8. *Handliche Vorrichtung zur Erzeugung Lenard'scher Strahlen und einige Versuche mit solchen Strahlen; von Th. Des Coudres.*

(Aus dem Institut für physik. Chemie zu Göttingen.)

Entstanden ist der kleine Apparat gelegentlich einstweilen noch erfolgloser Bemühungen¹⁾ Kathodenstrahlfortpflanzungsgeschwindigkeiten mit Hilfe electromagnetischer Wechselfelder von Drahtwellen zu bestimmen. Als Hauptschwierigkeit machte sich hier die Unbekanntheit des Einflusses geltend, den die Annäherung stromdurchflossener und somit auch statisch geladener Drähte an das Rohr auf die Austrittsstellen und den Entstehungsmechanismus der Kathodenstrahlen haben mag. Wie schwierig es zur Zeit noch ist, wahre Ablenkung fertig gebildeter Strahlen von Verschiebungen der Ansatzpunkte oder sogenannter Deflexion durch secundäre Kathoden einwandsfrei zu trennen, dafür mag als Beispiel aus neuester Zeit die E. Wiedemann und G. C. Schmidt'sche Berichtigung von Versuchsergebnissen Jaumann's²⁾ gelten. Auch an die von Elster und Geitel beschriebenen beweglichen Lichterscheinungen³⁾ sei erinnert. Es schien erwünscht, die electrostatischen und electrodynamischen Eigenschaften der Kathodenstrahlen zunächst nach dem Vorgange Lenard's⁴⁾ in einem durch ein Metallfenster vom Erzeugungsraume getrennten Beobachtungsraume zu studiren.

Wenn hier vor Abschluss dieser Versuche eine einfache Anordnung beschrieben wird, Kathodenstrahlen von recht erheblicher Intensität ins Freie treten zu lassen, so geschieht es im Hinblick darauf, dass einerseits durch die Röntgen'sche Entdeckung das Interesse für die Kathodenstrahlen sehr viel allgemeiner geworden ist, als es früher der Fall war, dass aber andererseits unter den vielen Hunderten seit anderthalb

1) Des Coudres, Verhandlungen der physik. Gesellsch. zu Berlin. 14. p. 85. 1895.

2) E. Wiedemann u. G. C. Schmidt, Wied. Ann. 60. p. 510. 1897.

3) Elster und Geitel, Wied. Ann. 56. p. 733. 1895.

4) Th. Lenard, Wied. Ann. 51. p. 225; 52. p. 23. 1894; 56. p. 255. 1895.

Jahren über Röntgen- und Kathodenstrahlen erschienenen Arbeiten, wie es scheint, kaum eine das Verhalten der Kathodenstrahlen ausserhalb des Entladungsrohres behandelt. Vielleicht scheute man die schwierige Technik der Lenard'schen Beobachtungsweise. Mit dem Beziehen eines Rohres von Müller und Unkel ist es hier eben durchaus noch nicht gethan.¹⁾

Der Apparat.

Das praktisch Missliche bei der Erzeugung Lenard'scher Strahlen mit dem Inductorium ist die Nothwendigkeit, trotz des „Fensters“ und seiner Kittung ein sehr gutes Vacuum im Erzeugungsraume zu erhalten. Zu umgehen ist diese Forderung dadurch, dass man für genügend plötzliche Electricitätszufuhr sorgt. An anderem Orte²⁾ ist bereits die Erfahrung mitgetheilt worden, dass bei gegebenem Gasdrucke Kathodenstrahlen von immer geringerer Absorbirbarkeit entstehen, je rascher die Potentialdifferenz an den Electroden ansteigt. Es gilt die Verwendung electricischer Oscillationen von möglichst grosser Amplitude bei möglichst geringer Schwingungsdauer. Auch die

Fig. 1.

maximale Stromstärke im Rohre spielt vielleicht eine Rolle. Teslaapparate, wie die von Leybold oder Carpentier in den Handel gebrachten, geben noch recht ungenügende Resultate. Die Selbstinductionscoefficienten sind hier zu gross gegenüber der Condensatorcapacität.

Zum Betriebe mit einem grösseren Inductorium der gewöhnlichen Art eignet sich als primärer Kreis: eine Leydener Flasche *L* (Fig. 1) von etwa 1400 cm Capacität; ein Kupferblechband *B*, das in drei Umgängen *P* um ein Hartgummirohr von 4 cm Durchmesser und 10 cm Länge geführt ist;

1) G. Klingenberg, *Elektrotechn. Zeitschrift*, **17**. p. 223. 1896. Auch unsere Bemühungen in England mit geölter Seide (McClelland, *Electrician* **39**. p. 74. 1897) scheinen nur zu recht bescheidenen Wirkungen geführt zu haben (Zusatz bei der Correctur).

2) Des Coudres, *Verh. der 68. Naturforscher-Versammlung zu Frankfurt a. M.* p. 69. 1897.

eine mikrometrisch verstellbare Zinkkugelfunkenstrecke *F*. Die secundäre Spule *S* aus einmillimetrigem blanken Kupferdrahte wird mit 1 mm Ganghöhe in etwa 60 Windungen auf ein über die primäre Spirale geschobenes dickwandiges Ebonitrohr aufgewunden. Es ist nicht nöthig, aber im Interesse der Isolation bequem und vortheilhaft, den kleinen Transformator in ein Gefäß mit flüssigem Paraffin zu setzen. Bei den angegebenen Dimensionen wenigstens arbeitet man zweckmässig mit der grössten Schlagweite *F*, die das Inductorium zu liefern vermag und verzichtet auf „Activität“ des Funkens. Um wenig absorbirbare und vom Magneten wenig ablenkbare Strahlen zu bekommen, erweist sich eben die Amplitude des ersten Stromstosses von grösserer Bedeutung als das Dämpfungsverhältniss.

Fig. 2 ($\frac{1}{2}$ nat. Gr.).

Verbindet man die Drahtenden *a* und *b* mit den Electroden eines Rohres der von Lenard¹⁾ benutzten Form, so erhält man in die Atmosphäre austretende Strahlen schon bei Drucken, wo mit dem Inductorium erzeugte Kathodenstrahlen trotz der grünen Fluorescenz des ganzen Glasrohres auch nicht in irgend merkbarem Grade das Aluminiumfolienfenster durchdringen. Das

bei Teslaerregung austretende Strahlbüschel ist jedoch meist recht schwach und oft aussetzend. Etwas sicherer treffen die von der kleinen Aluminiumscheibe ausgehenden Strahlen auf das Fenster, wenn wir als zweite Electrode die das Fenster tragende Messingfassung, bez. den Platinrohrstützen nehmen. Aber auch dann bleiben die Kathodenstrahlen im Rohre immer noch unruhig und man braucht nur die Hand einigermaassen zu nähern, um sie dauernd vom Fensterchen fernzuhalten. Es ist eine bemerkenswerthe Thatsache, dass die unter dem Einflusse genäherter Leiter „beweglichen“ Strahlen dieselben Strahlen

1) Lenard, l. c. 51. p. 228. 1894.

sind, welche dünne Schichten fester Körper zu durchsetzen vermögen. Auch anders gestaltete Glasröhren blieben wegen corrodirender Fünkchen von den Electrodenrändern nach den Glaswänden meist nur kurze Zeit in brauchbarem Zustande.

Besser, ja recht gut bewährt dagegen haben sich für die Erzeugung Lenard'scher Strahlen Hartgummikammern von der aus dem Querschnitte (Fig. 2) ersichtlichen Form und Grösse.¹⁾ Die Aluminiumelectrode *A* ist bis auf die dem Fenster gegenüberliegende Fläche ganz von Hartgummi umschlossen. Ob man sie so klein wie in der Figur und etwas concav wählte, oder ob sie eben war und den ganzen Boden des Röhrchens ausfüllte, gab ziemlich gleiche Resultate. Als andere Electrode dient die eingeschraubte Messingkappe *B* mit dem 2 mm grossen Loche für das Aluminiumfensterchen. Die Hartgummiplatte *C* verhindert directen Funkenübergang aussen herum zwischen *A* und *B*. Das angelöthete Metallrohr *D* führt mittels biegsamen dickwandigen Gummischlauches zur Quecksilberpumpe. Das äussere Gewinde *b* gestattet ein mit Messingfassung versehenes Glasrohr *E* anzuschrauben als Beobachtungsraum für Versuche in verschiedenen Gasen und bei verschiedenen Drucken. Zur Kittung des Fensters wie zur Herstellung sämtlicher Dichtungen dient Marineleim, der mit der Stichflamme eines Gaslöthrohes aufgeschmolzen wird. Es wurde dafür gesorgt, dass die Fensterfolie an einer Stelle metallischen Contact mit der Fassung hatte. Dann kann so ein 0,003 mm dickes „einmal geschlagenes“ Aluminiumblättchen wochenlang halten, auch wenn es täglich mehrere Stunden lang einen Theil der einen Electrode ausmacht. Nur von aussen auftreffende Fünkchen müssen ängstlich vom Fenster ferngehalten werden und das wird erleichtert, wenn man die Fassung *B* dauernd mit der Erde verbindet. Allerdings werden Stromamplitude und Strahlenintensität dadurch nicht unbedeutend geschwächt. Erdableitung von *B* ist auch nöthig, wenn der Beobachtungsraum ebenfalls evacuirt werden soll. Sonst stört zu sehr das leuchtende „Ansprechen“ des verdünnten Gases. Im übrigen gewährt

1) Rohr und Transformator können von Hrn. Institutsmechaniker Schlüter in Göttingen bezogen werden. Seiner freundlichen Unterstützung mit Rath und That danke ich auch die rasche Ueberwindung einer Reihe technischer Schwierigkeiten.

Schutz gegen fremdes Licht und eventuelle im Beobachtungsraume unbeabsichtigt entstehende Kathodenstrahlen der von *Lenard* angegebene Ueberzug der phosphorescenzfähigen Schirme mit Blattaluminium.

Mit der beschriebenen Anordnung kann die Mehrzahl der *Lenard*'schen Versuche auch ohne das *Lenard*'sche Experimentirgeschick bequem wiederholt und einem kleineren Hörerkreise demonstriert werden. Eine Ausnahme bilden natürlich die Versuche über das Verhalten der Kathodenstrahlen im absoluten Vacuum, da sie ein vollständig dichtes Fenster erfordern und die Verwendung von Gummischläuchen ausschliessen, während es sonst bei dem Apparate genügt, durch gelegentliche Pumpenzüge das Vacuum nur unter etwa 0,02 mm Quecksilber zu halten. Selbst einem grossen Auditorium können *Lenard*'sche Strahlen mittels eines steil gegen das Fenster gestellten Baryumplatincyanschirmes gezeigt werden. Der glänzend helle Halbkreis von einigen Centimetern Radius vergrössert sich um etwa ein Viertel, sobald man mit einem Schlauche Leuchtgas gegen das Fenster strömen lässt. Während es für Demonstrationsversuche geboten ist, sich die Mühe nicht verdriessen zu lassen und aus einmal geschlagenem Aluminiumblatt unter dem Mikroskop ein löcherfreies Stück auszusuchen, kann man für Zwecke, wo es nicht auf grosse Intensität ankommt, oft auch dünnstes Aluminiumwalzblech verwenden. Ich danke den Hinweis darauf der Liebenswürdigkeit meines Freundes *R. Wachsmuth*. Ihm war es gelungen, zwischen heissen Kupferblechen das dünnste Aluminiumband des Handels weiter als auf 0,01 mm Dicke und darunter fehlerfrei auszuwalzen. Mit solchem Fenstermaterial ist natürlich ungleich leichter hantiren, als mit der Folie selbst der besten Schlägereien.

Hochfrequenztransformator und Hartgummiröhrchen gestatten weiter, sich ohne jede Schwierigkeit noch von folgenden Thatsachen zu überzeugen.

Färbung von Salzen.

In freier Luft werden von den Kathodenstrahlen die gleichen chemischen Wirkungen ausgeübt, wie sie von *Goldstein*¹⁾ im

1) *Goldstein*, *Wied. Ann.* 54. p. 371. 1895.

Erzeugungsrohre beobachtet worden sind. Ein vor das Fensterchen gelegter KCl-Krystall wird beispielsweise violett, NaCl gelbbraun, KBr hellblau. Ganz überraschend empfindlich gegen die Lenard'schen Strahlen sind die Platindoppelcyanüre. Calciumplatincyanürkrystalle bekommen bei häufiger Benutzung als Kathodenstrahlreagens einen rostbraunen Ueberzug, die Baryumplatincyanürschirme leuchtend orangerothe Flecke. Das veränderte Salz hat stark an Fluorescenzfähigkeit eingebüsst. Bei Tagesbeleuchtung nur ganz schwach sichtbare orangegelbe Flecke auf einem Röntgenschirme treten im Dunkeln von ultraviolettem Lichte oder Lenardstrahlen getroffen schon fast schwarz hervor. So ist es möglich, die chemische Wirkung der Kathodenstrahlen auf einem Schirme nachzuweisen, der nur Bruchtheile einer Secunde direct an das Fenster gehalten wurde. Im Lichte gehen auch die Platincyanürveränderungen wieder zurück, doch ist z. B. über eine Stunde directer Sonnenbestrahlung nöthig, um eine in zwei Minuten erzeugte Rothfärbung von Baryumplatincyanür für das Auge wieder vollständig zum Verschwinden zu bringen. An den von intensiven Lenardstrahlen getroffenen Stellen leuchten die Röntgenschirme der im Handel befindlichen Art mehrere Minuten lang nach, doch rührt dies Leuchten nicht von dem Platincyanür her, sondern wahrscheinlich von einem Kreidgehalt der Pappe. Die linke Seite des Cartons erweist sich nämlich noch stärker phosphorescentfähig als die mit den Platinsalzkristallen überzogene. Reines Platindoppelcyanür ohne Bindemittel dagegen phosphorescirt weder vor noch nach der Umfärbung in merklichem Grade.

Entstehung von Röntgenstrahlen.

Sendet ein ausserhalb des Entladungsrohres von Kathodenstrahlen getroffener Körper Röntgen'sche X-Strahlen aus? Um ein Urtheil zu gewinnen, wie man die Versuchsanordnung treffen muss, prüfen wir zunächst ob und in welcher Art Röntgenstrahlen schon vom Lenardfensterchen selbst ausgehen.

Ein mit der Pappseite dem Rohre zugekehrter Baryumplatincyanürschirm oder licht- und kathodenstrahllicht in Cartons eingeschlossene photographische Platten lehren, dass Röntgenstrahlen bereits bei Gasdrucken und Spannungsamplituden (erzeugt durch kleine „active“ Primärfunken) auftreten,

wo Kathodenstrahlen als solche die Aluminiumfolie noch nicht zu durchdringen vermögen. Geht man durch Verbesserung des Vacuums und Vergrößerung der Länge der Primärfunkensstrecke zum Regime maximaler Lenardstrahlenerzeugung über, so bekommt man auf senkrecht zur Rohraxe gestelltem Röntgensschirm oder photographischer Platte Bilder, wie die nebenstehenden (Fig. 3), und zwar geht die eine Figur in die andere über, wenn man den Commutator des Inductoriums umlegt.

Fig. 3.

Wie die Exposition von Platten in verschiedenen Abständen und mit verschiedenen Neigungswinkeln gegen die Hartgummi-

Fig. 4.

rohraxe zeigt, handelt es sich um ein axiales recht scharf begrenztes Strahlbündel und um zwei ebenso scharf begrenzte trichterförmige. Diese Gebilde erklären sich einfach daraus, dass das Fenster Lochcamerabilder aller im Röhrchen vorhandenen Ausgangsstellen von Röntgenstrahlen liefern muss. Discussion der Erscheinungen im Einzelnen auf Grund einer Reihe ausgemessener Negativplatten würde nicht genug Interesse bieten. Als Beleg für die Richtigkeit der Erklärung möge vielmehr nur das angeführt werden: Je nachdem *A* oder *B* zur Erde abgeleitet ist, kann durch Regulirung der Funkenstrecke das Ringsystem oder der

Mittelstrahl völlig ausgelöscht werden. Ferner: Unter dem Einflusse eines dem Röhrchen genäherten Magneten wird in der aus Fig. 4 ersichtlichen Weise der centrale Fleck nach der einen Seite verschoben, die Helligkeit der Rinfigur dagegen nach der anderen Seite gedrängt. Am augenfälligsten tritt die Natur z. B. der Kreise als Lochcamerabilder hervor, wenn man die Verschlusskappe mit mehreren Fenstern versieht. Fig. 5 beispielsweise ist die Wiedergabe einer Photographie, wie man sie bei drei in einer geraden Linie nebeneinander liegenden runden Fensterchen erhält. Gegen die besprochenen Strahlbündel tritt eine vom Fenster aus gleichmässig nach allen Richtungen ausgehende Röntgenstrahlung an Intensität vollständig zurück.

Die Querschnittsskizze (Fig. 6) zeigt, wie die mehrfach in schwarzes Papier eingehüllte photographische Platte *P* vor

Fig. 5.

Fig. 6.

den directen X-Strahlen des Hartgummiröhrchens geschützt werden kann. Die stark schraffirten Theile bestehen aus Blei. *r* ist ein in die Bleikammer *H* eingelöthetes Messingrohr. Bei *S* werden unter 45° gegen dessen Axe und gegen die Verticale die Platten aufgelegt, an denen die aus dem Fenster kommende Lenardstrahlung in Röntgenstrahlen umgewandelt werden soll. Solange kein fester Körper am Orte *S* befindlich ist, bleibt eine photographische Platte durch 10 Min. Exposition noch völlig unverändert. Legen wir ein Platinblech auf, so erscheint das Lumen des Messingrohres als scharfe schwarze Kreisfläche abgebildet. Dass es sich nicht um diffus reflectirte X-Strahlen handelte, ging daraus hervor, dass Aluminiumblech von 0,05 mm Dicke direct auf das Fenster gelegt jeden Effect des Platinbleches aufhob, während es die aus der Ebonitkammer kom-

menden Röntgenstrahlen kaum schwächte. Auch für die bei *S* an Platin entstandenen *X*-Strahlen war es durchlässig, wie sich zeigte, als die halbe Messingrohröffnung bei *P* mit ihm bedeckt wurde. Wie Platin verhielten sich auch Blei und Kupfer. Unvergleichlich viel schwächer Röntgenstrahlen erzeugend sind beispielsweise Aluminium und Glas. Gute Strahlen dagegen gab mit Uranoxyd überzogenes Aluminiumblech¹⁾, ebenso eine Krystallfläche von Calciumplatincyänür. Eigentlich quantitative Schlüsse können wegen der Unregelmässigkeiten im Spiele von Inductorium und Funkenstrecke aus aufeinander folgenden Aufnahmen nicht gezogen werden, zu schweigen von der schwierigen Constanthaltung des Gasdruckes. Man hat vielmehr ein Rohr mit zwei Fenstern zu verwenden. Es sind zwei Aufnahmen nöthig. Bei der einen Aufnahme befindet sich die Substanz 1 vor dem rechten, die Substanz 2 vor dem linken Fenster, bei der zweiten wird 1 von den Strahlen des linken, 2 von denen des rechten Fensters getroffen. Von der Ausführbarkeit der Methode kann man sich mit extemporirten Zurüstungen überzeugen. Merkwürdigerweise fand ich das Emissionsvermögen eines Kupferbleches unzweideutig grösser als das eines Platinbleches, während jüngst Kaufmann im Erzeugungsrohre die entgegengesetzte Beobachtung gemacht hat.²⁾ Freilich scheint auch die Oberflächenbeschaffenheit bei der *X*-Strahlenemission eine merkliche Rolle zu spielen. Dass mit 0,05 mm dicker Aluminiumschicht überzogenes Platin sich praktisch wie reines Aluminium verhalten muss, war vorauszusehen; aber schon in der Luft angelaufenes Blei erwies sich etwas weniger activ als frisch blank geschabtes. Eine systematische Untersuchung hätte weiter Rücksicht zu nehmen auf den Einfluss der Dicke der Substanzschicht und etwaigen Einfluss electrostatischer Ladung. Auch der Prüfung des Emissionsvermögens von Flüssigkeiten für *X*-Strahlen scheinen keinerlei Schwierigkeiten im Wege zu stehen. Misslicher gestalten sich die Verhältnisse, wenn man eine experimentelle Antwort auf die Frage sucht, ob und in welchem Grade eine dünne, auf der Vorderseite von Lenardstrahlen getroffene Schicht

1) Langer, Naturw. Wochenschr. 12. p. 188. 1897.

2) W. Kaufmann, Verhandl. d. physik. Gesellsch. zu Berlin. 16. p. 117. 1897.

eines festen Körpers auf ihrer Rückseite Röntgenstrahlen aus-
sendet. Vielleicht geht es hier überhaupt nicht ab ohne die
Einschaltung einer gasverdünnten Beobachtungskammer, in der
die Lenard'schen Strahlen von den aus dem Fenster mit
austretenden X-Strahlen durch den Magneten getrennt werden.
Eine derartige Vorrichtung bedingt aber immer höchst unbe-
queme Intensitätsverluste.

Leitendwerden der Luft.

Dicht am Fenster war ein Aluminiumrohr vorbeigeführt,
das bei *a* (Fig. 7) eine mit 0,004 mm dicker Aluminiumfolie ver-
schlossene Oeffnung hatte. Ein in Richtung des Pfeiles durch-
geschickter Luftstrom entlädt das mit beliebigem Vorzeichen
geladene Electroskop *b*, so-
bald das Lenardrohr *c* in
Thätigkeit gesetzt wird.
Schiebt man dagegen ge-
walztes Aluminium von
0,05 mm Stärke zwischen
die beiden Fenster, so er-
folgt das Zusammenfallen
der Electroskopblättchen
zwei- bis dreimal lang-
samer. Da von so dünnen
Aluminiumschichten die

Fig. 7.

X-Strahlen nur wenig geschwächt werden und da andererseits
die an den Aluminiumrohrwandungen durch die Kathoden-
strahlen geweckten Röntgenstrahlen ausserordentlich schwach
sind gegen die direct aus dem Vacuumröhrchen kommenden,
so ist es nicht unwahrscheinlich, dass ein Theil der Wirkung
primär von den Lenard'schen Strahlen herrührt. Für eine
endgültige Entscheidung ist ein derartiges Experiment natür-
lich nicht sauber genug. Seine Mittheilung mag nur als An-
regung zu exacterer Inangriffnahme der Aufgabe gelten.
Legt man bei *d* und *e*, d. h. zwischen die Aluminiumrohr-
wand und zwischen einen in der Rohraxe isolirt angebrachten
Draht eine genügend hohe Potentialdifferenz an, so wird auch
bei Eindringen von Kathodenstrahlen in den Luftstrom dessen
Leitfähigkeit wieder aufgehoben, ebenso wie bei dem durch

reine X-Strahlung erzeugten Leitungsvermögen.¹⁾ Dieser Giese-Thomson'sche Versuch²⁾, leitende Gase durch Entionisirung nicht leitend zu machen, gelingt in gleicher Weise mit Luft, die ihr Leitungsvermögen durch Hinstreichen über feuchte Phosphorstückchen erlangt hat. Das Experiment eignet sich sogar zum Vorlesungsversuche. Uebrigens war dies Resultat nach den Arbeiten von Elster und Geitel³⁾ und von Naccari⁴⁾ mit Sicherheit vorauszusagen. Bei Studien über das zeitliche Abklingen der Leitfähigkeit von Röntgenluft unter dem Gesichtspunkte des Massenwirkungsgesetzes, wie solche von J. J. Thomson und E. Rutherford bereits begonnen sind, wären vielleicht Parallelversuche mit Lenardluft und mit Phosphorluft nicht unzweckmässig.

Die mitgetheilten Resultate lassen sich dahin zusammenfassen, dass in den geprüften Beziehungen sich Kathodenstrahlen ausserhalb des Erzeugungsraumes gerade so verhalten, wie im Erzeugungsraume selbst.

Göttingen, Pfingsten 1897.

1) J. J. Thomson u. E. Rutherford, *Phil. Mag.* (5) **42**. p. 392. 1896.

2) Giese, *Wied. Ann.* **17**. p. 255. 1882.

3) Elster u. Geitel, *Wied. Ann.* **39**. p. 323. 1890.

4) Naccari, *Atti Torino* **25**. p. 384. 1889/1890.

(Eingegangen 17. Juni 1897.)