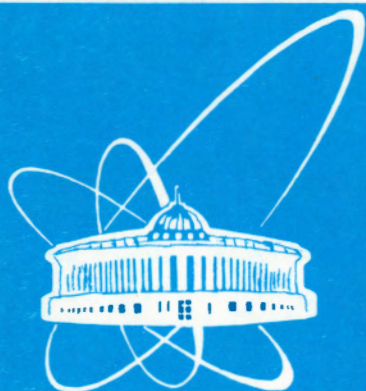


94-133



сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна

P9-94-133

А.В.Демьянов, А.Е.Дребушко, Г.А.Кононенко,  
Т.Н.Мамедов, В.С.Роганов

ПУЧКИ СЕПАРИРОВАННЫХ МЮОНОВ  
В НИЗКОФОНОВОЙ ЛАБОРАТОРИИ  
ФАЗОТРОНА ОИЯИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ  
С ПОМОЩЬЮ  $\mu$ SR-МЕТОДА

1994

## 1. Введение

В низкофоновой лаборатории фазотрона на тракте II транспортировки пучков сепарированных мюонов [1] созданы три направления мезонных пучков. Первое направление — на установку для исследования реакций  $\mu$ -катализа [1,2], второе — для экспериментов с укороченным трактом II у защитной стены четвертой лаборатории, третье — на установку для исследований с использованием  $\mu SR$ -метода. Расположить все установки на первом направлении технически не представляется возможным вследствие нетранспортабельности установки для исследования реакций  $\mu$ -катализа, а на втором — из-за недостатка пространства вдоль пучка. Далее описывается работа мезонного канала II в третьем направлении.

При использовании  $\mu SR$ -метода для исследования вещества требуются пучки сепарированных положительных и отрицательных мюонов с достаточными поляризациями и интенсивностью остановок в образцах исследуемых мишеней, а также определенные пространственные характеристики пучков, соответствующие геометрии исследуемых образцов. Ниже описываются формирование таких пучков и их параметры.

## 2. Тракт транспортировки и формирования сепарированных мюонных пучков

Тракт транспортировки сепарированных мюонов на установки по исследованию вещества  $\mu SR$ -методом (третье направление тракта II) расположен после линии № 52 под углом  $26^\circ$  относительно первого [1] направления тракта II. Третье направление тракта состоит из отклоняющего магнита типа  $MЛ31$  (элемент № 53А) и десяти электромагнитных линз типа  $MЛ29А$ ,  $MЛ29Б$ ,  $MЛ30$  с апертурой 20 см.

Тракт по направлению 3 преобразуется из тракта по направлению 1 путем удаления из пучка линз  $NN_0 52, 53$  и постановки на пучок вместо них отклоняющего магнита  $MЛ31$  (№ 53А). При этом ось линз  $NN_0 55-62$  поворачивается на  $26^\circ$ , и линзы соответственно смещаются на направление 3. На выходе тракта после линзы № 64 вдоль оси пучка и под углом  $26^\circ$  к нему имеются рельсовые пути для перемещения экспериментальных установок на пучок.

Третье направление тракта II содержит в себе вакуумпроводы с форвакуумом. Исключение составляют воздушные промежутки в магните № 53А и последнем дублете линз  $NN_0 63, 64$ , что обусловлено эксплуатационными особенностями в тракте II при переходе с направления 1 на направление 3.

Схема электропитания направления 3 тракта II несколько отличается от схемы электропитания направления 1 тракта II [1]. Для оптимизации ввода мюонов в магнит № 53А дублет линз  $NN_{\text{e}} 51, 52$  питается отдельно от других линз; для лучшей фокусировки пучка мюонов на экспериментальную установку с целью выбора наиболее подходящего пространственного распределения мюонов в пучке раздельно запитаны линзы последнего дублета  $NN_{\text{e}} 63, 64$ . Питание линз  $NN_{\text{e}} 61, 62$  осуществляется последовательно с линзами от № 58 до № 60.

Расположение магнита  $MЛ31$  с градиентной фокусировкой ( магнит фокусирует в вертикальной плоскости ) на направление 3 ( вместо двух линз  $MЛ29$  в направлении 1 ) несколько нарушает периодичность структуры тракта ( эффективная длина магнита – 59 см, линзы – 35,5 см, а также разные дрейфовые промежутки между эффективными полями ). Это обстоятельство, вместе с появлением двух воздушных промежутков общей протяженностью около 2 м, может привести к некоторому снижению интенсивности пучка мюонов при их транспортировке до установок для физических исследований. Однако, как показали последующие измерения, заметных отклонений в интенсивности пучков по направлениям 1 и 3 не зарегистрировано ( с точностью до оптимизации токов в линзах направлений 1 и 3 ).

Режим работы тракта транспортировки пучка сепарированных мюонов на установку для  $\mu SR$ -исследований получается из режима работы тракта II в первом направлении [1]. При этом токи в линзах корректируются методом последовательных приближений для получения максимальной интенсивности на телескоп из двух счетчиков ( размером  $10 \times 10 \times 1$  см ) или телескоп из трех счетчиков ( третий из них размером  $2,5 \times 2,5 \times 0,5$  см ).

Базовым импульсом в тракте является импульс 125 МэВ/с. При настройке каналов I и II на транспортировку сепарированных мюонов с импульсом 125 МэВ/с ток в отклоняющем магните  $MЛ31$  ( элемент № 53А ) устанавливается по максимуму интенсивности пучка частиц на выходе из канала.

В этом магните в медианной плоскости на центральной траектории пучка частиц проводились измерения зависимости магнитного поля от тока питания магнита ( при помощи датчика Холла ). Зависимость импульса пучка сепарированных мюонов в тракте II направления 3 от тока в магните № 53А ( при повороте в нем на  $26^\circ$  ) приведена на рис. 1 ( точность определения импульса для данного тока около 1% ). Ток 185 А соответствовал импульсу 125 МэВ/с, определенному по кривой остановок.

При соблюдении знакопеременной последовательности градиентов в элементах тракта на выходе его имеется наибольшая интенсивность.

Это соответствует тому, что магнит № 53А и последняя линза № 64 вертикально фокусирующие, т.е. пучок на выходе шире в горизонтальной плоскости, чем в вертикальной. Другие возможные формы пучка (с некоторой потерей интенсивности его) описываются в следующем разделе.

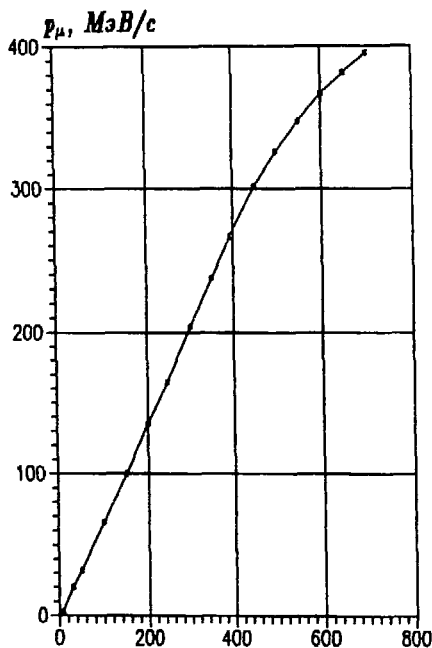


Рис. 1. Значения импульса мюонов в пучке тракта II в направлении 3 в зависимости от тока магнита МЛ31 № 53А, отклоняющего пучок на угол  $26^{\circ}$

I, A

### 3. Параметры сепарированных мюонных пучков

Параметры пучков исследовались на выходе третьего направления тракта II (за линзой № 64). Интенсивность пучка измерялась телескопом двух сцинтилляционных счетчиков, примеси электронов в пучке определялись по времени пролета с помощью этого телескопа, профиль пучка в двух плоскостях измерялся путем

сканирования специальным двухкоординатным устройством [1,2,3], в котором использовались два счетчика с тонкими сцинтилляторами диаметром 0,2 и длиной 10 см.

Число остановок в максимуме кривой остановок измерялось с помощью сцинтилляционных счетчиков С1, С2, С3, С4, С5. После первых двух счетчиков С1, С2 устанавливался медный тормозитель переменной толщины  $L$ , за которым располагались счетчики С3, С4, С5. Размеры счетчиков С1, С2, С3 –  $10 \times 10 \times 1$  см, С4 –  $2,5 \times 2,5 \times 0,5$  см, С5 –  $20 \times 20 \times 1$  см.

Остановки происходили в счетчике С4 (или С3). Кривой остановок является зависимость от  $L$  счета совпадений-антисовпадений  $N_{12345}$  (или  $N_{1235}$ ), отнесенная к счету монитора  $N_{12}$ . Счетчик С4 размещался в месте предполагаемого расположения мишени для исследования вещества  $\mu SR$ -методом (в 35 см от линзы  $N_0 64$ ). Счетчики С3, С4, С5 размещались вплотную друг к другу, насколько позволяли их габариты. Путем изменения токов в последних семи линзах (особенно существенно в последнем дублете) на выходе направления 3 тракта II сформировано 3 варианта пространственного распределения пучка сепарированных положительных мюонов с импульсом 125 МэВ/с.

В первом варианте на выходе тракта формировался пучок положительных мюонов путем фокусировки на счетчик С4 (в 35 см от последней линзы канала; питание линз  $N_0 63$  и  $N_0 64$  раздельное). Пучок шире по горизонтали, чем по вертикали. В этом варианте в линзах и магнитах сохраняется знакопеременность градиента, и полученный пучок имеет наибольшую по сравнению с другими вариантами интенсивность пучка —  $2,0 \cdot 10^5$  частиц $\cdot$ с $^{-1}$  на 1 мкА интенсивности пучка протонов, выведенного из ускорителя. Полуширина распределения интенсивности в горизонтальной плоскости составляет  $\pm 4,4$  см и в вертикальной —  $\pm 1,8$  см (см. 1 на рис. 2). Пучок расходится в горизонтальной плоскости (возрастание полуширины вдоль оси пучка составляет  $\pm 3,7^\circ$ ) и сходится в вертикальной (соответствующее уменьшение полуширины вдоль пучка составляет  $\pm 2,4^\circ$ ).

Во втором варианте в 50 см от линзы  $N_0 64$  формируется пучок круглого сечения, когда полуширины распределения пучка в горизонтальной и вертикальной плоскостях приблизительно равны  $\pm 3$  см (см. 2 на рис. 2). В этом варианте линзы  $N_0 63$  и  $N_0 64$  питаются от одного источника (током 250 А), знакопеременность градиента сохраняется. Интенсивность пучка составляет  $1,7 \cdot 10^5$  частиц $\cdot$ с $^{-1}$  (на 1 мкА интенсивности пучка протонов).

Для случая, когда в эксперименте нужен узкий по горизонтали и более протяженный в вертикальной плоскости пучок, можно использовать третий вариант формирования (в 35 см от последней линзы).

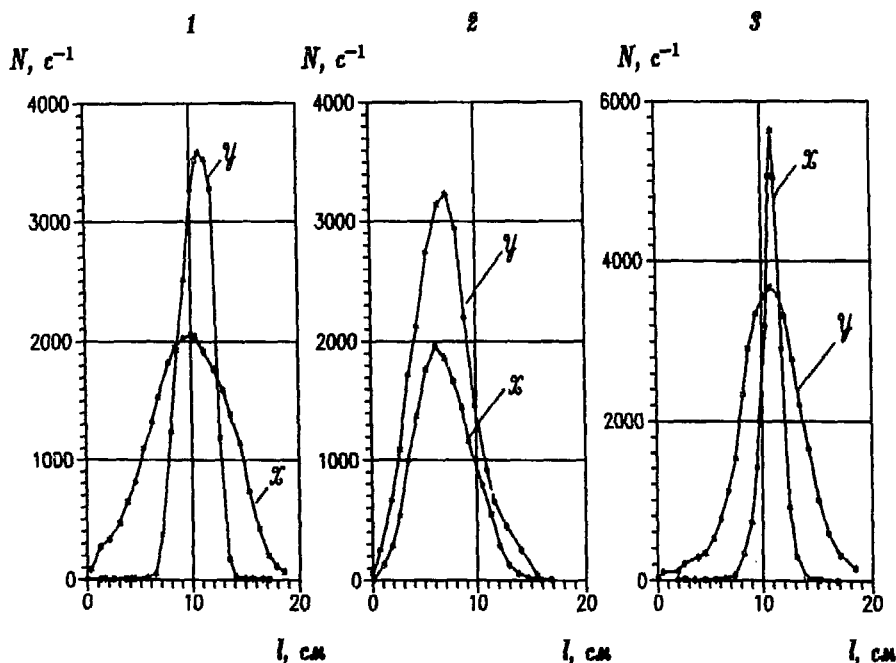


Рис. 2. Распределение интенсивности пучка положительных мюонов с импульсом 125 МэВ/с на выходе тракта II направления 3 для разных вариантов формирования: 1 – пучок, узкий по вертикали, 2 – пучок круглого сечения, 3 – пучок, узкий по горизонтали; X – горизонтальная, Y – вертикальная плоскость

В этом случае в линзах  $N_2 62$  и  $N_2 63$  направление магнитных полей совпадает, а в линзе  $N_2 64$  — противоположное (фокусировка в горизонтальной плоскости). При этом интенсивность пучка составляет  $1,0 \cdot 10^5$  частиц  $\cdot \text{с}^{-1}$  на 1 мкА интенсивности пучка протонов, поперечина в горизонтальной плоскости  $\pm 0,9$  см, в вертикальной —  $\pm 3,0$  см (см. 3 на рис. 2), соответственно расходимость  $\pm 2,3^\circ$  и сходямость около  $4^\circ$ .

Важным параметром пучков мюонов является импульсный интервал пучка мюонов на выходе тракта II после линзы № 64. Его определяют из кривой остановок положительных мюонов в веществе, когда с определенным пробегом частиц отождествляется определенный импульс. На рис. 3 приведена кривая остановок положительных мюонов, полученная с помощью тормозителя из меди на выходе третьего направления в условиях формирования пучка круглого сечения. Кривая остается практически неизменной для всех трех вариантов формирования пучка мюонов.

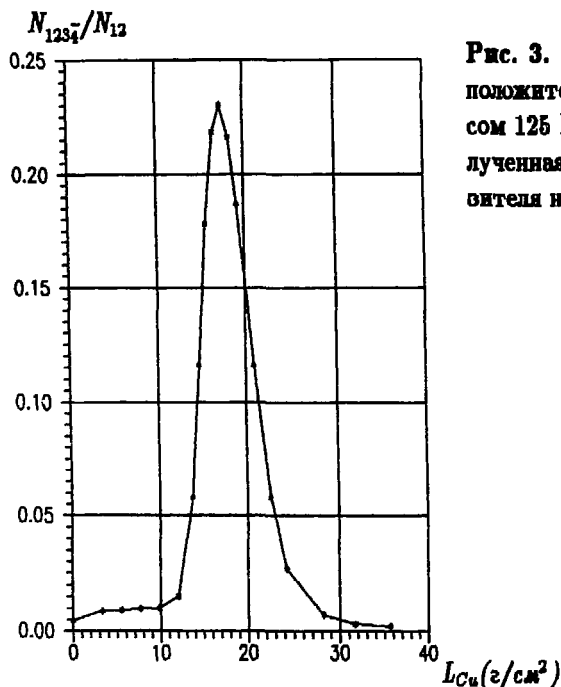


Рис. 3. Кривая остановок пучка положительных мюонов с импульсом 125 МэВ/с (в счетчике С3), полученная с помощью медного тормозителя на выходе направления 3

Разброс пробегов ( $\pm 2,8 \text{ г}\cdot\text{см}^{-2}$ ) в этом случае несколько меньше, чем на выходе тракта II на направление 1 [1] ( $\pm 3,2 \text{ г}\cdot\text{см}^{-2}$ , что соответствует импульсному разбросу  $\pm 5\%$ ).

Для максимума кривой остановок их число в счетчике С3 ( $10 \times 10 \times 1$  см) есть  $N_{1235}/N_{12}=0,23$ , а в счетчике С4 ( $2,5 \times 2,5 \times 0,5$  см) составляет 0,082 от числа мюонов, проходящих через него при нулевой толщине тормозителя. Интенсивность пучка отрицательных мюонов и, соответственно, число их остановок втрое меньше, чем для пучка положительных мюонов.

Одним из параметров пучка сепарированных положительных мюонов является примесь в нем позитронов. Она измерялась по времени пролета с помощью счетчиков С1 и С2. Эта примесь зависит от варианта формирования. Так, для пучка с круглым сечением она составляла (по отношению к числу мюонов) 2,5%, а для пучка, вытянутого в вертикальной плоскости, — 4,0%. Для пучков отрицательных мюонов примесь электронов втрое выше.

#### 4. Заключение

В результате настоящей работы получены пучки сепарированных мюонов для исследования вещества  $\mu SR$ -методом в низкофоновой лаборатории фазотрона на выходе линии № 64. Пучки положительных мюонов с импульсом 125 МэВ/с и импульсным разбросом менее  $\pm 5\%$  сформированы в различных вариантах их пространственных распределений на мишени для экспериментальных исследований: а) пучок положительных мюонов, сходящийся в вертикальной плоскости с полушириной  $\pm 1,8$  см и расходящийся в горизонтальной плоскости с полушириной  $\pm 4,4$  см на расстоянии 35 см от последней линии канала, имеет интенсивность  $2,0 \cdot 10^5$  частиц·с<sup>-1</sup> (на 1 мкА интенсивности выведенного пучка протонов), б) пучок приблизительно равных размеров в обеих плоскостях (в 50 см от последней линии канала) имеет интенсивность  $1,7 \cdot 10^5$  частиц·с<sup>-1</sup>, в) пучок, более узкий в горизонтальной плоскости (в 35 см от последней линии канала) имеет интенсивность  $1,0 \cdot 10^5$  частиц·с<sup>-1</sup>.

Число остановок в мишени из сцинтиллятора площадью  $2,5 \times 2,5$  см<sup>2</sup> и толщиной 0,5 см составляет около  $5 \cdot 10^3$  частиц·с<sup>-1</sup> на 1 мкА интенсивности пучка протонов, выведенного из ускорителя, а в мишени  $10 \times 10 \times 1$  см —  $5 \cdot 10^4$  частиц·с<sup>-1</sup>. Интенсивность пучка отрицательных мюонов втрое меньше.

Примесь позитронов в пучке зависит от вариантов формирования пучка и для пучка с круглым сечением равна 2,5% от числа мюонов. Измеренная  $\mu SR$ -методом поляризация пучка составляет примерно 0,7.



Сформированные в низкофонової лаборатории на выходе линзы № 64 пучки сепарированных мюонов вполне соответствуют требованиям экспериментов по исследованию вещества мюонным методом.

В заключение авторы считают своим приятным долгом поблагодарить В.А.Жукова, Л.М.Онищенко и О.В.Савченко за постоянный интерес и помощь в работе.

## Литература

1. Андреев Е.М. и др. ОИЯИ, 9-92-225, Дубна, 1992.
2. Демьянов А.В. и др. ОИЯИ, 9-93-374, Дубна, 1993.
3. Демьянов А.В. и др. ОИЯИ, 9-92-231, Дубна, 1992.

Рукопись поступила в издательский отдел  
14 апреля 1994 года.