

V. Zur objectiven Darstellung der Hertz'schen Versuche über Strahlen electricischer Kraft; von L. Zehnder.

1. Die kleinen Fünkchen, welche Hr. Hertz bei seinen Versuchen über Strahlen electricischer Kraft im secundären Leiter erhalten hat, eignen sich nicht ohne weiteres zur objectiven Darstellung, weil sie ausserordentlich lichtschwach sind. Zwar gelingt es leicht, bei ungefähr 6 m Abstand beider Focallinien der Spiegel secundäre Funkenlängen von $\frac{1}{7}$ bis $\frac{1}{8}$ mm Länge zu erhalten und solche Funken lassen sich im verdunkelten Raume noch auf eine Entfernung von 3 m wahrnehmen; dieselben können indessen gleichzeitig doch nur einer sehr beschränkten Personenzahl gezeigt werden. Es sind deshalb andere Mittel angewandt worden, um dem Zwecke der objectiven Darstellung näher zu kommen. So hat Hr. Ritter ¹⁾ durch die secundären Funken Froschschenkel in Zuckungen versetzt; Hr. Boltzmann ²⁾ hat die durch die kleinen Fünkchen bewirkte Leitungsfähigkeit der Funkenstrecke benutzt, um ein mit der einen secundären Leiterhälfte verbundenes Electroscop durch eine zu der anderen Leiterhälfte führende Trockensäule zu laden; und jüngst veröffentlichten die Hrn. Lucas und Garrett ³⁾ einen Funkensucher für Hertz'sche Resonatoren, bei dem durch die secundären Funken Knallgasexplosionen eingeleitet werden, welche Methode sich möglicherweise auch für die Spiegelversuche eignet. Sodann lassen sich unter Anderen die bekannten Messmethoden mit dem Bolometer der Hrn. Paalzow und Rubens, mit den Thermoelementen des Hrn. Klemenčič, die von Hrn. Hagenbach und mir ⁴⁾ beobachteten Wirkungen der in den secundären Leitern auftretenden electricischen Ladungen auf das Electrometer und das Galvanometer in bequemer Weise objectiv einem grösseren Auditorium darstellen.

1) Ritter, Wied. Ann. **40**. p. 53. 1890.

2) Boltzmann, Wied. Ann. **40**. p. 399. 1890.

3) Lucas und Garrett, Phil. Mag. (5) **33**. p. 299. 1892.

4) Hagenbach und Zehnder, Wied. Ann. **43**. p. 610. 1891.

Auf Anregung von Hrn. Prof. Warburg habe ich nun die feinen Funken noch dadurch in grösserem Umkreise wahrnehmbar zu machen gesucht, dass ich durch dieselben die Entladung eines Accumulators hoher Spannung in Geissler'schen Röhren einleitete ¹⁾. Die brillante Erscheinung, welche dabei durch das Aufleuchten eines hellen geschichteten Lichtbündels in der Focallinie des secundären Spiegels während des primären Funkenspiels sich darbietet, ist wohl mehr als eine andere der oben genannten Methoden objectiver Darstellung geeignet, die Versuche mit den Hertz'schen Strahlen electrischer Kraft anschaulich vor Augen zu führen. Ich möchte mir deshalb gestatten, meine Versuchsanordnung, welche ich schon im vergangenen Monat März verschiedenen Physikern vorgewiesen hatte, hier etwas eingehender zu beschreiben.

2. Zu meinen Versuchen verwendete ich Hertz'sche Spiegel mit ihren primären resp. secundären Leitern in der von Hrn. Hertz angegebenen Anordnung; mein secundärer Leiter bestand aus zwei Messingblechen von je 50 cm Länge, 5 cm Breite und 0,1 cm Dicke. Die secundäre Spule meines von 4 Accumulatoren bedienten Ruhmkorff hatte 18 cm Durchmesser, 37 cm Länge, und lieferte sehr wirksame Funken von etwa 0,7 cm Länge ²⁾, wenn die Unterbrechungen durch den

1) Vgl. Hertz, Ausbreitung der electr. Kraft, Leipzig 1892. p. 289 Anm. 11, wo Hr. Hertz über Versuche berichtet, bei denen er durch ultraviolettes Licht Entladungen eines Hochspannungsaccumulators durch eine sehr kleine Funkenstrecke in der Luft eingeleitet hat.

2) Nach zahlreichen Versuchen in Basel und Freiburg kam ich zu der Ueberzeugung, dass ein grosser Wasserdampfgehalt der Luft das Zustandekommen von schönen secundären Funken sehr beeinträchtigt. Wahrscheinlich würde man mit den Funken des Ruhmkorff oft viel grössere Wirkungen erzielen, wenn man diesen ganzen Apparat nach Art der sogenannten Oeltransformatoren umconstruirte, also die beiden Spulen ganz in gut isolirendes Oel versenkte, wie man überhaupt die Oelisolirung, welche sich in der Technik so vorzüglich bewährt hat, für

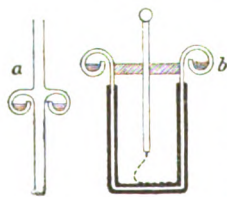


Fig. 1.

wissenschaftliche Apparate, bei denen es sich um die Erhaltung grosser Potentialdifferenzen handelt, meiner Meinung nach mehr zur Anwendung bringen könnte, durch Anordnung von Oelcanälen an Isolationsstützen (Fig. 1a), an den Glasgefässen der Leydnerflaschen (Fig. 1b) etc.

sehr schnell gehenden Deprez-Interruptor besorgt wurden. An diesem Interruptor liess ich die Platinstifte, welche den Contact bewirken, 0,5 cm dick ausführen¹⁾, und dennoch erhitzt sich derselbe bei längerem Arbeiten und brennt mit der Zeit unregelmässig ab, wodurch die Regelmässigkeit der wirk-samen primären Funken sehr beeinträchtigt wird; diesem Uebel-stand glaubte ich nicht ohne Erfolg dadurch zu begegnen, dass ich während der Dauer der Versuche vermittels einer Wasserluftpumpe einen abkühlenden Luftstrom gegen die Contactstelle dieses Interruptors richtete. Endlich vermied ich, um an den Electroden der Funkenstrecke meines secundären Leiters möglichst grosse Potentialdifferenzen zu erhalten, nicht nur am Inductorium selbst und am primären Leiter, sondern auch am secundären Leiter Spitzen und scharfe Kanten; die secundären Leiterhälften verband ich durch gleich lange Drähte mit den beiden ganz gleich beschaffenen Electroden meiner secundären Funkenstrecke.

Sodann diente mir zu den meisten Versuchen eine Accumulatoren-batterie von 600 kleinen Planté'schen Secundär-elementen²⁾, deren Strom durch eine Jodcadmiumröhre von etwa 1 Mill. Ohm Widerstand so geschwächt werden konnte, dass er die Electroden der Geissler'schen Röhre nur wenig erhitzte und dass er überdies während vieler Stunden zu Beobachtungen vollkommen ausreichte.

Bevor ich indessen auf die definitiven Versuchsanordnungen zur Demonstration der Hertz'schen Spiegelversuche unter Benutzung solcher Accumulatoren näher eintrete, möchte ich einige Vorversuche erwähnen, welche mir nicht ohne Interesse zu sein scheinen.

3. Den ersten erfolgreichen Versuch, eine Wirkung der electrischen Schwingungen im secundären Leiter auf die Entladungen in Geissler'schen Röhren zu erhalten, machte ich

1) Den von mir für die zu benutzenden Starkströme etwas abgeänderten Deprez-Interruptor lieferte Hr. Mehan. Fr. Klingelfuss in Basel.

2) Vgl. Warburg, Wied. Ann. **31**. p. 545. 1887. Der von mir benutzte Accumulator ist vor nahezu acht Jahren neu hergestellt worden und hat sich durch einige Reparaturen wieder in brauchbaren Zustand bringen lassen.

mit einer Anordnung nach nebenstehendem Schema, Fig. 2, in welcher III die in der Focallinie des secundären Spiegels befindlichen Leiterhälften, $Q_1 Q_2$ zwei kleine Hg-Näpfchen, $G_1 G_2$ zwei etwa 4 cm weite Geissler'sche Röhren mit geringem Electrodenabstand, f die Hertz'sche secundäre Funkenstrecke und A den Accumulator bedeuten soll. Ich regulirte die secundäre Funkenstrecke f so, dass nach Ausschaltung des Accumulators Hertz'sche Funken übersprangen; dann nahm ich von den Accumulatorelementen eine so grosse Zahl, dass bei einer sehr geringen Vermehrung der Elementenzahl der Accumulatorenstrom die drei gemäss Fig. 2 in einen und denselben Stromkreis geschalteten Funkenstrecken $G_1 f G_2$ zugleich

durchschlagen konnte. Leitete ich nun in f noch die Hertz'schen secundären Funken ein, so durchbrach der Strom des Accumulators jene drei hintereinander geschalteten Funkenstrecken, und die hellere Lichterscheinung in den Geissler'schen Röhren liess das Zustandekommen der secundären Funken in f erkennen.

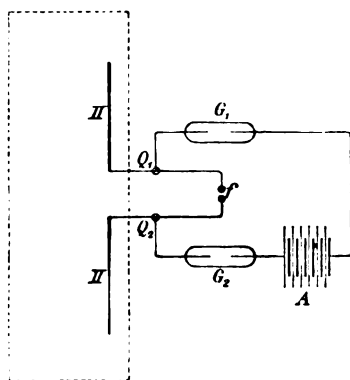


Fig. 2.

4. Nun verlegte ich die Funkenstrecke f selbst in die Geissler'sche Röhre. Zuerst

pumpte ich unter fortwährender Beobachtung der secundären Funken eine Röhre, in welche die beiden Electroden der secundären Funkenstrecke eingekittet waren, mit einer Wasserluftpumpe allmählich aus; dabei schien die Lichtstärke der Funken mit zunehmender Luftverdünnung mehr und mehr abzunehmen, bei constant bleibender secundärer Funkenstrecke. Sodann ging ich zu stärkeren Verdünnungen von etwa 1 mm Hg-Druck über, indem ich mit einer von Hrn. C. Kramer in Freiburg i. Br. hergestellten und mir von demselben gütigst überlassenen Kahlbaum'schen Quecksilberluftpumpe evacuirte, welche Luftpumpe mir zu allen diesen Versuchen sehr gute Dienste leistete. Um vorerst möglichst kleine secundäre Funkenstrecken

in der Glasröhre zu erhalten, verwendete ich dicke an den Enden mit Platin belegte Kupferdrähte als Electroden und kittete dieselben mit Siegelack in die Röhre ein; die Länge jeder Electrode von der Kittstelle bis zu der Funkenstrecke betrug etwa 5 cm. Nachdem eine solche Röhre ausgepumpt war, erwärmte ich die Kittstellen und die Electroden drähte vorsichtig, sodass keine Luft in die Röhre eintreten konnte, schob jene Drähte bis zur Berührung zusammen und liess dieselben nachher sich wieder abkühlen; dabei verkürzten sich die Drähte mehr als die Wandungen der Glasröhre und sie liessen infolge dessen zwischen ihren einander zugewandten Enden eine ausserordentlich kleine Funkenstrecke entstehen, welche der Abkühlung der Drähte entsprechend an Grösse zunahm, immer aber eine sehr geringe Länge behielt. Während dieser Abkühlung liess ich das secundäre Funken spiel in der im luftverdünnten Raume befindlichen Funkenstrecke zu Stande kommen. So lange sich beide Electroden noch berührten, trat selbstverständlich keine Lichterscheinung auf; sobald aber eine sehr kleine Luftstrecke zwischen beiden Electroden sich befand, sah man helle Funken überspringen, welche sich dem Auge als kleine Lichtpunkte darboten, genau so wie Hertz'sche secundäre Funken im luftgefüllten Raume. Wurde nun bei fortschreitender Abkühlung der Drähte die Luftstrecke grösser und grösser, so gelangte man zu einem Punkte, an welchem das Funken spiel unregelmässig wurde, vorübergehend aussetzte; im verdunkelten Raume trat dann eine Glimmlichterscheinung hervor, d. h. statt eines Lichtpunktes, wie bis dahin, nahm man jetzt ein die ganze Umgebung der Electroden erfüllendes gedämpftes Licht wahr, welches sich nach allen Seiten hin bis zu einem Abstand von mehreren Millimetern von den Electroden ausbreitete und welches eine Schicht von hellstem Lichte zunächst an der Oberfläche der Electroden erkennen liess, so dass die Electroden selbst vom Glimmlichte deutlich sich abhoben. Dieses Glimmlicht ist ohne Zweifel das bekannte Kathodenlicht, und es schien dasselbe bei meiner Versuchsanordnung an beiden Electroden nahezu symmetrisch zu sein; das Anodenlicht konnte man vermuthlich nicht erkennen, weil es bei dem äusserst geringen Abstände der Electroden sich auf einen entsprechend kleinen Raum beschränken musste und so-

mit neben dem heller leuchtenden Kathodenlichte völlig verschwand.

Von besonderer Merkwürdigkeit schien es mir zu sein, dass bei allmählicher Vergrösserung der Funkenstrecke jene hellen Funken *plötzlich* durch das Glimmlicht abgelöst wurden, ohne allmählichen Uebergang der einen in die andere Lichterscheinung, so zwar, dass bei einem und demselben äusserst kleinen Abstand der Electroden entweder der helle Funkenübergang oder das Glimmlicht, in rascher und unregelmässiger Aufeinanderfolge dem Auge sich darbot ¹⁾; das Funken spiel war dabei so hell, das Glimmlicht so charakteristisch, dass eine Verwechslung völlig ausgeschlossen ist. Dass diese beiden verschiedenen Lichterscheinungen in unregelmässiger Reihenfolge sich ablösen, lässt sich wohl durch die stets mehr oder weniger vorhandenen Unregelmässigkeiten der wirksamen

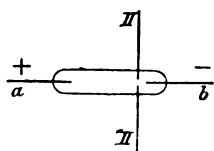


Fig. 3.

primären Funken erklären. — Vergrösserte sich endlich durch Abkühlung der Drähte die Funkenstrecke noch mehr, so zeigte sich jenes Glimmlicht ausschliesslich, welches bei um so grösseren Abständen der Electroden bestehen bleibt, je näher die Hertz'schen Spiegel einander gestellt werden.

5. Nun stellte ich mir dem ursprünglichen Vorschlage von Hrn. Prof. Warburg gemäss eine Geissler'sche Röhre her, in welche ich ausser den für den starkgespannten Accumulatorstrom in Aussicht genommenen Platinelectroden noch zwei Electroden für die Hertz'sche Funkenstrecke einkittete nach nebenstehendem Schema in Fig. 3, in welcher *II II* die mit den secundären Leiterhälften verbundenen Electroden der Hertz'schen Funkenstrecke, *a b* die für den Accumulatorstrom bestimmten Electroden darstellen sollen. Die Hertz'sche Funkenstrecke brachte ich in die Nähe der Kathode, weil der Kathodenwiderstand der Luftstrecke bekanntlich bedeutend grösser als der Anodenwiderstand ist, so dass man hoffen konnte,

1) Vgl. Hittorf, Pogg. Ann. **136**. p. 1. 1869; E. Wiedemann, Wied. Ann. **20**. p. 756. 1883. In Uebereinstimmung mit Hrn. Hittorf fand Hr. E. Wiedemann den Widerstand, welcher der Glimmlichtentladung in evacuirten Röhren entgegengesetzt wird, zunehmend, wenn die beiden Electroden einander bis auf sehr kleine Abstände genähert werden.

nach Durchbrechen der Luftstrecke in unmittelbarer Nähe der Kathode durch die Hertz'schen secundären Funken werde der Gesamtwiderstand der Luftstrecke bedeutend vermindert. Nun variierte ich die Anzahl der Secundärelemente solange, bis der Accumulatorenstrom nahezu, nämlich bei der geringsten Vermehrung der Elementenzahl, zwischen a und b überging, leitete das secundäre Funkenspiel ein und erhielt dadurch gleichzeitiges Einleiten des Accumulatorenstromes, welcher bestehen blieb, bis ich den betreffenden Stromkreis unterbrach. — Auch bei dieser Geissler-Röhre schob ich nach vorsichtigem Erwärmen in oben (§ 4) angegebener Weise die Electroden der Hertz'schen secundären Funkenstrecke bis zur Berührung zusammen, sodass durch die Abkühlung der Drähte minimale langsam wachsende Funkenstrecken zwischen denselben entstehen mussten. Liess ich dann, nach richtiger Einstellung des Accumulators, das secundäre Funkenspiel zu Stande kommen, so beobachtete ich bei den kleinstmöglichen secundären Funkenstrecken helle Hertz'sche Funken in denselben, wie § 4 angegeben; diese Funken leiteten aber den Accumulatorenstrom nicht ein. Hatte sich dagegen die Funkenstrecke so stark erweitert, dass die Glimmlichterscheinung eintrat, so kam dadurch die Accumulatorentladung zu Stande. Also nur die *Glimmlicht*-Entladung ist es, welche den Widerstand der Luftstrecke genügend zu vermindern vermag, sodass die Accumulatorentladung eingeleitet werden kann; infolgedessen dürfen die Electroden der Hertz'schen Funkenstrecke einander nicht so nahe stehen, dass helle Funken statt des Glimmlichtes auftreten, sie dürfen aber andererseits auch nicht so weit voneinander abstehen, dass das Glimmlicht sich zwischen ihnen gar nicht mehr zu bilden vermag.

6. Die Regulirung der an den Electroden der Geissler-Röhre auftretenden Potentialdifferenz durch Variiren der Secundärelementenzahl war nicht bequem; deshalb suchte ich durch andere Anordnungen dieses Reguliren zu umgehen. Ich stellte mir Röhren her mit mehreren Electroden für die Accumulatorentladung, in verschiedenen Abständen. Beispielsweise erhielt ich gute Resultate mit einer Röhre von nebenstehender Construction, Fig. 4; $a b c d$ sind vier in das Glas eingeschmolzene Electroden, $b c$ wählte ich als Anoden

für die Accumulatorenentladung und verband dieselben durch einen Draht miteinander, $a d$ waren Kathoden und konnten durch ein Hg-Näpfchen Q ebenfalls metallisch verbunden werden. Der Abstand der Electroden $a b$ war grösser als derjenige von $c d$, aber doch nur so gross, dass der Accumulatorenstrom ohne äussere Beeinflussung auch zwischen jenen Electroden $a b$ zu Stande kam; zwischen den Electroden c und d befand sich die Hertz'sche Funkenstrecke f (in der Zeichnung senkrecht zur Tafel gedacht) sehr nahe der Kathode d , im Uebrigen der vorigen Figur analog angeordnet.

Hierauf verband ich a und b mit den Polen der Accumulatoren-batterie durch Eintauchen des zu a führenden Leitungs-

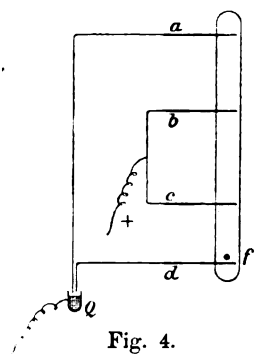


Fig. 4.

drahtes in das Hg-Näpfchen Q , und erhielt dadurch die Glimmentladung zwischen $a b$. Stellte ich nun durch Eintauchen des anderen zu d führenden Leitungsdrahtes in das Hg-Näpfchen auch die Verbindung der beiden Kathoden a und d her, so blieb, wenn die Accumulatorenentladung nicht eine intermittierende war, dieselbe doch zwischen den Electroden $a b$ bestehen. Sobald ich aber Hertz'sche Funken in der Funkenstrecke f entstehen liess, sprang die Entladung auf die einander näher

stehenden Electroden $c d$ über. Umhüllte ich also den oberen Theil des Rohres, sodass die Entladung zwischen $a b$ schon in geringen Entfernungen nicht mehr sichtbar war, nur diejenige zwischen $c d$, so wurde die Röhre durch auftretende Hertz'sche Funken momentan zum Aufleuchten gebracht. Eine solche Röhre verwendete ich zu vielfachen Versuchen, bis sie unbrauchbar wurde, dadurch nämlich, dass die längere Funkenstrecke $a b$ dem Durchgang des Accumulatorstromes einen geringeren Widerstand entgegensetzte, als die kürzere $c d$.¹⁾

7. Während ich bisher alle Versuche mit hinter dem se-

1) Erst später wurde ich auf das Mittel geführt, ein solches Unbrauchbarwerden der Röhren zu verhindern (§ 8).

cundären Spiegel aufgestellten Versuchsröhren vorgenommen hatte, verlegte ich nun diese in die Focallinie des secundären Spiegels, sodass das Lichtbündel der Accumulatorenentladung in der Focallinie selbst zu Stande kam.

Als die eben beschriebene Röhre für die erwähnten Versuche nicht mehr tauglich war, führte ich einige andere Versuche in der Weise mit derselben aus, dass ich auch die Electroden *a d* bleibend miteinander verband und mit einer Potentialdifferenz des Accumulators operirte, die weder in *a b* noch in *c d* eine Entladung entstehen liess. Durch die Hertz'schen Funken wurde nun wieder die Entladung eingeleitet, allein ich beobachtete, dass die Funkenstrecke *a b* schneller aufleuchtete als *c d*, obwohl jene Funken unmittelbar an *d* entstanden. Vermuthlich waren es also bei diesem Versuche nicht die secundären Funken in *f*, welche die Accumulatorenentladung auslösten. Und in der That blieb die Erscheinung die nämliche, als ich zuerst eine Hälfte, dann auch die zweite Hälfte des secundären Leiters aus der Focallinie des secundären Spiegels entfernte und damit die Funkenstrecke in *f* völlig wirkungslos machte. Offenbar waren jetzt die electrischen Schwingungen in den Zuleitungsdrähten, welche nicht völlig horizontal (d. h. nicht senkrecht zu der verticalen Schwingungsrichtung) gespannt waren, Ursache der Einleitung der Accumulatorenentladung. Spannte ich die Drähte vollkommen horizontal, so blieb die Erscheinung aus, zeigte sich aber wieder, wenn ich einen U-förmig gebogenen Draht mit einer Electrode *a* oder *b* in Verbindung brachte. Dabei schienen mir die Dimensionen des angehängten Drahtes für das Gelingen solcher Versuche durchaus nicht gleichgültig zu sein; ich habe aber die Erscheinung nicht weiter verfolgt.

8. Zahlreiche Beobachtungen machte ich mit der in Fig. 5

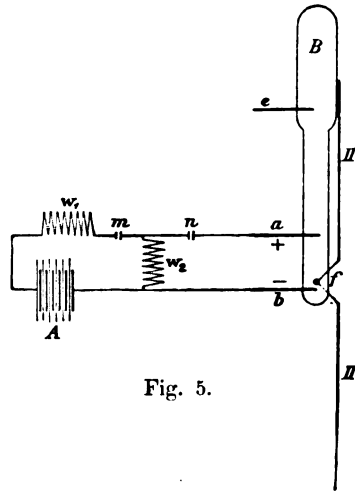


Fig. 5.

angegebenen definitiven Versuchsanordnung, in welcher A den Accumulator, w_1 und w_2 zwei grosse Widerstände, m und n Unterbrecher, und $II\ III$ die secundären Leiterhälften darstellen; auf letzteren war die ebenfalls eingezeichnete Versuchsröhre festgebunden, deren Electroden $a\ b$ für die Accumulatorenentladung dienten. Die verwendeten Röhren hatten einen inneren Durchmesser von 0,8 cm, ihre Electroden $a\ b$ einen Abstand von 5 cm. Unmittelbar neben der Electrode b , welche ich meistens als Kathode für die Accumulatorenentladung wählte, befanden sich die beiden symmetrisch zu b angeordneten Electroden der Funkenstrecke meines mit diesen Electroden durch kurze Drähte verbundenen secundären Leiters. In der Figur sind diese Electroden durch f dargestellt und senkrecht zu der Zeichnungsebene gedacht; ihren Abstand schätze ich in zweien meiner Versuchsröhren auf etwa $\frac{1}{50}$ mm, und 165 bez. 215 von meinen Planté'schen Secundärelementen waren im Stande, zwischen jenen einander so nahen Electroden die Glimmentladung hervorzubringen. Um den Widerstand der Funkenstrecken dieser Versuchsröhren geringer zu machen, stellte ich deren sämtliche Electroden aus dicken Aluminiumdrähten (0,2 cm) her, in die ich vor der Stichflamme der Glasbläserlampe dünne Platindrähte (0,03 cm) einschmolz.

Nach den Erfahrungen von Hrn. Prof. Warburg behält der Widerstand der Funkenstrecken solcher evacuirter Röhren einen für lange Zeit constanten Werth, wenn man durch electrolytische Einführung von metallischem Natrium die letzten Sauerstoffreste aus den Röhren entfernt.¹⁾ Deshalb versah ich meine Röhren mit einer passenden Erweiterung B (Fig. 5), mit eingeschmolzener Electrode e , tauchte nach dem Auspumpen derselben bis auf etwa 0,15 cm Hg ihr Ende B in auf 300° erwärmtes Natriumamalgam und leitete den Strom meines Accumulators in der Richtung vom Natriumamalgam zur Electrode e durch die Glaswandung der Röhre hindurch; das auf diese Weise in das Röhreninnere gelangende metallische Natrium riss den dort befindlichen Sauerstoff der Luft an sich, wodurch der Druck im Innern der Röhren auf etwa 0,12 cm Hg sank.²⁾

1) Warburg, Wied. Ann. 40. p. 1. 1890.

2) Die von mir hier beschriebenen zu allen diesen Versuchen dienenden Röhren können fertig evacuiert mit electrolytisch eingeführtem

Als Widerstände w_1 und w_2 stellte ich mir U-förmig gebogene Röhren von 0,7 cm lichter Weite für w_1 bez. 0,5 cm für w_2 her; in den kürzeren Schenkeln derselben waren Platin-drähte mit angelötheten Cadmiumelectroden fest eingeschmolzen, in den längeren Schenkeln konnten dagegen die anderen Cadmiumelectroden auf- und abgeschoben werden; die Röhren wurden mit der sehr wenig leitenden concentrirten Lösung von Jodcadmium in Amylalkohol gefüllt, und die Länge der so erhaltenen Flüssigkeitswiderstände liess sich reguliren von 0 bis 20 bez. 15 cm bei den beiden Röhren.

Der Widerstand w_1 dient in erster Linie dazu, den Accumulatorstrom soweit abzuschwächen, dass die Electroden $a b$ sich nicht zu sehr erhitzen. Um nun an diesen Electroden innerhalb bestimmter Grenzen jede gewünschte Potentialdifferenz hervorbringen zu können, schaltete ich den Widerstand w_2 der Funkenstrecke $a b$ parallel; durch Reguliren desselben erhielt ich an jenen Electroden leicht diejenige Potentialdifferenz, welche zwar zu klein ist, um die Entladung des Accumulators ohne äussere Einwirkung, aber gross genug, um sie mit Hülfe der Hertz'schen Funken in f entstehen zu lassen. Allerdings war es aus leicht verständlichen Gründen nöthig, den Nebenschluss w_2 zuerst zu schliessen, erst nachher die Funkenstrecke $a b$ einzuschalten. Man kann zu diesem Zwecke als Stromschlüssel ein mit w_1 leitend verbundenes Hg-Näpfchen verwenden, in welches 2 verschieden lange zu w_2 bez. zu a führende Drähte zugleich eingetaucht werden, ähnlich wie dies in Fig. 4 bei Q angedeutet wurde.

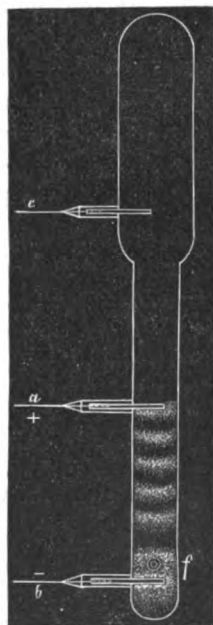


Fig. 6.

Natrium von Hrn. C. Kramer, Glasbläser in Freiburg i/B. bezogen werden. In diesen Röhren ist schon die einfache Glimmentladung, welche (ohne den Accumulatorstrom) statt der Hertz'schen Funken auftritt, so hell, dass sie, insbesondere bei Abblendung des Lichtes der Primärfunken, von allen Seiten auf mehrere Meter Abstand zu sehen ist.

9. Mit der hier beschriebenen Versuchsanordnung habe ich die Hertz'schen Spiegelversuche vielfach objectiv mit bestem Erfolge demonstriert, unter Anwendung von Spiegelabständen bis zu 8 m (Mai 1892). Durch die secundären Funken wird in jenen evacuirten Röhren eine Entladung des Accumulators eingeleitet, welche eine schön ausgebildete Schichtung zeigt (Fig. 6) und welche ohne wesentliche Verdunkelung des Raumes, nur bei Dämpfung des etwa eintretenden directen Sonnenlichtes, auf einen Abstand von über 10 m deutlich erkannt werden kann. Mit Hülfe der Widerstände w_1 und w_2 lässt sich aber die Potentialdifferenz an den Electroden a b auch in der Weise erhalten, dass die Accumulatorenentladung nicht nur genau mit den Hertz'schen Funken entsteht, sondern mit denselben auch wieder verschwindet, wodurch selbstverständlich die Einwirkung der primären Funken auf die Accumulatorenentladung und demzufolge auch auf die secundäre Funkenstrecke noch augenfälliger zu Tage tritt.¹⁾ Auch diese Entladung zeigt Schichtung, ist aber unter Umständen etwas weniger hell, als diejenige, welche, wenn einmal eingeleitet, bis zur Unterbrechung des Accumulatorenstromes durch den Experimentator bestehen bleibt. Dass wirklich die Hertz'schen electrischen Schwingungen es sind, welche die Entladung des Accumulators bewirken, geht daraus hervor, dass diese letztere durch Reflexion von einer ebenen Metallwand oder von einem Metallgitter eingeleitet wird, und dass die Wirkung eben so gut sich erhalten lässt, wenn der secundäre Spiegel im Nebenzimmer sich befindet, sodass die electrischen Schwingungen durch die geschlossene Thür hindurch wirken müssen.

10. Obgleich Accumulatoren von etwa 600 Elementen, wie sie zu den beschriebenen Versuchen nöthig sind, wegen

1) Natürlich müssen in Batterien und Zuleitungen alle Contacts in Ordnung, alle in Hg eintauchenden Kupferdrähte gut amalgamirt sein, damit der Accumulator während der Versuche möglichst constante Potentialdifferenz behält. Bei meinen Versuchen verwendete ich als Verbindungsstellen der Drahtleitungen ausschliesslich gute Hg-Contacts oder Löthungen.

ihrer hohen electromotorischen Kraft verbunden mit sehr constanter Wirkung gewiss grössere Verbreitung verdienen, sind dieselben doch gegenwärtig noch in wenigen physikalischen Instituten anzutreffen. Aus diesem Grunde versuchte ich es, *ohne Accumulator* zur objectiven Darstellung der Hertz'schen Spiegelversuche zu gelangen. Zu diesem Zwecke experimentirte ich zuerst mit einem kleinen Schlitteninductorium, dessen primäre Spule ich entweder hinter diejenige des grösseren Ruhmkorff oder derselben parallel schaltete. Durch passende Wahl der Stromstärke oder der Windungszahl jener primären Spule liessen sich Secundärströme dieses Funkengebers erhalten, welche in meinen Röhren zwischen den Electroden *a b* überspringen vermochten. Wenn ich nun die secundäre Spule jenes Schlittenapparates so weit herauszog, dass diese Entladungen zwischen *a* und *b* eben nicht mehr zu Stande kamen, so setzten dieselben sofort ein, wenn ich die beiden secundären Leiterhälften an die betreffenden Electroden meiner Röhre anschloss, sodass im Innern der Röhre die Hertz'schen secundären Funken spielten. Bei den Versuchen blendete ich die directen Wirkungen der primären auf die secundäre Funkenstrecke durch ultraviolettes Licht zuerst dadurch ab, dass ich ein Brett von etwa 50 cm Breite und genügender Länge zwischen jenen beiden Funkenstrecken vertical aufstellte. Indessen sah ich bald ein, dass ich es bei diesen Versuchen doch ausschliesslich mit der Wirkung des ultravioletten Lichtes zu thun hatte; denn wenn auch nur ein kleiner Theil des von den Spiegeln reflectirten Lichtes der Primärfunken die secundäre Funkenstrecke treffen konnte, wurde sie durch die primären Entladungen beeinflusst; wenn ich dagegen alles von der primären Funkenstrecke ausgehende Licht aufs sorgfältigste abblendete, blieb die Wirkung auf die Entladungen meines Schlittenapparates aus.

Es war von vornherein einzusehen, dass man bei solchen Versuchen mit Zeitdifferenzen zu rechnen hätte. Wenn auch die Primärströme in beiden Inductorien fast vollkommen im gleichen Augenblicke entstehen und vergehen, beispielsweise bei Hintereinanderschaltung beider Primärspulen, so wird doch der Magnetismus der beiden verschiedenen Eisenkerne sich etwas ungleich ändern, und dadurch wird eine zeitliche Ver-

schiebung der beiden entsprechenden Secundärströme gegeneinander bewirkt werden, welche, wenn auch ausserordentlich klein, doch gross genug sein kann, um das nothwendige synchrone Auftreten der Hertz'schen secundären Funken und der Entladungen des Schlittenapparates in meinen Versuchsröhren zu beeinträchtigen. Durch Variiren der Länge der Leitungsdrähte, welche von beiden Inductorien zu ihren Funkenstrecken führten, hoffte ich diese Zeitdifferenzen zum Verschwinden bringen zu können, hatte aber damit bis dahin keinen Erfolg. Aller Wahrscheinlichkeit nach würde man sicher zum Ziele gelangen, wenn man sich ein Inductorium

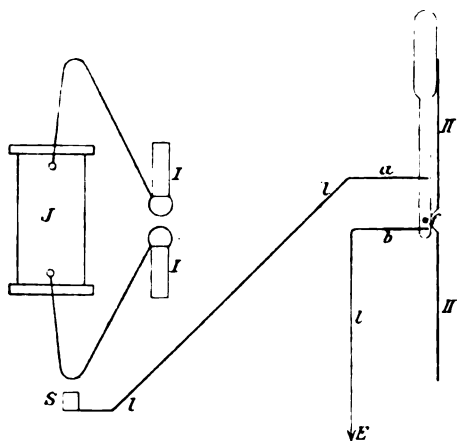


Fig. 7.

herstellte, mit zwei Secundärspulen von passenden Windungszahlen auf einem Eisenkern mit einer Primärspule, oder wenn man an seinem Ruhmkorff noch eine entsprechende kleinere Secundärspule anbrächte zur Erzeugung der für die Versuchsröhren nothwendigen schwächeren Inductionsströme.¹⁾

11. Statt diesen letzteren Weg einzuschlagen, versuchte ich noch ein anderes Mittel. Durch Büschelentladungen leitete ich einen Theil des vom Ruhmkorff gelieferten Secundärstromes

1) Vielleicht liesse sich durch diese Anordnung ein Mittel gewinnen, um äusserst kleine Zeitdifferenzen bei den Magnetisirungen verschiedener Eisenmassen messend zu verfolgen.

durch die Leitung l von seinem Wege zu dem primären Leiter ab und zu den Electroden a b meiner Versuchsröhre im secundären Spiegel, gemäss Fig. 7, in welcher S das einfache mit einer Spitze versehene Drahtende der Leitung l oder unter Umständen zweckmässiger ein in der Ebene des Ruhmkorff-Leitungsdrahtes, der hier eine stärkere Krümmung besitzt, liegendes mit jenem Drahtende gut verbundenes Stanniolblatt, und E eine Erdleitung (fliessendes Leitungswasser) bezeichnen soll. (Selbstverständlich sind die Drahtleitungen in Wirklichkeit senkrecht zu der Richtung der electrischen Schwingungen gespannt.) Durch Variiren des Abstandes des Stanniolblattes S von der Ruhmkorff-Leitung kann man leicht eine Potentialdifferenz zwischen den Electroden a b erhalten, welche eine in grösserem Umkreise sichtbare Entladung in der Röhre entstehen lässt. Man regulirt nun diese Potentialdifferenz durch Veränderung des erwähnten Abstandes so, dass die Entladungen in der Röhre eben nicht mehr sichtbar werden. Verbindet man hierauf die Electroden der secundären Funkenstrecke der Versuchsröhre mit den secundären Leiterhälften, sodass die Hertz'schen Funken zu Stande kommen, so leiten diese den stärkeren und weithin sichtbaren Zweigstrom der Leitung l ein. Es ist also mit dieser einfacheren Anordnung, welche nur die § 8 beschriebenen, in Fig. 6 dargestellten Röhren nöthig macht, ein Mittel gegeben, um alle Hertz'schen Spiegelversuche einem grösseren Auditorium zu demonstrieren, da das Einleiten und Verschwinden der stärkeren Entladungen in den Versuchsröhren genau dem primären Hertz'schen Funkspiel entspricht, auch bei vollständig abgeblendetem ultraviolettem Lichte zu Stande kommt, dagegen ausbleibt, wenn ein Leiter von genügender Breite und Höhe zwischen die beiden Spiegel gebracht wird. Allerdings ist diese Art der objectiven Darstellung nicht so exact, wie diejenige mit Hülfe der Accumulatoren, weil doch von Zeit zu Zeit stärkere Inductionsströme im Ruhmkorff auftreten, welche noch schwache Entladungen in der Versuchsröhre zu erzeugen im Stande sind, auch wenn man die electrischen Schwingungen vom secundären Leiter durch zwischengestellte Leiter abgefangen hat. Wo aber Accumulatorbatterien von so hoher electromotorischer Kraft fehlen, dürfte doch die zuletzt beschriebene Anordnung die

Hertz'schen Spiegelversuche augenfälliger als irgend eine andere bis dahin bekannt gemachte Anordnung objectiv demonstrieren.¹⁾

Freiburg i. B., Physikal. Inst. der Univ., Juli 1892.

1) Zweckmässig wird man zur Demonstration einen möglichst grossen Spiegelabstand wählen; dagegen sind bei feuchter Luft (stark gefülltes Auditorium!) die Spiegel einander näher zu rücken. — In seiner Vorlesung über Experimentalphysik zeigte Hr. Prof. Warburg nahezu alle Hertz'schen Spiegelversuche nach der hier beschriebenen Darstellungsart, ohne Verdunkelung des Auditoriums.
