**2. Ueber den Verlauf des Unterbrechungsfunkens
im Wechselstromkreise bei Metallelektroden, ins-
besondere bei Quecksilberelektroden;
von Ludwig Kallir.**

1. Zweck der Untersuchung.

Der beim Unterbrechen eines Stromkreises auftretende Unterbrechungsfunken zeigt, wenn er zwischen zwei Metallteilen zu stande kommt, ein verschiedenes Verhalten, je nachdem Gleich- oder Wechselstrom unterbrochen wird. Der Wechselstromunterbrechungsfunken ist durch ein auffällig rasches Abreißen von dem bei Gleichstrom auftretenden unterschieden. Das hat zur Folge, dass, solange nicht sehr hohe Spannungen in Betracht kommen, das Stehenbleiben von Lichtbogen bei Wechselstromschaltern nicht zu befürchten ist, und dass Blitzschutzvorrichtungen mit einfacher Funkenstrecke, insbesondere dann, wenn die Elektroden aus sogenanntem „non arcing metal“ bestehen, ohne besondere Vorrichtung zum Auslöschen eines etwa sich bildenden Lichtbogens in Wechselstromanlagen mit voller Sicherheit functioniren.¹⁾ Diese Thatsache steht in vollem Einklange mit der Beobachtung, dass die Bildung eines Wechselstromlichtbogens zwischen zwei Metallelektroden auch bei langsamem Auseinanderziehen derselben und vorausgegangen-
ner starker Erwärmung unmöglich ist.²⁾

Ueber die Ursache dieses Verhaltens der Metalle kann eine nähere Untersuchung des Verlaufes des Vorganges beim Unterbrechen des Stromkreises Aufschluss geben. Hierzu bieten sich zwei Wege:

1. Die Beobachtung des Stromverlaufes bei der Unterbrechung durch continuirliche Aufnahme desselben mit einem Oscillograph oder einer Braun'schen Röhre.

1) F. Neesen, Sicherungen von Schwach- und Starkstromanlagen gegen die Gefahren der atmosphärischen Elektrizität. p. 99, 45 f., 114.

2) Vgl. L. Arons, Wied. Ann. 57. p. 185 1896.

2. Die Beobachtung des Unterbrechungsfunkens durch Photographie desselben auf bewegten Platten.

Ueber einige in letzter Richtung angestellte Versuche soll im Folgenden berichtet werden. Dieselben waren anfänglich bloss mit der Absicht angestellt worden, über die Dauer eines Unterbrechungsfunkens Aufschluss zu erhalten, ob derselbe nämlich sich über mehrere Halbperioden erstrecke, oder schon infolge des ersten Stromrichtungswechsels erlösche. Zur Lösung dieser Frage erwies sich die verwendete Methode als ausreichend; sie ist es nicht mehr, wenn der Verlauf des lichtbogenartigen Elektrizitätsüberganges während einer Halbperiode genauer verfolgt werden soll. Hierzu wären Versuche nach einer der zuerst genannten Methoden anzustellen.

2. Versuchsanordnung.

Um den Verlauf des Unterbrechungsfunkens, der unter verschiedenen Bedingungen zu stande kam, photographisch festzuhalten, wurde er auf eine mit bekannter Geschwindigkeit sich bewegende photographische Platte projicirt. Die Platte war in einen auf die Axe eines kleinen Gleichstrommotors aufgesetzten Rahmen eingeschoben, dessen Ebene auf der Axenrichtung senkrecht stand. Die Bilder des Funkens, die den aufeinanderfolgenden Wechselstromhalbperioden entsprechen, sind dann auf der Platte längs eines Kreises aneinandergereiht; es hatte diese Anordnung zur Folge, dass bei Funken, deren Dauer länger als die einer Umdrehung des Motors war, oder in Fällen, wo die Platte durch zwei getrennte Funken belichtet wurde, eine teilweise Ueberdeckung der Bilder eintrat. Dieser Nachteil machte sich jedoch nicht sehr fühlbar, weil die Funkendauer meist bedeutend kleiner war, als die Zeit einer Umdrehung des Motors. Die Tourenzahl des letzteren wurde gemessen, und aus der bekannten Periodicität $n = 41,6$ des unterbrochenen Wechselstromes (Strom aus dem Strassennetz der Internationalen Elektrizitätsgesellschaft in Wien) konnte der Verlauf des Funkens auf Grund der erhaltenen Photographie beurteilt werden. Jedem leuchtenden Elektrizitätsübergang während einer Halbperiode entspricht ein infolge der Bewegung der Platte in die Länge gezogenes Funkenbild, welches von

den den angrenzenden beiden Halbperioden entsprechenden Bildern durch unbelichtete Zonen getrennt ist.

Die Bedingungen, unter welchen der Unterbrechungsfunke zwischen denselben Elektroden mehrmals zu stande kommt, sind im allgemeinen von Versuch zu Versuch wechselnd. Wenn keine besonderen Vorkehrungen getroffen werden, sind insbesondere die folgenden Umstände von Fall zu Fall verschiedenen und doch für den Verlauf bestimmend:

1. Die Form der kurz vor dem Augenblicke der Unterbrechung sich noch berührenden, bei der Unterbrechung schmelzenden bez. verdampfenden und den Funken bildenden Teile.

2. Die Geschwindigkeit, mit welcher die Elektroden voneinander entfernt werden (Unterbrechungsgeschwindigkeit v).

3. Der Augenblick der Wechselstromperiode, in welcher die Unterbrechung erfolgt.

Um wenigstens rücksichtlich der ersten beiden Punkte möglichst gleichbleibende Verhältnisse zu erzielen, wurde für die weitaus grösste Zahl der gemachten photographischen Aufnahmen der Unterbrechungsfunken zwischen einem Metallstabe einerseits, einem mit bestimmter Geschwindigkeit sinkenden Quecksilberspiegel andererseits gebildet. Der Metallstab tauchte in ein mit Quecksilber gefülltes Glasgefäss mit Abflusshahn, durch den die Geschwindigkeit, mit welcher der Quecksilberspiegel sich senkte, eingestellt werden konnte. Die Verhältnisse, unter welchen die Unterbrechung stattfand, waren also ähnlich denjenigen bei Quecksilberschaltern. Es wurden mit der beschriebenen Anordnung sowohl im luftgefüllten als auch evacuirten Raum eine grosse Anzahl von Aufnahmen gemacht, welche sich hinsichtlich der nachstehenden Umstände bez. Grössen voneinander unterscheiden:

Material des in das Quecksilber eintauchenden, die zweite Elektrode bildenden Metalles;

Grösse des unterbrochenen Stromes;

Grösse der elektromotorischen Kraft, die im Stromkreise wirkt;

Art des Widerstandes des unterbrochenen Stromkreises (nicht inductiv oder inductiv);

Unterbrechungsgeschwindigkeit.

3. Allgemeine Resultate.

Die Versuche haben gezeigt, dass die uncontrolirbaren Verschiedenheiten bei unter scheinbar gleichen Verhältnissen herbeigeführten Unterbrechungen doch von solcher Bedeutung sind, dass der Verlauf des Funkens auch bei Kenntnis der Versuchsbedingungen (Strom, elektromotorische Kraft, Material der Elektroden, Unterbrechungsgeschwindigkeit etc.) zwar in qualitativer Hinsicht, nicht aber in quantitativer (Stärke und Dauer des Funkens) vorhergesagt werden kann. Es scheint, dass die kleinen Verschiedenheiten in der Art des Eintretens der Unterbrechung, wie sie unvermeidlich sind, auf den Verlauf derselben entscheidend einwirken. Doch lassen sich an sämtlichen Aufnahmen einige ausnahmslos geltende Thatsachen beobachten, welche der Besprechung einzelner typischer Aufnahmen vorangestellt werden sollen. Dieselben gelten für Unterbrechungsfunken zwischen Quecksilber einerseits, Platin oder Kupfer andererseits.

I. Der Unterbrechungsfunken hat im luftgefüllten Raum in der Regel bloss die Dauer einer Halbperiode. Unter Verhältnissen, welche das Stehenbleiben eines Lichtbogens besonders begünstigen (grosse elektromotorische Kraft, grosse Stromstärke, kleine Unterbrechungsgeschwindigkeit) dauert der Funke länger als eine Halbperiode; er erreichte in manchen Fällen die Dauer von 9—11 Perioden. Die einzelnen Halbperioden entsprechenden Funkenbilder derartiger Photographien sind jedoch stets durch unbelichtete Intervalle von Halbperiodenlänge getrennt. Der länger andauernde Funke setzt sich aus Stromwellen gleicher Richtung zusammen; er ist kein Wechselstromfunke, sondern ein intermittirender Gleichstromfunke.

II. Im luftverdünnten Raum hat der Funke entschiedene Tendenz, länger anzudauern als unter gleichen Verhältnissen im luftgefüllten Raum. Der Stromdurchgang findet in beiden Richtungen statt, es entstehen Lichtbilder in unmittelbar aufeinanderfolgenden Halbperioden. Ob die Stromwellen, die ihnen entsprechen, ihrer Grösse nach gleich sind, könnte erst eine directe Beobachtung des Stromverlaufes entscheiden.

III. Die Art des Widerstandes des Kreises (nicht inductiv

oder inductiv) scheint keinen wesentlichen Einfluss auf den Verlauf des Funkens zu nehmen.

4. Beschreibung einzelner Versuchsergebnisse.

Als Metalle für die eine, mit dem Quecksilber combinirte Elektrode kam Platin und Kupfer zur Verwendung. Da jedoch insbesondere beim Kupfer Amalgamirung eintritt und Quecksilberteilchen an der Elektrode hängen bleiben, sind die Versuche in dieser Hinsicht nicht mit voller Bestimmtheit zu charakterisiren. Ein wesentlicher Unterschied im Verhalten der beiden Metalle hat sich nicht gezeigt. Sie gelangten in Form von 1 mm starken Drähten zur Verwendung, die an ihren eintauchenden Enden zu Oesenform gebogen waren, so dass die Unterbrechungsstelle abgerundete Form hatte.

A. Versuche im luftgefüllten Raum.

Die ersten Versuche (Platten Nr. 2—8) wurden mit Platinelektrode und 50 Volt Effectivwechselspannung im Stromkreise angestellt. Figg. 1 und 2 zeigen zwei typische Fälle. Fig. 1 (Platte Nr. 5) zeigt, sowie sechs andere dieser ersten Versuchsreihe, nur ein die Dauer einer Halbperiode nicht überschreitendes Funkenbild. Für diese Platte gelten die folgenden Werte:

Unterbrochener Strom	$J = 20$ Ampère
Wechsel-E.M.K. des Kreises	$E = 50$ Volt
Widerstand des Kreises	inductionslos.

Der Quecksilberspiegel senkte sich mit einer Geschwindigkeit von

$$v = 12 \text{ mm pro sec.}$$

Wenn auch dieser Wert nicht die eigentliche Unterbrechungsgeschwindigkeit darstellte, d. i. die Geschwindigkeit, mit welcher die Quecksilberelektrode sich von der Metallelektrode trennt — denn es tritt infolge Adhäsionserscheinungen zwischen Quecksilber und eintauchendem Metall eine Verzögerung der Unterbrechung ein und dann ein rascheres Anwachsen der Funkenlänge als bei gleichförmiger Geschwindigkeit des sinkenden

Quecksilberspiegels — so giebt er doch einen Maassstab für die Unterbrechungsgeschwindigkeit. Die Rotation der Platte

Fig. 1.

Fig. 2.

erfolgte entgegen dem Sinne des eingezeichneten Pfeiles, so dass die mit *B* bezeichnete Seite den Beginn, die mit *E* be-

zeichnete das Ende des Funkens darstellt. Die Platte rotierte bei der Aufnahme mit

$$n = 240 \text{ Touren pro Minute.}$$

Der Dauer einer Wechselstromhalbperiode $= T/2 = 0,012 \text{ sec}$ entspricht ein durch die eingezeichneten Radien begrenztes Intervall.

Nur eine der sieben Platten Nr. 2—8, nämlich die Platte Nr. 6 (Fig. 2), zeigt mehr als ein, nämlich zwei Funkenbilder. Sie wurde unter ganz gleichen Verhältnissen wie Platte Nr. 5 erhalten. In der Figur sind durch eingezeichnete Radien einzelnen ganzen Perioden (T) entsprechende Intervalle ihrer Grösse nach abgegrenzt. Die Linien sollen nicht etwa die Augenblicke bezeichnen, in welchen die elektromotorische Kraft Null ist; sie haben bloss den Zweck, zu zeigen, dass zwischen den beiden Funkenbildern ein unbelichteter Raum von Halbperiodenlänge gelegen ist. Während dieses Intervalles scheint kein Stromdurchgang stattzufinden.

Um das Auftreten derartiger länger andauernder Funken zu begünstigen, wurde die Wechselspannung auf 100 Volt erhöht, und die Geschwindigkeit des sinkenden Quecksilberspiegels bis auf

$$v = 0,07 \text{ mm pro sec}$$

verringert. Sämtliche Aufnahmen (Platten Nr. 9—17, teilweise mit Platin, teilweise mit Kupferelektrode) ergaben jedoch als normalen Vorgang einen nur über eine Halbperiode sich erstreckenden Funken ähnlichen Aussehens wie Fig. 1.

Weitere Erhöhung der elektromotorischen Kraft auf 325 Volt ergab schliesslich Verhältnisse, für welche das Auftreten eines mehrfachen Funkens mit ziemlicher Sicherheit vorhergesagt werden konnte. Die Aufnahmen Nr. 18—43 wurden unter Verwendung der erwähnten Spannung ausgeführt. Der unterbrochene Strom hatte stets eine Stärke

$$J = 10 \text{ Amp.}$$

Gleich die beiden ersten Aufnahmen (Platten Nr. 18 u. 19), die eine mit inductionsfreien, die andere mit nahezu völlig induktivem Widerstande des Stromkreises ausgeführt, ergaben bei ungefähr

$$v = 0,055 \text{ mm pro sec.}$$

Geschwindigkeit des sinkenden Quecksilberspiegels mehrfache Funken, und zwar Platte Nr. 18 einen durch drei Perioden, Platte Nr. 19 einen durch 14 Perioden andauernden. Bei Vergrößerung der Geschwindigkeit auf etwa

$$v = 0,1 \text{ mm}$$

wurde wieder ein einfacher Funken erhalten (Platte Nr. 24), bei Verminderung auf

$$v = 0,03 \text{ mm}$$

kamen regelmässig mehrfache Funken zu stande, von welchen ein besonders lang andauernder (Platte Nr. 26) in Fig. 3

Fig. 3.

reproducirt ist. Für diese Aufnahme gelten die folgenden Daten:

Widerstand des Kreises	inductionsfrei
Unterbrechungsgeschwindigkeit	$v = 0,08 \text{ mm}$
Tourenzahl der Platte	$n = 300$

Der Funken dauerte länger als eine Umdrehung der Platte, sodass die einzelnen Bilder teilweise übereinander gelagert sind. Aus der constanten Entfernung zweier Lichtbilder, die aufeinanderfolgenden Halbperioden gleicher Stromrichtung entsprechen, ist das Entstehen der Bilder in Reihenfolge der

eingeschriebenen Ziffern mit Sicherheit zu entnehmen. Die Funkenbilder liegen auf der Originalphotographie auf einem Kreise vom Durchmesser

$$d = 8,5 \text{ cm.}$$

Einer Periode entspricht auf dem Umfange dieses Kreises bei der oben angegebenen Tourenzahl der Platte eine Länge

$$\delta = \frac{8,5 \cdot \pi \cdot 300}{60 \cdot 41,6} = 3,2 \text{ cm,}$$

während die Entfernung zweier Flecken auf der Platte

$$\delta' = 3,1 \text{ cm}$$

beträgt. Die etwa 3 Proc. betragende Differenz kann in einer Ungenauigkeit der Tourenzahlbestimmung der Platte, die immer vor und nach der Funkenbildung vorgenommen wurde, ihren Grund haben, oder darin, dass die Periodicität des verwendeten Wechselstromes nicht, wie angenommen, genau 41,6 betrug. Die Aufnahme zeigt jedoch in auffälliger Weise, dass der Funke nur aus kurzen Lichtbogen von Halbperiodendauer, aber nur einer Stromrichtung zusammengesetzt war.

Diese Thatsache giebt sich übrigens auch dadurch zu erkennen, dass eine in den Stromkreis eingeschaltete Boussole mit Stahlmagnetnadel im Augenblicke des Funkens einen oft sehr kräftigen Ausschlag giebt. Die Aufnahmen Nr. 34—43 wurden unter Beobachtung der Richtung des stattfindenden Boussoleausschlages gemacht, um zu constatiren, ob mehrfache Funken in beiden Stromrichtungen, nämlich bestehend aus Stromwellen vom festen Metall (Kupfer) zum Quecksilber, oder vom Quecksilber zum festen Metall zu stande kommen. Es wurden mehrfache Funken für beide Ausschlagrichtungen erhalten.

B. Versuche im luftverdünnten Raum.

Im allgemeinen zeigen die bisher mitgetheilten Versuche, dass Metallelektroden, zwischen welchen ein lichtbogenartiger Elektrizitätsübergang in einer bestimmten Richtung, wie es die Teile eines Unterbrechungsfunkens sind, stattgefunden hat, nicht geeignet sind, einem gleich darauf folgenden Elektrizitätsübergange entgegengesetzter Richtung als Elektroden zu dienen. Dieses Ergebnis steht mit zwei anderwärts gemachten Beob-

achtungen in voller Uebereinstimmung, nämlich einerseits damit, dass die Bildung eines normalen Wechselstromlichtbogens zwischen zwei Metallelektroden, zumindest bei niedriger Spannung, von der Grössenordnung der Spannung eines Gleichstromlichtbogens zwischen zwei Metallen unmöglich ist, andererseits damit, dass zwischen einer Metall- und einer Kohlelektrode ein andauernder Lichtbogen gebildet werden kann, der sich aber bloss aus Stromwellen einer Richtung, nämlich der vom Metalle zur Kohle zusammensetzt, während ein Stromübergang von der Kohle auf die in der Halbperiode vorher Anode gewesene Metallelektrode nicht stattfindet. Das Metall, das in einer Halbperiode Anode war, kann in der unmittelbar folgenden nicht Kathode sein. Von den möglichen Erklärungen dieser Erscheinung besitzt diejenige, welche als Veranlassung derselben die Bildung einer Oxydschicht auf der Metallelektrode annimmt, darin eine Stütze, dass sie einige merkwürdige Erscheinungen am Metall-Kohlelichtbogen in einfacher Weise zu erklären gestattet.¹⁾ Deshalb wurden auch Aufnahmen gemacht, bei welchen der Unterbrechungsfunken im nahezu luftleeren Raum gebildet wurde, nämlich zwischen einem in ein Barometerrohr eingeschmolzenen Platindrahte und einer im Rohr sich senkenden Quecksilbersäule. That- sächlich ergaben von fünf aufeinanderfolgend gemachten Aufnahmen (Nr. 50—54) vier derselben mehrfache Funken mit Funkenbildern, die unmittelbar aufeinanderfolgenden Halbperioden entsprechen; bei einer Aufnahme entstand nur ein, sich nicht über eine Halbperiode hinaus erstreckendes Funkenbild. Die Aufnahmen wurden sämtlich bei

$$J = 8-10 \text{ Amp.},$$

$$E = 325 \text{ Volt},$$

$$v = 1-2 \text{ mm pro sec.}$$

gemacht. Platte Nr. 51 (Fig. 4) bezieht sich auf einen Fall mit inductionsfreiem Vorschaltwiderstande. Die Tourenzahl der Platte war

$$n = 300.$$

1) F. Eichberg u. L. Kallir, Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. zu Wien, mathem.-naturw. Klasse 107. p. 657. 1898.

Der Zeit einer Periode entspricht unter diesen Umständen auf dem Kreise von

$$d = 8,5 \text{ cm}$$

Durchmesser, auf welchem die Funkenbilder auf der Originalplatte liegen, ein Intervall von 3,2 cm (wie schon oben berechnet). Die Enden der beiden Lichtflecken weisen thatsächlich eine Entfernung von 1,6 cm auf, entsprechen also entgegengesetzten Stromrichtungen.

Fig. 4.

Dasselbe Resultat ergab auch Aufnahme Nr. 54 (Fig. 5), die unter ganz gleichen Verhältnissen wie Nr. 51, aber mit inductivem Widerstand im Kreise gemacht wurde. Die Tourenzahl der Platte war nahezu dieselbe, nämlich

$$n = 310.$$

Die beiden Flecken schliessen hier noch dichter aneinander, sie sind sichtlich in unmittelbar aufeinanderfolgenden Halbperioden entstanden.

Ein Versuch mit einem frisch gefüllten, jedoch nicht vollkommen luftleeren Barometerrohr ergab bei dem ersten Funken,

der im Rohr gebildet wurde, die Aufnahme Nr. 65 (Fig. 6). Diese zeigt einen anfänglich (bei *B* ist der Beginn bei *E*, im

Fig. 5.

Fig. 6.

Pfeilsinn folgend, das Ende des Funkens gelegen) nach dem Sinn des Boussolenausschlages vom Platin zum Quecksilber

gleichgerichteten Funken; dann treten auch Stromübergänge in entgegengesetzter Richtung hinzu, die schliesslich mit den in ihrer Intensität abnehmenden der ersten Richtung gleichwertig werden. Sieht man die Bildung eines Oxydes als Ursache der Einseitigkeit des Funkens an, so müsste man in diesem Falle die Anwesenheit einer geringen Gasmenge als anfänglich störend annehmen; die Sauerstoffmenge scheint jedoch nicht genügend gewesen zu sein, um den nach beiden Seiten gerichteten Uebergang dauernd zu stören. Ein anderer

Fig. 7.

Erklärungsversuch könnte eine stärkere anfängliche Erwärmung bez. Verdampfung der einen Elektrode und eine erst allmählich nachkommende Erhitzung der Gegenelektrode annehmen. Gegen diese Annahme spricht jedoch die Thatsache, dass im luftgefüllten Raum ein derartiges allmähliches Gleichwerden der sich ungleich verhaltenden Elektroden auch bei lang andauernden Funken (Fig. 3) nicht beobachtet wurde. Allerdings ist auch zu erwägen, dass bei dem zuletzt besprochenen Versuch der Druck, unter welchem sich der Vorgang abspielt, nur wenige Millimeter Quecksilbersäule betrug, die Elektroden also auch nicht so hoch erhitzt werden mussten, um zu verdampfen.

Infolge eines sehr kräftigen Funkens sprang die in vorstehendem Falle verwendete Röhre, bevor weitere Aufnahmen mit ihr gemacht werden konnten. Mit einer anderen Röhre wurde, nachdem schon mehrere Funken in ihr gebildet worden waren, die Aufnahme Nr. 68 (Fig. 7) erhalten. Der Funken war länger als die Umdrehungszeit der Scheibe, sodass eine teilweise Ueberlagerung der Bilder eintrat. Die Bilder einer zusammenhängenden Serie sind untereinander ziemlich gleich und haben Halbperiodendistanz. Die der Aufnahme zukommenden Daten sind:

$$J = 8 \text{ Amp.},$$

$$E = 325 \text{ Volt},$$

Widerstand: nicht inductiv,

$$n = 198.$$

Die eingeschaltete Bousssole zeigte, trotzdem in beiden Richtungen Stromdurchgänge stattfanden, einen Ausschlag, und zwar einem Strome in der Richtung Quecksilber-Platin entsprechend. Die Stromdurchgänge in beiden Richtungen waren sonach nicht gleichwertig.

Es wurden schliesslich auch mit einer in Fig. 8 dargestellten Barometerröhre *R* Aufnahmen gemacht. Dieselbe stand in einem Gefässe *G* mit Quecksilber, in welches auch eine Bürette *B* mit Hahn *H* eingesenkt werden konnte. Wird der Hahn geöffnet, die Bürette gehoben, ohne dass sie mit ihrer unteren Oeffnung das Quecksilber verlässt, dann der Hahn geschlossen, und die Bürette wieder eingesenkt, so steigt der Quecksilberspiegel im Gefässe *G* so hoch, dass die Barometerröhre vollständig mit Quecksilber gefüllt ist. Wird hierauf der Hahn *H* geöffnet, so dringt das Quecksilber in die Bürette ein, der Quecksilberspiegel in *G* sinkt, und wenn seine verticale Entfernung vom Punkte *U* der Röhre die barometrische Quecksilberhöhe überschreitet, reisst die Quecksilbersäule bei *U*. Nachdem dieselbe unter Vermittelung des im Gefässe *G* befindlichen Quecksilbers einerseits, eines in das Barometerrohr

Fig. 8.

eingeschmolzenen Platindrahtes andererseits in den Stromkreis geschaltet ist, entsteht beim Abreissen der Säule an der Stelle *U* ein Unterbrechungsfunken, und zwar im luftleeren Raum und zwischen zwei gleichartigen Quecksilbermassen.

Fig. 9.

Das Resultat der mit dieser Röhre gemachten Versuche war entweder ein nur eine Halbperiode dauernder, oder ein in aufeinanderfolgenden Halbperioden auftretender normaler Wechselstromfunken. Für Platte Nr. 71 (Fig. 9) gelten:

$$J = 10 \text{ Amp.},$$

$$E = 325 \text{ Volt},$$

Widerstand: induktiv,

$$n = 296.$$

Die Unterbrechungsgeschwindigkeit lässt sich nicht zahlenmässig angeben, weil der Quecksilberfaden erst, nachdem seine verticale Länge die Barometerhöhe um einen gewissen Betrag überschritt, plötzlich abbriss.

5. Schlussfolgerungen.

1. Die Versuche haben gezeigt, dass der Unterbrechungsfunken eines Wechselstromkreises im luftgefüllten Raum sich

aus gleichgerichteten, lichtbogenartigen Elektrizitätsübergängen zusammensetzt, welche Periodendistanz haben. Während der Halbperioden entgegengesetzter Richtung der elektromotorischen Kraft findet kein sichtbarer Elektrizitätsübergang statt.

2. Der Unterbrechungsfunken hat nur unter günstigen Verhältnissen eine Dauer, welche die Zeit einer Halbperiode übersteigt. Die kurze Dauer wird wesentlich durch die unter 1. gegebene Thatsache begünstigt, dass der Funken sich in der der ersten Halbperiode unmittelbar folgenden überhaupt nicht, sondern erst in der zweitnächsten, der ersten gleichgerichteten wieder bilden kann.

3. Das veränderte Verhalten des Funkens im Vacuum, wo er sich in Halbperioden beider Richtungen bildet, kann entweder durch die Abwesenheit des Sauerstoffs oder auch den kleineren Druck veranlasst sein; diese Frage wäre noch durch Beobachtung des Funkens in verschiedenen Gasen und unter verschiedenem Druck zu lösen.

Wien, Elektrotechn. Inst. d. k. k. techn. Hochschule,
März 1900.

(Eingegangen 10. April 1900.)