

Becslések szerint évente kb. 16 millió zivatar játszódik le Földünk légkörében. Egy-egy zivatarra átlag 200 villámot számítva, a villámok számát így évente 3200 millióra tehetjük. Ha időbelileg egyenletesen eloszolva mennének végbe a villámlások, akkor minden másodpercre kerekén 100 villám jutna, azaz nem múlték el egy század-másodperc sem anélkül, hogy valahol ne villámlanék a Földön.¹

A villámok tálnyomó nagy része olyanszerű alakú, mint térképen egy-egy nagyobb folyó a mellékfolyóival és azok ágaival együtt. Ezeket vonalas villámoknak nevezzük. A hasonlóság, mely ezek között és a villamos szikrák között van, a szikráknak már az első megfigyelőiben (*Wall, Wézsckler*) azt a gondolatot ébresztette, hogy ezek is valószínűleg villamos szikrák, csak óriási nagyk.² Amikor aztán *Franklin* sárkánykísérleteiből és mások hasonló kísérleteiből bizonyosodott, hogy zivatarok alkalmával a felhőkben hatalmas villamos töltések vannak, kétségtelen lett, hogy a vonalas villámok lényegileg olyan villamos kisülési jelenségek, mint a laboratórium) villamos szikrák. Amint azonban részletesebben összehasonlít gatták a két jelenséget, kitűnt, hogy a villám nemcsak méreteiben különbözik a szikrától, hanem egyebekben is. Így a villámnál az elektródok, melyek között a kiegyenlítődség végbe megy, nem olyan egyszerűek, mint a szikránál és a villamosság sem tud olyan könnyen mozogni rajtuk, mint a szikra elektródjain. Ha a villám pl. felhő és föld között üt át, akkor egyik elektród a földszint, különböző vezetőképességű anyagaiegyenetlenségeivel, a rajta lévő épületek-, fák- és egyéb növényzettel, mint csúcsokkal; másik a felhő, melynek nem a felületén van eloszolva az elektromosság, mint a szikránál szereplő jó vezető elektródokon, hanem a belsejében is, apró vízrészecskéken, melyeket szigetelő levegő választ el egymástól. Azután a villámnál az elektródok közötti térben is lehetnek töltések, melyek a villám megindulását és lefolyását módosítják; laboratóriumi szikránál ilyen tértöltések nincsenek.

Ebből az következett, hogy a villámot pusztán a laboratóriumi szikra tanulmányozása révén nem lehet teljesen megismerni. Ha lefolyásáról a valóságnak megfelelő képet akarunk kapni, őt magát közvetlenül kell tanulmányozni.

A villámok közvetlen tanulmányozása a múlt század 80-as éveiben kezdődött el azzal, hogy fényképeket készítettek róluk. Természetes dolog, hogy eleinte nyugvó fényképezőgéppel készítettek felvételeket. Már az Így nyert képek is nevezetes megismerésre vezettek. Arra t, j., hogy egyik-másik villám, jóllehet szabad szemmel egyetlenegy villanásnak látszik, nem egy villanásból áll, hanem több, egymást gyorsan követőből és így nem is egy folytonos e villamos kisülés eredménye, hanem több különállóé.



1. ábra.

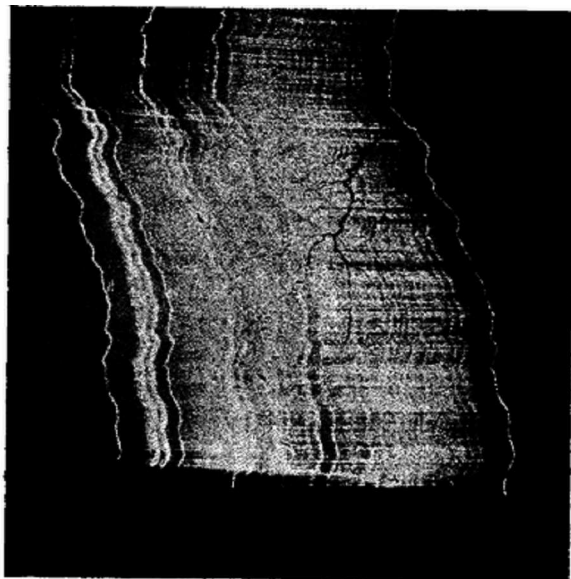
Négyszeres villám fényképének egy része, megnagyítva. Ez volt az első fénykép, mely bár nyugvó fényképező géppel készült, többszörösnek mutatott egy villámot.

Készítette H. Kayser, 1884. júl. 16-án, Berlinben.

Úgy derült ki ez a tény, hogy némelyik fényképen több, egymással párhuzamos villámkép mutatkozott, melyek egymással a legkisebb görbület vagy törés tekintetében is megegyező alakúak voltak. Ilyen képet mutat az 1. ábra.³ Ilyen fénykép akkor keletkezett, amikor felvétel közben erős szél fújt és a szél iránya kb. merőleges volt a villám látó vonalára. A kép keletkezésének nem volt elfogadhatóbb magyarázata, mint az, hogy a villámban egymásután több

kisülés ment végbe ugyanazon a pályán, ugyanazon a kisülési csatornán, de a szél a kisülési csatornát állandóan eltolta, úgy, hogy a második kisülés már nem ott találta a csatornát, ahol az első kisülés létrehozta, hanem a szél irányában kissé eltolva; a harmadik kisülés még jobban eltolva találta és így tovább. (Szabad szemmel azért látszott egy villanás és egy kisülési csatorna, mert a villanások gyorsan követték egymást és mert két-két villanás között kevéssel tolódott el a csatorna, oly kevéssel, hogy a szem nem tudta szétválasztani azokat.)

Ezen a tapasztalaton elindulva, a villámkutatók, hogy a szélről függetlenül is megállapíthassák valamely villámra nézve, hogy egyszeres-e, vagy többszörös, úgy készítették felvételt, hogy a fényképező gépet Rézben tartva, mozgatták, vagy talapzatra helyezve, óraszerkezettel forgatták.⁴ Ekkor u. i. az időben egymásután végbemenő kisülések képei a lemezen egymás mellett keletkeztek. Így készült a 2. ábrán látható villámkép is.⁵



2. ábra. Negyven összetevő kisülést mutató villámkép.

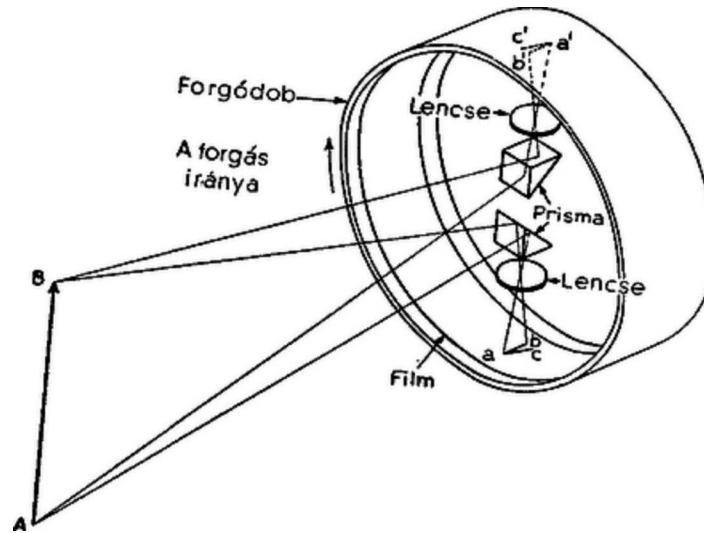
Készítette A. Larsen 1905. szept. 1-én Chicagóban. Ez a villám 0,624 mp-ig tartott. Két, egymást követő kisülése közt a leghosszabb idő 0,047 mp volt, a legrövidebb 0,0026mp.

Ilyen fényképek segítségével – ismerve a fényképezőgép forgatása sebességét, lenszójének gyújtótávolságát és a villám távolságát, – ki lehet számítani, hogy az összetevő kisülések milyen időközökben követik egymást. De, hogy egy-egy összetevő mennyi ideig tart, azt csak nagyon hozzávetőlegesen lehet megbecsülni. Arról pedig, hogy miképpen játszódik le az időben egy-egy összetevő, semmi felvilágosítást nem lehet kapni. Ezekre a kérdésekre olyan fényképező géppel való felvételektől volt felelet várható, melyben a lencse és fényérzékeny lemez kölcsönös helyzete felvétel közben igen gyorsan változtatható.

Ilyen gépet *Boys*, angol készített először 1900-ban⁶; de hasznavehető felvételt mink 1926-ban sikerült vele készítenie. Az akkori sikerén felbuzdulva, egész sereg tudós kezdett fényképezni az ő módszere szerint. Különösen Délafrikában Johannesburgban és Fokvárosban *Hchonland*, *Halliday* és mások.⁷

A 3. ábra ilyen gépet mutat vázlatosan.⁸ A filmszalag egy forgatható dob palástjának belső oldalára úgy van ráerősítve, hogy fényérzékeny oldala a dob belseje felé néz. A dob belsejében két lencse, egy-egy fényvisszaverő hasábbal együtt úgy van elhelyezve, hogy a villámrét a filmszalagnak át mérőileg szembefekvő helyeire vetítsenek éles képeket.

Ha a dob felvétel közben nyugodnák, az *AB* villámról az alsó lencse *ab*, a felső *a' b'* képet adná, akár egyidejűleg villanna fel a villám a kisülési csatorna minden pontján, akár nem. Ha azonban a dob forog és nem egyugyanazon pillanatban villan fel a csatorna minden pontja, akkor a később-később felvillanó pontok képei hátrább és hátrább esnek a filmre: a kép eltorzul. Így, ha a villám *A* pontnál kezdődik el és fokozatosan halad *B* felé, akkor az alsó kép *ac* lesz, a felső *a' c'*. Nyilvánvaló, hogy *c*-nek *b*-től, illetőleg *c'*-nek *b'*-ta való távolsága annál nagyobb lesz, minél gyorsabban forog a dob és minél hosszabb idő alatt fejlődik ki a villám. Épp így nyilvánvaló az is, hogy ha megmérjük a két képen a végpontok ellenkező irányú eltolódásait és ismerjük a dob forgása sebességét, illetőleg azt, hogy a film egy pontja másodpercen kint mennyi utat tesz meg, kiszámíthatjuk, mennyi ideig tartott a villám kifejlődése.



3. ábra

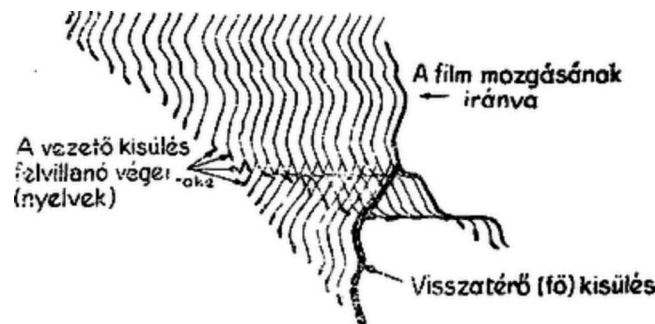
Boys-féle fényképező gép vázlatos képe. Ebben a hasábok és lencséből összetett képvető rendszer nyugszik, a filmszalag pedig mozog felvétel közben.

Így készült felvételeik alapján a megnevezett kutatók a felhő és föld között átütő villámokat illetően a következő eredményekre jutottak:

a) A villámok java része többszörös, azaz több összetevő kisülés eredménye.

b) Sem az egyszeres villám, sem a többszörösnek az összetevői nem olyan jelenségek, melyek a villámpálya minden pontján egyazon pillanatban játszódódnának le, hanem – bár igen rövid idő alatt – de fokozatosan kialakuló, haladó folyamatok.

c) Az egyszeres villám és a többszörösnek az első összetevője egyformaképpen megy végbe. Így: A felhőtől lefelé felvillan egy kb. 50 méter hosszú nyelv, azután kis idő múlva egy másik, de az előbbinél már mélyebbre leérő nyelv azután újabb kis idő múlva egy harmadik és így tovább, mintha valamely gyengén világító dárda indulna ki minden egyes esetben a felhőtől lefelé, amely aztán azzal múlik ki, hogy pályája végén erősebben felvillan. A dárdák ugyanazon az úton haladnak lefelé, amelyen megelőzőik jártak, csak minden következő lejjebb-lejjebb jut, mint a megelőző, míg végre az utolsó a föld színéig leér. Két-két ilyen villanás között 50–90 milliomod mp telik el és néha 100 ilyen villanás is végbemegy, míg az utolsó a föld színéig leér. Ez az egész lépcsőszerű folyamat igen gyors, nem tart 0·01 mp-ig sem. A dárdák mozgássebessége eléri néha a fény sebességének tizedrészét.



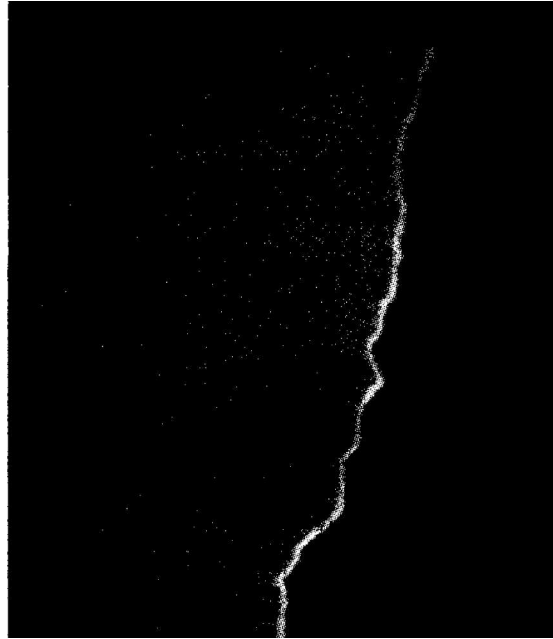
4. ábra

Elágazó, lépcsőszerű bevezető kisülés vázlatos képe. Az utolsó vastag vonal már a visszatérő (fő) kisülést jelzi.

Schonland ezt a folyamatot, mint hogy ez vezet be a villámot, vezető kisülésnek nevezte el. Ilyet mutat vázlatosan a 4. ábra.

Mihelyt leérkezik a bevezető kisülés a földhöz, megindul egy másik kisülés a földtől felfelé, ugyanazon a pályán, amit a bevezető kisülés készített. Ennek fénye sokkal erősebb, mint a bevezetőé, különösen a föld színe közelében; feljebb aztán mind jobban és jobban gyengül. Ennek haladása sebessége megközelíti néha a fény sebességének felét. Ezt *Schonland* visszatérő (fő) kisülésnek nevezte el.

d) A többszörös villámok 2-ik s következő összetevői két különbséget is mutatnak az első összetevőhöz képest. Egyik az, hogy bevezető kisüléseik kevesebb zökkenéssel, kevesebb lépcsővel mennek végbe, mint az első összetevőé; gyakran úgy, hogy a felhőtől kiinduló dárdaszerű világító jelenség megakadás nélkül, egyfolytában leér a földre. Ilyen folytonos vezetőjű kisülést mutat az 5. ábra. A másik különbség az, hogy csak az első összetevő szokott elágazni, a többi nem.



5. ábra.

Többszörös villám olyan összetevőjének képe, melynek bevezető kisülése folytonos.

A bevezető kisülés jobboldalon, a visszatérő baloldalon. Eachren készítette 1934. júniusban Pittsfieldben Boys-géppel. (Ez az egyik lencse által adott kép.)

e) Az összetevők igen gyorsan követik egymást; de időközeik eléggé különbözők: 0,0006 mp és 0,5 mp között változnak.

Ime, a *Boys*-féle géppel készült fényképek segítségével sok mindent meg lehet tudni a villámok lefolyását illetőleg. De arra a kérdésre, amely a gyakorlat, különösen a villámcsapások elleni védekezés szempontjából legfontosabb, hogy t. i. milyen erős áram fejlődik ki valamely villámban, a fényképek nem tudnak felvilágosítást adni.

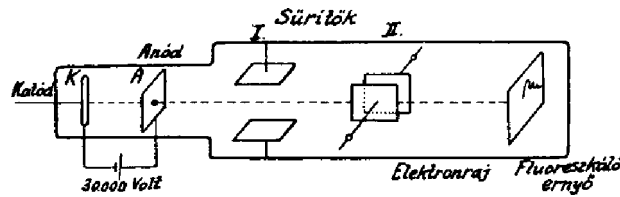
Erre a kérdésre mérések alapján *Poekels* felelt meg először.⁹ Villámhárító huzal közelében, tőle kb. 6 cm távolságban bazalt-rudacska helyeztet el úgy, hogy a rudacska hossz tengelye merőlegesen állott a huzalon és a rudacska középpontján átfektethető síkra. Amikor beütött a villám a villámhárítóba, a rudacska mágnessé lett. Abból aztán, hogy milyen mértékben lett mágnessé, ill. hogy mennyi mágnesség maradt benne vissza, következtetett a villámhárítón átfolyt áram erősségének legnagyobb (csúcs-) értékére. Azért következtetett erre a csúcserőre, mert ha bazalt-rudacska villamos áram tesz mágnessé, a mágnesség válás foka (a mágneses nyomaték) úgy mutatja a tapasztalat – az áramnak csakis a csúcserőjétől függ; attól nem, hogy mennyi ideig hatott az áram, vagy hogy miképpen változott hatás közben az erőssége.

Lényegileg ugyanígy jár el ma is több amerikai és német mérnök. Csak bazalt-rudacska helyett (az örvényáramok kiküszöbölése céljából) vékony acél-drótokból összeállított köteget alkalmaznak.¹⁰

Collins alkalmas foglalatban viaszos papirost helyeztet el úgy, hogy a villámhárítóba beütött villámnak át kellett lyukasztania a papirost.¹¹ A keletkezett lyuk nagyságát meghatározta. Azután próbálgatással megállapította, hogy milyen erős áram tudott éppolyan nagy lyukat ütni a papirosba. Amelyik éppolyan tudott ütni, annak erősségét egyenlőnek vette a villáméval.

Ezeknek az eljárásoknak és a többieknek is, amelyek vázolására már nem térünk ki, az a hátrányuk, hogy csak olyan villámra alkalmazhatók, amely villámhárítóba, vagy más valamilyen vezetékbe csap be. Legújabbán *Norinder* uppsalai tanár dolgozott ki egy módszert, mely akárhová becsapó villámra alkalmazható – hacsak nincs túlságosan messze a becsapódás helye és melynek segítségével nemcsak a csúcserőjét lehet meghatározni a villám árama erősségének, hanem azt is, hogy hogyan változik az áram az időben és hogy mennyi villamosság folyik az áramban.¹²

Mi e módszer lényege? Az, hogy a villám áramerősségére és áramerősségének változásaira azokból a mágneses, ill. elektromos erőkből és változásaikból következtet, melyek a villám mágneses ill. elektromos terének azon a helyén jelentkeznek, ahol a mérőberendezés fel van állítva.



6. ábra.

Katód sugaras oszcillográf vázlatos képe.

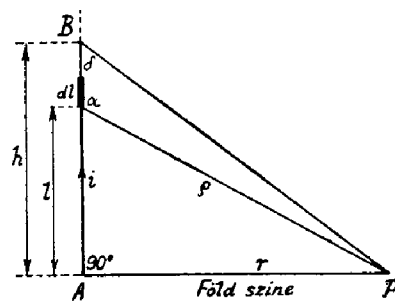
A mérőberendezés főalkotórésze egy katód sugaras oszcillográf. Ez olyan *Braun*-féle cső, melybe két síksűrítő úgy van beerősítve, hogy fegyverzeteik síkjai egymásra merőlegesek. (6. ábra.) Ha a csövet működésbe hozzuk, az ernyőjén, ahol a katód sugar-nyaláb éri, fluoreszkáló folt lesz látható. A folt, míg a sűrítők fegyverzetei közt feszültségkülönbség nincs, nem változtatja a helyét. Ha azonban az egyik sűrítő fegyverzetei közt feszültségkülönbséget idézünk elő s ennek nagyságát folyton változtatjuk, akkor a fényes folt mozgásba jön, pályája egyenesvonalú lesz. Ugyanez történik, ha a másik sűrítő fegyverzetei közt idézünk elő változó feszültségkülönbséget, de az egyenes, amit a folt most ír le, az előbbire merőleges lesz. Ha egyidejűleg mind a két sűrítőre változó feszültségkülönbséget viszünk, a fényes folt a változások módjának megfelelő görbevonalat ír le. Ha az egyik sűrítőn működő feszültségkülönbség időbeli változását ismerjük, (pl. szinuszos, vagy fűrészfogszerű) akkor a folt által leírt görbevonal segítségével ki tudjuk okoskodni, hogy miképpen változott az időben a másik sűrítőn működő feszültségkülönbség.

Norinder módszere a felhő és a föld között átütő olyan villámokra alkalmazható, melyeknek kisülési csatornája megközelítőleg függőleges egyenes, és amely villámok hosszát és becsapási helyüknek a mérés helyétől való távolságát – több helyről történő észlelés útján – elég jól meg lehet becsülni. Az ilyen villám mágneses terében az erővonalak vízszintes körök, és a térerősség, annak feltételezésével, hogy egyazon pillanatban a villám egész hosszában ugyanaz az áram folyik, a tér bármely pontjában kifejezhető az áramerősség függvényképpen. U. i. jelöljük a villám áramerősségét (amperben kifejezve) i -vel, a térerősséget a mérés helyén, P -ben, H -val (gaussban), akkor a Biot-Savart-törvény szerint

$$dH = \frac{1}{10} \frac{idl}{\varrho^2} \sin \alpha \quad \text{és}$$

$$H = \int \frac{1}{10} \frac{idl}{\varrho^2} \sin \alpha.$$

A betűk jelentései a 7. ábrából kitűnnek.



7. ábra.

Mivel $l = r \operatorname{ctg}(180^\circ - \alpha) = -r \operatorname{ctg} \alpha,$

$$dl = r \frac{d\alpha}{\sin^2 \alpha} \quad \text{és}$$

$$\varrho = \frac{r}{\sin \alpha},$$

azért

$$H = \frac{1}{10} \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi-\delta} r \frac{d\alpha}{\sin^2 \alpha} \cdot \frac{\sin^2 \alpha}{r^2} \sin \alpha = \frac{i}{10r} \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi-\delta} \sin \alpha d\alpha = \frac{i}{10r} \cos \delta,$$

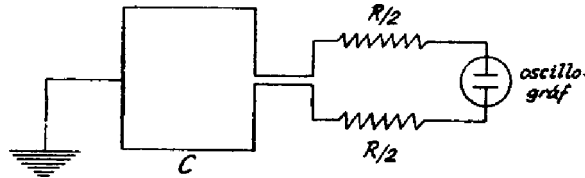
ahonnan

$$i = \frac{10rH}{\cos \delta} = 10rH \frac{\sqrt{h^2 + r^2}}{h} \dots \quad (1)$$

és

$$\frac{di}{dt} = 10r \frac{\sqrt{h^2 + r^2}}{h} \frac{dH}{dt} \dots \quad (2)$$

Látni, hogy ha r -en és h -n kívül még H és $\frac{dH}{dt}$ is ismeretes, akkor az i és $\frac{di}{dt}$ kiszámítható.

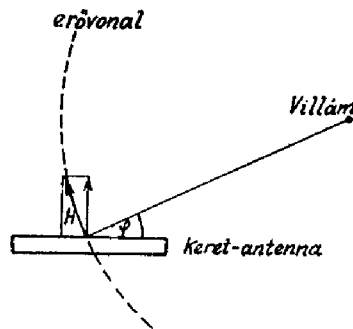


8. ábra.

A keretantenna és az oszcillográf egyik sűrítőjének kapcsolási módja.

Norinder a $\frac{dH}{dt}$ -t és H -t így határozza meg: Függélyes tengely körül forgatható keretantenna végeit – a 8. ábrából látható módon – összekapcsolja egy katódsugaras oszcillográf egyik sűrítőjének fegyverzeteivel. (az $\frac{R}{2}$ ellenállásokat az antenna saját rezgéseinek gyengítése végett kapcsolja be). Az antennát olyan helyzetbe forgatja, hogy a várható villám mágneses erővonalai merőlegesen járnak át majd az antennahuzal meneteinek síkját, azaz, hogy a várható villám kisülési csatornája a menetek síkjába essék. Az antenna ilyen beállítása persze csakis véletlenül sikerülhet. Többnyire csak azt lehet elérni, hogy a villámon és az antenna közepén átfektethető függélyes sík a menetek síkjával kicsiny szöget zár be (9. ábra). Ha ez a szög φ , akkor a térerősségnek a menetek síkjára merőleges összetevője $H \cos \varphi$ és az egy menet által körülfogott területen – F cm²-en – áthaladó erővonalak száma (erőfluxus)

$$\Phi = FH \cos \varphi.$$



9. ábra.

Amikor H értéke változik, változik Φ is, s ennek következtében az antenna minden menetében elektromótoros erő indukálódik, melynek nagysága Faraday törvénye szerint

$$V_1 = \frac{1}{10^8} \frac{d\Phi}{dt} \text{ Volt.}$$

Ha az antennának n menete van, akkor az antenna végei s így a velük összekötött sűrítő fegyverzetei közt a feszültségkülönbség:

$$(3) \quad V = nV_1 = n \cdot \frac{1}{10^8} F \cos \varphi \frac{dH}{dt} \text{ Volt} \dots$$

Ebből az egyenletből látni, hogy V értékét bizonyos állandókon (F, φ, n) kívül $\frac{dH}{dt}$ értéke szabja meg; ennek az értékét pedig, mint a (2) egyenlet mutatja, $\frac{di}{dt}$; tehát végeredményképen V értékét a $\frac{di}{dt}$ értéke. Így nyilvánvaló, hogy az oszcillográf egyik sűrítőjének feszültség különbsége híven követi a villám áramerősségének időbeli változását. A másik sűrítőre a villám tartama alatt olyan feszültségkülönbséget működtet *Norinder*, melynek időbeli változását ismeri. Így abból a görbéből, amit az oszcillográf fényes foltja leír, ki tudja okoskodni, hogy hogyan változik az időben V , és ki tudja számítani az $\int V dt$ értékét. Így végül ki tudja számítani a $\frac{dH}{dt}$, H , $\frac{di}{dt}$ és az i értékét is.

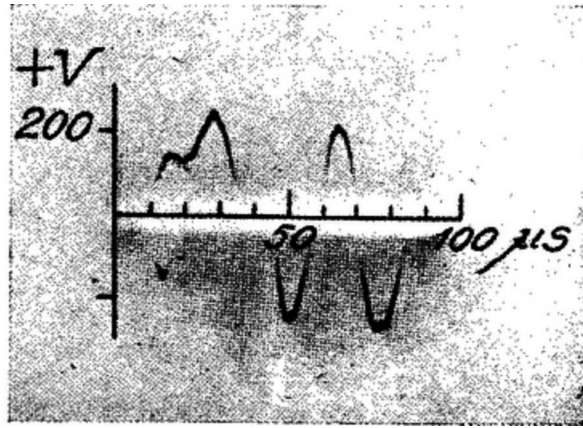
A 3. egyenletből u. i.

$$\frac{dH}{dt} = \frac{10^8}{nF \cos \varphi} V ; H = \frac{10^8}{nF \cos \varphi} \int V dt;$$

ezeket behelyettesítve 2)-be és 1)-be:

$$\frac{di}{dt} = \frac{10^9 r}{nF \cos \varphi} \cdot \frac{\sqrt{h^2 + r^2}}{h} V ;$$

$$i = \frac{10^9 r}{nF \cos \varphi} \cdot \frac{\sqrt{h^2 + r^2}}{h} \int V dt.$$



10. ábra.

H. Norindernek egy villámról felvett oszcillogrammja.

A felvételek valóságos kivitelét illetőleg megemlítjük, hogy *Norinder* az oszcillográban a fluoreszkáló ernyő helyett fényérzékeny lemezt alkalmaz s így a görbéket közvetlenül fényképezi. Egyik görbéjét a 10. ábra mutatja. Továbbá, hogy az oszcillográfot olyan szerkezettel egészítette ki, amely lehetővé teszi, hogy a katódsugárnyaláb csak attól a pillanattól kezdve essék a fényérzékeny lemezre, amelyben a villám megindul.

Norinder már 1931. nyarától kezdve készít felvételeket Uppsala közelében, Több száz oszcillogrammja alapján főbb eredményei a következők: A legtöbb villám többszörös. Az áramerősség csúcserőértéke az egyes összetevő kisülésekben igen különböző: néhány ezer amperig 120 ezer amperig is felmegy. Leggyakoribb a 20 ezer amper körüli érték. A csúcserőértéket igen gyorsan, többnyire 6–8 milliomod mp alatt eléri az áram, de csúcserőértékéről általában jóval lassabban csökken le nullára. Az egy-egy összetevő kisülésben mozgó villamosság mennyisége $-\int idt$ – nem igen éri el a 2 coulombot. Kb. Ugyanannyi villám szállít negatív töltést a Föld felé, mint amennyi pozitívot (a megvizsgált villámok 53%-a negatívot, 47%-pozitívot). *Norindernek* csak ez az utolsó megállapítása nem egyezik más kutatóéval. Mások u. i. akik villámhárítókba vagy más vezetékbe beütő villám áramirányát tanulmányozták, azt állapították meg, hogy a legtöbb

¹ *Megjegyzés* Az áramerősség a kisülések egy részében megközelítőleg lineárisan növekszik fel a csúcserőértékig, és onnan ugyancsak lineárisan csökken le nullára. Az ilyen kisülésekben megközelítőleg annyi villamosság mozog, mint amennyi mozogna, ha a kisülés egész tartama alatt olyan áram folynék bennök, melynek erőssége a csúcserőérték felével egyenlő. Ez a villamosság-mennyiség $e = it$ egyenlet szerint számítható ki. Pl. ha a csúcserőérték 50 000 amper, a kisülés egész tartama 40 milliomod mp, akkor a villamosság mennyisége

$$e = \frac{50\,000}{2} \text{ amp} \cdot \frac{40}{10^6} \text{ sec} = 1 \text{ coulomb.}$$

esetben (kb. 85 – 95%-ban) negatív villamosság árad a Föld felé. Ez a két különböző eredmény valószínűleg annak a következménye, hogy ha a felhő negatív töltésű, akkor a villámhárítók, vezetékek és más vasszerkezetek hatására egyébként egyenlő körülmények közt – kisebb feszültségkülönbségek mellett is, tehát könnyebben létrejönnek kisülések, mintha pozitív töltésű a felhő.

Fentiekben a villámra vonatkozólag tapasztalati úton nyert ismereteinket foglaltuk össze. Annak vázolására, hogy a tényeket miképpen próbálják elméleti úton értelmezni, nem tértünk ki. Kielégítő elmélet még nincs is. Még arra nézve sincs egységes elképzelés, hogy hogyan válnak szét egymástól zivatarok alkalmával a villamostöltések és hogyan oszlanak el a felhők terében.

Szabó Gábor

IRODALOM

Összefoglaló művek:

H. Benndorf: Wien–Harms, Handbuch d. Exp. Physik XXV.I. 293–308. old.

H. Benndorf u. v. F. Hess: Müller–Pouillet's Lehrbuch d. Physik 11. Aufl. V. I., 635–657. old.

Goodlet: The Journal of the Inst. of Elec. Engineers, 1937., 1–57. old.

¹ *C. E. Brooks*: Geophys. Memoirs No. 24., 1925., 147–164. old.

² *P. La Cour u. J. Appel*: Die Physik auf Grund ihrer gesch. Entwicklung.

³ *H. Kayser*: Sitzungsber. d. kön. preuss. Akad. d. Wiss. zu Berlin, 1884., 1119–1123. old.

⁴ *Weber*: Ugyanez a folyóirat, 1889., 781–784. old.

Hoffert: Philosophical Magazine, 1889., 106–109. old.

B. Walter: Phys. Zeitschr. 1902., 168–172. old. és Annalen d. Physik, 1903., 393–407. old.

⁵ *A. Larsen*: Ann. Report of the Smithsonian Inst., 1906., 119–127. old.

⁶ *Ch. Boys*: Nature, Vol. 118., 1926., 749–750. old. és Vol. 122. 1928., 310–311. old.

⁷ *Halliday*: Phil. Magazine, 1933, 409–420. old.

B. F. J. Schonland, D. I. Malan, H. Collens: Proc. of the Royal Society of London, Ser. A. Vol. 143., 1934., 654–674. old., Vol. 152. 1935., 595–625. old., Vol. 164., 1938., 132–150. old.

⁸ *Mc. Eachron*: Elektr. World, 1934., 15–16. old.

Mc. Eachron and Mc. Morris: General Elek. Review, 1936., 487–496. old.

⁹ *F. Pockels*: Phys. Zeitschr. 1901., 306–307. old.

¹⁰ *H. Grünwald*: El. Techn. Zeitschr. 1934., 505–508. old. és 1935., 536–539. old.

¹¹ *H. W. Collins*: Elektr. World, 1934., 688–689. old.

¹² *H. Norinder*: Zeitschr. f. Phys., 1930., 672–689. old.; Journal of the Franklin Institute, 1934., 717–738. old.; The Proc. of the Phys. Society, 1937., 364–375. old.