

Det Kgl. Danske Videnskabernes Selskab.

Mathematisk-fysiske Meddelelser. **IV**, 10.

OM ELEKTRISKE GNISTER

I. GNISTFORSINKELSE

AF

P. O. PEDERSEN

MED 2 TAVLER



KØBENHAVN

HOVEDKOMMISSIONÆR: ANDR. FRED. HØST & SØN, KGL. HOF-BOGHANDEL
BIANCO LUNOS BOGTRYKKERI

1922

1. Indledning.¹

Den elektriske Gnist hører til de længst kendte og mest undersøgte elektriske Fænomener. Allerede OTTO v. GUERICKE iagttog omkring 1663 elektriske Gnister ved sine Forsøg med Svovlkugleelektrisermaskinen. BENJAMIN FRANKLIN paaviste 1749, at Lynet er en elektrisk Gnist og skabte derigennem en stærk forøget Interesse for Studiet af Gnistfænomenet. I Aaret 1777 iagttog CHR. LICHTENBERG de med Gnisten nærbeslægtede Udladninger, der senere kom til at bære hans Navn. HENRY CAVENDISH² dannede sig (omkring 1771) følgende Billede af den elektriske Gnists Dannelse: Elektriciteten (det elektriske Fluidum) vil til at begynde med flyde i en ganske svag Strøm fra den ene Elektrode til den anden og derved lade Luftpartiklerne. Disse vil derfor frastøde hinanden, hvorved Luftens Tæthed bliver mindre, Strømmen af Elektricitet følgelig stærkere. Dette bevirker atter en stærkere Ladning af Luftpartiklerne med tilsvarende stærkere gensidig Frastødning og yderligere formindsket Tæthed. Denne Proces forløber videre, indtil der dannes et Vakuum, hvorigennem Gnisten da slaar over.

Ogsaa FARADAY³ har beskæftiget sig indgaaende med

¹ Et ganske kort, foreløbigt Referat af disse Undersøgelser findes i Fysisk Tidsskrift. 19de Aargang, p. 52—54, Nov. 1920.

² J. C. MAXWELL: The Electrical Researches of Henry Cavendish. Se særlig Articles No. 135—139 og 212. (Cambridge 1879).

³ M. FARADAY: Experimental Researches in Electricity. Vol. I, No. 1406 o. flg. 1839.

Gnistfænomenet og ydet værdifulde Bidrag til dets Belysning. Af Interesse er blandt andet FARADAY's Anskuelse om Gnistens Dannelse. Han forestillede sig, at der forud for Gennemslaget fandt en Fordeling Sted i Luftmolekulerne, og naar denne havde naaet en bestemt Værdi, skete Udladningen fra Molekul til Molekul, saaledes som antydnet i Fig. 1.

Det vil iøvrigt føre alt for vidt at komme ind paa Omtalen af blot de betydeligste Gnistundersøgelser, der er foretaget siden FARADAY's Dage.¹ Mange af disse Forsøg er gaaet ud paa at bestemme Gnistspændingen V 's Afhæn-

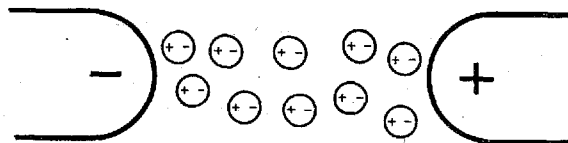


Fig. 1. FARADAY's Anskuelse over Gnistdannelse.

ghed af Gnistlængden l , af Luftartens Natur, dens Tryk p , dens Temperatur og dens Fugtighedstilstand, af Elektrodernes Form, af Luftens Ionisationstilstand og af flere andre Forhold. Ved Gnistspændingen forstaas her den mindste Spændingsforskel mellem Elektroderne, ved hvilken Gnisten under de angivne Forhold kan dannes, naar Spændingen holdes paa tilstrækkelig længe. Af herhen hørende Arbejder skal kun nævnes F. PASCHEN's² Undersøgelser, der viste, at Gnistspændingen for en given Luftart kun er

¹ Udførlige Litteraturangivelser findes i: J. J. THOMSON: Conduction of Electricity in Gases. (Cambridge 1903);

J. STARK: Die Elektrizität in Gasen. (Leipzig 1902).

J. S. TOWNSEND: Electricity in Gases. (Oxford 1915);

W. KAUFMANN: Müller-Pouillet: Lehrbuch der Physik. IV. (10. Auflage, Braunschweig 1914.)

² F. PASCHEN: Wied. Ann. 37, p. 69—96. 1889.

en Funktion af Produktet af Gnistlængde og Lufttryk, altså $V = f(l \cdot p)$.

I Aaret 1887 konstaterede H. HERTZ¹, at Gnistdannelsen lettere foregaar, naar Elektroderne og Gnistrummet udsættes for Bestraaling med ultraviolet Lys; især var Bestraaling af Katoden virksom. E. WIEDEMANN og H. EBERT² paaviste, at det alene er denne, der har Indflydelse. G. JAUMANN³ mente af sine Forsøg at burde slutte, at Gnistdannelsen ikke alene er betinget af Tilstedeværelsen af en vis bestemt Spændingsforskel V mellem Elektroderne, men ogsaa af den Hastighed, $\frac{dV}{dt}$, hvormed denne Spændingsforskel varierer. En noget lignende Opfattelse nærede R. SWYNGEDAuw.⁴ E. WARBURG⁵ paaviste senere, at Virkningen af det ultraviolette Lys ikke beror paa, at Gnistspændingen nedsættes, men derimod skyldes, at Gnistforsinkelsen, τ , den Tid, der hengaar mellem Spændingens Tilstedekomst og Gnistens Dannelse, reduceres eller ganske forsvinder. WARBURG paaviste tillige, at der i hvert enkelt Tilfælde eksisterede en bestemt, konstant Gnistspænding. Det har senere vist sig, at Virkningen af det ultraviolette Lys skyldes den fotoelektriske Effekt, altsaa Frigørelse af Elektroner ved Katoden. I Overensstemmelse hermed har Ionisering ved Hjælp af Røntgen Straaler og ved α , β og γ Straaler en ganske analog Virkning.

¹ H. HERTZ: Wied. Ann. 31, p. 983—1000. 1887.

² E. WIEDEMANN u. H. EBERT: Wied. Ann. 33, p. 241—264. 1888.

³ G. JAUMANN: Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. Wien XC VII. Abth. II a, p. 765—805. 1888; Wied. Ann. 55, p. 656—683. 1895.

⁴ E. BICHAT et R. SWYNGEDAuw: Rapports présentés au congrès international de physique. III, p. 164—182. Paris 1900.

⁵ E. WARBURG: (a) Sitzungsber. d. k. pr. Akad. d. Wissensch. zu Berlin p. 223—236, 1896 (I); (b) p. 128—136, 1897 (I); (c) Wied. Ann. 59, 1—16. 1896; (d) 62, p. 385—395. 1897; (e) Verh. Deutsch. Phys. Ges. 2, p. 212—217. 1900.

Den første og hidtil eneste virkelig gennemarbejdede Teori for Gnistdannelsen støtter sig paa Elektronteorien og er i Hovedsagen udarbejdet af J. Stark, J. J. Thomson og især af J. S. TOWNSEND. Efter denne opstaar Gnisten som Følge af en Stødionisation i Gnistrummet, der fremkommer, naar Feltintensiteten er bleven saa stor, at ikke alene Elektronerne, men ogsaa de ved Stødionisationen i Gnistmellemrummet dannede positive Ioner i tilstrækkelig Grad virker ioniserende. TOWNSEND's Teori giver en naturlig Forklaring af PASCHEN's Lov og synes ogsaa paa tvangfri Maade at forklare den forannævnte, af tidligere Forskere gjorte Iagttagelse, nemlig, at fri Ioner i Gnistrummet formindsker Gnistforsinkelsen.

Nærværende Arbejde beskæftiger sig i Hovedsagen kun med den experimentale Undersøgelse af Gnistforsinkelsen, og da denne ogsaa fra anden Side i de senere Aar har været gjort til Genstand for forskellige Undersøgelser og Betragtninger, skal vi ganske kort referere det Standpunkt, hvortil de hidtidige Undersøgelser har ført. Vi vil dog her og i det følgende i Hovedsagen indskrænke os til at betragte Gnistdannelsen mellem Kugler, hvis Afstand er mindre end Kuglernes Diameter, saaledes at Gnistdannelsen foregaar i et i Hovedsagen homogent Felt. Dog vil vi i 9de Afsnit give nogle Oplysninger om Gnistforsinkelsen ved Anvendelse af spidse Elektroder.

Udgangspunktet for alle nyere Undersøgelser og Betragtninger har i Hovedsagen været TOWNSEND's Teori. Det vil derfor være naturligt at begynde med TOWNSEND's egen Fremstilling af dette Forhold, der lyder saaledes:¹
 »In order to start a discharge it is necessary that there should be some ions in the gas initially, and when the

¹ J. S. TOWNSEND: Electricity in Gases, p. 338—339. Oxford 1915.

force in the field between the electrodes is raised to a certain point these are multiplied by collision to a sufficient extent to maintain the discharge. In some cases ions are not present in sufficient numbers to start the discharge immediately when the potential difference V is established between the electrodes, but if ultra-violet light falls on the negative electrode, or if the gas is ionized by Röntgen rays or Becquerel rays, this difficulty is removed. Under these conditions it is impossible to raise the potential difference between the electrodes above the value V (= the sparking potential).«

E. WARBURG fastslaar følgende for ioniseret Gnistbane¹: »Der Funke tritt ein, sobald das Potential auf einen gewissen, mit grosser Schärfe bestimmbaren Wert gesteigert ist«

Paa ganske tilsvarende Maade udtaler W. KAUFMANN sig² (S. 991): »Bei bestrahlter Funkenstrecke erfolgt die Entladung, sowie das Funkenpotential gerade erreicht ist«, og S. 1160: »Die Erzeugung der Ionenzahl n aus der anfänglichen Anzahl n_0 nimmt Zeit in Anspruch, und zwar um so mehr, je kleiner n_0 ; deshalb wird die Entladung um so langsamer eintreten, je weniger das Gas anfänglich ionisiert und je weniger das Funkenpotential überschritten war. Dass auch in nicht besonders beeinflusstem Gase stets einige Ionen vorhanden sind, welche zur Einleitung des ganzen Vorganges ausreichen, wurde zuerst von ELSTER und GEITEL nachgewiesen.«

Paa ganske lignende Maade udtaler J. STARK³ og J. J.

¹ E. WARBURG: Verh. Deutsche Phys. Ges. 2, p. 212. 1900.

² Müller-Pouillet: Lehrbuch der Physik. IV, p. 991 og 1160 (Braunschweig 1914).

³ J. STARK: l. c. p. 226.

THOMSON¹ sig. J. A. Crowther udtaler²: »It [the time-lag] is reduced to zero if the negative electrode is exposed to a weak source of ultraviolet light.«

NORMAN CAMPBELL giver i en udførlig Afhandling om: »Time-lag in the Spark Discharge« Udtryk for en ganske tilsvarende Opfattelse.³ Vi kommer senere tilbage til denne betydningsfulde Afhandling.

F. W. PEEK jr.⁴ kommer gennem sine indgaaende Undersøgelser over Coronadannelse og Gnistdannelse til et ganske tilsvarende Resultat.

Alle de foregaaende Udtalelser samstemmer i, at en elektrisk Gnist under gunstige Forhold — d: naar der findes en Del Ioner i Gnistrummet — kan dannes øjeblikkelig efter, at Gnistspændingen er naaet, saaledes at Gnistforsinkelsen i disse Tilfælde er lig med Nul eller i hvert Fald saa lille, at den er umaalelig. Den Vanskelighed, der opstaar ved at tænke sig, at en længere Gnist dannes i en forsvindende kort Tid, undgaas, naar man benytter sig af FARADAY's Opfattelse, nemlig, at Gnisten dannes samtidig gennem hele sin Længde. NORMAN CAMPBELL udtrykker dette i den moderne Elektronteoris Sprog saaledes⁵: ».... the discharge does not start in one place only in a sphere gap. It starts at a great many places at the same time, and the lag which must occur is only the time required for the ions to travel from one of these places to the other.«

Tiltrods for denne Enighed er den nævnte Opfattelse, som vi i det følgende skal se, dog urigtig. Til Dannelse

¹ J. J. THOMSEN: l. c. p. 383.

² J. A. CROWTHER: Ions-Electrons. p. 67. 1919.

³ NORMAN CAMPBELL: Phil. Mag. (6) 38, p. 214—230. 1919.

⁴ F. W. PEEK jr.: Dielectric Phenomena in High Voltage Engineering. 1915.

⁵ NORMAN CAMPBELL: l. c. p. 224.

af en Gnist medgaar, selv under de gunstigste Forhold og selv om den paavirkende Spænding langt overstiger Gnistspændingen, en maalelig Tid, der i hvert enkelt Tilfælde har en ganske bestemt Minimumsværdi, den minimale Forsinkelse $\tau_{\min}$. Værdien af $\tau_{\min}$ er uafhængig af Luftens Ionisationstilstand.

Efter TOWNSEND's Teori maa man vente, at der i de Tilfælde, hvor der er en kendelig Gnistforsinkelse, gaar en indledende eller forberedende Strøm forud for den egentlige Gnistdannelse. En saadan forudgaaende Strøm er dog aldrig med Sikkerhed direkte iagttaget, selv om adskillige Forskere af forskellige Forhold vedrørende Gnistudladningen har ment at maatte slutte, at en saadan Strøm virkelig findes. Dette var saaledes Tilfældet med A. TÖPLER¹ paa Grundlag af hans efter Slørmethoden optagne Gnistbilleder.

G. JAUMANN giver Udtryk for en lidt anden Opfattelse²: »Während dieser Verspätung verläuft ein Vorprocess der Entladung, welcher selbst keine Entladung ist.« E. WARBURG³ har ved lavere Tryk konstateret, at Tilstedeværelsen af et magnetisk Felt i Gnistrummet har Indflydelse paa Gnistspændingen, og han slutter deraf, at der maa findes en saadan indledende Strøm. Uden at gaa ind paa en nærmere Undersøgelse af den dragne Slutnings Berettigelse, skal vi her kun anføre, at man i hvert Fald ikke af WARBURG's Forsøg kan drage nogen sikker Slutning med Hensyn til Forholdene ved Atmosfæretryk, som vi for nærværende særlig beskæftiger os med.

I de Tilfælde, hvor Gnistlængden er væsentlig større

¹ A. TÖPLER: Pogg. Ann. 134, p. 217. 1868

² G. JAUMANN: Wied. Ann. 55, p. 683. 1895.

³ E. WARBURG: Wied. Ann. 62, p. 389. 1897.

end Elektrodekuglernes Diameter, vil der forud for den egentlige Gnistdannelse som Regel foregaa Buskudladninger fra Elektroderne. Den efterfølgende Gnist følger da tildels de af Buskudladningerne banede Veje. Buskudladningerne kommer paa en Maade til at danne ledende Spidser, mellem hvilke den egentlige Gnistudladning foregaa. Saa-danne Forudladninger er fotografisk paavist af B. WALTER.¹ I de Tilfælde, hvor Gnistlængden er mindre end Elektrodekuglernes Diameter, er en saadan forudgaaende Udladning aldrig paavist.

Alt i alt maa det siges, at Spørgsmaalet om, hvorledes Gnistdannelsen indledes, henstaar ganske uløst. De følgende Undersøgelser kaster i nogen Grad Lys over dette Forhold.

Angaaende den Rolle, som Beskaffenheden og Tilstanden af Elektrodernes Overflade spiller for Gnistforsinkelsen, foreligger der kun forholdsvis faa Angivelser. De foran nævnte Bøger af J. J. THOMSON, J. S. TOWNSEND, W. KAUFMANN og J. A. CROWTHER gaar ikke nærmere ind paa Spørgsmaalet. E. WARBURG siger om de af ham benyttede Elektroder kun²: »Die Elektroden sind die blank geputzten Eisenkugeln von 2,6 cm Durchmesser eines in freier Luft aufgestellten Funkenmikrometers.« Og videre samme Sted: »Zu den Verzögerungsversuchen im Dunkeln ist Folgendes zu bemerken. . . . Oft rückt auch das Potential, bei welchem die Entladungen beginnen hinauf oder hinunter. Auf wechselnden atmosphärischen Verhältnissen schien das nicht zu beruhen, ebenfalls nicht auf verschiedener Behandlung der Elektroden, wie Art des Putzens oder dergleichen; auch war eine Corrosion der Elektroden durch die schwachen

¹ B. WALTER: Wied. Ann. 66, p. 636—648. 1898; 68, p. 776-778. 1899.
Se ogsaa: M. TÖPLER: Ann. d. Phys. (4) 19, p. 191—209. 1906.

² E. WARBURG: Wied. Ann. 59, p. 6. 1896.

benutzten Funken kaum bemerkbar.« Det bemærkes, at Gnistbanen i de omhandlede Forsøg kun udsattes en ganske kort Tid (omkring 0,001 Sekund) for det omtalte Potential. Det var derfor Gnistforsinkelsens Størrelse, der var afgørende for, om Gnistdannelse fandt Sted. Ogsaa G. JAUMANN, R. SWYNGEDAUW og NORMAN CAMPBELL omtaler Indflydelsen af Overfladens Beskaffenhed, men de Oplysninger, de giver, er meget ufuldstændige og kun delvis rigtige. Af størst Betydning er de af sidstnævnte Forfatter fundne Resultater; vi kommer senere noget nærmere ind paa dette Spørgsmaal.

I et for kort Tid siden offentliggjort Arbejde af J. D. MORGAN¹ om Gnistforsinkelse hedder det (p. 465), at Elektroderne var »polished brass balls of .5 inch diameter«, medens der ingen yderligere Oplysninger findes om Elektrodernes Tilstand.

De følgende Undersøgelser viser, at Overfladens Beskaffenhed udøver en dominerende og meget ejendommelig Indflydelse paa Gnistens Dannelsesetid og Dannelsesmaade.

Blandt de Undersøgelsesmetoder, der hidtil er anvendt, skal vi kun ganske kort omtale nogle enkelte. E. WARBURG'S² Metode gik ud paa i et ganske kort Tidsrum, T_0 , at sætte en til en kendt Spænding ladet Kondensator i Forbindelse med den undersøgte Gnistbane, hvis to Kugler Resten af Tiden var sat til Jord. Forsøgene udførtes saa paa den Maade, at man for en bestemt Spænding, en bestemt Gnistlængde og visse givne Ionisationsforhold 10 Gange satte Spændingen paa, og saa noterede, hvor ofte Gnistdannelse fandt Sted. Da Tidsrummet T_0 ikke kunde

¹ J. D. MORGAN: Phil. Mag. (6) Vol. 41, p. 462—469. 1921.

² E. WARBURG: (a), (c).

bringes væsentlig ned under 0,001 Sekund, fik man ved denne Metode kun Oplysning om Forsinkelser, der har en Varighed af omkring 0,001 Sekund eller endnu mere.

De fleste Maalinger — det gælder saaledes F. W. PEEK jr.'s¹ og NORMAN CAMPBELL's² Undersøgelser — er foretagne paa den Maade, at man bestemmer dels den til Gennemslag lige netop nødvendige Størrelse af Maksimalamplituden V_m af en Vekselspænding af kendt Frekvens og kendt Kurveform, dels den konstante Spænding, V_0 , der lige akkurat er tilstrækkelig til at give Gnist. Forholdet, $\frac{V_m}{V_0}$, kalder F. W. PEEK jr. Impulsforholdet. Jo større dette er, desto langsommere er, alt iøvrigt lige, den paagældende Gnistbane. Er Impulsforholdet nøjagtig lig med 1, saa maa Gnistforsinkelsen være lig med Nul. Af Impulsforholdets Værdi kan man, naar Vekselspændingens Frekvens og Kurveform er kendt, navnlig ved højfrekvent Vekselspænding med nogenlunde Sikkerhed slutte sig til Forsinkelsens Størrelse under de foreliggende Forhold. Metoden har dog en meget betydelig Mangel. Naar Vekselspændingens Amplitude mer eller mindre langsomt bringes op til Gennemslagsværdien, saa vil Gnistbanen forud for Gennemslaget gennem en hel Række Perioder være udsat for vekslende Spændinger, der paa det nærmeste er lig med V_m . Hvilken Indflydelse dette har paa Forholdene umiddelbart forud for Gnistens Dannelse, lader sig vanskelig forudse.

J. D. MORGAN gaar i det foran nævnte Arbejde ud fra, at den sekundære Spænding i en Induktionsrulle kan betragtes som værende ren sinusformet med en Maksimalamplitude, der er proportional med Primærstrømmens Styrke. Hans Forsøg gaar ud paa at bestemme den maksi-

¹ F. W. PEEK jr.: l. c.

² NORMAN CAMPBELL: l. c.

male Spænding, der, for forskellige Værdier af Primærstrømmen, opstaar mellem Elektroderne i den undersøgte Gnistbane, som er indskudt i Induktionsrullens sekundære Vikling. Man kan derefter, under de gjorte Forudsætninger, slutte sig til Forsinkelsens Størrelse. Metoden frembyder visse Fordele, men den lider, i hvert Fald i den foreliggende Anvendelsesmaade, delvis af de samme Mangler som de ovenfor nævnte.

Ingen af de omtalte Metoder egner sig derfor til at besvare følgende Spørgsmaal: En Gnistbane udsættes pludselig for Spændingen V' , der er større end eller lig med Gnistspændingen; hvor lang Tid hengaar da, førend Gnisten dannes, naar V' opretholdes uforandret?

Der er næppe Tvivl om, at det er dette Spørgsmaal, som det i fysisk Henseende har den største Interesse at faa besvaret. Ogsaa i teknisk Henseende, f. Eks. med Hensyn til Overspændingssikring, har netop dette Spørgsmaals Besvarelse en betydelig Interesse.

Forfatteren har tidligere angivet en Metode til ved Hjælp af de LICHTENBERG'ske Figurers store Udbredelseshastighed at bestemme Tidsforskellen mellem to paa hinanden følgende Spændingsstød¹, selv om denne Tidsforskel ikke overstiger 10^{-9} Sekund. Ved Hjælp af denne Metode er man nu i Stand til direkte at løse den ovenfor formulerede Opgave.

Denne Omstændighed i Forbindelse med, at et vist Kendskab til Forholdene ved de elektriske Gnisters Start ogsaa er nødvendigt for Klarlæggelsen af Spørgsmaalet om

¹ P. O. PEDERSEN: On the Lichtenberg Figures. Part I. Vidensk. Selsk. Math.-fysiske Medd. I, 11. Copenhagen 1919. Part II. IV, 7. 1922. Betegnes i det følgende: L. F. I og L. F. II.

de LICHTENBERG'ske Figurers Dannelsesmaade, bragte Forfatteren ind paa den foreliggende Undersøgelse.

Denne falder iøvrigt i to Dele, nemlig dels i den i det følgende givne Redegørelse for de anstillede Forsøg, dels i et senere Arbejde over den elektriske Gnists Dannelse.

2. Den anvendte Maalemetode.

Med Hensyn til den ved Maalingen af Gnistforsinkelserne anvendte Metode kan vi henvise til en tidligere Afhandling¹ og skal kun for Fuldstændigheds Skyld tilføje,

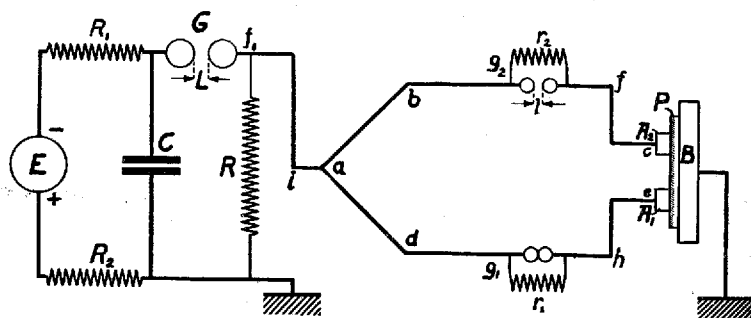


Fig. 2. Forsøgsopstilling til Bestemmelse af Gnistforsinkelse.

G Primær- eller Hovedgnistbane, g_2 den undersøgte Gnistbane. Gnistlængderne i disse betegnes ved henholdsvis L og l .

hvad der er nødvendigt for Forstaaelsen af den i Fig. 2 skitserede Forsøgsopstilling. Elektrisermaskinen E , hvis positive Pol i Almindelighed er sat til Jord, oplader over de meget store Modstande R_1 og R_2 (Skifergrifler) Kondensatoren C (Kapacitet omkring 2000 cm). Naar dennes Spænding, V , har naaet den til Gennemslag af Primær- eller Hovedgnistbanen G (Gnistlængde L mm) nødvendige Værdi, slaar en Gnist over i G , og en elektromagnetisk Bølge vandrer ud ad Ledningen f_1ia . I Punktet a vil denne Bølge bevirke, at der fra dette Punkt udgaar dels

¹ L. F. II.

en reflekteret Bølge langs af_1G , dels to lige stærke, transmitterede Bølger, der vandrer ud ad henholdsvis abg_2 og adg_1 . Gaar vi ud fra, at Karakteristikkerne af Ledningerne ai , ab og ad er lige store, saa vil Amplituderne af den reflekterede og de transmitterede Bølger være givne ved henholdsvis

$$V_r = -\frac{1}{3}V \quad \text{og} \quad V_t = \frac{2}{3}V, \quad (1)$$

hvor V er Spændingsamplituden i den oprindelige Bølge,

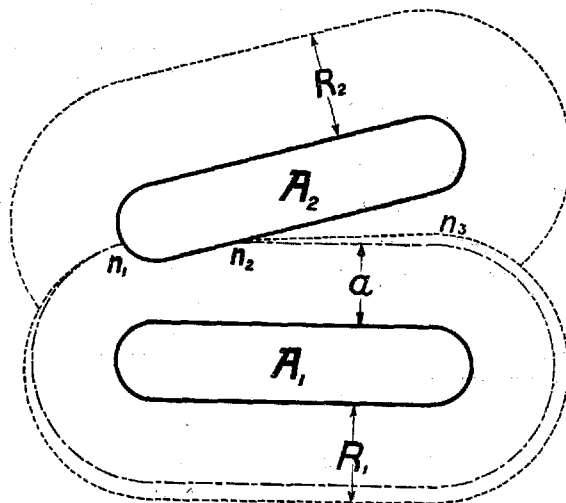


Fig. 3. Form og Placering af Elektroderne A_1 og A_2 .

V_r i den reflekterede og V_t i de langs ab og ad vandrende Bølger.

Naar den ud langs ab vandrende Bølge træffer Gnistbanen g_2 , vil der, saa længe der endnu ikke er dannet en Gnist i g_2 , i dette Punkt ske en fuldstændig Reflektion af den ankommende Bølge. Gnistbanen g_2 vil derfor, indtil Gnistdannelsen finder Sted, være udsat for Spændingen V_0 bestemt ved

$$V_0 = 2V_t = \frac{4}{3}V. \quad (2)$$

Rigtigheden af de anstillede Betragtninger bekræftes bl. a. derved, at den største Værdi af l_2 , for hvilken man endnu lige akkurat kan opnaa en Gnist i g_2 , paa det nærmeste er lig med $1,3 L$. (Gnistmikrometret g_1 forudsættes at være kortsluttet.)

Saa snart Gnisten i g_2 er dannet, vandrer der en Bølge fra g_2 over f og c til Elektroden A_2 . I Mellemtiden er, idet vi foreløbig gaar ud fra, at Gnistbanen g_1 er kortsluttet, den ud langs adg_1he vandrende Bølge allerede tid-

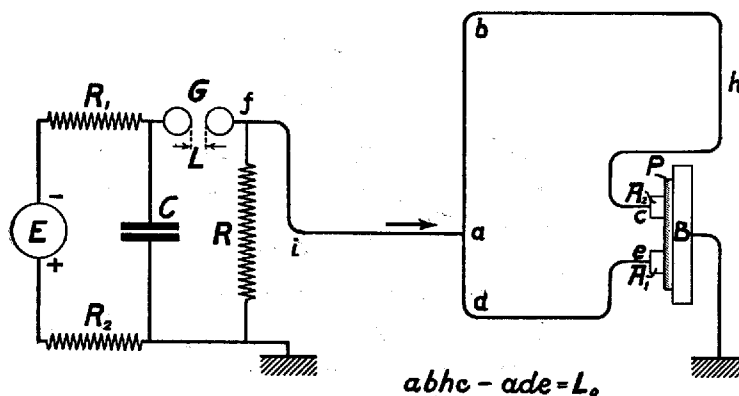


Fig. 4. Opstilling til Bestemmelse af sammenhørende Værdier af Forsinkelsen t_0 og Længden a .

ligere naaet til Elektroden A_1 . De nævnte Elektroder, A_1 og A_2 , er anbragte paa Hindsiden af en fotografisk Plade, P , der hviler paa den jordforbundne Metalplade B . Gennem Anbringelsen af de viste, meget store Modstande R , r_1 og r_2 (Skifergrifler) er der sørget for, at hele det omhandlede Ledningssystem fra f til A_1 og A_2 før Gnistudladningen har Jordens Potential.

Naar de elektromagnetiske Bølger har naaet Elektroderne, vil der ud fra disse paa Hinden af P brede sig LICHTENBERG'ske Figurer. Da den langs adg_1he gaaende

Bølge naar Elektroden A_1 , førend Bølgen langs abg_2fc naar A_2 , vil den fra A_1 udgaaende Figur faa et Forspring i Tid, t_0 , der er lig med Tidsforskellen mellem Bølgernes Ankomst til henholdsvis A_1 og A_2 . Den fra A_1 udgaaende Figur har derfor bredt sig ud til en Afstand a fra Elektroden (se Fig. 3), førend Figurdannelsen ud fra Elektroden A_2 begynder. I Mellemrummet mellem de to Elektroder vil Skillelinien mellem de fra disse udgaaende Figurer i Hoved-

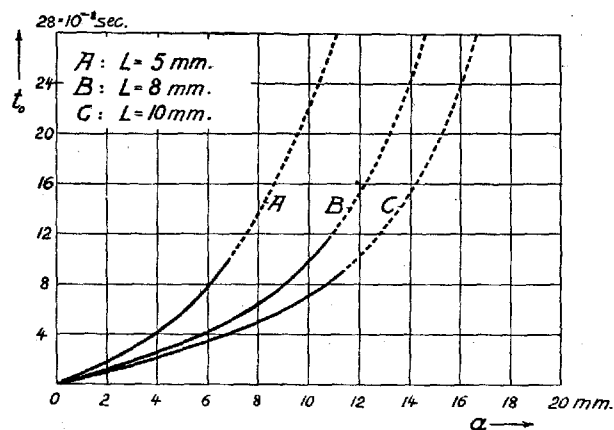


Fig. 5. (a, t_0) -Kurver gældende for negative Figurer ved Atmosfæretryk. De fuldt optrukne Dele af Kurverne A, B og C er bestemt paa Grundlag af den i Fig. 4 angivne Metode. De punkterede Dele er skønnede som gældende for den i Fig. 2 viste Opstilling.

sagen forløbe retlinet, og Længden a er lig med Afstanden fra den retlinede Skillelinies Skæringspunkt med Randen af A_2 til Randen af A_1 . Med Hensyn til de nærmere Enkelt-heder ved Maalingen henvises til L. F. II.

Man kan paa denne Maade bestemme den til en vis Gnistforsinkelse svarende Værdi af a . Selve den Forsinkelse, t_0 , maalt i Tid, der svarer hertil, kan da bestemmes ved Hjælp af den i Fig. 4 viste Opstilling. Forsinkelsen t_0 til-

vejebringes her ved, at de fra Punktet a i Fig. 4 udgaaende Bølger, førend de naar Elektroderne A_1 og A_2 , gennemløber ulige lange Traadlængder, idet Traaden abh er L_0 m længere end Traaden ade . Man har følgelig, at Tidsforskellen t_0 mellem de to Bølgers Ankomst til henholdsvis A_1 og A_2 er bestemt ved:

$$t_0 = \frac{L_0}{3 \times 10^8} \text{ Sekunder.} \quad (3)$$

Paa Pladen P maales da, som angivet ovenfor, den tilsvarende Værdi a . For en bestemt Gnistlængde, L , i Hovedgnistbanen, G , kan man paa denne Maade bestemme en Række sammenhørende Værdier af t_0 og a og derefter afsætte Resultaterne i Form af Kurver, saaledes som vist i Fig. 5. Ved Hjælp af disse Kurver kan man for enhver Værdi af a aflæse den tilsvarende Forsinkelse t_0 .

I det foregaaende er vi gaaet ud fra, at Bølgefronterne er ganske stejle. Bølgefronten vil dog altid være noget afsladet, f. Eks. som vist ved Kurven $obcf$ i Fig. 6. Man kan

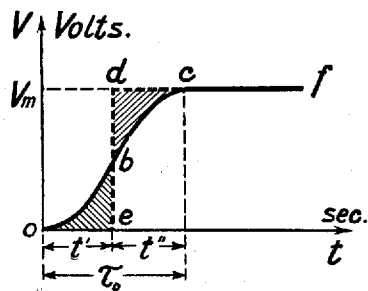


Fig. 6. Den med obc »ækvivalente, stejle« Bølgefront er ebd .
Arealet obe = Arealet bdc .

da tænke sig denne Front erstattet med den »ækvivalente, stejle« Front ebd , og den maalte Værdi af t_0 vil i saa Fald svare til Tidsforskellen mellem Ankomsten til henholdsvis A_1 og A_2 af disse ækvivalente Bølgefronter.

Ved den i Fig. 2 viste Opstilling er der lagt Vægt paa at gøre denne saa vidt muligt

symmetrisk, saaledes at Bølgerne ankommer nøjagtig samtidig til A_1 og A_2 , naar Gnistmikrometrene g_1 og g_2 begge er kortsluttede. Denne Symmetri konstateres simpelthen

ved at anbringe A_1 og A_2 i ringe Afstand fra hinanden; falder Skillelinien da nøjagtig i Midten, er der Symmetri, i modsat Fald ikke.

For Forsinkelser op til omkring $8 \text{ à } 10 \times 10^{-8}$ Sekunder giver den i Fig. 2 skitserede Opstilling paalidelige Resultater. For større Forsinkelser vil man staa sig ved at an-

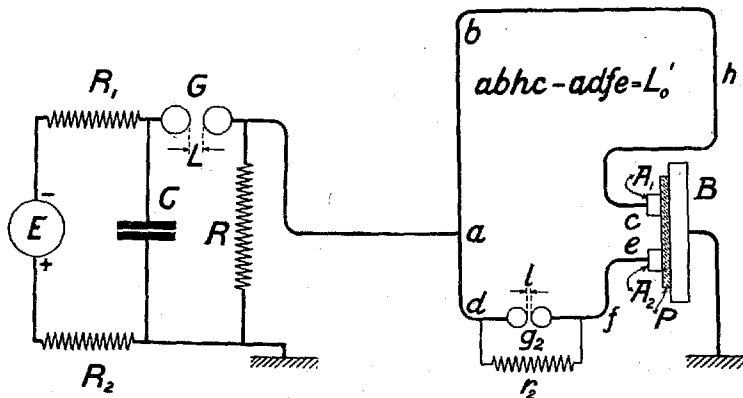


Fig. 7. Opstilling, i hvilken en Del af Forsinkelsen i g_2 kompenseres ved den ekstra Traadlængde L'_0 m mellem a og A_1 .

vende den i Fig. 7 skitserede Fremgangsmaade, hvor man delvis kompenserer Forsinkelser i Gnistbanen g_2 ved at lade Bølgen til A_1 passere en Traadlængde, der er L'_0 m længere end Traaden fra Punktet a over g_2 til A_2 . Er den paa Grundlag af Billedet paa Pladen P bestemte Forsinkelse t'_0 , saa vil den virkelige Forsinkelse t_0 være givet ved

$$t_0 = t'_0 + \frac{L'_0}{3 \times 10^8}. \quad (4)$$

Grunden til, at man ikke med tilstrækkelig Nøjagtighed direkte paa Pladen P kan bestemme Forsinkelser paa over $8 \text{ à } 10 \times 10^{-8}$ Sekund, ligger i, at de LICHTENBERG'ske Figurer allerede efter Forløbet af nævnte Tidsrum har bredt sig saa nær ud til deres endelige Begrænsning, at en Bestem-

melse af Tiden ved Hjælp af den gennemløbne Vej bliver meget usikker. Det samme ses ved en Betragtning af Kurverne i Fig. 5 i nærværende Afhandling og Fig. 4 og 6 i L. F. II.

Ved store Forsinkelser indtræder der desuden ved den i Fig. 2 viste Opstilling den Komplikation, at den fra g_2 reflekterede Bølge over *bad* g_1 *he* naar hen til Elektroden A_1 , før den gennem g_2 gaaende Bølge har naaet Elektroden A_2 . Denne ekstra Spændingsforhøjelse vil for de negative Figurers Vedkommende bevirke, at Udbredelseshastigheden bliver ekstraordinær stor yderst ude, og at de tilsvarende Figurer derfor ogsaa faar en ekstraordinær Rækkevidde. Man kan derfor ved Benyttelse af den i Fig. 2 viste Opstilling hverken bestemme de store Forsinkelser paa Grundlag af de i L. F. II fundne Love for de simple LICHTENBERG-Figurers Udbredelseshastighed, eller ved Hjælp af (a, t_0) -Kurver, der er optaget paa den i Fig. 4 angivne Maade. De punkterede Dele af Kurverne i Fig. 5 er derfor ogsaa kun at betragte som skønsommæssige Forlængelser af de fuldtoptrukne Dele af Kurverne, idet der ved Fastsættelsen af disse Forlængelser er taget Hensyn til de for Opstillingen i Fig. 2 gældende Forhold.

Naar man trods denne Usikkerhed ved de store Forsinkelser dog helt igennem har benyttet den i Fig. 2 skitserede Opstilling og tillige anvendt negative Figurer, til Trods for, at man ved at anvende den i Fig. 7 angivne Opstilling og tillige positive Figurer ved Tryk under Atmosfærens, kunde have opnaaet en betydelig større Sikkerhed i Bestemmelsen af de store Forsinkelser, saa er Grundene følgende: 1) Det har været nødvendigt ved denne foreløbige Undersøgelse at skaffe sig et Overblik over Forsinkelsens Afhængighed af en Række forskellige Forhold som f. Eks.

Elektroernes Beskaffenhed, Lufttrykkets Størrelse, Luftartens Beskaffenhed, Feltets Intensitet, Ionisationstilstanden og Fugtighedstilstanden. Det har derfor været nødvendigt at foretage et stort Antal Bestemmelser (mellem 3 og 4000). Hver enkelt af disse maa som Følge heraf kunne foretages nogenlunde simpelt. Vi har derfor ikke anvendt positive Figurer, der kun ved Tryk, der er lavere end Atmosfæretryk, giver skarpe Skillelinier, men har i Hovedsagen benyttet negative Figurer ved Atmosfæretryk. 2) Til Anvendelsen af den i Fig. 7 viste Opstilling har man hidtil savnet den nødvendige Plads. 3) Hele Undersøgelsen, der maa betragtes som den første i sin Art, giver en Række Resultater, der paa forskellige Punkter staar i skarp Modstrid med den hidtil gældende Opfattelse. Vi har derfor ment det rigtigt i nærværende Arbejde at lægge mere Vægt paa at faa en alsidig og samtidig i Hovedsagen rigtig Fremstilling af Gnistforsinkelsens Afhængighed af de forskellige Forsøgsbetingelser, fremfor at give en med alle til Raadighed staaende Hjælpemidler og med den yderste, opnaaelige Nøjagtighed gennemført Undersøgelse af et enkelt Afsnit. Saadanne Enkeltundersøgelser vil uden Tvivl være ønskelige, naar den teoretiske Behandling af de i nærværende Arbejde fundne Resultater er bragt til en foreløbig Afslutning.

3. Foreløbige Forsøg.

Konstruktionen af de til Undersøgelserne anvendte Forsøgsgnistbaner eller Gnistmikrometre (g_1 og g_2 i Fig. 2) fremgaar af Fig. 8. De egentlige Gnisteledroder var i Almindelighed Kugler med en Diameter paa 10 mm og anbragte paa cylindriske Forlængelsesstykker (se Fig. 24 S). Disse er forsynede med Huller og Opslidsninger paa en saadan Maade, at de passer stramt ind paa Akserne af de

viste Mikrometre. Tilledningen foregaar dels gennem Mikrometrenes Stel, dels gennem de viste Fjedre, der danner Kontakt direkte med Gnisteledningerne. Gnistmikrometrets to Halvdele er anbragt paa et Ebonitstykke, der atter er fastgjort til en Træplade. Ledningernes og Shuntmodstan-

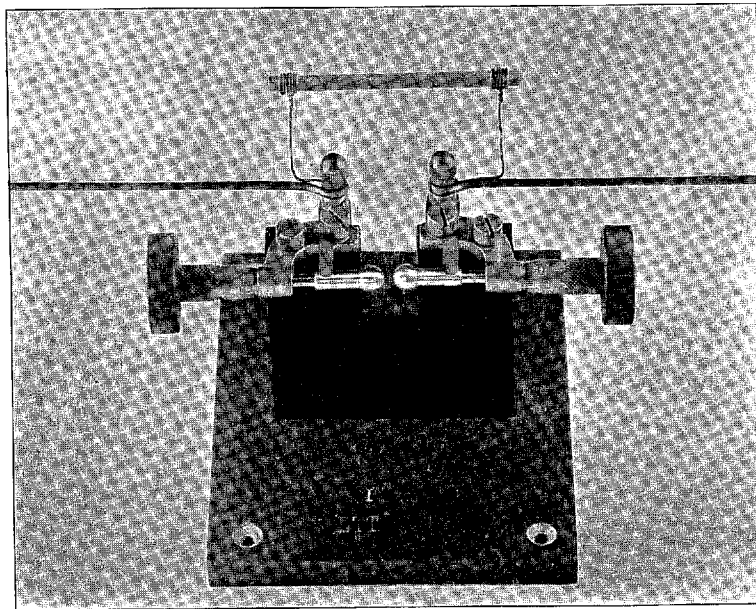


Fig. 8. Gnistmikrometer.

denes Tilknytning til Gnistmikrometret fremgaar klart af Fig. 8.

Gnistlængden kan bestemmes ved Aflæsning paa Mikrometrene, idet Nulstillingen — Berøring mellem de to Gnisteledninger — enten fastlægges ad elektrisk Vej ved Hjælp af et Element og en Telefon eller et Galvanometer, eller ved Hjælp af et svagt forstørrende Mikroskop med Okularmikrometer. I sidste Tilfælde føres Elektroderne ikke helt sammen til Berøring, men kun til en Afstand af f. Eks.

0,01 mm. Vi har i Almindelighed anvendt den sidste Fremgangsmaade, der dels er den bekvemmeste, dels undgaar de Fejlkilder, der kan opstaa ved Elektroernes Berøring og ved Maalestrømmens Gennemgang.

Med den i Fig. 2 viste Opstilling, hvor Gnismikrometrene g_1 og g_2 var af den i Fig. 8 viste Konstruktion, blev der anstillet en Række indledende Forsøg, der foretoges paa den Maade, at Gnistlængden i g_1 og g_2 gjordes eens, som Regel begge lig med 0,5 eller 1,0 mm, medens man efter Udladningen paa Pladen P iagttog, hvilken af de to Gnister der var kommen først. Længden af den primære Gnist i G var som Regel $L = 3$ mm.

Gnistelektroderne pudsedes før hver Udladning omhyggelig med et Stykke meget fint Smergelpapir, og der anvendtes dels Elektroder af samme Metal i begge Gnismikrometre, dels Elektroder af forskellige Metaller. Under alle Forhold syntes det at være fuldstændig tilfældigt, hvilken af de to Gnister der kom først. Kun i forholdsvis faa Tilfælde kom de lige hurtig, saaledes at Skillelinien paa Pladen P laa midt mellem de to Elektroder A_1 og A_2 . Ofte var Tidsforskellen saa stor, at der slog en Gnist over nede paa Pladen P , selv om den mindste Afstand mellem A_1 og A_2 var lig med eller lidt større end Gnistlængden l i g_1 og g_2 .

I Overensstemmelse med den gængse Opfattelse af Forholdene ved Gnistens Opstaaen laa det nær at sætte denne stærke Variation af Gnistforsinkelsen i Forbindelse med en tilsvarende Variation af Ionisationstilstanden i Gnistrumene g_1 og g_2 . Vi søgte derfor, ved Hjælp af den i Fig. 9 viste Opstilling at fjerne alle Ioner i det ene Gnistrum g_1 . Men til Trods for, at den E.M.K. af Batteriet B varieredes mellem en Brøkdelt Volt og op til 100 Volt ligesom Fortegnet for B skiftedes, saa syntes dog Tilstedeværelsen af Batteriet

ikke at udøve nogen som helst Indflydelse paa Størrelsen af Gnistforsinkelsen i g_1 . Snart var g_1 hurtigere end g_2 , snart var det omvendte Tilfældet, snart var de lige hurtige, og det paa samme uregelmæssige Maade som før. Paa den anden Side kan det jo ikke ret vel betvivles, at den lille Potentialforskel mellem Kuglerne — i hvert Fald i nogle af Tilfældene — uden at fremkalde Stødionisation maa have fjernet de allerfleste af, ja saa godt som alle de tilfældige Ioner i g_1 . Gnistforsinkelser i g_1 burde derfor, ifølge den

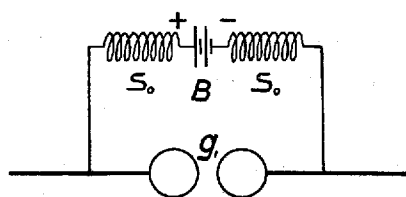


Fig. 9. B Batteri til Afionisering af Gnistrummet g_1 . S_0 Selvinduktionsruller til at hindre den elektriske Bølges Udligning over B .

gængse Teori, som Regel have været større end i g_2 . Disse Forsøg lader sig saaledes ikke bringe i Overensstemmelse med denne Teori.

Vi udsatte dernæst Gnistrummet g_2 og de tilhørende Elektroder for en kraftig Bestraaling af ultraviolet Lys fra en Buelampe. Det viste sig da, at Gnisten i g_2 aldrig kom bagefter Gnisten i g_1 , men af og til kom de to Gnister lige hurtig. Da Antallet af Ioner i g_2 maa være meget stort, i g_1 meget ringe, maatte man efter den gængse Anskuelse vente, at Gnisten i g_1 altid kom bagefter Gnisten i g_2 .

De sidstnævnte Forsøg styrker saaledes heller ikke den nævnte Opfattelse, ifølge hvilken Gnistforsinkelsen for en given Spænding og Gnistlængde kun er afhængig af Gnistrummets Ionisationstilstand. Og alle Forsøg, vi gjorde paa at bringe Overensstemmelse tilveje mellem Forsøgsresultaterne og denne Opfattelse, mislykkedes fuldstændig.

Derimod viste det sig, at Beskaffenheden og Tilstanden

af Gnistelektroderne Overflader var af afgørende Betydning for Gnistforsinkelsens Størrelse. Vi havde til at begynde med ikke ofret dette Punkt nogen større Opmærksomhed, men som nævnt foran kun sørget for, at Elektroderne forud for hver Udladning pudsedes omhyggelig med meget fint Smergelpapir.

Det viste sig nu, at Grunden til den uregelmæssige Forsinkelse maatte søges i, at det til Afpudsning af Elektroderne benyttede Smergelpapir ikke var fuldstændig rent, men stedvis svagt fedtet. Fortsatte Undersøgelser viste, at Forsinkelserne gennemgaaende blev mindre og samtidig langt mindre variable, naar man anvendte Karborundumpapir i Stedet for Smergelpapir. Er det anvendte Karborundumpapir fuldstændig rent, opnaar man, som vi vil se i næste Afsnit, ganske regelmæssige Forhold. Vi skal hermed gaa over til Omtalen af de ved de egentlige Forsøg fundne Resultater.

4. Gnistforsinkelse ved „ren“ eller „aktiv“ Katode.

Den minimale Forsinkelse.

Ved en ren Elektrode forstaas her og i det følgende en Elektrode, der er pudset omhyggelig med fuldstændig rent Karborundumpapir. Det samme Sted paa Karborundumpapiret maa kun anvendes een Gang, og man maa omhyggelig undgaa at røre med Fingrene ved de Dele af Papiret, der senere skal benyttes, ligesom dette med stor Omhyggelighed maa beskyttes mod Forurening med Fedt, Olie eller lignende. Derimod har Karborundumpapirets større eller mindre Finhed ikke saa meget at sige. Vi har almindeligvis benyttet Finheder mellem Nr. 000 og Nr. 40. Det første af disse Numre betegner vi i det følgende som fint, det

sidste som grovt. Pudsningsen foregik paa den Maade, at Elektroden sættes op i en lille Drejebænk, der under Pudsningsen holdtes i hurtig Rotation af en Elektromotor. Karborundumpapiret førtes med Haanden frem og tilbage over Elektrodens Overflade.

For at give et Indtryk af Forskellen i Overfladens Beskaffenhed paa Messingkugler, pudset henholdsvis med fint

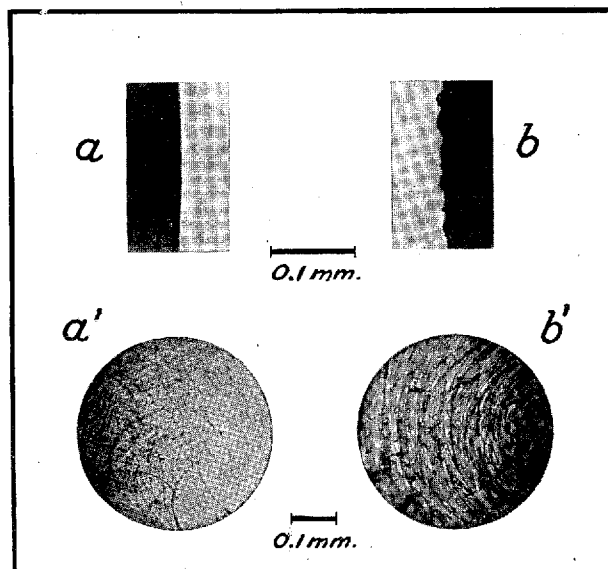


Fig. 10. Mikrofotografier af fint (a, a') og grovt (b, b') pudsede Kugler.

og grovt Papir, er i Fig. 10 vist Gengivelser af Mikrofotografier af saaledes behandlede Kugler, idet a og a' er fra en fint pudset, b og b' fra en grovt pudset Elektrode. Fig. a og b viser forstørrede Gengivelser af Kuglernes Profil og Fig. a' og b' af almindelige Mikrofotografier af smaa Dele af Kuglernes Overflader. Man ser, at der i de to Tilfælde rent geometrisk set er stor Forskel paa Kuglernes Overflader.

Hvor andet ikke udtrykkelig fremhæves, bestaar Elektroderne af 10 mm Messingkugler, og Gnistdannelsen foregaar i atmosfærisk Luft og ved Atmosfæretryk.

Primærgnistens Længde betegnes i det følgende ved L , Længden af den undersøgte Gnist ved l , eventuelt l_2 , naar Gnistbanen g_1 ikke er kortsluttet.

Det viser sig nu, at naar Katoden er ren, saa er Forsinkelsen — i hvert Fald indenfor de her undersøgte Grænser — ganske uafhængig af Anodens Tilstand — om den er ren eller snavset — og af Luftens Ionisationstilstand. Til et givet Værdisæt af L og l svarer en ganske bestemt Forsinkelse, og denne Forsinkelse er den mindste, med hvilken en Gnist overhovedet kan dannes, naar L og l har de angivne Værdier. Vi kalder derfor i det følgende denne Forsinkelse $\tau_{\min}$.

I Fig. 11 er, for $L = 10$ mm, vist, hvorledes $\tau_{\min}$ varierer med Længden l af den undersøgte Gnist. Naar l vokser fra Nul til 7 mm, vokser $\tau_{\min}$ fra Nul til omkring 15×10^{-8} Sek. For l over 7 mm bliver den minimale Forsinkelse saa stor, at den, som omtalt foran, falder udenfor det Maaleomraade, man med den anvendte Maalemetode direkte kan beherske.

Den i Fig. 11 viste Kurve angiver, som nævnt, den minimale Forsinkelse. Blandt det meget store Antal Bestemmelser, der er foretaget¹, giver ikke en eneste en Forsinkelse, der er kendelig mindre end den ved Kurven bestemte Værdi af $\tau_{\min}$, og Afvigelserne nedad er aldrig større, end at de kan skyldes den med Maalingernes Udførelse forbundne Unøjagtighed.

Ved Maalingerne paa de fotografiske Plader faar man

¹ Der er ialt foretaget over 3000 Bestemmelser.

ikke direkte bestemt Forsinkelsen, men derimod den af LICHTEBERG-Figuren i Ventetiden gennemløbne Vej a . I Fig. 12 er vist sammenhørende Værdier af L' og a for $L = 10$ mm, og under Benyttelse af den i Fig. 5 givne Sammenhæng mellem a og t_0 kan man saa uden videre tegne den i Fig. 11 viste $(l, \tau_{\min})$ -Kurve. Kun paa et enkelt

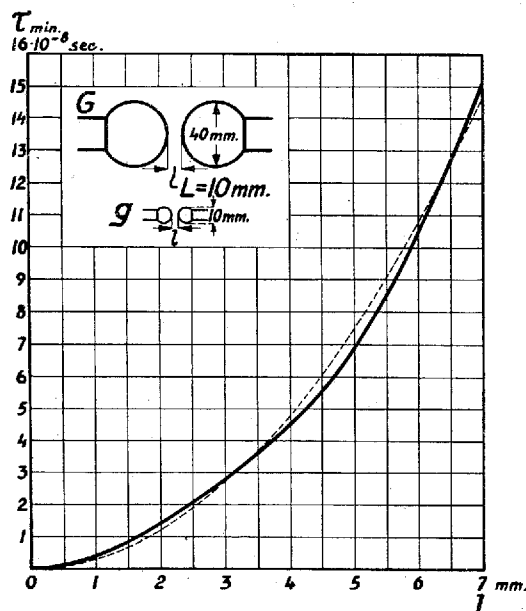


Fig. 11. Forsinkelsen $\tau_{\min}$'s Afhængighed af Gnistlængden for ren Katode. Den punkterede Linie fremstiller Parablen $\tau_{\min} = c \cdot l^2$. G Primær-gnistbane. g Undersøgte Gnistbane.

parallelt med Gnistbanen at anbringe en lille Kondensator, hvis Kapacitet ogsaa er C' . Forskellen mellem Forsinkelsen med og uden Kondensator vil da med tilstrækkelig Tilnærmelse være den søgte Korrektion. Den sidstnævnte Metode er anvendt i Fig. 12. Den punkterede Kurve viser de ukorrigerede, den fuldt optrukne de korrigerede Værdier

Punkt maa der foretages en Korrektion, nemlig nede for ganske smaa Værdier af l . Her vil nemlig den ikke helt forsvindende Kapacitet, C' , mellem de to Kugler, der danner Elektroderne, bevirke en ekstra Forsinkelse. Man kan korrigere for denne paa flere Maader, f. Eks. ved at anvende Kugler med en tilsvarende lille Diameter, eller ved

af α . For Værdier af l , der er større end 1,5 mm, spiller denne Korrektion ingen nævneværdig Rolle.

Særlig Interesse har det Forhold, at Forsinkelsen i det her betragtede Tilfælde, hvor Katoden er ren, er uafhængig af den Tilstand, hvori Anodens Overflade befinder sig. Om denne er ren, pudset med fint eller grovt

Karborundumpapir, eller om den er fedtet eller overtrukket med en Oliehinde, eller iltet og anløben efter Passagen af et stort Antal Gnister, det er alt uden Indflydelse paa Forsinkelsen — saalænge Katoden er ren.

Ganske stik imod den hidtil almindelige Opfattelse er Forsinkelsen ligele-

des fuldstændig uafhængig af Luftens Ionisationstilstand. Forsinkelsen er ganske den samme, nemlig lig med $\tau_{\min}$, hvad enten Gnistrummet og Elektroderne bestraales af Lyset fra en kraftig Buelampe i omkring 20 cm Afstand fra Gnistrummet, eller dette udsættes for Straaling fra et kraftigt Radiumpræparat, anbragt umiddelbart under Gnistbanen, eller endelig naar Gnistrummet, med Udeluk-

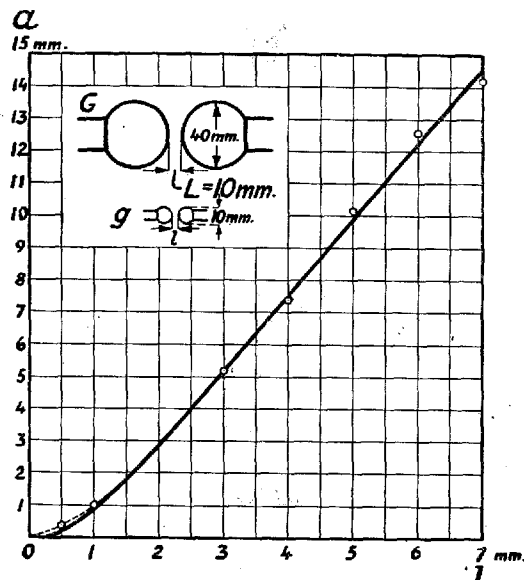


Fig. 12. Forsinkelsen α 's Afhængighed af Gnistlængden for ren Katode. G Primærgnistbane.
 g Undersøgte Gnistbane.

kelse af al Straaling, anbringes fuldstændig i Mørke, og tilfældige Ioner fjernes fra det ved Anvendelse af den i Fig. 9 viste Opstilling.

For ren Katode er Forsinkelsen ligeledes uafhængig af Luftens Fugtighedsgrad. Dette er prøvet baade for atmo-

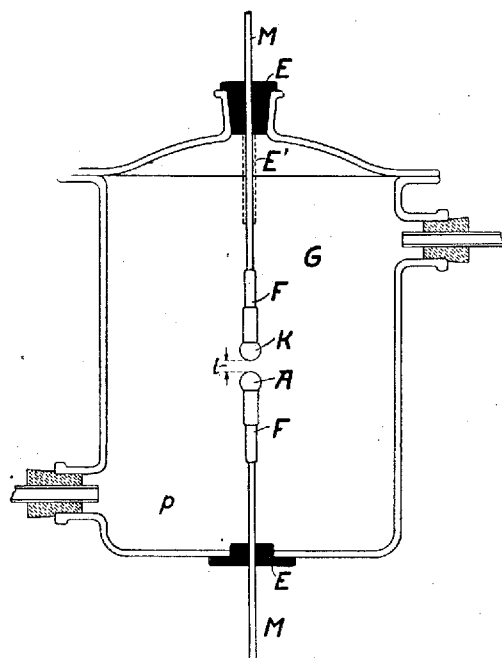


Fig. 13. Glasbeholder til Gnistforsøg. *K* Katode. *A* Anode. *E* Mellemstykker, der kan skrues kortere eller længere ind paa de gennemgaaende Stænger *M*, hvorved Gnistlængden *l* kan varieres.

sferisk Luft og for Brint. Ved disse Forsøg var Gnistbanen indesluttet i den i Fig. 13 viste Glasbeholder, ind i hvilken den anvendte Luft i det ene Tilfælde blev suget gennem to

Vadskeflasker med Vand, og i selve Beholderen var der anbragt en Skaal med Vand, medens i det andet Tilfælde Luft blev suget gennem to Vadskeflasker med koncentreret Svovlsyre

og derefter gennem et Rør med Fosforpentoxyd, ligesom der var anbragt noget af sidstnævnte Tørremiddel i selve Beholderen. Baade for atmosfærisk Luft og for Brint var Forsinkelsen $\tau_{\min}$ i begge Tilfælde nøjagtig den samme, selv om Tørningsmidlerne havde virket i et Døgn og der-

over. Den af J. J. THOMSON¹ og andre særlig for Brintens Vedkommende iagttagne, store Indflydelse af Luftens Fugtighed paa Gnistforsinkelsen maa formentlig hænge sammen med, at den benyttede Katode ikke har været ren i den her benyttede Betydning af dette Ord.

Den minimale Forsinkelse er, indenfor de ved den foreløbige Forsøgsnøjagtighed givne Grænser, ogsaa den samme for Katoder af Bly, Tin, Aluminium, Zink, Kobber, Messing, Jern, Sølv, Guld, Platin, Nikkel, Molybdæn og Wolfram. Det synes heraf at fremgaa, at den minimale Forsinkelse er uafhængig af Katodemetallets Natur.

Fig. 11 viser, at $\tau_{\min}$, for konstant Længde af Primærgnisten og for smaa Værdier af Sekundærgnistens Længde l , ret nær er proportional med 2den Potens af dennes Længde, altsaa

$$\tau_{\min} = c \cdot l^2, \quad (5)$$

gældende for smaa Værdier af l .

Ogsaa andre Maalingsrækker bekræfter den omtrentlige Rigtighed af (5). Det skal dog straks fremhæves, at da man ifølge Formel (2) har, at $\tau_{\min} \rightarrow \infty$ samtidig med, at $l \rightarrow \frac{4}{3}L$, saa kan (5) kun være en Tilnærmelsesformel, der endda kun kan benyttes for saadanne Værdier af l , der er mindre end L .

5. Den minimale Forsinkelses Afhængighed af Lufttrykket. (Forsinkelsen i andre Luftarter.)

Der er desuden foretaget en Række Maalinger af den minimale Forsinkelses Afhængighed af Lufttrykket, p , i det undersøgte Gnistrum, idet den minimale Forsinkelse, som vist i det foregaaende, altid fremkommer, naar Katoden er

¹ J. J. THOMSON: Phil. Mag. (5), Vol. 36, p. 318—327. 1893.

ren. Nogle af Resultaterne fra disse Forsøg er fremstillet i Fig. 14—16. Forsøgene er foretaget i Luftarterne: atmosfærisk Luft, Ilt, Brint og Kulsyre og for forskellige Længder af Primærgnist L og Maalegnist l . Lufttrykket har i nogle af Forsøgene varieret fra 0,1 til 5000 mm Hg.

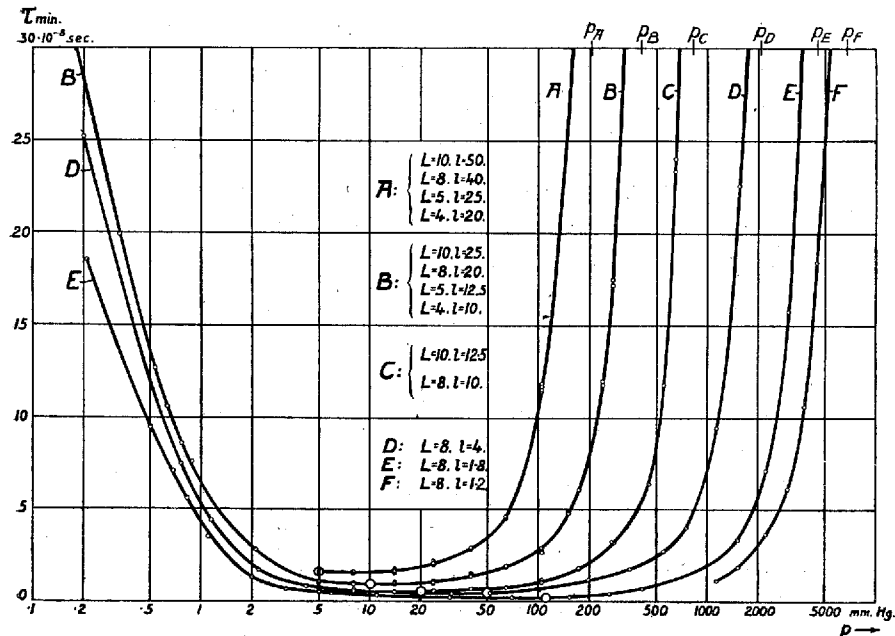


Fig. 14. Forsinkelsens Afhængighed af Lufttrykket for atmosfærisk Luft. De Punkter, for hvilke $\tau_{\min}$ er Minimum, er markeret ved Cirkler.

For Tryk, der er lig med eller mindre end Atmosfæretryk, er Forsøgene udførte ved Hjælp af det i Fig. 13 viste Glasapparat, medens der for højere Tryk er anvendt det i Fig. 17 skitserede Apparat.

I Fig. 14 og 16 er som Abscisse afsat Logaritmen af Lufttrykket, i Fig. 15 selve Lufttrykket p , medens Forsinkelsen i alle Tilfælde er afsat som Ordinat. For alle de

undersøgte Luftarter og for alle Værdier af Forholdet $\frac{L}{l}$ — altsaa for alle Feltintensiteter — er Forløbet af $(p, \tau_{\min})$ -Kurverne i Hovedsagen det samme.

I Fig. 14 og 15 er foroven markeret de Værdier, P , af Lufttrykket i Maalegnistrummet, for hvilke

$$P \cdot l = 760 \cdot \frac{4}{3} \cdot L,$$

eller

$$P = \frac{4}{3} \cdot 760 \cdot \frac{L}{l} = 1013 \cdot \frac{L}{l}. \quad (6)$$

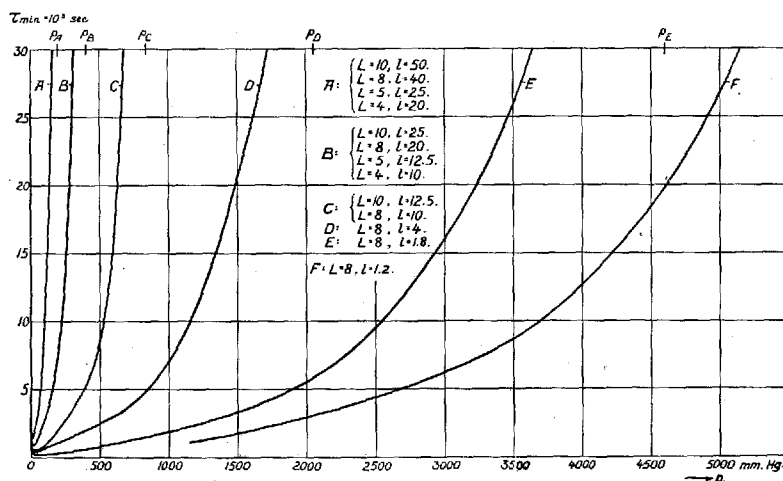


Fig. 15. Forsinkelsens Afhængighed af Lufttrykket for atmosfærisk Luft. Selve de ved Forsøg bestemte Punkter er ikke indtegnede. Figuren har kun til Hensigt at give et Overblik over $(p, \tau_{\min})$ -Kurvernes almindelige Forløb.

Det saaledes bestemte Tryk ligger i Nærheden af det højeste, ved hvilket der overhovedet under de givne Forhold kan opstaa en Gnist i det undersøgte Gnistrum. Man maa derfor antage, at den minimale Forsinkelse her antager forholdsvis meget store Værdier, eller udtrykt paa anden Maade, at $\tau_{\min} \rightarrow \infty$, naar $p \rightarrow P$. Denne Relation synes at være tilfredsstillende i alle de undersøgte Tilfælde.

Fælles for alle $(p, \tau_{\min})$ -Kurver er, at $\tau_{\min}$ ved højere Tryk aftager stærkt med aftagende Lufttryk og derefter mindre og mindre stærkt indtil Forsinkelsen for et vist Tryk, p' , der synes at ligge omkring

$$p' = 25 \frac{L}{l} \text{ mm Hg.}, \quad (6)$$

antager sin absolut mindste Værdi, $\tau_{\min \min}$. Aftager Trykket

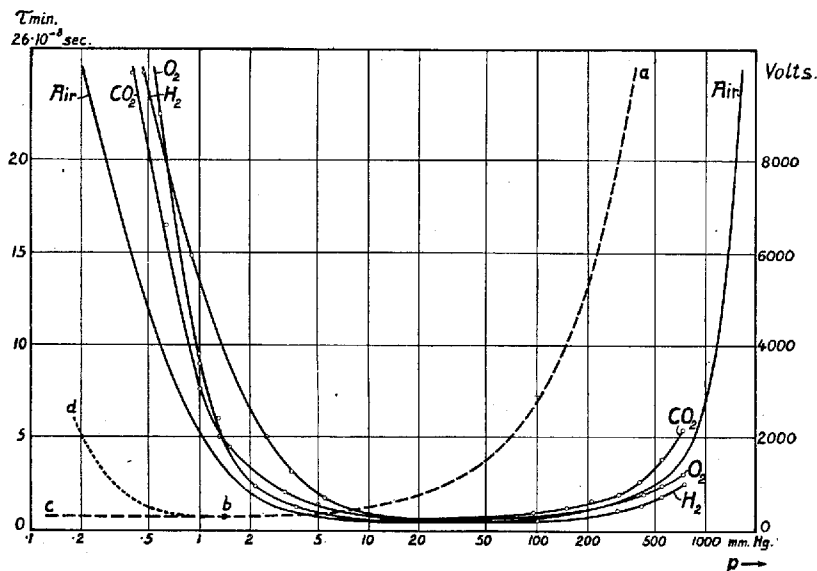


Fig. 16. Forsinkelsens Afhængighed af Lufttrykket for atmosfærisk Luft, Brint, Ilt og Kulsyre. Den punkterede Linie, hvortil som Ordinater svarer de paa højre Side angivne Spændinger, angiver Gnistspændingen som Funktion af Lufttrykket for atmosfærisk Luft. $L = 8$ mm, $l = 4$ mm.

yderligere ned under en Værdi, der ved de hidtil udførte Forsøg ligger i Nærheden af 2 mm Hg., saa stiger Forsinkelsen meget stærkt, indtil den mellem 0,1 og 0,2 mm Hg. antager saa store Værdier, at de ligger udenfor Maale-omraadet.

I Fig. 14 er ved Cirkler markeret de Punkter, i hvilke

$\tau_{\min}$ skønnes at være Minimum, og i efterfølgende Tabel er angivet de tilsvarende Værdier af p' og $\tau_{\min \min}$. Disse Værdier er dog kun at betragte som foreløbig orienterende.

Tabel 1. Minimumsværdier af den minimale Forsinkelse.

Kurve	A	B	C	D	E
$\frac{L}{l}$	5	2,5	1,25	0,5	0,225
p' (mm Hg.)	5	10	20	50	111
$p' \cdot \frac{L}{l}$	25	25	25	25	25
$10^8 \cdot \tau_{\min \min}$ (Sek.)	1,6	0,9	0,6	0,4	0,2

Parallelt med det ejendommelige Forløb af $(p, \tau_{\min})$ -Kurverne gaar en tilsvarende, udpræget Forandring i Gnistens Udseende. Til Anskueliggørelse heraf er der paa Fig. 18 (Pl. I) og 19 (Pl. II) i Rækkerne mærket S vist en Serie Fotografier af saadanne Gnister optagne ved forskellige Tryk i den i Fig. 13 viste Beholder. Primærgnistens Længde var $L = 5$ mm, mindste Elektrodeafstand (»Gnistlængden«) i de fotograferede Gnister 6 mm (Elektrodekuglernes Diameter 10 mm). Optagelsen blev iøvrigt foretaget under Anvendelse af den i Fig. 2 viste Opstilling, idet Beholderen i Fig. 13 var indskudt i Stedet for g_2 , medens g_1 var kortsluttet. Tallene under Billederne angiver Lufttrykket i mm Hg. Ved Tryk fra 6 mm Hg. og nedad var Lysintensiteten saa ringe, at en enkelt Gnist ikke gav et tilstrækkelig kraftigt Billede; der er derfor i disse Tilfælde taget flere Gnistoptagelser paa samme Plade, og Tallene i Parentes angiver Antallet af Gnister.

Fig. 18 (Pl. I) og 19 (Pl. II) viser, at ved Atmosfæretryk er Gnisten ganske tynd og skarp og følger den korteste

Vej mellem de to Elektroder. Med aftagende Tryk bliver Gnisten tykkere og blødere, men følger endnu ved 100 mm Hg. den korteste Linie mellem Elektroderne. Ved 52 mm Hg. begynder dette ikke at være Tilfældet længere; der er her

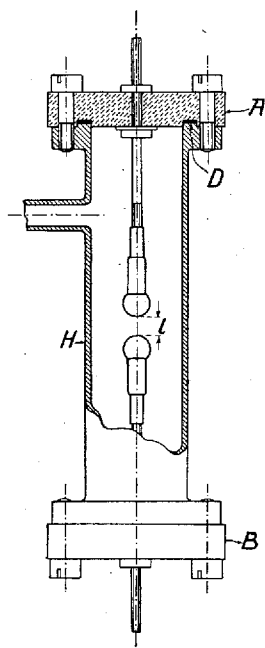


Fig. 17. Gnistbeholder
for højere Tryk.

H Messingrør. *A* og *B*
Ebonitplader. *D* Gum-
miring til Tætning.

samme er Tilfældet med de to paa Fig. 19 (Pl. II) viste Fotografier svarende til Trykkene 0,6 og 0,31 mm Hg. For direkte at vise dette er der ved Forsøget under 0,85 mm Tryk skudt et Ebonitrør over den øverste Del af Katoden (*E'* i Fig. 13) og det tilsvarende Billede er taget i mindre Maalestok, saaledes at baade selve Gnistbanen og Ebonit-

noget skævt og geometrisk lidet vel defineret over Gnisten. Denne Tendens udvikler sig mere og mere, efterhaanden som Trykket aftager. Ved $p = 14,8$ er det meget tydeligt, at Gnisten ikke længere har nogen Tendens til at følge den korteste Vej mellem Elektroderne, ligesom dens »Rumfang« er blevet forholdsvis meget stort. Ved endnu lavere Tryk er det ganske tydeligt, at Gnisten fortrinsvis søger længere Veje, og desto længere, jo lavere Trykket er. Denne længere Vej fremkommer paa den Maade, at Gnistens Udgangspunkt paa Katoden, efterhaanden som Lufttrykket aftager, rykker længere og længere bort fra Anoden. Dette er meget tydeligt for 6 og 4 mm's Tryk. Ved 2,5, 1,5 og 0,9 mm's Tryk ligger Udgangspunktet paa Katoden saa langt borte fra selve Gnistbanen, at det ikke er kommet med paa Fotografiet; det

rørets nederste Ende er kommen med paa Billedet. Det fremgaar af dette, at den kraftigste Del af Lyset fra Katoden udgaar fra Messingstangen lige under Ebonitrøret, saa langt borte fra Anoden som overhovedet muligt. Ved de lavere Tryk fyldtes hele Beholderen af Lys. Karakteristisk er det, at der selv ved det laveste af de undersøgte Tryk udgaar et forholdsvis kraftigt Lys fra Anodekuglens nærmeste Omgivelser.

Det ligger nær at sammenligne disse Forhold, hvor Gnistbanen pludselig udsættes for en høj Spænding, med de Forhold, der, for samme Elektrodeafstand og samme Tryk, gør sig gældende, naar Spændingen forholdsvis langsomt vokser op til Gennemslagsværdien.

Paa Fig. 18 (Pl. I) og 19 (Pl. II) er der derfor i de med *P* betegnede Rækker vist en Serie Billeder, der er tagne under de sidstnævnte Forhold. Den undersøgte Gnistbane var her indskudt direkte i Serie med Elektrisermaskinen. Tallene under Billederne angiver, ligesom i Rækken *S*, Lufttrykket i mm Hg., medens Tallene i Parentes angiver det Antal Sekunder, Spændingen har været holdt paa. Selve Udladningen er som Regel intermitterende.

En Sammenligning mellem *P* og *S* Rækkerne viser, at der er en meget stor Forskel paa Udladningens Karakter i de to Tilfælde. *P* Rækken er, ihvert Fald ned til Tryk paa omkring 0,3 mm Hg., karakteriseret ved det stærkt udviklede og meget kraftige Katodelys. Man faar et umiddelbart Indtryk af, at selve Udladningen i de to Tilfælde foregaar paa ret forskellige Maader. Vi kommer i II. Del af denne Afhandling nærmere ind paa dette Forhold.

Det ligger ligeledes nær at sammenligne den i Fig. 16 viste $(p, \tau_{\min})$ -Kurve for atmosfærisk Luft med den til den samme Elektrodeafstand svarende (p, V) -Kurve, hvor *V*

betegner Gnistspændingen. En saadan Sammenligning er foretaget i Fig. 16, hvor (p, V) -Kurven er mærket abc , medens Kurvestykket bd angiver det Forløb, (p, V) -Kurven vilde have faaet, hvis Elektroderne havde været plane og parallelle, og hvis Gnisten var bleven tvungen til at søge over ad den korteste Vej mellem disse. Man ser, at $(p, \tau_{\min})$ -Kurven og (p, V) -Kurven i Hovedsagen har samme almindelige Forløb for høje Lufttryk og ned til Minimumsværdierne. Men den Værdi af p , for hvilken V er Minimum, er meget lavere end den, for hvilken $\tau_{\min}$ har sin mindste Værdi.

For Tryk under Minimumspunktet er Forløbet af de to Kurver derimod ganske forskelligt. (p, V) -Kurven holder sig — som bekendt — under de her foreliggende Forhold nede paa den lave Minimumsværdi, som antydtes ved Liniestykket bc . $(p, \tau_{\min})$ -Kurven bøjer derimod for disse lave Tryk meget stærkt i Vejret, saaledes at $\tau_{\min}$ her meget snart antager saa store Værdier, at de ikke kan maales ved Hjælp af den benyttede Opstilling.

Foruden af Luftartens Natur og af Trykket afhænger Forsinkelsen, som det bl. a. fremgaar af Fig. 14, i første Linie af Forholdet $f = \frac{L}{l}$, altsaa af den elektriske Feltintensitet. Efter de hidtidige Erfaringer gælder som almindelig Regel, at for en bestemt Luftart og for et givet Tryk er Forsinkelsen desto mindre, jo højere Feltintensiteten er.

De anstillede Forsøg tyder ligeledes paa, at Forsinkelsen i Hovedsagen kun afhænger af Forholdet mellem Gnistlængderne L og l , men derimod ikke ret meget af disses absolute Længder. Det er muligt, ja vel endog sandsynligt, at en nærmere Undersøgelse med den i Afsnit 2 omtalte, noget forbedrede Forsøgsteknik vil vise, at ogsaa de absolute Gnistlængder har nogen Indflydelse paa Forsinkelsen, og at denne navnlig vokser med Gnistlængderne; men denne

Forskel er i hvert Fald for de her behandlede Forhold relativ ringe. I Fig. 14 og 15 svarer de tegnede Kurver til de nedenfor angivne Værdier af Forholdet f .

Kurve	A	B	C	D	E	F
$f = \frac{L}{l}$	0,2	0,4	0,8	2	4,44	6,67

De absolute Værdier af L og l er angivet paa selve Tegningerne og varierer, navnlig for Kurverne A's og B's Vedkommende, indenfor vide Grænser. En Del af Forsøgsresultaterne er markeret paa Fig. 14, men langt fra alle, idet Punkterne flere Steder vilde falde saa tæt, at det ikke vilde være muligt at holde dem ude fra hverandre. I intet Tilfælde fandtes der Afvigelser, der med fuldkommen Sikkerhed godtgjorde, at ogsaa den absolute Værdi af Gnistlængderne spillede nogen større Rolle. Dog tyder det foreliggende Materiale nærmest paa, at Forsinkelsen vokser med Gnistlængden.

I Fig. 16 er tillige vist nogle $(p, \tau_{\min})$ -Kurver for Brint, Ilt og Kulsyre. Ved højere Tryk synes Forsinkelsen at aftage i Rækkefølgen Kulsyre, atmosfærisk Luft, Ilt, Brint. Ved lavere Tryk synes Forholdene at stille sig noget anderledes. Iøvrigt synes det almindelige Udseende af $(p, \tau_{\min})$ -Kurverne for alle de undersøgte Luftarter at være det samme. De til Undersøgelsen anvendte Luftarter var ikke fuldstændig rene, men indeholdt nogle faa Procent af fremmede Luftarter.

For lave Tryk, hvor Gnistudladningen ikke følger den korteste Vej, er der ved de foreliggende Forsøg et Par Fejlkilder, der maaske har nogen Indflydelse paa Forløbet af $(p, \tau_{\min})$ -Kurven til venstre for Minimumspunktet. Der optræder nemlig her Ladninger paa Glasbeholderens Vægge; man maa derfor lade hengaa nogen Tid mellem de enkelte

Maalinger. Men selv i saa Fald er det ikke sikkert, at Fejlen elimineres fuldstændig. Endelig har Elektroderne ikke været saa rene over hele deres Længde, som det maa-ske var ønskeligt. Det hovedsagelige Forløb af $(p, \tau_{\min})$ -Kurverne vil dog ikke ændres herved, hvorfor en nærmere Undersøgelse af disse Forhold opsættes til en senere Lejlighed.

6. Gnistforsinkelse ved urene Elektroder.

Naar Katoden ikke er ren — Ordet ren taget i den i Afsnit 4 angivne Betydning — stiller Forholdene sig ganske anderledes. Gnistforsinkelsen er da, i Modsætning til Forholdene ved ren Katode, baade afhængig af Beskaffenheden og Tilstanden af Anodens Overflade og af Ionisationstilstanden i Gnistrummet. Forsinkelsen har dog i dette Tilfælde ikke nogen aldeles bestemt Værdi, men kan variere fra den for ren Katode gældende Værdi $\tau_{\min}$ og op til en ved de givne Forsøgsbetingelser bestemt Maksimalværdi, der ofte er mange Gange større end $\tau_{\min}$. Som oftest ligger Forsinkelsen i Nærheden af den maksimale Værdi.

Til Belysning af disse Forhold anføres nogle Forsøg over Gnistforsinkelse foretaget med urene Elektroder, Forsøg der ogsaa i nogen Grad kaster Lys over de i Afsnit 4 behandlede Forhold.

A. Forurening af Gnistelektroderne med en Blanding af Benzin og Olie.

De første Forsøg udførtes med Benzin, der blev købt som kemisk ren, og den anvendte Olie var lysegul, tyndt-flydende Urmagerolie. Forureningen blev foretaget ved, at

de i Forvejen »rene« Kugler blev fugtet med een eller flere Draaber af Blandingen ved Hjælp af en Pipette, og derefter fik Lov til at staa ca. 10 Min., inden Forsøget udførtes, for at Benzinen kunde fordampe. Der anvendtes følgende tre Blandingsforhold:

Nr. 1. Ren Benzin.

Nr. 2. 5 Draaber Olie blandet med 10 cm³ Benzin (ca. 0,9 Volumenprocent Olie).

Nr. 3. 25 Draaber Olie blandet med 10 cm³ Benzin (ca. 4,5 Volumenprocent Olie).

Ved Fugtning af Katoden med disse Blandinger af Benzin og Olie fandtes følgende:

$L = 5$ mm, $l = 0,5$ mm; Anoden urørt, men paa Plads vis à vis Katoden.

Den minimale Forsinkelse $\tau_{\min} = 0,35 \times 10^{-8}$ Sekund.

Katoden fugtet med 1 Draabe af Nr. 1

$\tau = \text{ca. } 2,5 \times 10^{-8}$ Sekund.

Katoden fugtet med 1 Draabe af Nr. 2

$\tau = 4,6 \text{ à } 6,3 \times 10^{-8}$ Sekund

Katoden fugtet med 1 Draabe af Nr. 3

$\tau = 11 \text{ à } 18 \times 10^{-8}$ Sekund.

Der fremkommer altsaa en meget betydelig Ekstrafor-sinkelse ved Forureningen, men det viste sig, at denne Ekstrafor-sinkelse kræver nogen Tid til at naa sin fulde Værdi (fra 20 Min. til 1 Time) og tillige, at Anoden var paa Plads under Fugtningsprocessen. Grunden hertil er, som vi senere skal se, at selv et yderst ringe Olie-eller Fedtlag paa Anoden virker stærkt forsin-kende, naar Katoden i Forvejen er fedtet. Et saadant tyndt Olielag overføres nemlig paa Anoden ved Fortætning af

de ved Fordampning af Katodens Benzinlag dannede Dampe.

Er Anoden ganske ren, altsaa f. Eks. afpudset og bragt paa Plads umiddelbart før Forsøget udføres, saa bliver Forsinkelsen langt mindre end angivet ovenfor, men dog betydelig større end $\tau_{\min}$.

Forsøgene er meget vanskelige at udføre med Benzin, da dennes Dampe, som vist, ved Fortætning paa Elektroderne giver virksomme Olie- eller Fedtlag.

Vi gik derfor over til Fugtning af Elektroderne med en Blanding af Æther og Olie.

B. Fugtning af Elektroderne med en Blanding af Æther og Olie.

Ætheren blev købt som ren Æther, og Olien var den samme, som anvendtes ovenfor. Der anvendtes følgende to Blandingsforhold:

Nr. 4. 1 Draabe Olie i 5 cm³ Æther (0,36 Volumenprocent Olie).

Nr. 5. 10 Draaber Olie i 5 cm³ Æther (3,6 Volumenprocent Olie).

Det viste sig, at ren Æther ikke giver nogen Ekstraforsinkelse, hverken paa Katoden eller Anoden¹.

I Overensstemmelse hermed viste det sig tillige, at Forsinkelsen hidrørende fra Fugtning af Katoden var uafhængig af, om Anoden var i Nærheden eller ej under Fedtningen.

¹ Ætheren maa altsaa efter dette betragtes som et til disse Forsøg tilstrækkelig rent Opløsningsmiddel.

a. Fugtning alene af Katoden (Anoden ren).

Man fandt her følgende:

$$L = 5 \text{ mm}, l = 0,5 \text{ mm}, \tau_{\min} = 0,35 \times 10^{-8} \text{ Sekund.}$$

Katoden fugtet med 1 Draabe af Nr. 4

$$\tau = 0,9 \times 10^{-8} \text{ Sekund.}$$

Katoden fugtet med 1 Draabe af Nr. 5

$$\tau = 2,8 \times 10^{-8} \text{ Sekund.}$$

Katoden fugtet med 3 Draaber af Nr. 5

$$\tau = 2,8 \times 10^{-8} \text{ Sekund.}$$

$$L = 5 \text{ mm}, l = 1,0 \text{ mm}, \tau_{\min} = 1,4 \times 10^{-8} \text{ Sekund.}$$

Katoden fugtet med 3 Draaber af Nr. 5

$$\tau = \text{ca. } 4,6 \times 10^{-8} \text{ Sekund.}$$

$$L = 5 \text{ mm}, l = 2,0 \text{ mm}, \tau_{\min} = 4,5 \times 10^{-8} \text{ Sekund.}$$

Katoden fugtet med 3 Draaber af Nr. 5

$$\tau = 11,0 - 16,5 \times 10^{-8} \text{ Sekund.}$$

Ved ovenstaaende Forsøg varede det ligeledes nogen Tid, inden Ekstraforsinkelsen naaede sin fulde Størrelse (10—20 Min.), men derefter holder den sig ogsaa konstant, naar blot Anoden er ren. Saaledes viste Billeder, tagne indtil 2 Døgn efter Fugtningen, ingen Forandring i Forsinkelsens Størrelse.

Som Eksempel paa, hvor stor Rolle Anodens Renhed spiller, kan anføres følgende: Ved et enkelt Forsøg med fugtet Katode og ren Anode holdt Forsinkelsen sig konstant paa $2,8 \times 10^{-8}$ Sek. indtil 1 Time efter Fugtningen; efter atter 1 Times Forløb var Forsinkelsen steget til $5,4 \times 10^{-8}$ Sek. og efter endnu $\frac{1}{2}$ Times Forløb til $11,0 \times 10^{-8}$ Sek., for derpaa atter at synke til $2,8 \times 10^{-8}$ Sek., da Anoden blev pudset af.

Det viser sig saaledes, at Forurening af Anoden alene giver ingen Ekstraforsinkelse, men naar Katoden i Forvejen er uren, forøges Ekstraforsinkelsen betydeligt ved selv en ganske overor-

dentlig ringe Forurening af Anoden. Af Resultaterne ovenfor for $l=0,5$ mm følger endvidere, at Forsinkelsen indenfor visse Grænser er uafhængig af Katodens Fedtningsgrad.

b. Fugtning af Anoden alene (Katoden ren).

Man fandt, som ovenfor angivet, ingen Ekstraforsinkelse af nogen Art. Dette blev prøvet flere Gange, dels ved at fugte Anoden alene og holde Katoden ren, dels ved først at frembringe en meget stor Forsinkelse ved at fugte baade Katode og Anode og derpaa, efter at have konstateret denne store Forsinkelse, atter pudse Katoden af, hvorefter kun den minimale Forsinkelse blev tilbage.

c. Forurening af begge Elektroder.

Katoden blev fugtet med 1 eller oftere 3 Draaber Nr. 5 og gav for $L=5$ mm og $l=0,5$ mm den sædvanlige Forsinkelse, $2,8 \times 10^{-8}$ Sek., derefter blev Anoden fugtet paa forskellig Maade, enten med ren Benzin eller med fra 1 Draabe Nr. 4 til 3 Draaber Nr. 5. og Forsinkelsen steg da i alle Tilfælde til ca. $16,5 \times 10^{-8}$ Sek. for atter at synke til $2,8 \times 10^{-8}$ Sek. efter Afpudsning af Anoden eller til den minimale Forsinkelse $0,35 \times 10^{-8}$ Sek. efter Afpudsning af Katoden. Den endelige Værdi af Ekstraforsinkelsen hidrørende fra en uren Anode holder sig konstant i Tidens Løb (konstateret for indtil 1 Døgn), men det varer nogen Tid, inden den naar op til sin fulde Værdi (fra 20 til 40 Min.), uden at det dog har været muligt at konstatere nogen Regelmæssighed her. Dog synes det, som om en meget ringe Forurening af Anoden (1 Draabe Nr. 4) er længere Tid om at gøre sig gældende end en kraftigere Fedtning.

Af ovenstaaende Forsøg fremgaar endvidere, at Ekstraforsinkelsen, hidrørende fra Anodeforurening, indenfor meget

vide Grænser er uafhængig af Anodens Forureningsgrad, idet den fremkommer med sin fulde Værdi allerede ved meget ringe Fedtning af Anoden og derpaa holder sig konstant, selv naar denne Forurening forøges meget betydeligt.

Derimod antager Anodeforsinkelsen ikke sin fulde Værdi, medmindre Katoden er fedtet tilstrækkeligt til at give den fulde Katodeforsinkelse $2,8 \times 10^{-8}$ Sek., hvilket fremgaar af følgende Forsøg ($L = 5$ mm, $l = 0,5$ mm):

Katoden blev fugtet med 1 Draabe Nr. 4 og gav derved den tidligere angivne Forsinkelse $0,9 \times 10^{-8}$ Sek. Anoden blev derefter fugtet med 1 Draabe Nr. 4, og Forsinkelsen steg da til $1,8 \times 10^{-8}$ Sek. Derefter blev Anodens Fedtning forøget gradvis op til 3 Draaber Nr. 5, men Forsinkelsen holdt sig stadig konstant paa $1,8 \times 10^{-8}$ Sek. for atter at synke til $0,9 \times 10^{-8}$ Sek., da Anoden tilsidst blev afpudset.

Allerede for $L = 5$ mm og $l = 1$ mm er Anodeforsinkelserne saa store, at Billedet udebliver paa den fotografiske Plade. Det kunde blot konstateres, at Forsinkelsen var større end 25×10^{-8} Sek.

Foruden de nævnte Forsøg er der foretaget en Mængde andre, der alle har bekræftet de foran fremdragne Resultater.

Det fremgaar heraf, at medens Forsinkelsen for ren Katode, $\tau_{\min}$, i hvert enkelt Tilfælde har en ganske bestemt Værdi, saa er dette ikke Tilfældet med de Forsinkelser, man faar, naar Katoden er uren. Forholdene er her ret indviklede og kan endnu ikke siges at være klarlagte i alle Enkeltheder, hvortil bl. a. ogsaa det Forhold bidrager, at Forsinkelserne, navnlig naar baade Katode og Anode er urene, som Regel er saa store, at de ligger udenfor vort nuværende Maaleomraade.

Vi skal dog ved Hjælp af de skematiske Figurer 20 og 21 give en Oversigt over de opnaaede, kvalitative Resultater.

I Fig. 20 fremstiller Kurve I den minimale Forsinkelse $\tau_{\min}$; Kurve II den største Forsinkelse, τ_{II} , der kan opnaas ved Forurening af Katoden, naar Anoden er fuldstændig

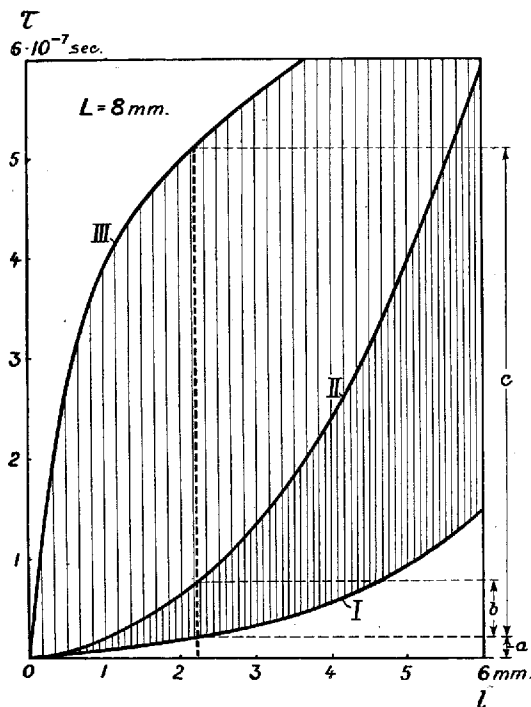


Fig. 20.

Kurve I fremstiller den minimale Forsinkelse $\tau_{\min}$, Kurve II fremstiller den maksimale Forsinkelse τ_{II} for fuldkommen ren Anode, Kurve III fremstiller den til en vis Forureningsgrad af Katoden svarende Forsinkelse τ_{III} for uren Anode.

ren. Kurve III endelig den største Forsinkelse, τ_{III} , der kan opnaas ved Forurening af Anoden, svarende til en bestemt Forureningsgrad af Katoden. Altsaa: for ren Katode er Forsinkelsen altid givet ved Kurve I; for ren Anode ligger den altid mellem Kurverne I og II; naar Katodens Forureningsgrad ikke overstiger en bestemt Værdi, ligger Forsinkelsen altid mellem III og I. Det fremgaar af Figuren, at Forholdet $\tau_{\text{II}}/\tau_{\min}$ navnlig

for smaa Værdier af Gnistlængden l antager meget store Værdier, medens Forholdet $\tau_{\text{II}}/\tau_{\min}$ ligger omkring 2 til 4.

Medens Forløbet af Kurve II uden Tvivl i det store og

hele er rigtigt, stiller Sagen sig langt mere tvivlsomt med Hensyn til Kurve III, i Særdeleshed for meget smaa Værdier af l . Med nogenlunde kraftig forurenset Katode er det, selv for meget smaa Værdier af l , aldrig lykkedes at forurene Anoden i saa ringe Grad, at τ_{III} antog en forholdsvis lille Værdi. Naar Anoden ikke var fuldstændig ren, fik man altid Værdier af τ_{III} , der var mindst 2×10^{-7} Sek. Kurven synes dog i Hovedsagen at have det angivne Forløb, idet man med Maalegnistbanen anbragt i Transformatorolie og med $l = 0,07$ mm, og $L = 5$ mm fik en Forsinkelse paa ca. 5×10^{-8} Sek. Forsinkelsen synes saaledes i alle Tilfælde at gaa ned til Nul samtidig med Gnistlængden.

Fig. 21 giver en skematisk Fremstilling af Elektrodeforureningernes Ind-

flydelse paa Gnistforsinkelsen. Med Hensyn til Betydningen af de anvendte Betegnelser henvises til Figurteksten. Figuren

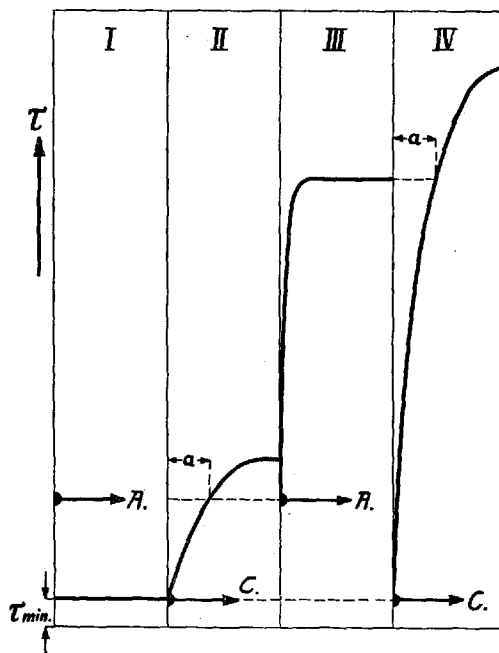


Fig. 21.

Skematisk Fremstilling af Forsinkelsens Afhængighed af Elektroderne Forurening. De med A og C mærkede Pile angiver voksende Forureningsgrad af henholdsvis Anode og Katode; i det halvcirkelformede Udgangspunkt er vedkommende Elektrode ganske ren.

I. Katoden ren; II. Anoden ren; III. Katodeforurening konstant = a . IV. Anodeforurening konstant.

giver kun en kvalitativ Fremstilling af Forholdene, og det maa stadig erindres, at de i Afsnittene II—IV givne Kurver fremstiller Maksimumsværdier for Forsinkelserne under de angivne Betingelser. Under særlige Forhold, f. Eks. ved stærk Ionisation, kan Forsinkelsen i alle Tilfælde, som vi straks skal se, bringes ned, undertiden til Værdien $\tau_{\min}$, men aldrig derunder.

C. Ionisationens Indflydelse ved urene Elektroder.

a. Ionisering med et Radiumpræparat anbragt umiddelbart under Gnistbanen.

Den minimale Forsinkelse forandres, som nævnt, ikke ved Ionisering. Derimod formindskes den af Forureningen fremkaldte Forsinkelse, saaledes som det fremgaar af nedenfor eksempelvis nævnte Forsøg:

$$L = 5 \text{ mm.}$$

$l = 0,5 \text{ mm.}$ Anode ren. Katode uren. Forsinkelsen formindskes fra

$$2,8 \times 10^{-8} \text{ Sek. til } 1,8 \times 10^{-8} \text{ Sek.}$$

$l = 2,0 \text{ mm.}$ Anode ren. Katode uren. Forsinkelsen formindskes fra

$$13,5 \times 10^{-8} \text{ Sek. til } 6,3 \times 10^{-8} \text{ Sek.}$$

$l = 0,5 \text{ mm.}$ Baade Katode og Anode urene. Forsinkelsen formindskes fra

$$13,5 \times 10^{-8} \text{ Sek. til } 2,5 \times 10^{-8} \text{ Sek.}$$

og forøges atter til $13,5 \times 10^{-8} \text{ Sek.}$ efter Ioniseringens Ophør.

Ovenstaaende viser, at særlig de store Anodeforsinkelser formindskes ved Ionisering, idet Forsinkelsen er formindsket til ned under den til ren Anode svarende Katodeforsinkelse for ikke-ioniseret Gnistbane.

- b. Ionisering ved Lyset fra en Buelampe anbragt i en Afstand af ca. 200 mm fra Gnistbanen.

Forsøgene blev her foretaget med $L=5,0$ mm og $I=2,0$ mm. Den minimale Forsinkelse forandres, som nævnt, heller ikke i dette Tilfælde, medens Forsinkelse paa Grund af Forurening af Katode og Anode formindskes i omtrent samme Forhold som ovenfor omtalt ved Ionisering med Radium.

7. Elektrodernes Renhed eller Aktivitet.

Det foregaaende leder naturlig til Spørgsmaalet: hvorpaa beror Elektrodernes Renhed eller Aktivitet? De foran meddelte Resultater viser, at en Elektrode af Metal — uafhængig af Metallets Art — altid er »ren« eller »aktiv« d. v. s. den giver, anvendt som Katode kun den minimale Forsinkelse, naar den umiddelbart forud for Gnistdannelsen er afpudset omhyggelig med fuldstændig rent Karborundumpapir. Er en Elektrode derimod overtrukken med en omend kun meget tynd Hinde af Olie, Fedt eller lignende, opfører den sig som »uren« og giver som Regel en Forsinkelse, der er større end den minimale.

Beror denne Forskel paa, at man ved Afpudsningen frembringer nogle ganske rene Fladeelementer paa Elektrodernes Overflader, der ved Forureningen straks dækkes af et tyndt Olie- eller Fedtlag?

Eller beror Forskellen paa, at de skarpe Kanter eller Grater, der — selv ved Anvendelsen af fint Karborundumpapir — uden Tvivl fremkommer ved Afpudsningen, ved Forureningen »sløres« af Olie- eller Fedthinderne?

De to Forklaringsmuligheder er formentlig de mest nærliggende, og vægtige Betragtninger kan anføres til Støtte for hver enkelt af dem. En nærmere Fremstilling heraf

skal opsættes til II. Del af denne Afhandling; vore Bestræbelser her skal derimod gaa ud paa saa vidt muligt eksperimentelt at afgøre, om det er rene Flader eller skarpe Kanter, det kommer an paa.

Den første Maade, hvorpaa vi søgte eksperimentelt at belyse dette Spørgsmaal, var ved Anvendelsen af fint polerede Staal- eller Nikkelkugler. Der blev ved Forsøgene dels anvendt Cyklekugler, dels paa forskellig Maade polerede Staal- og Nikkelkugler. Kuglerne søgtes rensede for Fedt- eller Oliehinder, dels ved Vaskning i rent Vand eller i fortyndet Kaliumhydroxyd, dels ved Vaskning og flere Døgns Henliggen i ren Æter.

Resultaterne af de mange Forsøg var i Hovedsagen følgende:

De blankpolerede Kugler opførte sig i Hovedsagen som karborundumpudsede Kugler, der er forurenede ved Olie-lag, altsaa som urene. Dog er de blankpolerede Kuglers »Urenhed« ikke fuldt saa stabil, som de med Olie forurenede, karborundumpudsede Kuglers. Forsinkelsen nærmer sig for førstnævntes Vedkommende hyppigere til den minimale end for de sidstnævntes. I Sammenhæng hermed staar, at Ekstraforsinkelsen for de blankpolerede Elektroders Vedkommende langt lettere ophæves ved Bestraaling med ultraviolet Lys, end Tilfældet er ved de olieforurenede Elektroder.

Forsøgene med de blankpolerede Kugler tyder saaledes i Retning af, at det er de skarpe Kanter, der er de afgørende; dog kan man ikke helt se bort fra den Mulighed, at der, selv efter den omhyggeligste Rensning, endnu kan findes minimale Lag af Fedt eller lignende paa de polerede Kugler. Imod en saadan Antagelse taler dog i nogen Grad de polerede Elektroders store Sensibilitet overfor Virkningen af ultraviolet Lys.

En anden Indvending, der kan gøres imod Anvendelsen af polerede Kugler i denne Sammenhæng, er, at der paa Grund af Krystalstrukturen altid vil findes Diskontinuiteter i Overfladen af selv den finest polerede Metalkugle. Overfladen er saaledes ikke helt fri for »Kanter«.

Vi har, foranlediget af disse Vanskeligheder og Betænkeligheder, anstillet de nedenfor beskrevne Forsøg med Vædskeelektroder, ved hvilke man i hvert Fald faar en Overflade, der er saa »glat«, som den overhovedet kan skaffes.

Vædskeelektroden var altid Katode og Forsøgene udførtes ved Hjælp af den i Fig. 22 viste Opstilling. Som Vædske anvendtes dels Kviksølv dels fortyndet Svovlsyre. Kviksølvet blev før Brugen rensat for Fedt ved gentagne Gange at falde i Form af smaa Draaber gennem et 400 mm højt Lag af en stærk Opløsning af

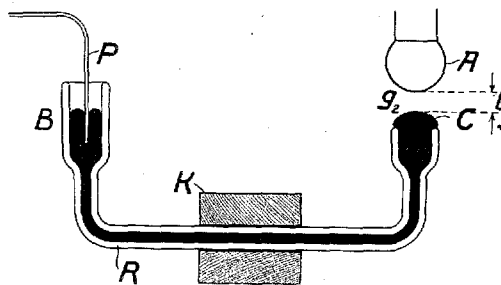


Fig. 22.

Forsøgsopstilling til Vædske-Katode. Figuren viser Forholdene for Kviksølvkatode; ved Anvendelsen af fortyndet Svovlsyre som Katode gik Ledningen *P* gennem hele Længden af Røret *R* og næsten op til Vædskeoverfladen ved *C*. Klemmen *K*, hvori Røret *R* er indspændt, kan indstilles mikrometrisk i Højden.

Kaliumhydroxyd og derefter gennem rent Vand. Før Brugen blev Røret *R* rensat omhyggeligt baade udvendig og indvendig for Fedt og lignende. Endelig lod man i nogen Tid forud for hver Forsøgsrække Vædsken (Kviksølv eller fortyndet Svovlsyre) løbe gennem Røret, idet den førtes til ved *B* og løb over Randen ved *C*. Eventuelle minimale Fedtrester eller lignende paa Rørranden ved *C*, der ellers vilde have været i Stand til at forurene Overfladen ved *C*, fjernes paa

denne Maade. Paa tilsvarende Maade fornyes Overfladen ved *C* efter hver Gnistudladning, naar ikke det modsatte udtrykkelig fremhæves.

I alle Tilfælde opførte Vædskekatoderne sig paa samme Maade som polerede Staalkugler. Nogle af de opnaaede Resultater er angivne i nedenstaaende Tabel.

Tabel 2.
Længden af Primærgnisten er *L* og af Maalegnisten *l*.

Katode	<i>L</i>	<i>l</i>	Anodens Tilstand	$\tau_{\max}$
Kviksølv	mm	mm		
	5	2	Ren	$\geq 9 \times 10^{-8}$ Sek.
	10	2	Ren	$\geq 4 \times 10^{-8}$ »
	10	2	Uren (Olie)	$\geq 9 \times 10^{-8}$ »
	10	2	Amalgameret	$\geq 9 \times 10^{-8}$ »
Messingkugle, ren	10	2		$= \tau_{\min} = \text{ca. } 1,4 \times 10^{-8}$ Sek.
Fortyndet Svovlsyre	8	2	Ren	7×10^{-8} Sek.
Messingkugle, ren	8	2		$= \tau_{\min} = \text{ca. } 1,7 \times 10^{-8}$ Sek.

De under $\tau_{\max}$ opførte Forsinkelser er de største Forsinkelser, der maales gentagne Gange med omtrent samme Værdi. Men ind imellem kom Forsinkelser, der var betydelig mindre, men dog altid større end den til Værdierne af *L* og *l* svarende Værdi af $\tau_{\min}$. Til Kontrol maales i begge Tilfælde Værdien af denne sidste Størrelse ved oven paa Rørenden ved *C* at anbringe en karborundumpudset Messingkugle i direkte Berøring med Vædsken. Gnistlængden *l* regnes da fra denne Kugle til Anodekuglen *A*. De saaledes fundne Værdier af $\tau_{\min}$ afviger ikke maaleligt fra de sædvanlige.

Man maa nøje passe paa, at der ikke fra Anoden *A* falder Messingkorn eller lignende ned paa Vædskeoverfladen.

Er dette Tilfældet, gaar Forsinkelsen næsten altid ned til $\tau_{\min}$.

Ved fortyndet Svovlsyre var der maaske Mulighed for, at Gnistdannelsen fandt Sted ikke mellem Vædskeoverfladen og Anoden, men mellem Tilledningstraaden, der endte 1 à 2 mm under Vædskeoverfladen ved C, og derfra direkte til Anoden. En Betragtning af Gnisten gennem et svagt forstørrende Mikroskop viste imidlertid med Sikkerhed, at Gnistdannelsen skete fra Vædskeoverfladen.

Under Gnistudladningen deformeres Vædskens Overflade, idet den midterste Del hæves lidt. Denne Deformation foregaar dog sikkert saa langsomt, at den ikke kommer til at spille nogen Rolle for Forsinkelsens Størrelse; den maatte i modsat Fald jo ogsaa virke i Retning af en Formindskelse af denne.

Ved hver Gnistudladning forurenes Kviksølvoverfladen kendeligt og fornyes Overfladen ikke efter hver Gnist, faas til en vis Grad en med Gnisttallet voksende Forsinkelse.

Ligesom ved rene, polerede Metalkugler er ogsaa disse Vædskekatoder meget følsomme overfor Bestraaling med ultraviolet Lys, idet Straalingen fra en Buelampe i omkring 20 cm Afstand som Regel bringer Forsinkelsen ned til $\tau_{\min}$.

Disse Forsøg med Vædskekatoder tyder saaledes bestemt paa, at det er de skarpe Kanter, det kommer an paa, og ikke de rene Flader.

Paa den anden Side viser det sig, at en Fugtning med rent Vand af en ren (karborundumpudset) Katode (Messing) ikke forøger Forsinkelsen, der selv efter Fugtningen kun er lig med $\tau_{\min}$. Vi kommer tilbage til dette Spørgsmaal i II. Del af dette Arbejde.

8. De af Gnisterne selv bevirkede Ændringer i Tilstanden af Elektrodernes Overflade. Hertz's Effekt.

a. Gnistudladningens Indvirkning paa rene Elektroder.

Det viser sig, at selve Gnistudladningen virker »forurenende« eller »forsinkende« paa en i Forvejen »ren« Katode. Virkningen af selve Gnisten er dog som Regel ikke stor, naar man anvender den i Fig. 2 viste Opstilling. Dette skyldes i hvert Fald tildels, at den Elektricitetsmængde, der passerer Gnistbanen ved den nævnte Opstilling, kun er ringe.

Man kan undersøge den af selve Gnistudladningerne foraarsagede ekstra Gnistforsinkelse paa følgende Maade: Først bestemmes ved »ren« Katode den minimale Forsinkelse $\tau_{\min}$; derefter lader man — uden at ændre noget i Opstillingen og uden Afpudsning af Elektroderne — paa sædvanlig Maade efter hinanden foregaa n Gnistudladninger, idet man lader hengaa saa lang Tid mellem paa hinanden følgende Gnister, at de til Pladen P overførte Ladninger kan udligne sig over Shunten R . Man maaler da atter Forsinkelsen τ_n . Ekstraforsinkelsen, $\tau_g = \tau_n - \tau_{\min}$, vil da i Almindelighed vokse noget med Gnisttallet n , men ikke stærkt. Resultaterne af de anstillede Forsøg var i Hovedsagen følgende:

Naar l er meget mindre end L , saaledes at $\tau_{\min}$ er lille, saa vokser τ_g saa langsomt med n , at en direkte Paavisning er vanskelig, bl. a. fordi Elektroden ogsaa uden Gnistdannelse kan forurennes ved længere Tids Henstand i Luften. For store Værdier af l i Forhold til L — f. Eks. $l = 0,8 L$ til $l = 1,0 L$ — er det derimod let at paavise, at τ_g vokser med n , naar Elektroderne er pudse med fint Karborundum-

papir. Nøjagtige Tal kan ikke gives; men τ_g kan f. Eks. for $n = 25$ blive lige saa stor som $\tau_{\min}$, den totale Forsinkelse altsaa fordobles. Ved groftpudsede Elektroder kræves under de nævnte Forhold som Regel flere Hundrede Gnister til at opnaa en sikker iagttagelig Værdi af τ_g .

Den omhandlede Maalemetode er dog ikke særlig velegnet til Bestemmelse af Ekstraforsinkelsen τ_g , idet denne først antager større Værdier, naar $\tau_{\min}$ er saa stor, at den falder udenfor det Omraade, indenfor hvilket vi for Tiden kan foretage nogenlunde nøjagtige Maalinger. Vi skal derfor kort omtale en anden Fremgangsmaade til Belysning af disse Forhold, nemlig den af H. HERTZ¹ ved Opdagelsen af den foto-elektriske Virkning af det ultraviolette Lys benyttede Opstilling. Denne bestaar i Hovedsagen af en Gnistinduktor, hvis Gnistrum med tilhørende Elektroder kan udsættes for Bestraaling med ultraviolet Lys, f. Eks. fra en elektrisk Gnist eller fra en Lysbue. Som nævnt i Indledningen paaviste HERTZ, at Gnisten lettere fremkommer, naar Elektroderne (særlig Katoden) bestraaes af ultraviolet Lys, end naar dette ikke er Tilfældet. Andre Forskere har paavist, at det alene er Katoden, det kommer an paa, og at Virkningen fremkommer ved, at det ultraviolette Lys frigør Elektroner fra Katodens Overflade. Endelig har E. WARBURG² paavist, at det ikke er Gnistspændingen, der nedsættes under Paavirkningen af det ultraviolette Lys, men derimod Gnistforsinkelsen, der formindskes. Denne Opfattelse stemmer godt med de HERTZ'ske Forsøg, idet en Formindskelse af Gnistforsinkelsen ved Gnistinduktorens kortvarige Spændingsstød vil bevirke en Forøgelse af den opnaaelige Gnistlængde.

¹ H. HERTZ: Wied. Ann. 31, p. 983—1000. 1887.

² E. WARBURG: Wied. Ann. 59, 1—16. 1896; Wied. Ann. 62, 385—395. 1897.

Nu er det imidlertid i det foregaaende paavist, at Gnistforsinkelsen ved »ren« Katode er saa lille, som den overhovedet kan blive, og dens Værdi formindskes ikke ved Katodens Bestraaling med ultraviolet Lys. Da den af HERTZ iagttagne Effekt ifølge det foregaaende uden Tvivl beror paa, at Gnistforsinkelsen nedsættes, saa er der kun den Mulighed tilbage, at de af HERTZ og de andre Forskere benyttede Elektroder ikke har været »rene« i den her benyttede Betydning af Ordet. Om dette Spørgsmaal siger HERTZ¹: »Die Pole müssen rein und glatt sein, sind sie verunreinigt oder durch langen Gebrauch stark corrodirt, so versagt wohl die Wirkung«. HERTZ fremhæver saaledes, stik imod ovenfor nævnte Antagelse, at Elektroderne netop skal være rene for med Sikkerhed at vise den omtalte Effekt. E. WIEDEMANN og H. EBERT², der først paaviste, at det alene er Katodens Bestraaling, der er afgørende, udtaler sig ikke om Renheden af de af dem benyttede Elektroder, der bestod af 3 mm Platinkugler; men det fremgaar af Forsøgsbeskrivelsen, at der i det højeste undtagelsesvis kan være foregaaet nogen Rensning efter Gennemgangen af et stort Antal Gnister. Der er saaledes ikke nogen Tvivl om, at Elektroderne i det sidste Tilfælde i Almindelighed har været forurenede ved forudgaaende Udladninger og maaske paa anden Maade. Selve den af HERTZ givne Beskrivelse af Kuglernes Renhedstilstand tyder egentlig heller ikke paa, at disse har været, hvad vi kalder »rene«. For med Sikkerhed at afgøre dette Spørgsmaal har vi anstillet en Række Forsøg med den HERTZ'ske Opstilling, af hvilke nogle skal refereres i det følgende:

Gnistelektroderne var 10 mm Metalkugler. Elektroderne

¹ H. HERTZ: l. c. p. 987.

² E. WIEDEMANN u. H. EBERT: Wied. Ann. 33, 241—264. 1888.

var ved Forsøgets Begyndelse rene, karborundumpudsede. Elektrodeafstanden l' indstilledes til at begynde med saa lang, at man var sikker paa ikke at faa Gnist; derefter sættes Gnistinduktoren i Gang, og Elektrodeafstanden formindskedes ganske langsomt indtil for $l' = l_{\max}$ den første Gnist viser sig. Som Regel kommer der kun 1 eller nogle faa i denne Stilling. Først naar l' yderligere formindskes til l_1 , kommer der yderligere Gnister. Selv i denne nye Stilling viser det sig, at naar der i nogen Tid har fundet Gnistring Sted, bliver Gnisterne efterhaanden sjældnere og sjældnere for til sidst ganske at ophøre. For atter at faa Gnistring maa Elektrodeafstanden yderligere formindskes. Denne Proces kan gentages flere Gange, indtil man tilsidst kommer til en Elektrodeafstand af $l_{\min}$, ved hvilken Gnistringen vedbliver uforandret — i hvert Fald i meget lang Tid. Det ligger i Forholdenes Natur, at Længden $l_{\min}$ ikke kan bestemmes med nogen stor Nøjagtighed. Bestemmelsen af $l_{\max}$ kan derimod foretages med stor Nøjagtighed.

Som et Eksempel anføres de ved en anden Maalingsrække iagttagne Elektrodeafstande:

$$l_{\max} = 5,5 \text{ mm}$$

$$l_1 = 5,2 \text{ »}$$

$$l_2 = 4,8 \text{ »}$$

$$l_{\min} = 3,5 \text{ »}$$

Udsættes Katoden for Bestraaling af ultraviolet Lys fra en Buelampe, erholder man i alle Tilfælde, selv efter lang Tids forudgaaende Gnistgennemgang, Gnister lige op til $l' = l_{\max}$, men heller ikke under nogen Omstændighed for en større Elektrodeafstand, selv ikke naar Elektroderne er rene, karborundumpudsede.

Det viste sig ogsaa her, at det kun kommer an paa,

at Katoden er ren. Naar dette er Tilfældet, er Anodens Tilstand uden Indflydelse.

Disse Forsøg bekræfter saaledes fuldt ud Resultaterne af vore forudgaaende Undersøgelser og viser tillige, at HERTZ-Effekten ikke fremkommer, naar der anvendes, hvad vi her kalder en »ren« Katode.

Men Forsøgene beviser tillige, at selve Gnistgennemgangen her i udpræget Grad forurener Elektroderne¹. Naar dette Fænomen her kommer forholdsvis kraftigere frem end ved de i det foregaaende omtalte Maalinger, ligger dette vistnok i Hovedsagen i følgende to Omstændigheder: 1) Forsinkelserne er ved Forsøgene med den HERTZ'ske Opstilling, hvor man arbejder med de med den givne Spænding maksimalt opnaaelige Gnistlængder, i sig selv meget større end ved de tidligere Maalinger; 2) den Elektricitetsmængde, der ved hver enkelt Gnist passerer Gnistbanen, er ligeledes betydelig større end ved Forsøgsopstillingen i Fig. 2.

Det sidst nævnte Forhold kan man delvis ændre ved i Serie med Gnistbanen at indskyde en Kondensator med ganske ringe Kapacitet, men med saa stor Pladeafstand, at Gnisten ikke slaar over i Kondensatoren. Har man paa denne Maade svækket Gnisterne, viser det sig — som det var at vente — at det Antal Gnister, der kræves for at forøge Forsinkelsen i et vist Forhold, bliver desto større, jo mindre Kondensatorens Kapacitet er. Vi kan maaske udtrykke det ved at sige, at jo mindre Kapaciteten er, desto stabilere er Gnistbanen.

Det viser sig ligeledes — i Overensstemmelse med de foran omtalte Maalinger — at Gnistbanen er mere stabil med groft pudset end med fint pudset Katode.

¹ Ogsaa en oprindelig ren Anode, der har været udsat for Gnistring, giver, anvendt som Katode, en forøget Forsinkelse.

Endelig viser det sig, at Stabiliteten er forskellig for forskellige Metaller, idet den vokser i den angivne Rækkefølge: Bly, Tin, Aluminium, Zink, Kobber, Messing, Jern, Platin, Nikkel, Molybdæn, Wolfram.

Ifølge det foregaaende skal en Gnistbane, i hvilken Katoden stadig holdes ren, karborundumpudset, altid give Gnist for $l' = l_{\max}$, og det uafhængigt af, om Katoden bestraaes med ultraviolet Lys eller ikke.

Til at prøve denne Konsekvens anvendte vi den i Fig. 23 viste Opstilling, hvor Elektroderne bestaar af to roterende Messingskiver *A* og *C*, af hvilke Katoden *C* under Rotationen stadig holdes pudset af et Stykke temmelig groft Karborundumpapir *S*. Indskydes denne Gnistbane i den HERTZ'ske Opstilling, viser det sig, at Gnisterne ganske regelmæssig bliver ved med at slaa over for $l' = l_{\max}$, ganske uafhængig af, om Katoden bestraaes eller ikke. En

Bestraaling af Katoden med ultraviolet Lys har i dette Tilfælde ingen Indflydelse, hverken paa Gnisthyppigheden eller

paa Størrelsen af den maksimale Gnistlængde. Anodens Tilstand spiller som sædvanlig ingen Rolle.

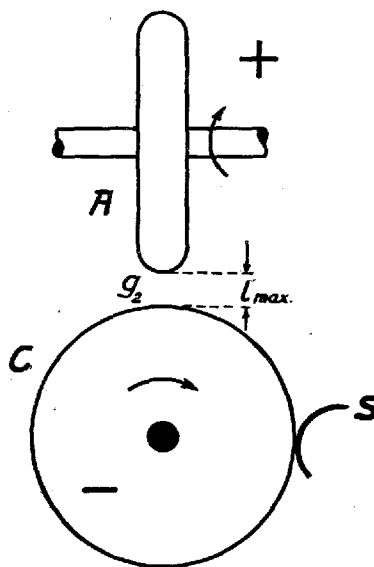


Fig. 23.

Gnistbane med roterende Elektroder. Anode *A* og Katode *C*. Anoden er mikrometrisk indstillelig i Højden. *S* Karborundumpapir.

Forsøgene med HERTZ-Effekten har saaledes fuldtud og i enhver Henseende bekræftet vore tidligere Resultater. Det

er samtidig godtgjort, at HERTZ-Effekten ikke optræder ved ren, karborundumpudset Katode.

b. Gnistudladningens Indvirkning paa urene Elektroder.

Paa Elektroder, der er forurenede med Olie, Fedt el. lign., er Virkningen af selve Gnistgennemgangen af en noget anden Art. Forholdene vil her ofte stille sig saaledes: Ved første Gnist har Forsinkelsen en høj Værdi, τ' . Maales Forsinkelsen derpaa ved Hjælp af en ny Gnistudladning umiddelbart efter Gennemgangen af den første Gnist, vil den ny Forsinkelse, τ'' , hyppig være betydelig mindre end τ' og ofte ikke meget større end $\tau_{\min}$. Lader man derimod hengaa længere Tid mellem de to Maalinger, vil i de fleste Tilfælde, naar Elektroderne ikke er meget urene, τ'' ligge oppe i Nærheden af τ' . Er Elektroderne derimod meget urene, vil dog som Regel ogsaa i sidste Tilfælde τ'' være en Del mindre end τ' . Den gamle Iagttagelse, at Gnist Nr. 2 kommer lettere end Gnist Nr. 1, stemmer saaledes med Forholdene ved snavsede Elektroder. — Ved rene Elektroder er, som vi har set foran, det omvendte Tilfældet.

Den af den første Gnist ved snavsede Elektroder bevirkede Formindskelse af Gnistforsinkelsen skyldes ganske sikkert en Forandring af Katodens Overflade ved og omkring Gnistens Udgangspunkt. Forandringen kan maaske, helt eller delvis, skyldes en Forkulning af Fedt- eller Oliehinden paa det paagældende Sted¹.

¹ Den almindeligvis givne Forklaring af, at Gnist 2 kommer lettere end Gnist 1, gaar ud paa, at den af den første Gnist frembragte Ionisation i Gnistrummet delvis holder sig og letter Dannelsen af den næste Gnist. J. S. TOWNSEND (Electricity in Gases, p. 346. 1915) har paavist Usandsynligheden af denne Forklaring. TOWNSEND ser to Muligheder for Forklaringen af dette Forhold, nemlig enten, at den første Gnist for-

Det er en Selvfølge, at der ved Gnistdannelse mellem urene Elektroder kan opstaa en Række Komplikationer, som det ofte vil være vanskeligt eller umuligt at gøre Rede for i alle Enkeltheder. Det er derfor ogsaa kun naturligt, at tidligere paa det Omraade udførte Arbejder, under hvilke man kun i meget ringe Grad eller slet ikke har haft Opmærksomheden henvendt paa Beskaffenheden af Elektrodernes (Katodens) Overflade, indeholder indbyrdes modstridende Resultater.

Ved Sammenligning mellem Resultaterne af tidligere Arbejder og de foran udledede maa det heller ikke glemmes, at saa godt som alle de tidligere Undersøgelser beskæftigede sig med Gnistforholdene ved relativt meget langsomt opvoksende Spænding, hvor Længden af den undersøgte Gnist ligger i Nærheden af den med den benyttede Spænding maksimalt opnaaelige Gnistlængde, medens vi i dette Arbejde i Hovedsagen beskæftiger os med Gnistforsinkelsen i de Tilfælde, hvor Gnistlængden er lille i Sammenligning med den maksimale. De hertil svarende Forsinkelser er som Regel saa smaa, at de ligger langt under det Maaleomraade, man tidligere har været i Stand til at beherske.

R. NORMAN CAMPBELL¹ er en af de faa, der har ofret Spørgsmaalet om den Indflydelse, Beskaffenheden af Elektrodernes Overflade har paa Gnistforsinkelsen, nogen Opmærksomhed. Hvad vi i det foregaaende kalder Urenhed, der giver Ekstraforsinkelse, kalder han Haardhed og siger andrer Katodens Overflade paa en saadan Maade, at den i sig selv svage Indflydelse af Dagslyset paa Katoden forøges, eller at selve Luften ændres ved Passagen af den til den første Gnist svarende Strøm. Den første af disse Forklaringer lader sig i hvert Fald ikke anvende her, hvor Forsøgene foregaar i Mørke; den anden Forklaring er paa Forhaand lidet sandsynlig.

¹ R. NORMAN CAMPBELL: Time-lag in the Spark Discharge. Phil. Mag. (6). Vol. 38, p. 214—230. 1919.

herom følgende: »The cause of "hardness" was connected with some very easily variable surface condition of the plug. It had nothing to do with the geometrical form or material. The hardness was liable to change with the most trivial alterations; it usually seemed much easier to make a soft plug hard than to make a hard plug soft«. (S. 226).

»Hardness is a property of the cathode only. No treatment of the anode will ever change a gap from soft to hard or vice versa..... A gap may thus be hard in one direction but soft in the other.

The circumstances which make a cathode hard are exceedingly various and difficult to define in detail; but their general nature was obvious. Thus a cathode could always be made hard by rubbing it with fine oily emery-paper; it could usually be made soft again by heating to redness in a Bunsen flame..... A freshly turned surface was usually soft. Hardness is therefore due to some adherent film on the surface which usually consists of oily matter; but it seemed that the state of the atmosphere exerted some influence, for on some days it was impossible to make any gap really soft.« (S. 228).

»Two practical hints for abolishing hardness may be given. First it is a good plan to allow a strong spark to pass between the electrodes for a few seconds immediately before observations; second it is a very bad plan to clean electrodes by rubbing with fine emery cloth. Unless the surface is actually pitted, discoloration due to previous discharges is positively an advantage; to rub the surface with fine emery is to rub the "hard" film in rather than to rub it off, and so to prevent its removal by other means.« (S. 230).

NORMAN CAMPBELL er saaledes fuldt ud klar over, at det først og fremmest er Katodens Renhed, det kommer

an paa. Han har ligeledes paavist, at Urenheden som Regel skyldes Olie eller lignende. Men det er ikke lykkedes ham fuldt ud at klare Forholdene eller at angive en Maade, paa hvilken man altid kan faa en »ren« Elektrode. Udtalelserne om Indvirkningen af en forudgaaende Gnist tyder paa, at de af ham benyttede og som »soft« betegnede Elektroder, ikke har været helt rene. Den ejendommelige Indflydelse af Anodens Overfladebeskaffenhed i de Tilfælde, hvor Katoden ikke er ren, er ligeledes undgaaet hans Opmærksomhed. Men en fuldstændig Klaring af disse Forhold vilde vistnok ogsaa have været en Umulighed med den benyttede Undersøgelsesmetode og overhovedet med de da til Raadighed staaende Hjælpemidler.

9. Gnistforsinkelse ved spidse Elektroder.

I det foregaaende har vi i Hovedsagen kun betragtet Gnistforsinkelser i det simplest mulige Tilfælde, nemlig mellem kugleformede Elektroder, hvis Afstand er mindre end Kuglediametren, saaledes at Gnistdannelsen foregaar i et omtrent homogent Felt. En Undtagelse herfra danner kun nogle af de ved lavere Tryk foretagne Maalinger.

Det kan imidlertid i flere Henseender være af Interesse ogsaa at undersøge Gnistforsinkelsen med spidse Elektroder, og vi har derfor foretaget nogle enkelte saadanne Maalinger. De dertil benyttede

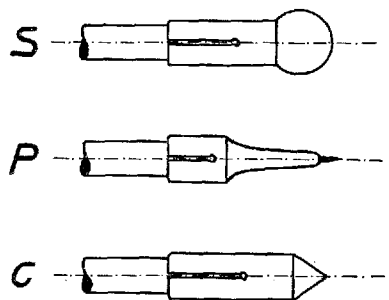


Fig. 24.

Forskellige Elektrodeformer. *S* Kugler, 10 mm i Diameter, *C* Konus og *P* Spids.

Elektrodeformer ses i Fig. 24. *S* er den i Maalegnistbanen sædvanligvis benyttede 10 mm Kugleelektrode af Messing; *C* er en kegleformet Elektrode med en Topvinkel paa ca. 60° ; *P* er en Naaleelektrode, hvis yderste Spids bestaar af en Synaal. De nævnte Elektroder er i de følgende Forsøg holdt rene ved Pudsnings med Karborundumpapir, der ved *C*- og *P*-Elektroderne var fastgjort paa et plant Træestykke. Vi har bl. a. foretaget en Række Sammenligninger mellem Forsinkelserne i Gnistrum med de forskellige Elektrodeformer, idet Gnistlængden (Elektrodeafstanden) var den samme i alle Tilfælde. Resultaterne af disse Forsøg er opført i nedenstaaende Tabel.

Tabel 3.

Primærgnist $L = 5$ mm; Længde af den undersøgte Gnist $l = 3$ mm; Elektroderne rene.

Katode	Anode	$\tau_{\min} \times 10^8$
Kugle <i>S</i>	Kugle <i>S</i>	10,5 Sek.
Konus <i>C</i>	Konus <i>C</i>	5,8 »
Spids <i>P</i>	Spids <i>P</i>	5,6 »
Konus <i>C</i>	Kugle <i>S</i>	10,3 »
Spids <i>P</i>	Kugle <i>S</i>	10,3 »
Kugle <i>S</i>	Konus <i>C</i>	5,8 »
Kugle <i>S</i>	Spids <i>P</i>	5,6 »

Det fremgaar heraf, at for samme Gnistlængde er de Gnistbaner, der har spidse Anoder, de hurtigste. Derimod har Katodens Form kun ringe Indflydelse paa Forsinkelsens Størrelse.

En bekvemmere Maade at sammenligne de forskellige Elektrodeformer paa er imidlertid følgende: I den i Fig. 2 viste Opstilling benytter man i Gnistmikrometret g_1 to kugleformede Elektroder i den indbyrdes Afstand l_1 , i Gnist-

Tabel 4.

Primærgnist $L = 5$ mm. Gnislængderne l_1 og l_2 giver samme

Forsinkelse i Gnistrummene g_1 og g_2 (Se Fig. 2).

Den ankommende Impuls er (med Undtagelse af Nr. 14) altid negativ.

Med Hensyn til Elektrodebetegnelserne S , P og C henvises til Fig. 24.

Nr.	Gnistbane g_1			Gnistbane g_2			Forholdet l_2/l_1	Bemærkninger
	Katode	Anode	l_1	Katode	Anode	l_2		
			mm			mm		
1	Kugle S	Kugle S	1	Spids P	Spids P	1,33	1,33	Instillinger paa
2	»	»	2	»	»	2,68	1,34	samme Forsin-
3	»	»	3	»	»	4,02	1,34	kelse kan i disse
4	»	»	4	»	»	5,43	1,36	Tilfælde foreta-
5	»	»	5	»	»	6,70	1,34	ges med stor
6	»	»	6	»	»	8,05	1,34	Sikkerhed.
7	»	»	6,3	»	»	8,43	1,34	
8	»	»	7,45	»	»	9,60	1,29	Angaaende disse
9	»	»	8,90	»	»	12,15	1,36	Forsøg se Fod-
								note 1, 2 og 4.
10	»	»	3	Kugle S	Spids P	3,99	1,33	Kan bestemmes
11	»	»	5	»	»	6,67	1,33	med stor Sik-
12	»	»	6	»	»	8,00	1,33	hed.
13	»	»	8,85	»	»	11,6	1,31	Se Note 2.
14	»	»	8,85	»	»	15,5		Se Note 3.

Note 1. Forsøg 8 giver de største Værdier af l_1 og l_2 , for hvilke der kommer Gnist i begge Gnistrum. Bestemmelsen er ret usikker.

Note 2. Forsøgene 9 og 13 giver de absolut største Værdier af l_1 og l_2 , der faas, naar det andet Gnistgab aabnes saa meget, at der ingen Udladning finder Sted i dette.

Note 3. I dette Tilfælde var den ankommende Impuls positiv.

Note 4. Synlige Udladninger fremkommer for betydelig højere Værdier af l_2 , men en skarp begrænset, stærkt lysende Gnist først for den angivne Længde af Elektrodeafstanden i g_2 .

Tabel 5.

Primærgnist $L = 5$ mm. Gnistlængderne l_1 og l_2 giver samme
Forsinkelse i Gnistbanerne g_1 og g_2 (Se Fig. 2).
Den ankommende Impuls er altid negativ.

Nr.	Gnistbane g_1			Gnistbane g_2			Forholdet l_2/l_1	Bemærkninger
	Katode	Anode	l_1	Katode	Anode	l_2		
			mm			mm		
1	Kugle S	Kugle S	3	Konus C	Konus C	3,93	1,31	Bestemmelsen
2	»	»	5	»	»	6,55	1,31	sikker.
3	»	»	8,85	»	»	11,08	1,25	Note 1 og 3.
4	»	»	3	Kugle S	Konus C	3,70	1,23	Bestemmelsen
5	»	»	6	»	»	7,30	1,22	sikker.
6	»	»	8,80	»	»	10,6	1,21	Note 1 og 2.
7	»	»	3	Konus C	Kugle S	3,00	1,00	Bestemmelsen
8	»	»	4	»	»	4,15	1,03	ret usikker.
9	»	»	6	»	»	6,40	1,07	
10	»	»	8,80	»	»	9,50	1,08	Note 1 og 4.
11	»	»	2	Spids P	Kugle S	2,00	1,00	Bestemmelsen
12	»	»	3	»	»	3,00	1,00	ret usikker.
13	»	»	4	»	»	4,10	1,03	
15	»	»	5	»	»	5,36	1,07	
16	»	»	6	»	»	6,42	1,07	
17	»	»	8,85	»	»	9,15	1,035	Note 1 og 5.

Note 1. Forsøgene 3, 6, 10 og 17 giver de absolut største Værdier af l_1 og l_2 , der faas, naar det andet Gnistgab aabnes saa meget, at der ingen Udladning finder Sted i dette.

Note 2. Udladninger ses ved meget større Værdier af l_2 f. Eks. for $l_2 = 12$ mm; men en Gnist fremkommer først for $l_2 = 10,6$ mm.

Note 3. En synlig, ulden, traadformet Udladning fremkommer for meget større Værdier af l_2 , men først for $l_2 = 11,08$ mm kommer der en skarp begrænset, klar Gnist.

Note 4. For $l_2 = 9,75$ mm ses ingen Udladning.

Note 5. Svag Udladning synlig over hele Gnistbanen fra $l_2 = 10$ mm, og fra $l_2 = 9,25$ mm en klar Lysprik ved Spidsen.

mikrometret g_2 f. Eks. to Naaleelektroder med en indbyrdes Afstand l_2 . Man varierer da paa l_2 , indtil Forsinkelserne i de to Gnistbaner bliver lige store, hvad man med stor Sikkerhed kan konstatere ved at anbringe de nærmeste Ender af de to Elektroder A_1 og A_2 i meget ringe Afstand fra hinanden paa den fotografiske Plade. Er de to Forsinkelser lige store, ligger Skillelinien i Midten. Tabellerne 4 og 5 indeholder Resultaterne af en Række saadanne sammenlignende Maalinger mellem kugleformede, koniske og naalespidse Elektroder i forskellige Kombinationer.

Det viser sig overalt, at den Sikkerhed, hvormed denne Sammenligning af Forsinkelsen i en Kugle-Kugle Gnistbane og i en Gnistbane, hvor een eller begge Elektroder er spidse, kan foretages, er meget stor i alle de Tilfælde, hvor der findes en spids Anode (C eller P), men betydelig mindre i de Tilfælde, hvor kun Katoden er spids.

Foruden de ovenfor omtalte Maalinger af de Gnistlængder, l_1 og l_2 , der giver samme Forsinkelse, blev der ogsaa i hver Maalingsrække foretaget en Bestemmelse af de maksimale Gnistlængder, der kan opnaas i g_1 og g_2 . Denne Bestemmelse foretoges paa to forskellige Maader: (1) Man indstillede baade g_1 og g_2 paa de største Længder, med hvilke der kan opnaas Gnister i begge Gnistgab for samme Udladning. Denne Bestemmelse var dog ret vanskelig og ikke særlig sikker; kun een Maaling er derfor udført paa denne Maade — Nr. 8 i Tabel 4 — og Resultatet stemmer, som man ser, ikke særlig godt med de ad anden Vej fundne. (2) Man fjernede begge Elektroder i det ene Gnistmikrometer og bestemte den største Gnistlængde, der kunde faas i det andet Gnistmikrometer. Denne Bestemmelse foretoges baade for Elektrodekombinationen Kugle-Kugle og for den dermed sammenlignede Elektrodekombination. Resultaterne

af saadanne Bestemmelser er opført i Tabel 4 Nr. 9 og 13, samt i Tabel 5 Nr. 3, 6, 10 og 17.

For Kugle-Kugle opnaaedes under disse Forhold for en Primærgnist $L = 5$ mm en maksimal Gnistlængde, der laa mellem 8,80 og 8,90 mm. Det er naturligt, at denne Værdi af l_1 er større end den tidligere fundne, da der i det foreliggende Tilfælde finder en fuldstændig Reflektion Sted ved den aabne Gnistbane; den reflekterede Bølge vandrer tilbage og en Del af den vil naa til den anden Gnistbane og forhøje dennes Spænding.

Ved spidse Elektroder fremkommer der i mange Tilfælde en lysende Udladning selv for Elektrodeafstande, der ligger langt over de i Tabellerne angivne Værdier af l_2 . Disse angiver de største Gnistlængder, for hvilke der under de angivne Forhold fremkommer en skarp begrænset, lysende Gnist. Nærmere Oplysninger herom findes i Tabellerne og de tilhørende Noter.

I alle Tilfælde var de til de undersøgte Gnistbaner ankommende Impulser negative med Undtagelse af Nr. 14 i Tabel 4, hvor den ankommende Impuls var positiv.

Af Resultaterne i Tabellerne 4 og 5 fremgaar følgende:

I alle Tilfælde, hvor Anoden er spids, er Forholdet l_2/l_1 mellem de Gnistlængder, der giver samme Forsinkelse, meget nær konstant for alle Gnistlængder lige op til de maksimalt opnaaelige, saaledes som det fremgaar af Tabel 4 Nr. 1—13 og Tabel 5 Nr. 1—6.

Forholdet l_2/l_1 har meget nær følgende Værdier:

Gnistmikrometer g_2		
Katode	Anode	l_2/l_1
Naalespids	Naalespids	1,34
Kugle	Naalespids	1,33
Konus	Konus	1,31
Kugle	Konus	1,22

Det ses, at Forsinkelsen for en naaleformet Spids som Anode er ret uafhængig af Katodens Form. Dog synes + Spids — Spids for samme Længde at være lidt hurtigere end + Spids — Kugle. Noget lignende gælder koniske Elektroder, kun er den sidstnævnte Forskel større i dette Tilfælde.

Derimod vokser Forholdet l_2/l_1 i de Tilfælde, hvor Anoden er kugleformet og Katoden spids, fra Værdien 1,0 for smaa Gnistlængder til en noget højere for større Gnistlængder. I intet af de undersøgte Tilfælde har Forholdet dog været større end 1,09.

Resultaterne kan derfor sammenfattes saaledes:

For spids Anode er Forsinkelsen kun i ringe Grad — maaske slet ikke — afhængig af Katodens Form.

For kugleformig Anode er Forsinkelsen lidt, — men ogsaa kun lidt — mindre for en spids end for en kugleformig Katode.

Disse Resultater gælder under Forudsætning af, at den ankommende Impuls er negativ. Er den positiv, vil Forholdene ved de usymmetriske Gnistbaner ændre sig noget, saaledes som det fremgaar af Forsøg Nr. 14 i Tabel 4. Der har dog ikke været Lejlighed til at gaa dybere ind paa dette Spørgsmaal.

Den højeste Værdi, vi har fundet for Forholdet mellem de maksimale Gnistlængder for spidse og kugleformede Elektroder, er 1,36, en Værdi, der ligger langt under den, man finder ved langsomt opvoksende Spænding. Saaledes har W. VOEGE¹ fundet, at sidstnævnte Forhold ligger omkring 3 for de her omhandlede Gnistlængder. Det er meget naturligt, at der findes en saadan Forskel mellem de mak-

¹ W. VOEGE: Ann. d. Phys. (4). 14. p. 556—568. 1904.

simale Gnistlængder, der ved spidse Elektroder i det ene Tilfælde kan opnaas ved Hjælp af et meget hurtigt opvoksende, men relativt meget kortvarigt Spændingsstød og i det andet Tilfælde for en langsomt opvoksende, vedvarende Spænding. Den store Gnistlængde i sidste Tilfælde skyldes uden Tvivl den gennem Forudladninger bevirkede Ionisation samt Ladningsforskydninger, og Forsinkelsen er her sikkert meget stor, saa stor, at den ligger ganske udenfor det Maaleomraade, indenfor hvilket vi i det foregaaende har arbejdet. Disse store Forsinkelser er bl. a. iagttaget af E. W. PEEK jr.¹ og R. NORMAN CAMPBELL².

For skarpe, relativt meget kortvarige Spændingsstød, hvor de foran omtalte, ret langsomme Forandringer i Gnistbanens Tilstand ikke faar Tid til at udvikles, ligger Forholdene, som vist i det foregaaende, ganske anderledes. Her er Forsinkelserne meget nær de samme for alle Former af Elektroder, naar Forholdet mellem Gnistlængderne er lig med Forholdet mellem de maksimalt opnaaelige Gnistlængder. De teoretiske Konsekvenser heraf vil blive omtalt i II. Del af denne Afhandling.

Et Resumé af Resultaterne af de foregaaende Undersøgelser vil ligeledes blive givet i Indledningen til II. Del.

Ved Udførelsen af disse Undersøgelser har Ingeniørerne J. P. CHRISTENSEN, A. G. JENSEN og CHR. NYHOLM ydet mig udmærket Assistance. En Del af Udgifterne til Forsøgene er afholdt af en Bevilling fra Carlsbergfonden.

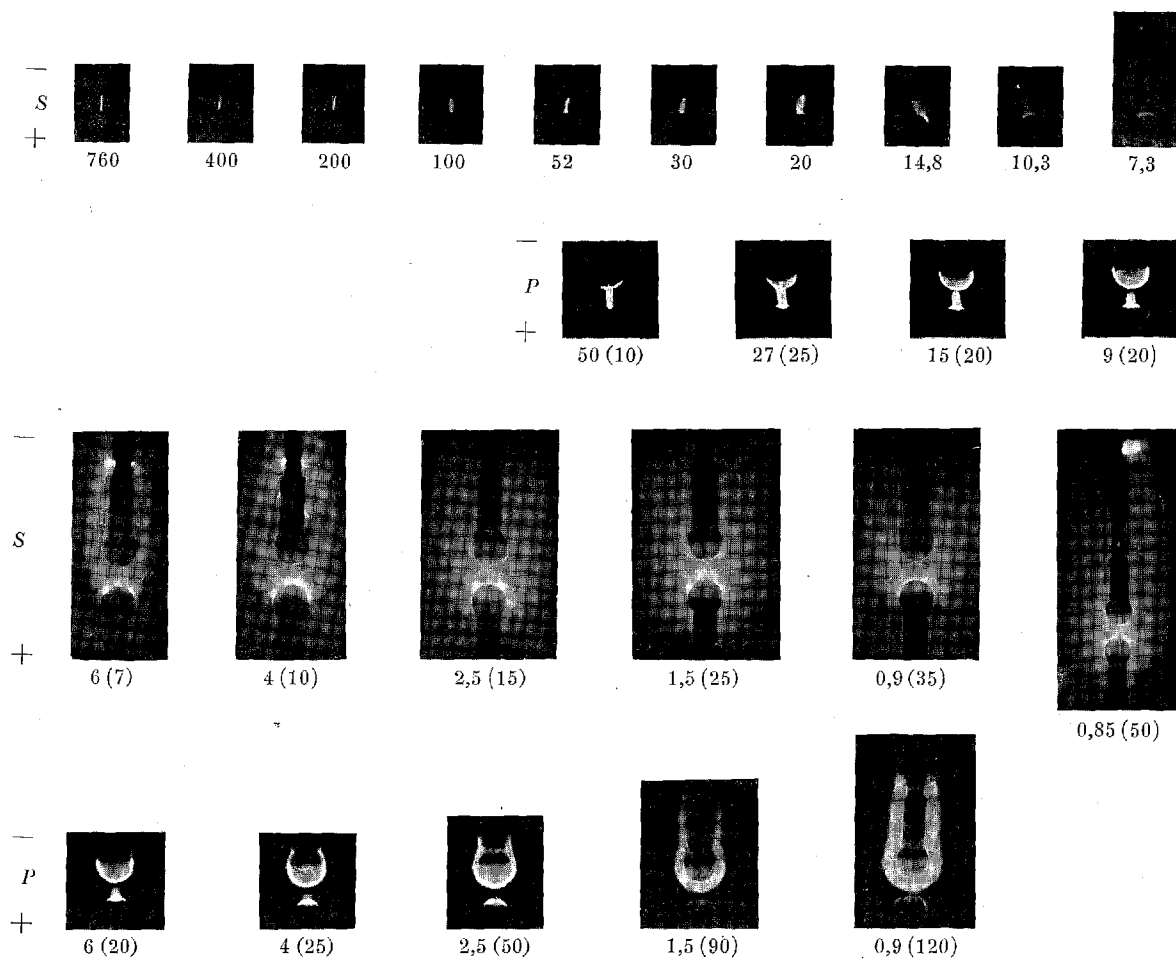
*Den polytekniske Lærestalt, Laboratoriet for Telegrafi og Telefoni.
Januar 1922.*

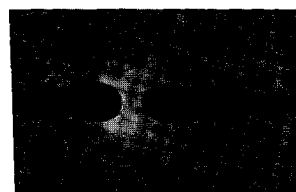
¹ F. W. PEEK jr.: Dielectric Phenomena in High Voltage Engineering. 1915.

² R. NORMAN CAMPBELL: Phil. Mag. (6). Vol. 38, 214—230. 1919.

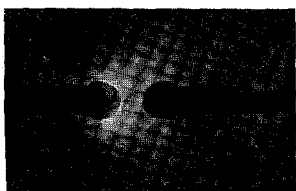
INDHOLDSFORTEGNELSE.

	Side
1. Indledning	3
2. Den anvendte Maalemetode	14
3. Forløbige Forsøg	21
4. Gnistforsinkelse ved »ren« eller »aktiv« Katode. Den minimale Forsinkelse.....	25
5. Den minimale Forsinkelses Afhængighed af Lufttrykket. (For- sinkelsen i andre Luftarter)	31
6. Gnistforsinkelse ved urene Elektroder	40
7. Elektrodernes Renhed eller Aktivitet	49
8. De af Gnisterne selv bevirkede Ændringer i Tilstanden af Elek- trodernes Overflade. Hertz's Effekt.....	54
9. Gnistforsinkelse ved spidse Elektroder	63



 $0,6(50)$ α

+



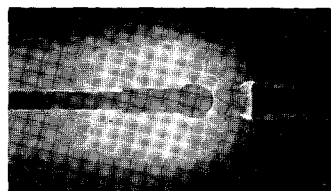
0,31 (50)



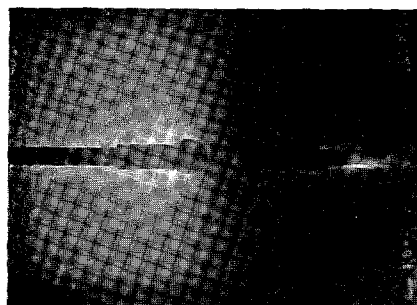
0,6 (150)

5

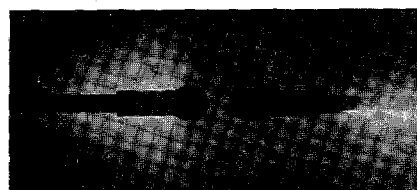
+



0,27 (300)



0,1 (360)



0,03 (300)

MATHEMATISK-FYSISKE MÆDDELELSER

COMPTES RENDUS

DET KGL. DANSKE VIDENSKABERNES SELSKAB

3. BIND (Kfr. 13,75):

	Kr.
1. THOMASSEN, Theodor: Undersøgelser af nogle varme Kilder paa Nordlandet. 1920	1.00
2. P. A. JONES: Über die elementares Variationsproblem. 1920.	1.15
3. WERN, Søren: Et Metals Fordampningshastighed i en Luftart. 1920	0.50
4. WERN, Søren: Note om Kvadraternes kritiske Konstanter. 1920	0.40
5. JON, C.: Note über die beiden Zweigen einer elementen- mentartheorie vierter Ordnung. 1920	0.50
6. JON, C.: Die Elementartheorie vierter Ordnung mit vier ko- nstanten Doppelproblemen. 1920	0.50
7. PEDERSEN, H. N. K.: Benzol- og Toluylsyremaes absolute Affinitet overfor een og samme Base. 1921	1.00
8. MONTAUDO, JOSEPH: Une methode de calculabilité par des moyennes Reignees. 1920	1.00
9. BROWNE, J. N.: On the Applicability of the Gas Laws to strong Electrolytes. II. 1920	0.75
10. NUNES, PAUL: Note sur une classe de series trigonometri- ques. 1920	0.50
11. PEDERSEN, H. N. and JACOBSEN, J. C.: Über die magnetische Zerlegung der Feinstrukturkomponenten der Linien des Hy- drogenatomspektrums. Mit 1 Tafel. 1921	1.40
12. HERZ, G.: Über die Unterscheidung zwischen elektrolytischer und metallischer Stromleitung in festen und geschmolzenen Verbindungen. 1921	0.75
13. HERZ, G.: Über den Zusammenhang zwischen Siedepunkt und Leitfähigkeit elektrolytisch leitender Flüssigkeiten. 1921	0.45
14. POOL, L.: Über die Beschaffenheit des Aluminiums durch Oxidation im Jahre 1921. 1921	0.50
15. POOL, L.: Zur Konstitution des Aluminiumoxydhydrats. Mit 1 Tafel. 1921	0.75
16. NUNES, PAUL: Sur la généralisation du problème de Fer- mat. 1921	0.50
17. LARSEN, VALDMAR: Bertrands Problem. 1921	1.25
18. WERN, Søren: En Luftmaes Ledelighed paa et Legemes Fordampningshastighed. 1921	0.60
19. WERN, Søren: Psychrometriske Teori. 1921	0.50
20. PEDERSEN, CARL: Über die Prozesse $\text{NH}_4\text{CO}_3\text{NH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons$ $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ and $\text{NH}_4\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3$. 1921	0.75