

04;12

Долгоживущие плазмоиды — аналоги шаровой молнии, возникающие во влажном воздухе

© А.И. Егоров, С.И. Степанов

Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова РАН,
188300 Гатчина, Ленинградская область, Россия
e-mail: pnpri@lnpi.spb.su

(Поступило в Редакцию 11 июня 2002 г.)

Приведены результаты экспериментального исследования долгоживущих плазмоидов — аналогов шаровой молнии. Основная цель исследования — нахождение условий длительного существования плазмоидов в атмосфере. Дано описание экспериментальной установки и результатов наблюдений в виде видеоматериалов.

Основным методом исследования шаровой молнии стали массовые опросы очевидцев природного феномена [1–5]. Анализ субъективных показаний, сдобренных домыслами и фантазиями, привел к появлению десятков гипотез о ее природе. Однако до сих пор нет убедительных доказательств, что шаровую молнию, т.е. летящее в воздухе, долгоживущее, автономное и светящееся образование, удалось надежно воспроизвести в лаборатории.

Самые общие условия появления шаровой молнии известны — это высокая электрическая активность атмосферы и высокая концентрация водяных паров в воздухе [2]. Водяной пар обладает рядом уникальных свойств: он легче воздуха, не поддерживает горение и замедляет окисление горючих веществ, но в то же время способен взаимодействовать с нагретым углеродом или железом с образованием молекулярного водорода. Максимально неоднородное распределение плотности электронов по молекуле H_2O приводит к появлению на атомах водорода и кислорода больших эффективных зарядов. Дипольные молекулы воды присоединяются к свободным ионам и обволакивают частицы аэрозолей. Энергия связи первой молекулы H_2O и иона H^+ 7.18 eV, второй — 1.6 eV, пятой — 0.51 eV [6]. Столь же значительна энергия связи диполей воды с другими ионами, положительными и отрицательными.

В работах [6,7] приведено компьютерное моделирование процесса взаимодействия молекул воды с ионами H^+ и OH^- в воздухе, насыщенном водяными парами. Показано, что при сближении гидратированных ионов разного знака в межионный промежуток втягиваются дополнительные молекулы воды и образуется устойчивый кластер. Он состоит из двух ионов противоположного знака заряда и гидратной оболочки. Молекулы воды препятствуют сближению ионов и их рекомбинации, поэтому время жизни ионов в кластере возрастает до десятков минут, т.е. на 12–13 порядков. В свою очередь из-за диполь-дипольного взаимодействия кластеров возникают сначала цепочечные, а затем пространственные структуры, т.е. образуется сгусток холодной плазмы — плазмоид. Внутренней энергии плазмоида недостаточно для ионизации его молекул, но он способен аккумуля-

ровать громадную энергию (до 500 J/1) от внешнего источника ионов. Эту энергию плазмоид должен получить при его образовании.

На рис. 1 приведена схема установки, которая позволяет вводить обильную популяцию ионов в клуб теплого воздуха, насыщенного водяными парами. Основу установки составляет конденсаторная батарея емкостью 0.6 мF, которую можно заряжать до 5.5 kV. Полиэтиленовый сосуд диаметром 18 см наполнялся на 15 см слабо проводящей водопроводной водой. На дне сосуда находился кольцевой медный электрод, соединенный изолированной медной шиной с одним полюсом конденсаторной батареи. Второй полюс батареи соединяли с цилиндрическим электродом, расположенным в центре сосуда у поверхности воды и направленным в воздушное полупространство. Чаще всего в качестве центрального электрода использовался уголь для спектрального анализа диаметром 5–6 мм. Кварцевая трубка, которая окружала центральный электрод, возвышалась над ним на 2–4 мм и над поверхностью воды на 3–8 мм. Электрическое сопротивление воды между погруженными электродами составляло 1–1.2 kΩ.

Для получения искусственной шаровой молнии на центральный электрод из угля наносили 2–3 капли (примерно 0.1 ml) воды. При быстром замыкании-раз-

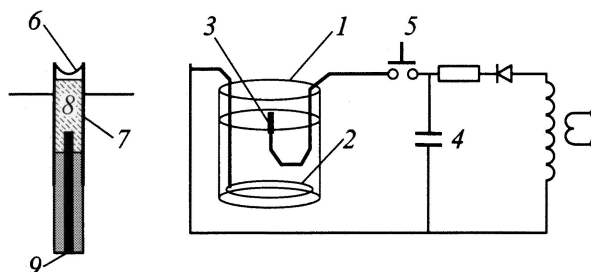


Рис. 1. Установка для получения долгоживущих плазмоидов: 1 — полиэтиленовая емкость, 2 — кольцевой электрод, 3 — центральный электрод, 4 — конденсаторная батарея емкостью 0.6 мF, 5 — разрядник, 6 — капля воды или водной суспензии, 7 — кварцевая трубка, 8 — угольный или металлический электрод, 9 — медная шина.

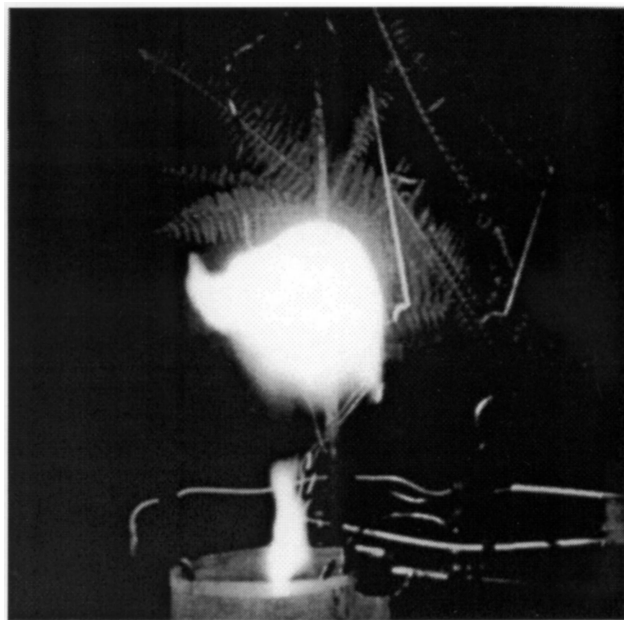


Рис. 2. Летящий плазмоид в момент отделения его от плазменной струи. Диаметр банки с водой 18 см.

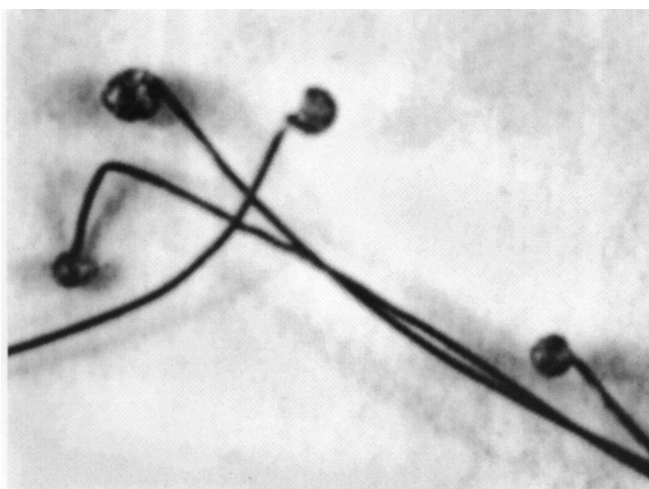


Рис. 3. Увеличенная фотография проволочек, побывавших внутри плазменной струи.

мыкании разрядника из центрального электрода с легким хлопком вылетает плазменная струя, от которой отделяется автономный светящийся плазмоид. Он медленно всплывает в воздухе и через 0.2–0.5 с исчезает, распадаясь на части. На рис. 2 зафиксирован момент отделения такого плазмоида от плазменной струи.

Взвешенное на аналитических весах колечко из тонкой (0.1 мм) медной или нихромовой проволоки, помещенное на пути шаровой молнии, частично распыляется, а в плазменной струе даже расплавляется, по-видимому за счет интенсивной рекомбинации ионов на металлической поверхности. При этом на концах сохранившихся

участков проволоки появляются характерные оплавленные шарики (рис. 3).

В большинстве случаев центральный электрод подключали к отрицательному полюсу конденсаторной батареи. Существует оптимальная разность потенциалов между электродами, при которой плазмоид принимает округлую форму. Для установки с указанными размерами это 4.2–4.8 кВ. Максимальный ток при разряде не превышал 30–50 А.

В горизонтальном электрическом поле, созданном плоским конденсатором, шаровая молния растягивается в стороны, время ее жизни уменьшается. Примерное равенство объемных зарядов положительной и отрицательной популяции ионов не исключает существование у плазмоидов небольшого избыточного заряда.

Размер плазмоида несколько меняется от разряда к разряду, но обычно находится в интервале 10–18 см. Цвет „водяной“ шаровой молнии близок к цвету газового разряда, возбуждаемого во влажном воздухе при пониженном давлении. Сиреневую центральную часть плазмоида окружает диффузная желтоватая оболочка. Небольшая примесь солей натрия и кальция подкрашивает kern плазмоида в желтый или оранжевый цвет.

При замене центрального угольного электрода на железный, медный или алюминиевый основной характер явления сохраняется. При импульсном разряде из металлического электрода, смоченного водой без примеси органических веществ, вылетает ослепительная плазменная струя и отделяется летящий плазмоид. Его окраска зависит от спектра излучения возбужденных атомов электрода: железные плазмоиды — белесые, медные — зеленоватые, алюминиевые — белые с красноватым отливом.

Температуру шаровой молнии можно оценить по скорости ее вертикального подъема. Если принять плазмоид за клуб теплого, влажного воздуха диаметром 14 см, всплывающего в атмосфере при 293 К со скоростью 1–1.2 м/с, то расчетная средняя температура плазмоида не превышает 330 К.

Время жизни искусственной шаровой молнии зависит от целого ряда факторов: от размера и геометрической формы центрального электрода, от напряжения между электродами, от величины и длительности импульса тока, от температуры и электропроводности воды, наносимой на центральный электрод. Существует еще одна возможность изменения времени жизни плазмоида — введение в него дополнительной дисперсной фазы. Для этого на центральный электрод нужно нанести суспензию некоторого вещества: при импульсном разряде вещество распыляется, диспергируется и вместе с ионной популяцией попадает в плазмоид.

Были испытаны десятки веществ: порошки угля, углеводороды с высокой теплотой сгорания, сажа, смесь угля и мелкодисперсного кремнезема, порошок карбонильного железа, коллоидная суспензия Fe_3O_4 , глина, образцы почв, опилки, канифоль и другие природные вещества. Для детального исследования были отобраны

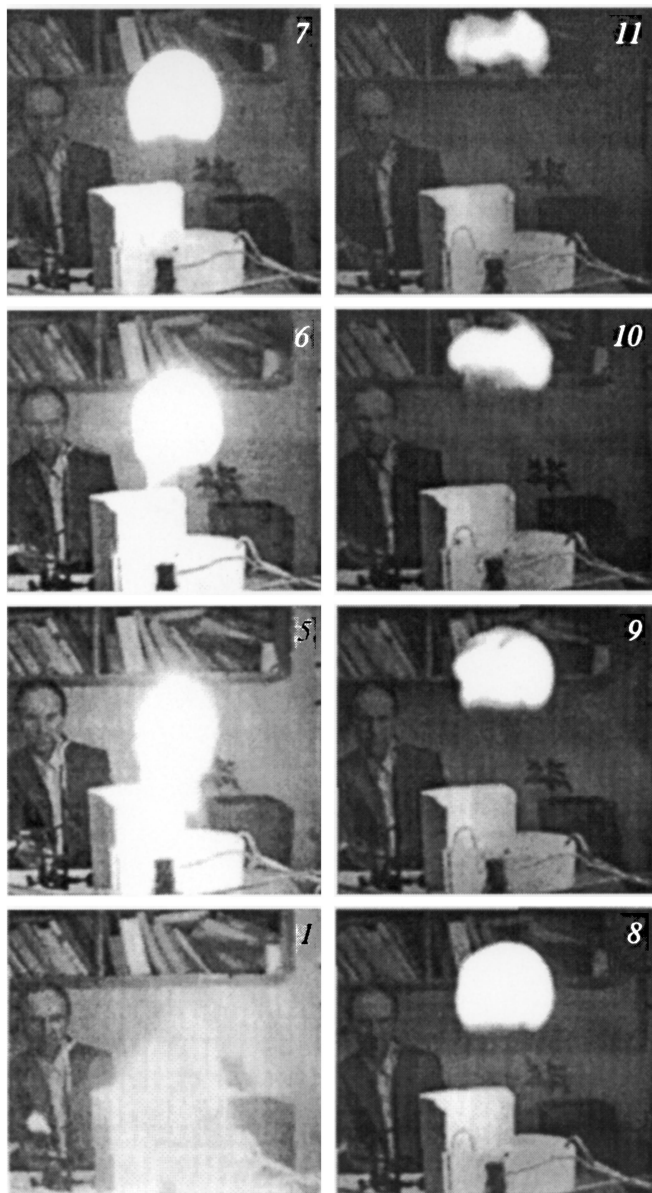


Рис. 4. Стадии рождения, полета и распада искусственной шаровой молнии, полученной из коллоидного графита, ацетона и воды. Цифры обозначают номер кадров в видеофильме. Интервал времени между кадрами 0.2 с. Полностью видеофильм „fball02.avi“ доступен по адресу: <ftp://biod.pnpi.spb.ru/pub/people/stepanov>

коллоидный графит и мелкодисперсные оксиды железа, хотя, возможно, есть и другие, более оптимальные компоненты суспензий. Необходимо только, чтобы суспензия имела высокое электрическое сопротивление.

В большинстве экспериментов на центральный угольный электрод наносилась суспензия из 3 г коллоидного графита, 8–10 мл ацетона (смачиватель) и 90 мл воды. При электрическом разряде через слой этой суспензии образуется летящий округлый плазмоид (рис. 4), который медленно всплывает в воздухе и исчезает через 0.3–0.8 с, причем плазмоиды с большим временем

жизни появляются довольно редко. КERN плазмоида имеет окраску пламени, т.е. диспергирование углерода и деструкция органики при импульсном разряде сопровождаются образованием накалившихся частиц сажи и химических радикалов.

Таким образом, при введении мощной популяции ионов обоих знаков в клуб теплого воздуха, насыщенного водяными парами, возникает округлый, светящийся, долгоживущий плазмоид. Он аккумулирует энергию, затраченную электрическим разрядом на образование пар ионов, и сохраняет ее длительное время. Температура плазмоида немного превышает комнатную температуру, и распадается он со взрывом только в редких случаях, когда содержит много водорода. На металлических поверхностях рекомбинация ионов заметно ускоряется, в то же время аэрозоли мелкодисперсного углерода и окисленного железа, введенные в плазмоид, не уменьшают время его жизни. Лабораторные разряды не столь грандиозны, как природные, зато искусственные шаровые молнии хорошо воспроизводятся и доступны для детального исследования.

Искусственная шаровая молния — одно из красивейших физических явлений. Всплывающие в притемненном помещении светящиеся шары представляют незабываемое зрелище, особенно для очевидцев короткоживущей природной молнии. Для них адекватность явлений не вызывает сомнений.

Авторы выражают глубокую благодарность Г.Д. Шабанову, С.Е. Емелину и А.Л. Пирозерскому за неоценимую помощь в экспериментах, В.М. Лобашеву за постоянный интерес и поддержку работы.

Список литературы

- [1] Барри Дж. Шаровая молния и четочная молния. М.: Мир, 1983. 288 с.
- [2] Стаханов И.П. О физической природе шаровой молнии. М.: Научный мир, 1996. 264 с.
- [3] Сингер С. Природа шаровой молнии. М. Мир, 1973. 240 с.
- [4] Григорьев А.И. Огненные убийцы. Ярославль: Дебют, 1990. 32 с.
- [5] Синкевич О.А. // ТВТ. 1997. Т. 35. № 4. Там же. № 6. С. 968–982.
- [6] Шевкунов С.В. // ЖЭТФ. 2001. Т. 119. № 3. С. 485–508.
- [7] Шевкунов С.В. // Докл. РАН. 2001. Т. 379. № 2. С. 181–186.