

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ  
СО АН СССР

17

Г.И.Димов, Г.В.Росляков, В.Я.Савкин

**ИМПУЛЬСНЫЙ ИСТОЧНИК  
ПРОТОНОВ**

ПРЕПРИНТ ИЯФ 79 - 23

Новосибирск

## ИМПУЛЬСНЫЙ ИСТОЧНИК ПРОТОНОВ

Г.И. Димов, Г.В. Росляков, В.Я. Савкин

### А Н Н О Т А Ц И Я

Описан импульсный источник протонов, предназначенный для использования в инжекционных системах ускорителей, со следующими характеристиками: ток пучка 1,2 А; энергия до 15 кэВ; длина импульса 10 мксек, частота следования до 10 Гц. При этом 90% тока пучка находятся в фазовом объеме 0,25 мрад.см и 0,09 мрад.см по двум взаимоперпендикулярным координатам в сечении пучка.

Для использования в ускорителях нами разработан и исследован импульсный источник протонов с длительностью импульсов 10 мксек, током свыше 1 А и частотой следования  $0 + 10$  Гц. Источник разработан на основе диагностического инжектора атомов водорода, описанного в /1/. Изменения конструкции атомарного инжектора преследовали цель свести к минимуму потери сформированного протонного пучка из-за перезарядки в рабочем газе источника. Часть конструкции протонного источника, отличающая его от атомарного инжектора приведена схематически на рис.1.

В работах /1,2,3/ дано детальное описание принципа работы дугового источника водородной плазмы и сеточной системы вытягивания и формирования протонного пучка. Здесь мы ограничимся только описанием изменений конструкции и приведением рабочих параметров источника. Разрядная камера источника плазмы, образованная катодом, диафрагмированным каналом и анодом имеет форму усеченного конуса высотой 15 мм с диаметром рабочей части катода равной 10 мм и отверстием диаметром 3 мм для выхода плазмы в аноде. В результате модификации разрядной камеры ее объем уменьшен в 3,5 раза, что позволило снизить более чем в 5 раз импульсный расход газа, который для протонного источника составляет  $5 \cdot 10^{16}$  мол. за импульс. Электрод с вытягивающей сеткой имеет форму, способствующую лучшей откачке газа, проникающего из источника плазмы за ускоряющей промежуток в дрейфовое пространство пучка. Диаметр эмиссионной поверхности плазмы на первой сетке задан шайбой с коническим отверстием  $\phi$  16 мм, играющей роль пирсовского электрода. Толщина шайбы 0,8 мм, угол раствора конуса  $100^\circ$ . Шаг сеток 0,27 мм, расстояние между сетками 2,4 мм. Для питания дугового разряда разработан импульсный тиристорный модулятор с регулируемой стабилизированной амплитудой тока до 700 А и длительностью импульса 15 мксек. Длительность фронта тока дугового разряда меньше 1 мксек, однако постоянный уровень эмиссии протонов в вытягивающем промежутке устанавливался через 5 мксек. Задержка сравнима со временем пролета плазмы от анода разрядной камеры до сеточной вытягивающей системы и связана с установлением стационарного течения плазмы. Детальное описание принятой сеточной системы вытягивания и формирования пучка приведено в /2/. Одной из ее особенностей является тот факт, что пучок протонов может быть сформирован с малым фазовым объемом лишь при некотором оптимальном значении

плотности тока эмиссии протонов. Плотность эмиссии  $j$  должна быть одинакова на всей эмиттирующей поверхности, постоянна во времени и соответствовать приложенному вытягивающему напряжению  $U$  и величине  $d$  - расстоянию между сетками:

$$j_{opt} = \sqrt{\frac{2e}{m}} \frac{1}{9\pi} \frac{U^{3/2}}{d^2}$$

Поэтому с целью получения пучка с меньшим фазовым объемом формирование его происходило включением импульса вытягивающего напряжения длительностью 10 мксек через 5 мксек после зажигания дугового разряда, когда становилась постоянной эмиссия протонов. Для предотвращения пробоя, импульс вытягивающего напряжения формировался с короткими фронтами  $\approx 0,1$  мксек. Модулятор импульсов вытягивающего напряжения амплитудой до 15 кВ подобен описанному в /4/.

Исследование характеристик сформированного пучка проводилось по экспериментальной схеме, представленной на рис.2. Ток протонов измерялся цилиндром Фарадея после прохождения магнитного анализатора 2. Этим же магнитным анализатором с уменьшенными входной и выходной щелями для повышения разрешающей способности, определялся массовый состав ионов пучка. С помощью calorиметрического датчика 3, состоящего из шести никелевых дисков диаметром 10 мм, толщиной 0,1 мм, с присоединенными медно-константановыми термопарами определялась доля нейтральных частиц в пучке. Для этого измерялся тепловой эффект с включенным и выключенным анализатором 1, когда датчик 3 бомбардировали только нейтральные частицы и весь пучок соответственно. Подвижные щели 4 и токоприемник 5 служили для определения эмиттанса пучка.

В результате исследований работы источника установлено, что зависимость тока протонного пучка при оптимальном его формировании от вытягивающего напряжения соответствует закону "трех вторых". Максимальный ток протонов из источника 1,2 А получен при энергии 14 КэВ. Источник работает надежно во всем диапазоне частот следования импульсов  $0 + 10$  Гц. Доля протонов в пучке составляет 75%, остальная часть пучка: атомы  $H^0$  - 17%, ионы  $H_2^+$  - 3%,  $H_3^+$  - 2%, тяжелые ионы с массами от 12 до 30  $\sim$  3%. Работа источника характеризуется высокой стабильностью, что демонстрируется на рис.3, на котором приведена осциллограмма импульса тока протонного пучка полученная наложением 20-ти треков луча запоминающего осциллографа.

В ходе исследований было обнаружено, что к концу импульса

объемный заряд протонного пучка полностью компенсируется вторичными электронами. Этот вывод следует из того факта, что расходимости протонного и возникающего в процессе перезарядки атомарного пучков к концу импульса совпадали. Однако время установления состояния с полной компенсацией объемного заряда пучка существенно зависит от вакуума в дрейфовом пространстве и от дрейфовой длины. Это время сокращалось, если за несколько микросекунд перед включением импульса вытягивающего напряжения плазма проходила за сетки в дрейфовое пространство. Угловая расходимость протонного пучка, вызванная действием объемного заряда, при инжекции плазмы в дрейфовое пространство становилась  $\sim 5 \cdot 10^{-2}$  рад за 1,5 мксек и со временем уменьшалась. Такая же величина расходимости пучка в отсутствие инжекции плазмы достигалась за время  $\sim 6$  мксек. Описанные эффекты затрудняли измерение эмиттанса протонного пучка и делали их ненадежными ввиду возможного присутствия нелинейных электрических полей в пучке, вклад которых зависит от длины пучка. В то же время исследование атомарного пучка, образующегося из протонного при перезарядке в облачке рабочего газа источника, находящегося сразу же за вытягивающей сеткой, дает информацию об эмиттансе протонного пучка на выходе источника.

Ввиду сказанного измерялся фазовый объем атомарной составляющей пучка. Измерения производились стандартным методом четырех щелей по распределению фазовой плотности эквивалентного тока  $j(x, x', y, y')$ , где  $x$  — координата в направлении вдоль щелей сетки конно-оптической системы источника,  $y$  — в перпендикулярном направлении. Пучок из источника пропускать через магнитный анализатор I, пропускавший только незаряженную компоненту, атомарный пучок  $H^0$ , возникающий в процессе перезарядки протонов в газовом облачке на выходе из источника, на расстоянии 50 см от источника коллимировался экраном со щелью шириной в 3 мм и регистрировался датчиком с входной щелью 1 мм. База измерений коллиматор-датчик равнялась 60 см. На рис.4 приведены нормализованные фазовые портреты пучка при энергии 10 кэВ. Проведенные измерения позволяют сделать вывод, что 90% тока пучка (0,65 А при энергии 10 кэВ) имеют нормализованный эмиттанс 0,09 мрад.см для продольной координаты — "x" и 0,25 мрад.см для поперечной — "y".

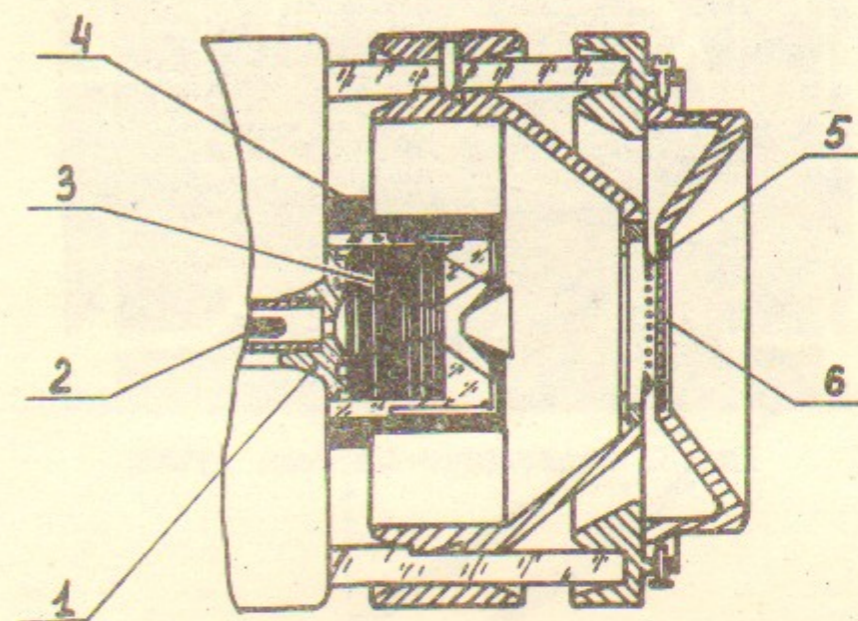


Рис.1. Конструкция протонного источника

1. Катод
2. Поджигающий электрод
3. Диафрагма
4. Анод
5. Пирсовский электрод
6. Вытягивающая сетка

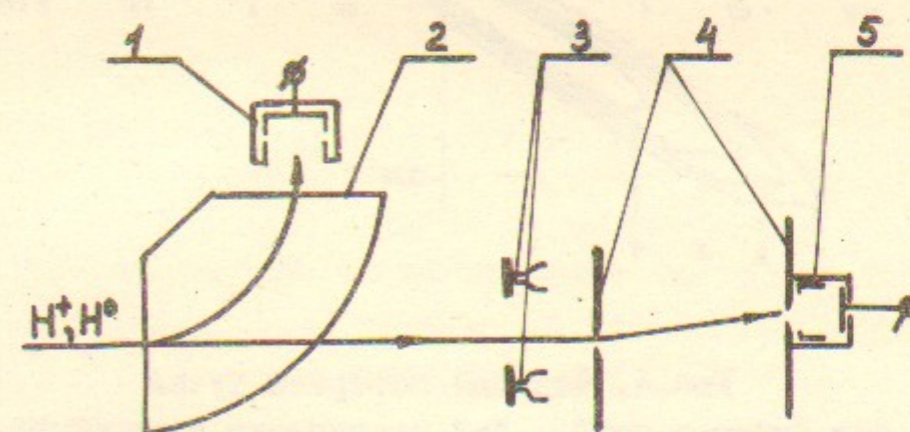


Рис.2. Экспериментальная схема

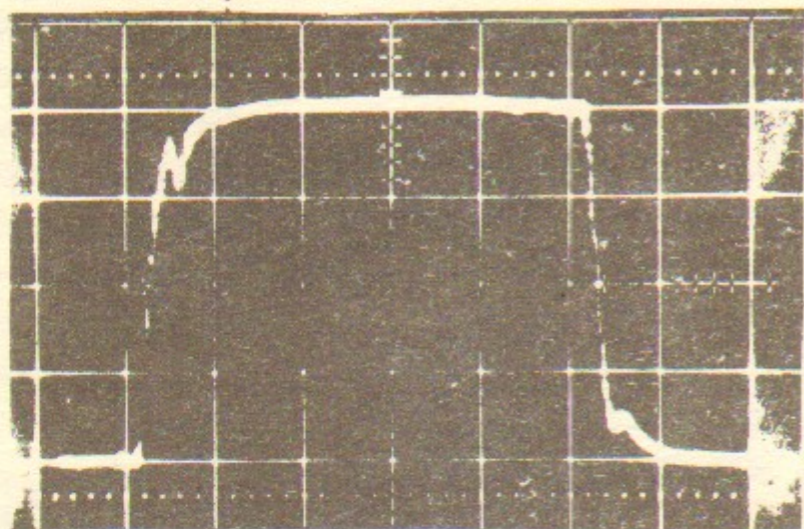


Рис.3. Осциллограмма тока пучка

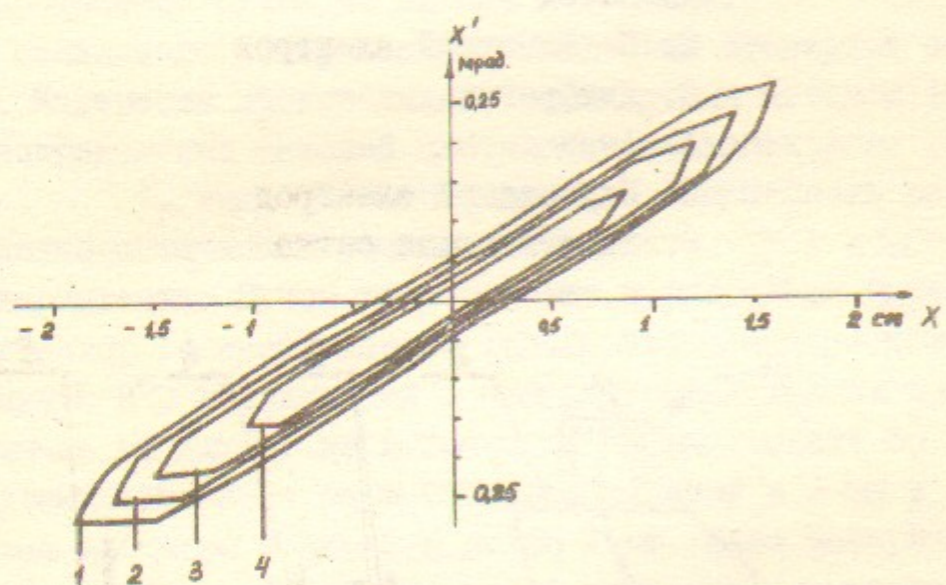


Рис.4. Фазовые портреты пучка

а) — Для "предельной" — "x" координаты и нормализованного (на 10 КэВ) угла расходимости на уровнях: 1 — 10%; 2 — 20%; 3 — 40%; 4 — 80% от максимальной фазовой плотности тока пучка.

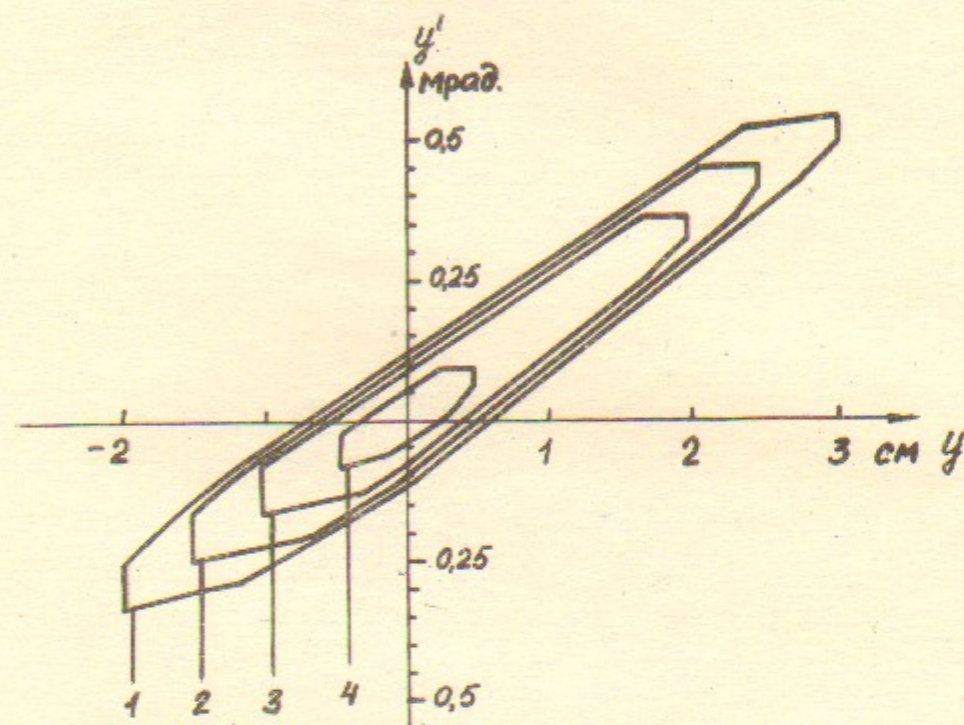


Рис.4. б) Для "поперечной" — "y" координаты при тех же условиях.

## Л и т е р а т у р а

1. Г.И.Димов, Г.В.Росляков, ПТЭ, 1974, №1, 29
2. Г.И.Димов, Г.В.Росляков, В.Я.Савкин, ПТЭ, 1977, №4, 29
3. Г.И.Димов, Г.В.Росляков, В.Я.Савкин, ПТЭ, 1978, №1, 149

Работа поступила - 19 февраля 1979 г.

Ответственный за выпуск - С.Г.ПОПОВ

Подписано к печати 24.IV-1979 г. МН 06286

Усл. 0,6 печ.л., 0,5 печ.л.

Тираж 150 экз. Бесплатно

Заказ № 23.

Отпечатано на роталпринте ИЯФ СО АН СССР