens unmerklich ineinander übergehen sollten, ohne noch einer anderen, bisher unbekannten Strahlungsart zwischen sich Raum zu gewähren.***)

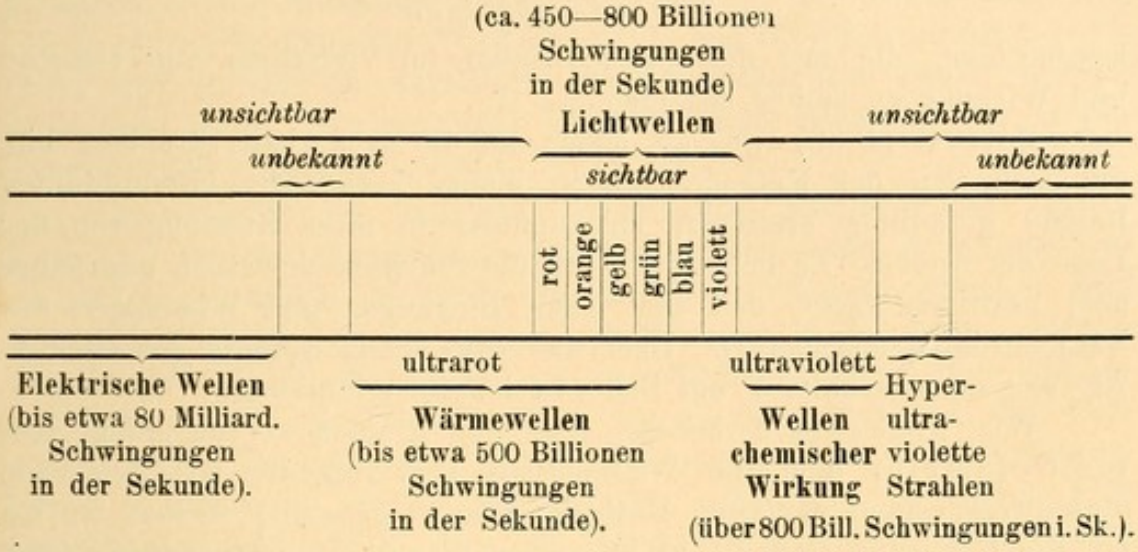
Damit besitzen wir nunmehr eine ganze Strahlenmusterkarte, geordnet nach ihrer Brechbarkeit, ihrer Schwingungszahl und ihrer Wellenlänge. Zunächst der ursprünglichen Strahlenrichtung die Wellen und Strahlen elektrischer Kraft; ihre Wellenlänge variiert zwischen

*) Perrigot und Becquerel, Beiblätter der Wiedemann'schen Analen **21.** 1897.

) H. Hertz, Ausbreitung der elektrischen Kraft. Wied. Ann. **36. 1888.

***) Beiläufig mag hier bemerkt sein, dass die grössten darstellbaren elektrischen Wellen einige Meter lang sind. Die zugehörigen Schwingungen betragen nur noch wenige Millionen in der Sekunde. Mittels derartiger Wellen arbeitet die Marconi'sche Telegraphie ohne Draht.

mehreren Metern und einigen Millimetern, ihre Schwingungszahlen, während sie gleichsam die elektrische Tonleiter durchlaufen, von einigen Millionen bis zu etwa 80 Milliarden in der Sekunde.



Spektrum der Ätherschwingungen.

Weiter folgen dann, durch ein noch unerforschtes Gebiet von den Strahlen elektrischer Kraft getrennt, die Wärmestrahlen, darauf, bereits in der 450—800sten Schwingungsbillion und zum Teil auf zwei unserer Sinne gleichzeitig, auf das Gefühl als Wärme und auf das Gesicht als Licht einwirkend, die Lichtstrahlen. Mit den Strahlen chemischer Wirksamkeit, welche enorme Schwingungszahlen (über 800 Billionen in der Sekunde) und kürzeste Wellenlängen (0,4 Tausendstel Millimeter und weniger) besitzen, schliesst die Reihe der uns bekannten Ätherschwingungen jedoch noch nicht ab. Hertz entdeckte noch schnellere, kurzwelligere, die er hyperultraviolette nannte. Sie zeichnen sich durch ihren Einfluss auf das Zustandekommen elektrischer Entladungen aus.

Nunmehr haben wir eine grosse Reihe von Ätherstrahlen kennen gelernt, von den langsam schwingenden elektrischen bis zu den in rasendem Tempo oscillierenden ultravioletten und hyperultravioletten, Schwingungen sichtbarer und unsichtbarer Art, fähig und unfähig feste Körper zu durchdringen, — den Röntgenstrahlen jedoch sind wir nicht begegnet. Werden wir sie vor den elektrischen oder hinter den hyperultravioletten Strahlen zu suchen haben? Oder sind am Ende die Röntgenstrahlen überhaupt keine Ätherschwingungen, sondern ein Bewegungsphänomen ganz anderer noch unbekannter Art. Das sind die grossen Fragen, an deren Beantwortung die exakte Wissenschaft unablässig arbeitet.

Begreiflicherweise lässt sich das Ziel nur schrittweise erreichen und wenn wir etwas über die Röntgenstrahlen erfahren wollen, so müssen wir uns vorerst mit den

Kathodenstrahlen

beschäftigen, die mit den erstgenannten im Verhältnis von Ursache und Wirkung zu stehen scheinen.

Hittorf (1869) wies als erster auf die sonderbare Strahlung hin, die sich von der Kathode aus in einem hochgradig luftverdünnten Raume geradlinig erstreckt, unbeeinflusst in ihrer Richtung von der Lage der Anode. Er bemerkte auch die Starrheit derselben gegenüber dem positiven Licht, das sich allen Biegungen und Windungen des Vakuumrohres anschmiegt. Über die Form beider Entladungen konnten wir uns im Abschnitt V auf Seite 74 bereits orientieren.

Wir wissen auch bereits, dass die Strahlen — (eigentlich erst von Goldstein, dem die Wissenschaft hervorragende Arbeiten über diesen Gegenstand verdankt, Kathodenstrahlen genannt) — dort wo sie auf die Glaswand treffen, ein intensives Fluorescenzlicht erzeugen und dass sie, von einem Hindernis aufgehalten, einen Schatten desselben entwerfen. Hittorf sagt darüber bereits 1869:

„Jeder feste oder flüssige Körper, er sei Isolator oder Leiter, welcher vor der Kathode sich befindet, begrenzt das Glimmlicht*) . . . . . Wir werden daher im folgenden von den geradlinigen Bahnen oder den Strahlen des Glimmens sprechen . . .."

So wirft auch das kleine Platinblech, welches wir in Fig. 61 D in den Gang der Strahlung stellten ein, einem optischen Schatten ähnliches Gebilde auf die gegenüber liegende Glaswand. Dies Schattenbild ist ein umgekehrtes, wenn der Gegenstand vor dem Brennpunkt des Kathodenhohlspiegels, ein aufrechtes, wenn er hinter demselben liegt. Allerdings wird dies von L. Weber und Matthiessen bestritten, indem sie bemerkt haben wollen, dass eine Kreuzung der Kathodenstrahlen im sogenannten Brennpunkt gar nicht vorliegt. Sie folgern vielmehr aus der Lage der von ihnen beobachteten Schattenbilder, dass die Kathodenstrahlen bis zum Brennpunkt konvergent verlaufen, darauf sich aber nicht kreuzen, sondern sich vielmehr zu einem divergenten Strahlenbündel abstossen. Neuere Versuche lassen es wahrscheinlich erscheinen, dass die Genannten bei Drucken gearbeitet haben, bei welchem bereits der Brennpunkt ausserhalb des Beobachtungsrohres gefallen sein muss (vergl. Seite 78). Wenigstens haben andere Untersuchungen stets sowohl aufrechte wie umgekehrte Bilder geliefert.

*) Hittorf nennt die Kathodenstrahlen noch Glimmlicht, während wir heute unter Glimmlicht eine andere Erscheinung verstehen (vergl. Seite 74 und 160).

Bei aller Priorität, deren Hittorf hinsichtlich der Untersuchungen über Kathodenstrahlen sicher ist, hat es doch eigentlich erst William Crookes verstanden, durch vorzügliche Demonstrationen dieselben populär zu machen, indem er gleichzeitig die älteren Theorieen von Faraday*), Plücker**), Hittorf***) und G. Wiedemann†) aufnahm und in eine so sinnfällige, gemeinverständliche Form kleidete, dass sich selbst hervorragende Physiker dem Eindruck der neuen Theorie nicht entziehen konnten.

Crookes Theorie über die „strahlende Materie", wie bereits Faraday die Entladungs-Erscheinungen genannt hatte, ist ebenso wie die der vorgenannten Gelehrten eine Molekulartheorie††), d. h. eine Theorie, der es widerstrebt, angesichts des vorhandenen Stromdurchganges durch die Röhre an das Vorhandensein eines absolut materieleeren Raumes in derselben zu glauben oder gar die Vermittelung des Stromüberganges mit Hilfe des auch in einer luftleeren Röhre vorhandenen Äthers anzunehmen. „Es wird hoffentlich kein Mensch behauptet haben, dass ein leerer Raum ein leitender Körper sein könne" ruft ein Fachmann aus, welcher die Ansicht Cuthbertsons teilt. Die Molekulartheorie geht also dahin, dass innerhalb des Vakuumrohres eine ponderabele Materie vorhanden sein müsse, „kleinste Teilchen", die mit dem elektrischen Fluid gleichsam beladen, eine schnelle Wanderung durch den luftverdünnten Raum antreten, etwa so, wie auch erhitzte und bewegte Luftteilchen einen Wärmetransport ausführen können

Eine Vorstellung nun von der Art der „kleinsten Teilchen" sucht sich Crookes zu machen, indem er sich — leider — in Fernen verliert, zu denen ihm die exakte Wissenschaft nur ungern folgen mag. Crookes ist nicht nur Forscher und Gelehrter, sondern auch etwas Phantast, aber seine Sprache hat etwas Überzeugendes, Bezwingendes. Man höre:

„Diese Erscheinungen (Entladungen in hochverdünnten Gasen) sind so verschieden von allem, was sich bei gewöhnlichem Drucke in Luft oder Gas — — ereignet, dass wir zu der Annahme geführt werden, wir stehen hier der Materie in einem vierten Aggregatzustande gegenüber, der ebensoweit vom gasförmigen entfernt ist, als dieser vom flüssigen." — „Hier", so fährt er später fort, „scheinen wir endlich

*) Faraday, Experimental-Untersuchungen III. 1843.
) Plücker, Poggendorfs Annalen, **113, 251, 1861.
***) Hittorf, Poggendorfs Annalen, **136**, 220, 1869.
†) G. Wiedemann, Poggendorfs Annalen **145**, 394, 1872. **158**, 252, 1876.
††) Crookes „Strahlende Materie oder der vierte Aggregatzustand", Vortrag vor der Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften (London), deutsch im Verlag von Quandt & Händel, Leipzig 1879.

unter unseren Händen und im Bereich unserer Prüfung die kleinen, unteilbaren Teilchen zu haben, von denen man voraussetzt, dass sie die physikalische Grundlage des Weltalls bilden. — — Wir haben thatsächlich das Grenzgebiet berührt, wo Materie und Kraft ineinander überzugehen scheinen, das Schattenreich zwischen Bekanntem und Unbekanntem, welches für mich immer besondere Reize gehabt hat. — — Hier, so scheint mirs, liegen letzte Realitäten."

Crookes nimmt also in dem hoch evakuierten Rohre einen „übergasigen" Zustand an, den er als einen vierten Aggregatzustand bezeichnet. Dieser zeigt die kleinsten Teilchen fortdauernd in rasendem Tanze begriffen und von der Kathode geradlinig abgeschleudert der gegenüber liegenden Glaswand zu. Unter diesem „Bombardement der Moleküle" erhitzt sich die Glaswand, sie fluoresciert und es treten alle diejenigen Erscheinungen auf, welche man unter dem Einfluss der Kathodenstrahlen beobachtet.

Soweit die Erklärung Crookes's. Die experimentellen Beweise, welche er für die Richtigkeit seiner Theorie zu geben sucht, haben allerdings etwas Bestechendes an sich. So setzt er innerhalb des Vakuumrohres kleine Windmühlen mit leichten Glimmerflügeln durch die Kathodenstrahlen in Bewegung, oder er treibt kleine Laufrädchen eben durch dies Bombardement der Moleküle von der Kathode aus der Anode zu u. s. f. Doch gerade gegen diese Experimente, so überraschend sie die Crookes'schen Hypothesen zu beweisen scheinen, sind die schwerwiegendsten Bedenken erhoben worden. Auch die Gegner arbeiteten experimentell und es gelang ihnen scheinbar einwandfreie Versuchsanordnungen zu finden, bei denen sich die Glimmerrädchen entgegengesetzt der Kathodenstrahlung drehten. Gewichtiger sind die aus dem optischen Verhalten der Kathodenstrahlen und Glimmlichtstrahlen hergeleiteten Bedenken, auf welche wir nicht näher eingehen können.

Gestützt auf die kinetische Gastheorie, nach der die Moleküle eines jeden Gases in rasender Bewegung begriffen sind, hat sich die Molekulartheorie zu einer Dissociationstheorie ausgestaltet. Diese setzt voraus, dass auch die Moleküle der chemisch einfacher Gase aus zwei Atomen bestehen und dass es bei disruptiven elektrischen Entladungen zu einer Zertrümmerung der Moleküle in ihre Atome kommt. Da das Molekül unelektrisch ist, so steht der Annahme nichts im Wege, dass es aus einem positiven und negativem Atom aufgebaut ist, deren eingleichnamige Polarität gleichsam das Bindemittel zwischen ihnen bildet. Durch das Bersten nun sind die Atome frei, die elektronegativen werden von der ebenfalls negativen Kathode abgestossen und führen die Elektricität in der Stossrichtung von einer Stelle zur anderen.

Als Vertreter dieser Theorie nennen wir ausser Faraday auch noch J. J. Thomson*) und A. Schuster.**)

Der Molekulartheorie steht die Äthertheorie gegenüber, welche von dem Vorhandensein einer ponderablen Gasmaterie ganz absieht und die Kathodenstrahlen als eine von der Kathode ausgehende Wellenbewegung des Äthers angesprochen wissen will. Auf ihrer Seite stehen nicht Geringere als Hertz, H. v. Helmholtz, Eilhard Wiedemann, Goldstein, Jaumann u. a. Die Einzelansichten der Genannten wiederzugeben fehlt an dieser Stelle der Platz, allen gemeinsam ist die Vorstellung einer Erzeugung der Kathodenstrahlen durch einen von der elektrischen Entladung auf den Äther herrührenden Stoss, der sich nun entweder als Transversalwelle oder Longitutinalwelle (erstere uns bereits ihrem Wesen nach bekannt [Seite 152], letztere aus fortschreitenden Verdichtungen und Verdünnungen des Äthers bestehend) fortpflanzt.

„Die Entladung stellt eine Bewegung des freien Äthers dar und ist an sich lichtlos. Diese Bewegung des Äthers verschwindet, indem sie sich den Gasmolekülen . . . . mitteilt; die Teilchen eines jeden Moleküls . . . . schwingen dann und übertragen die so in ihnen erregten Transversalschwingungen wieder als solche auf den Äther; so wird die ursprünglich elektrische Bewegung zu Licht und zwar zu Licht, dessen Oscillationsperioden abhängen von der spezifischen Natur des Gasmoleküls. Das Leuchten elektrisch durchströmter Gase sehe ich hiernach an als ein Resonanzphänomen.“ So lässt sich Goldstein vernehmen.***)

Einzelne Bedenken, welche sich immerhin gegen seine Theorie erheben lassen, haben E. Wiedemann zu einigen Modifikationen veranlasst. So sieht er unter anderem in dem positiven Licht eine longitudinale, in dem negativen (den Kathodenstrahlen) eine transversale Wellenbewegung des Äthers oder vielmehr der Ätherhüllen, von denen die Gasmoleküle eingeschlossen sind.†) Die Kathodenstrahlen sind nach seiner Ansicht nichts anderes als Ätherstrahlen einer noch kürzeren Wellenlänge als der des violetten Lichtes; er verweist sie mithin in jenes Gebiet der Ätherwellenskala, dem wir als dem chemisch wirksamen bereits begegnet sind. Hierdurch wäre allerdings ein guter Anschluss an das Auftreten von Fluorescenz-Erscheinungen unter dem Einfluss der Kathodenstrahlen gefunden.

---

*) Thomson, Phil. Mag. **29**, 358, 441, 1890.

) Schuster, Proc. Roy. Soc. **37, 317, 1884. Ebendaselbst **42**, 371, 1887. Wied. Ann. **24**, 74, 1885 und **47**, 526, 1890.

***) Goldstein, Wied. Ann. **12**, 265, 1881.

†) E. Wiedemann, Wied. Ann. **10**, 246, 1880.

Jaumann hält auch die Kathodenstrahlen für eine longitudinale Wellenbewegung.*) Wie dem aber auch sei, jedenfalls müssten sich mit transversal oder longitudinal bewegten Kathodenstrahlen Interferenzen herbeiführen lassen.

Unter Interferenz verstehen wir die Erscheinungen beim Zusammentreffen zweier Wellensysteme. Wirft man beispielsweise zwei Steine zugleich ins Wasser, so wird von jeder der beiden getroffenen Stellen des ruhigen Wasserspiegels eine Wellenbewegung in koncentrischen Ringen ausgehen. Beide Bewegungen durchschneiden sich dann und bilden ein Netzwerk von „stehenden Wellen", indem nach dem Gesetz der Superposition sich die zusammentreffenden Wellenberge und Wellenthäler addieren und sich dort, wo Wellenberg auf Wellenthal fällt, die Bewegung zur Ruhe ausgleicht.

Es ist begreiflich, dass der Nachweis einer Interferenz auch zweier Kathodenstrahlen-Wellensysteme, wenn wir so sagen dürfen, für die Athertheorie von höchstem Wert wäre. In der That will Jaumann wirklich Interferenzen nachgewiesen haben,**) eine Täuschung seinerseits ist jedoch nicht ausgeschlossen. Ein Vorwurf ist hierin nicht begründet; man weiss, dass es wohl kaum eine Versuchsmaterie giebt, welche so heikel in ihrer Behandlung ist und soviel Irrtümer zulässt, wie die vorliegende. Jaumann operierte mit den Glimmlichtstrahlen (nach Goldstein diffusen Kathodenstrahlen II. Ordnung), er fand unzweifelhaft interferenzähnliche Erscheinungen auf einem von den Strahlen gestreiften fluorescierenden Schirm, aber der Beweis ist doch noch nicht geführt, dass es sich hier nicht um Interferenzen zweier Systeme elektrischer Wellen gehandelt hat, deren Seele gleichsam den Flimmer des Glimmlichtes zur Inkarnation benutzte. Eine Diskussion dieses Gegenstandes, so interessant derselbe auch immer sein mag, würde an dieser Stelle begreiflicherweise zu weit führen.

Übrigens darf nicht unerwähnt bleiben, dass man neuerdings doch wieder geneigt ist, in geeigneter Modifikation die Theorie Crookes aufzunehmen. Namentlich durch die Bemühungen W. Kaufmanns***) ist es nämlich gelungen, die Geschwindigkeit der fortgeschleuderten Gasmoleküle zu messen und so die grossen, von den Kathodenstrahlen hervorgerufenen Wärme-Effekte zu erklären.

Diese Versuche sind so interessant und in passender Form vorgetragen, auch dem Laien so leicht verständlich, dass wir uns nicht versagen können, unsere Leser mit ihnen bekannt zu machen.

---

*) Jaumann, Wied. Ann. **57**, 147, 1896.
) Jaumann, Sitzungsbericht der Wiener Akademie **106, IIa, 533, 1897.
***) W. Kaufmann, Wied. Ann. **61**, 544, 1897.

Jedes von der Kathode fortgeschleuderte Gasmolekül, oder nach der Dissociationstheorie, jedes negativ elektrische Atom, ist einem Geschoss vergleichbar, das sich gleich einer Gewehrkugel geradlinig fortbewegen würde, wenn nicht ausser der Stosskraft noch andere Kräfte auf dasselbe zur Einwirkung kämen. Bei einem Geschoss ist es die Anziehungskraft der Erde, welche dasselbe aus der Schussrichtung ablenkt, aber bei gleichbleibender Weglänge um so weniger, je schneller es fliegt. Daher kann man ohne weiteres, vorausgesetzt, dass die Stärke der ablenkenden Kraft und die Grösse der Ablenkung bekannt sind, die Geschwindigkeit des Geschosses berechnen. Nun übt allerdings die Schwerkraft auf die in den Kathodenstrahlen bewegten Teilchen keinen Einfluss aus, wohl aber, sie gleichsam ersetzend, ein Magnet. Wir sind über seine ablenkende Wirkung auf das Kathodenstrahlen-Bündel bereits unterrichtet. (Abschnitt V, Seite 75.)

Die sich geradlinig fortpflanzenden Kathodenstrahlen erzeugen nun auf der gegenüberliegenden Glaswand einen Fluorescenzfleck, der gleichsam das Centrum der von den Gasgeschossen getroffenen Scheibe darstellt. Die Nähe eines Magneten lenkt die Kathodenstrahlen ab und verschiebt auch den Fluorescenzfleck. Wir können mithin die Grösse der Ablenkung direkt messen, und, da auch die Stärke des Magneten bekannt ist, so steht einer Berechnung der Geschwindigkeit der von der Kathode fortgeschleuderten kleinsten Teilchen nichts mehr im Wege. Kaufmann findet sie zu 100000 Kilometer in einer Sekunde, also beiläufig zu einem Drittel der Geschwindigkeit des Lichtes.

Bisher haben wir nur Beobachtungen und Versuche in den Kreis unserer Erörterungen gezogen, die an Kathodenstrahlen innerhalb des evakuierten Rohres gemacht wurden. Lenard gebührt das Verdienst, eine Anordnung gefunden zu haben, mittels deren er die Kathodenstrahlen auch ausserhalb der Röhre „in Freiheit", d. h. in der atmosphärischen Luft beobachten konnte.*) Dieses Experiment setzt eine gewisse Durchdringungsfähigkeit der Kathodenstrahlen für feste Körper voraus, denn begreiflicherweise darf die Vakuumröhre nicht geöffnet werden. Lenard bediente sich daher eines kleinen „Fensters" aus Aluminiumblech, das er in die Röhre dort einsetzte, wo sich sonst der von den Kathodenstrahlen erzeugte Fluorescenzfleck befindet. Durch das „Aluminiumfenster" nun fanden die Kathodenstrahlen einen Weg ins Freie. Ihre Wirkung studierte Lenard an dem Aufleuchten der Luft und an photographischen Platten, deren Schicht sich gegen die austretende Strahlung empfindlich zeigten. Lassen wir ihn selbst sprechen:

*) Lenard, Wied. Ann. **51**, 225, 1894 u. **63**, 253, 1897.

„Ein Schimmer bläulichen Lichtes umgiebt das Fenster; er ist am hellsten in der Nähe des Fensters selbst, nach aussen hin ohne deutliche Begrenzung; weiter als 5 cm vom Fenster reicht er nicht. — — Phosphorescenzfähige Körper, in die Nähe des Fensters gehalten, leuchten an der ihm zugewandten Seite hell in dem ihnen eigentümlichen Lichte.“

„Trockenplatten mit Entwicklung sind auch in grösserem Abstand vom Fenster nach wenigen Sekunden vollkommen geschwärzt. — — Die photographische Schicht kann bei langer Exposition auch sonst unbemerkbare Wirkungen zum Vorschein bringen. So zeigte sich z. B. kräftige Schwärzung hinter dem oben als undurchlässig bezeichneten Kartonblatt von 0,3 mm Dicke. Das Kartonblatt bedeckte die empfindliche Schicht und zwischen beide waren Streifen verschiedener Metallblätter eingelegt. Diese Streifen bildeten sich ganz nach Mafsgabe ihrer Durchlässigkeit heller (im Negativ) auf dunklerem Grunde ab und ganz hell blieb die Schicht nur dort, wo ein dicker Metallrahmen über das Ganze gelegt war. Es waren also wirklich Kathodenstrahlen durch das dicke Kartonblatt gegangen.“

Wir konstatieren also hier eine, wenn auch nur unbedeutende Fähigkeit der äusseren Kathodenstrahlen, feste Körper zu durchdringen. Dass sie sich innerhalb der Röhre anders verhalten sollten ist nicht anzunehmen. (Siehe folgende Seite.) Und doch ist die Strahlung im Vakuum ganz anders als in der freien Luft. Da in ersterem nur noch wenige Gasmoleküle vorhanden sind, lässt der Äther die Strahlung klar und scharf hindurch, wie etwa reines Quellwasser einen Sonnenstrahl. Überall zeigen sich in den Strahlenkegeln bestimmte Begrenzungen, und die schattenähnlichen Gebilde lassen an feiner Gliederung nichts zu wünschen übrig. Aber durch jedes Gasmolekül wird der Äther gleichsam getrübt und „verunreinigt“. Das ist in höchstem Mafse natürlich in der freien Luft der Fall, in der die Strahlung einem Lichtschein in einer milchigen Flüssigkeit gleicht.

Es legt dies Verhalten die Vermutung nahe, dass wir es bei der Kathodenstrahlung mit Vorgängen von äusserster Subtilität zu thun haben, da beispielsweise Lichtstrahlen in klarer, staubfreier Luft kaum eine nennenswerte Diffusion zeigen.

„Selbst gegen Licht von kleinster bekannter Wellenlänge verhält sich die Materie noch wie stetig den Raum erfüllend; den Kathodenstrahlen gegenüber ist dagegen das Verhalten selbst elementarer Gase das nicht homogener Medien; es scheint hier schon jedes Molekül als gesondertes Hindernis aufzutreten. Gasmoleküle trüben den Äther, und es ist bemerkenswert, dass hierbei keine anderen Eigenschaften der Moleküle in Betracht kommen, als allein nur ihre Masse. Die Gesamtmasse der in der Volumeneinheit enthaltenen Moleküle ist bestimmend für die Trübung des Mediums.“

Also auch Lenard hält die Kathodenstrahlen für Vorgänge im Äther und zwar weil er glaubt, dass bei den angewandten ausserordentlich hohen Verdünnungsgraden nicht mehr genug Gasmoleküle vorhanden sein können, um eine den thatsächlich beobachteten Verhältnissen entsprechende Energiemenge in Form elektrischen Stromüberganges oder Wärme zu übertragen. Gegenüber der Ablenkbarkeit der Strahlen durch den Magneten ist er in einiger Verlegenheit und schliesst sich endlich der Maxwell-Hertz'schen Vorstellungsreihe an, nach welcher eine direkte Einwirkung eines Magneten auf den Äther möglich ist.

Mit der Durchdringungskraft der Kathodenstrahlen und ihrer Ablenkbarkeit durch magnetische Kräfte müssen wir uns, ehe wir zu den Röntgenstrahlen gelangen, noch einige Augenblicke beschäftigen. Schon der Lehrer Lenards, Heinrich Hertz, hatte beobachtet, dass die Kathodenstrahlen in geringem Mafse Glas zu durchdringen vermögen*), auch dünne Goldblättchen zeigten sich durchlässig, Glimmer hingegen nicht. Hertz befestigte Goldblättchen auf Uranglas und brachte beides, die Goldseite der Kathode zugekehrt, in das Entladungsrohr.

„Wird bei fortschreitender Verdünnung das Innere des Entladungsrohres mehr und mehr lichtlos, und beginnen die eigentlichen Kathodenstrahlen das belegte Glas zu treffen, so beginnt dieses auch hinter der Goldschicht zu phosphorescieren; dies Leuchten nimmt zu, und wenn die Kathodenstrahlen ihre lebhafteste Entwicklung erreicht haben, erscheint, von der hinteren Seite aus betrachtet, das Goldblatt nur noch als ein matter Schleier auf der Glasplatte, hauptsächlich erkennbar an seinen Rändern und an den kleinen Fältelungen, welche es enthält. Man kann kaum sagen, dass es einen Schatten wirft. Die Kathodenstrahlen durchsetzen also die Goldschicht wie es scheint mit geringem Verluste."

Bringt man einen Magneten in die Nähe eines Kathodenstrahlen-Bündels, so wird dasselbe, wie schon mehrfach erwähnt, aus seiner geradlinigen Bahn abgelenkt und zwar wie E. Wiedemann und Ebert**) zuerst bemerkten in fächerförmiger Zerstreuung. Es scheint also das Bündel aus mehreren Arten von Kathodenstrahlen zu bestehen, mehr oder minder dem magnetischen Einfluss unterworfen, oder nach den Versuchen Kaufmanns von verschiedener Geschwindigkeit ihrer kleinsten Teilchen. Wenn nicht die Gefahr vorläge, missverstanden zu werden, könnte man vielleicht von einem Spektrum der Kathodenstrahlen sprechen.

Während man im allgemeinen bisher annahm, dass die Grösse der Ablenkung — abgesehen natürlich von der Stärke des Magnetfeldes

*) Hertz, Wied. Ann. **45**, 28, 1892.

**) E. Wiedemann und Ebert, Sitzungsbericht der phys. med. Soc. zu Erlangen. Dec. 1891.

— abhängig sei von der Art und dem Druck des in der Röhre eingeschlossenen Gases, deuten Versuche W. Kaufmanns*) in sonderbarem Gegensatze dazu darauf hin, dass die Steifigkeit des Strahlenbündels allein eine Funktion der zwischen Anode und Kathode herrschenden elektrischen Spannungs-Differenz ist. (Seite 6). Und zwar kommt er zu dem Resultat, dass die Ablenkbarkeit umgekehrt wächst mit der Quadratwurzel aus der Spannungsdifferenz.

Von ganz besonderem Interesse für uns ist ein merkwürdiger Zusammenhang, den Lenard zwischen Durchdringungskraft und Ablenkbarkeit gefunden haben will. Er sagt aus, dass die Durchdringungskraft der Kathoden-Strahlen um so mehr zunimmt, je weniger sie aus ihrer Bahn durch den Magneten abgelenkt werden.**)

Eine Ablenkbarkeit der diffus durch das Aluminiumfenster in die Luft ausgetretenen Kathodenstrahlen durch magnetische Kraft vermochte er nicht zu konstatieren.

Liegt hier eine völlig einwandfreie Versuchsanordnung vor, so wäre allerdings ein bedeutsamer Unterschied zwischen inneren und äusseren Kathodenstrahlen vorhanden, und man müsste sich jedenfalls veranlasst sehen, die inneren Hittorfschen Kathodenstrahlen von den äusseren, den Lenardstrahlen zu unterscheiden.

Das ist im Grossen und Ganzen das Beobachtungsmaterial, soweit es uns hier interessiert und soweit es gemeinverständlich in seinen gröbsten Zügen dargestellt werden kann. Die Zahl der Arbeiten über diesen Gegenstand, welche für den Physiker von besonderer Bedeutung sind, ist Legion.

Und nun kommen wir endlich zu den

Röntgenstrahlen.

Die Röntgenstrahlen sind unsichtbar, sie durchdringen undurchsichtige Körper in hohem Mafse und sie lassen sich durch einen Magneten aus ihrer geradlinigen Bahn nicht ablenken. Da muss denn freilich die Vermutung nahe liegen, dass sie nichts anderes sind als Kathodenstrahlen, von der Art, wie Lenard sie beschrieb, also von der magnetischen Ablenkbarkeit = 0. Aber abgesehen davon, dass es bis jetzt nicht gelungen ist, Kathodenstrahlen ohne Ablenkbarkeit auch nur angenähert darzustellen, unterscheiden sich die Röntgenstrahlen in einem ganz wesentlichen Punkte von ihnen: sie entstehen erst da, wo die Kathodenstrahlen auf einen festen Körper auftreffen, sind also keinesfalls die geradlinige Fortsetzung derselben.

*) W. Kaufmann, Wied. Ann. **61**, 544, 1897.

**) Lenard, Vortrag v. d. Gesellschaft deutscher Naturforscher, Frankfurt 1897.

Wesentlich ist auch der, in der Stärke der Durchdringungskraft begründete Unterschied. Hertz vermochte mit den Kathodenstrahlen ein winzig dünnes Goldblättchen, Lenard ein Kartonblatt von nur 0,3 mm Dicke zu durchstrahlen, die Röntgenstrahlen dagegen durchdringen mühelos Glas, Wasser, einige Metalle, dicke Holzklötze, Mauerwerk, den menschlichen Körper u. a. m.

Dass die Durchlässigkeit verschiedener Körper für die Röntgenstrahlen in der Hauptsache mit ihrem Molekulargewicht oder ihrer Dichte zusammenhängt, wurde bereits erwähnt (Seite 76); im reziproken Verhältnis scheint die Emissionsfähigkeit der Körper für Röntgenstrahlen zu stehen, d. h. die Fähigkeit, unter dem Einfluss der Kathodenstrahlen Röntgenstrahlen auszusenden. An der Spitze steht daher das Platin, welches dem Durchgang der Röntgenstrahlen den grössten Widerstand entgegensetzt.

Über die sonderbare Abhängigkeit des Strahlungs-Charakters von der Höhe der Evakuation wurde ebenfalls bereits gesprochen (Seite 79), nach v. Röntgen spielt der Grad der Verdünnung nur insofern eine Rolle, als durch ihn die Entladungsform verändert wird.

Die Wirkung der Röntgenstrahlen auf fluorescierende Körper und photographische Platten sind uns aus den Abschnitten VII und VIII bereits bekannt. Ein ganz eigentümliches Verhalten der fluorescierenden Schicht, das wir hier wegen seiner Bedeutung für die Erkenntnis der Natur der Röntgenstrahlen nicht unerwähnt lassen dürfen, hat Precht*) beobachtet. Er schreibt:

„Hält man bei völlig verhüllter Röhre die Hand vor den (Bariumplatincyanür)-Schirm und bestrahlt, so erscheint zuerst ein schwarzer Schatten der ganzen Hand, allmählich werden die Fleischteile heller und nun treten auch die Knochen hervor. Der ganze bis zum Maximum gesteigerte Prozess verläuft oft in einer, oft in drei bis fünf Sekunden. Die Wirkung ist deutlicher, wenn man zwischen Hand und Schirm ein Buch einschaltet. Sie rührt nicht her von Veränderungen der Röhre während des Stromdurchganges, da sie bei Einschalten von Buch und Hand bei längerer Thätigkeit der Röhre ebenfalls beobachtet wird. Sie ist nicht subjektiv, denn sie zeigt sich auch, wenn ein Beobachter die geschlossenen Augen erst kurz nach Einschalten von Buch und Hand auf ein von einem andern Beobachter gegebenes Zeichen öffnet. Die Wirkung tritt nur bei beträchtlicher Dicke der eingeschalteten Schicht hervor. . . Sie ist keineswegs bei allen Röhren zu beobachten, zeigt sich leichter bei schwachen als bei starken Strömen und ist sogar abhängig von der Beschaffenheit des Induktions-Apparates.**) Welcher

*) Precht, Untersuchungen über Kathodenstrahlen, Heidelberg 1897.
**) Verfasser konnte die in Rede stehende Erscheinung nicht beobachten.

Art aber die Wirkung auch sein mag, das eine lässt sich mit Bestimmtheit behaupten, dass sie nicht von einer Wellenbewegung herrühren kann, denn die Durchlässigkeit eines Körpers für Wellen kann, wo chemische Veränderungen ausgeschlossen sind, nicht mit der Zeit wachsen."

Precht ist also der Ansicht, dass die Röntgenstrahlen eine Bewegungswelle im Äther nicht darstellen, offenbar denkt er an einen molekularen Vorgang.

Begreiflicherweise ist nach der Entdeckung der Röntgenstrahlen der Kampf zwischen den Vertretern der Molekulartheorie und denen der Äthertheorie heftiger als je entbrannt.

Nach der Molekular- oder Dissociationstheorie sind die Kathodenstrahlen wie wir wissen, kleinste mit negativer Elektricität befrachtete Teilchen, die von der Kathode mit ausserordentlicher Vehemenz abgeschleudert, winzigen Geschossen gleich, den Raum mit einer Geschwindigkeit von 100 000 km in der Sekunde durchfliegen. Die Ablenkung dieser Teilchen durch den Magneten erklärt sich in ungezwungener Weise eben aus ihrer Ladung. Denn der Pysiker kennt zwischen Magnetismus und Elektricität keinen Unterschied mehr und für ihn ist ein permanenter Magnet nichts anderes als ein von elektrischen Strömen umflossenes weiches Stück Eisen, also ein Elektromagnet. Der Einfluss zweier elektrischer Ströme nun aufeinander ist bekannt und so wirkt denn auch eine leere von einem elektrischen Strome durchflossene Drahtspule, — wir könnten sie einen Elektromagneten ohne Einsenkern nennen — auf die Bahn der kleinsten elektrischen Teilchen gerade so ablenkend, wie ein Magnet. Eine Beeinflussung würde natürlich unelektrischen Teilchen gegenüber nicht stattfinden. Was liegt also näher als die Annahme, dass die Röntgenstrahlen aus eben den kleinsten Teilchen bestehen, die an der gegenüberliegenden Glaswand oder an der Antikathode ihre Ladung etwa zur Verwendung für eine Wärme- oder Fluorescenzwirkung abgaben und nun des elektrischen Gepäckes ledig, an Durchdringungskraft ebenso gewonnen haben wie sie sich der Einwirkung von seiten eines Magneten entziehen? Auch das an Röntgenstrahlen beobachtete Bestreben, elektrischen Körpern ihre Ladung zu entziehen, liesse sich dann erklären. Man brauchte ja nur anzunehmen, dass die durch ihre gewaltsame Entladung an der Antikathode gleichsam ausgedörrten Teilchen begierig von überallher Elektricität aufsaugen, etwa wie ein hygroskopischer Körper die in seiner Nähe befindlichen Wasserteilchen. Und klingt es nicht wie eine Bestätigung unserer Annahme, wenn wir erfahren, dass die, bei ihrem Vorüberfluge an einem elektrischen Körper mit Ladung versehenen Teilchen dem mag-

netischen Einfluss wiederum gehorchen? Man erkennt auch hier die ausserordentliche Schmiegsamkeit und Fruchtbarkeit der Molekulartheorie.

Der Schwingungstheorie dagegen schliessen sich Lord Kelvin*) und v. Röntgen**) selbst an und zwar glaubt es letzterer mit longitudinalen Wellen zu thun zu haben. Nach O. Lehmann***) müsste die X-Strahlen-Wellenbewegung hervorgerufen und bedingt sein durch die äusserst raschen Pulsationen der Kathodenstrahlen-Entladung.

Gemeinhin nimmt man jedenfalls an, dass die Röntgenstrahlen nur bei sehr hohen elektrischen Spannungen und sehr geringen Gasdrucken innerhalb des Entladungsrohres entstehen können. Schon v. Röntgen wies jedoch auf Entladungsformen hin, durch die auch bei relativ hohen Drucken X-Strahlen entstehen können. Wirklich bewirkt eine vor die Röhre geschaltete Funkenstrecke das Auftreten von Kathodenstrahlen bereits in evakuierten Räumen, in denen ohne dieselbe noch positives Licht sichtbar ist.

Als niedrigste zur Erzeugung der Röntgenstrahlen erforderliche Induktorspannung giebt Trowbridge†) 100 000 Volt an. Wehnelt hat jedoch einwandfreie Versuche angestellt, welche das überraschende Resultat brachten, dass es unter geeigneten Versuchsbedingungen möglich ist, bereits bei 7000 Volt kräftige Röntgenstrahlen zu erhalten.††) Er findet, dass der dunkle Raum, der, wie wir bereits aus dem Abschnitt V wissen, sich bei steigender Evakuation allmählich über das ganze Röhren-Innere ausdehnt, eine wichtige Rolle bei den, die Röntgenstrahlen hervorrufenden Entladungsvorgängen spielt. Es treten nämlich die Röntgenstrahlen in dem Augenblick auf, wo der dunkle Raum die Anode einschliesst. Dies ist natürlich schon bei relativ geringen Drucken der Fall, wenn die Anode der Kathode möglichst nahe gebracht und auch sonst die Anordnung so getroffen wird, dass der dunkle Raum die Anode möglichst bald einschliessen muss. Von dem Wert schwach evakuierter Röhren für die Praxis konnten wir uns bereits im Abschnitt V überzeugen. Zweifellos würde eine derartige Röhre der Veränderung nicht so leicht unterworfen sein wie eine hochevakuierte. Nach Wehnelt sollte eine gute Röhre folgenden beiden Konstruktionsbedingungen genügen:

1. Der Abstand zwischen Kathode und Anode bzgl. Antikathode soll möglichst klein sein.

---

*) Lord Kelvin, The Elektrician **36**. 593, 1896.

**) v. Röntgen, Sitzungsbericht der Würzburger phys. med. Gs. 1896.

***) Zeitschrift für Elektrochemie I, 484, 184, 1896.

†) Trowbridge. Beibl. zu Wied. Ann. **21**, 777, 1897.

††) Wehnelt, Studien über den dunklen Kathodenraum, Wied. Ann. **65**, 511, 1898.

2. Die Kathode soll möglichst klein und von einem engen Glasrohr umgeben sein, damit die sich an den Glaswänden ausbildenden sekundären dunklen Räume ein möglichst frühzeitiges Abschneiden des Kathodenstrahlenbündels herbeiführen.

Aus der genannten Abhandlung ist es für uns von besonderer Wichtigkeit zu erfahren, dass bei dem Entstehen der Röntgenstrahlen, also in dem Augenblick der völligen Umhüllung der Anode vom dunklen Raum, das Beobachtungsrohr starke elektrische Wellen auszusenden beginnt. Dieses Zusammentreffen, welches wohl kaum ein zufälliges sein kann, weist nun auf einen Zusammenhang zwischen Röntgenstrahlen und elektrischen Wellen hin. Wehnelt drückt sich etwas reservierter aus; er sagt:

Das Auftreten von X-Strahlen ist daher wohl von keinem anderen Faktor in so starkem Mafse abhängig, als von dem Entstehen (disruptiver), schnell gedämpfter Entladungen" [d. h. von einer auch starke elektrische Wellen erzeugenden Form des elektrischen Ausgleiches. d. Vf.].

Sind nun wirklich die Röntgenstrahlen Ätherwellen, so ist immer noch zu entscheiden, welche Länge und welche Schwingungszahl ihnen zukommt oder mit anderen Worten, welchem der als unbekannt bezeichneten Gebiete unseres Ätherwellen-Spektrums (Seite 155) sie angehören.

Ohne Frage liesse sich die Wellenlänge berechnen, wenn es nur gelänge, eine Interferenz (Seite 160) und eine Beugung oder Brechung der Röntgenstrahlen in einem Prisma nachzuweisen. Der Nachweis wäre dann nicht schwerer zu erbringen als für jeden beliebigen Lichtstrahl. Aber alle Bemühungen nach dieser Richtung zu einem positiven Resultat zu gelangen, sind bislang vergeblich gewesen, die Röntgenstrahlen lassen sich weder zur Interferenz bringen noch werden sie durch ein Prisma — wie alle uns bisher bekannten Strahlenarten — merklich aus ihrer geradlinigen Bahn abgelenkt. Wenige Untersuchungen, nach denen eine Interferenz stattfinden soll, sind ganz unsicher und durchaus bestritten. Hier also liegen die Schwierigkeiten, denen die Wissenschaft bei der Deutung der Röntgenstrahlen begegnet — nicht in der Erklärung ihrer Durchdringungskraft.

Nun sagt allerdings ein kompliziertes Gesetz, dem Physiker als Dispersionsgesetz bekannt, in seiner letzten mathematischen Konsequenz aus, dass für äusserst kleine Wellenlängen der Brechungsexponent = 1 werden muss, d. h. dass dann die Wellenstrahlen durch den Übergang von einem Medium zu einem anderen eine Ablenkung nicht mehr erfahren. Derartige Wellen dürften dann aber nicht über 0,000001 Millimeter lang sein.

Da wir schliesslich alle Aetherschwingungen (auch die Wärme- und Lichtschwingungen) als elektrische auffassen können, hindert uns also nichts, die Röntgenstrahlen für elektrische Wellen winzigster Wellenlänge zu halten und noch hinter jenem Gebiet zu suchen, das wir als das hyperultraviolette bezeichnet haben. Unzweideutige Beweise aber fehlen dieser Theorie bisher ganz und gar.

Zuletzt wollen wir nicht unerwähnt lassen, dass anschliessend an die Röntgensche Entdeckung mehrere andere Strahlungsarten aufgefunden wurden, welche gleichsam ein Bindeglied zwischen den hyperultravioletten und den Röntgenstrahlen darstellen können. Sie teilen mit den letzteren die Eigenschaft der Durchdringungsfähigkeit für undurchsichtige Körper sowie ihre chemische Wirksamkeit, lassen aber immerhin noch eine Beugung und Brechung erkennen. Wir meinen vor allen andern Becquerels*) Uranstrahlen und jene unsichtbare Strahlung, die der Japaner Muraoka**) im Lichte der Johanniskäfer fand und von der sichtbaren gleichsam „abfiltrierte", indem er sie durch ein undurchsichtiges Kartonblatt gehen liess. Näher auf diese Materie einzugehen verbietet jedoch der Zweck des Buches.

*) Becquerel, Compt. rend. **122**, 501, 559, 689, 762, 1896.
) Muraoka, Wied. Ann. **59, 780, 1896.

Namenregister.

(Die beigedruckten Zahlen geben die Seiten an.)

Sachregister.

(Die beigedruckten Zahlen geben die Seiten an.)

E.

F.

G.

H.

I.

A. W. Hayn's Erben, Berlin und Potsdam