

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ ШАРОВОЙ МОЛНИИ

С.И. Шершнев

hbrserega@gmail.com

Научные руководители: Юдин А.С., к.т.н., доцент каф. ВЭСЭ ИФВТ НИ
ТПУ Тригуб М.В., к.т.н., доцент каф. ВЭСЭ ИФВТ НИ ТПУ

Шаровая молния, как природное явление

Шаровая молния (ШМ) – одно из малоизученных явлений природы. По свидетельствам очевидцев шаровая молния наблюдается в грозовую погоду, хотя встречалась в солнечную. Чаще всего она «выходит» из проводника с током или порождается линейными молниями, в редких случаях – неожиданно появляется в воздухе или может выйти из какого-либо предмета (дерево, столб).

Таблица 1. Вероятность появления шаровой молнии в зависимости от погоды [2].

Погода	Гроза	В течении получаса		Дождь	Облачно	Ясно
		Перед грозой	После грозы			
Вероятность, %	61.6	6.6	8.8	7.2	6.0	9.8

По геометрии ШМ может представлять из себя не только сферу, но и эллипсоид, ленту и другие [1]. Основное предположение о составе вещества ШМ – низкотемпературная плазма.

Свое существование шаровая молния заканчивает по-разному: в большинстве случаев взрывом, иногда медленным погасанием или распадом на части.

Параметры ШМ

Средние параметры ШМ по данным автора [1]: вероятность появления ШМ сферической формы – $90 \pm 1\%$; диаметр – 23 ± 5 см; время жизни ШМ значительно превышает 1–2 с, но практически во всех случаях не более 2–3 мин. Половина ШМ исчезает за 13 секунд энергия – 12.5–31.5 Дж; цвет – белый, красный, оранжевый, желтый (80%), голубой, синий, фиолетовый, зеленый ($13 \pm 1\%$); Световой поток ШМ сравним со световым поток лампы мощностью 100 Вт. ШМ обладает свойством прозрачности в видимом свете. Поскольку она не является черным телом, её температура не связана с её изучением в этом спектре. В большинстве случаев цвет красный и желтый.

Цвет ШМ не является ее характерным признаком. Цвет не говорит о температуре или составе. Вероятнее он определяется наличием примесей.

Температура ШМ не превышает 200–300 °С.

Сезонность – свыше 80% шаровых молний наблюдаются в летнее время.

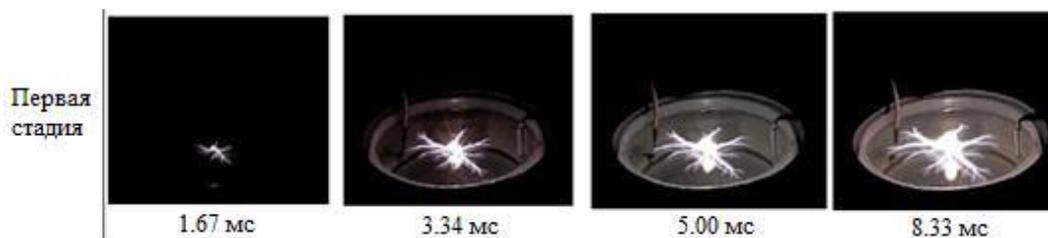
Излучая свет, шаровая молния почти совсем не излучает тепло. ШМ оказывает влияние на радиосвязь.

По оценке ШМ Стахановым И.П., её энергия может составлять до нескольких кДж, а в редких случаях – достигать 100 кДж [2]. Время жизни долгоживущих ШМ зависит от её размера; при большем размере (>30 см в диаметре) составляет в среднем 50 с, а при меньших диаметрах – до 15 с – 10 с [2].

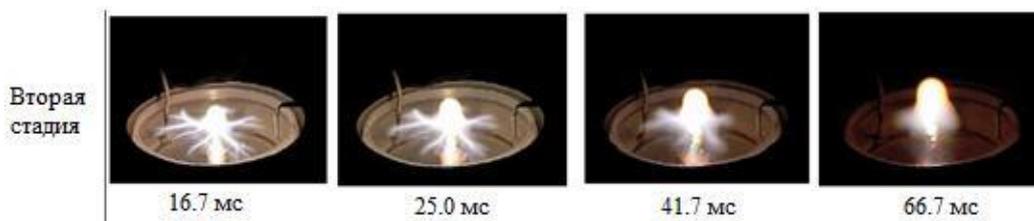
Существующие гипотезы инициирования ШМ

В настоящее время существует большое количество гипотез, объясняющих природу ШМ и механизм её инициирования. Наиболее популярными и правдоподобными являются гипотезы, основанные на прямых наблюдениях ШМ, а также её физическом моделировании. Первая опирается на наблюдения за возможными местами ударов линейных молний [3]. Во время этих наблюдений было обнаружено инициирование ШМ при ударе нисходящей линейной молнией в землю. Наблюдаемая ШМ просуществовала 1,6 с, её диаметр был равен 5 метрам, а скорость передвижения составляла 10 м/с. Зарегистрированный спектр этой шаровой молнии показал значительное содержание в её составе ионов железа, кремния и кальция. Вторая группа гипотез основывается на инициировании плазмоида ШМ импульсным разрядом по поверхности воды. Было поставлено большое количество экспериментов [4–7], однако получить долгоживущий плазмоид не удалось. Последние из известных экспериментов позволили получить плазмоиды, живущие до 0.8 с [7]. Их диаметр изменялся от 4 до 20 см в зависимости от энергии импульса генератора.

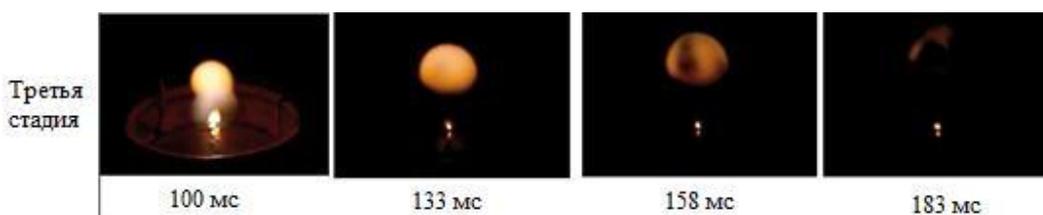
В одном из экспериментов, были выделены три стадии развития плазмоида [7]:



В первой стадии весь процесс начинается с зажигания ползучего разряда на кончике катода. Разряд растет во всех направлениях, в то время как разрядный ток возрастает и поступает на обширную поверхность раствора.



Переход из первой стадии во вторую происходит, когда разрядный ток, в некотором роде, распадается, но он все еще способен поддерживать достаточное количество энергии. Когда ползучий разряд уменьшается и исчезает, появляется и растет яркий, осьминогopodobный плазмоид. Плазменный канал окружает водяной пар.



Переход из второй стадии в третью всегда происходит, когда разрядный ток становится пре-небрежительно мал, независимо от экспериментальных условий. Округлый плазмоид, возможно состоящий из большого количества водяного пара, отделяется от плазменной струи. Затем он плывет в воздухе вверх с увеличением размера и исчезает.

Проект физического моделирования ШМ

В эксперименте планируется объединить две эти гипотезы, а именно - инициировать плазмоид поверхностным разрядом по электролиту, содержащему соли веществ, обнаруженных в спектре природной ШМ.

Экспериментальная установка для получения плазмоидов, а также её параметры в данном проекте будут аналогичны тем, что использовались ранее для получения плазмоидов [4-7]. А именно – емкость конденсатора – 300 мкФ при зарядном напряжении 3–9 кВ.

При проведении экспериментов предусмотрена возможность легко менять конструкцию электродов с целью введения наибольшей энергии в разряд, а соответственно, регулировать энергию плазмоида.

В исследованиях планируется получить долгоживущий плазмоид, используя поверхностный разряд в электролите, содержащем ионы Si, Ca, Fe, которые были обнаружены во время исследования природной ШМ.

Применение

В настоящее время эти исследования носят фундаментальный характер, то есть пока не разрабатываются способы использования шаровой молнии в практических целях. Однако результаты именно фундаментальных исследований приводят к появлению принципиально новых видов технических устройств, радикальному изменению технологий, появлению новых видов научных знаний.

Однако уже сейчас можно обозначить достаточно весомую перспективу. Это, например, сверхмощное оптическое воздействие на протяженные объекты (в отличие от тонкого лазерного луча), беззеркальные накопители энергии для сверхмощных лазеров на основе закольцовки лучей за счет рефракции, новые перспективы в решении проблемы управляемого термоядерного синтеза.

Из наблюдений очевидцев выявлено – ШМ содержит в себе достаточно большую накопленную энергию, т.е. это некий конденсатор. Масса вещества намного ниже всех существующих накопителей на единицу запасенного заряда.

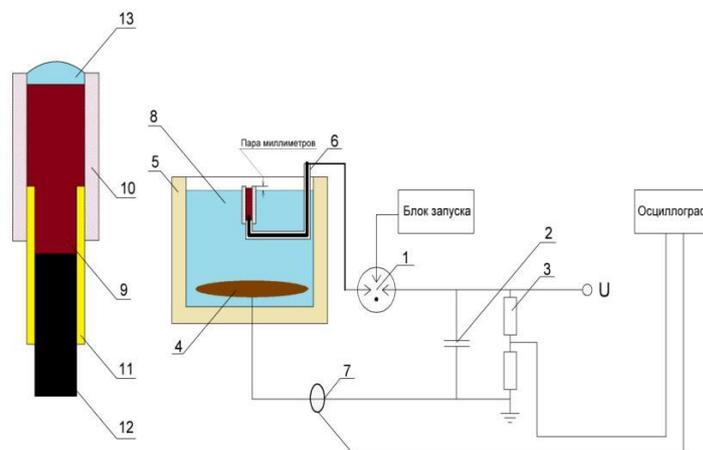


Рисунок 1. Экспериментальная установка для получения плазмоидов:

- 1 – Игнитронный разрядник. 2 – Конденсаторная батарея. 3 – Делитель напряжения. 4 – Кольцевой медный электрод. 5- Полиэтиленовый сосуд. 6 – Изоляция кабеля. 7 – Пояс Роговского. 8 – Раствор электролита. 9 – Угольный электрод ($d = 5$ мм). 10 – Кварцевая трубка. 11 – Цанговый зажим. 12- Кабель. 13 – Капля электролита

Результаты экспериментов

Были произведены эксперименты на установке, описанной выше. В ходе экспериментов удалось заснять первые две стадии формирования плазмоида. Условия эксперимента: зарядное напряжение – 9 кВ, проводимость воды – 2,35 мСм/см, электролит – водопроводная вода с добавлением NaCl, положительная полярность. В ходе экспериментов с помощью камеры Casio FX-EH20 удалось зафиксировать первые две стадии формирования плазмоида. Использовался осциллограф Tektronix TPS2024, делитель напряжения ДНВ-25-3000, пояс Роговского CWT-1500 mini.

Из полученных осциллограмм можно сделать вывод, что при падении тока от максимального значения начинается переход от скользящего разряда к образованию плазмоида. Зафиксировать ок-руглый плазмоид не удалось.

Список литературы

1. Смирнов Б.М. Физика шаровой молнии // Успехи физических наук. – 1990. – Т. 160, вып.4, б. – 19 с.
2. Стаханов И.П. О физической природе шаровой молнии / И.П. Стаханов. – Москва : Энергоатомиздат, 1985 – С. 53, 88, 47.
3. Jianyong Cen, Ping Yuan, Simin Xue. Observation of the Optical and Spectral Characteristics of Ball Lightning// PHYSICAL REVIEW LETTERS. – 2013.
4. Бойченко А.М. Шаровые молнии с временем жизни ≤ 1 с / А.М. Бойченко // Журнал технической физики. – 1999. – Т. 69, вып.10.
5. Егоров А.И.. Долгоживущие плазмоиды – аналоги шаровой молнии, возникающие во влажном воздухе / А.И. Егоров, С.И. Степанов // Журнал технической физики. – 2002. – Т.72, вып.12.
6. A. Versteegh, K. Behringer, U. Fantz, G. Fussmann, S. Noack. Long-living plasmoids from an atmospheric water discharge. Plasma sources science and technology. – 2008, вып. 17.
7. N. Hayashi, H. Sasaki, T. Mohri, T. Kajiwara, T. Tanabe. Nature of Luminous Body Produced by Pulsed Discharge on a Electrolyte Solution in The Atmosphere, Proceedings of International Conference on Gas Discharges and Their Application. – 2010. – С. 312–315.