

ДРУШТВО ФИЗИЧАРА СРБИЈЕ



ЗБОРНИК

**предавања, усмених излагања и постер саопштења
са XXXI Републичког семинара
о настави физике**

БЕОГРАД, 2013

Шивочин

ДРУШТВО ФИЗИЧАРА СРБИЈЕ



ЗБОРНИК

**предавања, усмених излагања и постер саопштења
са XXXI Републичког семинара
о настави физике**

БЕОГРАД, 2013

ОРГАНИЗАТОР СЕМИНАРА

Друштво физичара Србије

Стручни одбор:

1. Душанка Обадовић, председник
2. Милан Ковачевић
3. Љубиша Нешић
4. Андријана Жекић
5. Мирјана Поповић Божић
6. Стеван Јокић
7. Саша Ивковић
8. Илија Савић
9. Вера Бојовић
10. Предраг Савић
11. Јелена Марковић
12. Татјана Марковић Топаловић
13. Слађана Николић
14. Славољуб Митић

Уредници зборника:

Душанка Обадовић
Иван Дојчиновић

Технички уредник:

Душан Ћасић

Издавач:

Друштво физичара Србије

Тираж: 400 примерака

Штампа: 1909. Минерва, Суботица

Организациони одбор:

1. Иван Дојчиновић
2. Братислав Обрадовић
3. Саша Ивковић
4. Душанка Обадовић
5. Милан Ковачевић
6. Драгољуб Димитријевић
7. Јелена Марковић
8. Горан Сретеновић
9. Весна Ковачевић
10. Иринељ Тапалага
11. Иван Крстић

Електрична својства муње

Милан С. Ковачевић

Природно-математички факултет, Институт за физику, Крагујевац

Апстракт. Као један од најфасцинантнијих природних феномена, муња, кроз историју фасцинирао и плашио је човека, заокупљао његову машту. Иако је муња била предмет истраживања различитих научника и филозофа кроз готово целокупну историју, чак и данас та појава није сасвим објашњена и демистифицирана, још увек научници покушавају да схвате и објасне неке појаве везане за удар грома. У овом раду је описан механизам атмосферског пражњења и набројане су величине које описују електрична својства муње.

ВРСТЕ МУЊА

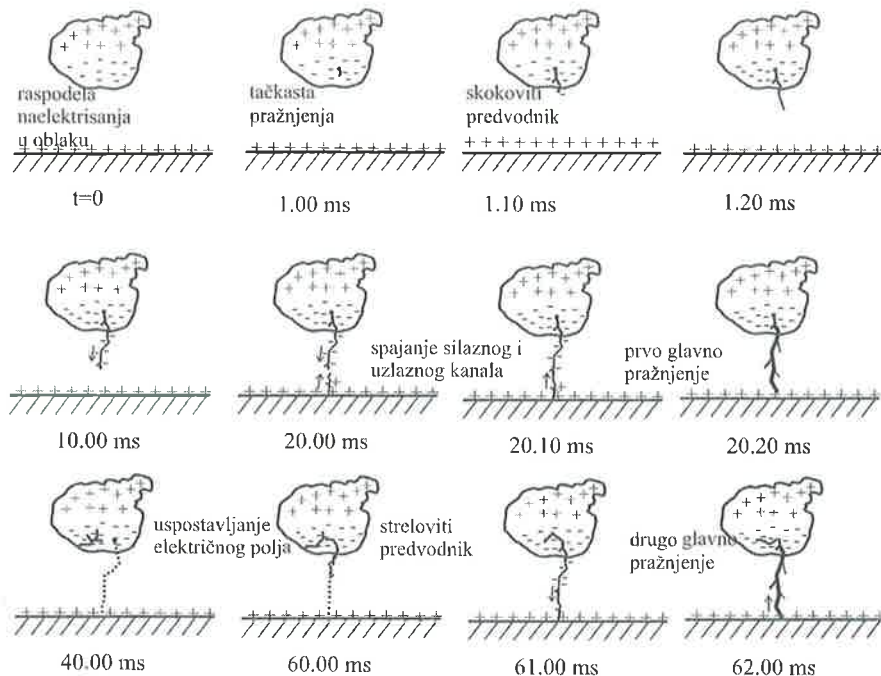
Електрично пражњење проузроковано наелектрисаним облацима за време олује називамо муњом. Постоји неколико типова муња¹, и то: (1) Линијска или рачваста муња типа облак–земља, (2) Муња између облака позната као пламени „језичак“, (3) Ваздушно пражњење дуж хоризонта, (4) Удар грома у виду завесе, (5) Лоптаста муња. Процењује се да су непрекидно активне, око Земље, око две хиљаде олуја, које производе стотинак пражњења сваке секунде. Међу овим пражњењима, она која погађају Земљу названа су удари грома, док такође постоје пражњења која избијају унутар једног облака, или између више олујних облака. Ударе грома у зависности од правца развоја трасера, треба поделити на силазне и узлазне ударе грома. Трасер (лидер) је пражњење које претходи удару грома. На равним теренима најфреквентнији је силазни удар грома. Да би један узлазни удар грома могао да се развије, неопходно је присуство једне значајне узвишице на терену. На другом месту удари грома се деле по правцу протицања основне струје. Према договору негативни удар је одређен када се празни један негативни облак, а позитивни удар грома је када се празни позитиван део облака (позитивно острво смештено у дну облака, а неки пут и у горњем делу облака).

МЕХАНИЗАМ АТМОСФЕРСКОГ ПРАЖЊЕЊА

Олујни облак одговоран за громове је најчешће кумулонимбус. То је облак велике масе који се диже у висину и до 15 km, а основа му је удаљена од површине земље 2–3 km. Топао ваздух са површине земље се диже и креће према високим и хладним слојевима у атмосфери. При одређеној брзини струјања ваздуха, кишне капи усмерене према површини Земље, која има сопствено електрично поље, крећу се и сударају једна с другом при чему настају веће и мање наелектрисане капљице. Мање капљице постају негативно а веће капљице позитивно наелектрисане.

¹ Електрично пражњење проузроковано наелектрисаним облацима за време олује.

Мање и лакше капљице ветар односи у различите делове облака и тако долази до раздвајања наелектрисања у облаку. Када су облаци ниски, а зашиљени предмети на земљи високи, настаје јако електрично поље које доводи до појаве короне на њима, тј. светлуцања услед образовања лавине јона ударном јонизацијом у јаком електричном пољу. Негативно наелектрисање из облака почиње да се креће према тлу кад јачина електричног поља у близини облака премаши критичну вредност (за ваздух и водене капљице око 500 – 1000 kV/m). Појединачни скокови настају сваких 40–100 ms на удаљености од отприлике 50 m. Након сваког пражњења обично се мења смер па пражњење изгледа тачкасто и назива се тачкасто пражњење. У овој фази могу се јавити у простору пражњења између тачака са најјачим пољем која образују разгранате танке канале који се називају *стримери*.



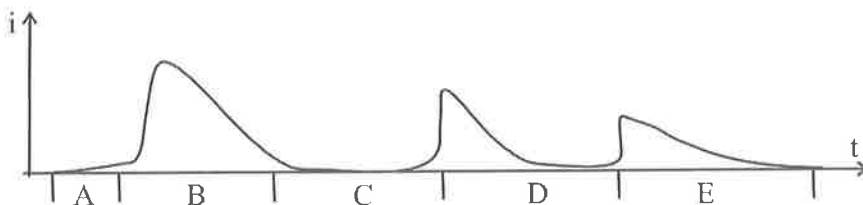
СЛИКА 1. Временски развој скоковитог лидера и главно пражњење

Најистуренији, почетни део наелектрисања који се креће ка земљи назива се *предводник (лидер)*. Канал којим је он прошао остаје јонизован и пун негативног наелектрисања. У почетној фази предводник се назива *скоковити лидер* јер се помера у корацима од 15 до 30 m у интервалима од 20 до 50 μ s. Што се више предводник приближава земљи и истуреним објектима на њој, он на њима привлачи све више позитивних наелектрисања која се сакупљају на најистуренијем делу објекта. Привлачење је јаче што је предводник ближе земљи или објекту на њој. Због тога нагло расте јачина електричног поља у близини земље те кад она премаши електричну чврстину ваздуха, долази до узлазног пражњења супротног (позитивног) наелектрисања од земље према предводнику. У тренутку кад се та два пробоја споје долази до јаког продора позитивног наелектрисања из узлазног пробоја у негативно јонизовани канал предводника и до неутрализације наеле-

ктрисиња. То називамо *главним пражњењем*. Време трајања варира од 20 до 100 ms и праћено је jakim светлуцањем и блесковима. У једном главном пражњењу долази до неутрализације само оних наелектрисиња која се налазе нагомилана у каналу грома. После главног пражњења и паузе од неколико десетина милисекунди, од облака према земљи кроз већ претходно јонизован канал, јавља се пражњење које називамо *стреловити лидер*. Када стреловити лидер додирне земљу јавља се друго главно пражњење и низ нових узастопних пражњења. Неутралисање наелектрисиња облака врши се у фази вишеструких удара.

ЕЛЕКТРИЧНИ ПАРАМЕТРИ МУЊЕ

Амплитуда струје грома: Са становишта заштите најважнија величина је струја грома јер она приликом удара протиче кроз погођени објекат. Та струја није константна у времену него она врло брзо нарасте до максималне вредности и даље постепено опада (приближно експоненцијално). Ова максимална вредност струје грома назива се *амплитуда струје грома*. Време од почетка појаве до постизања амплитуде струје називамо челом грома. У првом пражњењу трајање чела негативног пробоја је 10–15 ms. При следећим пражњењима (ако постоје) трајање чела је пуно краће али струја опада спорије. Такође, при тим пробојима амплитуда струје мања је него при првом пробоју. Позитивни удари грома се обично састоје од једног пражњења које траје од 0,1–0,2 s. Трајање чела је релативно дуго и креће се од 20 до 50 ms, а амплитуда позитивне струје може нарасти и на више од 1000 kA па има разорније дејство. Помоћу амплитуде струје грома може се израчунати пад напона који она ствара протичући кроз неки објекат на земљи коришћењем израза $U = I_g R$, где је R електрични отпор. Стога, ова величина је битна за пројектовање заштите од грома.



СЛИКА 2. Временски облик струје комплетног пражњења. Са А означен је период када се формира скоковити лидер (0.005 s до 0.01 s), са В период главног пражњења (1–100 μ s до 100 μ s), са С период после главног пражњења (струја 100 A до 200 A) и са D и Е период узастопног пражњења. Амплитуда струје првог удара је највећа али је стрмина успостављања на челу већа код узастопних судара.

Стрмина струјног таласа: Стрмина струјног таласа или стрмина струје грома је брзина постизања амплитуде струје грома, а израчунавамо је тако што поделимо вредност амплитуде струје са трајањем чела таласа, $s = di / dt$. Она је битна јер нагле промене струје стварају исто тако брзо променљива магнетна поља, а од брзине промене магнетног поља директно зависи величина напона који се индукује на објектима унутар тог поља. Што је већа стрмина струје грома инду-

коваће се већи напони и појавити веће струје на објектима у близини пражњења (и у објектима који не морају бити директно погођени громом). Ти напони могу се израчунати помоћу израза $U = L(di/dt)$. Ако тим објектима и не нашкоде индуковани напони и струје у њима, могу им нашкодити електромагнетне силе које се појављују због прогицања струја кроз њих. Приликом прорачуна громобранске инсталације мора се водити рачуна и о томе да силе на делове громобрана не буду превелике и не оштете сам громобран.

Ударна количина електрицитета: Ударна количина електрицитета је укупно наелектрисање које се неутралише приликом једног удара, $q = \int i dt$, где i обухвата струју скоковитог лидера и струју главног пражњења. Укупна количина електрицитета која протиче у земљу у току свих n пражњења је $q_u = \sum_{i=1}^n \int i dt$.

Квадратни импулс струје грома: Како се на месту удара при неутралисању наелектрисања ослобађа топлотна енергија, количина наелектрисања ће утицати на топлеење врха громобрана или алуминијумског оклопа авиона. Та енергија се може добити као $E = qU_{ak}$, где је q неутралисана количина наелектрисања (најчешће вредности 50 C, до максимално 300 C), а U_{ak} пад напона на месту удара (при додиру предводника пражњења са врхом громобрана ова вредност је око 10 V). Добијају се доста мале вредности, па су оштећења на месту удара мала, и то објашњава зашто се у природи тешко налазе места удара грома. Струја грома је одговорна и за загревање проводника којима пролази. Прорачун загревања громобранске инсталације која проводи струју грома, врши се према изразу $E = R \int i_g^2 dt$, где је R омски отпор проводника, i тренутна вредност струје грома, а t време.

ЗАКЉУЧАК

Атмосферско пражњење је краткотрајно електрично пражњење јаке струје чија се путања може мерити километрима, а дешава се у атмосфери. Пражњење се дешава када електрично поље нагомиланог електрицитета у локалном региону постане толико велико да проузрокује јонизацију и пробој кроз ваздух. Електромагнетно поље атмосферског пражњења (АП) у проводним структурама индукује струје и напоне у широком фреквентном спектру. Индуковане струје и напони на удаљеним објектима и уређајима су најчешће занемарљиви и безопасни, али у близини места пражњења угрожени су и људи и животиње, а могућа су и оштећења електронске опреме, уређаја и инсталација. АП чине многе компоненте пражњења различитог индивидуалног трајања, означене као удари, међусобно временски одвојене. Удар иницирају мања пражњења, тзв. водећа (лидер) пражњења. Пробој канала при пражњењу облак–земља, који претходи повратном удару, означава се као степенасто водеће пражњење. Трајање типичног пражњења варира од неколико десетих делова ms, за један удар, до 0.5 s и више за АП са по двадесетак и више

секвенци водећих и повратних удара. Нека пражњења укључују ударе са слабијом дуготрајнијом струјом која може да продужи трајање на више од 1 s. За просечну количину електрицитета која се преноси ударом АП процењена је вредност од око 140 C до 250 C. Пражњење облак–земља, са више удара, може доводити по 25 C у земљу, по сваком удару, па се тако може испразнити и око 625 C за минут, у јакој олуји са 25 удара у минуту. Секвенце АП се разликују по правцу простирања и времену трајања, као и временским интервалима између појављивања. Чешћа су пражњења унутар облака него пражњења облак–земља, а њихов однос зависи од географске ширине и већи је у крајевима са типовима климе тропског појаса него умерених појасева. Од укупног броја пражњења облак–земља пражњења негативног електрицитета иницирана негативним лидером наниже дешавају се вероватно у око 90% случајева у свету, а позитивна пражњења облак–земља са позитивним лидером наниже у око 10% случајева. Јачина струје АП у првом повратном удару увек је већа него код наредних повратних удара. Вредности струје АП за први повратни удар варирају од неколико стотина А до око 200 кА. У свету је забележен случај АП са јачином струје око 460 кА. Половина свих атмосферских пражњења праћена је струјама до 20 кА, а ретка су АП са струјама јачим од 80 кА. Без обзира на начин и систем заштите, ниједан објекат није 100% заштићен од АП, јер није битна само јачина струје, већ и њена стрмина, као и друге карактеристике АП, али и карактеристике објекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. Милић, *Основе физике гасне плазме*, Грађевинска књига, Београд, (1989).
2. С. Gomes and V. Cooray, *IEEE Trans. on EMC* 42,82-96 (2000).
3. V. A. Rakov and M. A. Uman, *IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility*, 40, 403-426 (1998).
4. V. A. Rakov and A. A. Dulzon, *Tekh. Elektrodinam.*, 1, 87-89 (1987).