

С. 3536

Дубна - 65

A-655

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

1987



А.Д. Андреев, В.П. Саранцев

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ
ВЫСОКОЧАСТОТНОГО РАЗРЯДА

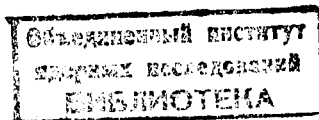
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

1965

А.Д. Андреев,^{х)} В.Л. Сараяев

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ
ВЫСОКОЧАСТОТНОГО РАЗРЯДА

х) Научно-исследовательский институт ядерной физики
Московского Государственного Университета.



30.05/1 чр.

В в е д е н и е

Если к электродам, приложенным к диэлектрической газоразрядной камере, подведено высокочастотное (0,01–50 Мгц) напряжение, то светящаяся плазма отодвигается от стенки камеры и там образуется темная зона /1-4, 11,14/.

Изучая условия, при которых происходит отделение светящейся плазмы от стенки, Вуд /1/ пришел к выводу, что основную роль в ее локализации играют поверхностные заряды. Локализация светящейся плазмы в /3/ объясняется на основе механизма возникновения трехмерного потенциального барьера, удерживающего ионы в разрядном пространстве. В /4/ локализация в.ч. разряда при давлениях, больших на два порядка, чем в /1-3/, качественно объясняется влиянием сил в.ч. удержания /5/ и постоянной составляющей поля пространственных зарядов /6,7/, возникающих в результате недиффузионного увода электронов из области разряда на стенку (или электроды) полем высокой частоты. В /11-13/ стягивание плазмы в область минимума поля и сопровождающие эффекты объясняются возникновением сил /5/, действующих на электроны и ионы плазмы. В /14/ показывается, что в опытах, подобных /11/, отжимающее плазму поле имеет постоянную составляющую, которая отталкивает электроны от стенки, где образуется несветящийся слой положительных ионов, и стягивание плазмы не связано с механизмом, описанным в /5/.

В связи с этим дальнейшее исследование явления стягивания плазмы в.ч. полем представляется целесообразным.

Эксперимент

1. На рис. 1 показана блок-схема установки, используемой в экспериментах. Плазма создавалась в разрядной трубке (8) в.ч. полем проволочного витка (8), включенного последовательно в анодный контур лампового генератора (1). Разрядная трубка из молибденового стекла находилась под непрерывной откачкой и при непрерывной подаче рабочего газа через игольчатый натекатель, позволяющий устанавливать давление газа в трубке в пределах от 20 до $1 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст. Определение характеристик

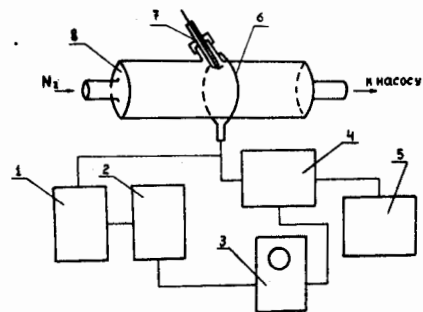


Рис. 1. Блок-схема установки.

- 1 - генератор с ударным возбуждением,
- 2 - генератор прямоугольных импульсов,
- 3 - осциллограф, 4 - емкостный делитель напряжения,
- 5 - ламповый вольтметр, 6 - возбуждающий виток,
- 7 - двойной зонд, 8 - разрядная трубка.

плазмы осуществлялось с помощью двойного зонда (7), вводимого в трубку в плоскости возбуждающего разряд витка. Генератор с ударным возбуждением собран на лампе ГМИ-83. Анодный контур генератора состоит из катушки, содержащей 200 витков провода диаметром 1 мм, плотно намотанного на текстолитовый каркас диаметром 80 мм. Емкостью анодного контура служила межвитковая емкость катушки и межэлектродная емкость лампы, составляющие вместе ~ 80 пф. При отпирания лампы генератора положительным прямоугольным импульсом с фронтом нарастания напряжения $5 \cdot 10^8$ в/сек в контуре возбуждались колебания с частотой $8 \cdot 10^5$ гц, затухающие до уровня 0,1 от начальной амплитуды за время $4 \cdot 10^{-5}$ сек. Осциллограмма начального участка этого импульса показана на рис. 2, б.

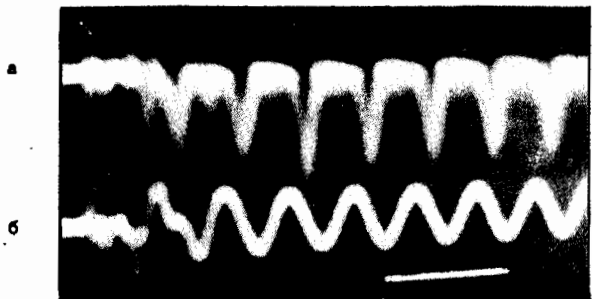


Рис. 2. (а) - осциллограмма тока фотоумножителя, (б) - осциллограмма импульса высокочастотного напряжения. Длительность масштабной черты - 2,4 мксек.

Отпирание импульсы подавались на управляющую сетку генераторной лампы от импульсного усилителя, собранного на лампе ГУ-28. Схема генератора и усилителя приведена на рис. 3. В качестве источника пусковых импульсов был использован генератор

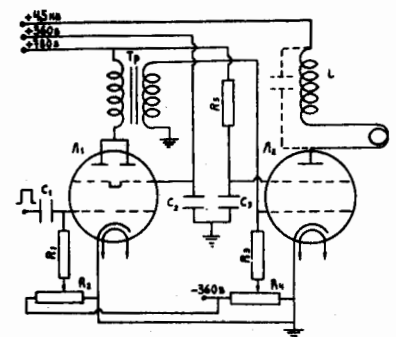


Рис. 3. Принципиальная схема генератора с ударным возбуждением.

- $C_1, C_2, C_3 - 0,25$ мкф, $R_1, R_3 - 50$ ком; $R_2, R_4 - 750$ ком,
 $R_5 - 300$ ком; $L_1 - \text{ГУ-28}$; $L_2 - \text{ГМИ-83}$; $L = 580$ мкгн; $L_1 = 0,1$ мкгн.

прямоугольных импульсов типа МГИ-1 (2 на рис. 1). Наблюдение формы импульсов напряжения на возбуждающем разряд витке осуществлялось с помощью осциллографа типа ЭО-58 М(3), включавшегося через емкостный делитель типа ДНЕ-9 (4). Пусковой импульс на генератор (1) подавался с некоторой задержкой по отношению к импульсу запуска развертки осциллографа. Измерение амплитуды напряжения на контуре осуществлялось импульсным вольтметром типа ВЛИ-3 (5). Максимум амплитуды напряжения на контуре (8 кв) достигался при длительности пускового импульса, примерно равной длительности полупериода в.ч. напряжения. При этом в.ч. ток в контуре достигал 4а. На рис. 4 приведены фотографии свечения разряда, возбуждаемого описанным выше способом, в трубке диаметром 20 мм в воздухе или азоте. Фотографирование производилось в направлении, перпендикулярном оси трубки. Время экспозиции при фотографировании выбиралось из соображений достаточной четкости изображения и превышало на несколько порядков временной интервал между возбуждающими разряд импульсами в.ч. напряжения. В интервале давлений 8-0,8 мм рт.ст. в трубке под витком зажигается кольцевой разряд, примыкающий к внутренней стенке. При уменьшении давления разряд распространяется внутрь трубки и отделяется от стенки. Под витком, как это видно из рис. 4, образуется кольцевая темная зона. При дальнейшем уменьшении давления светящаяся область разряда образует узкую перетяжку и в дальнейшем вновь расширяется с одновременным ослаблением свечения.

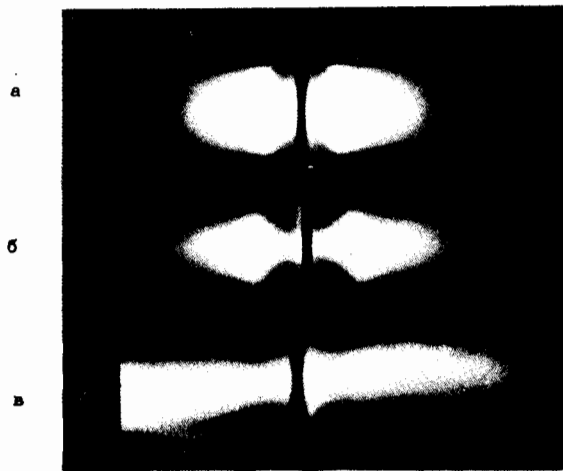


Рис. 4. Разряд в трубке диаметром 20 мм. Фотографии (а)-(в) соответствуют давлениям 0,25; 0,07; 0,02 мм рт.ст.

Для выяснения роли протекающего в витке в.ч. тока производилось возбуждение разряда замкнутым витком. Наблюдение возникающего в этом случае разряда показало, что при соответствующих давлениях разряд проходит аналогичные описанным выше стадии, образуя темную кольцевую зону на участке, прилежащем к витку, без изменения ее размеров.

2. Измерение пространственного потенциала плазмы осуществлялось по схеме, показанной на рис. 5^{/7/}. Зависимость потенциала пристеночного зонда U_3 от давления

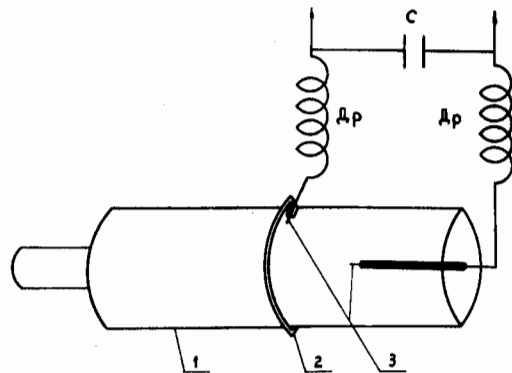


Рис. 5. Схема измерения потенциала пространства. $Dp, L = 40$ ги; $C = 0,25$ мкф, газ - азот. 1 - разрядная трубка, 2 - возбуждающий виток, 3 - зонды.

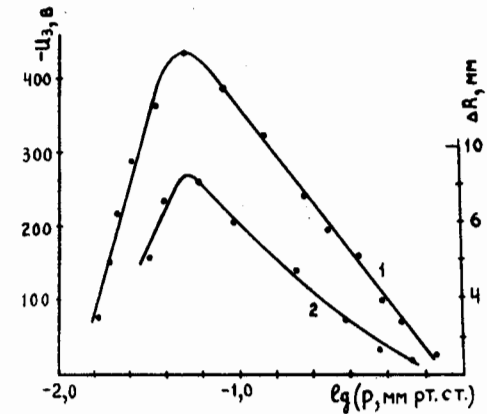


Рис. 6. 1 - U_3 , 2 - ΔR .

приведена на рис. 6 (кривая 1). На том же рисунке дана зависимость расстояния ΔR от внутренней стенки разрядной трубки до световой границы разряда (кривая 2). Положение максимума кривой 1 на оси абсцисс примерно соответствует минимальному диаметру плазменной перетяжки. Левая ветвь кривой отражает по потенциалу пространства процесс расплывания, а правая - процесс стягивания разряда с уменьшением давления.

3. Измерение концентрации заряженных частиц и температуры электронов в плазме разряда производилось двойным электрическим зондом. При этом электронная температура определялась методом, предложенным в ^{/10/}, а концентрация - методом, изложенным в ^{/9/}. Плотность ионов у стенки разрядной трубки $8 \cdot 10^8$, $8 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}$ соответственно при давлениях 0,07; 0,9 мм рт.ст. Плотность ионов на оси разрядной трубки при этих же давлениях соответственно $4 \cdot 10^{10}$, $1,2 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$. Температура электронов 3,9; 4,8; 5,9; 6,8 эв соответственно при давлениях 0,2; 0,5; 0,8; 0,9 мм рт.ст.

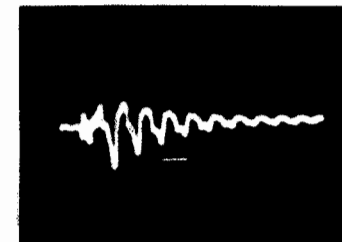


Рис. 7. Осциллограмма тока двойного зонда. Длительность масштабной черты - 1,2 мксек.

На рис. 7 приведена осциллограмма сигнала двойного зонда, работающего в режиме насыщения, при $r = 0,9$ мм рт.ст. и представляющая собой последовательность импульсов зондового тока. В этом случае амплитуда импульса пропорциональна концентрации заряженных частиц. Как видно, амплитуды импульсов и, следовательно, концентрация заряженных частиц уменьшаются до уровня высокочастотной наводки в измерительной цепи малой емкости за время, примерно равное четверти периода в.ч. напряжения.

4. Свечение разряда исследовалось с помощью фотоумножителя ФЭУ-18М и системы диафрагм. Конструкция диафрагм обеспечивала измерение светового потока из области разряда, поперечный размер которой не превышал 4 мм. Сигнал с выхода фотоумножителя при помощи согласующего кабеля подавался на вход 75 Ом осциллографа ЭО-58 М. На рис. 8 показаны осциллограммы

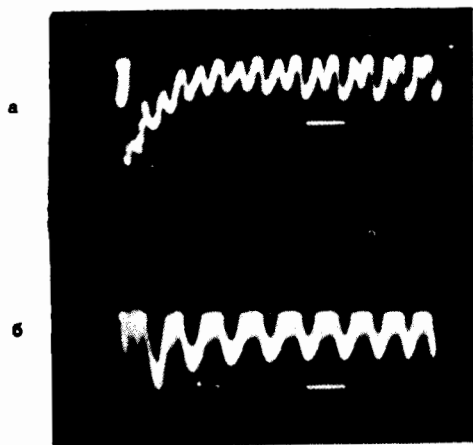


Рис. 8. Осциллограммы тока фотоумножителя. Длительность масштабной черты - 1,2 мксек.

тока фотоумножителя, регистрировавшего свечение разряда. Осциллограмма (а) соответствует свечению кольцевого разряда при давлении 3 мм рт.ст. Осциллограмма (б) - свечению перетяжки при давлении 0,25 мм рт.ст. Свечение перетяжки возникает в каждом периоде в.ч. напряжения (рис. 2а). Как видно, амплитуда импульса тока фотоумножителя спадает до нуля за время, примерно равное четверти периода в.ч. напряжения. Переход от разряда в стадии перетяжки к кольцевому разряду в пристеночной области характеризуется плавным переходом от (б) к (а), рис. 8. Этот переход сопровождается также плавным уменьшением отрицательного потенциала пристеночной области относительно плазмы, рис. 6.

5. Контрольные опыты с разрядом, возбуждаемым проволочным вилком, включенным последовательно в анодный контур генератора и замкнутым вилком, подсоединенным к выходу генератора, показали, что вклад в.ч. магнитного и, следовательно, вихревого электрического поля в рассматриваемом явлении мал и им можно пренебречь. Основную роль в процессе отделения светящейся плазмы от стенки трубки играет в.ч. радиальное электрическое поле вилка, имеющее градиент в пространстве. Такое поле должно создавать силу $\propto 1/r^2$, выталкивающую заряженные частицы в область минимума поля. Эффекту отделения светящейся плазмы от стенки может способствовать существование недиффузионного механизма ухода заряженных частиц из пристеночной области, происходящего под влиянием радиального в.ч. электрического поля и сопровождающегося повышением отрицательного потенциала стенки относительно плазмы $\propto 1/r$. Величина потенциала, как это следует из $\propto 1/r^2$, будет определяться длиной свободного пробега электронов. С уменьшением давления газа уход заряженных частиц и потенциал стенки увеличиваются и вместе с тем происходит уменьшение диаметра перетяжки.

Изложенные выше выводы о характере влияния силы в.ч. удержания и отрицательного потенциала стенки на локализацию импульсного газового разряда не объясняют наблюдаемое на опыте расширение перетяжки при низких давлениях газа (рис. 4, в и рис. 6, кривая 2).

Сильная зависимость диаметра перетяжки от давления газа, а также импульсный характер свечения дают основание предположить, что определяющим фактором в ее образовании является величина среднего свободного пробега электронов, ускоренных из пристеночной области в.ч. электрическим полем в одном из полупериодов до энергий, достаточных для ионизации газа.

Из этого следует, что для заданных геометрических размеров камеры существует максимальное значение отрицательного потенциала стенки относительно плазмы, определяемого давлением газа. При дальнейшем уменьшении давления газа длина свободного пробега электронов становится больше радиуса камеры и при этом величина потенциала падает (рис. 6, кривая 1).

На поведение плазменных конфигураций не оказывает определяющего влияния амбилярная диффузия (для условий эксперимента скорость диффузии в азоте = 400 см/сек, и за время существования плазмы = 10^{-5} сек частицы пройдут путь = 0,004 см, что намного меньше наблюдаемого изменения в размерах плазменных конфигураций), скин-эффект (в эксперименте частота поля = 10^7 сек $^{-1}$, проводимость = 10^{11} сек $^{-1}$, глубина скин-слоя = 10 см, что превышает размеры плазменных конфигураций).

Л и т е р а т у р а

1. R.W.Wood. *Phys. Rev.*, 35, 673 (1930).
2. E.R.Harrison. *J. of Electr. Control*, 5, No.4, 319 (1958).
3. A.L.Hatch. *United Nations Peaceful Uses of Atomic Energy*, 32, No. 351 (1958).
4. Р.А.Демирханов, Ю.С.Ходырев, Н.Д.Ромашко, Б.Т.Надыкто. *ЖТФ*, XXXII, 313, 1962.
5. H.A.H.Boot, S.A.Self, a R.B.R. Shersby-Harvie. *J. of Electr. Control*, 4, No.5, 434 (1958).
6. Х.А.Джерпетов, Г.М.Патюк. *ЖЭТФ*, 28, 343, 1955.
7. С.М.Левитский. *ЖТФ*, XXII, 1001, 1957.
8. С.М.Левитский. *ЖТФ*, XXII, 970, 1957.
9. Ю.М.Каган, В.Н.Перель. *ДАН СССР*, 91; 1321, 1953.
10. Л.Биберман, Б.Панян. *ЖТФ*, XXI, 12, 1951.
11. К.С.Головановский, А.А.Кузовников. *ЖТФ*, XXXI, 343, 1961.
12. К.С.Головановский, А.А.Кузовников. *ЖТФ*, XXXI, 890, 1961.
13. К.С.Головановский, В.Д.Дугар-Жабон, А.А.Кузовников. *ЖТФ*, XXXIУ, 454, 1964.
14. H.S.Butler a. G.S.Kino. *Phys. Fluids*, 6, 1346 (1963).

Рукопись поступила в издательский отдел
5 февраля 1965 г.