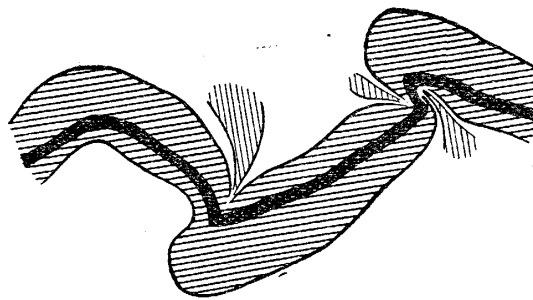


電氣火花に就いて

所 員 小 林 辰 男
 島 村 金 松
 古 山 辰 男

電氣火花は極めて古い時代から知られて居る現象であるに拘はらず、是れに就いて我々の有する智識は極めて少ない。(同じ放電現象でも真空放電に関しては遙に研究が進んで居る。) 其原因の一つは、現象が極めて瞬間的で、且つ其通路が一定しない爲め、實驗が非常に困難なところである。故に 1 cm. 以下の短かい火花については、かなり多くの研究が表發せられて居る。併し主として空氣及び電極金屬の蒸氣のスペクトルの研究である。長い屈曲した火花の研究は甚だ尠なく、唯 sparking potential に關してのみは多くの人々の研究があるが、火花の機構に就いては全く知られて居ないこと云つてよい。最近寺田教授*は、火花回路の種々の状態に於ける火花の形態に就いて澤山の研究を發表せられた。此處に述べんとする自分の研究は、長い屈曲した火花の機構に關して及び火花が其通路の空氣に残す効果、従つて二つ以上の火花が引續いて同じ間隙を飛ぶとき、前の火花によつて次の火花の受ける形響に就いてある。

1. 火花を寫眞に撮つて調べて見るに、(電氣容量が餘り小さくて電流が弱過ぎるに見えなくなるが) 光輝の強い火花の本體即ち心が光る雲の様なもので包まれて居ることが分る。(此の雲の様なものを假に光雲と呼ぶことにする。) Photo. 1 は火花の寫眞の一例である。(火花の心を光雲を同時にはつきり印刷に出すのは困難であるから、原板からフィルムに陽畫を焼き付け、此のフィルム



第 一 圖

を同時に印刷に出すのは困難であるから、原板からフィルムに陽畫を焼き付け、此のフィルムを同じ印畫紙に二重に焼き付けて、光輝の強い心の部分を黒く出してある。) 此の様な寫

* T. Terada and U. Nakaya: Scientific Papers, Inst. Phys. Chem. Research, 8 (1928), No.131, 1; 8 (1928) No. 135, 63; 8 (1928) No. 138, 103. T. Terada, U. Nakaya and R. Yumoto: Ditto, 8 (1928), No. 143, 197; 10 (1929), No. 177, 43; 13, (1930), No. 245, 207.

眞を猶ほよく見るに、火花が彎曲して居る所では光雲は内側よりも外側に厚く出来て居るに、火花が折れ曲つて居る所では光つたブラシが内側に向いて生えて居るに、が認められる。(第一圖を見よ。)

此の光雲が火花の心から擴がつて行く有様を見る爲めに、寫眞レンズによつて鉛直の火花の像を水平の細隙の上に之を直角に投じ、細隙を通過した光を回轉鏡(回轉軸は水平)で一度反射した後、細隙に焦點を合はせた寫眞機で撮つて見た。Photo. 2 は其一例である。是れによつて光雲が心から擴がる速さ及び其光の存続する時間を大體測るに出来る。或は又、火花間隙の向きを鏡の回轉軸に平行にして、鏡を色々の速さで回轉しながら火花の寫眞を撮るときは、Photo. 1 の様な寫眞の光雲が一方は狭ま一方に引き延ばされたもの即ち Photo. 6 の上方の火花(印刷では心が見えて居ないが)の様なものが得られる。此の光雲の狭まくなつた側の幅の變化から、前記の方法よりももつて精密に雲の擴がる早さを求めるに出来る。

以下に、火花間隙の長さ 8 cm., 電極の直徑 1.5 cm. ライデン瓶の電氣容量 78 m. の時の測定結果を示す。此の場合に、鏡を止めて置いて撮つた寫眞の光雲の幅は、(成るべく火花の直線に近い點で測る。) 1.2 mm. である。又鏡を廻はし、寫眞乾板上の像の動く速さが $v=53.4, 71.2, 06.8 \dots \dots$ m./sec. の時寫眞を撮るとき、上側(狭い方)の光雲の幅 $w=0.95, 0.85, 0.70 \dots \dots$ mm. となる。時間 t の二次以上の項を略して、(Photo. 2 を見よ。) 光雲の像の擴がる速度を $V'-a't$ と置き、上記の v, w の値から V', a' を計算して見る。光雲の像の上側の限界が最も上方に投射せられる時刻は、 $t=\frac{V'-v}{a'}$ であつて、此時までに光雲の像が火花の心の像の出来た所から上方に擴がる距離は、

$$w = \int_0^{\frac{V'-v}{a'}} (V'-a't-v) dt = \frac{(V'-v)^2}{2a'}$$

である。此の式の w と v に前記の値を入れて、 V' と a' を求めるに、 $V'=450$ m./sec., $a'=83 \times 10^6$ m./sec². となる。此れに寫眞と實物との大きさの比を乗じて、

$$V=730 \text{ m./sec.}, \quad a=135 \times 10^6 \text{ m./sec}^2.$$

を得。

光雲が擴がり終るまでの時間は、

$$V/a=5.4 \times 10^{-6} \text{ sec.}$$

である。

同じ寫眞の光雲の下の方に延びて居る幅から、又は Photo. 2 から、光雲の光輝の續く時間の見當を附けるに出来る。

同じ火花間隙(間隙の長さ 8 cm., 極球の直徑 1.5 cm.) で、電氣容量丈けを變えて實驗した値を次に示す。

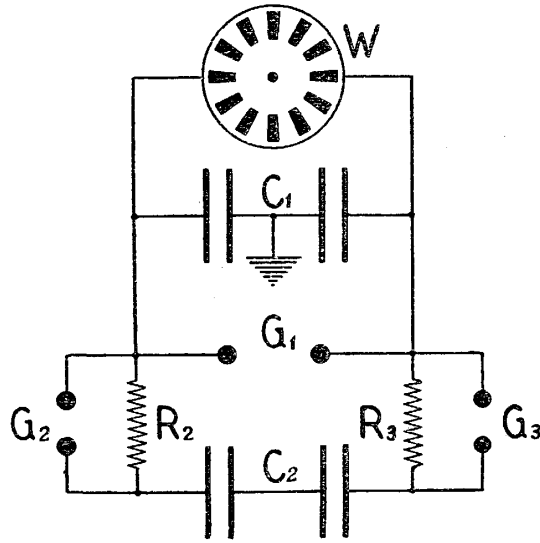
電 氣 容 量 m.	39	59	78
初 速 度 V m./sec.	580	650	730
α 10^6 m./sec.	139	138	135
雲 の 厚 さ mm.	1.2	1.5	2.0
擴がり終るまでの時間 10^{-6} sec.	4.2	4.7	5.4
光輝の續く時間	光の強い時間: 15×10^{-6} sec. 微光は猶ほ永く續く。		

以上の値は、光雲の形が不規則な爲め、餘り精密には求め難い。

火花のスペクトルは、空氣のスペクトルと極金屬の蒸氣のスペクトルとの混ざつたもので、初め火花全體は空氣のスペクトルを現はし、金屬蒸氣のスペクトルは或る速さで極から延びて行くことは、Schuster 及び Hemsalech 以下色々の人が短かい火花について實驗したところである。此の事實を長い火花で調べて見るに、Photo. 3 に示す様に、金屬蒸氣の光は炎の様な形をして極の面から噴き出して居り、其方向は常に火花路さば或る角をなして居る。是れによつて、金屬蒸氣の光るのは噴き出る時から持つて居る高い温度の爲めで、蒸氣の中を電流が通るのではない事が分る。上記の炎形の光りのみが金屬蒸氣であることは、火花のスペクトルを寫眞に撮つて見れば直に分かる。Photo. 4 は一つの火花を、細隙を置かずに、直接光をコリメーター・レンズにあてて撮つたスペクトル寫眞である。此際金屬蒸氣のスペクトルを強く現はす爲めに、上方の眞鍮電極をアマルガムしたので、水銀の炎形スペクトルが三つはつきり出て居る。又 Photo. 5 は、水平向きの火花の像を、寫眞レンズを以て、スペクトログラフの細隙の上に投射し、アマルガムした電極から約 1 cm. の邊が細隙の上に来る様に調節したときのスペクトルである。金屬蒸氣のスペクトルは、火花(空氣)のスペクトルの傍に出て居る。明るい三本は水銀の線で、中央部の弱い三本は亞鉛の線である。

金屬蒸氣の光りは、空氣の光り(光雲)よりもずっと永く續くこと、及び光雲は、前述の心から擴がる運動の外に、縦の向きの運動をもするところが、回轉鏡で撮つた寫眞で分る。(Photo. 6 其他を見よ。)

2. 一つの火花が通つた跡の空氣が何の様な状態にあるかを調べる爲め、第二圖に示す様な連結によつて、極短かい時間を隔て、同じ間隙に二つの火花を飛ばし、其寫眞を撮つて見た。第二圖中、 W はウイムスハースト起電機で、是れを以て二組のレイデン瓶 C_1, C_2 を充電する。但し C_2 は極めて大なる抵抗 R_2, R_3 を通じて充電せられる。 C_1 が間隙 G_1 を通じて放電するときは、續いて G_2, G_3 に火花が飛び、 C_2 も G_1 を通じて放電する。斯くして G_1 を通る二つの火花の間の



第二圖

時間は G_2 , G_3 の距離及び極球の大きさを變じて、殆んど 0 から $1/2000$ 秒位まで變えることが出来る。Photo. 6, 7 及び 8 は, C_1 の容量 39 m., C_2 の容量 10 m., 間隙 G_1 の長さ 8 cm. 電極の直径 1.5 cm. の場合に於ける此の様な連続二火花を, 回轉鏡によつて其像を動かしながら撮つた寫眞である。各連続二火花間の時隔 (Interval) は, 回轉鏡の速さから算出して各寫眞の下に記入してある。又, Photo. 9 は Photo. 7 と同じ火花を, Photo. 7 と殆んど同じ方向から静止状態で撮つたものである。

火花の時隔が極めて短かく, 例へば $2-4 \times 10^{-6}$ sec. と云ふ様な場合には, 静止寫眞を撮るとき常に二重の光雲を持つ寫眞が得られる。即ち心の外に明るい光雲があつて, 其外に普通の光雲がある。これは第一火花の光雲がまだ擴がりきらない内に第二の火花が来る爲め, 其の時の第一火花の光雲は極めてよく電氣を導くにより, 第二火花は其瞬間の光雲全體を流れ, 之に強い光を與へ, 後更に其外側に普通の光雲が出来るのである。第一火花の通つた後 3×10^{-5} sec. 位までは, 光雲は其光の大部分を失つて居るに拘らず, 電導性著るしく, 此間に第二火花が通るとき, 第二火花は光雲全體を通つて甚しく太くなる。

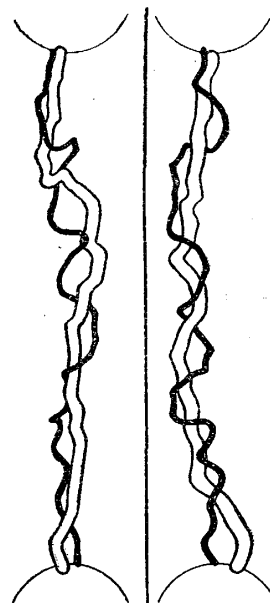
火花の時隔がもつと増して $5-10 \times 10^{-5}$ sec. 位になると, 第二火花は大體第一火花の光雲 (光雲と云つても, も早や光は無いか, 有つても極弱い。) を通るが, 第一火花の曲り方の鋭い所では, 第二火花は新しい路を開いて通る。此の様な場合に回轉鏡を用ひて寫眞を撮るとき, 第二火花の新しい路を通つた部分ははつきりした線に寫るが, 第一火花の光雲の中を通つた部分は, 光雲に再び光暈を與へ, 此の光が暫く續く爲め, 流れた様に寫るこゝ, Photo. 6 で見られる通りである。

時隔が 10^{-4} sec. 以上になると, 光雲の電導性は餘程減少し, 第一火花の通路が直線に近い所だけ第二火花は其中を通り, 其外では必ず第一火花の凹形になつた側に新しい路を開いて通るこ

こ Photo. 7 及び 9 の示す通りである。時隔が 2×10^{-4} sec. 以上になると、Photo. 8 の示す様に（此實驗に用ひた位の容量では）第二火花の各部分の外見に對する第一火花の光雲（光雲は已に光を失ひ、第一火花の通路内に在つた空氣を云ふわけであるが、便宜上最後まで此の語を用ひる。）の影響は甚だ少ない。併し第二火花の路は、普通の火花の路よりも遙にうねうね迂曲して居て、必ず第一火花路の凹んだ側ばかりを通るこゝ、Photo. 10, 11 に見る通りである。又第二圖に示した回路の右様から考へて、第二火花が G_1 を通るに要する電壓は、獨立の火花に比し、ずつと小さい事が明白である。即ち火花が空氣中を通つたあゝで、其火花路の凹んで居た側は非常に次の火花に破られ易い状態にある。（電氣を導くのではない。）此の状態は初め火花の屈曲部の内側に發し、火花の曲方が強い程大きい速度で内側へ擴がつて行く様に見える。（是れは前述の火花が曲つた所で常に内側に光るブラツシが出て居る事實を關係がありはしないかと思はれる。）

初め光雲が良く電氣を導くを云ふ事は、光雲の中の空氣が強くアイオナイズして居るこゝを示し、火花の凹形の側が次の火花に破られ易いを云ふ事は、其部分の空氣がイオンの衝突によつて容易にアイオナイズする状態にあるのであらう。

間隙 G_2, G_3 を放してしまつて、抵抗 R_2, R_3 を適度に減少するこゝ、 C_1 が放電した後 C_2 の電氣が R_2, R_3 を通つて再び C_1 を充電し、二度目からは G_1 を通つて放電するに要する電壓が小さい爲め、再度又は二三回續いて G_1 に火花が飛ぶ。Photo. 12 は C_1 の容量が 10 m., C_2 の容量が 40 m. の時の火花を回轉鏡を用ひて寫したものである。斯くして $1/2000$ sec. 位の大きい時隔を作り得る。Photo. 10, 11 は上と同じ状態を出した A—E 五組の火花を、互に直角な方向から撮つた寫眞であつて、此の兩寫眞を比べて火花を立體的に見るこゝが出来る。第三圖は火花 E の兩寫



第 三 圖

真から第一及び最後の火花の纏れ方を示したもので、如何に正しく後の火花が前の火花の凹んだ側を通つて居るかを見るこゝが出来ゝ。又多數の連続火花を調べて見るこゝ、複雑に纏れて見える火花も、少しも巻き附いては居ないで、兩端を固定して中間をほぐして行くこゝ考へるこゝ、互に振ぢれてゐる角度は一廻りに達するものは殆んど無い。

Photo. 13 は火花間隙は前と同じで、 C_1 の容量を 4 m. に減少し、 C_2 はやはり 40 m. にした時の例を示す。第二火花は曲り曲つて第一火花の凹形の側を通つて居る。Photo. 14 は、時隔 $1/6000$ sec. 位のを二本と、 $1/3000$ sec. 位のを二本と併せて四本の連続火花を、實體鏡式に撮つた寫眞である。

Photo. 15, 16 及び 17 は、Photo. 6, 7 及び 8 と C_1 , C_2 等は同様の場合に、 C_1 だけ水抵抗を通じて放電させた時の寫眞である。此の場合には第一火花の放電は、第二火花が来るこゝまで續いて居て、第二火花は第一と同じ路を通り之に急に光輝を與へる。但し第一火花の鋭い角は次第に丸くなつて行くのが見える。又 Photo. 18 は C_1 の電放回路に 2000 卷のコイルを入れて振動放電をさせた時の寫眞である。

第二圖の方法では $1/2000$ sec. 位より大きい時隔を得るこゝはむづかしいので、火花間隙でカップルされた二つの放電回路を機械的に閉ぢるこゝによつて、いくらでも大きい時隔を作るこゝが出来ゝ。Photo. 19 は C_1 が 40 m., C_2 が 44 m., 時隔 $1/2250$ sec., Photo. 20 は C_1 が 40 m., C_2 が 78 m., 時隔 $1/1090$ sec. の場合の寫眞で、(時隔は別に回轉鏡による寫眞で測る。) 兩火花の電流が大きい爲め、第二火花に第一火花の光雲の影響が見える。

Photo. 21 は C_1 が 40 m., C_2 が 10 m., 時隔 $1/170$ sec. の場合である。時隔が $1/500$ sec. 以上になると、此の實驗に用ひた位の電氣容量では、第二火花の形は全く獨立の火花と變りは無いが、猶ほ第一火花の凹んだ側を通る傾向が残つて居る。(多くの場合 Photo. 21 程明瞭にはない。) 時隔を一層大きくして、 $1/50$ sec. 位にするこゝ、第二の火花は全く第一火花の影響を受けなくなる。

要するに、火花通路に在つた空氣の電導性は此の實驗に用ひた位の範圍の容量 (10 m.—80 m.) では $1/1000$ 秒後に於ても微かに認められ、通路の凹形側が次の火花に破られ易い性質は $1/200$ 秒後位まで多少残つて居る。

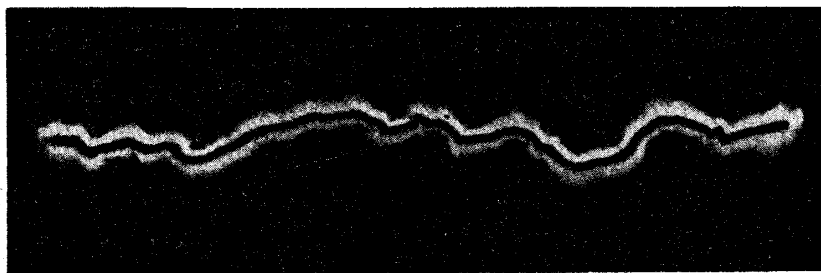


Photo. 1

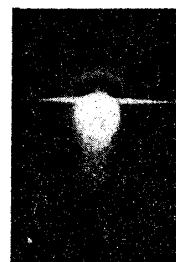


Photo. 2.



Photo. 3.

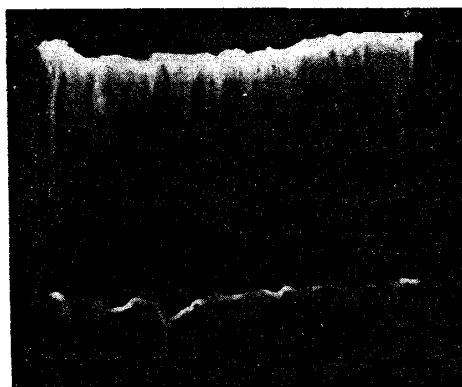


Photo. 6. Int. = 8.3×10^{-5} sec.

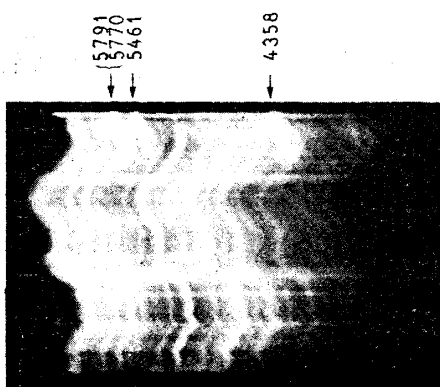


Photo. 4.

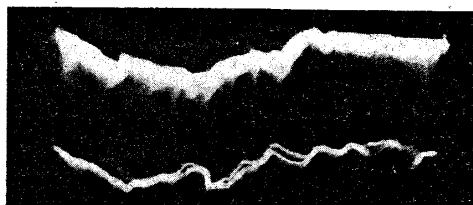


Photo. 7. Int. = 13.2×10^{-5} sec.

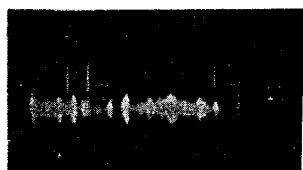


Photo. 5.

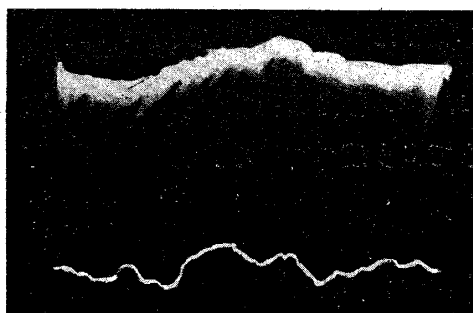


Photo. 8. Int. = 24×10^{-5} sec.



Photo. 9.

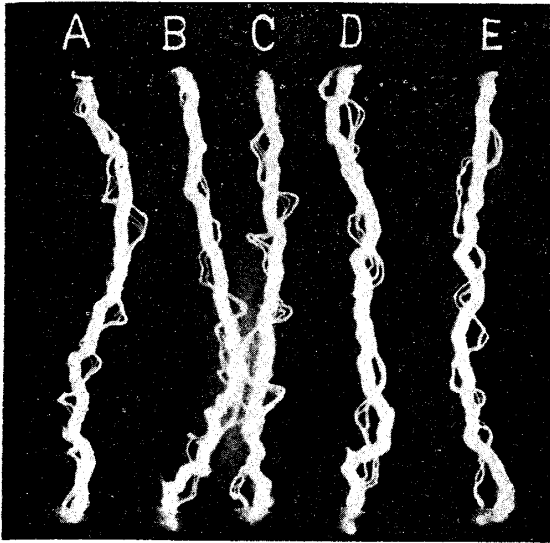


Photo. 10.

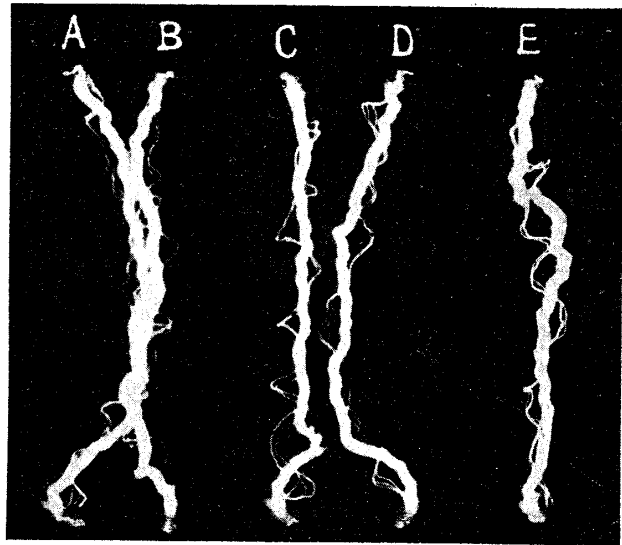


Photo. 11.

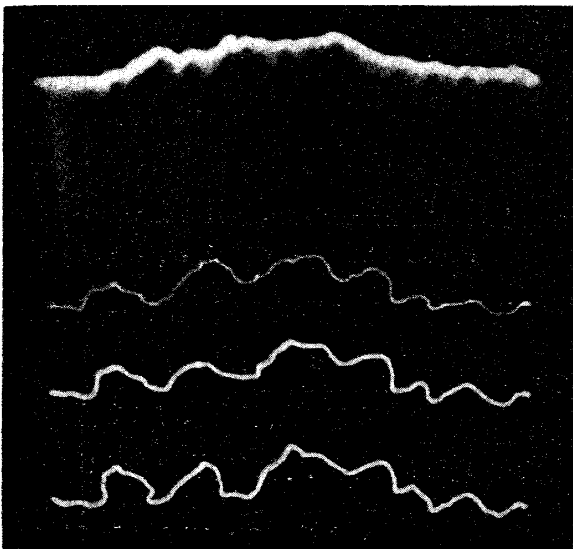


Photo. 12. Int.=26, 36, 49 $\times 10^{-5}$ sec.

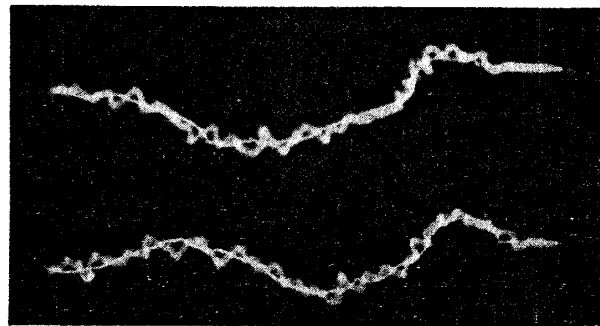


Photo. 13. Int.=13 $\times 10^{-5}$ sec.

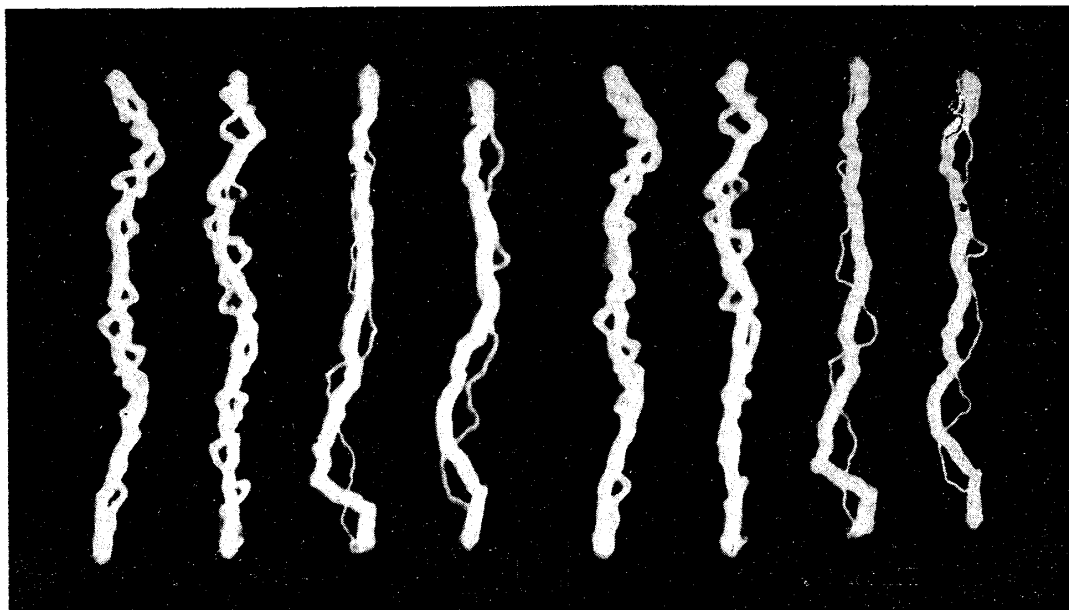
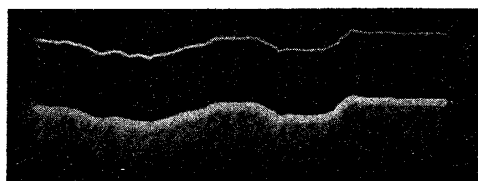
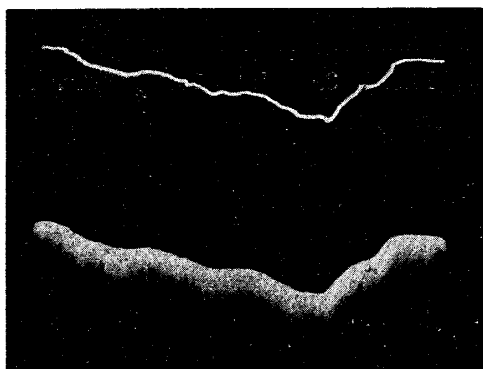
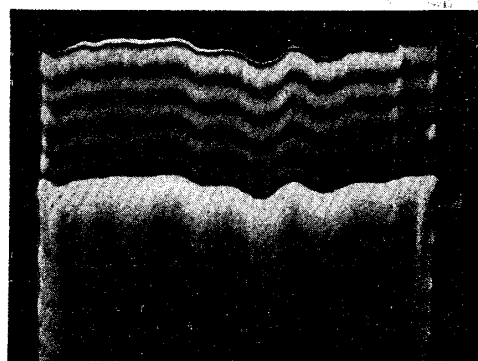


Photo. 14 Stereoscopic view.

Photo. 15. Int. = 0.26×10^{-5} sec.Photo. 16. 3.0×10^{-5} sec.Photo. 17. Int. = 5.4×10^{-5} sec.Photo. 18. Int. = 4.7×10^{-5} sec.

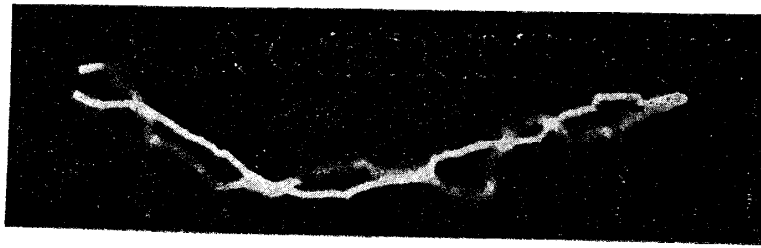


Photo. 19. Int.=1/2250 sec.

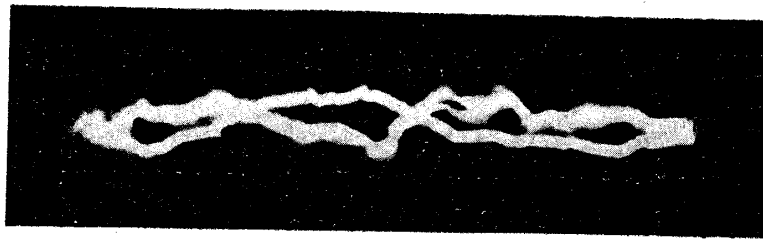


Photo. 20. Int.=1/1090 sec.

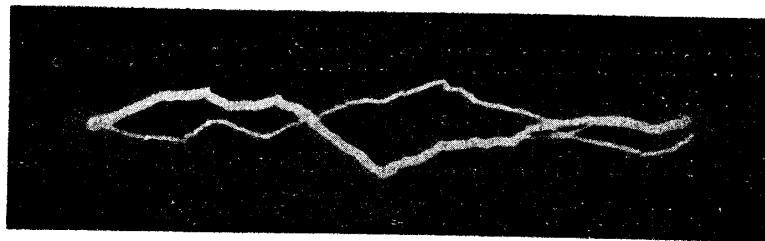


Photo. 21. Int.=1/170 sec.

