

разделен на участки протяженностью  $\frac{\tau}{2}$ , в пределах которых поочередно сохраняется форма колебаний, характерная для видов  $m=0$  и  $m=1$ . Величина  $\tau$  находится в обратной зависимости от коэффициента диссипативной связи между системами  $K$ . Аналогично, например, в области, расположенной между линиями  $\mathcal{L}'_3, \mathcal{L}''_3$ , в спектре „раздвоены“ нечеткие субгармоники  $\frac{f_0}{8}$  и реализуются биения между видами колебаний с индексами  $m=0$  и  $m=4$ . Таким образом, квазипериодические движения в рассматриваемой системе можно трактовать как своего рода нелинейные режимы биений между видами колебаний, которые при  $K \rightarrow 0$  могли существовать независимо.

#### Л и т е р а т у р а

- [1] Yuan J.-H., Tung M., Feng D.H., Narducci L.M. Phys. Rev. Lett., 1983, v. 28, p. 1662-1666.
- [2] Кузнецов С.П. - Изв. вузов, Радиофизика, 1985, т.28, с. 991-1007.
- [3] Пиковский А.С. - Изв. вузов, Радиофизика, 1986, т. 29, с. 1438-1446.
- [4] Астахов В.В., Безручко Б.П., Селезнев Е.П. - Письма в ЖТФ, 1987, т. 13, с. 449-452.
- [5] Riela G. - J. Stat. Phys. 1985, v. 41, p. 201-224.
- [6] Афраймович В.С., Шильников Л.П. Инвариантные двумерные торы, их разрушение и стохастичность. В кн.: Методы качественной теории дифференциальных уравнений. Горький, 1983, с. 3-25.
- [7] Анищенко В.С. - ЖТФ, 1986, т. 56, с. 225-237.

Институт радиотехники  
и электроники АН СССР  
(Саратовский филиал)

Поступило в Редакцию  
30 июля 1987 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 1

12 января 1988 г.

#### О СПОСОБНОСТИ ЛАЗЕРНОЙ ИСКРЫ НАПРАВЛЯТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАЗРЯД

Э.И. Асиновский, Л.М. Васильяк,  
О.П. Нестеркин

Электрический разряд вдоль лазерной искры исследовался с целью коммутации разрядных промежутков длиной десятки сантиметров при напряжениях между электродами во много раз меньших, чем напряжение пробоя [1]. Электрический разряд развивается вдоль очагов оптического пробоя в область слабого поля, причем, как показано в [2], направление разряда может составлять угол  $30^\circ$

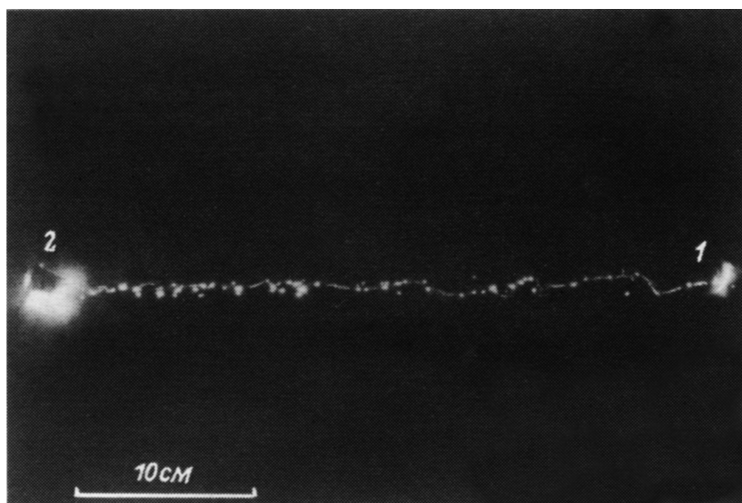


Рис. 1. Электрический разряд вдоль лазерной искры. 1 – высоковольтный электрод, 2 – заземленный электрод. Длина разрядного промежутка 40 см, луч лазера направлен справа налево.

с силовыми линиями поля в случае однородного электрического поля в промежутке и большее значение для неоднородного поля [3]. При исследованиях направляемых электрических разрядов предполагалось, что они развиваются в виде ионизирующих волн [4]. В настоящей работе была исследована эта аналогия и показана возможность изменения направления разряда под прямым углом к линиям максимальной напряженности электрического поля.

Лазерная искра длиной от 10 до 50 см создавалась фокусировкой излучения неодимового лазера с модулированной добротностью (70 Дж, 50 нс). Импульс напряжения отрицательной полярности амплитудой 250 кВ, длительностью 35 нс и фронтом 4 нс подавался на сферический электрод диаметром 3 см после лазерного импульса через время задержки от 1 до 3000 мкс. Разряд регистрировался фотоаппаратом с открытым затвором. Пространственно-временная динамика развития разряда исследовалась с помощью пяти широкополосных емкостных делителей напряжения, расположенных вдоль лазерной искры на расстоянии 0, 10, 20, 30 и 40 см от высоковольтного электрода. Сигналы подавались на шестилучевой осциллограф 6 ЛОР-04. Заземленный электрод при этом находился на таком расстоянии, чтобы разряд на него не замыкался, т. е. с помощью емкостных делителей был исследован незавершенный разряд. Если лазерная искра отсутствует, то вблизи высоковольтного электрода наблюдается только слабосветящаяся корона. При наличии лазерной искры электрический разряд распространяется с максимальными скоростями при задержках 10–150 мкс, что обусловлено

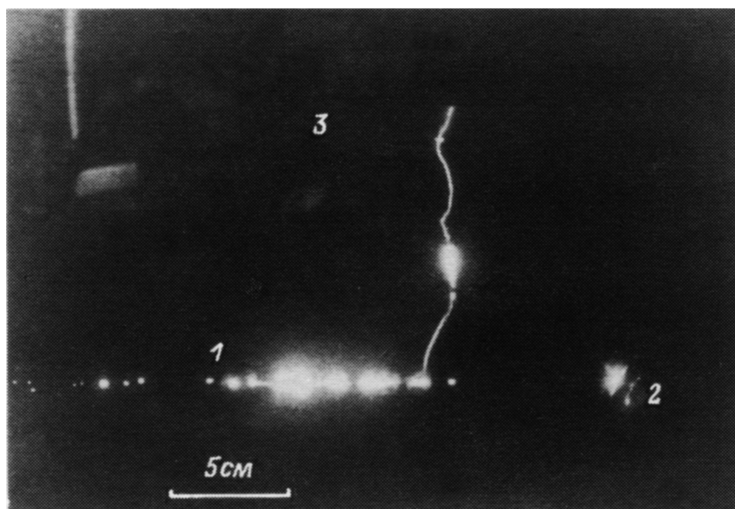


Рис. 2. Электрический разряд, направленный по ломаной траектории. 1 - высоковольтный электрод, 2 - заземленный шар диаметром 5 см, 3 - заземленная плоскость с отверстием для лазерного луча. Лазерные лучи направлены слева направо и сверху вниз.

газодинамической эволюцией лазерной искры. Ниже приведены результаты, полученные при оптимальных временах задержки.

Анализ сигналов с емкостных делителей показал, что разряд вдоль лазерной искры развивается в виде ионизирующей волны потенциала, аналогично волновому пробое в длинных трубках [4]. Ток разряда при этом замыкается на землю через токи смещения. Скорость распространения волны потенциала составляет  $3 \cdot 10^9$  см/с, что на порядок превышает скорость, зафиксированную в [5]. Фронт волны распространяется в течение 6–13 нс, проходя расстояние 20–40 см. Затем устанавливается стационарное распределение потенциала вдоль канала разряда. Длина фронта по мере движения увеличивается от 10 см в начале распространения до 15–20 см при его остановке. Увеличение длины фронта приводит к уменьшению напряженности электрического поля в нем и значительному уменьшению скорости его распространения, что в исследуемом масштабе времен воспринимается как остановка. В [5] длительность фронта импульса составляла 100–200 нс, поэтому и скорость была на порядок меньше при тех же энергиях лазерного излучения на единицу длины лазерной искры.

Скорость распространения разряда увеличивается при возрастании погонной плотности энергии, вкладываемой в лазерную искру. При фокусировке лазерного излучения с энергией 70 Дж в разрядный промежуток длиной 10 см скорость развития разряда составляла  $(2 \pm 1) \cdot 10^{10}$ . Емкостные делители в этом эксперименте отсутство-

вали, а скорость измерялась по сигналу с токового шунта в цепи заземленного электрода.

Эксперимент по пропусканию тока через лазерную искру при напряжении несколько вольт показал, что последняя не является сплошным каналом с высокой проводимостью, в отличие от [6]. Столь высокая скорость разряда при большей плотности лазерной энергии, по-видимому, обусловлена низкой плотностью газа в канале лазерной искры.

При одинаковых энергиях лазерного излучения на единицу длины и лазерной искры скорость фронта разряда, измеренная по сигналам с емкостных делителей, совпадает со скоростью, измеренной по сигналу с токового шунта в цепи заземленного электрода, что свидетельствует о незначительном влиянии емкостных делителей на распространение разряда. Максимальная длина промежутка, замыкаемого направляемым разрядом, составила 40 см при энергии лазера 70 Дж (рис. 1).

С помощью лазерной искры можно создать электрический разряд с ломаной траекторией. Для этого два лазерных луча фокусировались линзами с фокусным расстоянием 50 см, создавая две взаимно перпендикулярные лазерные искры с общей длиной около 20 см, по которым распространяется электрический разряд (рис. 2). Вблизи точки поворота он движется перпендикулярно линиям напряженности электрического поля, создаваемого высоковольтным электродом, что свидетельствует об определяющем влиянии поля фронта на его распространение.

## Л и т е р а т у р а

- [1] Д а н и л о в О.Б., Т у л ь с к и й С.А. - ЖТФ, 1978, т. 48, № 10, с. 2040-2043.
- [2] А х м а н о в А.Г., Р и в л и н Л.А., Ш и л ь д я е в В.С. - Письма в ЖЭТФ, 1968, т. 8, № 8, с. 417-419.
- [3] К о о р м а n D., G r e g J., P e s a c h e r R., A l i A., V i t o v i t s k y I., F e r n s l e r R. - XIV th International Conferens on Phenomena in Ionized Gases. Grenoble (France) 9-13 July, 1979, Joznal de Physique, tome 40, Colloque C-7, supplement an n<sup>o</sup> 7, p. 419-420.
- [4] А с и н о в с к и й Э.И., В а с и л ь я к Л.М., М а р к о в е ц В.В. - ТВТ, 1983, т. 21, № 3, с. 577-590.
- [5] К о о р м а n D.W., S a u m K.A. - J. Appl. Phys., 1973, v. 44, N 12, p. 5328-5336.
- [6] М а р и н М.Ю., П и л ь с к и й В.И., П о л о н с к и й Л.Я., П я т н и ц к и й Л.Н., Ш е й н д л и н А.Е. - Письма в ЖТФ, 1984, т. 10, № 21, с. 1322-1325.