

УДК 621.384.6

## **ПРОЕКТ LEPTA: ПЕРВЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ С ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ**

*В. К. Антропов, Е. В. Болтушкин, А. В. Иванов, С. А. Ивашкевич,  
А. Г. Кобец, Ю. В. Коротяев, В. И. Лохматов, И. Н. Мешков,  
В. Н. Павлов, Р. В. Пивин, И. А. Селезнев, А. О. Сидорин,  
А. В. Смирнов, Е. М. Сыресин, Г. В. Трубников, С. Л. Яковенко*

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

В ОИЯИ сооружается установка LEPTA (Low Energy Positron Toroidal Accumulator) — накопитель позитронов на энергию 10 кэВ с электронным охлаждением циркулирующего позитронного пучка, основное назначение которого — генерация потока позитрония. Приводится описание установки LEPTA и результаты экспериментов по тестированию основных элементов накопителя электронным пучком.

The Low Energy Positron Toroidal Accumulator (LEPTA) is being constructed at JINR. The LEPTA installation is a small positron storage ring equipped with an electron cooling system. The positron energy is 10 keV. The main goal of the installation is to generate intensive flow of positronium atoms — the bound state of electron and positron. The LEPTA installation and results of its main elements test with an electron beam are described.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Целью проекта LEPTA является создание накопителя позитронов на энергию 10 кэВ с электронным охлаждением циркулирующего позитронного пучка. Основное назначение этого накопителя — генерация интенсивного потока позитрония — связанного состояния электрона и позитрона и, в комплексе с накопителем антипротонов низкой энергии, синтез направленных потоков атомов антиводорода. На потоках позитрония в вакууме возможно выполнение экспериментов в принципиально новой постановке без возмущающего влияния среды, характерного для схемы генерации позитрония в мишени. Точность измерения времен жизни орто- и парасостояний позитрония, тонкой структуры спектра, вероятности распада с нарушением сохранения импульса и четности может быть существенно повышена по сравнению с традиционными методиками [1].

### **1. УСТАНОВКА LEPTA**

Главные особенности накопителя LEPTA — фокусировка продольным магнитным полем и электронное охлаждение позитронов [2–7]. Накопитель (рис. 1, таблица) состоит из двух тороидальных соленоидов (рис. 1, б) и двух прямолинейных, соединенных в рейстрек.

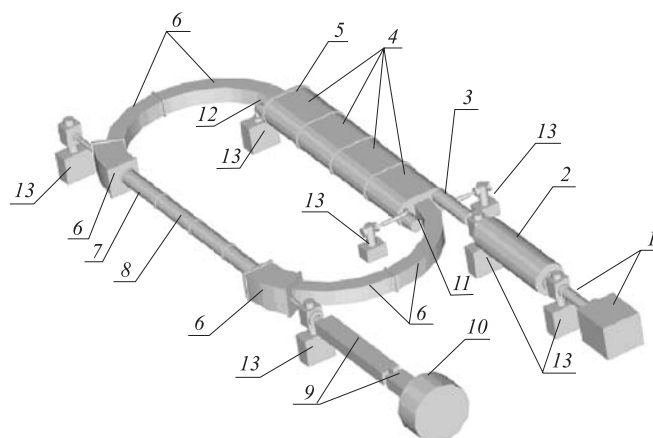


Рис. 1. Схема накопителя LEPTA: 1 — форинжектор позитронов; 2 — позитронная ловушка; 3 — секция инъекции позитронов; 4 — септумные соленоиды; 5 — кикер (расположен внутри септумного соленоида); 6 — тороидальные соленоиды; 7 — соленоид и спиральная квадрупольная линза (расположенная внутри него); 8 — прямолинейный соленоид секции электронного охлаждения; 9 — анализирующий магнит; 10 — детектор; 11 — электронная пушка; 12 — коллектор электронов; 13 — вакуумный насос

#### Основные параметры накопителя LEPTA

Периметр, м	18,12
Энергия позитронов, кэВ	10,0
Период обращения, нс	300
Продольное магнитное поле, Гс	400
Радиус поворота в тороидных секциях, м	1,45
Поворотное магнитное поле, Гс	1,75
Градиент спирального квадрупольного поля, Гс/см	10,0
Радиус пучка позитронов, см	0,5
Число циркулирующих позитронов	$1 \cdot 10^8$
Давление остаточного газа, торр	$1 \cdot 10^{-10}$
Время жизни пучка позитронов, с	100
Система электронного охлаждения	
Длина секции охлаждения, м	4,53
Ток пучка, А	0,5
Радиус пучка, см	1
Параметры пучка ортопозитрония	
Интенсивность, $\text{с}^{-1}$	$1 \cdot 10^4$
Угловой разброс, мрад	1
Энергетический разброс	$1 \cdot 10^{-3}$
Диаметр пучка на выходе накопителя, см	1,1
Распадная длина, м	8,52

На одном из двух прямолинейных участков соленоиды имеют форму цилиндра круглого сечения (7, 8), на другом участке — форму цилиндра с овальным сечением (4), это так называемые септумные соленоиды. Электронная пушка, коллектор и инжектор позитронов расположены внутри дополнительных соленоидов. Все соленоиды окружены общим магнитным экраном. Вакуумная камера расположена внутри соленоидов. Однооборотная инжекция позитронов осуществляется при помощи электрического кикера. Долговременная устойчивость движения позитронного пучка обеспечивается дополнительной спиральной квадрупольной линзой (7), которая формирует магнитное поле, подобное полю в «стеллараторе». Специальные септумные обмотки и центробежный дрейф электронов в тороидальных соленоидах используются для совмещения и разведения позитронного и охлаждающего электронного пучков.

Инжектор позитронов (1, 2) [8] состоит из форинжектора и позитронной ловушки. В качестве источника позитронов используется  $\beta^+$ -активный изотоп  $^{22}\text{Na}$ . Тестирование всех систем инжектора будет осуществляться с использованием источника малой активности. Для получения требуемой интенсивности пучка на выходе необходим источник с активностью 50–100 мКи.

## 2. СОСТОЯНИЕ РАБОТ

К настоящему времени изготовлены и протестированы все основные элементы магнитной системы накопителя ЛЕРТА. Изготовлена и собрана вакуумная камера накопителя. Настройка системы инжекции и тестирование спиральной квадрупольной обмотки осуществлены однопролетным электронным пучком. Испытание элементов накопителя проводилось в импульсном режиме работы штатной электронной пушки с током пучка 1–2 мА. Положение пучка на выходе тестируемого элемента определяется при помощи оптического окна с люминофором, на который нанесена координатная сетка. Изготовлены основные узлы инжектора позитронов и начата сборка экспериментального стенда по настройке форинжектора. Начато тестирование узлов детектора для проведения первых экспериментов на потоках позитрония. Собрано три четверти кольца накопителя (рис. 1): прямолинейная секция (7, 8), тороидальный соленоид (6) и септумные соленоиды (4) — и проведена его трассировка электронным пучком.

## 3. ПЕРВЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ С ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ

Возможность получения в накопителе циркулирующего позитронного пучка и однопролетного электронного зависит от правильной работы системы инжекции и спиральной квадрупольной линзы — наиболее сложных элементов накопителя. Испытание этих элементов было проведено в первую очередь.

Линза (рис. 2) расположена в прямолинейной секции накопителя и предназначена для поворота пучка вокруг собственной оси на угол [2]

$$\varphi = 0,5Lh \left( \frac{G}{B} \right)^2,$$

где  $G$  — градиент поля линзы, пропорциональный току в ее обмотках;  $L$  — ее длина;  $h$  — шаг спирали;  $B$  — величина продольного магнитного поля.

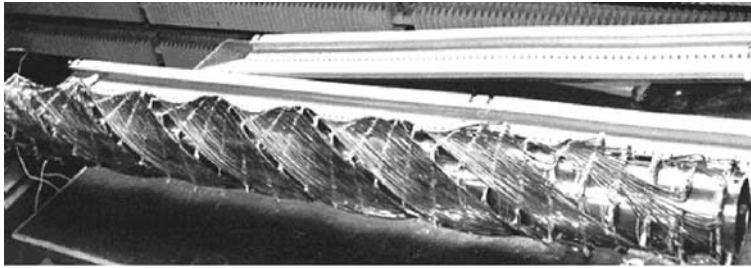


Рис. 2. Спиральная квадрупольная линза

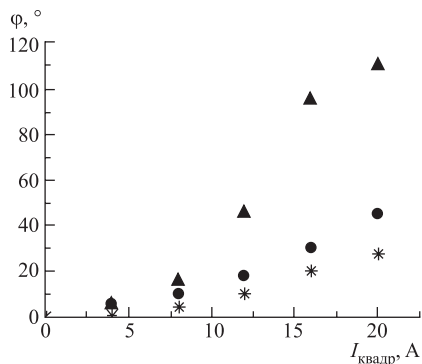


Рис. 3. Зависимость угла поворота пучка от тока обмоток квадрупольной линзы при разных значениях продольного магнитного поля: \* — 533 Гс; ● — 400 Гс; ▲ — 287 Гс

При тестировании линзы были сняты зависимости угла поворота пучка от тока ее обмоток при различных значениях продольного магнитного поля. Результаты измерений (рис. 3) находятся в хорошем соответствии с теорией.

Система инъекции электронного и позитронного пучков расположена внутри септумных соленоидов (рис. 1, 4). Совместное действие продольного магнитного поля, создаваемого септумными соленоидами, и поперечного поля, создаваемого септумными обмотками (рис. 4), приводит к тому, что пучок, инжектированный в верхнюю или нижнюю часть септума, смещается по горизонтали и на выходе из него оказывается над или под равновесной орбитой. При этом на равновесной орбите в области септумных обмоток поперечное поле практически отсутствует, и циркулирующий пучок не испытывает отклонения.

При тестировании септумных обмоток электронный пучок со стороны выхода из септума последовательно подавался на вход вакуумных камер электронного пучка, циркулирующего пучка и канала инъекции позитронного пучка. Это осуществлялось с помощью дополнительных обмоток вертикального поля при фиксированной величине продольного поля. Ток септумных обмоток подбирался таким

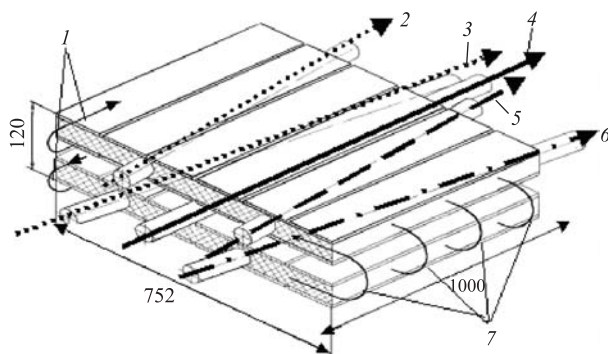


Рис. 4. Система инъекции: 1 — направление тока септумных обмоток; 2 — выведенный электронный пучок; 3 — электронный пучок из пушки; 4 — циркулирующий позитронный пучок; 5 — позитронный пучок из инжектора; 6 — выведенный позитронный пучок; 7 — силовые линии магнитного поля

образом, чтобы провести пучок сквозь соответствующую вакуумную камеру. Положение пучка на выходе контролировалось с помощью люминофора. При одной и той же величине тока септумных обмоток пучок был проведен через все три канала. При этом положение пучка на равновесной орбите практически не зависело от тока септумных обмоток.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные испытания участка накопителя с квадрупольной линзой и системы инжекции, трассировка трех четвертей кольца электронным пучком показали принципиальную возможность формирования замкнутой орбиты пучка в накопителе. По завершении сборки кольца будут начаты эксперименты по инжекции тестового электронного пучка и исследование его динамики в накопителе.

Работа поддержана РФФИ, грант № 02-02-16911.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Meshkov I.* // Part. Nucl. 1997. V. 28. P. 198.
2. *Meshkov I., Skrinsky A.* // Nucl. Instr. Meth. A. 1997. V. 391. P. 205–209.
3. *Мешков И. Н. и др.* // Тр. XVI Совещ. по ускорителям заряженных частиц, Протвино, 20–22 окт. 1998 г. Протвино, 1998. С. 19.
4. *Иванов А. В. и др.* // Тр. XVII Совещ. по ускорителям заряженных частиц, Протвино, 17–20 окт. 2000 г. Протвино, 2001. С. 87.
5. *Korotaev Yu. V. et al.* // 6th Eur. Particle Accelerator Conf., Stockholm, 1998. P. 853.
6. *Ivanov A. V. et al.* // Nucl. Instr. Meth. A. 2000. V. 441. P. 262.
7. *Антропов В. и др.* // АЭ. 2003. Т. 94, вып. 1. С. 54–57.
8. *Антропов В. и др.* // Там же. С. 68–70.