

03;04;12

©1993

АНОМАЛЬНЫЕ ВОЛНОВЫЕ И ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДОЛГОЖИВУЩИХ ЭНЕРГОЕМКИХ ПЛАЗМОИДОВ

А.И.Климов, Г.И.Мишин

В последнее время усилился интерес к изучению долгоживущих энергоемких плазмидов (ДЭП), генерируемых эрозионными импульсными плазмотронами, в связи с возможностью решения с их помощью ряда прикладных задач, а также попытками моделирования природной шаровой молнии [1-3].

Настоящая работа посвящена исследованию некоторых необычных свойств таких ДЭП.

Из известных вариантов эрозионных плазмотронов мы выбрали простую систему, показанную на рис. 1. Особенностью используемого плазмотрона являлось то, что его канал покрывался стеарином или воском, благодаря чему возникающая плазма содержала относительно большое количество молекул этих легкоуносимых углеродосодержащих материалов. Плазмотрон был установлен в откачиваемой камере, давление воздуха P_0 в которой могло уменьшаться от атмосферного до форвакуумного.

В проведенных нами экспериментах запасаемая в емкостном накопителе энергия составляла 5.6 кДж, максимальное значение амплитуды тока разряда равнялось 100 А, длительность разряда ~ 30 мс. Инициирование разряда производилось электрическим взрывом тонкой проволоочки, включенной между электродами в канале плазмотрона.

Согласно сообщению [4] наличие углеродосодержащих веществ в газоразрядной плазме с большой эффективностью приводит к образованию в ней фуллеренов типа C_{60} , C_{70} . Легирование таких сферических молекул углерода атомами металла, поступающими с электродов, способствует возникновению в построенных на базе этих структур органических полимерах высокой проводимости (на уровне хорошей проводимости металлов), возможно, и сверхпроводящих свойств, а также значительной остаточной намагниченности (близкой к величине остаточной намагниченности ферритов). Таким образом, эрозионная полимерная фуллеренная плазма, представляющая собой слабоионизованный газ, содержащий тонкие полимерные нити, является средой, в которой можно ожидать существование коллективных плазменных и когерентных квантовых процессов [5]. По-видимому, создавая с помощью ВЧ трансформатора (сферический электрод которого покрывался либо стеарином, либо воском) именно такую плазму, Н.Тесла [6] получал искусственные шаровые молнии. Аналогичные выводы были недавно сделаны и авторами работы [7].

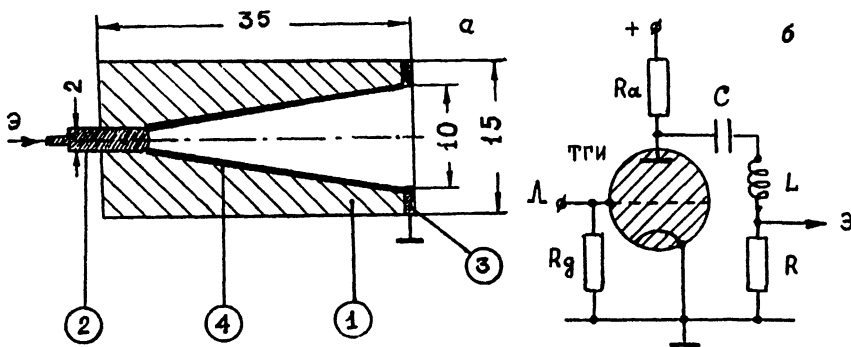


Рис. 1. Эрозионный импульсный плазматрон.

a — генератор долгоживущих энергоемких плазмодов: 1 — корпус (капролон), 2 — электрод (анод), 3 — электрод (катод), 4 — аблирующее покрытие (стеарин, воск). b — блок импульсного питания: ТГИ — тиратрон, R_a — зарядное сопротивление, C — емкостной накопитель энергии, L — индуктивность (250 МкГн), R — сопротивление нагрузки (51 ком).

Генерируемые нашим плазматроном ДЭП представляли собой прямые слаборасходящиеся плазменные стержни, структура и размеры которых зависели от давления воздуха P_0 в рабочей камере. Оценки показали, что масса содержащегося в ДЭП аблирующего материала составляла около 10% от массы заключенного в нем воздуха.

При $P_0 = 760$ Тор ДЭП имели длину около 40 см и диаметр ~ 4 см. Была отчетливо видна их двойная структура: расположенный в центре ярко-белый Kern диаметром ~ 10 см и покрывавшая его плазменная оболочка ("шуба") сине-фиолетового цвета диаметром ~ 4 см. В головной части ДЭП образовывался "мохнатый" плазмод эллипсоидальной формы (диаметр ~ 7 , длина ~ 10 см), состоящий из множества ветвящихся плазменных жгутов длиной до 10 см. Время жизни ДЭП ~ 0.5 с. Скорость ДЭП на выходе из плазматрона не превышала 100 м/с. По мере продвижения плазмоида его скорость уменьшалась.

При $P_0 = 30$ Тор стержень был существенно длиннее и достигал 2–3 м, при этом диаметр уменьшался до ~ 1 см. Диаметр сферического плазмоида, существовавший на конце стержня, составлял ~ 5 см. Стержень не имел структуры и наблюдался как однородное образование фиолетово-белого цвета с временем жизни ~ 1 с. Скорость ДЭП на выходе из плазматрона оказывалась ≤ 300 м/с. Измерения показали, что скорость звука в стержне равна ~ 1600 м/с.

После прекращения свечения ДЭП в воздухе оставался от него "дымчатый" след, состоящий из длинных (~ 1 см) очень тонких нитей (диаметром ~ 10 мкм), похожих на паутину или пух, которые хорошо визуализировались при лазерной подсветке, причем диффузия в следе практически отсутствовала в течение ~ 10 с, по истечении которых внезапно возникали изгибные коллективные неустойчивости, приводившие к его быстрому распаду. При взаимодействии ДЭП с металлическими мишенями происходило

“взрывное” выделение энергии, сопровождавшееся значительными повреждениями мишеней.

Если при $P_0 = 760$ Тор на пути ДЭП устанавливался предварительно охлажденный жидким азотом диэлектрический экран, то на нем появлялся “отпечаток” зерна в виде круглого пятна диаметром ~ 1 см и “шубы” в виде менее интенсивного широкого кольца, внешним диаметром ~ 4 см.

Волновые свойства ДЭП исследовались в экспериментах по их происхождению через отверстия в охлажденных диэлектрических экранах.

В первой серии опытов ДЭП сначала пропусклся через отверстие диаметром 13 мм в диэлектрическом экране, а затем попадал на второй экран, расположенный поперек пути движения ДЭП на расстоянии 5 см от первого.

В этом случае вещество ДЭП осаждалось на экране, образуя систему концентрических окружностей, причем в центральной зоне вещество отсутствовало.

Исходя из геометрии данного эксперимента и используя в качестве аналога дифракцию Френеля, была оценена присущая ДЭП длина волны λ , которая оказалась равной ~ 7.5 мм, т.е. близкой к величине диаметра зерна.

Основываясь на результатах упомянутых исследований, для реализации второй серии экспериментов была изготовлена дифракционная решетка с $d = 14$ мм и расстоянием между серединами щелей 16 мм. ДЭП проходил через такую решетку и можно было наблюдать его дифракцию.

В свою очередь, когда экран представлял собой дифракционную решетку с шириной щелей $d = 3$ мм и расстоянием между серединами щелей 5 мм, зерно ДЭП не проникало через решетку, а растекался тонким слоем по наветренной стороне решетки. Что касается “шубы”, то она частично проходила через решетку.

Зарегистрированные экспериментальные факты со всей очевидностью указывают на наличие коллективных волновых свойств ДЭП, природа которых должна явиться предметом специальных исследований.

Аномальные газодинамические свойства ДЭП были обнаружены в опытах по их взаимодействию со сверхзвуковым поперечным потоком воздуха.

Схема проведения таких экспериментов на сверхзвуковой аэродинамической трубе [8] с продолжительностью стационарного течения до 2 с показана на рис. 2. Воздух в рабочей камере трубы объемом ~ 2 м³ откачивался до давления $P_0 = 20-40$ Тор, после чего открывался управляемый электромагнитом клапан (4) и воздух из атмосферы через сопло (5) поступал внутрь рабочей камеры. На выходе из сопла получалась сверхзвуковая струя (3) диаметром ~ 3.6 см, движущаяся со скоростью ~ 470 м/с.

Плазмотрон устанавливался в вертикальном положении ниже струи и ДЭП выпускался перпендикулярно оси струи вверх, причем скорость ДЭП в области встречи со струей в этих экспериментах была равна приблизительно 50 м/с.

Картина взаимодействия ДЭП со сверхзвуковой струей представлена на рис. 3. Видно, что ДЭП на границе струи при входе в нее расщеплялся на два плазмоида (7 и 8), причем один из них (7),

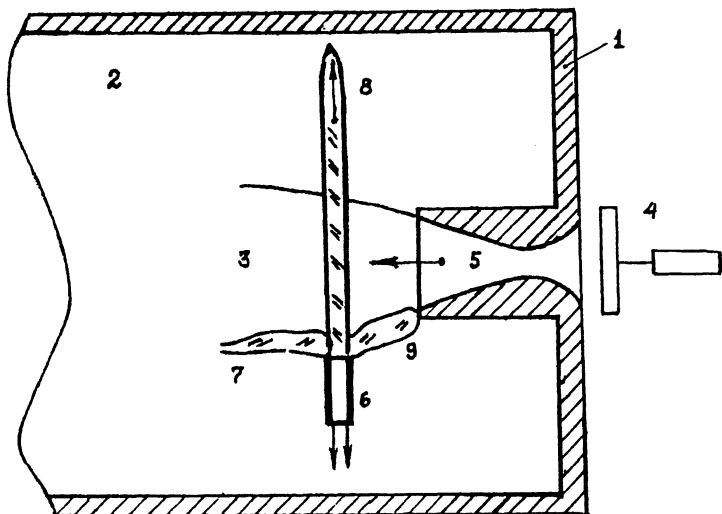


Рис. 2. Схема взаимодействия эрозионного плазмоида со сверхзвуковой струей воздуха.

1 — аэродинамическая труба, 2 — рабочая камера, 3 — сверхзвуковая струя, 4 — электромагнитный клапан, 5 — сверхзвуковое сопло, 6 — эрозионный плазмод, 7 — сносимый сверхзвуковым потоком плазмод, 8 — плазмод, который не сносится сверхзвуковым потоком, 9 — растекание плазмы навстречу потоку воздуха.

как и должно было быть, сносился потоком газа, а второй (8), что было совершенно неожиданным, — нет.

Следует обратить внимание на то, что плазмод (8) оставался строго коллимированным. Этот плазмод имел ярко-фиолетовый цвет, в то время как сносимый и деформируемый потоком плазмоид (7) был ярко-белого цвета.

Отметим также существование такого странного явления, как растекание плазмы (9) вдоль границы сверхзвуковой струи вверх по направлению к соплу.

Зарегистрированные особенности поведения ДЭП аналогичны наблюдавшимся для природных шаровых молний: способность двигаться против и через поток газа, сопровождать самолеты, распространяться по дымоходам как по волноводам, проникать как единое целое через форточки и малые отверстия.

Эффект аномального прохождения плазмоида (8) через сверхзвуковую струю газа исчезал при увеличении тока разряда в плазмотроне до ~ 50 А.

Упругие свойства ДЭП наблюдались в экспериментах по его косому падению на плоскую диэлектрическую стенку, в которых ДЭП отражался от нее под углом, близким к углу падения.

Есть основания считать, что ДЭП имеет также и поверхностное натяжение. Об этом свидетельствует коллинеарность формы ДЭП, вытекающего из эрозионного плазмодогенератора (в отличие от расходящихся затопленных газовых струй, генерируемых обыч-

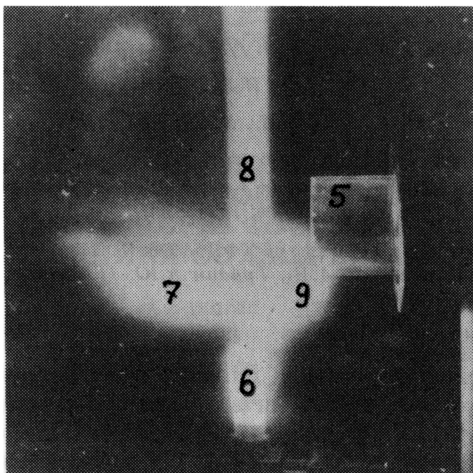


Рис. 3. Фотография картины взаимодействия эрозионного плазмоида с поперечной сверхзвуковой струей воздуха.

Давление воздуха в рабочей камере 30 Тор, сила тока разряда в плазмотроне 40 А; скорость сверхзвуковой струи воздуха ~ 470 м/с, статическое давление в струе ~ 100 Тор.

ными плазмотронами), и появление “гигантских” изгибных деформаций ДЭП в момент его спонтанного разрушения.

Обнаруженные свойства ДЭП позволяют сделать вывод, что они состоят из двух взаимно проникающих плазменных структур, одна из которых подобна обычному нагретому газу, и следовательно, легко выдувается из ДЭП потоком воздуха, а вторая обладает аномальными “сверхпроникающими” свойствами и не сносится даже сверхзвуковой поперечной струей.

Необычное поведение ДЭП можно объяснить возникновением в нем в процессе формирования в плазмотроне “жесткого каркаса” из длинных и тонких полимерных фулеренных волокон, удерживающего ДЭП от деформаций и разрушений потоком воздуха, поскольку аэродинамическое сопротивление такого каркаса относительно мало.

Очевидно, что если отверстия в экране будут больше, чем поперечное сечение каркаса, то ДЭП будут проходить через них, в противном случае прохождение ДЭП без нарушений структуры каркаса невозможно. Как уже было указано выше, после погасания свечения ДЭП в воздухе на месте его существования визуализируются тонкие нити. Кроме того, их легко можно наблюдать, направляя ДЭП в кювету с жидким азотом. В этих экспериментах после распада ДЭП кювета наполнялась большим количеством темных полимерных нитей, которые затем спонтанно собирались и скручивались в клубки диаметром 1–5 мм и погружались на дно кюветы.

Список литературы

- [1] Адрианов А.М., Синицын В.И. // Письма в ЖТФ. 1976. Т. 24. Вып. 2. С. 67-70.
- [2] Александров А.Ф., Тимофеев И.Б., Юсупалиев У. и др. // ТВТ. 1988. Т. 26. Вып. 4. С. 639-642.
- [3] Авраменко Р.Ф., Баттин Б.И., Николаева В.Н. и др. // ЖТФ. 1990. Т. 60. Вып. 12. С. 57-73.
- [4] В мире науки. 1991. Вып. 12. С. 5-11.
- [5] Bouchoule A., Plain A. et al. // J. Appl. Phys. 1991. V. 70. N 4. P. 1991-2000.
- [6] Tesla N. Colorado Springs Notes: 1895-1900 / Ed. by A.Marincic. Belgrad: Nolit, 1978.
- [7] Корум К.Л., Корум Дж.Ф. // УФН. 1990. Т. 160. Вып. 4. С. 47-57.
- [8] Мишин Г.И., Климов А.И., Гридин А.Ю. // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. Вып. 15. С. 86-92.

Физико-технический институт
им. А.Ф.Иоффе РАН,
Санкт-Петербург

Поступило в Редакцию
2 июня 1993 г.

