

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Henderson B. Airport X-ray scanner finds small amounts of explosives in baggage. — Aviation Week Space Technol., 1991, p. 34.
2. Горбачев Ю.П., Передерий А.Н. Перспективы использования нейтронных приборов обнаружения ВВ. Тезисы докл. научно-технич. сов. по ядерно-физическим методам обнаружения взрывчатых веществ. М., ВНИИА, 1992, с. 8—9.
3. Гавриш Ю.Н., Сидоров А.В., Фиалковский А.М. Неразрушающий элементный анализ для поиска взрывчатых и делящихся веществ при контроле таможенных грузов. — Атомная энергия, 2003, т. 95, вып. 1, с. 39—44.
4. Гума В.И., Демидов А.М., Иванов В.А., Миллер В.В. Нейтронно-радиационный анализ. М.: Энергоатомиздат, 1994.
5. Фоминых В.И., Мигуньков О.А. Направленный излучатель тепловых нейтронов «Прожектор». — В сб.: Исследования в области измерения ионизирующих излучений. Вып. 166(226). М., ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, 1974.
6. Дорошенко Г.Г., Заитов А.М., Тараско М.З. Применение методов счетных эффективностей и минимизации направленного расхождения для обработки спектров γ -квантов. — В сб.: Прикладная ядерная спектроскопия. Вып. 3. М.: Атомиздат, 1972, с. 233—242.

Поступила в Редакцию 22.07.04

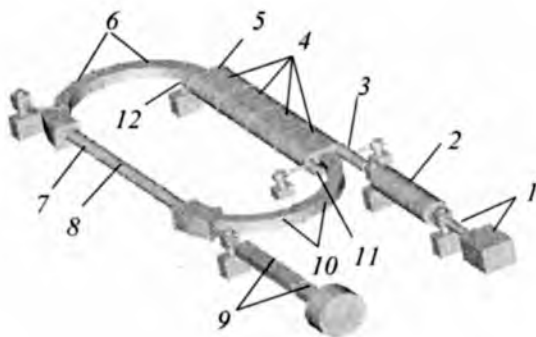
УДК 537.533.33 + 621.384.60-833

ФИЗИЧЕСКИЙ ПУСК НАКОПИТЕЛЯ LEPTA

*Болтушкин Е.В., Кобец А.Г., Коротаев Ю.В., Лохматов В.И., Малахов В.Н.,
Мешков И.Н., Пивин Р.В., Селезнев И.А., Сидорин А.О., Смирнов А.В.,
Сыресин Е.М., Трубников Г.В., Яковенко С.Л. (ОИЯИ)*

В ОИЯИ сооружается установка LEPTA (Low Energy Particle Toroidal Accumulator), предназначенная для генерации интенсивных потоков атомов позитрония и его экспериментального исследования [1—4] (рис. 1). Она состоит из инжектора позитронов, накопителя и системы детектирования потока позитрония. Инжектор включает в себя β^+ -излучаемый источник на основе ^{22}Na и ловушку пеннинговского типа для предварительного накопления позитронов и последующей их однооборотной инъекции в накопитель. Тестовый источник позитронов малой активности для настройки установки изготовлен, его параметры измеряются.

Ключевым элементом установки является накопитель периметром 17,2 м, предназначенный для накопления позитронов энергией ~ 10 кэВ и их электронного охлаждения. Атомы позитрония образуются при рекомбина-



Р и с. 1. Схема накопителя LEPTA: 1 — источник позитронов; 2 — ловушка; 3 — транспортный канал; 4 — септумный соленоид; 5 — кикер; 6 — секция тороидальных соленоидов; 7 — спиральный квадруполь; 8 — прямолинейная секция; 9 — экспериментальный канал; 10 — секция тороидальных соленоидов; 11 — электронная пушка; 12 — коллектор электронов системы электронного охлаждения

ции электронов и позитронов в секции охлаждения. Принцип действия и конструкция основных элементов накопителя были предложены в работе [2], где аналогичный накопитель предлагалось использовать для генерации атомов антиводорода. Вследствие небольшой энергии позитронов фокусировать циркулирующий пучок было предложено продольным магнитным полем в комбинации с дополнительным спиральным квадрупольным полем. Такая геометрия полей характерна для модифицированного бетатрона и его разновидности — стеллатрона [5]. Но в отличие от стеллатронов, разработанных и исследованных в США [6, 7], структура накопителя LEPTA не обладает азимутальной симметрией, и спиральное квадрупольное поле присутствует только на небольшой части орбиты в прямолинейной секции. Кроме того, в работе [2] предложена оригинальная схема инжекции, позволяющая решить главную проблему стеллатронов, — ввод пучка в продольное магнитное поле без существенного возмущения его параметров.

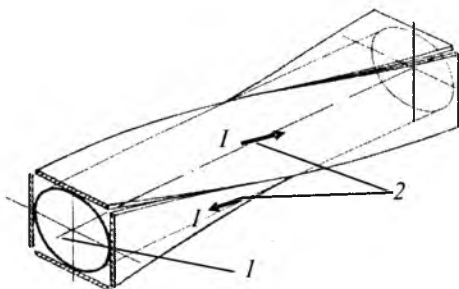
Физический пуск накопителя с циркулирующим электронным пучком был осуществлен в сентябре 2004 г. Предварительно импульсным электронным пучком были протестированы его основные элементы. В настоящей статье приведены методики настройки элементов накопителя и получения циркулирующего пучка.

Измерение параметров спиральной квадрупольной линзы. Спиральная квадрупольная линза, помещенная в продольное магнитное поле, поворачивает пучок как целое вокруг оси линзы. Угол поворота пучка в квадруполе пропорционален квадрату градиента магнитного поля в нем [2]:

$$\varphi = k \frac{G^2}{B^2} s, \quad (1)$$

где k — численный множитель, зависящий от геометрии линзы; G — градиент квадрупольного магнитного поля; B — продольное магнитное поле; s — длина квадруполя.

Спиральный квадруполь, используемый в накопителе LEPTA, представляет собой две пары спиральных проводников с противоположным направлением токов, повторяющих в каждом сечении геометрию линзы Пановского (рис. 2). Достоинством такой конструкции является постоянство градиента поля по радиусу. Квадруполь был протестирован импульсным электронным пучком диаметром 13 мм. Для этого на пути его прохождения была установлена диафрагма с двумя отверстиями



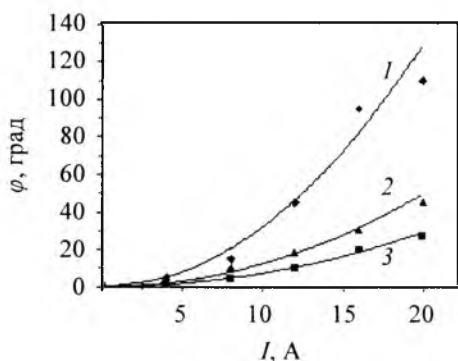
Р и с. 2. Схема спиральной квадрупольной линзы: 1 — вакуумная камера; 2 — направление тока в обмотках

диаметром 1,5 мм и расстоянием между ними 10 мм. Таким образом, при прохождении пучка через такую диафрагму формировались два тонких луча — один выводили на ось квадруполя, угол поворота второго измеряли как функцию тока квадруполя. Положение пучков после прохождения квадруполя наблюдали на люминесцентном экране. Зависимость угла поворота от тока квадруполя находится в хорошем согласии с формулой (1) (рис. 3).

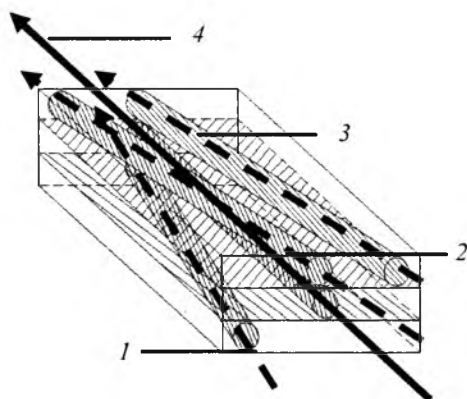
Схема инжекции. Инжекционный комплекс накопителя LEPTA предназначен для однооборотной инжекции позитронного пучка на равновесную орбиту, ввода и вывода из накопителя однопролетного электронного пучка системы электронного охлаждения. Эти задачи решаются с помощью электрического кикера и специальных септумных обмоток, расположенных внутри соленоида.

Сложность инжекции пучка в накопитель с продольным магнитным полем обусловлена тем, что замагниченные электронный и позитронный пучки транспортируются к его входу с помощью отдельных соленоидов и для вывода на равновесную орбиту их необходимо сместить в направлении, которое перпендикулярно продольному полю, на расстояние 30 см, примерно равное диаметру соленоида. Такое смещение без ухудшения качества пучка осуществляется септумными обмотками. Они выполнены в виде двух соленоидов прямоугольного сечения, которые формируют дополнительное магнитное поле, направленное перпендикулярно продольному полю септумного соленоида. Септумные обмотки расположены симметрично относительно медианной плоскости накопителя — над и под ней, их магнитные поля имеют противоположное направление. Рассеянные поля септумных обмоток в области равновесной орбиты взаимно компенсируются и не возмущают движение циркулирующего пучка.

Вакуумная камера внутри септумных обмоток состоит из нескольких отдельных каналов, которые располагаются в трех параллельных горизонтальных плоскостях (рис. 4). В медианной плоскости находится канал равновесной орбиты для циркулирующего пучка, направленный параллельно оси септумного соленоида. Выше медианной плоскости размещаются каналы инжекции позитронного пучка и вывода электронного, они расположены внутри верхней септумной обмотки. Ниже медианной плоскости и внутри нижней септумной обмотки расположен канал ввода электронного пучка. В результате суперпозиции магнитных полей септумных обмоток и поля септумного соленоида силовая линия суммарного магнитного поля имеет тот же угол наклона к продольной оси, что и вакуумные камеры для ввода и вывода пучков. В верхней обмотке силовая линия направлена от внешней стороны соленоида септума к его оси, в нижней плоскости в противоположном направлении. В результате после прохождения септумных обмоток пучок позитронов из инжектора оказывается над равновесной орбитой, пучок электронов из электронной пушки — под равновесной орбитой на расстоянии примерно 6 см от нее.



Р и с. 3. Зависимость угла поворота пучка в квадрупольной линзе от тока квадрупольного поля для продольного магнитного поля 0,027 (1), 0,04 (2), 0,053 Тл (3)



Р и с. 4. Схема септума: 1, 3 — канал инжекции электронов и позитронов соответственно; 2 — канал вывода электронов; 4 — канал равновесной орбиты

Для вертикального смещения позитронного пучка используется электрический кикер — две металлические пластины, расстояние между которыми равно 27 мм. Во время инъекции на них подается импульсное напряжение до ± 2 кВ. В продольном магнитном и поперечном электрическом полях заряженные частицы испытывают электрический дрейф, при этом направление и смещение пучка определяются выражением

$$\Delta = \frac{EB_0}{B_0^2} \frac{\ell}{\beta},$$

где E — напряженность электрического поля в кикере; B_0 — напряженность продольного магнитного поля кольца; ℓ — длина пластин кикера; β — скорость частиц в единицах скорости света. После заполнения равновесной орбиты инжектируемым пучком кикер выключается, и пучок продолжает циркулировать. Длительность среза импульса кикера составляет менее 30 нс при периоде обращения пучка в накопителе около 300 нс, что обеспечивает заполнение орбиты примерно на 90%.

Пушка системы электронного охлаждения включается после завершения инъекции. Электронный пучок вводится в септумный соленоид на 6 см ниже медианной плоскости и на 30 см левее вертикальной плоскости, проходящей через равновесную орбиту. На выходе из септумных обмоток он попадает в камеру кикера строго под равновесной орбитой, на 6 см ниже нее. К моменту инъекции электронного пучка кикер уже выключен и не возмущает траекторию движения электронного пучка.

В тороидальных соленоидах формируется дополнительное поворотное магнитное поле B_p , выбранное так, чтобы обеспечить движение частицы зарядом e и импульсом P по окружности радиусом R : $B_p = Pc/eR$. В присутствии продольного магнитного поля тора это поворотное поле компенсирует центробежный дрейф равновесной частицы позитронного пучка. Для электронов оно, наоборот, приводит к увеличению дрейфа в вертикальном направлении, смещая их за один проход тора (поворот на π) вверх на

$$\Delta = \pi(\rho_p + \rho_e).$$

Здесь ρ_p , ρ_e — ларморовский радиус позитронов и электронов соответственно; $\rho_p = \rho_e = mc^2 \beta \gamma / e B_0$, где m , e — масса и заряд электрона; γ — лоренц-фактор. Магнитное поле B_0 и энергия частиц выбираются так, что за одно прохождение тороидального соленоида электронный пучок смещается вверх на 6 см и в прямолинейной секции совмещается с циркулирующим позитронным пучком. Во втором тороидальном соленоиде электронный пучок снова дрейфует вверх, входит в септумный соленоид на 6 см выше равновесной орбиты, попадает в канал для вывода и транспортируется в коллектор.

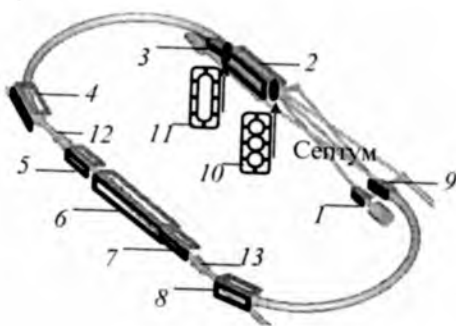
Тестирование инжекционного комплекса. Для тестирования схемы инъекции кикер и септумные обмотки были собраны и установлены в септумном соленоиде, пушка помещена в медианной плоскости на выходе кикера так, чтобы электронный пучок поступал в кикер в направлении, противоположном штатному. При тестировании на пластины кикера подавали статическое напряжение, которое в зависимости от полярности смещало пучок вверх или вниз. На штатных входных

фланцах трех каналов вакуумной камеры септума, т.е. со стороны, противоположной кикеру, были установлены люминесцентные экраны. При изменении напряжения на пластинах кикера пучок поочередно наблюдался на всех трех экранах, включая центральный. Ток в септумных обмотках и напряжение на пластинах оптимизированы для получения наилучшего прохождения пучка. Изменение тока, питающего септумные обмотки, не влияло на положение пучка в центральном канале. Таким образом, было показано, что предложенная схема позволяет осуществить и инжекцию позитронного пучка на равновесную орбиту, и ввод однооборотного электронного пучка, не возмущая при этом параметры пучка, циркулирующего на равновесной орбите.

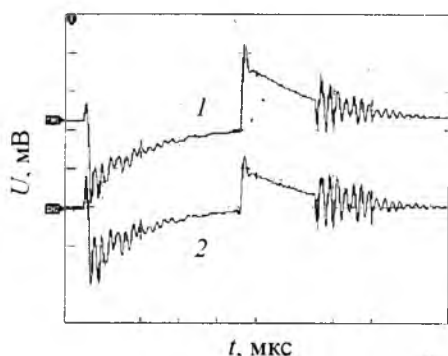
Формирование замкнутой орбиты в накопителе, получение циркулирующего пучка. После настройки инжекционного комплекса и проверки работы квадруполя накопитель был собран. При настройке накопителя в качестве инжектора использовали электронную пушку системы охлаждения, установленную в штатном положении, в левом нижнем канале септума (см. рис. 4). Ток электронного пучка из пушки измеряли поясом Роговского в цепи катода.

Диагностика циркулирующего пучка осуществляется сегментными диафрагмами и двумя пикап-станциями, представляющими собой полые размещенные внутри вакуумной камеры цилиндры, ось которых совпадает с осью вакуумной камеры. Цилиндр разрезан на две одинаковые части в вертикальной или горизонтальной плоскости. С помощью пикап-станции можно контролировать положение пучка по одной из координат: вертикальной на входе в прямолинейную секцию и горизонтальной на ее выходе (рис. 5). Сегментные диафрагмы выполнены в виде отдельных изолированных металлических пластин, размещенных на границе апертуры. Измеряя ток пучка, попадающего на пластины, можно контролировать его положение. Диафрагмы расположены на выходах септумных обмоток и кикера.

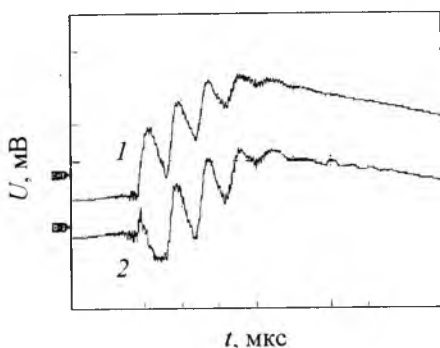
Для коррекции орбиты пучка в горизонтальной и вертикальной плоскостях на кольцо установлены корректоры — обмотки дипольного поля. На выходе электронной пушки они позволяют оптимально направить пучок в септум, который предварительно настроен. Положение пучка на входе в кикер контролируется по сигналам с соответствующих диафрагм, также контролируется положение пучка и на выходе из кикера. Корректоры на входе и выходе первого тороидального соленоида позволяют довести пучок до прямолинейной секции. В прямолинейной секции положение пучка контролируется по сигналам пикап-станций. На рис. 6 представлены осциллограммы сигналов с двух частей одной из пикап-станций при импульсной инжекции пучка на равновесную орбиту. Передний фронт импульса отрицательной полярности длительностью 10 мкс соответствует моменту включения пушки, задний фронт — моменту выключе-



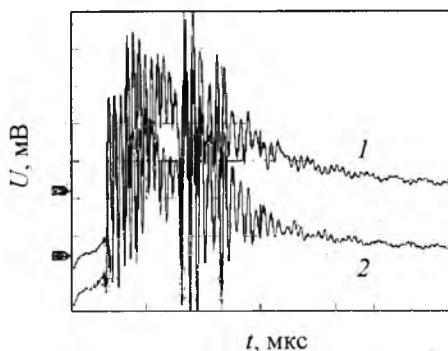
Р и с. 5. Схема расположения средств диагностики и коррекции пучка: 1—9 — коррекция пучка на выходе из пушки, в кикере, на входе в тор, в прямолинейную секцию и квадруполь, в квадруполе, на выходе из квадруполя, на входе во второй тор и септум соответственно; 10, 11 — сегментные диафрагмы на входе и выходе из кикера; 12, 13 — вертикальная и горизонтальная пикап-станции соответственно



Р и с. 6. Осциллограмма сигналов с верхней (1) и нижней пластины (2) вертикальной пикап-станции при цене деления по горизонтальной оси 2,5 мкс, вертикальной 200 мВ



Р и с. 7. Осциллограмма сигналов с пластины вертикальной пикап-станции при цене деления по горизонтальной оси 0,5 мкс, вертикальной 100 мВ (обозначения кривых см. на рис. 6)



Р и с. 8. Осциллограмма сигналов с пластины вертикальной пикап-станции при включенном квадруполье при цене деления по горизонтальной оси 2,5 мкс, вертикальной 50 мВ (обозначения кривых см. на рис. 6)

ния поля кикера. Наводка на сигналах, возникающая через 15 мкс после начала инжекции, соответствует моменту выключения электронной пушки. Сигнал инжектируемого пучка наблюдается с пикап-станций только при включенном поле кикера.

Корректоры, расположенные на входе и выходе второго тороидального соленоида, позволяют провести пучок до входа в центральный канал септума. Положение пучка, сделавшего один оборот, контролируется по сигналам с сегментных диафрагм, расположенных на выходе из септума. После замыкания орбиты наблюдается сигнал с пикап-станций от нескольких оборотов циркулирующего пучка (рис. 7). Длительность заднего фронта кикера составляет около 30 нс, в результате циркулирующий пучок заполняет периметр накопителя не полностью и поэтому может наблюдаться пикап-станцией. Сигналы с пикапов, соответствующие отдельным оборотам пучка, наблюдаются сразу после выключения кикера. Включение квадруполье позволяет получить устойчивое движение на равновесной орбите (рис. 8).

На осциллограммах в момент выключения пушки присутствует высокочастотная наводка. Для выделения полезного сигнала замкнутая орбита разрывается корректором, расположенным на входе второго тороидального соленоида. В этом случае положение орбиты инжектируемого пучка в пикапах не изменяется, не изменяется и характер наводки, связанной с выключением пушки. Вычитанием первого сигнала (см. рис. 8) из второго (см. рис. 6) после их перевода в цифровой вид получаем полезный сигнал циркулирующего пучка (рис. 9).

Ток циркулирующего пучка оценивали в соответствии с калибровкой пикапов. На нескольких первых оборотах он составлял ~60 мА при токе инжекции 120 мА. Сигналы от отдельных оборотов наблюдали в течение 10 мкс. Затем их амплитуда уменьшалась. Это означает, что пучок «расплывается» и постепенно заполняет всю орбиту. Однако до

момента 200 мкс при соответствующей настройке корректора пушки можно наблюдать сигнал меньшей амплитуды с меньшей частотой (рис. 10). Медленная частота соответствует вращению пучка как целого относительно равновесной орбиты, и ее значение определяется градиентом поля в квадруполе. Сигналы медленной частоты с двух пластин пикап-станции имеют противоположную фазу, что подтверждает вращение пучка как целого.

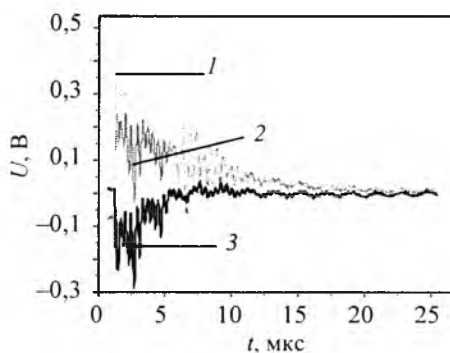
В накопителе с фокусировкой пучка продольным магнитным полем колебания частиц в вертикальной и горизонтальной плоскостях связаны. Для расчета динамики частиц была разработана специальная компьютерная программа [8], с помощью которой выбирается рабочая точка накопителя. В первом приближении движение частиц в таком накопителе можно рассматривать как сумму двух независимых вращений — быстрого ларморовского вокруг силовой линии поля и медленного вращения пучка как целого вокруг равновесной орбиты. Угол поворота пучка как целого за один оборот фактически является медленным бетатронным числом Q , которое вычисляется следующим образом:

$$Q = \frac{f_b}{f_{об}},$$

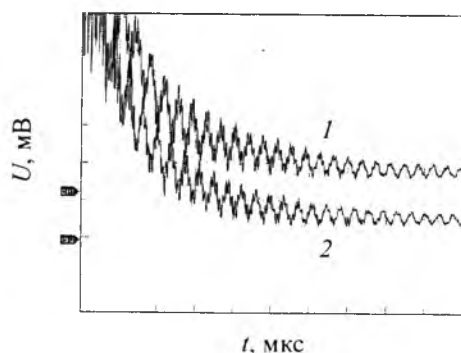
где $f_{об}$, f_b — частота обращения и частота вращения пучка вокруг оси соответственно.

Зависимость медленного бетатронного числа от тока квадрупольно измерена при настройке накопителя. Область, где наблюдается устойчивая циркуляция пучка, лежит в пределах изменения тока квадрупольно от 35 до 60 А, что соответствует бетатронному числу от 0,1 до 0,4 (рис. 11).

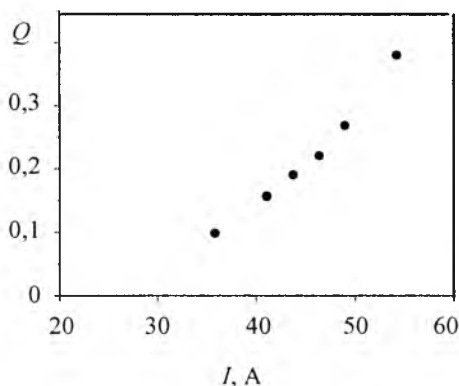
Для измерения времени жизни пучка на одну из пластин кикера подается импульс напряжения амплитудой 500 В и регулируемой задержкой по времени. Этот импульс смещает пучок с равновесной орбиты и приводит к его гибели. При этом с пикапов наблюдается сигнал, который пропорционален



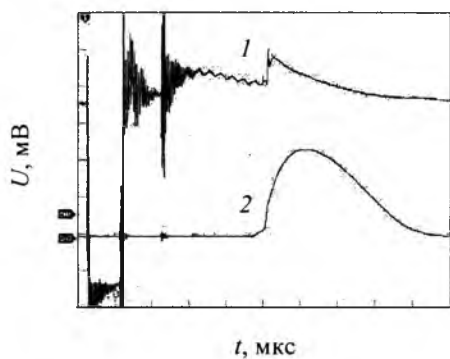
Р и с. 9. Сигналы с пластин вертикальной пикап-станции после цифровой обработки: 1 — сигнал во время инжекции, орбита разомкнута и циркуляция не наблюдается; 2 — сигнал от циркулирующего пучка; 3 — полезный сигнал от циркулирующего пучка, равный разности сигналов (2) и (1)



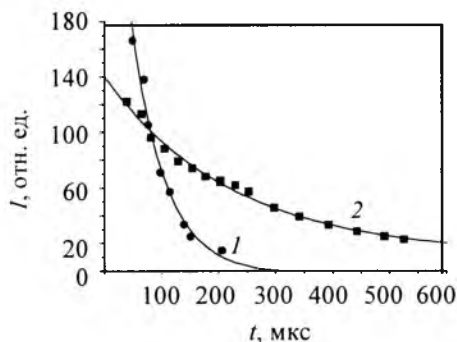
Р и с. 10. Медленное вращение пучка при цене деления по горизонтальной оси 5 мкс, вертикальной 5 мВ (обозначения кривых см. на рис. 6)



Р и с. 11. Зависимость бетатронного числа от тока квадрупольно при энергии циркулирующего пучка 8.2 кэВ



Р и с. 12. Осциллограмма импульсов напряжения с пикап-станции (1) при цене деления по горизонтальной оси 10 мкс, вертикальной 50 мВ и пластины кикера, убивающего пучок (2), при цене деления по вертикальной оси 200 мВ



Р и с. 13. Зависимость амплитуды тока пучка от времени при давлении остаточного газа 0,01 мПа: 1, 2 — энергия пучка 8,1 и 5,2 кэВ соответственно

с ростом энергии уменьшается. В настоящее время магнитные экраны, которые должны улучшить качество поля в области стыков отдельных секций, изготавливаются.

Работа поддержана грантом РФФИ 02-02-16911 и INTAS 03-54-5584.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мешков И.Н. Экспериментальные исследования физики антиводорода и позитрония. Проблемы и возможности. — ЭЧАЯ, 1997, т. 28, № 2, с. 495—540.
2. Meshkov I.N., Skriskiy A.N. The antihydrogen beam generation using storage ring. — Nucl. Instrum. Meth. A, 1996, v. 379, p. 205—209.
3. Meshkov I.N., Sidorin A.O. Conceptual design of the low energy positron storage ring. — Ibid., 1997, v. 391, p. 216—220.
4. Korotaev Yu., Meshkov I., Mironov S. e.a. The low energy positron storage ring for positronium generation. — In: Proc. of European Particle Accelerator Conf. EPAC, 1998, p. 853—855.
5. Roberson C., Mondelli A., Chernin D. High-current betatron with stellarator field. — Phys. Rev. Lett., 1983, v. 50, № 7, p. 507—510.

току пучка, циркулирующего в этот момент времени (рис. 12). Характерное время жизни пучка в накопителе с ростом энергии инжектируемых электронов уменьшается от 2 мс при энергии 2,3 кэВ до 50 мкс при энергии 8 кэВ (рис. 13). Такой характер зависимости указывает на то, что время жизни ограничивается, возможно, диффузией пучка на неоднородностях магнитного поля в стыках между прямолинейной и тороидальной секциями, а не вакуумными условиями.

Частицы замагниченного пучка движутся по ларморовским спиралям вокруг силовой линии магнитного поля. Движение в области с неоднородным магнитным полем, когда характерный масштаб изменения поля меньше шага спирали, не является адиабатическим, и центр ларморовского вращения при пересечении такой области смещается на расстояние, примерно равное ларморовскому радиусу. Направление смещения зависит от фазы вращения и имеет случайный характер, поскольку на одном обороте в накопителе укладывается несколько сот шагов спирали. Этот процесс эквивалентен рассеянию, и при фиксированном продольном магнитном поле повышение энергии приводит к увеличению ларморовского радиуса и соответственно темпа диффузии. В результате время жизни с

6. Kapetanakis C., Len L., Smith T. e.a. The Naval research laboratory modified betatron accelerator and assessment of its results. — Phys. Fluids B. 1993, v. 5(7), p. 2295—2298.
7. Mandelbaum B., Ishizuka H., Fisher A., Rostoker N. Injection, trapping and acceleration of an electron beam in a stellatron accelerator. — Phys. Fluids, 1991, v. 31(4), p. 916—923.
8. Meshkov I., Sidorin A., Smirnov A. e.a. The computer simulation of the particle dynamics in the storage ring with strong coupling of transverses modes. — In: Proc. of European Particle Accelerator Conf. EPAC, 2000, p. 1408—1410.

Поступила в Редакцию 24.11.04

Рефераты статей

УДК 621.039.573

Пономарев-Степной Н.Н., Талызин В.М., Павшук В.А., Уласевич В.К., Сметанников В.П., Черепнин Ю.С., Федик И.И., Денискин В.П., Дьяков Е.К., Тухватулин Ш.Т. **Исследовательский высокотемпературный реактор (к 30-летию энергетического пуска ИВГ1).** — Атомная энергия, 2005, т. 98, вып. 3, с. 163—170.

Изложена краткая история создания первого отечественного высокотемпературного реактора с газовым охлаждением — уникального экспериментального реактора для испытаний активной зоны реакторов ЯРД. Комплекс неординарных требований, предъявлявшихся к реактору, потребовал поиска и реализации множества физических, конструкторских и технологических новаций, решения сложных научно-технических проблем как в процессе разработки, так и при вводе в действие. Приводятся данные о конструкции и характеристиках реактора, устройстве обслуживающих его стендовых систем, а также результаты первого пуска и последующей многолетней эксплуатации. Рис. 3, табл. 2.

УДК 621.039.534

Бредихин В.Я., Змитродан А.А. **Контроль межконтурной плотности транспортной ЯЭУ с водным теплоносителем под давлением.** — Атомная энергия, 2005, т. 98, вып. 3, с. 170—175.

Рассмотрено накопление трития в теплоносителе первого контура транспортной ЯЭУ. Получены результаты, подтверждающие возможность его использования в качестве реперного радионуклида для контроля межконтурной плотности. Оценена чувствительность радиометрического метода контроля трития для определения протечки теплоносителя первого контура как при работе ЯЭУ на мощности, так и в стояночном режиме. Рис. 2, табл. 3, список лит. 7 назв.

УДК 621.039.534.63

Козлов Ф.А., Поплавский В.М., Алексеев В.В., Цикун А.Г. **Во-**

робьева Т.А. Моделирование массопереноса трития в трехконтурной ЯЭУ с натриевым охлаждением. — Атомная энергия, 2005, т. 98, вып. 3, с. 175—182.

Рассмотрены особенности моделирования массопереноса трития в технологических средах быстрых реакторов с натриевым теплоносителем. Расчетная модель массопереноса трития для трехконтурной ЯЭУ основана на рассмотрении баланса водорода и трития в первом и втором контурах.

Рассчитаны для действующих БН-600 и «Феникс» концентрация водорода и трития в натрии первых двух контуров, трития в защитном газе и пароводяной среде третьего контура, потоки трития, поступающего в холодные ловушки, третий контур и окружающую среду. Выход трития в атмосферу через стенки контуров на номинальных параметрах установки составляет ~2.2 ТБк/(ГВт·год), в третий контур поступает около 3 ТБк/(ГВт·год), холодные ловушки первого и второго контуров улавливают около 99% образующегося трития. Рис. 4, табл. 3, список лит. 7 назв.

УДК 621.039

Безносоев А.В., Пинаев С.С., Давыдов Д.В., Молодцов А.А., Бокова Т.А., Мартынов П.Н., Рачков В.И. **Экспериментальные исследования характеристик контактного теплообмена свинцовый теплоноситель—рабочее тело.** — Атомная энергия, 2005, т. 98, вып. 3, с. 182—187.

Представлены результаты расчетных и экспериментальных исследований теплогидравлических характеристик контактного теплообмена свинцовый теплоноситель—рабочее тело. Проводили барботаж воды, пароводяной смеси и пара температурой 100—350 °С под давлением 1—25 МПа через отверстия диаметром 0,6—2 мм под слой свинца толщиной от 100 до 3000 мм при температуре 350—600 °С в свободный и затесненный имитаторами трубной систе-