



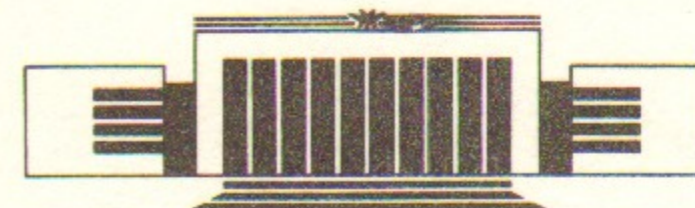
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СО АН СССР

20

**Ж. Боссер, В.Ф. Быковский, Р. Лей,
И.Н. Мешков, А.И. Рогозин, В.Н. Поляков,
И.А. Селезнев, В.Б. Синицкий, А.В. Смирнов,
Е.М. Сыресин, Ж. Транквиль, В.П. Фунтиков**

**НОВЫЙ КОЛЛЕКТОР ЭЛЕКТРОННОГО
ОХЛАЖДЕНИЯ ДЛЯ УСТАНОВКИ ЛИР**

ПРЕПРИНТ 91-25



НОВОСИБИРСК

Новый коллектор электронного охлаждения для установки ЛИР

Ж. Боссер, В.Ф. Быковский, Р. Лей,
И.Н. Мешков, А.И. Рогозин, В.Н. Поляков,
И.А. Селезнев, В.Б. Синицкий, А.В. Смирнов,
Е.М. Сыресин, Ж. Транквиль, В.П. Фунтиков

Институт ядерной физики
630090, Новосибирск 90, СССР

АННОТАЦИЯ

Разработан новый коллектор электронного пучка для системы электронного охлаждения накопителя LEAR с током до 3,3 А и энергией до 35 кэВ. Относительный ток потерь пучка с первеансом $0,52 \text{ мкА} \cdot \text{В}^{-3/2}$ в зависимости от его энергии в диапазоне 10—35 кэВ, соответственно, изменяется от $2 \cdot 10^{-6}$ до $5 \cdot 10^{-5}$. Для пучка с энергией 40 кэВ и током 4,1 А ток потерь $\Delta I/I$ равен $2 \cdot 10^{-4}$. Первеанс коллектора достигает $20 \text{ мкА} \cdot \text{В}^{-3/2}$.

ВВЕДЕНИЕ

Программа работ по изучению физики антипротонов на накопителе LEAR в ЦЕРН предполагает использование системы электронного охлаждения антипротонного пучка [1—3]. С целью дальнейшего совершенствования системы охлаждения разработан новый коллектор для электронного пучка с током до 3,3 А и энергией до 35 кэВ [4]. Проектирование и испытание его на стенде проведено ФТЦ в сотрудничестве с ЦЕРН, изготовлен коллектор в Институте ядерной физики.

1. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ И ОСОБЕННОСТИ НОВОГО КОЛЛЕКТОРА

Одним из основных требований, предъявляемых к новому коллектору, является низкий уровень потерь тока пучка. Эффективность рекуперации по току порядка 10^{-3} для прежнего коллектора оказалась недостаточной и была одной из причин нестабильной работы системы электронного охлаждения. Поток вторичных электронов, выходящих из коллектора, бомбардируя стенки камеры, заметно влиял на вакуумные условия в накопительном кольце, где давление составляло около 10^{-11} торр. Потери из коллектора особенно быстро росли с энергией электронов выше 15 кэВ. Поэтому возникла необходимость создания нового коллектора. Основные параметры системы электронного охлаждения с новым и старым коллекторами приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные параметры системы электронного охлаждения

Параметры	Прежний коллектор	Новый коллектор
Энергия электронов, кэВ	15	35 (40)
Диаметр пучка, см	5	5
Ток пучка, А	2,4	3,3 (4)
Потенциал коллектора, кВ	1,5—2,5	3,5
Потенциал репеллера, кВ	0,8—1,5	3
Ток потерь, мА	7,5	0,3
Давление в камере участка охлаждения со стороны коллектора, пторр	50	10

Схема нового коллектора показана на рис. 1. Коллектор представляет собой цилиндр Фарадея с супрессорным электродом (репеллером). Присоединение коллектора к системе охлаждения через

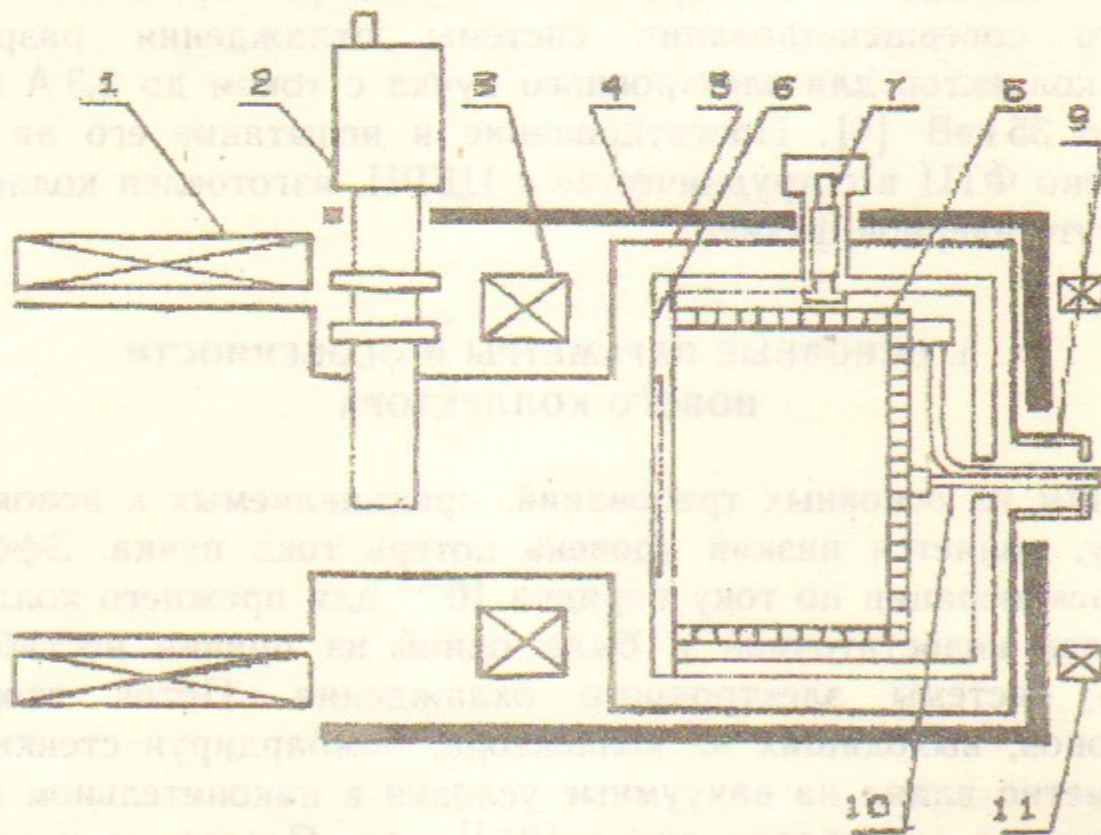


Рис. 1. Схема коллектора:

1—соленоид; 2—вакуумный шибер; 3—коллекторная катушка; 4—магнитный экран; 5—вакуумная камера; 6—репеллер; 7—поддерживающий изолятор; 8—коллектор; 9—вакуумный изолятор; 10—система водяного охлаждения; 11—катушка встречного поля.

прогревной шибер позволяет проводить при необходимости вакуумные вскрытия коллектора, для профилактики или ремонта без влияния на работу накопителя LEAR, вскрытие которого происходит не чаще одного раза в год. Для дифференциальной откачки из коллектора предусмотрена возможность установки дополнительного насоса. Одним из требований при разработке нового коллектора было условие, чтобы к нему подходила система питания от прежнего коллектора. Разность потенциалов ΔU между катодом и коллектором не должна превышать 3,2 кВ в режиме рекуперации пучка с током до 3,3 А. Коллектор имеет водяное охлаждение, обеспечивающее съём около 10 кВт мощности, выделяемой электронным пучком.

Установка шибера привела к удалению коллектора от соленоида системы электронного охлаждения. Для перехвата магнитного потока соленоида за шибером установлена дополнительная коллекторная катушка, поле в центре которой может достигать 1 кГс. Тем самым перед входом в коллектор создается магнитная пробка, положение максимума поля и пробочное отношение для которой можно изменять в зависимости от параметров пучка. Расширение и торможение пучка происходит в спадающем поле коллекторной катушки. Магнитный экран формирует в коллекторе структуру силовых линий, обеспечивающую равномерное распределение энергии электронов по его поверхности. Перед входом в коллектор установлен репеллер. В поле репеллера и пространственного заряда пучка образуется электростатический барьер, препятствующий выходу вторичных электронов из коллектора. Совместное действие электростатического барьера и магнитной пробки и определяют эффективность захвата пучка в коллекторе [5].

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ВЫБОР ГЕОМЕТРИИ КОЛЛЕКТОРА

Результаты численного моделирования транспортировки и торможения пучка в коллекторе с использованием пакетов программ ЦЕРН (Пуассон [6]) и ИЯФ (САМ [7]) приведены на рис. 2—4. На этих рисунках представлены траектории электронов с энергией, соответственно, 20 кэВ и 27 кэВ для пучка с первеансом $0,5 \text{ мкА} \cdot \text{В}^{-3/2}$. Эквипотенциальные линии указывают на существование электростатического барьера для вторичных электронов,

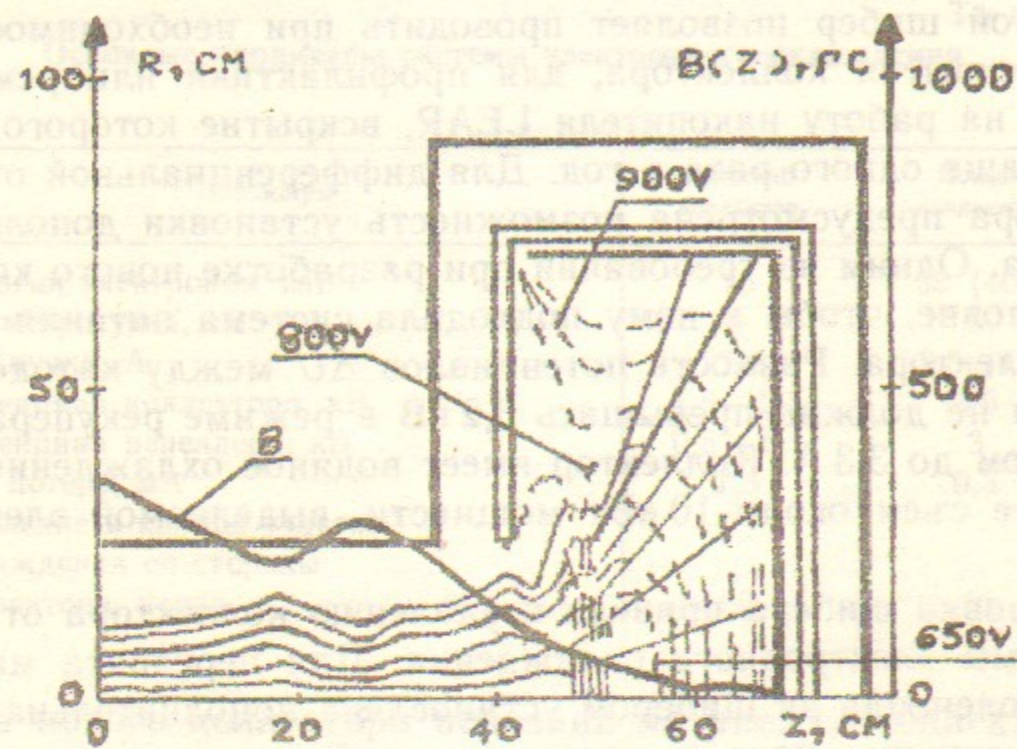


Рис. 2. Траектория электронов, эквипотенциальные линии и магнитное поле на оси $U_0=20$ кВ, $I=1,45$ А.

расположенного недалеко от входа в коллектор. При энергии электронов 20 кэВ и токе пучка 1,45 А вторичные электроны с энергией меньше 350 эВ не могут преодолеть потенциальный барьер (рис. 2). Поскольку спектр вторичных электронов имеет два максимума—один острый вблизи энергии первичных электронов $e\Delta U$, а второй—широкий на энергии порядка $0,1 e\Delta U$, то электростатический барьер в этом случае запирает только низкоэнергетичные электроны. Электроны с энергией порядка $e\Delta U$ запираются магнитной пробкой, действие которой усилено электростатическим барьером. Для вторичных приосевых электронов критический угол между векторами скорости и поля, начиная с которого, они не могут покинуть коллектор, определяется соотношением

$$\sin^2 \theta = \min \begin{cases} \frac{H_0}{H_e} \frac{U_e}{\Delta U} \\ \frac{H_0}{H_{\max}} \end{cases} \quad (1)$$

где H_0 , H_e , H_{\max} —соответственно, магнитное поле у дна коллектора, в области электростатического барьера и в области магнитной пробки, U_e —потенциал электростатического барьера относительно катода.

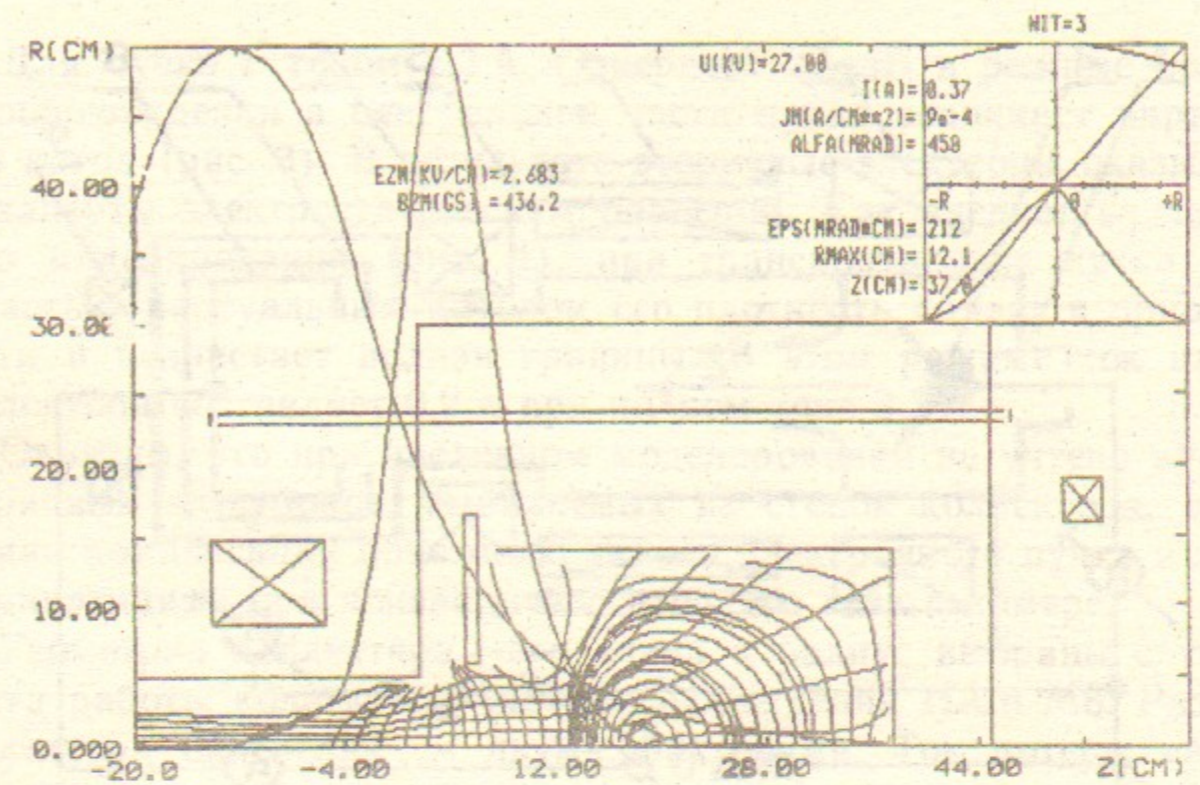


Рис. 3. Траектории электронов, эквипотенциальные линии, магнитное и электрическое поле на оси $U_0=27$ кВ, $I=2,3$ А.

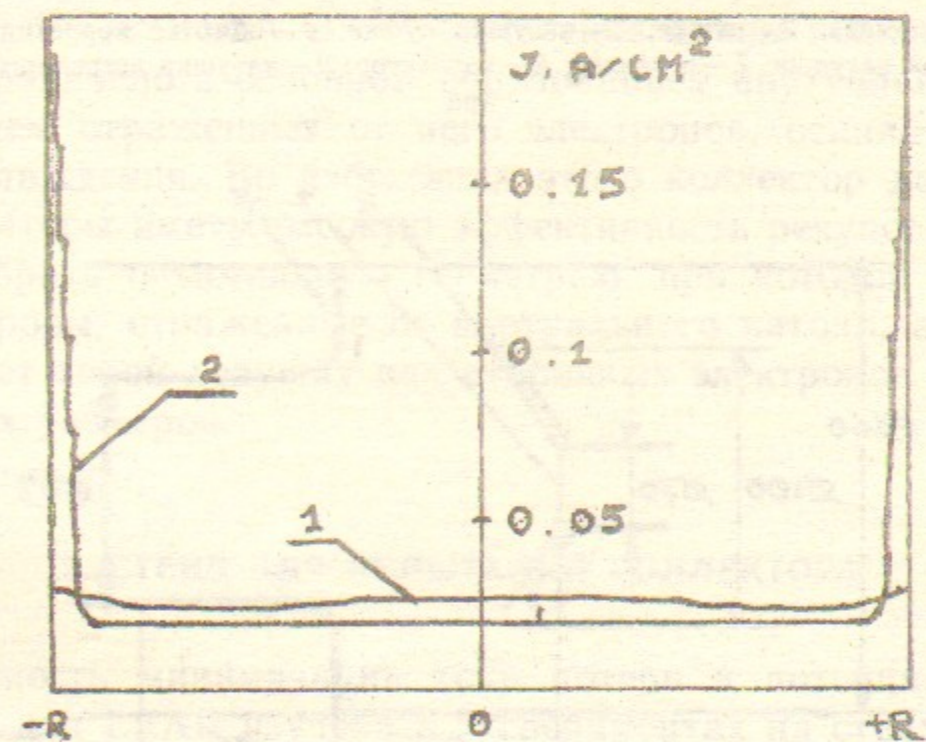


Рис. 4. Зависимость плотности тока пучка от радиуса: 1—в области перед виртуальным катодом; 2—в области виртуального катода; $U_0=27$ кВ, $I=2,3$ А.

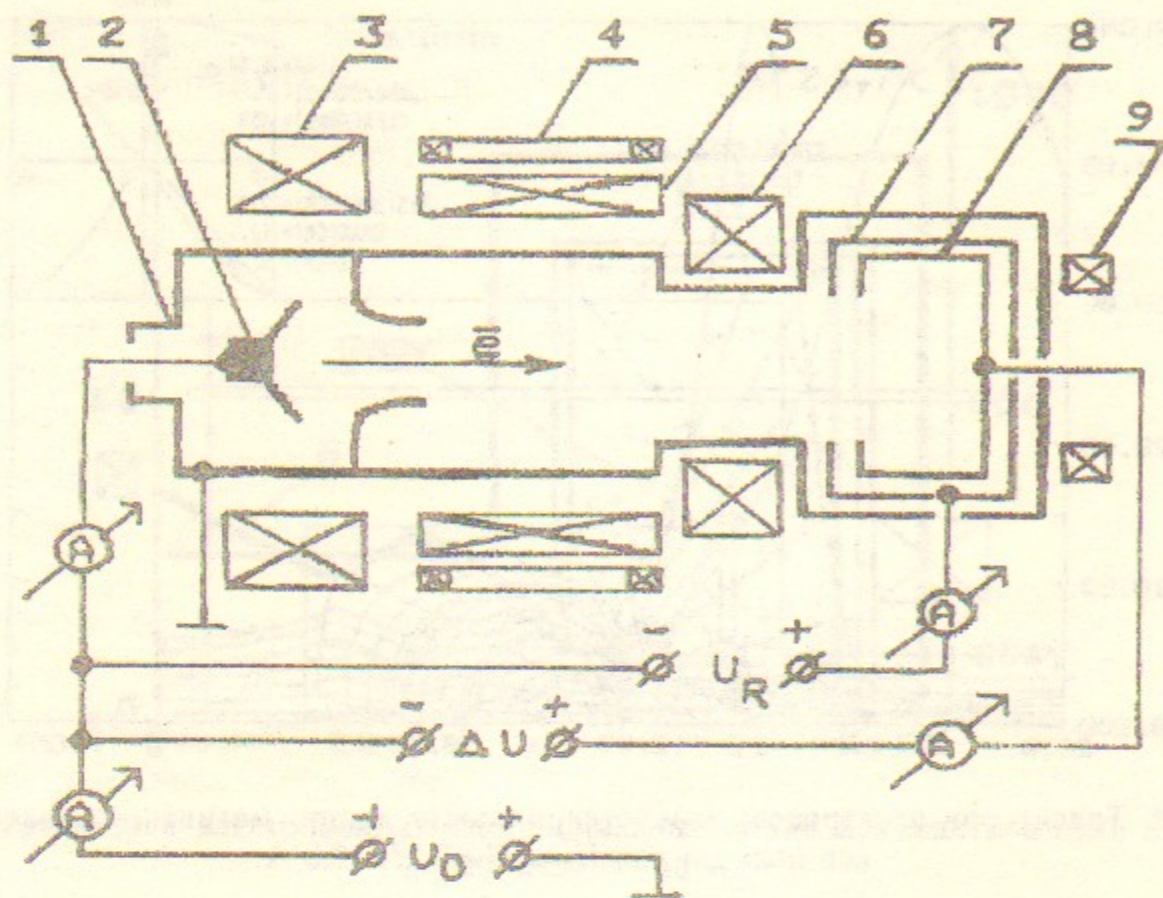


Рис. 5. Схема стенда «Рекуператор»:

1 — вакуумная камера; 2 — пушка; 3 — катушка пушки; 4 — обмотки коррекции; 5 — соленоид; 6 — коллекторная катушка; 7 — репеллер; 8 — коллектор; 9 — катушка встречного поля коллектора.

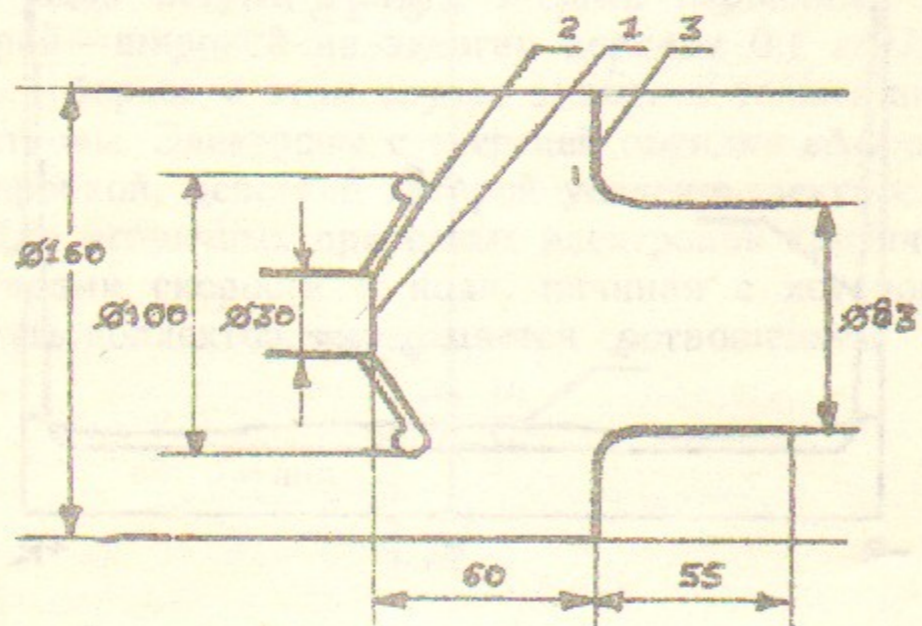


Рис. 6. Схема пушки:

1 — катод; 2 — пирсовский электрод; 3 — анод.

Для пучка с током 2,3 А и энергией 27 кэВ в режиме полного токопрохождения в центральной части пучка возникает виртуальный катод (рис. 3). В результате вторичные электроны оказываются заперты электростатическим барьером. Как следует из численного моделирования (рис. 4), при транспортировке пучка через область с виртуальным катодом его плотность падает в приосевой части и возрастает вблизи границы. В этом режиме ток на дно коллектора составляет 0,2 А при полном токе 2,3 А.

Отметим, что при численном моделировании не учтено влияние вторичных электронов, выбиваемых из стенок коллектора, и частичная компенсация объемного заряда электронного пучка ионами, возникающими при ионизации остаточного газа в камере.

Геометрия коллектора — его длина и радиус выбраны с учетом опыта работы коллектора системы охлаждения НАМ-М8. Размеры коллектора определяются двумя факторами. Ток потерь, связанный с выходом вторичных электронов из коллектора, пропорционален телесному углу, определяемому площадью входного отверстия и длиной коллектора. Поэтому для пучков с низкой интенсивностью эффективность выше для длинного коллектора.

Для рекуперации интенсивных электронных пучков с $P_c = I/(\Delta U)^{-3/2} \approx 10 \text{ мкА} \cdot \text{В}^{-3/2}$ отношение длины коллектора к его радиусу ограничено в основном образованием виртуального катода и появлением отраженных от него электронов, осциллирующих в системе охлаждения. Во избежание этого коллектор должен быть коротким. Чтобы иметь высокую эффективность рекуперации, необходимо выбрать оптимальную геометрию, при которой не появляются электроны, отраженные от виртуального катода, а коллектор представляет собой ловушку для вторичных электронов в силу геометрических размеров.

3. СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ КОЛЛЕКТОРА

Возможность минимизации тока потерь и потенциала нового коллектора для LEAR изучена в экспериментах на стенде «Рекуператор» (рис. 5). Установка построена специально для подобных исследований и имеет вакуумную камеру длиной 2 м, электронную пушку и систему катушек, формирующих магнитное поле. Величина поля в районе пушки, коллекторной катушки и на участке дрейфа регулируется независимо. В установке используется пушка

с оксидным катодом диаметром 3 см. Так как в системе электронного охлаждения LEAR электронный пучок имеет диаметр 5 см, в стенде «Рекуператор» необходимый размер пучка получается при расширении в спадающем магнитном поле. Поэтому уровень поля в пушке H_g однозначно задан полем на участке дрейфа H_d : $H_g = \sqrt{5/3} H_d$. На участке дрейфа H_d можно варьировать в пределах 300—530 Гс.

Для управления положением пучка используются обмотки, создающие поперечное магнитное поле в двух взаимно-перпендикулярных направлениях. На задней стенке камеры коллектора установлена катушка встречного магнитного поля, позволяющая снижать ток потерь из коллектора на 10—15%.

Электронная пушка формирует пучок с энергией до 40 кэВ и током до 4,1 А (первеанс $0,52 \text{ мкА} \cdot \text{В}^{-3/2}$). Схема пушки приведена на рис. 6. Ее геометрия близка к геометрии пушки Пирса. Как следует из результатов численного моделирования, для пучка с энергией электронов 30 кэВ и током 2,6 А угловой разброс в режиме ограничения тока пространственным зарядом (режим «3/2») составляет 10^{-2} . Такой угловой разброс не играет заметной роли в экспериментах по рекуперации пучков при определении эффективности работы коллектора.

Вакуум в камере без включенного пучка после предварительного прогрева до 300°C (см. гл. 5) достигал 2 нторр. Основные эксперименты с пучком и длительные испытания коллектора проведены при давлении 10^{-6} — 10^{-8} торр.

4. ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО РЕКУПЕРАЦИИ ПУЧКА

На первом этапе испытаний коллектора работа велась с электронной пушкой, имевшей первеанс в режиме «3/2» $1,1 \text{ мкА} \cdot \text{В}^{-3/2}$. Такая пушка эмиттировала пучок с током, в 2 раза превышающим, заданный для системы LEAR. Первоначально было намерение регулировать величину тока температурой катода, работать в режиме ограниченной эмиссии. Как показали эксперименты, использование пучка, сформированного высокопервеансной пушкой, работающей в режиме ограниченной эмиссии, резко снижает эффективность коллектора — ток потерь в этом режиме велик.

Это, по-видимому, связано с неоднородностью эмиссии по като-

ду. Кроме того возрастает угловая расходимость пучка, обусловленная неколлинеарностью электрического и магнитного полей на катоде.

Для пушки, работающей в режиме «3/2», ток потерь достаточно мал, если параметры коллектора и пушки согласованы:

$$I = P_g U_0^{3/2} \leq P_c \Delta U^{3/2}, \quad (2)$$

здесь P_g , P_c — первеансы пушки и коллектора, U_0 — ускоряющее напряжение на пушке.

Если же первеанс пушки $P_g > P_c (\Delta U / U_0)^{3/2}$ происходит отражение части электронов на входе в коллектор, вызывающее потери тока пучка. Это иллюстрирует рис. 7., где дана зависимость относительных потерь тока от первеанса пушки при фиксированных U_0 и ΔU . Все это означает, что первеанс пушки не должен превышать некоторое критическое значение

$$P_g \leq P_{cr} = P_c \left(\frac{\Delta U_{\max}}{U_{0\max}} \right)^{3/2}, \quad (3)$$

где ΔU_{\max} — максимальное допустимое значение потенциала коллектора, $U_{0\max}$ — максимальное ускоряющее напряжение на пушке. В нашем случае заданы первеанс пушки в системе электронного охлаждения $P_g = 0,5 \text{ мкА} \cdot \text{В}^{-3/2}$, а также значения $\Delta U_{\max} = 3,2 \text{ кВ}$ и $U_{0\max} = 35 \text{ кВ}$ (см. табл. 1), и тем самым определен минимум первеанса коллектора $P_c = 18,2 \text{ мкА} \cdot \text{В}^{3/2}$.

Зависимость тока потерь от энергии электронов для пучка с первеансом $0,52 \text{ мкА} \cdot \text{В}^{-3/2}$ при различных значениях давления в вакуумной камере и напряженности магнитного поля в транспортном тракте приведена на рис. 8. При согласовании параметров пушки и коллектора и малом угловом разбросе пучка относительные потери при энергии электронов 10—35 кэВ составляют $2 \cdot 10^{-6}$ — $3 \cdot 10^{-5}$. Потери частиц в диапазоне энергий до 20 кэВ, по-видимому, в основном определяются ионизацией остаточного газа электронами пучка [5]. Если ионы, родившиеся в пучке, удерживаются электрическим полем и доходят до пушки и коллектора, то в установившемся режиме такой же поток вторичных электронов уходит из пучка на стенки камеры. В результате ионизации остаточного газа ток потерь равен

$$\frac{\Delta I}{I} \approx \sigma N L \approx 3,6 \cdot 10^{16} P_{\text{торр}} \sigma L, \quad (4)$$

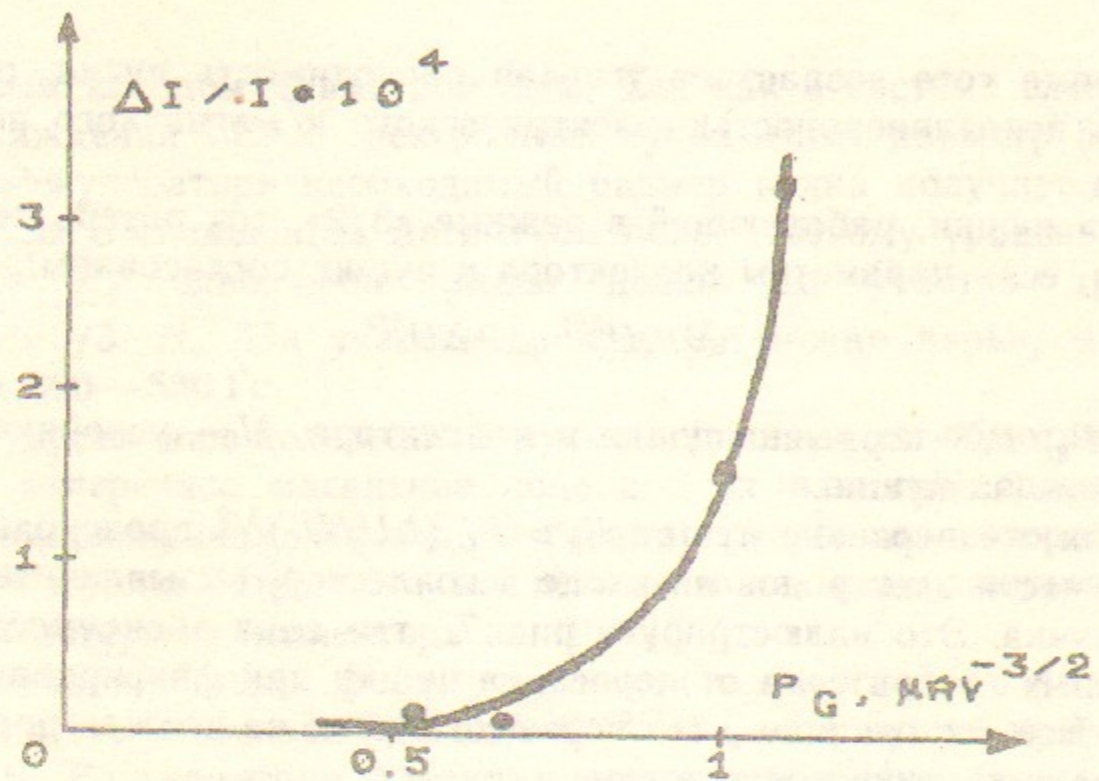


Рис. 7. Ток потерь в зависимости от первеанса электронной пушки: $U_0=20$ кВ.

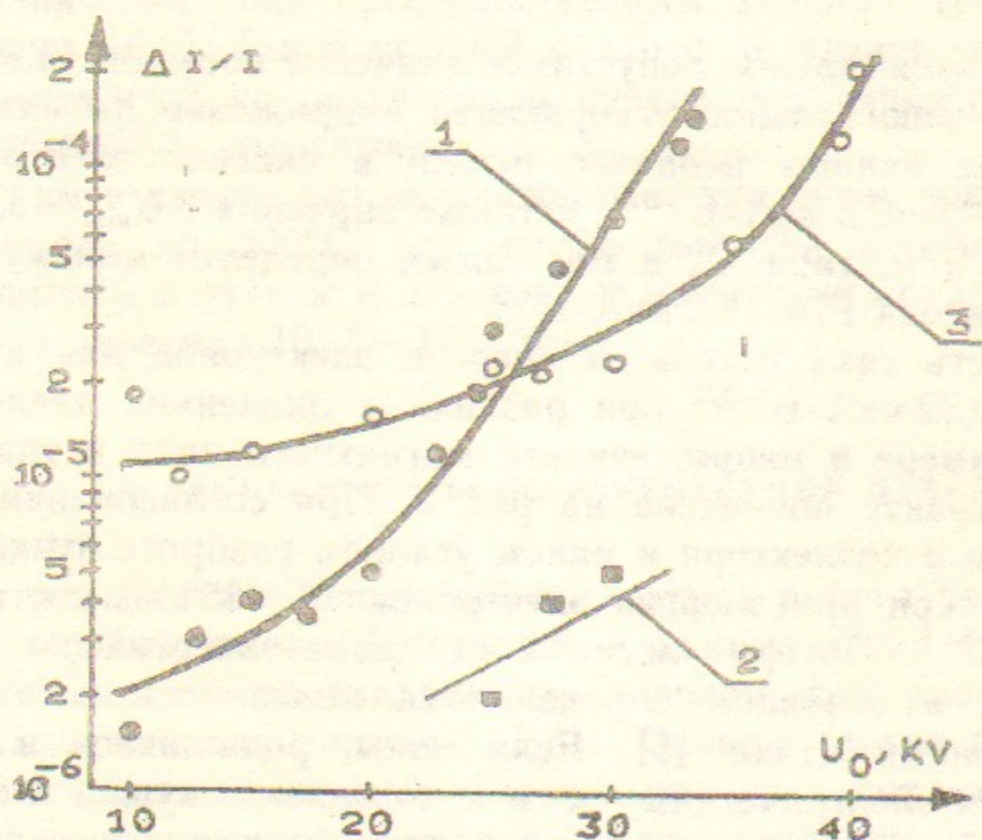


Рис. 8. Зависимость тока потерь от напряжения для пучка с первеансом $0,52$ $\text{мкА} \cdot \text{В}^{-3/2}$.

1) $H_c=420$ Гс, $H_{\text{кол}}=828$ Гс; $P=2,4 \cdot 10^{-8} - 1,5 \cdot 10^{-7}$ торр; 2) $H_c=516$ Гс, $H_{\text{кол}}=1050$ Гс, $P=5 \cdot 10^{-8} - 6,7 \cdot 10^{-7}$ торр; 3) $H_c=516$ Гс, $H_{\text{кол}}=1050$ Гс, $P=1,5 \cdot 10^{-8}$ торр.

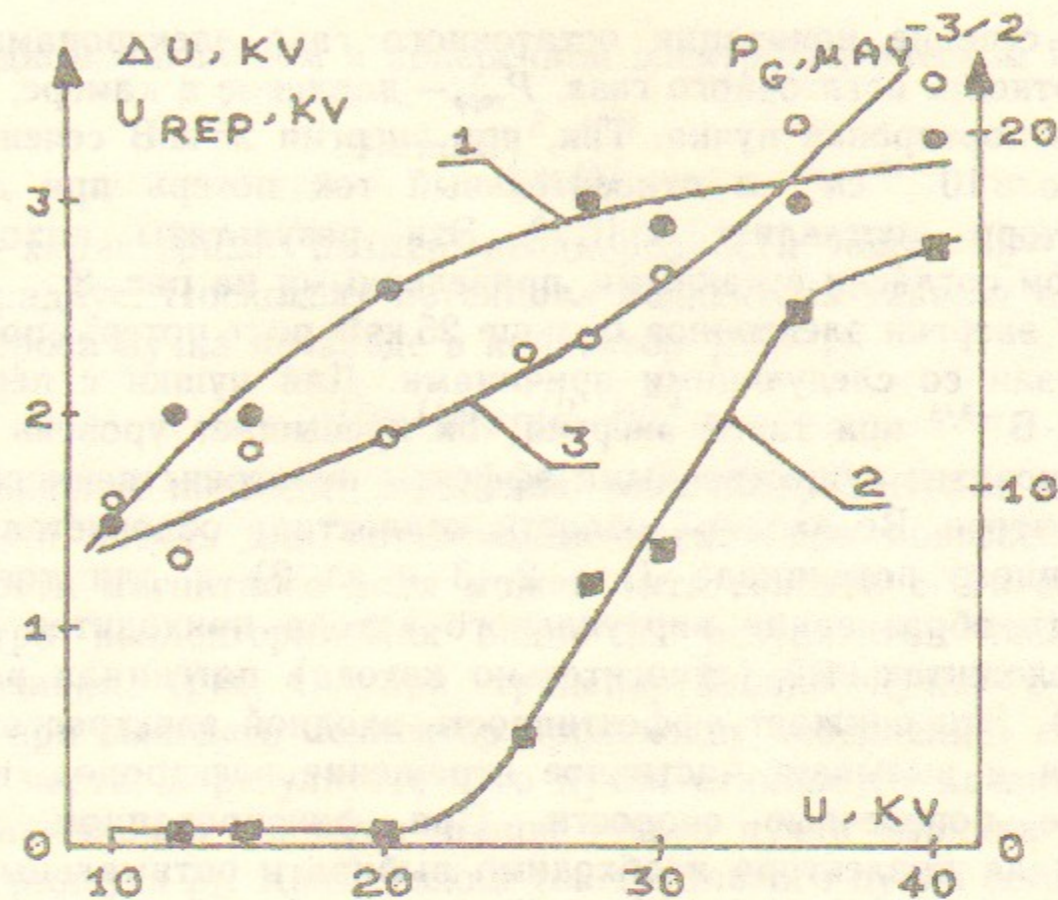


Рис. 9. Зависимости потенциалов коллектора и репеллера, а также первеанса коллектора от ускоряющего напряжения для электронного пучка с первеансом $0,52$ $\text{мкА} \cdot \text{В}^{-3/2}$.

1 — потенциал коллектора; 2 — потенциал репеллера; 3 — первеанс коллектора.

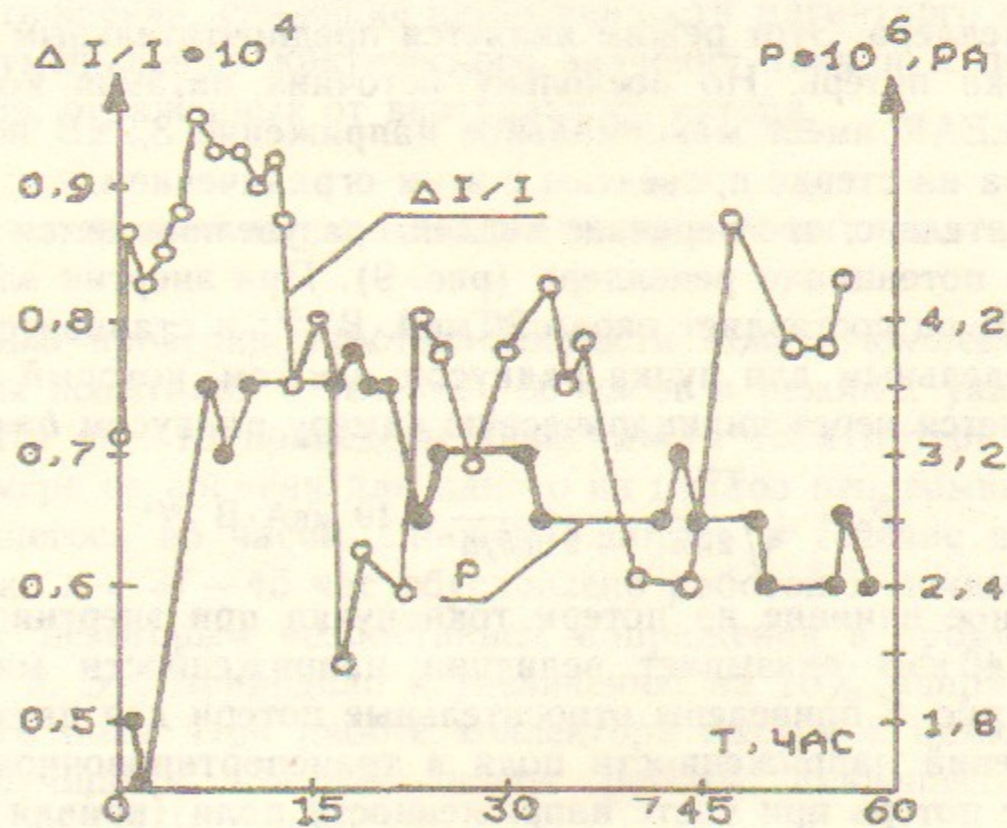


Рис. 10. Зависимость тока потерь и давления от времени: $U_0=27$ кВ; $I=2,36$ А.

где σ — сечение ионизации остаточного газа электронами пучка, N — плотность остаточного газа, $P_{\text{торр}}$ — давление в камере, L — длина транспортировки пучка. Так, при энергии 25 кэВ сечение ионизации $\sigma \approx 10^{-17} \text{ см}^2$, а относительный ток потерь при давлении $2 \cdot 10^{-8}$ торр составляет $2 \cdot 10^{-6}$. Эти результаты находятся в разумном согласии с данными, приведенными на рис. 8.

При энергии электронов больше 25 кэВ рост потерь, по-видимому, связан со следующими причинами. Для пушки с первеансом $0,5 \text{ мкА} \cdot \text{В}^{-3/2}$ при такой энергии ток превышает уровень 2 А, так что становятся существенными эффекты пространственного заряда в коллекторе. Во входной области коллектора образуется область пониженного потенциала (рис. 2, 3 и гл. 2) и для того чтобы избежать образования виртуального катода приходится увеличивать положительный (относительно катода) потенциал репеллера (рис. 9). Это снижает эффективность входной электростатической ловушки и вызывает частичное отражение электронов, имеющих большие поперечные скорости. При фиксированном значении потенциала коллектора необходимо выбирать оптимальный потенциал репеллера, чтобы ток потерь был минимальным в результате действия двух этих эффектов.

Заметим, что для пучков с током более 3 А эффективность коллектора может быть увеличена (рис. 9). Для этого необходимо поднимать потенциал коллектора при относительно низком потенциале репеллера. Этот режим является предпочтительным для снижения тока потерь. Но поскольку источник питания коллектора системы LEAR имеет максимальное напряжение 3,2 кВ испытания коллектора на стенде проведены с этим ограничением.

Показательно, что первеанс коллектора увеличивается с ростом энергии и потенциала репеллера (рис. 9). При энергии электронов 30—40 кэВ он составляет около $20 \text{ мкА} \cdot \text{В}^{-3/2}$ и становится фактически предельным для пучка радиусом $a \approx 5 \text{ см}$, который еще распространяется через цилиндрическую камеру радиусом $b = 15 \text{ см}$

$$P_c = \sqrt{\frac{8e}{27m}} \frac{1}{1+2 \ln b/a} \approx 10 \text{ мкА} \cdot \text{В}^{-3/2}. \quad (5)$$

Заметное влияние на потери тока пучка при энергии электронов 25—40 кэВ оказывает величина напряженности магнитного поля. На рис. 8 приведены относительные потери для двух различных значений напряженности поля в транспортировочном тракте. Снижение потерь при росте напряженности поля (кривая 2) обусловлено уменьшением углового разброса, приобретаемого пучком в

неоднородном магнитном и поперечном электростатическом полях,

$$\theta \approx \max \left\{ \frac{E_{\perp}/\beta H}{\rho_L/\Delta L} \right\}, \quad (6)$$

где ΔL — характерный размер неоднородности поля, ρ_L — лармовский радиус. Поскольку потенциал коллектора зависит от углового разброса пучка на входе в коллектор [5]:

$$\Delta U \approx U_0 \theta^2 + (P_c/I)^{2/3}, \quad (7)$$

то его снижение приводит к падению тока потерь. Вторая причина уменьшения потерь для интенсивных пучков при повышении напряженности магнитного поля может быть связана с его структурой внутри коллектора. Как видно из результатов численного моделирования (рис. 4), при транспортировке пучка с током 2,5—3 А при выходе в коллектор происходит «обеднение» его центральной части, в результате чего пучок становится квазитрубчатым. Минимальная толщина стенок такого пучка порядка лармовского радиуса ρ_L . Критический ток трубчатого пучка есть

$$I_{\text{cr}} \approx \sqrt{\frac{e}{m}} \frac{a}{\Delta} \Delta U^{3/2}, \quad (8)$$

где a — радиус пучка, $\Delta \approx \rho_L$ — толщина его «стенок». Как видно из этого соотношения, снижение напряженности магнитного поля приводит к уменьшению критического значения тока и к появлению электронов, отраженных от виртуального катода.

5. ВАКУУМНЫЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ

С целью проверки работоспособности нового коллектора осуществлены испытания в течение 160 часов в режиме, указанном в табл. 2. На рис. 10 приведены зависимости тока потерь и давления в камере от времени для одного из циклов непрерывной работы, длившегося 55 часов. Снижение потерь в течение времени с 18—23 час и с 37—45 час обусловлено работой в ночные часы и связано с некоторым возрастанием напряжения в промышленной электросети. Это приводило к увеличению на 10% напряженности магнитного поля. При работе коллектора вакуум в камере постепенно улучшался. За 160 часов работы давление упало с 10^{-7} торр до $1,5 \cdot 10^{-8}$ торр.

Таблица 2
Основные параметры при испытании коллектора

Параметр	Значение
Энергия электронов, кэВ	27
Диаметр пучка, см	5
Ток пучка, А	2,4
Потенциал коллектора, кВ	$3,0 \pm 0,1$
Потенциал репеллера, кВ	$2,0 \pm 0,2$
Относительный ток потерь	$(0,6 - 0,9) \cdot 10^{-4}$
Напряженность магнитного поля в камере дрейфа, Гс	$285 \div 305$
Напряженность магнитного поля коллекторной катушки, Гс	$885 \div 900$
Давление, торр	10—40
Мощность, снимаемая с коллектора, кВт	7
Температура воды в системе охлаждения коллектора	76°C
Расход воды, л/с	7
Перепад давления воды в системе охлаждения коллектора, Ат	0,7
Длительность испытаний, час	160
Длительность циклов непрерывных испытаний, час	≤ 55

После завершения длительных испытаний коллектора при энергии электронов 27 кэВ были проведены эксперименты по рекуперации пучка с энергией 35—40 кэВ и током 3,45—4,1 А. Потенциал коллектора в этом режиме был равен 3,2 кВ. Потенциал репеллера 2,5—2,8 кВ. Напряженности магнитного поля в камере дрейфа и в центре коллекторной катушки, соответственно, равны 516 Гс и 1050 Гс. Относительные потери тока пучка составили $\Delta I/I = 5 \cdot 10^{-5} \div 2,1 \cdot 10^{-4}$.

Для проверки соответствия конструкции коллектора требованиям вакуумной технологии ЦЕРН были проведены три цикла прогрева камеры стенда с коллектором до температуры 350°C. В течение 12 часов температура адиабатически поднималась, затем 12 часов выдерживалась постоянной и еще за 12 часов снижалась до уровня, близкого к комнатному. После прогрева был получен вакуум $1,5 \cdot 10^{-9}$ торр при откачке объема тремя магниторазрядными насосами НМД-04.

Поиски возможных течей показали их отсутствие на уровне натекания $1,5 \cdot 10^{-11}$ л·торр/с.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для улучшения параметров электронного охлаждения накопителя LEAR, разработан новый коллектор электронного пучка с током до 3,3 А и энергией до 35 кэВ. Ток потерь пучка $\Delta I/I$ с первеансом $0,52 \text{ мкА} \cdot \text{В}^{-3/2}$ в зависимости от его энергии в диапазоне 10—35 кэВ, соответственно, изменяется от $2 \cdot 10^{-6}$ до $5 \cdot 10^{-5}$. Для пучка с энергией 40 кэВ и током 4,1 А потери $\Delta I/I$ равны $2 \cdot 10^{-4}$. Первеанс коллектора достигает $20 \text{ мкА} \cdot \text{В}^{-3/2}$.

Коллектор подсоединяется к системе электронного охлаждения через вакуумный шибер, что позволяет при необходимости проводить оперативные вскрытия без нарушения вакуума в накопителе.

Авторы благодарны А.Н. Скринскому, Л. Монтане, Д. Мелу за действенную поддержку этой работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bell M. et al. «Electron Cooling in ICE at CERN». Nucl. Inst. and Methods, v.190, N2, p.237—255.
2. Poth H. et al. «Further Experiments at LEAR». Nucl. Inst. and Methods, A287, p.328—332, 1990.
3. Bosser J., Ley R. and Tranguille G. «Status of Electron Cooling Experiments at LEAR». Workshop on Electron Cooling and new Cooling Techniques, 1990.
4. Bosser J., Ley R., Tranguille G., Bikovsky V., Meshkov I., Rogozin A., Sinitsky V., Syresin E., Funtikov V. The new Electron Beam Collector for LEAR, CERN PC 90-44 (AR), 1990.
5. Куделайнен В.И., Мешков И.Н., Пархомчук В.В. и др. Глубокое торможение электронного пучка в системе с продольным магнитным полем:—ЖТФ, 1976, т.46, № 8, с.1678.
6. Herrmansfeld B. Electron Trajectory Program, SLAC 226, NC28.
7. Туинов М.А., Фомель Б.М., Яковлев В.П. SAM—Интерактивная программа для расчета электронных пушек на мини-ЭВМ. Препринт 89-159, ИЯФ СО АН СССР.
8. Derbenev Y., Meshkov I. Studies on Electron Cooling of Heavy Particle Beams by the VAPP-NAP Group at Nucl. Phys. Inst. of Siberian Branch of the USSR Academy of Science at Novosibirsk, CERN, 77-08, 1977.

*Ж. Боссер, В.Ф. Быковский, Р. Лей,
И.Н. Мешков, А.И. Rogozin, В.Н. Поляков,
И.А. Селезнев, В.Б. Синицкий, А.В. Смирнов,
Е.М. Сыресин, Ж. Транквиль, В.П. Фунтиков*

**Новый коллектор электронного
охлаждения для установки ЛИР**

Ответственный за выпуск С.Г. Попов

Работа поступила 26 февраля 1991 г.

Подписано в печать 28.03 1991 г.

Формат бумаги 60×90 1/16 Объем 1,6 печ.л., 1,4 уч.-изд.л.

Тираж 250 экз. Бесплатно. Заказ № 25.

*Набрано в автоматизированной системе на базе фото-
наборного автомата ФА1000 и ЭВМ «Электроника» и
отпечатано на ротапункте Института ядерной физики
СО АН СССР,*

Новосибирск, 630090, пр. академика Лаврентьева, 11.