

НЕПРЕРЫВНО ГОРЯЩИЙ ОПТИЧЕСКИЙ РАЗРЯД

*Н.А.Генералов, В.П.Зимаков, Г.И.Козлов,
В.А.Масюков, К.П.Райзер*

В этой статье сообщается о полученной впервые постоянно горящей плазме, которая поддерживается лучом лазера на CO_2 , работающего в непрерывном режиме. Плазма горит в середине газового объема, вдали от всех твердых поверхностей. Таким образом, экспериментально подтверждена возможность создания "оптического плазмотрона", теоретически рассмотренная в [1].

Данная работа в известном смысле примыкает к исследованиям П.Л.Капицы [2], в ходе которых получен непрерывный сверхвысокочастотный разряд, свободно парящий в резонаторе: здесь для непрерывного поддержания плазмы использованы более высокие частоты ($\lambda = 10,6 \text{ мк}$).

Существенно, что интенсивность света, питающего разряд, на два порядка меньше пороговой для пробоя холодного газа, и разряд в луче зажигается путем создания начальной поглощающей плазмы при помощи постороннего источника. Возможность принудительного поджигания лазерной искры при допробойных интенсивностях света отмечалось в [3], где обсуждался вопрос об иницировании и пределах "детонации" луча. Она была осуществлена в опытах [4], сделанных с миллисекундным импульсом неодимового лазера, где был обнаружен другой режим распространения лазерной искры - "медленное горение" луча, требующий меньшей мощности, чем "детонация".

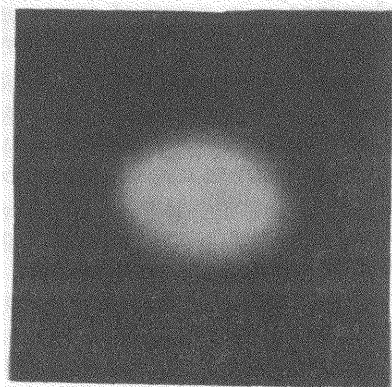
Для поддержания плазмы в наших опытах служил промышленный лазер "Лунд 100", мощность которого путем некоторых усовершенствований была повышена до 150 *вт*. Ток разряда в лазере - 100 *ма*; диаметр луча - 2 *см*. Через соляное окно луч поступал в стальную кювету, наполненную ксеноном при давлениях до 10 *атм*, отражался назад сферическим зеркалом с $f = 2,5 \text{ см}$ и фокусировался в середине сосуда в кружок диаметром 0,1 *мм*.

Поджигание стационарного разряда осуществлялось при помощи пробоя газа излучением другого лазера на CO_2 , работающего в режиме модулированной добротности и дающего импульсы с мощностью 10 *квт*, длительностью 0,3 - 1,5 *мксек* и частотой повторения 50 - 250 *гц*. Этот лазер использовался в работе [5] для исследования самого явления пробоя инфракрасным излучением.

Луч поджигающего лазера через другое соляное окно поступал в кювету под прямым углом к лучу лазера, питающего плазму, и фокусировался назад сферическим зеркалом с $f = 1,5 \text{ см}$ в кружок диаметром $0,08 \text{ мм}$. Фокусы обоих зеркал тщательно совмещались, в противном случае непрерывный разряд, который всегда начинается в фокусе, не возникал. Плазма пробоя существует в течение нескольких (до 10) микросекунд после каждого импульса и размеры ее существенно меньше, чем размеры стационарной плазмы.

Примененная система поджигания, вследствие ее относительной сложности, возможно, не перспективна для приложений. Однако она очень удобна для экспериментирования, так как, во-первых, периодически поджиг может работать сколь угодно долго, и, во-вторых, мы гарантированы от попадания в оптический разряд продуктов разрушения электродов, как получалось бы при поджигании обычным разрядом.

После зажигания стационарного разряда плазмой пробоя луч пробивающего лазера можно было перекрывать, и разряд при этом продолжал гореть точно так же, как и при непокрытом луче. Горение очень стабильное при определенных условиях, могло продолжаться долго, 10 мин и более. Фактически оно прекращалось либо вследствие расстройки питающего лазера, поскольку при нашей мощности мы находились вблизи самого порога для поддержания разряда, либо прерывалось намеренно во избежание сильного перегрева кюветы, которая не охлаждалась.



Плазма светится ослепительным белым светом, ее форму, динамику (в случае неустойчивости), и распределение яркости удобно рассматривать, проектируя светящееся пятно на удаленный экран. Фотография стационарного разряда показана на рисунке.

Устойчивое горение разряда в кювете при конкретных условиях опыта наблюдалось при давлениях от 3 до 4 атм . Ниже 3 атм разряд вообще не зажигался, хотя поджигающий пробой происходил вполне стабильно — не хватало мощности питающего лазера. При давлении $3,5 \text{ атм}$, оптимальном для устойчивости, плазма располагается более или менее симметрично относительно точки фокуса, вытягиваясь вдоль оси луча. Продольный размер ее при этом 1 мм , максимальный диаметр — $0,6 \text{ мм}$. Симметрия свидетельствует о том, что плазма не полностью поглощает лазерный луч.

При повышении давления начиная от 4 атм , разряд становится асимметричным, вытягиваясь в сторону зеркала, навстречу питающему лучу, что связано с увеличением непрозрачности плазмы. Однако при таких условиях разряд чаще всего быстро гаснет. Быть может здесь возникают эффекты неустойчивости горения.

Оценки, сделанные с помощью формулы для коэффициента поглощения инфракрасного лазерного излучения показывают, что температура плазмы равна примерно 14000°K (в газах с потенциалом ионизации большим, чем у ксенона, температура будет выше).

Описанный выше эксперимент имеет принципиальное значение в том отношении, что теперь вопрос о создании аналогичной устойчивой, пространственно локализованной плазмы в свободном воздухе, а также вопрос об увеличении размеров плазмы, по существу сводится только к вопросу о мощности питающего лазера (в нашем опыте мощность была весьма скромной).

Существенно, что имеется возможность непрерывного перемещения однажды зажженного разряда в пространстве при достаточно медленном движении питающего плазму луча. Скорость этого движения не должна только превышать некоторого предела, диктуемого существованием "нормальной скорости распространения разряда", аналогичной скорости пламени при обычном горении [6].

Результаты проводимых измерений и теоретических расчетов явления будут даны в последующих публикациях.

Авторы глубоко благодарны А.Э. Абалиеву за большую работу, проделанную в ходе экспериментов. Благодарим также Д.И.Ройтенбурга за обсуждения.

Институт проблем механики
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
1 апреля 1970 г.

Литература

- [1] Ю.П.Райзер. Письма в ЖЭТФ, 11, 195, 1970.
 - [2] П.Л.Капица. ЖЭТФ, 57, 1801, 1969.
 - [3] Ю.П.Райзер. Письма в ЖЭТФ, 7, 73, 1968.
 - [4] Ф.В.Бункин, В.И.Конов, А.М.Прохоров, В.Б.Федоров. Письма в ЖЭТФ, 9, 609, 1969.
 - [5] Н.А.Генералов, В.П.Зимаков, Г.И.Козлов, В.А.Масюков, Ю.П. Райзер. Письма в ЖЭТФ, 11, 343, 1970.
 - [6] Ю.П.Райзер. ПМТФ, №3, 3, 1968; УФН, 99, 687, 1969.
-