

СИЛЬНОТОЧНЫЙ ПЛАЗМЕННЫЙ УСКОРИТЕЛЬ С ЗАМКНУТЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ДРЕЙФОМ

А.И.Морозов, А.Я.Кислов, И.П.Зубков

В термоядерных исследованиях применялись два вида инжекторов: импульсные плазменные пушки и обычные ионные источники. По целому ряду причин как первые, так и вторые вряд ли можно считать удачными источниками для термоядерного реактора. "Идеальным" плазменным

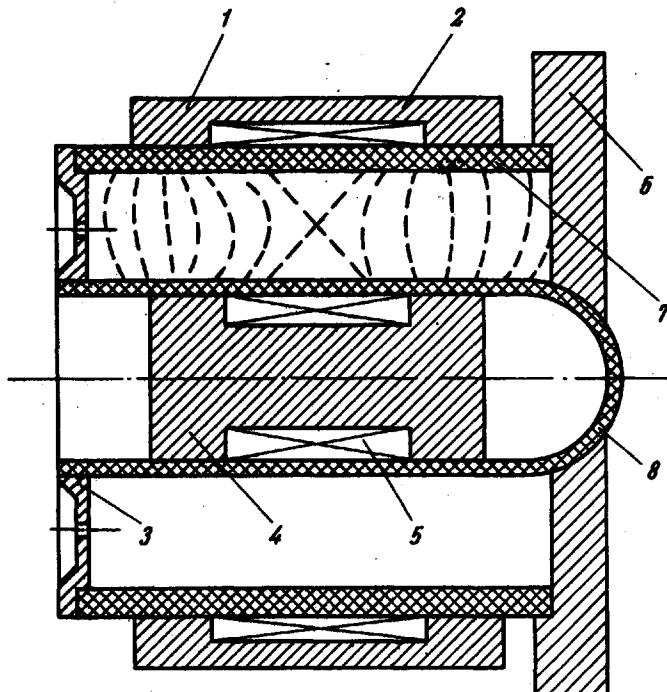


Рис.1. Схема ускорителя: 1 – внешний магнитопровод, 2 – катушка, 3 – анод, 4 – внутренний магнитопровод, 5 – катушка, 6 – катод, 7 – внешний изолятор, 8 – внутренний изолятор

инжектором был бы источник с длительностью импульса от 10 мксек до 10 мсек, способный обеспечить свободные от примесей токи ионов порядка $0,1 + 1 \text{ ka}$ с энергией частиц в диапазоне $1 + 10 \text{ кэв}$. Такие инжекторы можно создать, используя принцип плазменного ускорителя с замкнутым дрейфом, описанный в ряде работ (см., например, [1]). Наши были разработаны и исследованы сильноточный плазменный ускоритель, схема которого приведена на рис.1.

Физический процесс в системе сводится в общих чертах к следующему. В ускорительном коаксиальном канале, благодаря наличию радиального магнитного поля, можно создать распределенное продольное электрическое поле, приложив разность потенциалов между анодом и катодом. Под действием скрещенных полей происходит дрейф электронов по азимуту и постепенный дрейф их к аноду за счет столкновений с ионами и со стенками и за счет различного рода колебаний. На место ушедших электронов поступают новые как вследствие ионизации газа в ускорительном объеме, так и от катода. Газ подается через отверстия в аноде. Образующиеся ионы под действием продольного электрического поля ускоряются до энергии, соответствующей приложенной разности потенциалов, и выходят из ускорителя. Величины магнитных полей подбираются таким образом, чтобы ионный ларморовский радиус был больше

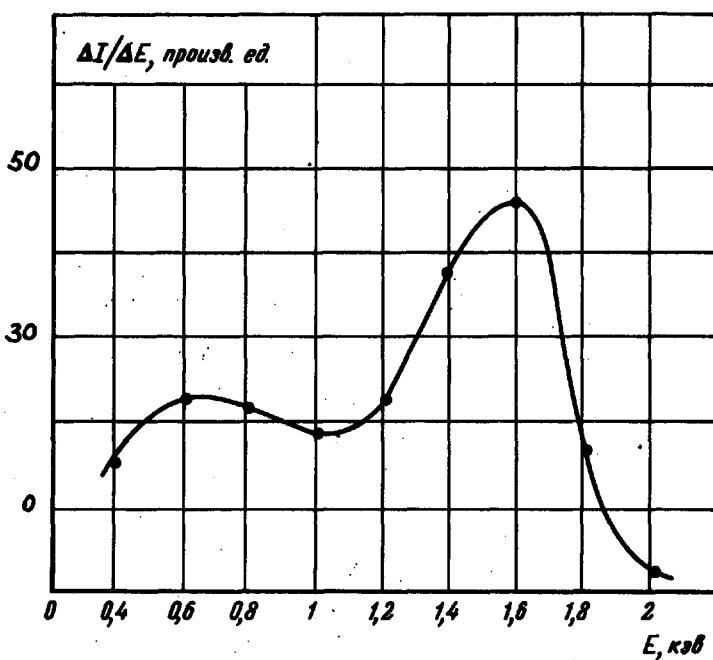


Рис.2. Спектр ионов

пространственного полупериода магнитного поля, а электронный много меньше. В этом ускорителе можно легко управлять выходящим ионным потоком, меняя подачу рабочего вещества, тогда как энергия частиц на выходе из ускорителя определяется в основном приложенной разностью потенциалов. Для того, чтобы поток ионов, по возможности, не взаимодействовал со стенками, магнитное поле в ускорительном канале делается "линзоподобным". Поскольку в редкой плазме с низкой температурой магнитные силовые линии являются эквипотенциалами, поскольку в ускорителе имеет место электростатическая фокусировка потока. Принцип такой фокусировки предложен впервые в работе [2]. В данной системе наряду с электростатической фокусировкой проявляет-

ся и магнитная фокусировка. Конструктивные элементы ускорителя указаны на рис.1. Напуск газа — импульсный, и он осуществляется с помощью электромагнитного клапана. В качестве рабочего газа использовался водород. Катодом служат выходной фланец прибора и стенки вакуумного объема, на которых при разряде возникают пристеночные дуги. Начальное давление в объеме до напуска газа $\sim 5 \cdot 10^{-5}$ мм рт.ст.

Электрическая схема установки позволяла получать апериодический разряд с амплитудой разрядного тока в максимуме от 0,5 до 3 кА при

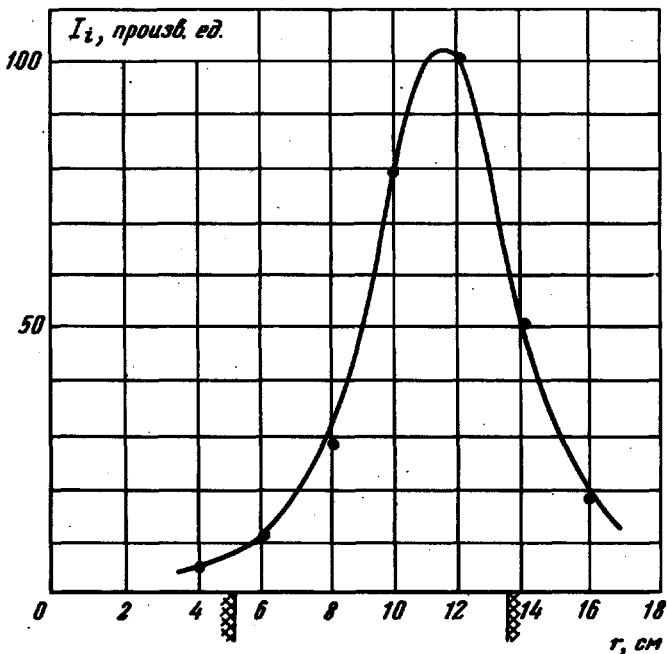


Рис.3. Распределение $I_t(r)$. Начало отсчета от оси прибора. Штриховкой показано место положения ускорительного канала

длительности тока в среднем около 5 мсек. Разрядное напряжение имело фарму импульса, близкого к прямоугольному.

Данный ускоритель дает возможность получать ионный ток порядка килоампера с энергией частиц ~ 3 кэВ. Поскольку главной задачей исследования на данном этапе являлось выяснение основных физических особенностей работы ускорителя, измерения, в основном, проводились не в том режиме, когда прибор выведен на экстремальные параметры по току и энергии частиц, а в некотором промежуточном режиме, при котором разрядное напряжение составляло 2 кэВ, разрядный ток 0,78 кА, напуск водорода $\dot{m} = 7 \cdot 10^{-3}$ г/сек, а характерная величина магнитного поля в канале была равна 450 э.

Энергия ионов, выходящих из ускорителя, измерялась двумя методами: электростатическим ионным анализатором [3] и многоэлектродным зондом. Ионный анализатор был установлен на заднем фланце вакуумной камеры на расстоянии около 2,5 м от среза ускорителя. Полученный спектр частиц, который приведен на рис.2, позволяет заключить, что в потоке ионов помимо основной группы ионов, имеющей энергию, близкую по величине к разрядному напряжению, наблюдается значительное число частиц, обладающих меньшей энергией, что можно связать с существованием "размазанной" по объему ускорителя зонной ионизации. Значение средней энергии ионов в данном режиме работы прибора, рассчитанное из полученной кривой, равно 1,3 кэв. С увеличением разрядного напряжения величина средней энергии ионов соответственно возрастает.

Результаты, полученные в измерениях с многоэлектродным зондом, установленным в 15 см от среза прибора напротив середины ускорительного зазора, достаточно хорошо согласуются с приведенными выше. С помощью этого же зонда была измерена величина ионного потока, выходящего из прибора. Кривая распределения ионного тока по радиусу дана на рис.3. Ток ионов, просуммированный по всему сечению потока, составляет для данного режима около 70% от величины разрядного тока.

Поступило в редакцию
22 января 1968 г.

Литература

- [1] Г.Джейнс, Дж.Дотсон. Прикладная магнитная гидродинамика. М., 1965, стр.235.
- [2] А.И.Морозов. ДАН СССР, 163, 1363, 1965.
- [3] А.А.Калмыков, А.Д.Тимофеев, Ю.И.Понкратьев и др. ПТЭ, № 5, 142, 1963.