

Наблюдение формирования вторичных сферических структур в аэрозоле, формируемых электрическим разрядом в воде

М.В. Журавлев¹, А.В. Товмаш^{2*}

¹ *University of Science and Technology, Department of Chemistry, POSTECH, San 31, Nyojadong, Namgu, Pohang*

² *ГНЦ РФ, Физико-химический институт им. Л.Я. Карпова 103064, г. Москва, Воронцово поле, 10, Россия*

Поступила в редакцию 30.09.2010 г.

Описано наблюдение в лабораторных условиях редкого явления: формирования вторичных аэрозольно-плазменных сфер из первичного плазменного сгустка, получаемого с помощью электрического разряда. В процессе электрического разряда над поверхностью воды были зафиксированы долгоживущие вторичные сферические аэрозольно-плазменные образования с временем жизни 0,1 с и диаметром 3 см. Данное наблюдение является важным для объяснения механизма формирования сферических молний и процесса электрического разряда в аэрозольно-плазменных структурах.

Ключевые слова: аэрозоль, электрический разряд, аэрозольно-плазменные образования; aerosol, electric discharge, aerosol-plasma structure.

В лабораторных условиях существует возможность получения аэрозольно-плазменного долгоживущего очага с помощью электрического разряда на поверхности воды одновременно с генерацией заряженных частиц водного аэрозоля. Методика и описание эксперимента изложены в работах [1, 2]. По данной методике нами получены плазменно-аэрозольные образования диаметром от 10 до 20 см. Низкотемпературные плазменные образования, сформированные в лабораторных условиях, имеют следующие свойства: аномально высокое, по сравнению с временем рекомбинации электронов и ионов, время жизни плазменного облака, которое достигает 0,6 с, при этом время жизни плазменного облака зависит от разных факторов: формы центрального электрода, величины и длительности импульса тока, а также от введения в него дополнительной дисперсной фазы.

Известно также, что плазменные сфериды размерами до 10 см генерируются в реальной атмосфере при распространении в ней импульсного излучения мощных лазеров [3, 4].

В настоящей статье продемонстрирована возможность формирования из первичного плазменного сгустка во влажном воздухе, инициируемого с помощью электрического разряда путем введения в него дополнительной водной дисперсной фазы, вторичных аэрозольно-плазменных сгустков сферической формы. Проведено наблюдение внутренних структур аэрозольно-плазменного облака.

Схема и методика эксперимента заимствованы из работ [1, 2]. Произведены следующие изменения: вместо прерывателя был использован тиратрон ТГИ 1000/25, а также высоковольтный конденсатор емкостью 500 мкФ, который меньше, чем в работе [1]. Использование конденсатора меньшей емкости дало возможность получения более слабо светящихся очагов. Конденсатор заряжался до разности потенциалов 5 кВ, а длительность разряда составляла 0,5 с. Разряд фиксировался цифровой камерой, подключенной к компьютеру с периодом дискретизации 25 мс.

В результате разряда медный электрод нагревался и испарялся вместе с водой в том месте, через которое шел ток. Это подтверждалось появлением небольшого кратера на поверхности медного электрода после разряда. Таким образом, под действием силы Архимеда диспергированный водный аэрозоль, состоящий из заряженных водных частиц, поднимался вверх (рис. 1 и 2).

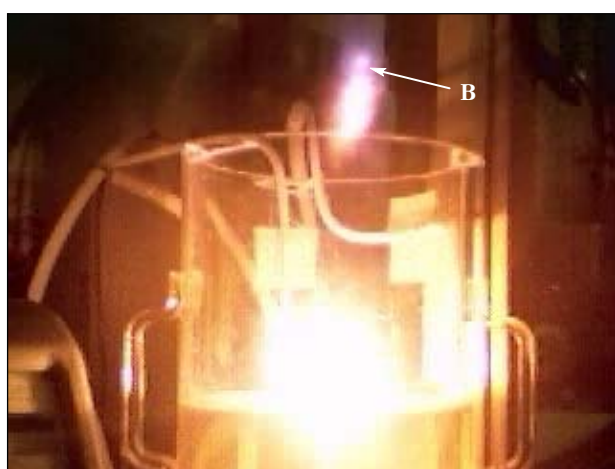
На рис. 1, *а* представлен общий вид первичного сгустка аэрозольной плазмы А, длительность его формирования 0,1 с от начала разряда. На рис. 1, *б* показано, что через промежуток времени 0,1 с из первичного очага А (рис. 1, *а*) формируется следующий вторичный очаг сферической формы В.

На рис. 2, *а* зафиксировано последовательное формирование (через промежуток времени 0,1 с) уже двух сфер С и двух областей неправильной формы D. На рис. 2, *б* зафиксировано последовательное формирование через промежуток времени 0,1 с из областей D двух сфер I, которые далее быстро исчезают из-за рекомбинации ионов и электронов и недостатка

* Михаил Владиславович Журавлев (jouravl@gambler.ru); Алексей Владимирович Товмаш.



a

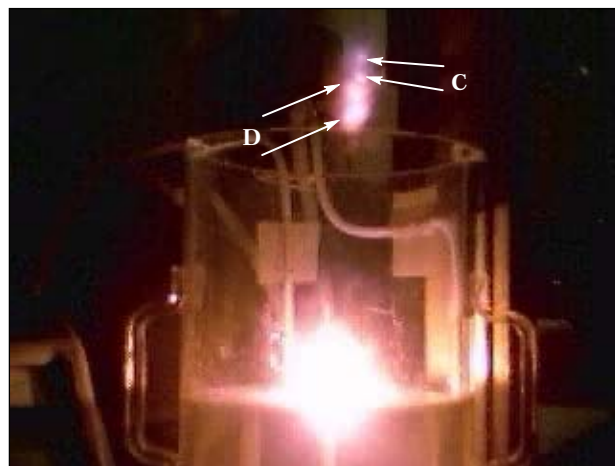


б

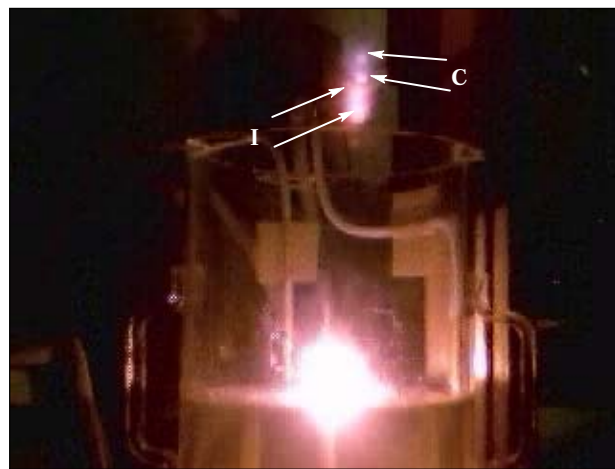
Рис. 1. Первая стадия развития плазменного сгустка А (*a*). Вторая стадия развития плазменного сгустка через временной интервал 0,1 с (*б*). Отчетливо видно формирование вторичной плазменной сферы В из первичного плазменного облака А после разряда

энергии, при этом сферы С продолжают свое существование. Сферические неоднородности внутри первичного плазменного облака на снимках (см. рис. 1 и 2) указывают на формирование вторичных самоорганизующихся структур сферической формы. Общая длительность разряда-вспышки составляет примерно 0,4 с.

При осмотре медного электрода после разряда были зафиксированы кратеры на его краях. Это говорит о том, что в начальный момент времени плотность линий напряженности электрического поля в разряднике была существенно неоднородна из-за избытка неровностей на электроде. Это привело, в конечном итоге, к неоднородному испарению металла при разряде и сгусткам гидратированных ионов металла в очаге. Поскольку очаг электрического пробоя локализован на поверхности электрода, то происходит очень быстрый разогрев до жидкого состояния небольшой его области. Испарение разогретого металла с поверхности электрода сопровождается диспергированием капель воды. Существует набор



a



б

Рис. 2. Третья стадия развития плазменного сгустка через временной интервал 0,1 с. Отчетливо видно последовательное формирование двух вторичных плазменных сфер С из плазменного облака В, представленного на рис. 1, *б*, и еще двух сгустков плазмы неправильной формы D (*a*). Четвертая стадия развития плазменного сгустка через временной интервал 0,1 с. Отчетливо видно формирование четырех вторичных плазменных сфер С и I из плазменного облака (*б*)

важных явлений, одновременно участвующих в процессе формирования аэрозольно-плазменного облака: распыление и зарядка водного аэрозоля путем электрического разряда, коагуляция капель водного аэрозоля, испарение и конденсация.

В процессе разряда облако гидратированных ионов, находящихся в возбужденном состоянии, начинает подниматься под действием силы Архимеда. Те участки облака, где плотность ионов оказалась выше, принимают сферическую форму. Но время рекомбинации ионов и электронов достаточно большое, поскольку они находятся на поверхности частиц водного аэрозоля или на поверхности гидратированных кластеров.

По-видимому, если учесть, что гидратированные ионы интенсивно коагулируют, образуя гидратированные кластеры (частицы водного аэрозоля), то можно прийти к выводу, что образующийся при этом

вторичный аэрозольно-плазменный очаг должен иметь существенную неоднородность (см. рис. 2), что и наблюдается в опыте.

Таким образом, экспериментально зафиксировано редкое явление: формирование вторичных аэрозольно-плазменных сфер из первичного плазменного облака, инициированного электрическим разрядом. Наблюдение представленного явления позволяет приблизиться к пониманию природы формирования сферической молнии и процессов электрического разряда в аэрозольно-плазменных структурах [5–7].

1. *Егоров А.И., Степанов С.И., Шабанов Г.Д.* Демонстрация шаровой молнии в лаборатории // *Успехи физ. наук.* 2004. Т. 174, № 1. С. 107.

2. *Егоров А.И., Степанов С.И.* Долгоживущие плазмониды — аналоги шаровой молнии, возникающие во влажном воздухе // *Ж. теор. физ.* 2002. Т. 72, вып. 12. С. 102–104.

3. *Шишигин С.А.* Влияние газового ореола NO_2 у очагов оптического пробоя воздуха на основные параметры свечения плазмы // *Оптика атмосф. и океана.* 2005. Т. 18, № 7. С. 580–585.

4. *Годлевский А.П., Копытин Ю.Д.* // *Квант. электрон.* 1982. Т. 9, № 6. С. 1280–1283.

5. *Ofuruton H., Ohtsuki Y.H.* Experimental research on Ball lightning // *Nuovo cim.* 1990. V. 13, N 4.

6. *Sommer A.P.* Aerosol-Induced Lightning Activation in thunderclouds // *Langmuir.* 2002. V. 18. P. 5040–5042.

7. *Twomey S.* The electrification of individual cloud droplets // *Tellus.* 1956. V. 8. P. 445–452.

M.V. Jouravlev, A.V. Tovmash. **Observation of formation of secondary spherical structures in water aerosol-plasma cloud, formed by low energy electric discharge.**

The observation of the secondary spherical structures of the aerosol-plasma clouds generated by the electrical discharge is made. The spherical water cloud as a secondary structure consistent with the charged aerosol particles in the plasma cloud is produced in an underwater discharge. This involves igniting a short high-voltage discharge in a water tank, when it decays a plasma jet then emerges from the surface. Flashover from the water enables the current to enter the clay tube, where it causes the water contained there to evaporate. After the current pulse a luminous second plasmoid consisting of charged water particles appears. Spheres continue to be visible about 400 milliseconds after the current has decayed and the energy input is thus cut off, really be quenched after a few milliseconds at most. The plasma glows very brightly, although the secondary plasmoids appear to be rather cold. It is measured that the lifetime of the dissipation of the secondary spherical aerosol-plasma particles structure is 0.1 sec. The measured diameter of the sphere is 3 cm.