

# Прохождение плазмоида через диэлектрик

МИСКИНОВА Н.А., ШВИЛКИН Б.Н.

*Предпринята попытка развития плазменной модели шаровой молнии, предложенной академиком П.Л. Капицей. Показана возможность получения оторванных от электродов светящихся в воздухе плазмоидов, подобных шаровым молниям, и их способность прохождения через диэлектрические пластины.*

Ключевые слова: шаровая молния, плазменная модель, получение плазмоидов, диэлектрические пластинки

Существуют разные модели возникновения естественных шаровых молний и среди них – плазменная модель, рассмотренная в [1]. В данной статье предлагается вариант развития этой модели. Показана возможность получения висящих в воздухе светящихся плазмоидов, внешне напоминающих шаровую молнию. Плазмоиды возникают при импульсных пробоях разрядного промежутка [2, 3], наблюдается прохождение плазмоидов сквозь диэлектрик.

Первая работа, в которой рассматривалась плазменная гипотеза шаровых молний, принадлежит П.Л. Капице [1]. В ней же было выдвинуто и основное возражение против плазменной модели: быстрая рекомбинация электронов и ионов. При отсутствии внешних источников энергии плазма исчезает быстро, однако плазменные образования могут существовать и значительно дольше времени рекомбинации. Причина долгой жизни плазменных образований заключается в прилипании электронов к атомам с образованием отрицательных ионов кислорода с массой порядка массы атома  $M$ , что много больше массы электрона  $m$ . Уравнение движения электрона в постоянном во времени поле зарядов противоположного знака имеет вид:  $dv/dt = (e/m)E$ ,  $v = (e/m)Et$ , где  $t$  – среднее значение времени между соударениями. Отношение подвижностей иона и электрона равно  $(m/M)^{-1} = 1836 \cdot 16 \approx 30\,000$ .

Прилипание радикально изменяет взаимодействие отрицательно заряженных ионов с нейтральным газом. При столкновении с электроном передаваемая доля энергии имеет значение также порядка  $m/M$ , поэтому при упругом соударении двух частиц заметная доля энергии передается при равных массах. Иными словами, отрицательно заряженный газ связан с нейтральным газом сильнее, чем легкие электроны [4]. Затягивание рекомбинации было проверено на примере генерации электромагнитного импульса при взрыве обычных взрывчатых веществ [5]. Именно эффектом прилипания электронов к атомам продуктов взрыва тро-

тила объясняется генерирование длительного электрического импульса при таких взрывах.

Таким образом, отмеченное в [1] противоречие между длительным временем жизни шаровой молнии и быстротой рекомбинации электронов и ионов может быть, по-видимому, устранено. Отметим, что процесс прилипания – многоступенчатый, в нем должна участвовать третья частица, которая уносит энергию и импульс.

Процесс подпитки плазмы электрическими полями может быть реализован не только линейной молнией, но и без нее – при замещении электронов отрицательными ионами. Какими могут быть механизмы генерации электрических полей в атмосфере без участия в этом молний?

В нижних слоях атмосферы источником энергии может служить атмосферное электричество. Генерация электрических полей здесь связана как с водяным паром, так и каплями воды [6, 7]. К атому кислорода легко прилипают электроны, и водяной пар с прилипшими к кислороду электронами поднимается вверх, перенося отрицательные заряды. Поскольку в воздухе наличествуют также положительные ионы по молекулярной массе более тяжелые, чем воздух, то такой пар движется скорее вниз, к поверхности Земли. Таким образом происходит разделение зарядов и возникает электрическое поле.

В разреженных слоях атмосферы возможен другой процесс генерации электрических полей. В нем участвует солнечная радиация двух видов: ультрафиолетовая (ионизирующая) и корпускулярная (космические лучи). При столкновении с ультрафиолетовым квантом атом ионизуется и получается плазма. При столкновении быстрой корпускулярной частицы с атомом легкие частицы – электроны – летят вперед, производя разделение зарядов. Именно таким образом генерируется мощный электромагнитный импульс при ядерном взрыве на сравнительно больших высотах [8]. Природа часто напоминает нам, что материя состоит из заряженных частиц! Источником энергии здесь является

солнечная радиация или жесткое излучение атомного взрыва.

В 2010 г. авторами была обнаружена новая разновидность газового разряда — несамостоятельный дуговой разряд при взрыве проволоочки в атмосферном воздухе [2, 3]. Для его возникновения требуется низкое напряжение — всего 100–250 В. Разряд возникает в парах металла проволоочки и прекращается, как только значительная часть паров переходит из разрядного промежутка на электроды и уходит в окружающее пространство. При этом разряд исчезает, несмотря на приложенное между электродами напряжение.

При пробоях в воздухе над электродами разрядного промежутка образуются светящиеся плазмоиды [3]. Для получения свободно висящего плазмоида используется устройство, показанное на рис. 1. Между электродами 1, расположенными на диэлектрической подставке 2, натянута тонкая металлическая проволоочка 3. Само устройство висит на тонкой непроводящей ток нити 4 между двумя крючками 5. При взрыве проволоочки 3 газ между электродами разогревается до нескольких тысяч градусов, нить 4 перегорает и электроды вместе с гибкими проводами 6 свободно падают вниз, отделяясь от повисшего в воздухе плазмоида.

Импульсный разряд возникает от выпрямительного агрегата «Дельфин», выпрямленное напряжение которого 240 В, номинальный ток 220 А, внут-

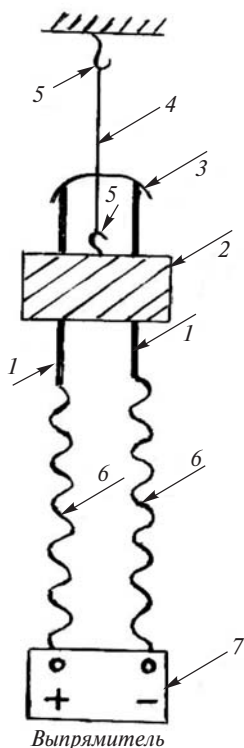
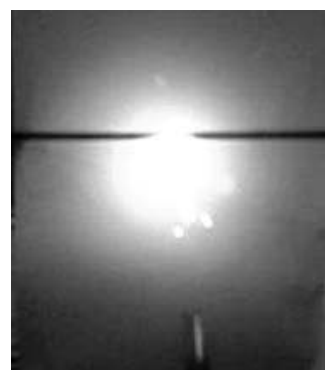


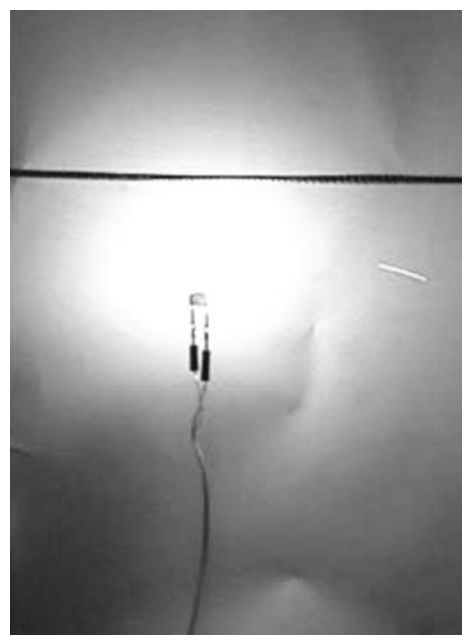
Рис. 1. Схема устройства для получения свободно висящего в воздухе плазмоида

реннее сопротивление источника 1 Ом [3]. Используются проволоочки из меди и никеля с диаметром от 0,05 до 0,1 мм и длиной 10–20 мм. Максимальный разрядный ток при пробоях изменяется в интервале 10–75 А и регулируется с помощью балластного сопротивления, значение которого варьируется в пределах нескольких ом; длительность разряда около 0,02 с.

На рис. 2 представлены зафиксированные видеокамерой висящие над электродами светящиеся шары-плазмоиды, возникающие при импульсных пробоях разрядного промежутка. Плазмоиды получены при разрядных токах 16 (рис. 2,а) и 50 А (рис. 2,б). Их можно считать лабораторной моделью шаровой молнии [3,10–12]. Размеры шаров удается менять от десятков сантиметров до одного метра. Шары-плазмоиды наблюдаются в воздухе в течение нескольких сотых долей секунды. Это согласуется с оценкой П.Л. Капицы [1]. Заметим, что в полимерной среде и в парах воды время существования плазмоидов увеличивается [13].



а)



б)

Рис. 2. Висящие в воздухе шары-плазмоиды

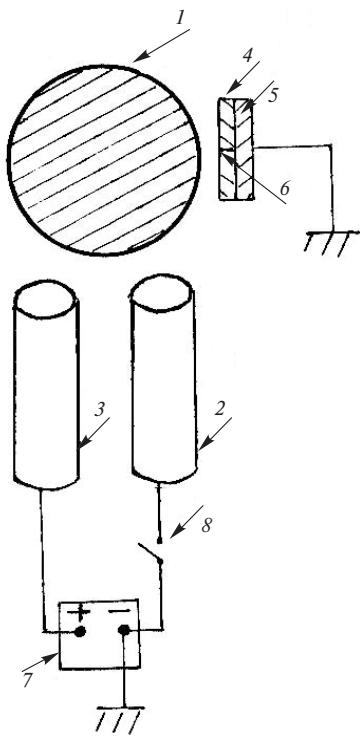


Рис. 3. Схема опыта по пробое диэлектрика с проволокой, расположенной внутри, при контакте с ним плазмоида

Плазмоиды способны проходить через диэлектрические пластинки, образуя в них каналы. Это можно продемонстрировать с помощью устройства, показанного на рис. 3. При пробое плазмоид 1 возникает вблизи поверхности диэлектрической пластинки 4, сквозь которую пропущена тонкая металлическая проволока 6. С другой стороны пластинки 4 проволока контактирует с заземленной металлической пластинкой 5. При появлении плазмоида в случае его прямого контакта с проволокой происходит пробой пластинки 4. В ней возникает токовый канал и одновременно прожигается отверстие в металлической пластинке 5. Это видно из рис. 4, на котором показаны две различные ди-

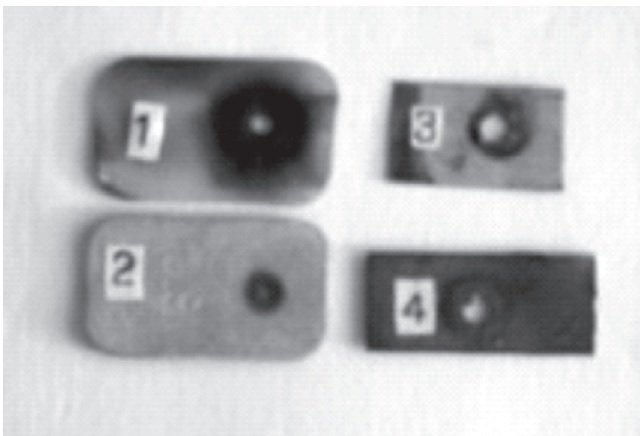


Рис. 4. Диэлектрические пластинки и заземленные металлические электроды после взаимодействия их с плазмоидами

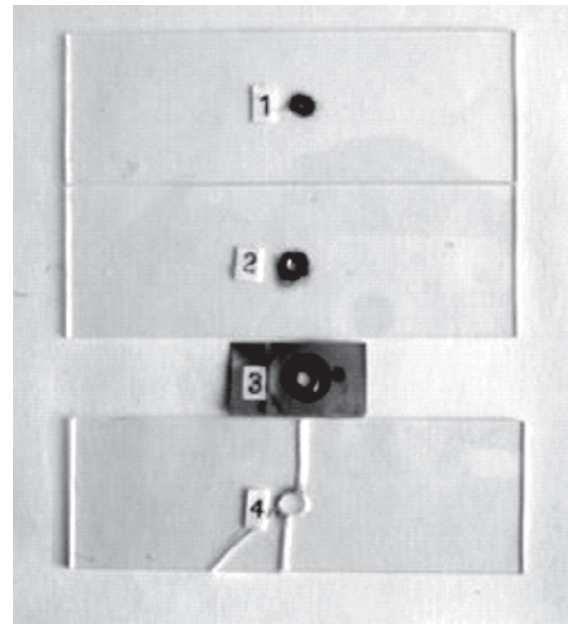


Рис. 5. Стеклянные пластинки и заземленные металлические электроды после взаимодействия их с плазмоидами

электрические пластинки из полиэтилена 1 и радиотехнического картона 2 после взаимодействия их с плазмоидами. Толщина пластинок 1 мм. В результате пробоя в них образуются отчетливо заметные токовые каналы диаметром более 1 мм при диаметре медной проволоки 0,05 мм. На рис. 4 представлены также изображения оплавленных металлических пластинок из кровельного железа толщиной 0,3 мм (3) и трансформаторного железа толщиной 0,35 мм (4) из-за действия на них плазмоидов. Средний диаметр отверстий в пластинках примерно 3 мм (3) и 2,5 мм (4).

Плазмоиды проходят через диэлектрические пластинки и без проволоки внутри них в том случае, если в пластинках имеются небольшие отверстия диаметром около 0,5 мм. На рис. 5 представлены токовые каналы в стеклянных пластинках толщиной 1 мм при их взаимодействии с плазмоидами. При токе разряда 16 А (1) диаметр канала оплавленного стекла приблизительно 2 мм, а при токе 50 А (2) – около 3 мм. Диаметр отверстия в металлической пластинке 3 равен 4 мм. При выпадении ободка оплавленного стекла образуется отверстие с ровными краями диаметром 5 мм (4).

Авторы выражают глубокую признательность ныне покойному профессору М.Е. Герценштейну за обсуждения полученных результатов, а также благодарят Н. В. Митину за помощь в проведении исследований.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Капица П.Л. О природе шаровой молнии. – Доклады АН СССР, 1955, т. 101, № 2, с. 245 – 248.

2. Патент на изобретение № 23881292 (РФ). Способ нагрева катода и зажигания дугового разряда с металлической проволокой между электродами/ Р.Н. Кузьмин, Н.А. Мискинова, Б.Н. Швилкин, 2010.
3. Кузьмин Р.Н., Мискинова Н.А., Швилкин Б.Н. Электросварка тонких металлических пластин с помощью «взрывов» проволочек. — Электричество, 2011, № 7, с. 61–63.
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля. — М.: Физматиздат, 1967, § 13, 460 с.
5. Герценштейн М.Е., Сиротинин Е.И. О природе электрического импульса взрыва. — ПМТФ, 1970, № 2, с. 72–75.
6. Френкель Я.И. Теория явлений атмосферного электричества. — М.: ГИТТЛ, 1949, 155 с.
7. Тверской П.Н. Атмосферное электричество. — М.: Гидрометеиздат, 1949, 252 с.
8. Медведев Ю.А., Степанов Б.М., Федорович Г.В. Физика радиационного возбуждения электромагнитных полей. — М.: Атомиздат, 1980, 103 с.
9. Радиофизическая электроника/Под ред. Н.А. Капцова. — Изд-во МГУ, 1960, 561 с.
10. Патент на изобретение № 2199751 (РФ). Способ получения вращающихся и перемещающихся в пространстве тороидальных структур из аэрозоли металла в атмосфере/Н.А. Мискинова, Б.Н. Швилкин, 2001.
11. Мискинова Н.А., Швилкин Б.Н. Дуга горела на столе. — Химия и жизнь, 2002, № 3, с. 22–23.

12. Кузьмин Р.Н., Мискинова Н.А., Швилкин Б.Н. Лабораторная модель шаровой молнии. — Химическая физика, 2006, т. 25, № 3, с. 90–93.

13. Шабанов Г.Д., Жеребцов О.М., Соколовский Б.Ю. Автономные долгоживущие светящиеся образования в открытом воздухе. Эксперимент. Проверка гипотезы формирования шаровой молнии лидером линейной молнии. — Химическая физика, 2006, т. 25, № 4, с. 74–78.

[29.10.13]

*Авторы: Мискинова Наталия Аркадьевна окончила физический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (МГУ) в 1965 г. В 1970 г. защитила кандидатскую диссертацию «Исследование катафореза в бинарных смесях» в МГУ. Профессор кафедры физики Московского технического университета связи и информатики.*

*Швилкин Борис Николаевич окончил физический факультет МГУ в 1960 г. В 1993 г. защитил докторскую диссертацию «Неустойчивости газоразрядной плазмы низкого давления» в Институте атомной энергии им. И.В. Курчатова. Ведущий научный сотрудник кафедры физики полимеров и кристаллов физического факультета МГУ.*

## Passage of Plasmoid through a Dielectric

N.A. MISKINOVA AND B.N. SHVILKIN

*An attempt is made to develop the ball lightning plasma model proposed by Academician P.L. Kapitsa. The possibility to obtain plasmoids glowing in air and separated from the electrodes similar to ball lightning, and their ability to pass through dielectric plates are shown.*

*Key words: ball lightning, plasma model, obtaining plasmoids, dielectric plates*

### REFERENCES

1. Kapitsa P.L. *Doklady Akademii Nauk (Proc. of Academy Sciences)*, 1955, vol. 101, № 2, pp. 245–248.
2. Patent na izobreteniyе № 23881292 (RF). *Sposob nagreva katoda i zazhiganiya dugovogo razryada s metallicheskoj provolochkoj mezhdu elektrodami* (RF Patent № 23881292. The method of cathode heating and ignition of the arc discharge with a metal wire between the electrodes)/R.N. Kuz'min, N.A. Miskinova, B.N. Shvilkin, 2010.
3. Kuz'min R.N., Miskinova N.A., Shvilkin B.N. *Elektrichestvo (Electricity)*, 2011, № 7, pp. 61–63.
4. Landau L.D., Lifshits E.M. *Teoriya polya* (Theory of field). Moscow. Publ. «Fizmatizdat», 1967, 13, 460 p.
5. Gertsenshtein M.E., Sirotnin E.I. *Prikladnaya mekhanika i teoreticheskaya fizika (Applied mechanics and theoretical physics)*, 1970, № 2, pp. 72–75.
6. Frenkel' Ya.I. *Teoriya yavlenii atmosfernogo elektrichestva* (Theory of phenomenons atmospheric electricity). Moscow. GITTL, 1949, 155 p.
7. Tverskoi P.N. *Atmosfernoye elektrichestvo* (Atmospheric electricity). Moscow. Publ. «Gidrometeoizdat», 1949, 353 p.
8. Medvedev Yu.A., Stepanov B.M., Fedorovich G.V. *Fizika radiatsionnogo vozбуzhdeniya elektromagnitnykh polei* (Physics of radiation excitation of electromagnetic fields). Moscow. Publ. «Atomizdat», 1980, 103 p.
9. *Radiofizicheskaja elektronika*/Pod red. N.A. Kaptsova (Radiophysical electronics. Edit. by N.A. Kaptsov). Moscow. Publ. of MGU, 1960, 561 p.
10. Patent na izobreteniyе № 2199751 (RF). *Sposob polucheniya vrashchayushchikhsya i peremeshchayushchikhsya v prostranstve toroidal'nykh struktur iz aerologii metalla v atmosphere* (RF Patent № 2199751. The method for producing rotating and moving in space the toroidal structure of the metal spray in the atmosphere)/N.A. Miskinova, B.N. Shvilkin, 2001.
11. Miskinova N.A., Shvilkin B.N. *Khimiya i zhizn' (Chemistry and life)*, 2002, № 3, pp. 22–23.
12. Kuz'min P.N., Miskinova N.A., Shvilkin B.N. *Khimicheskaya fizika (Chemical physics)*, 2006, vol. 25, № 3, pp. 90–93.
13. Shabanov G.D., Zherebtsov O.M., Sokolovskii B.Yu. *Khimicheskaya fizika (Chemical physics)*, 2006, vol. 25, № 4, pp. 74–78.

*Authors: Miskinova Nataliya Arkad'evna graduated from the Moscow State University in 1965. In 1970 she received the degree of Cand. Techn. Sci. from the Moscow State University. She is a Professor in the Moscow Technical University of Communication and Informatics.*

*Shvilkin Boris Nikolaevich graduated from the Moscow State University in 1960. In 1993 he received the degree of Doct. Techn. Sci. from the Kurchatov Institute of Atomic Energy. He is a Leading Researcher of the Moscow State University.*



## REFERENCES

Kapitsa P.L. Doklady Akademii Nauk (Proc. of Academy Sciences), vol. 101, № 2, pp. 245–248.

Patent RF na izobreteniyе № 23881292. Sposob nagreva katoda i zazhiganiya dugovogo razryada s metallicheskoj provolochkoj mezhdu elektrodami (RF Patent № 23881292. The method of cathode heating and ignition of the arc discharge with a metal wire between the electrodes)/R.N. Kuz'min, N.A. Miskinova, B.N. Shvilkin, 2010.

Kuz'min R.N., Miskinova N.A., Shvilkin B.N. Elektrichestvo (Electricity), 2011, № 7, pp. 61–63.

Landau L.D., Lifshits E.M. Teoriya polya (Theory of field). Moscow. Publ. «Fizmatizdat», 1967, 13, 460 p.

Gertsenshtein M.E., Sirotinin E.I. Prikladnaya mekhanika i teoreticheskaya fizika (Applied mechanics and theoretical physics), 1970, № 2, pp. 72–75.

Frenkel' Ya.I. Teoriya yavlenii atmosfernogo elektrichestva (Teory of phenomenons atmospheric electricity). Moscow. GITTL, 1949, 155 p.

Tverskoi P.N. Atmosfernoye elektrichestvo (Atmospheric electricity). Moscow. Publ. «Gidrometeoizdat», 1949, 353 p.

Medvedev Yu.A., Stepanov B.M., Fedorovich G.V. Fizika radiatsionnogo vzbuzhdeniya elektromagnitnykh polei (Physics of radiation excitation of electromagnetic fields). Moscow. Publ. «Atomizdat», 1980, 103 p.

Radiofizicheskaja elektronika/Pod red. N.A. Kaptsova (Radiophysical electronics. Edit. by N.A. Kaptsov). Moscow. Publ. of MGU, 1960, 561 p.

Patent RF na izobreteniyе № 2199751. Sposob polucheniya vrashchayushchikhsya i peremeshchayushchikhsya v prostranstve toroidal'nykh struktur iz aerologii metalla v atmosfere (RF Patent № 2199751. The method for producing rotating and moving in space the toroidal structure of the metal spray in the atmosphere)/N.A. Miskinova, B.N. Shvilkin, 2001.

Miskinova N.A., Shvilkin B.N. Khimiya i zhizn' (Chemistry and life), 2002, № 3, pp. 22–23.

Kuz'min P.N., Miskinova N.A., Shvilkin B.N. Khimicheskaya fizika (Chemical physics), 2006, vol. 25, № 3, pp. 90–93.

Shabanov G.D., Sherebtsov O.M., Sokolovskii B.Yu. Khimicheskaya fizika (Chemical physics), 2006, vol. 25, № 4, pp. 74–78.

Authors: Miskinova Nataliya Arkad'evna graduated from the Moscow State University in 1965. In 1970 she received the degree of Cand. Techn. Sci. from the Moscow State University. She is a Professor in the

Moscow Technical University of Communication and Informatics.

Shvilkin Boris Nikolaevich graduated from the Moscow State University in 1960. In 1993 he received the degree of Doct. Techn. Sci. from the Kurchatov Institute of Atomic Energy. He is a Leading Researcher of the Moscow State University.