

СОВЕЩАНИЯ И КОНФЕРЕНЦИИ

53(048)

**НАУЧНАЯ СЕССИЯ ОТДЕЛЕНИЯ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ  
И АСТРОНОМИИ АКАДЕМИИ НАУК СССР****(31 января 1990 г.)**

31 января 1990 г. в Институте физических проблем им. С. И. Вавилова АН СССР состоялась научная сессия Отделения общей физики и астрономии АН СССР. На сессии были заслушаны доклады:

1. А. С. Боровик-Романов. Спиновая сверхтекучесть в  $^3\text{He-B}$ .
2. А. И. Морозов. Разработка принципов квазистационарного плазменного ускорителя с собственным магнитным полем мощностью  $10^9\text{—}10^{11}$  Вт.

Краткое содержание одного доклада приводится ниже.

533.95(048)

**А. И. Морозов.** Разработка принципов квазистационарного плазменного ускорителя с собственным магнитным полем мощностью  $10^9\text{—}10^{11}$  Вт. В докладе рассказано о ведущихся в СССР работах по созданию мощных ( $\sim 10^9\text{—}10^{11}$  Вт) квазистационарных ( $\sim 0,1\text{—}1,0$  мс) плазменных ускорителей с магнитоизолированными электродами (КСПУ), дающими потоки водородной плазмы в диапазоне кэВ.

Создание КСПУ кроме научного значения представляет значительный интерес с точки зрения самых различных приложений: проблемы УТС, плазменной технологии в тяжелом машиностроении, крупномасштабных экспериментах в космосе, генерации мощных электромагнитных излучений вплоть до рентгеновского диапазона и т. д. В принципе КСПУ представляет собой систему двух коаксиальных профилированных электродов, между которыми пропускается большой ( $\sim 100\text{—}1000$  кА) разрядный ток (рис. 1). Благодаря собственному азимутальному магнитному полю  $H$  и квазирadiaльному току  $j_r$ , возникает  $z$ -компонента амперовой силы

$$f_z = \frac{1}{c} j_r H_\theta, \quad (1)$$

которая и ускоряет поступающую в канал плазму. В рамках идеальной одножидкостной МГД-модели вдоль линии плазменного потока сохраняется интеграл Бернулли

$$\frac{v^2}{2} + i(\rho) + \frac{H^2}{4\pi\rho} = \frac{H_0^2}{4\pi\rho_0} \equiv c_A^2, \quad (2)$$

здесь  $i(\rho) = \frac{d\rho}{d\rho}$  — энтальпия,  $c_A$  — альвеновская скорость, нулем отмечены значения параметров на входе в канал, причем  $v_0 \rightarrow 0$ ,  $i(\rho_0) \rightarrow 0$ . Из (2)

следует, что максимально достижимая в КСПУ скорость истечения плазмы

$$v_{\max} = \sqrt{2}c_{\text{АО}}, \quad (3)$$

т. е. порядка альвеновской скорости на входе в канал подобно тому, как из обычного сопла Лавала поток газа выходит со скоростью порядка начальной скорости звука  $c_{T_0}$ .

Из закона сохранения импульса следует

$$(v_m)_{\text{см/с}} = \frac{1}{\dot{m}} \int \frac{H^2}{8\pi} ds_z = \theta \cdot 10^{-2} \left( \frac{I_p^2}{\dot{m}} \right)_{\text{А}^2/\text{г}}; \quad (4)$$

здесь  $\dot{m}$  — секундный расход вещества,  $I_p$  — разрядный ток,  $\theta$  — геометрический фактор. Таким образом, при  $I_p = 1$  МА,  $\dot{m} = 100$  г/с следует ожидать  $v_m \sim 10^8$  см/с.

Для того чтобы рассмотренный поток «сопрячь» с электродами, нужно учесть эффект Холла, т. е. различие в движении ионов и электронов. Возникающие здесь качественные особенности можно понять на модели движения «единичных» ионов и электронов. Принципиальной особенностью КСПУ как ускорителя является то, что в канале электроны и ионы «замагничены» и в первом приближении дрейфуют со скоростью

$$v_z = \left( u_E = c \frac{[E\mathbf{H}]}{H^2} \right)_z = c \frac{E}{H}. \quad (5)$$

Из (5) видно, что для увеличения скорости частиц надо увеличивать  $E$  или уменьшать  $H$ . Такой режим ускорения назовем «дрейфовым». Очевидно, что реально ускорение происходит за счет смещения ионов к катоду ( $\sim m_i/e$ ), а электронов к аноду ( $\sim m_e/e$ ). Следовательно, если

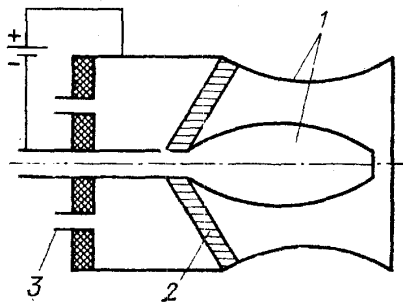


Рис. 1. Схема коаксиального стационарного ускорения. 1 — электроды, 2 — зона ионизации, 3 — канал подачи рабочего вещества

частицы поступают в канал только через входное сечение, то вблизи анода образуется область, обедненная ионами и здесь должен возникнуть мощный скачок потенциала. В то же время на катод идут ионы. Этот вывод в исключительно резкой форме подтверждается экспериментами на ускорителе со сплошными электродами [1, 2]. Чтобы этого избежать — при эквипотенциальных электродах — необходимо непрерывно подавать ионы в канал со стороны анода и принимать их на катоде. Если при этом учесть, что электроны двигаются практически по эквипотенциалам (т. е. параллельно электродам), то мы приходим к необходимости обеспечить в канале КСПУ

ионный токоперенос (ИТП) [1, 2]. Для его реализации электроды, должны быть превращены в устройства для конверсии носителей тока — «трансформеры», причем анодный трансформер должен содержать генераторы плазмы, из которых вытягиваются ионы, а катодный — систему отвода. Если КСПУ разрабатывается для больших энерговыделов, то трансформеры, точнее их твердотельные элементы и в первую очередь катодный трансформер нуждаются в магнитной защите от мощного ускоряемого потока. Очевидно, указанным требованиям можно удовлетворить только с помощью магнитных полей, содержащих самопересекающиеся сепаратрисные поверхности. В таком случае создав поле, сепаратриса которого содержит замкнутый квазицилиндрический фрагмент охватывающий канал, мы можем использовать его как маг-

нитоэмитирующую поверхность (МЭП). В то же время подходящие к нему извне другие фрагменты сепаратрисы («усы») можно использовать для отвода электронов на «замыкающие» электроды. На рис. 2 изображена одна из возможных магнитных конфигураций анодного трансформера. Она названа « $z$ -конфигурацией», так как образована токонесущими проводниками, вытянутыми вдоль канала, и напоминает магнитную конфигурацию токамака с полоидальным дивертором. Рассмотренные сепаратрисы можно использовать для транспортировки плазмы от «анодной ионизационной камеры» (АИК) на всю поверхность МЭП. Описанная схема  $z$ -трансформера далеко не единственная, но на других мы останавливаться не будем. Магнитные конфигурации катодных трансформеров могут быть сделаны аналогичным образом.

Кроме трансформеров, образующих основную ускорительную ступень в КСПУ имеется еще первая ступень — «входной ионизационный блок» (ВИБ), в котором происходит ионизация и предварительное ускорение рабочего вещества. Между первой и основной ступенями находится «дрейфовый канал», в котором происходит необходимая «подстройка» параметров потока для входа в основную ступень.

Для создания и экспериментального исследования такой уникальной и сложной плазмодинамической машины как КСПУ

была создана кооперация относительно небольших групп, работающих в разных Институтах страны. Здесь прежде всего надо отметить группы К. В. Брушлинского (Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша АН СССР), В. И. Терёшина, В. В. Чеботарева (ХФТИ АН УССР), Ю. В. Скворцова, В. Г. Белана (ФИАЭ), В. М. Асташинского, Л. Я. Минько (ИФ им. Б. И. Степанова АН БССР). Головной организацией стал ИАЭ им. И. В. Курчатова, где эту работу с 1973 года курируют А. П. Александров и Е. П. Велихов.

За прошедшие 7 лет с момента формирования кооперации была создана солидная экспериментальная база, оснащенная емкостными и индуктивными накопителями вплоть до мегаджоульного диапазона, необходимым вакуумным оборудованием и системами управления. Были разработаны конструкции всех элементов КСПУ в разных вариантах, которые в процессе экспериментов должным образом были оптимизированы. Так, маленькие АИКи (диаметр 5 см, длина 20 см) позволили получить плазменные потоки водорода с эквивалентным ионным током  $I_i^{\text{экв}}$  до 30 кА, а ВИБ обеспечивал потоки с  $I_i^{\text{экв}}$  — до 1–2 МА и скоростями ~50 км/с. Было осуществлено «глобальное численное моделирование КСПУ» (выражение А. Н. Тихонова), включая создание трехмерных нестационарных кодов.

Учитывая сложность «полноблочной» модели КСПУ, первый этап комплексных исследований был выполнен на упрощенных двухступенчатых моделях типа П-50, в которых трансформеры представляли собой стержневые системы, а источником ионов для переноса тока служил ионизованный газ в вакуумной камере, находящейся в заанодной обла-

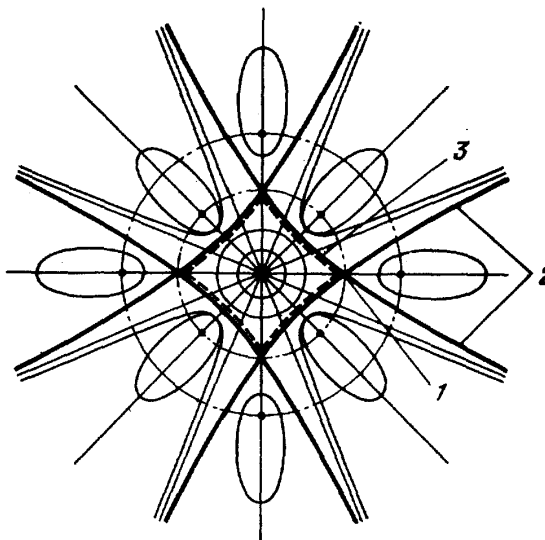


Рис. 2. Магнитная конфигурация анодного трансформера. 1 — «транспортный канал» — линия нулевого магнитного поля, 2 — «усы», 3 — магнитная эмитирующая поверхность (МЭП)

сти. Число 50 в названии модели указывает в см диаметр анода. Исследования П-50 позволили отработать технику эксперимента при наличии многих разрядных и вспомогательных сильноточных цепей, выбрать оптимальные средства диагностики и, главное, убедиться в возможности управления разрядом в ускорителе.

Исследование Е- и Н-полей в канале разных модификаций П-50, показали, что подбирая условия на входе и в окрестности анода, изменяя параметры разрядов в ВИБ и в основной ступени, можно получить самые различные распределения указанных параметров, в том числе и «расчетные» (ХФТИ, ФИАЭ, ИФ АН БССР). Максимальные выходные параметры плазменного потока были получены в ХФТИ ( $I_1^{\text{экс}} \sim 1\text{--}2\text{ МА}$ ,  $\epsilon_1 \sim 1\text{ кэВ}$ ,  $\tau_{\text{раб}} \approx 50\text{ мкс}$ ). Подробнее см. [3].

В настоящее время (январь 1990 года) идет освоение «полноблочных» моделей типа К-50, в которых можно будет легко управлять работой трансформеров. Есть основание надеяться, что уже к концу этого года на этих моделях будут получены лучшие результаты П-50, что создаст основу для дальнейшего увеличения выходных параметров.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брушлинский К. В., Морозов А. И., Соловьев Л. С. // Вопросы теории плазмы.— М.: Атомиздат, 1974.— Вып. 8. С. 3.
2. Виноградова А. К., Ковров П. Е., Морозов А. И., Шубин А. П. // Физика и применение плазменных ускорителей.— Минск: Наука и техника. 1974.— С. 78.
3. Морозов А. И. и др. // Физ. плазмы. 1990. № 2. С. 3.

53(048)

#### НАУЧНАЯ СЕССИЯ ОТДЕЛЕНИЯ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ И АСТРОНОМИИ АКАДЕМИИ НАУК СССР (28 февраля 1990г.)

28 февраля 1990 г. в Институте физических проблем им. С. И. Вавилова АН СССР состоялась научная сессия Отделения общей физики и астрономии АН СССР. На сессии были заслушаны доклады:

1. Л. Б. Леинсон, В. Н. Ораевский, В. Б. Семикоз, Я. А. Смородинский. Электродинамика нейтрино в сплошных средах.
2. В. В. Нестеров, А. А. Овчинников, А. М. Черепатук, Е. К. Шеффер. Проблемы космической астрометрии. Проект ЛОМО-НОСОВ.

Краткое содержание докладов приводится ниже.

539.123(048)

**Л. Б. Леинсон, В. Н. Ораевский, В. Б. Семикоз, Я. А. Смородинский.** Электродинамика нейтрино в сплошных средах. В стандартной модели электрослабых взаимодействий вакуумные электромагнитные характеристики нейтрино: среднеквадратичный электромагнитный радиус  $\langle r_v^2 \rangle^{1/2}$  и аномальный магнитный момент  $\Delta\mu_{\text{vac}}$  обязаны взаимодействию нейтрино с вакуумом векторных Z-, W-бозонов и лептонов.

Благодаря этим характеристикам нейтрино, как и нейтрон, взаимодействует с фотонами, электронами и т. д. Другими словами, учет радиационных поправок (РП) к слабому взаимодействию, рассчитанных в однопетлевом приближении, позволяет вычислить электромагнитную структуру нейтрино в вакууме.