

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАЗРЯД В ВОЗДУШНОЕ ПОЛУПРОСТРАНСТВО

© 2004 г. Г. Д. Шабанов; О. М. Жеребцов

Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова РАН, г. Гатчина, Ленинградская область  
E-mail: Discharge@gtm.ru

Рассмотрена возможность управления линейной молнией с помощью лазерного излучения малой интенсивности.

Коды OCIS: 010.1300, 350.5400.

Поступила в редакцию 13.03.2003.

## Введение

В 1999 г. в № 3 “Оптический журнал” опубликовал ряд материалов по лазерному управлению молнией из представленных на первом международном семинаре, прошедшем с 17 по 20 июня 1998 года в г. Сосновый Бор Ленинградской области. В продолжение этой тематики и предлагается данная статья.

При исследовании электрического разряда в воздушное полупространство [1] отмечена способность данного разряда “управляться” лазерным лучом малой интенсивности. В настоящее время существует проблема лазерного управления разрядом молнии [2]. Многочисленные работы в этом направлении, однако, показывают, “что надежды на быстрое решение проблемы управления молнией при помощи лазерного излучения не оправдались” [3].

Тщательное рассмотрение данной проблемы в [2] наметило пути выхода из данной ситуации. Авторы [2] считают, что создание плазменного канала (с помощью лазера) в свободной атмосфере на возможно большей высоте представляет несомненный интерес для науки о молнии и в конечном итоге принесет больше пользы в деле молниезащиты. Авторы [2] предупреждают, что на этом пути имеется много трудностей принципиального и практического характера.

Не очень оптимистические оценки решения данной проблемы лежат в слабом теоретическом понимании процессов молниеобразования. Как отмечается в [2], “нет ни адекватной теории, ни численных расчетов и даже качественного понимания явлений, определяющих скорость лидера... Не многим лучше (в количественном отношении) обстоит дело и с теорией лидерного канала...”. “Электрический разряд оказался очень “неудобным” для теоретического описания и вместе с тем интереснейшим в экспериментальном аспекте явлением” [4].

## Экспериментальная часть

В настоящей работе для создания импульсного разряда в воздушное полупространство использовалась конденсаторная батарея емкостью 0,6 мФ, заря-

жаемая до ~5 кВ. Схема установки приведена на рис. 1. При замыкании-размыкании разрядника 5 электрода 3 вылетает “струя”. Струя (рис. 2) выносит потенциал катода в воздушное полупространство на значительную высоту (виртуальный катод). Зонд, установленный на высоте ~15 см, фиксирует практически тот же потенциал, что и на катоде. На рис. 3 приведены кривые напряжения на разрядном промежутке 1, на зонде 2, светимости “струи” 3 из зоны над катодом до высоты ~15 см и “плазмоида” 4. Кривая 4 показывает, что светимость созданного образования продолжается после обрыва разряда еще несколько сотен миллисекунд (свет фиксируется из зоны выше над катодом на 15 см и до высоты 45 см). Типичное время разряда составляет  $100 \pm 20$  мс и зависит от материала катода. Из сравнения кривых 1 и 2 видно, что электрическое поле в струе менее  $8 \text{ В см}^{-1}$ .

На струю (рис. 2) воздействовали слабым лазерным излучением мощностью менее 1 мВт на высоте 22 см. Луч лазера направлялся перпендикулярно к оси разряда, и струя, достигнув луча лазера, двигалась по лучу в сторону лазера. На рис. 4 струя прошла по лучу лазера ~8,5 см и стало образовываться обычное шаровое образование, искаженное (из-за

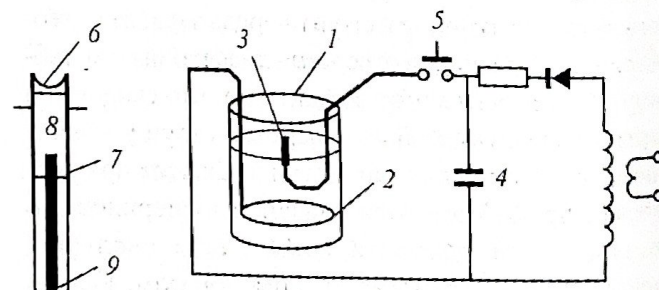


Рис. 1. Схема установки для получения долгоживущих плазмоидов. 1 – полиэтиленовая емкость, 2 – кольцевой электрод, 3 – центральный электрод, 4 – конденсаторная батарея емкостью 0,6 мФ, 5 – разрядник, 6 – капля воды или водной суспензии, 7 – кварцевая трубка, 8 – угольный или металлический электрод, 9 – медная шина.



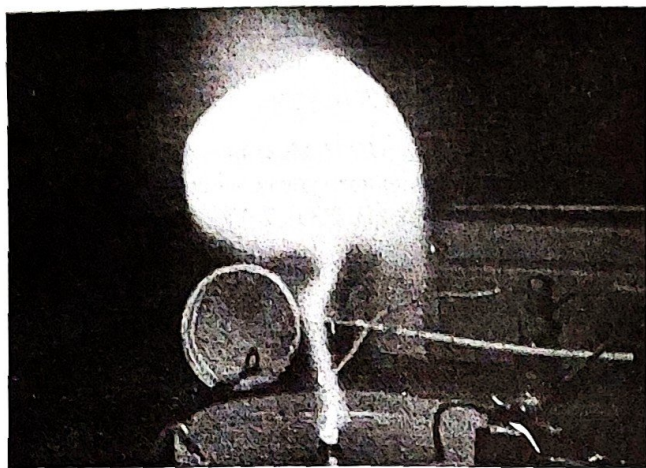


Рис. 2. Лидерный канал, формирующий шаровое образование.

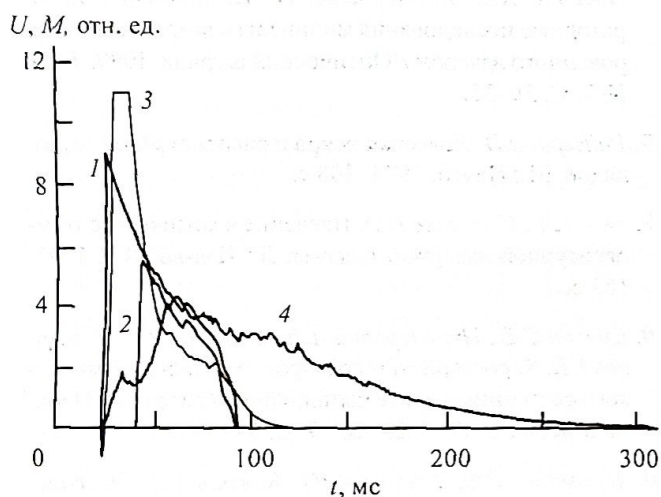


Рис. 3. Кинетики напряжения на разрядном промежутке (1) и на зонде (2), светимости струи (3) и шарового образования (4).

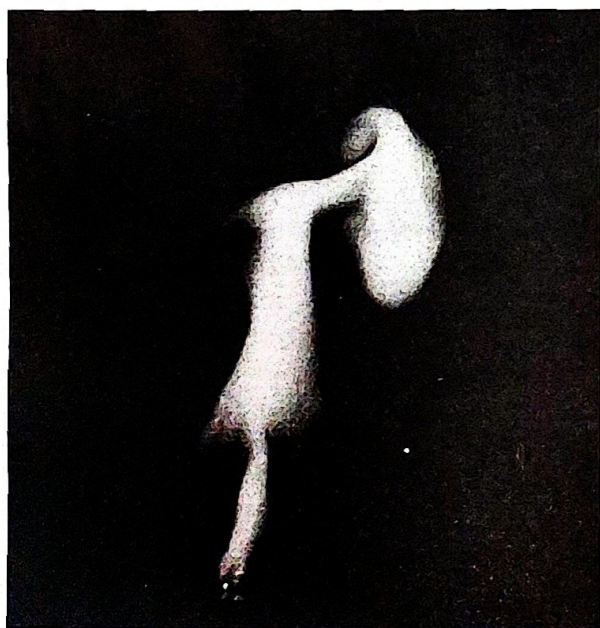


Рис. 4. Движение лидерного канала (струи) по лучу лазера с формированием шарового образования.

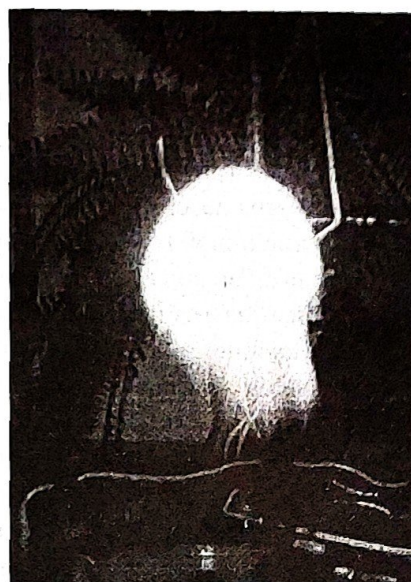


Рис. 5. Стандартное шаровое образование.

движения по горизонтали) по отношению к обычному шаровому образованию. Обычное шаровое образование показано на рис. 5.

### Обсуждение

Как справедливо упоминается в [5], применять результаты модельных экспериментов непосредственно к лазерному управлению молнией трудно, так как характеристики разряда на коротких промежутках совершенно отличны от характеристик разрядов молний. Действительно, из сравнения предполагаемых тока и поля в молнии ( $\sim 100$  А,  $\sim 3$  В см $^{-1}$ ) и в лабораторной искре ( $\sim 1$  А,  $\sim 300$  В см $^{-1}$ ) видна некорректность моделирования этого процесса. С другой стороны, в [2] показано, что “лидерный канал похож на канал дуги... При токе  $\sim 100$  А плазма канала дуги поддерживается полями в несколько вольт на сантиметр. Именно таковы токи лидера у молнии”. Даже у воздушной дуги атмосферного давления при токах  $\sim 1$  А поле  $\sim 100$  В см $^{-1}$ . Создаваемые нами разряды (струи) с полем менее 8 В см $^{-1}$  (максимальный ток в разрядном промежутке 50–60 А) более близки к моделированию лидерного канала линейной молнии, чем типичные разряды для исследования этих процессов (см., например, [6]).

В первом приближении лидерный канал в [2] принимается как идеальный проводник. Мы ведем исследование по уточнению поля в разряде (струе). Это актуально с точки зрения предположения в [2] о причине случайного рождения новых лидерных головок: “Поверхность эквипотенциального плазменного проводника – канала – обладает неустойчивостью. На случайном остром выступе возникает усиленное вдоль острия поле. Под его действием выступ начинает расти, причем в любом направле-



нии, в том числе и под значительным углом к слабому внешнему полю». Вышесказанное, надо полагать, объясняет то, почему наш лидерный канал изменяет направление и идет под углом  $\sim 90^\circ$  к своему первоначальному движению (рис. 4). Слабое гармоническое воздействие луча лазера на лидерный канал вызывает образование новой головки, которая продолжает движение под «значительным углом».

Эффект движения плазмы навстречу световому лучу является проявлением общей тенденции распространения разрядов на падающее электромагнитное поле [7]. «Область, занимаемая плазмой, увеличивается, как правило, навстречу лазерному излучению» [8]. Лидерный характер движения нашего образования подтверждается в [9], а взаимодействие с лазерным лучом – в [10]. Нужно учесть, что в работах [9, 10] эксперименты велись на установках, создающих подобный разряд на 2 порядка слабее, чем представленный в данной работе. Естественно, полученные там результаты менее определенные. Сравнение разрядов дано в [11].

По нашим данным (рис. 3), лидерный канал (струя) имеет очень резкую границу (менее 1 мм) и поле в этом слое может составить (на высоте 15 см)  $\sim 30$  кВ см $^{-1}$ .

### Выводы

Благодаря предположению о неустойчивости поверхности эквипотенциального лидерного канала [2], удалось задать «управляющее» воздействие на электрический разряд, моделирующий линейную молнию, с помощью слабых гармонических колебаний (лазером). Предполагается использовать данный механизм в управлении линейными молниями.

Авторы выражают искреннюю благодарность А.И. Егорову и С.И. Степанову за участие в экспериментах, а также благодарны А.И. Григорьеву за ценные замечания.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Шабанов Г.Д. Оптические свойства светящихся образований // Письма в ЖТФ. 2002. Т. 28. В. 4. С. 81–86.
2. Базелян Э.М., Райзер Ю.П. Механизм притяжения молнии и проблема лазерного управления молнией (Физика наших дней) // УФН. 2000. Т. 170. № 7. С. 753–769.
3. Стариков А.Д., Резунков Ю.А. Управление разрядом молнии с помощью лазерного излучения // Оптический журнал. 1999. Т. 66. № 3. С. 15–16.
4. Мейерович Б.Э. На пути к осуществлению электромагнитного коллапса // УФН. 1986. Т. 149. В. 2. С. 221–257.
5. Мезуму Мики, Ацуши Уада, Такатоши Шиндо. Характеристики управляемых лазером разрядов в длинных воздушных промежутках // Оптический журнал. 1993. Т. 66. № 3. С. 25–29.
6. Рэмбо П., Биггерт Дж., Кубечек В., Шварц Дж., Берштейн А., Диле Ж., Бернштейн Р., Шталькофф К. Лабораторные исследования молниевых разрядов, инициированного лазером // Оптический журнал. 1999. Т. 66. № 3. С. 30–35.
7. Райзер Ю.П. Лазерная искра и распространение разрядов. М.: Наука, 1974. 308 с.
8. Мак А.А., Соловьев Н.А. Введение в физику высокотемпературной лазерной плазмы. Л.: Изд-во ЛГУ, 1991. 152 с.
9. Емелин С.Е., Пирозерский А.Л., Семенов В.С., Скворцов Г.Е. Характеристики распространения динамического состояния в струе капиллярного разряда // Письма в ЖТФ. 1997. Т. 23. В. 19. С. 54–59.
10. Авраменко Р.Ф., Гридин А.Ю., Климов А.И., Николаева В.И. Экспериментальное изучение энергоемких компактных плазменных образований // Шаровая молния в лаборатории. М.: Химия, 1994.
11. Шабанов Г.Д., Жеребцов О.М. Экспериментальное моделирование аналога шаровой молнии // Сб. трудов 10-й Российской конференции по ХТЯ и ШМ. Дагомыс, Сочи. 29.09.–6.10.2002. С. 285–301.