

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
РАСПРОСТРАНЕНИЯ РЭП В ГАЗЕ - "ТЕРЕК-1Р"

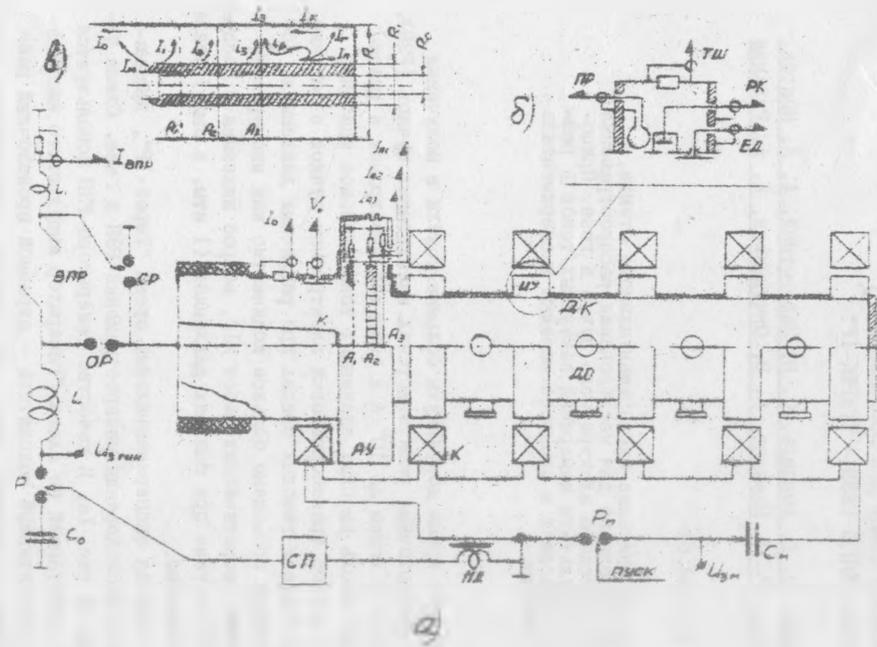
С. Г. Арутюнян, Ю. Ф. Бондари, С. Н. Заворотный, А. Л. Ипатов,
А. А. Медведев, Г. П. Мхемдзе, А. В. Олчинников, А. А. Рухадзе

УДК 621.384.64

Дается описание экспериментального стенда, предназначенного для исследования распространения релятивистского электронного пучка в газе. Приводятся результаты измерений вакуумных токов в различных условиях в процессе наладки экспериментального стенда.

За последнее время достигнуты большие успехи в получении импульсных сильноточных релятивистских электронных пучков (РЭП). Получены пучки с током до 10^6 А и энергией электронов в диапазоне МэВ. При столь высоких значениях токов большое значение приобретает вопрос транспортировки электронных пучков в вакууме и плазме, а также в газовых средах при различных давлениях. Хотя этой проблеме посвящено большое количество как экспериментальных, так и теоретических работ [1], вопрос инжекции и распространения РЭП в газе при больших давлениях (1 атм. и выше) исследован недостаточно.

В ФИАН запущен экспериментальный стенд "Терек-1Р", предназначенный для исследования распространения РЭП в газе. Схема установки дана на рис. 1а. В качестве генератора РЭП используется ускоритель, работающий по схеме "генератор импульсного напряжения (ГИН) - индуктивный накопитель - взрывной проводочный размыкатель (ВНР) - вакуумный диод" [2]. Энергия, накопленная в емкости C_0 (емкость ГИН в ударе), после срабатывания разрядника Р (разрядник ГИН), передается в индуктивный накопитель L. В области максимума разрядного тока в результате взрыва ВНР цепь



Р и с. 1. Экспериментальный стенд "Терек-IP": а) общая схема установки; б) схема измерительного узла; в) схема токов в дрейфовой камере

разряда размыкается и индуцированное напряжение через обостряющий разрядник ОР прикладывается к вакуумному диоду. Управляемый срезавший разрядник СР, формирующий задний фронт импульса, запускается напряжением, снимаемым с небольшой индуктивности L_1 , включенной последовательно с ВПР. Энергия, вкладываемая в ВПР, обеспечивает размыкание тока за время ≈ 30 нс и паузу тока более 100 нс.

Катод К вакуумного диода автоэмиссионный. Анод A_1 , смонтированный в съемный анодный узел АУ, может перемещаться в пределах 10 мм без нарушения вакуума. В анодном узле, кроме собственно анода А, расположены перегородки A_2 и A_3 . Назначение A_2 — герметически разделить объемы вакуумного диода и дрейфовой камеры ДК, давление газа в которой может достигать нескольких атмосфер. Геометрическая прозрачность A_2 около 50%. A_3 представляет собой алюминизированную лавсановую пленку толщиной ≈ 30 мкм. A_1 — A_3 через токовые шунты связаны с корпусом (землей). Дрейфовая камера секционирована пятью измерительными узлами ИУ. В каждой секции восемь диагностических окон ДО. Общая длина дрейфовой камеры 1300 мм, диаметр 128 мм.

К области распространения пучка приложено магнитное поле (максимальная напряженность 9 кЭ), создаваемое девятью катушками К. Батарея магнитного поля ($C_M = 8400$ мкФ) разряжается при срабатывании разрядника P_M (период $T \approx 12$ мс). Сигнал с нулевого датчика НД (катушка с ферритовым сердечником, индуктивно связанная с контуром C_M), задержанный и усиленный схемой поджига СП, запускает ГИИ при нужном значении магнитного поля. Величина магнитного поля регулируется как зарядным напряжением батареи U_{BM} так и задержкой момента срабатывания ГИИ.

Система напуска (на рис. 1 не показана) позволяет откачивать дрейфовую камеру до 10^{-5} мм рт.ст. и заполнять ее различными газами. Измерительный узел (рис. 1б) содержит пояс Роговского ПР, токовый шунт ТШ, четыре коллектора радиального тока РК и четыре емкостных датчика ЕД. Окна ДО предназначены для СВЧ и лазерной диагностики параметров плазмы.

В общем случае в дрейфовой камере диаметром Φ проходит кольцевой пучок с внутренним и внешним диаметрами R_0 и R_1 (рис. 1в). Предельный ток в вакууме

$$J_{пр} = \frac{17(\gamma^{2/3} - 1)^{3/2}}{1 + 2 \left[R_1^2 \ln(R/R_1) - R_0^2 \ln(R/R_0) \right] / (R_1^2 - R_0^2)} \text{ кА.} \quad (1)$$

В частном случае сплошного пучка

$$J_{пр} = \frac{17(\gamma^{2/3} - 1)^{3/2}}{1 + 2 \ln \frac{R}{R_1}} \text{ кА.} \quad (2)$$

Часть пучка оседает на аноде A_1 и перегородках A_2 и A_3 (соответственно токи J_1 , J_2 и J_3). При наличии в дрейфовой камере плазмы на A_3 течет обратный ток i_p , т.е. $J_3 = i_3 + i_p$.

Так как перегородка A_3 для быстрых электронов пучка практически прозрачна, $i_3 \ll i_p$ и $J_3 \approx i_p$. При наличии в дрейфовой камере газа (плазмы) возможны радиальные токи J_k , регистрируемые радиальными коллекторами РК. Суммарный ток в дрейфовой камере регистрируется дублирующими друг друга токовыми шунтами и поясами Роговского. Общий ток регистрируется токовым шунтом. Напряжение пучка Φ_0 и потенциалы пучка (плазменного образования) в дрейфовой камере измеряются емкостными датчиками. В процессе наладки экспериментального стенда измерялись вакуумные токи в различных условиях ($\gamma = 3$):

а) перегородки A_1 - A_3 отсутствуют. $H \approx 7$ кЭ. Общий ток $J_0 \approx 8$ кА, ток в дрейфовой камере $J_k \approx 3,2$ кА.

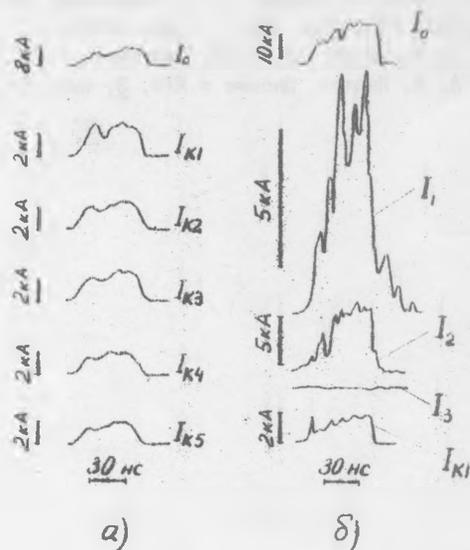
б) перегородки A_1 - A_3 отсутствуют. Пучок имитируется металлическим стержнем на оси ДК. При этом $J_0 \approx (10 \pm 1)$ кА, $J_k \approx 5$ кА.

в) установлены перегородки A_1 - A_3 . $J_0 \approx 18$ кА, $J_1 = 9$ кА, $J_2 \approx 7$ кА, $J_3 = 0$, $J_k \approx 2$ кА, $H \approx 7$ кЭ.

Предельные токи в дрейфовой камере по формуле (2) порядка 3,4 кА. Измеренные токи свидетельствуют о появлении в случаях а) и в) виртуального катода, равнища между J_0 и J_k в случаях а) и б) объясняется током J_M , текущим с катода на корпус вакуумного люда в рассеянном магнитном поле. Увеличение J_k в случае б) обусловлено отсутствием виртуального катода.

Ограничение тока в этом случае ($J_k < J_0$) связано с импеденсом системы "стержень-дрейфовая камера". На рис. 2а представлены осциллограммы общего тока J_0 и токов $J_{K1} + J_{K5}$ с токовых шун-

тов дрейфовой камеры в случае (а), на рис. 2б даны J_0 , $J_1 + J_3$ и J_{K1} в случае (в).



Р и с. 2. Осциллограммы токов: а) общий ток J_0 и токи $J_{K1} + J_{K5}$ с токовыми пунтами в отсутствие перегородок $A_1 + A_3$; б) общий ток J_0 , токи $J_1 + J_3$ и J_{K1} при наличии перегородок $A_1 + A_3$

В заключение авторы выражают благодарность Л. Э. Цопцу и А. А. Иггареву за помощь при сборке и наладке стенда.

Поступила в редакцию
13 мая 1978 г.

Л и т е р а т у р а

1. Г. Валис, К. Зауэр, Д. Эндер, С. Е. Росинский, А. А. Рухадзе, В. Г. Руклин, УФН, 113, вып. 3, 435 (1974).
2. Ю. А. Котов, Б. М. Ковальчук, Н. Г. Колганов, Г. А. Месяц, В. С. Седой, А. Л. Ипатов, Письма в ЖФ, 3, вып. 17, 883 (1977).