

**9. Versuche über das Minimumpotential
von Spitzenentladungen und über den Einfluß
erhöhter Temperaturen auf dasselbe;¹⁾
von P. Pringsheim.**

Die im folgenden zu beschreibenden Versuche wurden ausgeführt auf Anregung von Hrn. Geheimrat Röntgen, dem ich auch an dieser Stelle hierfür meinen ehrerbietigsten Dank aussprechen möchte; sie hatten den Zweck, den Einfluß erhöhter Temperatur auf das Minimumpotential (M.P.) von Spitzenentladungen zu bestimmen. Als dieselben begonnen wurden, lag bereits eine große Anzahl von Arbeiten über das M.P. vor, die untereinander zum Teil nicht unerheblich abweichende Resultate enthielten: Röntgen²⁾, der sich zuerst mit dieser Frage beschäftigte, fand das positive M.P. immer ganz scharf und dadurch charakterisiert, daß der noch deutlich meßbare Strom bei geringer Potentialerniedrigung plötzlich un stetig verschwindet; Warburg³⁾ und Tamm⁴⁾ beobachteten auch bei Potentialen, die 10 Volt und mehr unter M.P. liegen, noch vorübergehende Stromstöße.

Nach Röntgen ist M.P. immer kleiner als das zugehörige A.P., und $-M.P.$ liegt immer tiefer als $+M.P.$; nach Precht⁵⁾ beträgt die Differenz zwischen A.P. und M.P. oft mehr als 1000 Volt, nach Tamm im allgemeinen nur 60 Volt; Evers⁶⁾ fand, daß sie meist für negative Spitzenentladung weit größer ist als für positive. Nach Warburg⁷⁾ kann $-M.P.$, wenn die Spitze fettig ist, größer sein als $+M.P.$, immer aber ist die der Spitze entströmende Elektrizitätsmenge bei gleichem absolutem Werte des Potentials für negative Entladung weit größer als für positive.

1) Auszug aus der Münchner Dissertation.

2) W. C. Röntgen, Göttinger Nachrichten 1878. p. 390—404.

3) E. Warburg, Wied. Ann. 67. p. 69—83. 1899.

4) F. Tamm, Ann. d. Phys. 6. p. 529. 1901.

5) J. Precht, Wied. Ann. 49. p. 150—183. 1893.

6) P. Evers, Ann. d. Phys. 17. p. 781—860. 1905.

7) E. Warburg, Ann. d. Phys. 2. p. 295. 1900.

Ferner fand Precht, daß, wenn durch die aus der Spitze ausgeströmten Elektrizitätsmengen die Luft stark elektrisiert ist, das „scheinbare“ M.P. sogar höher liegen kann als A.P., jedenfalls aber wesentlich erhöht wird; diese Erscheinung wird auch von Evers bestätigt. Dem steht direkt das von Tamm gefundene Resultat entgegen, wonach für positive und negative Ladungen M.P. sinkt, wenn längere Zeit Elektrizität aus der Spitze ausgeströmt ist, und zwar um so mehr, je höher das Spitzenpotential war; die gleiche Angabe findet sich bei J. Stark¹⁾, der die Tatsache durch die Erhitzung der Spitze infolge der beträchtlichen Stromdichte erklärt.

In der Arbeit von Evers unterscheiden sich die in zwei sich entsprechenden Versuchsreihen auf 10 Volt genau angegebenen Werte von + M.P. um 150 Volt²⁾, während M.P. im allgemeinen als absolut konstant angesehen wird.

Endlich wird in den von Warburg veröffentlichten Versuchen des Hrn. Gorton³⁾ mitgeteilt, daß M.P. für ein und dieselbe Spitze im Laufe der Zeit sich nicht gleich bleibt, sondern allmählich wächst, und nur bei Bestrahlung der Spitze mit Radium temporär wieder den ursprünglichen „Normalwert“ annimmt, auch findet sich hier die Angabe, daß während bei den früheren Versuchen Warburgs der Galvanometerausschlag zuletzt sprungweise verschwand, nunmehr unter gewissen Umständen der Strom stetig nach Null abnahm.

Manche dieser von den verschiedenen Autoren angegebenen, sich anscheinend widersprechenden Erscheinungen traten bei den von mir ausgeführten Versuchen zuweilen hintereinander bei ein und derselben Spitze auf, ohne daß hierfür ein Grund angegeben werden könnte: so fielen A.P. und M.P. manchmal vollkommen zusammen, dann lag M.P. weit unter A.P., und bei einer späteren Beobachtung waren die beiden Werte wieder nahezu gleich; M.P. änderte sich zuweilen in kurzer Frist um 100 Volt und blieb dann wieder lange Zeit sehr konstant.

Alle diese Widersprüche sind also nicht auf Verschieden-

1) J. Stark, Die Elektrizität in Gasen p. 189.

2) l. c. p. 835.

3) E. Warburg u. F. R. Gorton, Ber. d. Deutsch. Physik. Ges. 3. p. 217—224. 1905.

heiten in der Versuchsanordnung — wie z. B. Tamm¹⁾ annimmt — zurückzuführen, sondern auf geringe außerordentlich schwer zu kontrollierende Nebenumstände.

Die Versuchsanordnung war, wie auch bei fast allen oben genannten Arbeiten, mit geringen Abänderungen die von Röntgen angegebene: die beiden Pole einer durch einen Elektromotor getriebenen zweiplattigen Holtzschen Maschine konnten vermittelt eines Kommutators abwechselnd geerdet bez. mit dem Braunschen Elektrometer E , dessen Gehäuse gleichfalls zur Erde abgeleitet war, verbunden werden. Von diesem aus ging ein Zweig der Leitung durch zwei hintereinander geschaltete verstellbare Widerstände W aus Jodkadmium--Amylalkohollösung verschiedener Konzentration, von

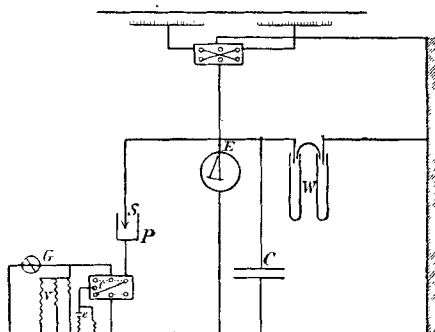


Fig. 1.

denen die verdünnte zur groben, die andere zur feinen Regulierung des Potentials in E diente, zur Erde. Parallel zu dieser Leitung war ein 20 plattiger Kondensator C aus Paraffinpapier und Stanniol geschaltet. Ein dritter Leitungszweig führte von E nach der Spitze S , welche zentral in einen oben offenen, 5 cm weiten Metallzylinder P eingeführt war, so daß die Entfernung von S bis zur Bodenplatte des Zylinders 1,5—2 cm betrug. Diese Platte endlich war durch eine Wippe entweder direkt oder durch ein Galvanometer G hindurch geerdet, so daß, wenn ein entsprechendes Spitzenpotential erreicht war, ein elektrischer Strom von der Spitze durch die Platte und das Galvanometer zur Erde floß.

1) F. Tamm, l. c. p. 530.

Zur Strommessung diente ein Dubois-Rubensscher Panzergalvanometer von 4000 Ohm Spulenwiderstand, dessen Empfindlichkeit durch entsprechende Nebenschlüsse in weiten Grenzen variiert und mit Hilfe einer einfachen Schaltung beständig kontrolliert werden konnte.

Für die Versuche bei hohen Temperaturen waren Spitze und Zylinder in einem von W. C. Heraeus¹⁾ in Hanau gelieferten Quarzgefäß eingeschlossen. Dasselbe ist in seinem 15 cm langen Hauptteil zylindrisch und besitzt dort einen Durchmesser von 5,5 cm; an beiden Enden läuft es im Rohre von 1 cm Durchmesser und 15 cm Länge aus. Durch das untere Rohr geht ein Golddraht *a* als Zuleitung zu dem 5 cm hohen Metallzylinder *P*, der — um möglichst jede chemische Veränderung des Gases beim Erhitzen zu vermeiden — aus dünnem Goldblech besteht und auf dem Boden des Quarzglasgefäßes aufliegt; am unteren Ende ist an das Rohr ein gleich weites, durch einen Hahn *H* verschließbares Glasrohr angesetzt, und in dieses ist in einem seitlichen Ansatz ein Platindraht eingeschmolzen, der seinerseits mit dem Golddraht verlötet ist. Die Verbindung zwischen Glas und Quarz ist hier ebenso wie an allen anderen Stellen durch Siegellack hergestellt und vollkommen luftdicht.

War der Hahn *H* zuge dreht, so wurde das ganze abgeschlossene Gasvolumen mit Ausnahme der kurzen, aus dem Ofen herausragenden Stücke des engen Quarzrohres gleichmäßig erwärmt, und da diese Stücke im Verhältnis zum Inhalt des weiten Quarzzylinders, der sich in der Mitte des 30 cm langen Ofens befand, sehr klein sind (sie betragen etwa 2 Proz.), so kann annähernd die Gasdichte im Entladungsapparat als konstant angenommen werden.

Auf das obere Ansatzrohr des Quarzgefäßes ist ein kurzes Glasrohr von 0,4 mm innerer Weite aufgekittet, und in dieses sind zwei ineinandergesteckte Porzellankapillaren gleichfalls mittels Siegellack eingesetzt, so zwar, daß sie oben um etwa 5 cm aus dem Glasröhrchen herausragen und unten in einer

1) Bei Herstellung, sowie bei den mehrfach notwendigen Abänderungen des Apparates zeigte die Firma Heraeus ganz besonders großes Entgegenkommen, wofür ich auch an dieser Stelle meinen besten Dank aussprechen möchte.

Entfernung von 3 cm vor dem Goldblech enden. Durch das innere Porzellanrohr ist ein 0,2 mm starker Pt-Rh-Draht geführt, in dem Raum zwischen den beiden Kapillaren liegt ein 0,1 mm starker Pt-Draht; diese beiden Drähte sind an der Stelle, wo sie unten aus dem Porzellanrohre heraustreten, durch ein Goldkugélchen miteinander verlötet, aus dem der in

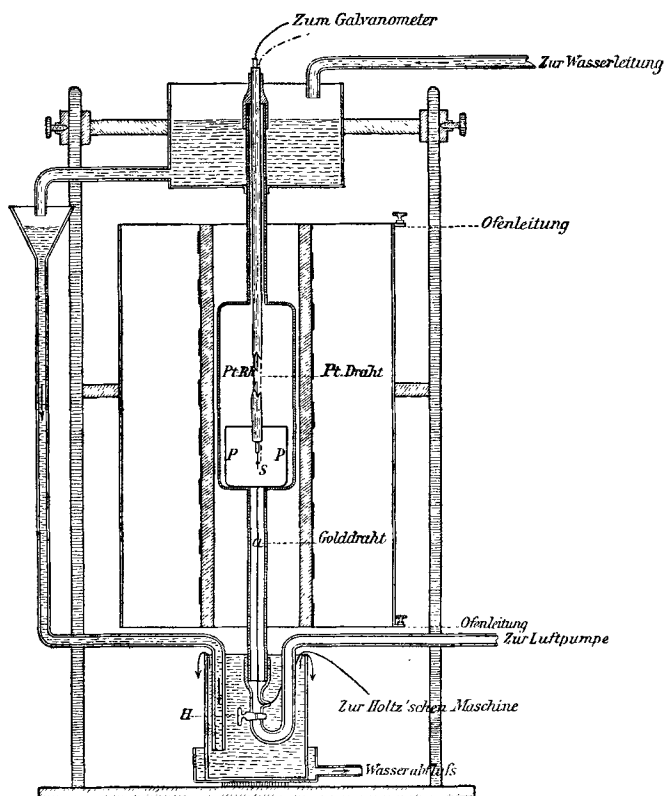


Fig. 2.

eine feine Spitze ausgezogene Pt-Draht noch um 1 cm hervorragt. An die freien Enden der beiden Drähte, welche sich immer auf Zimmertemperatur befinden, sind Kupferdrähte verlötet, die zu einer Wippe führen; in der einen Stellung schließt diese das aus dem Pt- und Pt-Rh-Draht gebildete Thermoelement durch ein Zeigergalvanometer; in der anderen Stellung

ist der Pt-Rh-Draht mit dem Galvanometer *G* verbunden bez. geerdet, während der Pt-Draht an einem Ende isoliert ist. Das Thermoelement wurde durch Vergleich mit einem von der Reichsanstalt geprüften geeicht.

Zur Erhitzung wurde das Quarzgefäß in einen elektrischen Ofen von 6,5 cm lichter Weite eingesetzt. Die aus dem Ofen herausragenden Teile des Apparates konnten durch fließendes Wasser gekühlt werden.

Die Versuche wurden zunächst in sorgfältig getrockneter, staubfreier atmosphärischer Luft ausgeführt. Bei Atmosphärendruck und Zimmertemperatur trat im allgemeinen für positive Spitzenladung (bez. negative Plattenladung) M.P. in der von Röntgen beschriebenen Weise ein, daß nämlich die Stromstärke mit sinkendem Spitzenpotential bis auf einen noch deutlich meßbaren Wert herabging, um dann bei geringer weiterer Erniedrigung der Spannung ganz zu verschwinden. M.P. und A.P. waren bei ein und derselben Spitze manchmal um 100 Volt und mehr verschieden, dann wieder fielen sie vollständig zusammen, ohne daß hierfür ein Grund gefunden werden konnte. War längere Zeit ein starker Strom durch die Spitze gegangen, so stieg M.P., um jedoch den ursprünglichen Wert wieder anzunehmen, wenn die Spitze einige Zeit ausgeruht war. Im übrigen blieb M.P. meist sehr konstant. So war für eine Spitze

Tabelle I.

am 27./VII. 05	25./X. 05	18./I. 06.
M.P. = 2120	2120	2110

Dieselbe war am 27./VII. 05 frisch in den Apparat eingesetzt worden und wurde in der ganzen Zeit nicht herausgenommen, wohl aber zu einer großen Anzahl von Versuchen verwendet.

Ganz anders war das Verhalten bei negativer Spitzenladung: Hier trat, wenn die Spitze ganz ungebraucht war, zunächst bei einem Potential, das weit unter dem später bestimmten positiven M.P. lag, eine Entladung ein, und erniedrigte man die Spannung, so verschwand der Strom wieder bei dem gleichen Potential, indem der Galvanometerausschlag stetig nach Null ging; dieser Wert des — M.P. ist der von

Warburg und Gorton als Normalwert bezeichnete. War die Spitze einige Zeit in Gebrauch, so konnte ein *dauernder* negativer Spitzenstrom nur bei sehr viel höheren Spannungen erhalten werden, während sehr starke stoßweise Entladungen schon lange vorher auftraten. In diesen Fällen lag $-M.P.$, definiert als die Spannung, welche eben noch einen dauernden Strom zu unterhalten imstande ist, zuweilen bedeutend höher als das entsprechende $+M.P.$; doch war dieses (scheinbare) $-M.P.$ dann keineswegs konstant, sondern schwankte häufig innerhalb kurzer Zeit um mehr als 100 Volt.

Eine frisch ausgezogene Platinspitze ergab die folgenden Werte (die Spannung V der Spitze in Volt, die Stromstärke J in Skalenteilen des Galvanometers angegeben); welcher Widerstand zum Galvanometer parallel geschaltet war, zeigen die Indizes ∞ , (320), (70).

Tabelle II.

1. $V-1200$	1300	1200	(Der Strom verschwand ganz stetig; kein merklicher Sprung.)				
J_{∞}	0	100	0				
2. $V-1200$	1250	1300	1280	1400 ¹⁾	1500		
J_{∞}	0	25	100	0 250; 20	120		
				\longleftrightarrow	\longleftrightarrow		
3. $V-1350$	1500	1600		1550	1500	1400	1350
J_{∞}	0	150-40	(320) 70	60	40	340	100
		\longleftrightarrow			\longleftrightarrow	\longleftrightarrow	\longleftrightarrow
4. $V-1200$	1300	1400	1500 ²⁾	1600	1580	1700	1800
J_{∞}	0	100	250-350	20; 0	(320) 75	0	0
		\longleftrightarrow	\longleftrightarrow	\longleftrightarrow			
5. $V-1800$	1900	2000	2100	2200	2300	2150	2100
J_{∞}	0	3; 0	5; 0	(320) 300; 0	0	400	300
6. $V+2050$	2100	2090	2080				
J_{∞}	0	360	240	0			

Zwischen je zwei Versuchen liegt ein Zeitraum von 20 Min., nur zwischen 4. und 5. ein ganzer Tag.

1) Der konstante Ausschlag 250 verschwand plötzlich; die mit \longleftrightarrow unterstrichenen Zahlen bedeuten stoßweise um den betreffenden Wert schwankende Ausschläge.

2) Zuerst eine kurze Zeit konstanter Ausschlag 20, der dann ohne merkliche Potentialänderung wieder verschwindet.

Bei anderen Versuchsreihen traten die stoßweisen Entladungen noch viel deutlicher und bis zu weit höheren Spannungen auf, besonders wenn schon einmal längere Zeit ein starker Strom durch die Spitze gegangen war; so war für den Apparat, dessen positives M.P. in Tab. I angegeben ist:

Tabelle Ia.

$V -$	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400	2500
							(+ M.P. = 2120)	
J_{∞}	0	100; 0	200; 0	500; 0	300	500; 0; 500	(320) 340	0—70
		\longleftrightarrow	\longleftrightarrow	\longleftrightarrow	\longleftrightarrow	\longleftrightarrow		\longleftrightarrow

Diese Erscheinung blieb gleichfalls während der ganzen Zeit, in welcher der Apparat abgeschlossen stand, erhalten; sie zeigte sich auch, als die Influenzmaschine durch Hochspannungsakkumulatoren ersetzt wurde; ebenso traten die stoßweisen Entladungen noch auf, nachdem, um letzte Staubreste zu entfernen, die ganze Innenseite des Apparates mit Glyzerin benetzt worden war. Sie dürften sich somit weder durch starke Schwankungen des Spitzenpotentials, noch auch durch Staubteilchen, die sich an der Spitze ansetzten und bei entsprechend hohen Spannungen plötzlich fortgeschleudert würden, erklären lassen. Diese „zuckenden Entladungen“ wurden auch von Wesendonck¹⁾ beobachtet. Er fand, daß sie ohne ersichtlicher Grund manchmal schon 300 Volt vor dem Einsetzen eines dauernden Stromes auftreten; da sich die betreffende Veröffentlichung jedoch lediglich mit dem Anfangspotential der Spitzenentladungen beschäftigt, wird nicht angegeben, ob, nachdem ein dauernder Strom eingeleitet worden ist und dann das Spitzenpotential erniedrigt wird, auch wieder die stoßweisen Entladungen sich zeigen. Im übrigen folgen sich zuweilen diese Stöße so dicht, daß sie mit einem langsam schwingenden Galvanometer kaum von dauernden Strömen zu unterscheiden sind.

Nach Gorton müßte bei Bestrahlung der Spitze mit Radium temporär wieder der ursprüngliche „Normalwert“ des M.P. auftreten; derselbe konnte jedoch nicht immer vollständig erreicht werden, als der Spitze ein starkes, in einer Glimmerkapsel eingeschlossenes Radiumpräparat genähert wurde, wohl aber

1) K. v. Wesendonck, Wied. Ann. 65. p. 117—122. 1898.

wurde — M.P. wesentlich erniedrigt, und die noch darunter auftretenden stoßweisen Ausschläge folgten sich sehr dichter; Annäherung eines schwächeren Präparates hatte die gleiche Wirkung in geringerem Grade.

Eine frisch in das Quarzgefäß eingesetzte Spitze ergab die folgenden Werte:

Tabelle III.

$V -$	1300	1400	1600	1900	2200	2500	2400
J_{∞}	0	20; 0	00; 0—10	500; 0	(320) 150	280	100—250
			\longleftrightarrow		\longleftrightarrow		\longleftrightarrow

Nachdem die Spitze einige Zeit in Gebrauch war:

$V -$	1800	1900	2200	2400	2500	2400	2300
J_{∞}	0—2	0—5	100	(320) 250	290	200	10
	\longleftrightarrow	\longleftrightarrow	\longleftrightarrow	\longleftrightarrow		\longleftrightarrow	\longleftrightarrow

Das starke Radiumpräparat genähert (15 mg Radiumbromid):

$V -$	1300	1400	1500	1700	1800	1900
J_{∞}	0	1 ¹⁾	3	40	100	230
		\longleftrightarrow	\longleftrightarrow			

Das schwächere Radiumpräparat genähert:

$V -$	1300	1400	1600	1700	1800	1900	2000
J_{∞}	0	?	2	5	12	20—30	50—70

Radium entfernt:

$V -$	2200	2210	2250	2210	2200
J_{320}	0	30; 0; 40; 0	200	0—10	0
				\longleftrightarrow	

Um zu sehen, ob diese Wirkung lediglich eine Folge der Ionisation der Luft in der Nähe der Spitze ist, wurde über das Radium geleitete Luft langsam an der Spitze vorbeigesaugt, während eine direkte Bestrahlung durch einen Bleischirm abgeblendet wurde; dies blieb ohne merklichen Einfluß auf die Entladung.

Die Bestrahlung mit einer Bogenlampe der im Quarzgefäß eingeschlossenen Spitze hatte auf — M.P. ungefähr die gleiche Wirkung wie mit Radium; keinerlei Einfluß zeigte die Belichtung mit einer Uviol-Quecksilberbogenlampe.

Bei Erniedrigung des Gasdruckes verschwinden diese stoßweisen Entladungen vollständig, und die Erscheinungen nehmen die auch sonst beschriebene Form an. Schon bei $p = 600$ mm

1) Bei diesen kleinen Ausschlägen ist sehr schwer zu entscheiden, ob sie konstant oder „zuckend“ sind.

war — M.P. meist ganz scharf und etwas kleiner oder nahe gleich + M.P.; bei weiterer Druckerniedrigung sinken + M.P. und — M.P. auf immer geringere Werte herab, jedoch nimmt letzteres rascher ab, so daß der polare Unterschied immer deutlicher hervortritt.

Tabelle IV.

$p =$	720	600	495	394	310	195	715 mm
+ M.P. in Volt	2090	1950	1780	1630	1520	1310	2100
— M.P. in Volt	2150 ¹⁾	1900 ²⁾	1580	1320	1150	930	2210 ¹⁾

Vielleicht läßt sich hierdurch das Fehlen der stoßweisen Entladungen und die Regelmäßigkeit im ganzen Eintreten des M.P. in den Röntgenschen Versuchen erklären; wenigstens findet sich unter den als Beispiele angeführten Versuchsreihen eine einzige³⁾, bei der M.P. für $p = 615$ mm bestimmt wurde; bei allen anderen Versuchen liegen die Drucke unter 400 mm. Bei diesen Drucken aber war auch bei meinen Versuchen — M.P. sehr deutlich und meist auch ganz konstant. Jedenfalls spricht der Umstand, daß die stoßweisen Entladungen bei Druckerniedrigung verschwinden und durch Bestrahlung mit ultravioletttem Licht oder Radium beeinflusst werden, gegen die Annahme, daß sie lediglich durch den Staubgehalt der Luft und dergl. hervorgerufen werden, aber auch gegen die Erklärung Wesendoncks⁴⁾, der als Grund für die große Unregelmäßigkeit in der Erscheinung die Ablösung von Spitzenteilchen annimmt.

Um bei der Erwärmung das Quarzgefäß bei konstanter Dichte keinen zu großen inneren Überdrucken auszusetzen, wurden Versuche nur bei Anfangsdrucken von 400 mm abwärts (bei Zimmertemperatur) angestellt.

Erhitzung beeinflusste gleichfalls die positive und negative Spitzenentladung in wesentlich verschiedener Weise, indem sich auch hier die Verhältnisse für die positive Spitze konstanter zeigten und zwar bei allen untersuchten Gasdrucken. Erwärmung bis auf etwa 150° vergrößert + M.P. etwas (um 50—100 Volt); durch weitere Temperatursteigerung

1) Darunter noch stoßweise Entladungen.

2) Bis 1800 stoßweise Entladungen.

3) l. c. p. 295.

4) K. v. Wesendonck, Wied. Ann. 39. p. 577. 1890.

wird M.P. nicht mehr wesentlich geändert, nur verliert es an Schärfe und es treten, was bei Zimmertemperatur nie beobachtet wurde, darunter noch momentane Entladungen ein, bis die Spannung auf das ursprüngliche (bei Zimmertemperatur herrschende) M.P. gesunken ist; mit ein und derselben Spitze wurden die folgenden Werte erhalten.

Tabelle V.

$p^1)$	Dichte ²⁾	Temperatur	+ M.P. in Volt	Bemerkungen
715	0,00113	20°	2100	
	"	210	2200	Darunter Stöße bis 2150
	"	20	2100	
400	0,00063	20°	1680	
	"	230	1730	
	"	395	1720	
	"	570	1790	Darunter stoßweise Ausschläge bis 1710
	"	20	1670	
302	0,00048	20°	1520	
	"	300	1600	
	"	435	ca. 1600	Bis 1510 stoßweise Ausschläge, so daß M.P. nicht recht scharf
	"	590	1580	Desgl.
	"	650	ca. 1520	(Nicht genau zu beobachten)
	"	20	1530	
201	0,00032	19°	1300	
	"	150	1380	
	"	390	1390	
	"	560	1410	Darunter bis 1350 zuckende Ausschläge
	"	640	ca. 1400	Darunter bis 1320 zuckende Ausschläge
	"	18	1310	
105	0,00017	20°	1070	
	"	90	1100	
	"	390	1110	
	"	560	1090	
	"	640	1090	Darunter schwankende Ausschläge
	"	20	1070	
20	0,00003	20°	830	
	"	200	870	
	"	420	880	
	"	530	850	Darunter Stöße bis 830
	"	640	830?	Nicht sehr deutlich; möglicherweise
	"	20	840	stetiges Verschwinden des Ausschläges

1) Mit p sei der am Anfang der Versuchsreihe bei Zimmertemperatur im Gefäß vorhandene Druck in Millimetern Quecksilber bezeichnet.

2) Die „Luftdichte“ ist auf Wasser von 4° bezogen; sie bleibt bei der Erwärmung konstant.

Wie man sieht, nimmt + M.P. nach dem Erkalten des Apparates wieder seinen ursprünglichen Wert mit voller Schärfe und Deutlichkeit an; die betreffenden Beobachtungen wurden meist erst an dem auf die übrige Versuchsreihe folgenden Tage gemacht.

Die Stromstärken, welche gleichen Potentialen entsprechen, bleiben bei Erwärmung bis zu 200° innerhalb der auch sonst vorkommenden Schwankungen unverändert¹⁾; bei weiterer Temperaturerhöhung wachsen sie, und zwar bei niedrigen Drucken schneller als bei höheren; die folgenden Tabellen geben die Stromstärken als Funktion des Potentials bei verschiedenen Temperaturen und Drucken; die Spannungen sind in Volt, die Stromstärken in willkürlichen Einheiten (gleich 1 Skt. des Galvanometers, wenn 320 Ohm parallel geschaltet) angegeben.

Tabelle VI.

Dichte: 0,00032 ($p^2 = 200$).

Temp.	Spannung	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900
20°	Strom- stärke	0	1	3,5	7	12	18	24	31
150		0	0	3,5	6,5	12	19	25	33
390		0	0	0	10	17	25	38	
560		0,1	0,1	6	12	19,5	30	42	
640		0,9	1	ca. 7	12	20	32	45	

Tabelle VII.

Dichte: 0,00063 ($p = 400$).

Temp.	Spannung	1700	1800	1900	2000	2100
20°	Stromstärke	2	4,5	7,5	10,5	14
230		0	4	7,5	11	15
395		0	7,5	8	13	17,5
570		0	5	9	13,5	18

1) Dies entspricht auch den Beobachtungen Warburgs für Wasserstoff bei Erwärmung auf 173° (Ann. d. Phys. 2. p. 295. 1900).

2) p wie früher der Druck bei Zimmertemperatur.

Negative Spitzenladung zeigt zunächst bis etwa 200° das gleiche Verhalten wie die positive: M.P. wird etwas erhöht, und darunter treten noch kurze Zeit momentane Stöße auf; diese Änderung ist manchmal nur sehr gering. Bei weiterer Temperaturerhöhung (im Intervall von 200° bis etwa 500°) sinkt M.P. ein wenig, und es treten allmählich wachsend oft noch bis zu 200 Volt unter M.P. heftige momentane Stromstöße auf, die, wenn längere Zeit ein dauernder Strom durch die Spitze gegangen ist, verschwinden. Über 500° sinkt M.P. sehr bedeutend, und während zuerst ein plötzliches (unstetiges) Verschwinden des noch ziemlich starken Stromes zu beobachten war, gehen jetzt die Galvanometerausschläge mit sinkendem Potential zwar sehr schnell, aber doch stetig nach Null; infolgedessen ist M.P. nicht absolut scharf zu bestimmen. Auch fallen nunmehr A.P. und M.P., die sonst wesentlich verschieden voneinander waren, immer zusammen; der Verlauf der Erscheinungen ist bei verschiedenen Drucken qualitativ der gleiche; vor allem ist auch die Temperatur, bei welcher die starke Erniedrigung von M.P. auftritt, vom Druck unabhängig.

Die im folgenden mitgeteilten Versuchsreihen korrespondieren mit denjenigen über +M.P. auf p. 155, indem immer abwechselnd eine Beobachtung mit positiver und mit negativer Ladung gemacht wurde.

Tabelle VIII.

<i>p</i>	Dichte	Temperatur	–M.P. in Volt	Bemerkungen
715	0,00113	20°	2100	Darunter Stöße bis 1800
	„	210	2150	Desgl.
	„	20	2100	Desgl.
400	0,00063	20°	1610	
	„	230	1680	
	„	395	1700	Darunter bis 1500 stoßweise Entladungen
	„	480	ca. 1100	Stetiges Verschwinden des Stromes, der zuletzt sehr schwach
	„	565	1090	Deutlich stetiger Übergang nach Null
	„	670	1090	
	„	20	1600	

Tabelle VIII (Fortsetzung).

<i>p</i>	Dichte	Tem- peratur	— M.P. in Volt	Bemerkungen
302	0,00048	20°	1310	
	"	300	1420	Darunter bis 1350 Stöße
	"	435	1420	Darunter bis 1150 Stöße
	"	590	920	
	"	650	930	
	"	735	ca. 940	
	"	590	910	Beim Erkalten des Ofens
	"	435	1500	Darunter bis 1200 Stöße
	"	20	1500 ¹⁾	
200	0,00032	20°	1050	
	"	230	1100	
	"	410	1100	Darunter Stöße bis 950
	"	490	1000	Darunter Stöße bis 820
	"	620	830	
	"	700	820	
	"	730	830	
	"	20	1050	
105	0,00017	20°	800	
	"	180	830	
	"	370	800	Darunter Stöße bis 780
	"	560	690	Deutlich stetiger Übergang nach Null
	"	740	690	
	"	20	800	
20	0,00003	20°	540	
	"	210	600	
	"	420	550	Darunter Stöße bis 540
	"	420	550	Darunter Stöße bis 490
	"	590	500	Stetiger Übergang nach Null
	"	650	500	Desgl.
	"	20	550	

Beim Abkühlen des Apparates sind die Erscheinungen im allgemeinen die gleichen wie beim Erwärmen, nur treten dann meist noch bei tiefer liegenden Temperaturen unter M.P. stoßweise Entladungen auf; befindet sich der Ofen wieder auf

1) Bei einer anderen Versuchsreihe bei gleichem Druck wurde auch hier wie gewöhnlich am Ende des Versuches wieder der ursprüngliche Wert von M.P. = 1300 erreicht.

Zimmertemperatur, so nimmt gewöhnlich auch $-M.P.$ wieder seinen Anfangswert an. Nach Gorton müßte, nachdem die Spitze in trockener Luft geglüht ist, wieder der „Normalwert“ des $-M.P.$ auftreten; dies war nie der Fall, auch nicht, wenn während des Abkühlens weiter keine Entladung mehr durch die Spitze gegangen war. Dagegen war in zwei Fällen ohne angebbaren Grund nach dem Erhitzen $-M.P.$ um über 100 Volt gestiegen, während $+M.P.$ unverändert geblieben war; nach einiger Zeit nahm auch $-M.P.$ wieder seinen ursprünglichen Wert an (das eine Mal erst, nachdem die Luft im Apparat gewechselt war).

Es ist zu bemerken, daß die Abnahme des $M.P.$ durch die Erhitzung bei geringer Dichte viel geringer ist als bei großer Dichte, und zwar nicht nur absolut, sondern auch relativ; bezeichnen wir mit M_0 das $-M.P.$ bei Zimmertemperatur und mit M_T das $-M.P.$ bei Glut, so ist:

Tabelle IX.

Dichte	0,00063	47	32	16	08
p in mm	400	300	200	100	20
$M_0 - M_T$	510	370	230	110	40 Volt
$\frac{M_0}{M_T}$	1,47	1,40	1,24	1,16	1,08

(Dabei ist p immer der bei Zimmertemperatur herrschende, der betreffenden Dichte entsprechende Druck.)

Somit scheinen bei verminderter Dichte M_0 und M_T dem gleichen Grenzwert zuzustreben. Daß andererseits der Unterschied bei höherer Dichte noch größer wird, darf wohl angenommen werden, da, wie wir sahen, M_0 dann außerordentlich hoch (sogar noch über $+M.P.$) zu liegen pflegt.

Die Kurven der Stromcharakteristik, welche die Stromstärke als Funktion des Spitzenpotentials geben, zeigen bei Temperaturzunahme annähernd das gleiche Verhalten für negative Spitzenladung, wie es für den positiven Strom beschrieben wurde; zunächst nehmen die gleichen Potentials entsprechenden Stromstärken sehr langsam zu, wenn der Apparat erwärmt wird; bei einzelnen Versuchsreihen, die mit der gleichen Spitze wie alle anderen ausgeführt wurden, nahm ohne angebbaren Grund J anfangs sogar ein wenig ab; bei einem darauf folgen-

den Versuch, bei dem alles (auch der Druck und die Luftfüllung) unverändert geblieben, trat dann wieder der normale Verlauf ein. Bei weiterer Erhitzung über 400° wachsen die Stromstärken rascher, die Charakteristiken werden wesentlich steiler, und zwar bei niedrigen Drucken schneller als bei hohen.

Die folgenden Tabellen geben wieder den ganzen Verlauf zweier Versuchsreihen bei negativer Spitzenladung, die mit den auf p. 156 aufgestellten korrespondieren.

Tabelle X.

Dichte: 0,00032 ($p = 200$).

Temp.	Spannung	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400
20°	Strom- stärke	0	0	0	0	12	30	42	60
230		0	0	0	0	15	30	44	68
410		0	0	0	0—2	17	37	60	88
490		0	0	4—8	14	31	52	82	130
620		0,2	0,3	12	30	60	100	160	
700		2	2	13	35	64	108		

Tabelle XI.

Dichte: 0,00063 ($p = 400$).

Temp.	Spannung	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000
20°	Strom- stärke	0	0	0	0	22	29	38	
230		0	0	0	0	24	34	42	52
390		0	0	0	10	26	38	48	58
480		3*	7	16	22	33	46	58	
565		11*	19	25	40	52	69		

* M.P. bei $V = 1090$.

Diese beiden Tabellen werden veranschaulicht durch die Figg. 3 und 4, welche die Stromcharakteristiken bei verschiedenen Temperaturen darstellen; die einzelnen Kurven sind Isothermen, die Abszissen sind die Spannungen in 100 Volt, die Ordinaten die zugehörigen Stromstärken in willkürlichen Einheiten; das Gebiet der zuckenden Entladungsstöße ist durch gebrochene Linien (~~~~~) angedeutet. Die wesentlich flacheren

Kurven sind die entsprechenden Charakteristiken des positiven Spitzenstromes bei Zimmertemperatur.

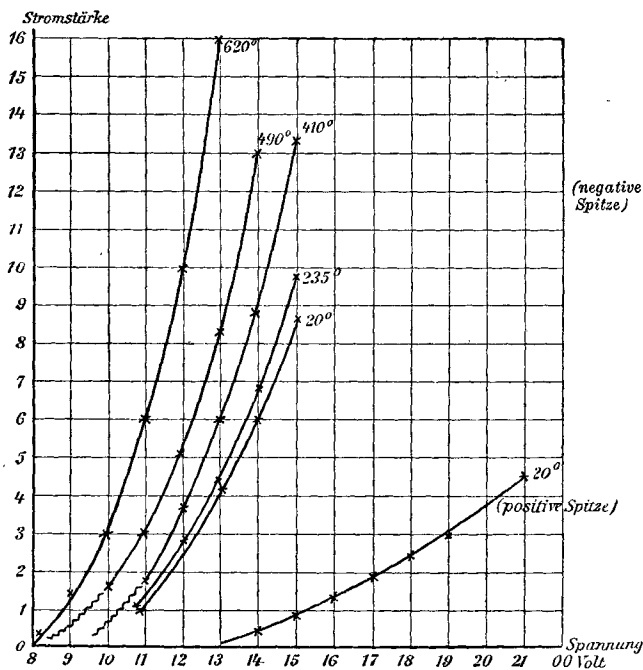


Fig. 3. Kurven der Stromcharakteristik bei $p = 200$ mm Anfangsdruck (bei 20°) (negative Spitze).

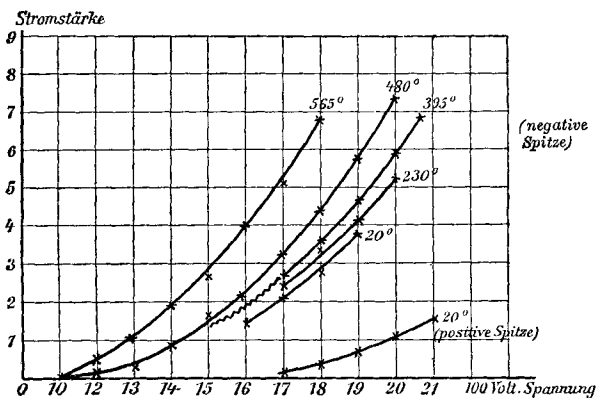


Fig. 4. Kurven der Stromcharakteristik bei $p = 400$ mm Anfangsdruck (bei 20°) (negative Spitze).

In reinem Stickstoff waren die Erscheinungen qualitativ von denen in atmosphärischer Luft nicht verschieden; es wurde daher nur bei einer Gasdichte gearbeitet (bei $p = 300$ mm bei Zimmertemperatur).

Sowohl $+M.P.$ als $-M.P.$ liegen tiefer als unter sonst gleichen Umständen in Luft, die Stromstärken sind größer, vor allem der negative Spitzenstrom ist von Anfang an so heftig¹⁾, daß, wenn er einmal eingesetzt hatte, das Potential kaum noch gesteigert werden konnte; $-A.P.$ lag immer sehr hoch, und in dem Augenblick, wo es überschritten war, sank die Spannung um 300—400 Volt. Bei Temperaturen über 500° fallen dagegen auch hier $-A.P.$ und $-M.P.$ zusammen in den früher als M_T bezeichneten Wert; im Temperaturintervall zwischen 400 und 500° treten gleichfalls unter $-M.P.$ noch stoßweise Entladungen auf. $+M.P.$ wird durch die Erwärmung nicht wesentlich beeinflusst, zu bemerken ist nur, daß im Gegensatz zu den Versuchen in Luft jetzt manchmal auch bei Zimmertemperatur unter $+M.P.$ noch kurze stoßweise Entladungen stattfanden.

Die folgenden Werte wurden bei fünf aufeinanderfolgenden Versuchsreihen fast genau übereinstimmend gefunden.

Tabelle XII.

Temp.	$+M.P.$		$-M.P.$
20°	1300		900
210	1320	Stöße bis 1220	890
390	1320	„ „ 1250	870 Stöße bis 820
490	1320	„ „ 1210	700 Stetiger Übergang nach Null
600	1300	„ „ 1200	700
670			700
740			700

Dabei war zwischen der dritten und vierten Beobachtungsreihe der Apparat mit frisch bereitetem Gas gefüllt worden.

Zum Vergleich wurde in den Apparat nochmals trockene Luft eingelassen und mit der gleichen Spitze eine Versuchsreihe ausgeführt. Es ergab sich bei $p = 300$

$$+M.P. = 1550, \quad -M_0 = 1200, \quad -M_T = 970,$$

alles Werte, die wieder bedeutend über den entsprechenden für Stickstoff liegen.

1) Dies wurde auch von Warburg gefunden.

Es ergaben sich also im wesentlichen die folgenden Resultate:

Das Minimumpotential des negativen Spitzenstromes bei nicht bestrahlter Spitze ist keine absolut konstante Größe, insbesondere, wenn die Spitze ganz neu ist; nach einiger Zeit jedoch nimmt es (vor allem bei Drucken unter 500 mm) einen Wert an, der nicht nur sehr lange erhalten bleibt, sondern auch, wenn er durch irgendwelche Einflüsse (Erhitzung, Bestrahlung mit Radium) verändert worden ist, bei Herstellung der alten Versuchsbedingungen immer wiederkehrt. Durch Erhitzung über Rotglut bei konstanter Dichte wird $-M.P.$ wesentlich erniedrigt, bis auf einen Wert M_T , der durch weitere Temperatursteigerung nicht mehr wesentlich beeinflusst wird; auch dieser Wert kehrt unter gleichen Versuchsbedingungen immer wieder.

Für die Art, wie der negative Spitzenstrom verschwindet, also wie $-M.P.$ eintritt, sind drei Möglichkeiten zu unterscheiden:

1. Der Strom setzt bei einem endlichen Wert plötzlich und scharf aus (meist bei Drucken unter 500 mm bei Zimmertemperatur); dann ist $M.P.$ kleiner als $A.P.$

2. Nachdem der dauernde Strom ausgesetzt hat, finden noch stoßweise Entladungen statt (bei Drucken über 600 mm in Zimmertemperatur).

3. Der Strom verschwindet mit sinkendem Potential ganz stetig; $M.P. = A.P.$ (Bei Temperaturen über 500° Gortonscher „Normalwert“.)

Das $M.P.$ des positiven Spitzenstromes ist in der Regel sehr konstant, die Wirkung der Erwärmung ist bei konstanter Dichte sehr unbedeutend, eine starke Herabsetzung bei Erhitzung über Rotglut findet nicht statt.

Die Stromstärken wachsen bei Temperatursteigerung langsam, für den negativen Spitzenstrom über 500° sehr rasch.¹⁾

Die Erscheinungen sind in atmosphärischer Luft und in reinem Stickstoff qualitativ die gleichen.

München, Physik. Inst. der Universität, August 1907.

1) Dieses entspricht ganz dem von Oberbeck untersuchten Verhalten eines Stromes, der von einer scharfen Schneide zu einer Platte übergeht. Wied. Ann. 60. p. 193. 1897.

(Eingegangen 12. August 1907.)