

ДОЛГОЖИВУЩИЕ СВЕТЯЩИЕСЯ ОБЪЕКТЫ, ОБРАЗУЮЩИЕСЯ В КРУПНОМАСШТАБНОЙ ВОДЯНОЙ КАВЕРНЕ

И.Л. ВЕРЕМЕЕНКО, П.И. ГОЛУБНИЧИЙ, Ю.М. КРУТОВ, Д.В. РЕШЕТНЯК

Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля
Украина, г. Луганск

Долгоживущие светящиеся объекты (ДСО) были впервые обнаружены в ходе исследований распада разрядной водяной плазмы [1—3]. Объекты наблюдались внутри пульсирующей полости, образовавшейся в воде при электрическом разряде. Движение наблюдаемых образований происходило независимо друг от друга и стенок каверны, их средний размер составлял ~ 1 мм, форма близка к сферической, цвет — оранжевый. Время жизни, которое определялось по времени свечения составлял $\geq 6 \times 10^{-3}$ с и ограничивался периодом пульсации полости. В некоторых случаях было установлено проникновение ДСО из полости в окружающую ее жидкость с увеличением времени свечения на $\approx 5 \times 10^{-4}$ с. На рис. 1. представлен результат покадровой съемки такого события. Порядок следования кадров — сверху вниз, слева направо. Экспозиция каждого кадра и интервал между ними 50 мкс, задержка начала съемки по отношению к окончанию энерговыделения 1 мс.

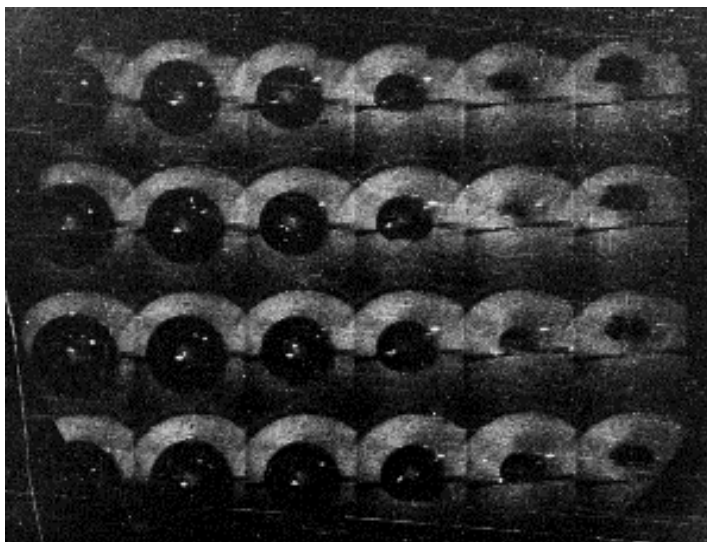


Рис. 1. Свечение объектов внутри полости

Фоторегистрация велась с помощью оптикомеханической камеры типа СФР [4], снабженной усилителем яркости ПМУ–2В [5]. Для визуализации полости применялась сквозная подсветка (рисунок 2), интенсивность которой подбиралась таким образом, чтобы отбросить каверну света к минимуму помеху в наблюдении собственного свечения ДСО.

Для более детального изучения данных объектов была создана экспериментальная установка, представленная на рис. 2.

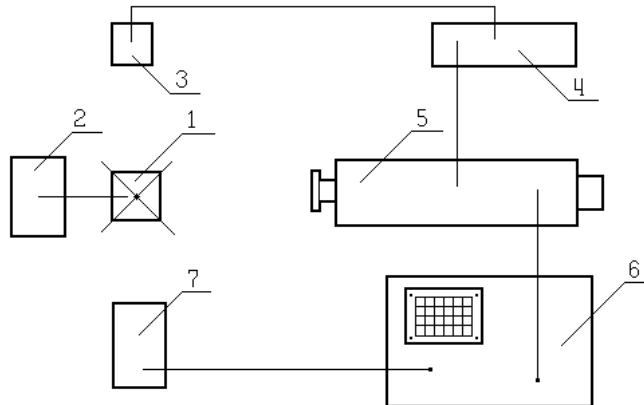


Рис. 2. Принципиальная блок-схема экспериментальной установки.

1 — рабочая камера; 2 — сквозная подсветка; 3 — блок формирования запускающих импульсов; 4 — блок управления и синхронизации ЭОК; 5 — электронно-оптическая камера; 6 — осциллограф двухлучевой запоминающий; 7 — ФЭУ

Принцип ее работы заключался в следующем. Разряд инициируется в рабочей камере, наполненной водой. Световая вспышка разряда регистрируется фотоумножителем (ФЭУ), сигнал с которого поступает на один из входов запоминающего осциллографа. Одновременно с ФЭУ вспышку или электромагнитный импульс регистрирует датчик блока формирования запускающих импульсов (лавинный фотодиод или антенна), где вырабатывается электрический сигнал заданной длительности и амплитуды для блока управления и синхронизации. Последний управляет задержкой начала съемки и ее темпом. Ослабленные импульсы с затвора ЭОП и его отклоняющих пластин подаются на второй вход осциллографа, что дает возможность контролировать процесс съемки.

Анализ оптических свойств исследуемых образований, спектра излучения, динамики свечения и характера движения этих образований показал, что они не могут быть частицами раскаленного материала электродов, результатом химических реакций в газовой фазе или плазменными сгустками.

Однако дальнейшему изучению ДСО препятствовала вода, окружающая полость, в которой они находятся после энерговыделения. В результате ряда проб была разработана камера, которая позволяла выбрасывать продукты распада водяной плазмы и светящиеся объекты в воздух [6]. При применении данного вида инициирования оказалось, что при одинаковых режимах энерговыделения средний размер объектов увеличился в 3—5 раз, а их время жизни (свечения) возросло до 0,1 с. На рис. 3. показана фотография выброса светящихся объектов в атмосферу, съемка велась в собственном свете ДСО. Регистрация проводилась с помощью электронно-оптической камеры (ЭОК), собранной на базе электронно-оптического преобразователя (ЭОП) ПИМ-103 и усилителя яркости ПМУ-2В. На снимке представлено девять кадров, порядок их следования — слева направо, сверху вниз. Первый кадр смещен влево для упрощения его идентификации. Экспозиция каждого кадра — 5 мкс, интервал между ними 200 мкс, задержка начала съемки по отношению к моменту окончания разряда 0,5 мс.

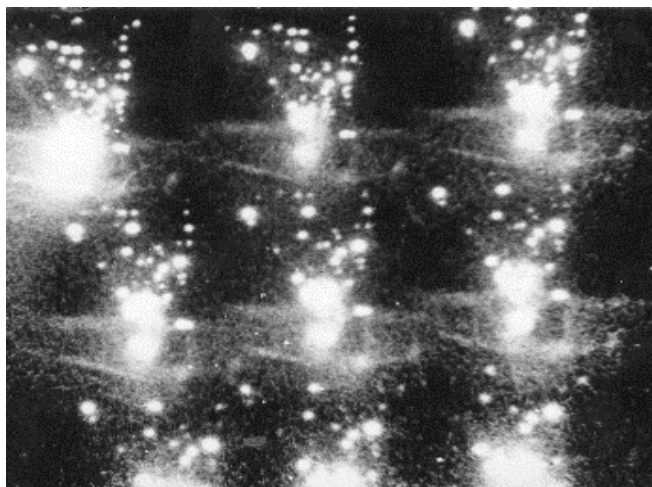
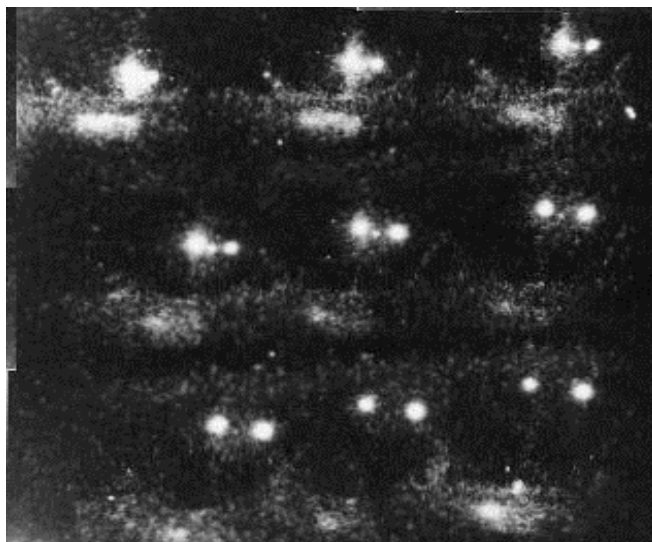


Рис. 3. Выброс ДСО в атмосферу

Исследование ДСО в воздухе позволило зарегистрировать процесс “конденсации” объектов из светящегося облака, состоящего из продуктов распада водяной плазмы. На рис. 4 показана динамика этого процесса. Съемка велась в собственном свете объектов. Порядок следования кадров характер и темп съемки аналогичен



показанному на рис. 3.

Рис. 4. Динамика образования ДСО в воздухе

Из множества экспериментов со светящимися объектами в атмосфере наиболее информативными оказались опыты с воздействием на ДСО температурных полей. В одном случае над соплом камеры, из которой выбрасывались объекты располагали плоскую двойную спираль с шагом намотки нихромовой проволоки 2,5 мм (толщина провода 0,1 мм). Расстояние между верхним и нижним слоями — 5 мм. Через провод пропускали ток. Верхний слой спирали нагревался до с температуры 1000 °С, а нижний до 800 °С. Температура определялась с помощью пирометра. В большинстве случаев ДСО, пролетая сквозь спираль исчезали (переставали светиться). Результат такого “пролета” показан на рис. 5. Здесь показаны шесть кадров, порядок следования которых аналогичен предыдущему.

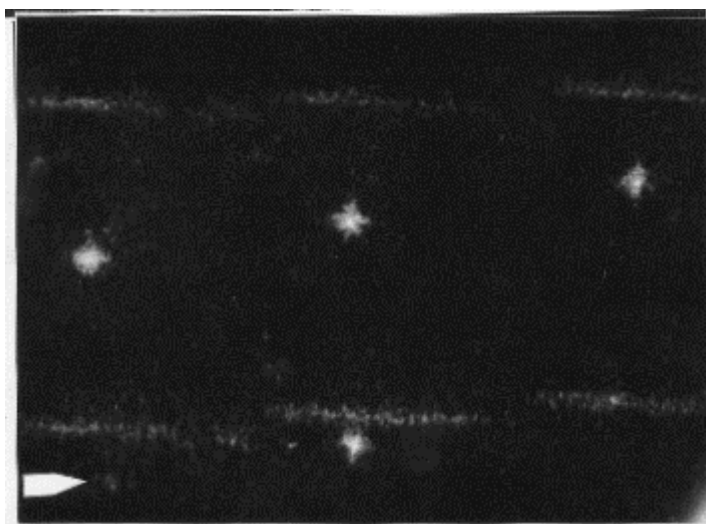


Рис. 5. Процесс прохождения объектом зоны нагрева

Для предотвращения пересветки от нагретой спирали применялись цветные стекла, подобранные таким образом, чтобы, значительно ослабляя излучение спирали, пропускать как можно больше света от ДСО. На снимке верхняя спираль видна в виде слабой горизонтальной полосы, а расположение нижней указано стрелкой на четвертом кадре. На первом кадре светящийся объект, находясь на расстоянии 10 мм от нижнего слоя спирали имеет форму близкую к сферичной. По мере приближения к зоне нагрева его форма меняется — он

как бы тает. При прохождении нижнего нагретого слоя ДСО исчезает (кадр № 4), появляясь между слоями спирали на пятом кадре, чтобы опять исчезнуть при прохождении верхнего слоя. Экранирование свечения объектов проволокой невозможно, что доказывает наличие маленькой светящейся области на кадре № 6 на предполагаемом месте нахождения остатков ДСО и модельные опыты, в которых спираль не нагревалась.

В других экспериментах на месте спирали располагали медную пластину, охлаждаемую до температуры жидкого азота. Для визуализации пространства между камерой и охлаждаемой пластиной в этом случае использовалась боковая подсветка, излучение которой рассеивалось на микрокаплях воды. На рис. 6 и 7 представлены результаты регистрации двух любопытных типов наблюдаемых явлений.

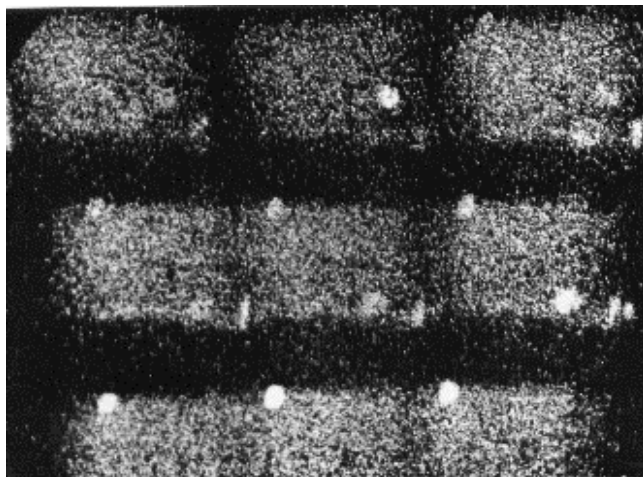


Рис. 6. Взаимодействие объектов с охлажденной поверхностью

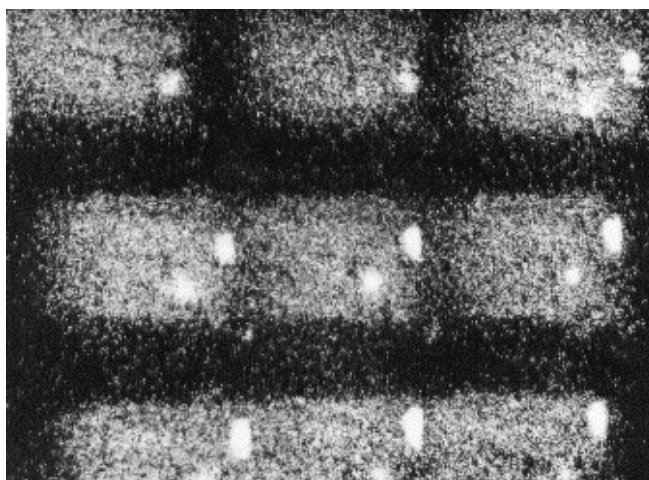


Рис. 7. Процесс удлинения объектов в неоднородном тепловом поле в сторону меньших температур

На рис. 6 наряду с движением ДСО снизу вверх наблюдается “конденсация” светящегося объекта на поверхности охлажденной пластины (кадры 3—9). Следует отметить, что в большинстве случаев сформировавшиеся еще до, или сразу после вылета из рабочей камеры ДСО при приближении к холодной поверхности угасают. На рис. 7 зарегистрировано удлинение ДСО в процессе полета в сторону низких температур. Скорость “роста” достигает 15 м/с.

Спектральное распределение излучения ДСО (рис. 8) регистрировалось с помощью стеклянного монохроматора УМ-2. Для восстановления реального спектра, искаженного поглощением в оптическом тракте и спектральной чувствительностью фотокатода ЭОК, исследуемый спектр сравнивался со спектром лампочки накаливания с температурой 2850 К, расположенной там же, где и исследуемые объекты. На фотографии отсутствуют какие либо линии, что подтверждается в экспериментах с использованием дифракционного монохроматора типа МУМ. Разрешение пары МУМ – ЭОК составляло $\approx 0,1$ нм.

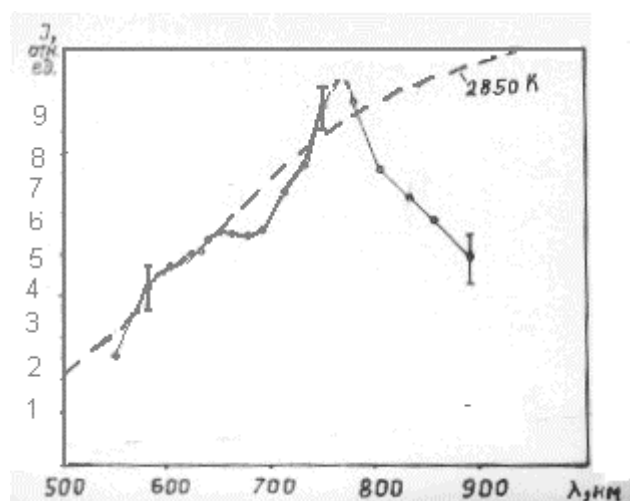


Рис. 8. Спектральное распределение излучения ДСО

В диапазоне 550—750 нм спектральное распределение ДСО близко к распределению абсолютно черного тела с температурой 2850 К, однако интенсивность свечения объектов более чем на два порядка ниже. Это позволило оценить мощность излучения [7] ДСО — $7 \cdot 10^{-4} < N < 7 \cdot 10^{-3}$ [Вт].

Выход светящихся объектов из полости в воду дал возможность оценить плотность ДСО в предположении, что объект является твердым сплошным телом — $\frac{\rho_D}{\rho_B} \gg 0,67 \cdot c$. Здесь ρ_D — плотность вещества ДСО, ρ_B — плотность воды, c — коэффициент гидродинамического сопротивления (для сферы при соответствующих эксперименту числах Рейнольдса $c = 0,4$ [8]).

Наблюдение поведения долгоживущих светящихся объектов в температурных полях позволило оценить температуропроводность вещества ДСО в тех же предположениях, что и выше $D \approx 10^{-2}$ м²/с. Эта величина на два порядка больше чем температуропроводность меди и на три с половиной порядка превышает температуропроводность льда.

Исходя из приведенных и ряда других данных [7] можно сделать следующие выводы:

1. В результате электрического разряда в воде образуются ДСО время жизни (свечения) которых более чем на четыре порядка превосходит характерное время релаксации разрядной плазмы.
2. Форма объектов, образовавшихся в полости или выброшенных в атмосферу, близка к сферической.
3. Нагрев и охлаждение ДСО приводят к подавлению их свечения (диапазон существования ДСО 100—1100 К).
4. Быстрое охлаждение разлетающихся продуктов разряда (охлажденная преграда, выброс в атмосферу) приводит к увеличению эффективности образования объектов.
5. Способность ДСО существовать и излучать в воздухе, в воде, а также внутри пульсирующей полости позволяет говорить об их автономности.
6. Сохранение их формы при движении со значительными скоростями в воздухе и в воде, а также способность конденсироваться из бесформенных облаков или на охлажденной поверхности говорят о значительном межчастичном взаимодействии в веществе, образующем ДСО.
7. Долгоживущие светящиеся объекты могут представлять собой пористые рыхлые тела, “каркас” которых состоит из необычных метастабильных соединений водорода и кислорода.
8. При переходе из метастабильного в обычное соединение должна выделяться энергия.

Ссылки

1. Голубничий П.И., Громенко В.М., Крутов Ю.М. Долгоживущие светящиеся образования внутри пульсирующей каверны, инициированной мощным энерговыделением в воде. ДАН СССР, 1990, Т. 311, № 2, С. 356—360.
2. Голубничий П.И., Громенко В.М., Крутов Ю.М. Образование долгоживущих светящихся объектов при распаде плотной температурной водяной плазмы // Журн.техн.физики. —1990. —Т. 60, Вып. 1. — С.183—186.
3. Голубничий П.И., Громенко В.М., Крутов Ю.М. Экспериментальные исследования динамики образования долгоживущих светящихся объектов в релаксирующей плазме, инициированной высоковольтным разрядом в воде. Тез. докл. III Всесоюзного семинара по шаровой молнии, М., ИВТАН. 1990, С. 40.

-
4. Дубовик А.С. Фотографическая регистрация быстропротекающих процессов. —М.: Наука. —1984.
 5. Ефимов В.М., Искольдский А.М., Нестерихин Ю.Е. Электронно–оптическая фотосъемка в физическом эксперименте. — Новосибирск: Наука. —1978.
 6. Голубничий П.И., Громенко В.М., Крутов Ю.М. Лысенко Н.И. Динамика выброса в атмосферу долгоживущих светящихся объектов, инициированных мощным искровым энерговыделением в воде. Тез. докл. 15 Всесоюзной научно–технической конференции “Высокоскоростная фотография, фотоника и метрология быстропротекающих процессов”, М., ВНИИОФИ, 1991, С. 113—117.
 7. Веремеенко И.Л., Голубничий А.П., Голубничий П.И., Крутов Ю.М. Анализ свойств долгоживущих светящихся объектов, образующихся при мощном искровом энерговыделении в воде. Вестник Восточноукраинского национального университета им. В. Даля, 2000г., № 12, с. 98—107.
 8. Бэтчелор ДЖ. Введение в динамику жидкости. М., “Мир”, 1973г.