

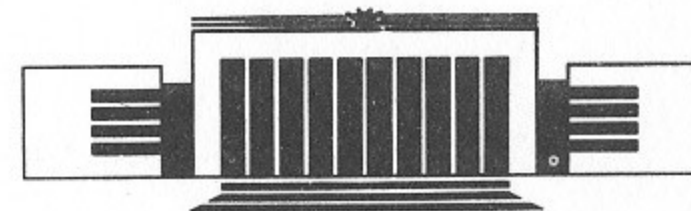


ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СО АН СССР

А.Н. Шарапа, А.В. Шемякин

**УСТАНОВКА ЭЛЕКТРОННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ
БЕЗ ПОВОРОТНЫХ МАГНИТОВ**

ПРЕПРИНТ 90-110



НОВОСИБИРСК

Установка электронного охлаждения
без поворотных магнитов

А.Н. Шарапа, А.В. Шемякин

Институт ядерной физики
630090, Новосибирск 90, СССР

АННОТАЦИЯ

В работе предложена схема аксиально-симметричной установки электронного охлаждения без поворотных магнитов и решения по наиболее важным ее элементам — пушке и рекуператору. Исследованы основные характеристики рекуператоров типа цилиндр Фарадея с отражателем и с преобразованием формы пучка. В пушке с кольцевым эмиттером сформирован пучок диаметром 40 мм и размером возмущенной области порядка нескольких миллиметров.

В установках электронного охлаждения ввод электронного пучка в канал накопителя и вывод осуществляются с помощью поворотных магнитов [1]. По-видимому, более компактной и естественной является аксиально-симметричная система, в которой электронная пушка, рекуператор и канал накопителя расположены на одной оси. Один из возможных вариантов такой системы приведен на рис. 1. Основные преимущества установки без поворотных магнитов состоят в том, что в ней отсутствует поперечный удар магнитным полем по пучку охлаждаемых частиц, значительно меньше общая длина установки и нет достаточно сложных поворотных магнитов. В качестве рекуператора можно использовать и более сложный коллектор с преобразованием формы пучка (рис. 3).

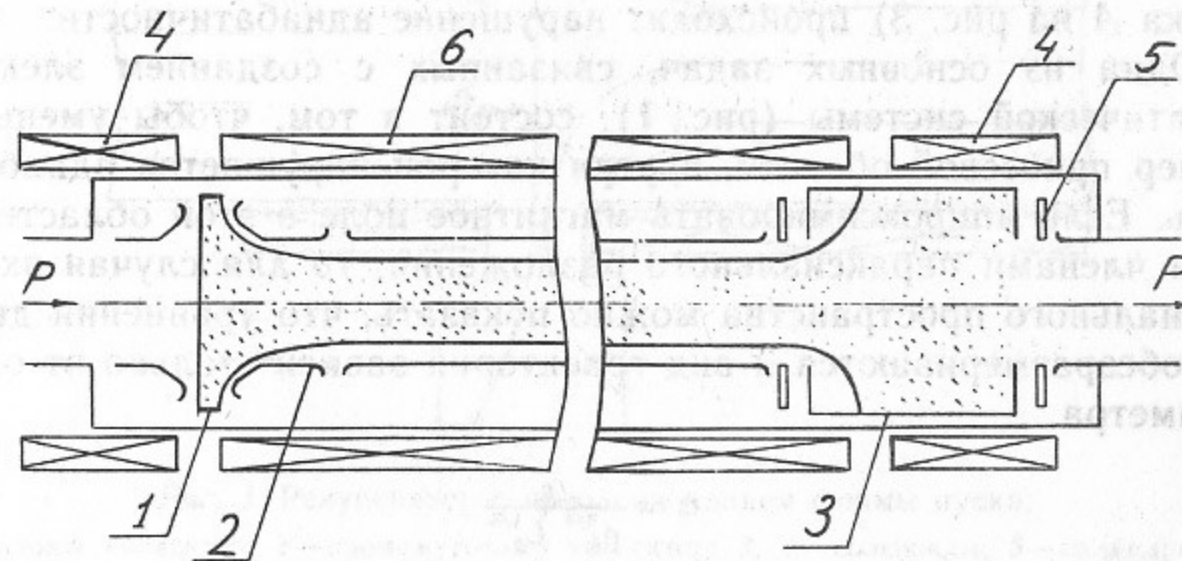


Рис. 1. Схема установки электронного охлаждения без поворотных магнитов:
1 — эмиттер; 2 — анод; 3 — рекуператор; 4 — дополнительный соленоид; 5 — отражатель; 6 — основной соленоид.

Настоящая работа посвящена исследованию электронной пушки и рекуператора, пригодных для использования в установке электронного охлаждения без поворотных магнитов. Однако, предлагаемая электронно-оптическая система может быть использована и в других устройствах, использующих рекуперацию энергии электронного пучка: например, в электронно-лучевом вентиле или установке, формирующей электронный пучок для лазера на свободных электронах.

1. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ФОРМЫ ПУЧКА

Основная особенность предлагаемой электронно-оптической системы в том, что она не имеет конструктивных элементов на оси. Это достигается за счет использования электронной пушки (рис. 2), в которой происходит преобразование формы пучка в магнитном поле встречно включенных соленоидов. Подобное же преобразование формы пучка в рекуператоре (рис. 3) дает возможность не только убрать конструктивные элементы с оси электронно-оптической системы, но и кардинально увеличить первичный коллектор P_k и поднять за счет этого эффективность рекуперации [2].

При достаточно сильном магнитном поле траектории электронов в электронной пушке и коллекторе практически совпадают с силовыми линиями, однако, вблизи точки нуля магнитного поля (точка А на рис. 3) происходит нарушение адиабатичности.

Одна из основных задач, связанных с созданием электронно-оптической системы (рис. 1), состоит в том, чтобы уменьшить размер приосевой области, внутри которой нарушается адиабатичность. Если аппроксимировать магнитное поле в этой области первыми членами параксиального разложения, то для случая эквипотенциального пространства можно показать, что уравнения движения обезразмериваются и вид траекторий зависит только от одного параметра

$$\alpha = \frac{r_0}{\rho_0^{3/4} L_0^{1/4}},$$

где

$$\rho_0 = \frac{mc v_0}{e H_0}; \quad L_0 = R_c \cdot [1 + (a/R_c)^2]^{3/2};$$

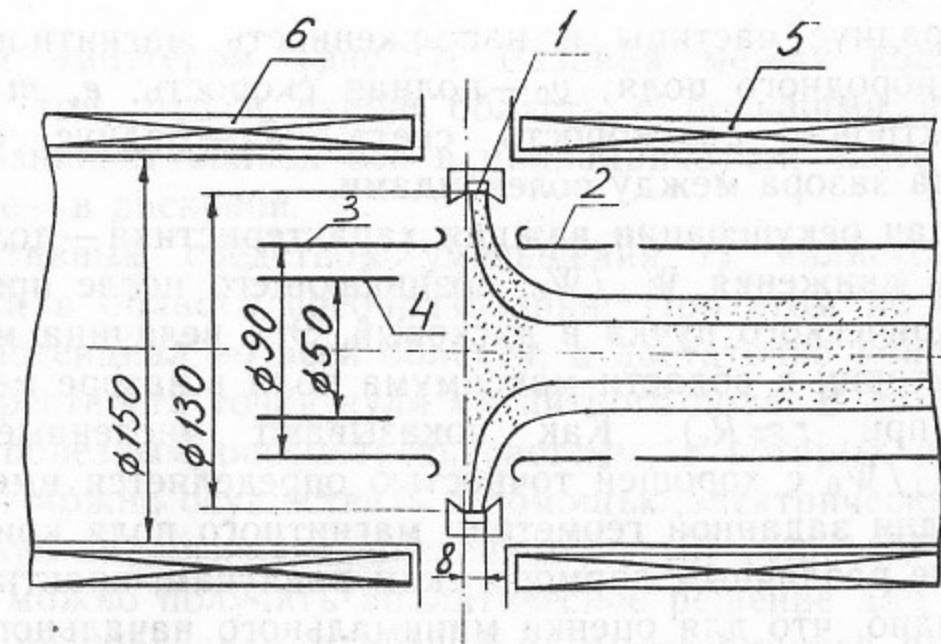


Рис. 2. Схема электронной пушки:

1 — катодный узел; 2, 3 — аноды; 4 — цилиндрический электрод; 5, 6 — соленоиды.

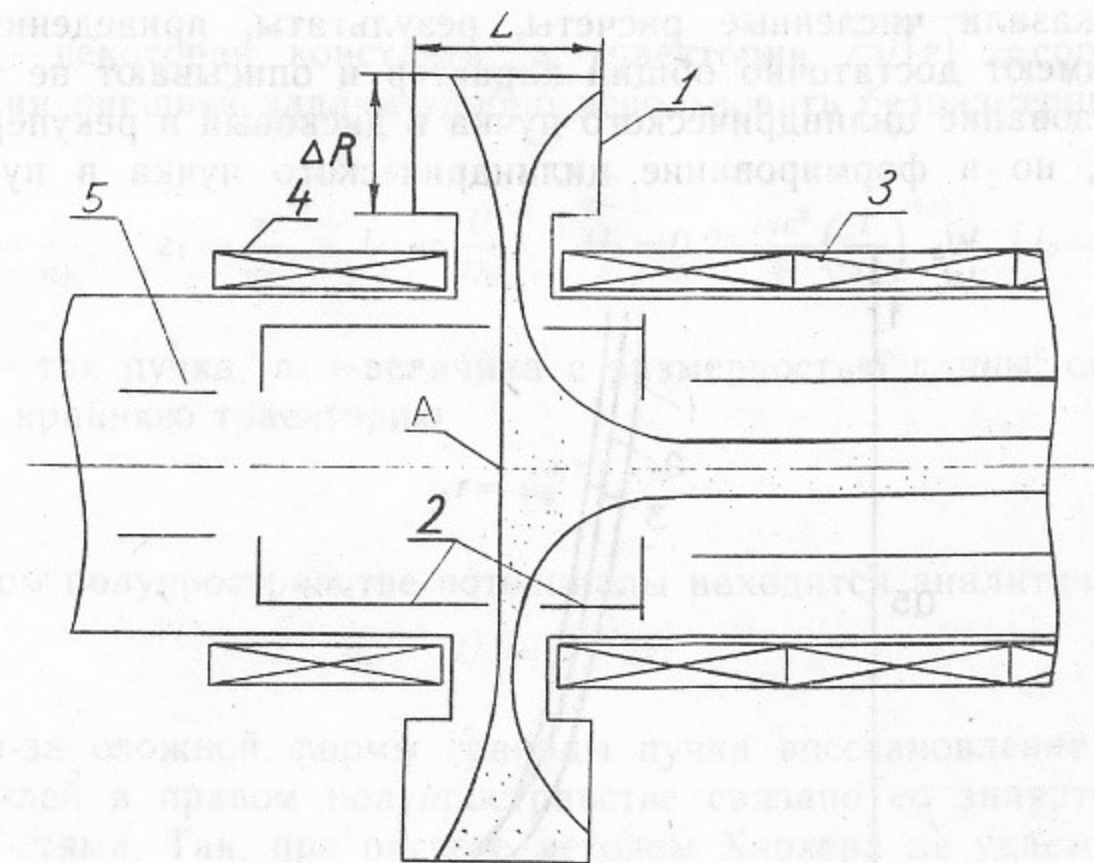


Рис. 3. Рекуператор с преобразованием формы пучка:

1 — основной коллектор; 2 — промежуточный коллектор; 3, 4 — соленоиды; 5 — цилиндрический электрод.

r_0 и H_0 — радиус частицы и напряженность магнитного поля в области однородного поля; v_0 — полная скорость; e , m — заряд и масса электрона; c — скорость света; R_c — радиус соленоида; a — половина зазора между соленоидами.

Для задач рекуперации важная характеристика — доля энергии поперечного движения W_{\perp}/W_0 , возникающего после преобразования цилиндрического пучка в дисковый. Эта величина максимальна по траектории в области максимума поля в зазоре между соленоидами (при $r \approx R_c$). Как показывают численные расчеты (рис. 4), W_{\perp}/W_0 с хорошей точностью определяется именно параметром α : для заданной геометрии магнитного поля кривые, соответствующие различным ларморовским радиусам, практически совпадают. Видно, что для оценки минимального начального радиуса r_m , при котором движение возмущается слабо ($W_{\perp}/W_0 \ll 1$) можно положить

$$r_m \approx \rho_0 \cdot 2.4 (L_0/\rho_0)^{1/4}.$$

Как показали численные расчеты, результаты, приведенные на рис. 4, имеют достаточно общий характер и описывают не только преобразование цилиндрического пучка в дисковый в рекуператоре (рис. 3), но и формирование цилиндрического пучка в пушке с

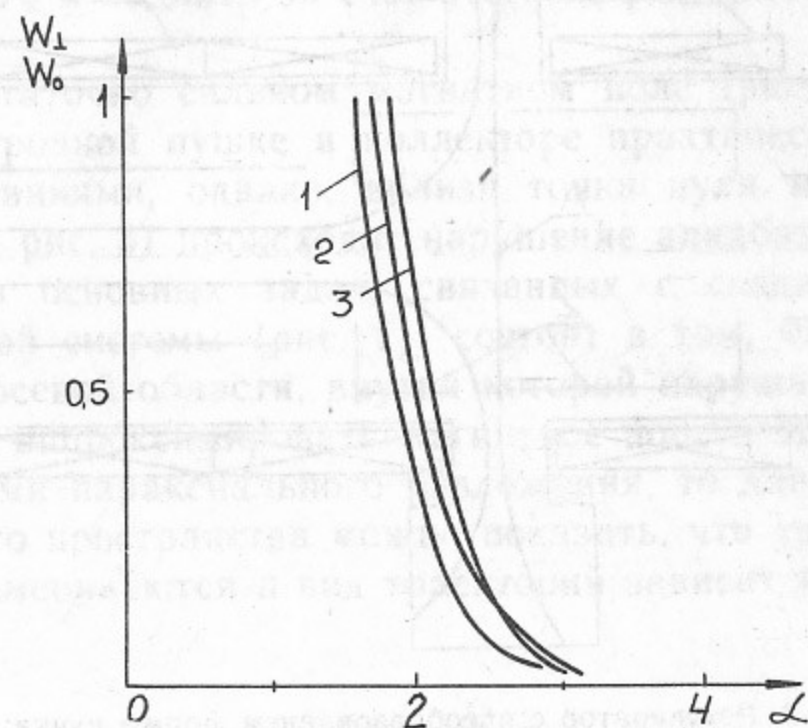


Рис. 4. Зависимость $W_{\perp}/W_0(\alpha)$ в точке максимума магнитного поля ($r=R_c$). Расчет для $R_c=140$ мм, $a=50$ мм, $\rho_0=2,1$ мм (1), $\rho_0=1,1$ мм (2), $\rho_0=0,7$ мм (3).

кольцевым эмиттером (рис. 2). Разница между коллектором и пушкой в том, что в пушке область с большими поперечными углами возникает вблизи оси в цилиндрической части пучка, а в коллекторе — в дисковой.

Эффективным средством уменьшения r_m является снижение потенциала в области преобразования. При этом не обязательно снижать потенциал во всей области, а достаточно понизить потенциал в окрестности точки нуля магнитного поля. В этой связи оказывается полезным рассмотреть системы, в которых преобразование в диск можно осуществить с помощью электрических полей.

Действуя аналогично приведенному в [3] решению для плоского пучка, можно получить аналитическое решение для электростатического преобразования аксиально-симметричного пучка. В нем плотность заряда во всем пространстве постоянна, эквипотенциали имеют вид эллипсоидов (рис. 5а):

$$U = \beta(r^2 + 4z^2),$$

где β — некоторая константа, а траектории $r\sqrt{|z|} = \text{const}$. Для решения внешней задачи удобно использовать безразмерные величины:

$$r_1 = \frac{r}{a_0}, \quad z_1 = \frac{z}{a_0}, \quad U_1 = \frac{U}{U_0}, \quad U_0 = 0,24 \frac{mc^2}{e} \left(\frac{I}{I_0} \right)^{2/3}, \quad I_0 = \frac{mc^3}{e},$$

где I — ток пучка; a_0 — величина с размерностью длины, определяющая крайнюю траекторию

$$r = a_0^{3/2} / z^{1/2}.$$

В левом полупространстве потенциалы находятся аналитически:

$$U_1 = r_1^2 - 2z_1^2.$$

Из-за сложной формы границы пучка восстановление эквипотенциалей в правом полупространстве связано со значительными трудностями. Так, при расчете методом Харкера не удается найти однозначного конформного преобразования для области, находящейся на достаточно большом расстоянии от границы пучка. Тем не менее, для определения формы электродов эта трудность не имеет серьезного значения, так как эквипотенциали вблизи пучка определяются достаточно точно. На рис. 5б показаны результаты численного моделирования движения пучка в системе электродов

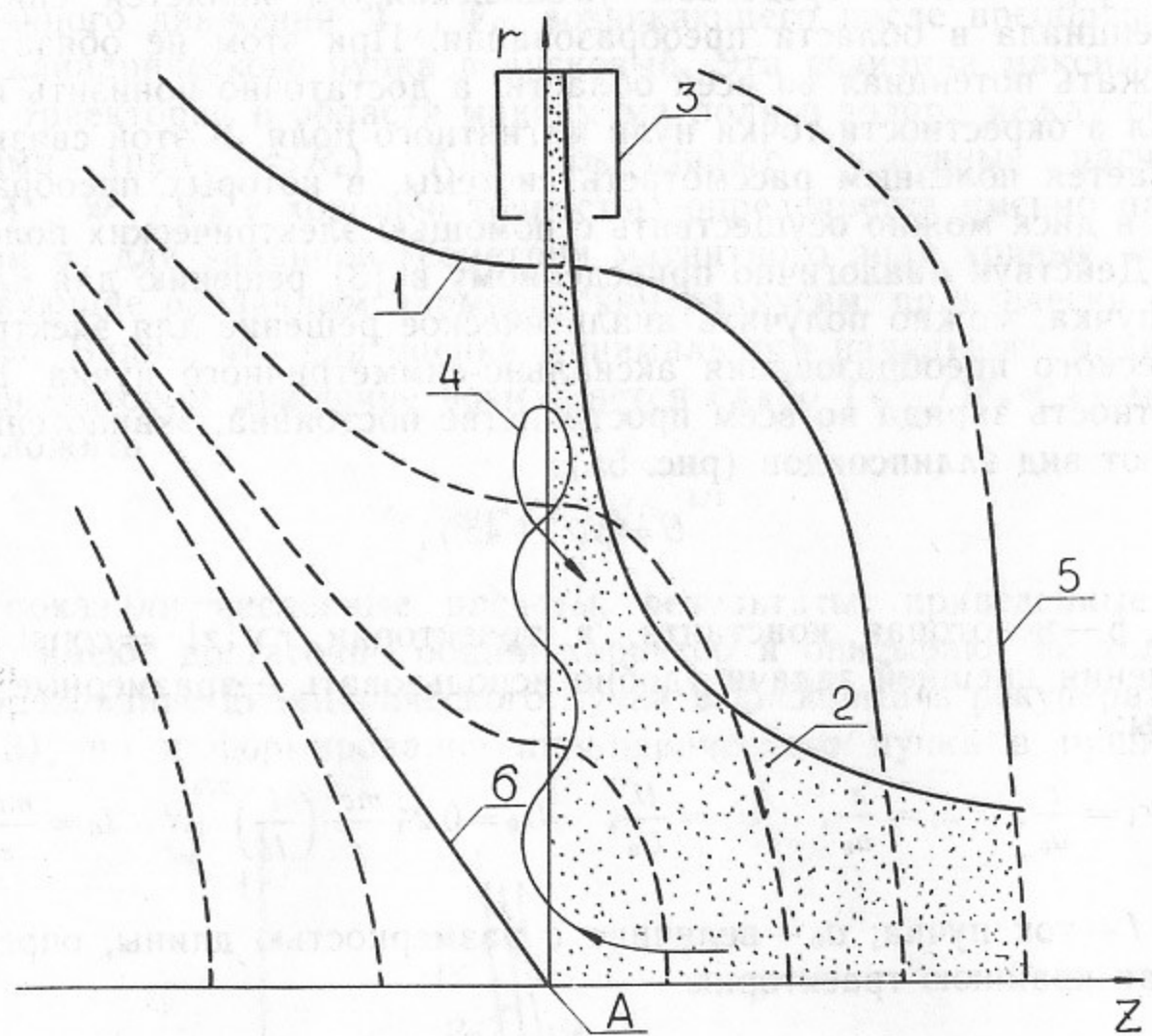


Рис. 5а. Рекуператор с электростатическим преобразованием цилиндрического пучка в дисковый:

1—электрод; 2—пучок; 3—кольцевой коллектор; 4—траектории электронов, отраженных от магнитной пробки; 5—анод; 6—конусный электрод.

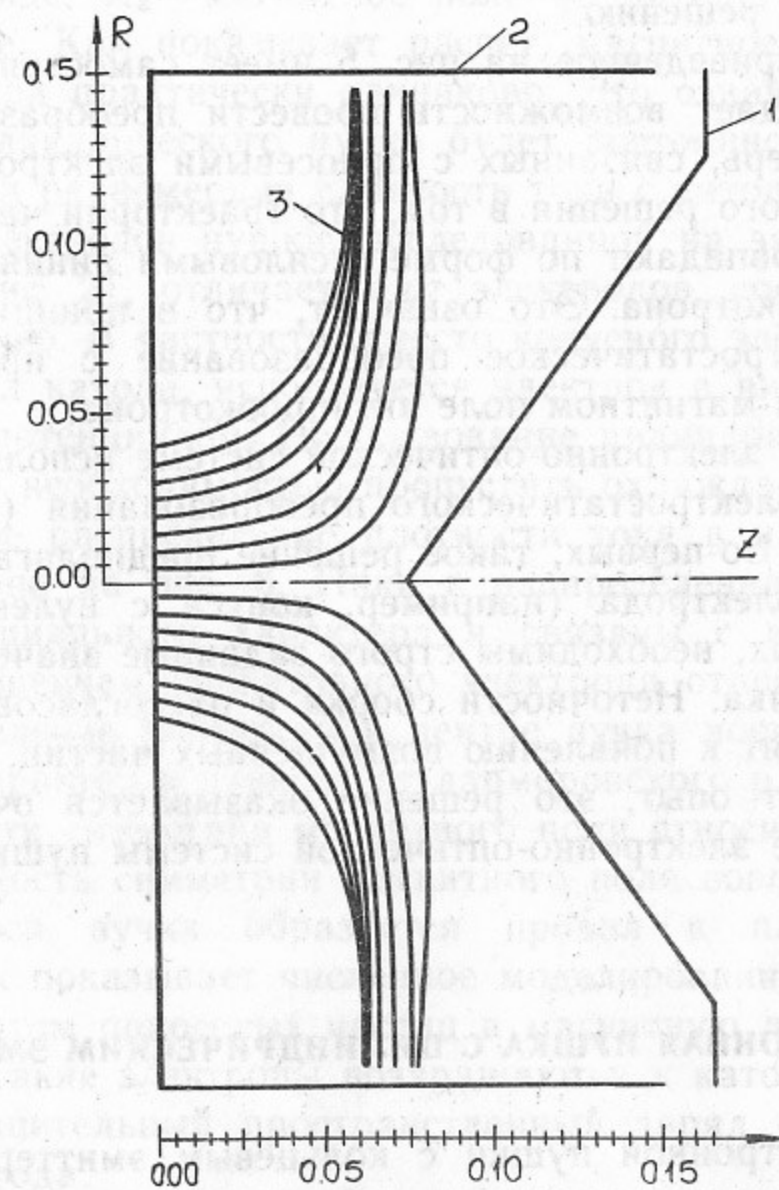


Рис. 5б. Результаты численного моделирования движения пучка в системе электродов упрощенной формы:

1—конусный электрод с нулевым потенциалом; 2—электрод с потенциалом 10 кВ; 3—электронный пучок. Ток 20 А.

упрощенной формы. Траектории электронов близки к соответствующим точному решению.

Решение, приведенное на рис. 5 имеет самостоятельное значение, так как дает возможность провести преобразование формы пучка без потерь, связанных с приосевыми электронами. Важная особенность этого решения в том, что траектории частиц в приосевой области совпадают по форме с силовыми линиями магнитного поля антипробкотрона. Это означает, что в принципе можно совместить электростатическое преобразование с преобразованием формы пучка в магнитном поле антипробкотрона.

В реальной электронно-оптической системе использовать точное решение для электростатического преобразования (рис. 5) достаточно сложно. Во-первых, такое решение предполагает наличие на оси системы электрода (например, конуса с нулевым потенциалом). Во-вторых, необходимы строго заданные значения потенциалов и тока пучка. Неточности сборки и рассогласования в потенциалах приводят к появлению возмущенных частиц. Тем не менее, как показывает опыт, это решение оказывается очень полезным при разработке электронно-оптической системы пушки и рекуператора.

2. ЭЛЕКТРОННАЯ ПУШКА С ЦИЛИНДРИЧЕСКИМ ЭМИТТЕРОМ

Схема электронной пушки с кольцевым эмиттером приведена на рис. 2. Положение эмиттера выбирается таким образом, чтобы плоскость симметрии магнитного поля примерно совпадала с одним из краев эмиттера.

Основные требования к электронному пучку, сформированному этой пушкой, сводятся к тому, чтобы обеспечить равномерную плотность тока и минимальный размер r_m приосевой области с большими поперечными углами.

Формирование пучка с однородной плотностью тока $j(R)$ не является сложной задачей в случае, если $r_m \ll d_n$, где d_n — диаметр пучка в области однородного магнитного поля. В этом случае электроны заморожены в магнитное поле и для любой траектории, находящейся вне радиуса r_m :

$$j_n = \frac{H_0}{H_k} j_k,$$

где j_n — плотность тока в цилиндрическом пучке; H_0 — магнитное поле в соленоиде; H_k — магнитное поле на катоде; j_k — плотность тока на катоде. Как показывает расчет, магнитное поле по всей ширине эмиттера практически одинаково. Это означает, что плотность тока цилиндрического пучка будет постоянной по радиусу, если обеспечена равномерная плотность тока с катода.

Система электродов пушки, исследованной на экспериментальном стенде (рис. 2), отличается от электродов, соответствующих точному решению. В частности, вместо конусного электрода, имеющего потенциал катода, используется электрод в виде цилиндра с более низким потенциалом. Использование цилиндрического электрода связано с необходимостью пропустить охлаждаемый пучок.

Характерное распределение плотности тока в цилиндрическом пучке приведено на рис. 6. Пики в распределении плотности не имеют принципиального характера и связаны с конструктивной ошибкой — смещением прикатодного электрода относительно эмиттера. Распределение плотности в центре пучка носит более принципиальный характер и зависит от ларморовского радиуса и положения плоскости симметрии магнитного поля относительно эмиттера. Если плоскость симметрии магнитного поля совпадает с краем катода, на оси пучка образуется провал в плотности тока (рис. 6, а). Как показывает численное моделирование, этот эффект связан с захватом приосевых частиц в магнитную ловушку (антипробкотрон). Такие электроны возвращаются к катоду и формирующий дополнительный пространственный заряд снижает эмиссию с края катода.

Основной задачей экспериментов с пушкой было измерение углового распределения электронов в пучке. Результаты таких измерений, проводившихся методом анализа продольной температуры электронов [4], показаны на рис. 7. При потенциале цилиндрического электрода, равном потенциалу анода, величина r_m примерно совпадает с результатами траекторного анализа и оценками для эквипотенциального пространства, а при более низких потенциалах уменьшается. Размер области с большими углами уменьшается с ростом величины магнитного поля (рис. 6, б): $r_m \sim H_0^{-3/4}$.

В электронной пушке с кольцевым катодом возможно также формирование пучка, в котором нет электронов с большими поперечными углами. Такой пучок формируется в случае, если плоскость симметрии магнитного поля смещена на величину Δ относительно края эмиттера, так что приосевая область свободна от

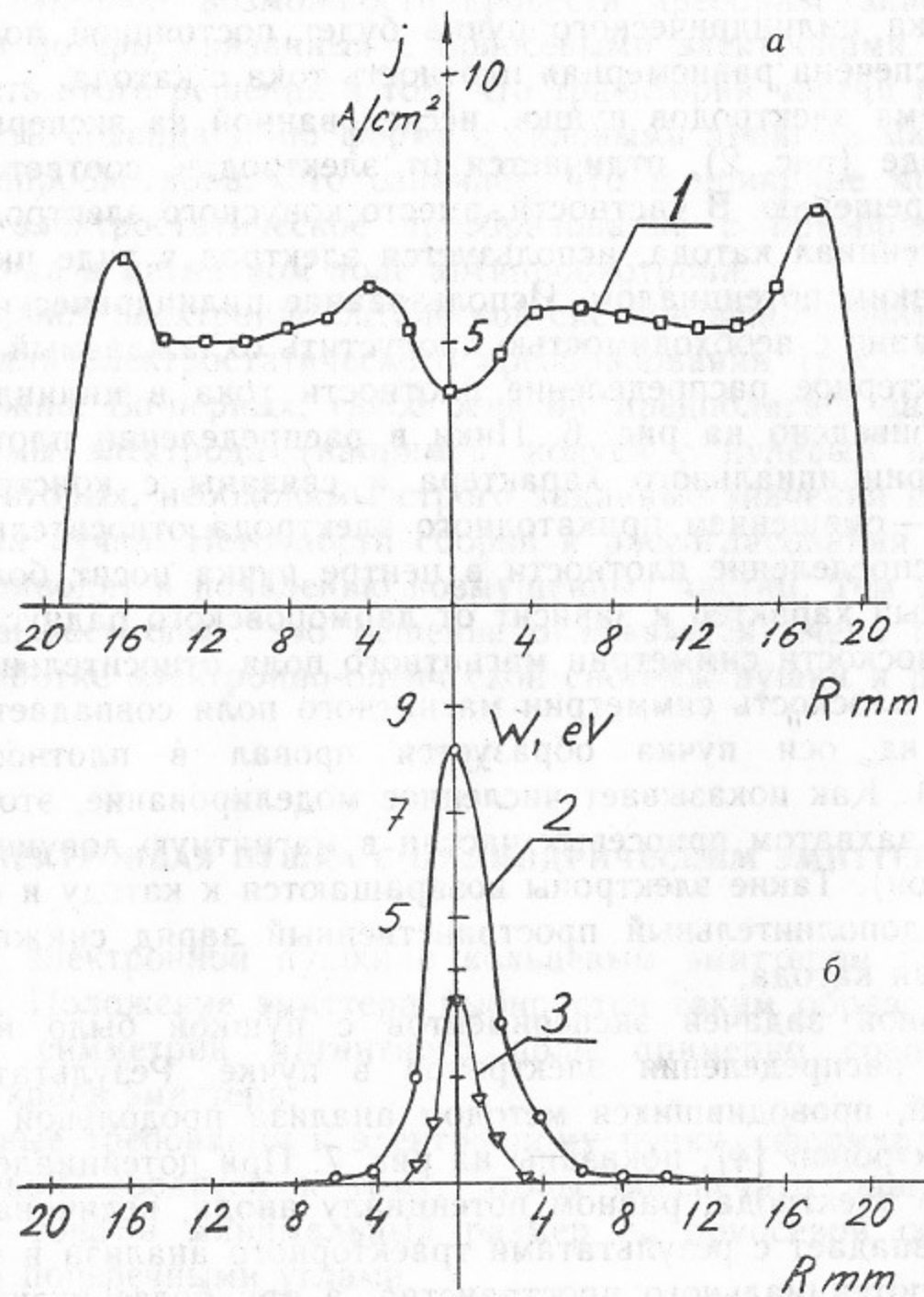


Рис. 6. Распределение плотности тока и поперечных энергий в пучке:
 1 — характерное распределение плотности тока; 2, 3 — распределение поперечных энергий в пучке. Потенциал цилиндрического электрода равен потенциалу катода. $H=250$ Гс (2), $H=500$ Гс (3).

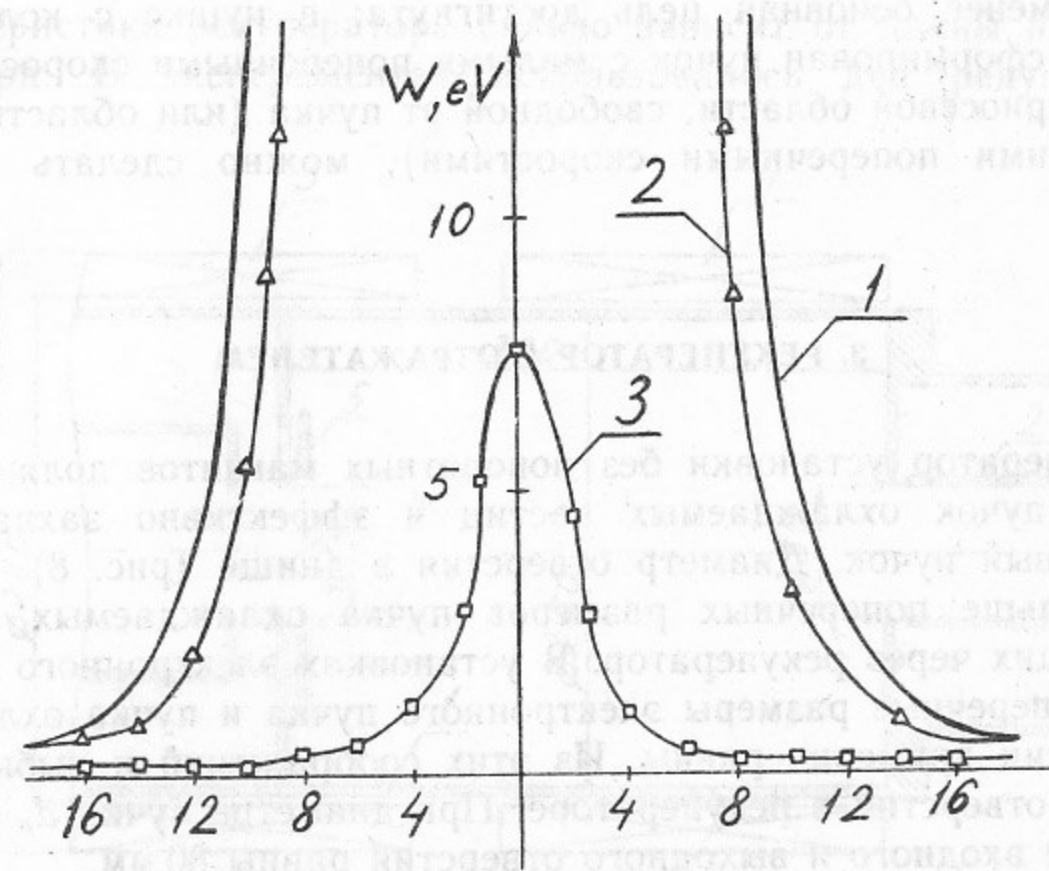


Рис. 7. Распределение поперечных энергий электронов в пучке, сформированном пушкой с кольцевым катодом:

1 — расчетная кривая для случая, когда потенциал цилиндрического электрода равен потенциалу анода; 2 — экспериментальная кривая для этого же режима; 3 — экспериментальная кривая для случая, когда потенциал цилиндрического электрода равен потенциалу катода. Потенциал анода 100 В, $H=250$ Гс.

электронного пучка. Величину Δ можно оценить из равенства магнитных потоков:

$$\Delta \approx \frac{r_m^2}{2R_k} \frac{H_0}{H_k},$$

где R_k — радиус катода.

Основные параметры пучка

Ток, мА	100.
Энергия, В	350.
Первеанс, $A/V^{3/2}$	$15 \cdot 10^{-6}$.
Диаметр пучка, мм	40.
Диаметр возмущенной области, мм	6.
Магнитное поле, Гс	500.

Результаты работы по пушке носят предварительный характер, тем не менее основная цель достигнута: в пушке с кольцевым катодом сформирован пучок с малыми поперечными скоростями, а размер приосевой области, свободной от пучка (или области пучка с большими поперечными скоростями), можно сделать малым: $r_m \ll d_n$.

3. РЕКУПЕРАТОР С ОТРАЖАТЕЛЕМ

Рекуператор установки без поворотных магнитов должен пропускать пучок охлаждаемых частиц и эффективно захватывать электронный пучок. Диаметр отверстия в днище (рис. 8) должен быть больше поперечных размеров пучка охлаждаемых частиц, проходящих через рекуператор. В установках электронного охлаждения поперечные размеры электронного пучка и пучка охлаждаемых частиц примерно равны. Из этих соображений и выбирались размеры отверстий в рекуператоре. При диаметре пучка $d_n = 50$ мм диаметры входного и выходного отверстия равны 80 мм.

В рекуператоре (рис. 8) возможны дополнительные потери, связанные с потоком электронов через выходное отверстие рекуператора. В установках электронного охлаждения, как правило, требуется иметь относительные потери тока

$$\Delta I/I \approx 10^{-4} \div 10^{-5}.$$

Для снижения потока электронов, проходящих через рекуператор, можно использовать в качестве коллектора достаточно длинный цилиндр, расположенный вне соленоида. Длину такого цилиндра L_c легко оценить для случая, когда магнитное поле в нем велико и движение адиабатично: для $\Delta I/I = 10^{-5}$ $L_c/d_n = 50$. Длину цилиндра можно кардинально уменьшить, если использовать отражающий электрод (рис. 8). При достаточно низком потенциале отражателя поток электронов, проходящих через рекуператор, будет равен нулю. Эффекты, связанные с применением отражающего электрода, отличают этот рекуператор от обычного цилиндра Фарадея.

Рекуператоры, в которых используется отражающий электрод в виде конуса [5] или сетки [6] известны, однако геометрия этих рекуператоров не приспособлена для пропускания пучка охлаждаемых частиц.

Как показали эксперименты, влияние отражателя на основные характеристики рекуператора сильно зависит от длины приемного цилиндра. В экспериментах использовалось два рекуператора,

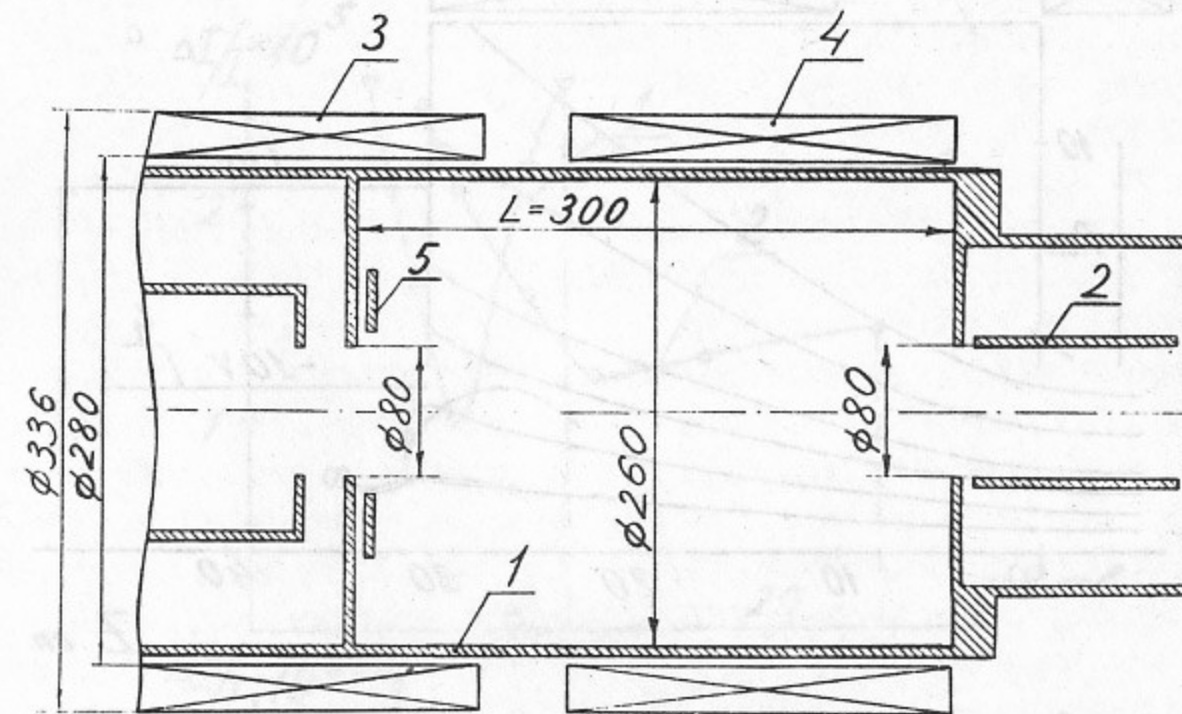


Рис. 8. Схема рекуператора с отражателем:

1 — коллектор; 2 — отражатель; 3 — основной соленоид; 4 — встречная катушка; 5 — запирающий электрод.

отличающиеся длиной приемного цилиндра (300 и 400 мм). В таком рекуператоре доля частиц, попадающих в область отражателя, сильно зависит от распределения магнитного поля. С помощью встречной катушки можно в несколько раз уменьшить плотность частиц в области отражателя и за счет этого уменьшить длину рекуператора, обеспечивающего заданные потери. Результаты траекторного анализа, иллюстрирующие влияние встречной катушки, приведены на рис. 9. В коротком рекуператоре ($L_c = 300$ мм) при оптимальной настройке тока во встречной катушке относительные потери $\Delta I/I = 10^{-5}$. Минимальные потери наблюдаются в режиме, когда магнитное поле в области отражателя минимально. При выключенной встречной катушке токи потерь в несколько раз выше. При потенциале отражающего электрода, равном потенциалу приемного цилиндра, относительные потери практически совпадают с потерями рекуператора с отражателем при оптимальной настройке встречной катушки (рис. 10). Основной недостаток короткого рекуператора с отражателем в том, что его предельный первеанс примерно в два раза ниже, чем обычного цилиндра Фарадея с теми же геометрическими размера-

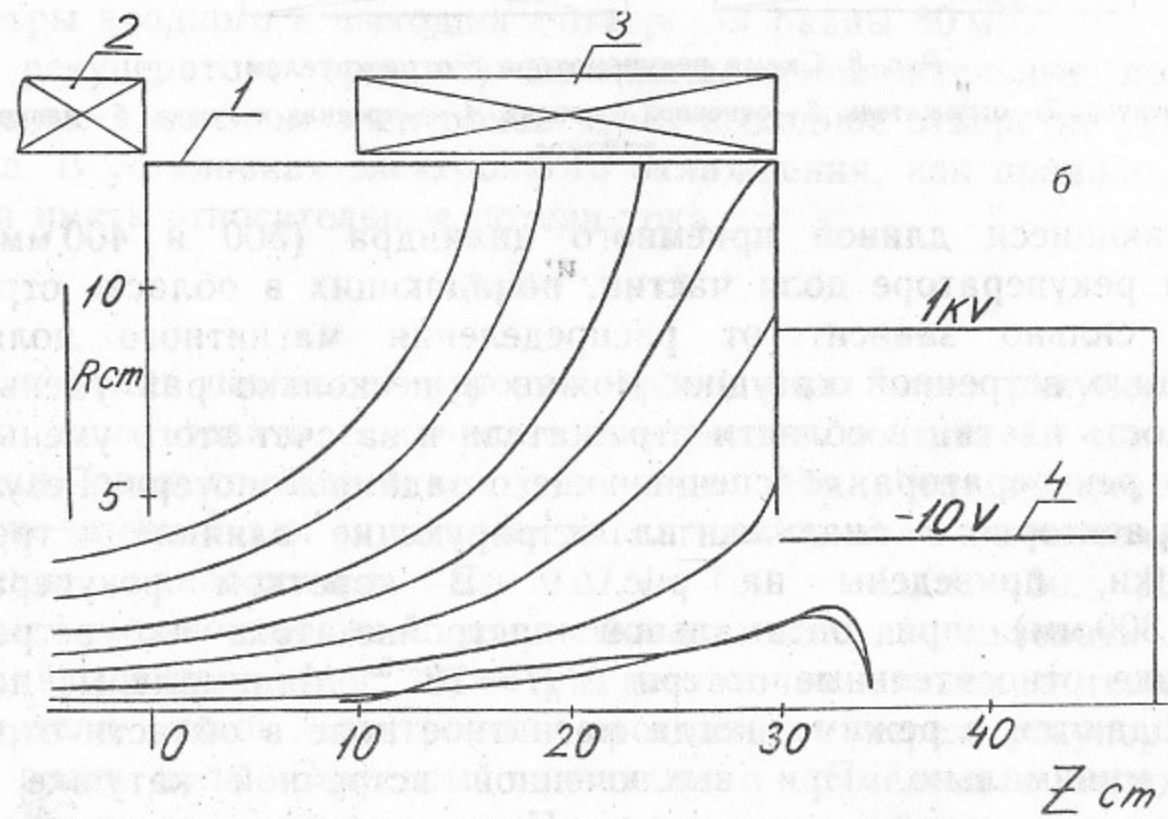
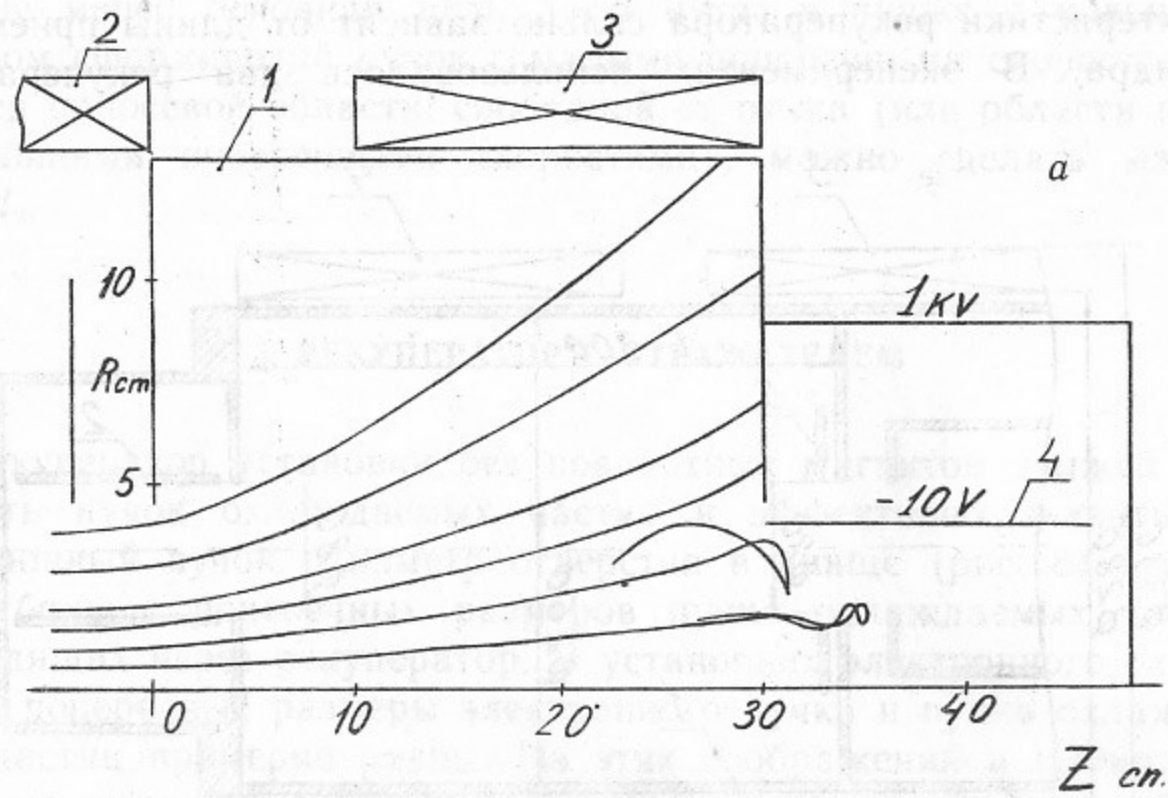


Рис. 9. Результаты траекторного анализа. $H=500$ Гс.

a — дополнительная катушка выключена, *б* — дополнительная катушка настроена оптимально.
 1 — коллектор; 2 — основной соленоид; 3 — встречная катушка; 4 — отражатель.

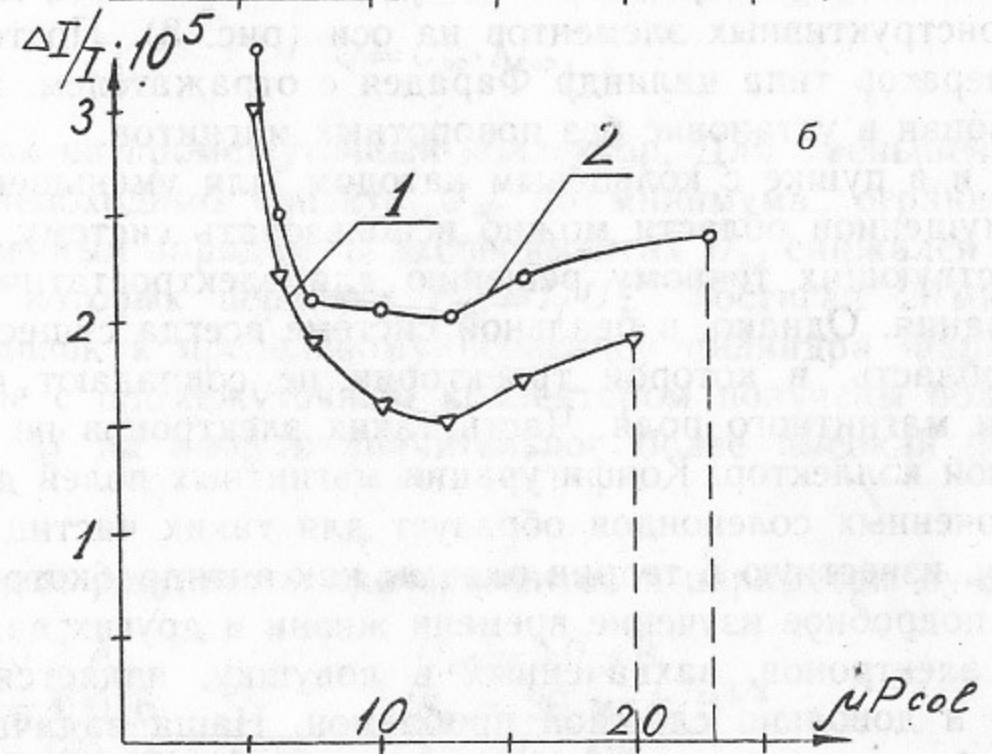
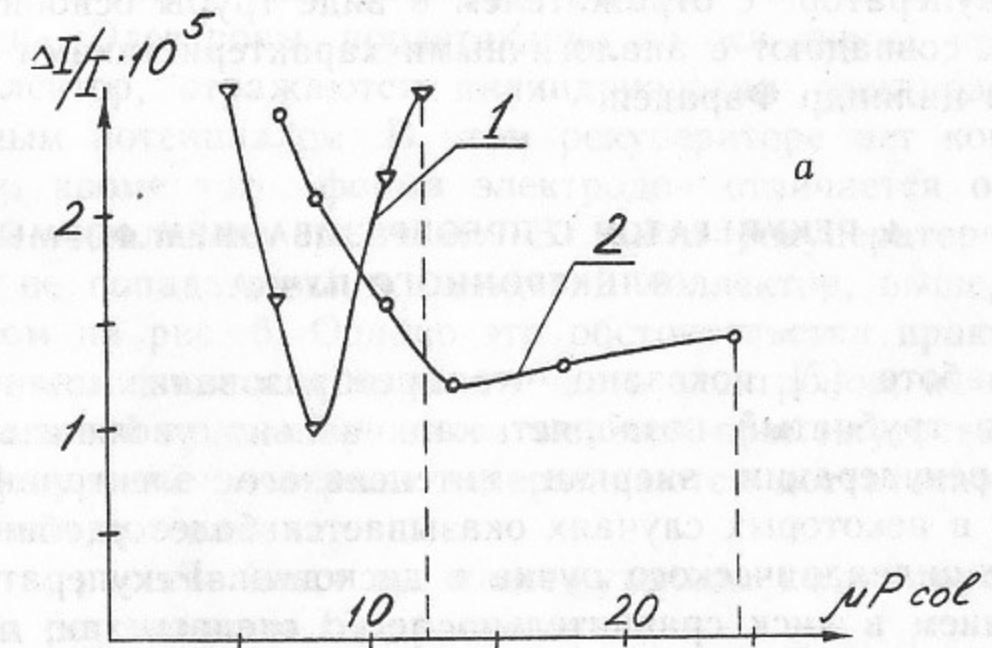


Рис. 10. Зависимость относительных потерь от первеанса коллектора ($I=0,8$ А, $H=400$ Гс):

a — короткий коллектор ($L_c=300$ мм), *б* — длинный коллектор ($L_c=450$ мм); 1 — потенциал отражателя равен потенциалу катода, 2 — отражатель соединен с коллектором.

ми (рис. 10, а). В более длинном рекуператоре ($L_c=450$ мм) разница в первеансах практически исчезает (рис. 10, б).

Проведенные эксперименты показали, что в достаточно длинном рекуператоре с отражателем в виде трубы основные характеристики совпадают с аналогичными характеристиками рекуператора типа цилиндр Фарадея.

4. РЕКУПЕРАТОР С ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ ФОРМЫ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА

В работе [7] показано, что преобразование цилиндрического пучка в трубчатый позволяет кардинально увеличить эффективность рекуперации энергии интенсивного электронного пучка. Однако в некоторых случаях оказывается более удобным преобразование цилиндрического пучка в дисковый. Рекуператор с преобразованием в диск сравнительно легко сделать так, чтобы он не имел конструктивных элементов на оси (рис. 3). Поэтому он, как и рекуператор типа цилиндр Фарадея с отражателем, может быть использован в установке без поворотных магнитов.

Как и в пушке с кольцевым катодом, для уменьшения диаметра возмущенной области можно использовать систему электродов, соответствующих точному решению для электростатического преобразования. Однако, в реальной системе всегда существует приосевая область, в которой траектории не совпадают с силовыми линиями магнитного поля. Часть таких электронов не попадает в кольцевой коллектор. Конфигурация магнитных полей двух встречно включенных соленоидов образует для таких частиц магнитную ловушку, известную в теории плазмы как антипробкотрон. Очевидно, что подробное изучение времени жизни и других важных параметров электронов, захваченных в ловушку, является самостоятельной и довольно сложной проблемой. Наша задача состоит в том, чтобы снизить до минимума выход электронов из ловушки в область с высоким потенциалом. Как показали эксперименты, распределение потенциалов, обеспечивающее эффективное преобразование (рис. 5), плохо приспособлено для решения этой задачи. Быстрое нарастание потенциала от центра, которое требуется для точного решения, увеличивает выход электронов из ловушки по оси. В условиях нашего эксперимента в рекуператоре, основанном на точном решении, потери на электрод с высоким потенциалом не удавалось сделать меньше 10^{-3} от полного тока.

Более эффективным для захвата частиц, не попадающих на кольцевой коллектор, оказывается рекуператор рис. 3. В нем преобразование формы пучка происходит внутри промежуточного коллектора, который имеет вид цилиндра Фарадея со щелью и отверстием в днище. Электроны, пролетающие по оси сквозь промежуточный коллектор, отражаются цилиндрическим электродом под отрицательным потенциалом. В этом рекуператоре нет конусного электрода и, кроме того, форма электродов отличается от соответствующей идеальному решению. В таком рекуператоре поток электронов, не попадающий в кольцевой коллектор, выше, чем в изображенном на рис. 5. Однако это обстоятельство практически не имеет значения, так как большая часть электронов, не попадающих в кольцевой коллектор, захватывается промежуточным коллектором. Вторичные электроны задерживаются достаточно глубоким минимумом потенциала.

Мощность, рассеиваемая на промежуточном коллекторе, находящемся под потенциалом $U_{пр}$, равна

$$Q = U_{пр} \cdot \Delta I_{пр},$$

где $\Delta I_{пр}$ — ток на промежуточный коллектор. Для уменьшения этой мощности необходимо снизить $U_{пр}$ до минимума, ограниченного пространственным зарядом. В экспериментах $U_{пр}$ снижался до значений, при которых первеанс $P_{пр} = I/U_{пр}^{3/2}$ достигал $20 \text{ мкА/В}^{3/2}$, т. е. был близок к предельному первеансу цилиндра Фарадея. В рекуператоре с промежуточным коллектором получены более низкие потери ΔI на анод и значительное более высокий первеанс коллектора.

Основные результаты-экспериментов и параметры пучка

$$\begin{array}{ll} I = 3,2 \text{ А}, & U_{пр} = 3,0 \text{ кВ}, \\ U_k = 400 \text{ В}, & P_{пр} = 20 \text{ мкА/В}^{3/2}, \\ P_k = 400 \text{ мкА/В}^{3/2}, & \Delta I_{пр}/I = 4\%, \\ \Delta I/I = 3 \cdot 10^{-4}, & H_0 = 900 \text{ Гс}. \end{array}$$

Первеанс P_k примерно в 20 раз превышает соответствующую величину для традиционного рекуператора типа цилиндр Фарадея [8]. Тем не менее, эти результаты следует считать предварительными, так как в работе не раскрыты предельные возможности рекуператоров такого типа. Основная часть работы была направлена на снижение потерь, связанных с приосевыми частицами.

Для получения предельного значения P_k необходимо согласовать размеры кольцевого коллектора ($\Delta R, L$ (рис. 3)) с толщиной преобразованного пучка h . Максимальное значение P_k достигается при условии [9]:

$$h \sim L \sim \Delta R.$$

В экспериментах использовался эмиттер диаметром 30 мм. Для этого эмиттера толщина преобразованного пучка h примерно в 10 раз меньше характерных размеров коллектора ($h \approx 5$ мм, $\Delta R \approx 50$ мм, $L \approx 50$ мм). По этой причине экспериментальное значение первеанса значительно ниже предельного для кольцевого коллектора данных размеров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эксперименты по формированию пучка в пушке с кольцевым катодом, а также эффективная рекуперация энергии электронного пучка в коллекторе без конструктивных элементов на оси являются основой для разработки установки без поворотных магнитов. Предлагаемый рекуператор с отражателем по электронно-оптическим характеристикам не уступает традиционному цилиндру Фарадея. Рекуператор с преобразованием формы пучка имеет существенно более высокий первеанс, но относительные потери в таком рекуператоре несколько выше ($\Delta I/I \approx 3 \cdot 10^{-4}$).

В пушке с кольцевым катодом сформирован электронный пучок с характерным размером возмущенной области порядка нескольких миллиметров. В настоящее время ведется работа с целью уменьшить размер возмущенной области в пучке и разработать более совершенную конструкцию катодного узла.

Отметим, что в установке без поворотных магнитов создаются более благоприятные условия для накопления вторичных электронов и электронов ионизации (в традиционных установках электронного охлаждения такие электроны испытывают дрейф в поворотных магнитах). При определенных условиях это может, по-видимому, оказывать влияние на процесс охлаждения [10]. Эффекты накопления требуют специального рассмотрения.

В настоящее время разрабатывается установка электронного охлаждения без поворотных магнитов на энергию электронов порядка 100 кэВ и ток несколько ампер.

Авторы благодарят Т.Н. Андрееву за проведение численных расчетов, Г.Ф. Балыкова за изготовление катодного узла, С.И. Проценко за участие на начальной стадии экспериментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Куделайнен В.И., Мешков И.Н., Салимов Р.А. Препринт ИЯФ СО АН СССР 72-70, Новосибирск, 1970.
2. Sharapa A.N., Shetjakin A.V. Nucl. Instr. Meth., 1990, v.A289, p.14—16.
3. Курштейн П.Т., Кайно Г.С., Уотерс У.Е. Формирование электронных пучков. — М.: Мир, 1970, с.102—104.
4. Куделайнен В.И., Лебедев В.А., Мешков И.Н. и др. ЖЭТФ, 1982, т.83, № 6, с.2056—2064.
5. Bell M. et al. Nucl. Instr. Meth., 1981, v.190, p.237—255; C. Habfast et al., Phys. Scr., 1988, v.22, p.277.
6. Seligmann B. Thesis, KfK 4503, Kernforschungs Zentrum Karlsruhe, 1989.
7. Кокоулин В.И., Мешков И.Н., Шарпа А.Н. ЖТФ, 1980, т.50, № 7, с.1475—1479.
8. Ареништам А.И., Мешков И.Н., Пономаренко В.Г. и др. ЖТФ, 1971, т.41, № 2, с.336—338.
9. Шарпа А.Н. Канд. дис., Новосибирск, 1982, 124 с.
10. Буров А.В., Куделайнен В.И., Лебедев В.А. и др. Препринт ИЯФ СО АН СССР 89-116. Новосибирск, 1989.

А.Н. Шарапа, А.В. Шемякин

**Установка электронного охлаждения
без поворотных магнитов**

Ответственный за выпуск С.Г.Попов

Работа поступила 19 сентября 1990 г.

Подписано в печать 19.09 1990 г.

Формат бумаги 60×90 1/16 Объем 2,0 печ.л., 1,6 уч.-изд.л.

Тираж 170 экз. Бесплатно. Заказ № 110

*Набрано в автоматизированной системе на базе фото-
наборного автомата ФА1000 и ЭВМ «Электроника» и
отпечатано на ротапринтере Института ядерной физики
СО АН СССР,
Новосибирск, 630090, пр. академика Лаврентьева, 11.*