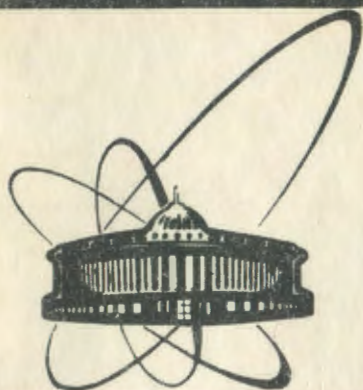


90-435

1 00% КОЛЛЕКЦИОННАЯ КНИГОТРАФА
НАЦИОНАЛЬНАЯ КОЛЛЕКЦИОННАЯ
БИБЛИОТЕКА



**сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна**

9-90-435

**М.П.Баландин, А.В.Демьянов, Т.Н.Мамедов,
В.С.Роганов**

МЕЗОННЫЙ КАНАЛ ФАЗОТРОНА ОИЯИ

1990

1. Введение

Система пучков фазотрона /1/ ОИЯИ функционирует с 1985 г. Эта система отличается от системы проектировавшихся каналов пучков фазотрона /2/. Основное отличие реализованного проекта состоит в том, что отсутствуют каналы поляризованных нуклонов, а пучки мезонов образуются только от внешних мишеней.

Схема разводки каналов пучков фазотрона приведена на рис.1. На фазотроне ЛЯП создано 10 каналов пучков. Каналы 1, 2, 3, 9, 13 служат для формирования пучков мезонов, а остальные каналы - для формирования пучков нуклонов.

Мезонный канал 1 предназначен для получения мюонных и пионных пучков в интервале энергий 30-300 МэВ, образованных в мишени, расположенной на пучке протонов в главном зале фазотрона. При этом пучок протонов транспортируется по тракту 1 /3,4/ до тормозителя протонов.

Настоящая работа посвящена описанию работы мезонного канала 1 и формированию в нем пучков положительных и отрицательных сепарированных мюонов с импульсом 125 МэВ/с.

В месте расположения мезонообразующей мишени полуширина распределения пучка /3/ в горизонтальной и вертикальной плоскостях составляет $\pm 0,9$ см и $\pm 0,75$ см, а на тормозителе (в отсутствие мишени) $\pm 1,4$ см и $\pm 1,7$ см. Распределение интенсивности пучка протонов в горизонтальной и вертикальной плоскостях хорошо аппроксимируется гауссовой кривой. При наличии мишени (20 см углерода или бериллия по пучку) пучок уширяется, но вписывается в апертуру тормозителя (3 см).

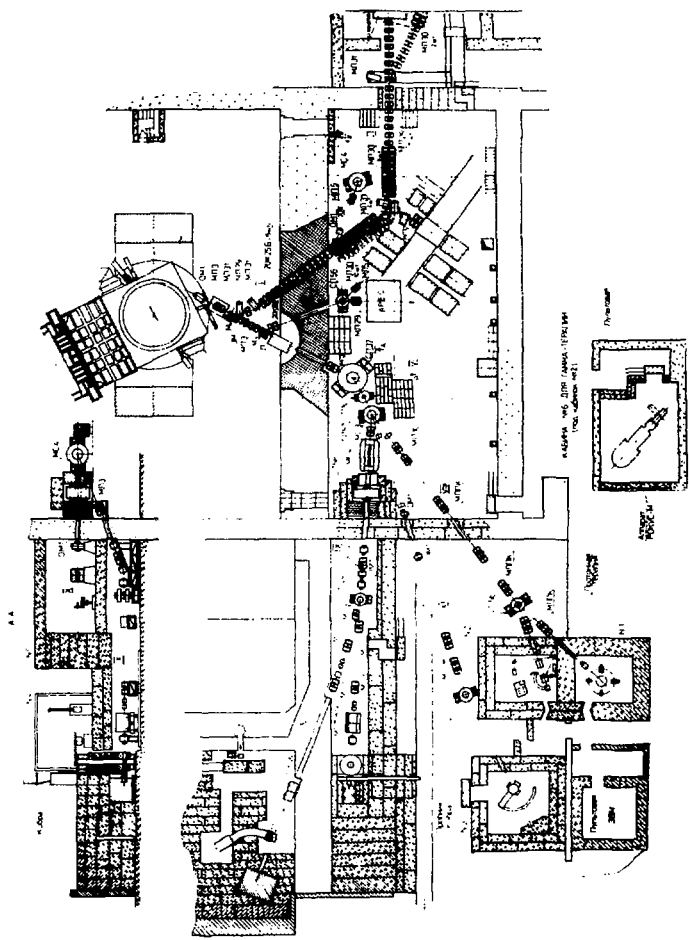


Рис. 1. Схема разводки кондюков пучков фозотрона ОИЯИ.

Для получения мезонных пучков фазотрон работает в режиме "медленного" вывода ^{15/}. В этом случае (с растянутым во времени пучком) частицы распределены во времени с амплитудной неоднородностью ^{13,6/} ~ 25% в течение 85% общего времени (~4 нс). Выведенный протонный пучок имеет микроструктуру - сгустки длительностью около 10 нс следуют с частотой 14,575 МГц. Интенсивность ^{16/} выведенного пучка в режиме "медленного" вывода составляет (1,6-2) мкА.

Основным назначением канала из чередующихся по знаку градиента фокусирующих линз является получение пучков мюонов с малыми пионными примесями. Для формирования таких пучков фокусируются мюоны, образованные в непрерывном тракте при распаде пионов в направлении, обратном пионному импульсу в системе центра масс.

Формирование мюонных пучков осложняется тем обстоятельством, что мюоны являются частицами третьего поколения. Принцип ^{17/} получения сепарированных мюонных пучков состоит в двойном магнитном анализе по импульсу (на входе в канал и на выходе из него) и эффективной фокусировке мюонов, образованных при распаде пионов в канале. Поэтому канал включает в себя 3 части: а) систему захвата (инъекции) пионов в канал; б) непрерывный жесткофокусирующий тракт квадрупольных магнитов, фокусирующий мюоны от распада пионов; в) систему вывода из канала мезонов определенного импульса и их фокусировки на детекторы физических установок. Существующие мюонные каналы (см., например, ^{18/}) конструктивно различаются в этих частях. Функциональные особенности каждой части канала детально описаны ^{19/} при проектировании мюонных каналов фазотрона ОИЯИ.

2. Описание мезонного тракта I фазотрона

Первоначально мюонный канал фазотрона ОИЯИ был построен из использованных до реконструкции магнитно-оптических элементов (МЛ29, МЛ30, МЛ31). Этот канал функционировал с 1985 г. по 1987 г. Принципиальным отличием его от мезонного канала синхроциклотрона /10/ было использование внешней мезонообразующей мишени, а не мишени внутри ускорителя; кроме того, системой захвата пионов в канал синхроциклотрона служило рассеянное магнитное поле ускорителя, а не отклоняющие магниты и фокусирующие линзы.

Первоначальный вариант мезонного канала фазотрона, как и канала синхроциклотрона, имел тот недостаток, что плоскости фокусировки (дефокусировки) распадной части канала были наклонены под углом 45° к плоскости фокусировки и отклонения систем инжекции и вывода. Наклон плоскостей был обусловлен конструкцией использованных на участке амбразуры линз МЛ29, что приводило к потере интенсивности мезонов при их транспортировке.

Специально спроектированные квадруполи вытянутой прямоугольной формы /2,9/ 20К25-1000 позволили избежать этого недостатка и упростить согласование выхода из тракта со входом в анализирующий магнит системы вывода. Такой мезонный канал с квадрупольными линзами 20К25 функционирует с 1988 г., далее приводится его описание. Он дал увеличение интенсивности пучков мезонов втрое (на 1 мкА протонного пучка) по сравнению с первоначальным вариантом.

Мезонный канал имеет общую протяженность 18,5 м, состоит из 28 квадрупольных линз (с апертурой 20 см, типа МЛ29А, МЛ30 /2,10/ с эффективной длиной по магнитному полю $l_3 = 35,5$ см и типа 20К25 с

$\ell_3 = 38,5$ см) и 5 отклоняющих магнитов типа МЛЗІ (с апертурой 20 см, градиентной фокусировкой и эффективной длиной 59 см ^{/II/}). Максимальный градиент в линзах может достигать 1000 Э/см.

В качестве мезонообразующих мишеней для тракта I используются бериллий и углерод, которые представляют собой цилиндры диаметром 6 см (несколько больше диаметра пучка протонов ~ 4 см) и длиной (по пучку протонов) 20 см. Этот выбор определяется целым рядом факторов ^{/I2/}, а также геометрией расположения и апертурой мезонного канала ^{/3/}. Смена мишеней и их удаление с пучка протонов производятся автоматически.

Расположение мезонного канала показано на рис. I. Оно, в основном, обусловлено возможностью размещения элементов канала в зале фазотрона и залах экспериментальной аппаратуры, а также выбранным углом отбора пионов из мезонообразующей мишени (25°). На рис. I показана головная часть мезонного канала - его система захвата пионов. Система состоит из двух отклоняющих (и фокусирующих) на 42° магнитов МЛЗІ и магнитной линзы МЛ29 между ними. Протяженность системы 2,2 м. Первый магнит, вертикально фокусирующий, отклоняет мезоны на 24° , а далее канал знакопеременный по градиенту.

Система захвата удовлетворяет основным требованиям: захват пионов из мишени в возможно большем телесном угле и в определенном импульсном интервале, ограничение наименьшего импульса захватываемых в канал пионов для получения пучков мюонов с малыми пионными примесями, фокусировка пионов.

Центр первого магнита расположен в 57 см от мишени на минимальном расстоянии, допускаемом геометрией расположения элементов тронта и мишенной станции. Это приводит к тому, что рассеянное поле

первого магнита МЛЗІ при работе мезонного тракта отклоняет пучок протонов на доли градуса ($\sim 0,2^{\circ}$ при настройке системы инжекции на импульс 2ІО МэВ/с). Такое отклонение легко компенсируется незначительным изменением тока в корректирующем магните ОМ2 протонного тракта Т. В таблице I приведены режимы работы системы захвата при настройке ее на пионный импульс 2ІО МэВ/с. Каждый элемент системы питается от отдельного источника.

Распадная часть канала длиной 12,5 м состоит из 15 линз 20К25 и 10 линз МЛ30. Блок линз МЛ30 может смещаться с оси канала (см. рис. I) с тем, чтобы дать возможность работы на пионных пучках вблизи защитной стены на укороченном мезонном канале без импульсного анализа с помощью системы вывода из канала. Во всей расподной части поддерживается форвакуум.

Система питания дана в таблице I (используются источники типа ПГН-500, ГП-59/16, П-102). Для оптимизации ввода мезонов в расподную часть синглет 20К15 (1 тр.эл.7) и дублет 20К25 (эл.8,9) питаются от разных источников. Последующие 10 линз 20К25 (эл.10±19) питаются совместно, следующий дублет (20,20А) согласует транспортировку пучка из блока линз 20К25 в блок линз МЛ30, имеющих несколько разные эффективные длины линз и расстояния между границами эффективных полей в этих линзах (13,5 и 15,0 см соответственно в 20К25 и МЛ30). Последний дублет расподной части (л.29,30) также питается отдельно, чтобы оптимизировать условия ввода мезонного пучка в конечный магнитный анализатор.

Для разделения мюонов от пионов и импульсного анализа канал заканчивается магнитным анализатором /II/, продолжающим фокусировку частиц. Анализатор состоит из 3 магнитов МЛЗІ, знакопередающихся

Таблица I. Режим работы мезонного тракта I (вместе с трактом I) для получения сепарированных отрицательных мюонов с импульсом I25 МэВ/с

Тракт, элемент	Источн. питания	Магнит, линза	Ток источ. питания, А	Напряж. на шунте, мВ	Напряж. источ. питания, В
Тракт I					
I-1	МГ-2I	OM-I	+400	+40,0	90
I-2,3	I7AP	ML-3	-350	-17,5	90
Ш-6	МГ-19	OM-2	-40	-4,0	15
УШ-4	8AP	ML-3	-380	-19,0	50
УШ-5	IOAP	ML-3	-380	-19,0	50
Тракт I					
I-4	I2AP	ML-3I	+300	+15,0	50
I-5	I8AP	ML-29	+380	+19,0	30
I-6	27AP	ML-3I	-230	-23,0	37
I-7	2IAP	2OK25	-252	-12,6	15
I-8,9	I9AP	2OK25	-392	-19,6	46
I-10±I9	МГ-I7	2OK25	-380	-30,7	200
I-20,20A	23AP	2OK25	+420	+21,0	47
I-2I±28	МГ-I6	ML-30	-450	-33,7	150
I-29,30	25AP	ML-30	+380	+19,0	20
I-3I	I5AP	ML-3I	+I68	+8,4	25
I-32	22AP	ML-3I	+I78	+8,9	26
I-33	I4AP	ML-3I	+I90	+9,5	27
I-34,35	IIAP	ML-30	+350	+I7,5	20

по градиенту. Первый магнит фокусирует частицы в вертикальной плоскости и дефокусирует в горизонтальной. Система вывода заканчивается дублетом линз МЛЭО, фокусирующих мезоны на детекторы частиц. Угол отклонения в 3 магнитах составляет 75° , радиус поворота 144 см, общая длина - 3,8 м. Система подобна существовавшей на мезонном канале синхроциклотрона /10,11/ и в первоначальном варианте канала фазотрона. Она отличается от магнитного анализатора ЛИЯФ /13,14/, где используется магнит СП-053 без градиентной фокусировки.

Для размещения на мезонных пучках экспериментальных установок действует система их транспортировки, подобная существовавшей на синхроциклотроне /10/ (см. рис.1).

3. Настройка тракта сепарированных мюонов

Режим электропитания линз и магнитов тракта устанавливается исходя из условия получения максимальной интенсивности сепарированных мюонов на 2 сцинтилляционных счетчика 10×10 см. Исходный режим для мезонного тракта выбирался на основе расчетов на ЭВМ СДС-6500 для жесткофокусирующего тракта, настроенного на транспортировку π -мезонов с импульсом 210 МэВ/с, по программе "TRANSPORT" /15/, а также использовались режимы мезонного канала синхроциклотрона /10,16/. В дальнейшем отдельные элементы тракта настраивались методом последовательных приближений.

Магниты системы инжекции настраивались на импульс пионов $P_{\pi} = 210$ МэВ/с, распадная часть канала настраивалась на получение максимальной интенсивности сепарированных мюонов и для настройки

канала на эти частицы в выходном анализаторе устанавливался ток $/I_0/$, соответствующий $P_{\mu} = 0,6 P_{\Pi}$. В первую очередь варьировались токи в линзе МЛ29, которая располагается между двумя магнитами системы инжекции, и токи в согласующих элементах 7, 8, 9, 20, 20А, 29, 30 и в дублете линз 34, 35, фокусирующих частицы на детекторы частиц. Надо заметить, что изменение тока в линзе МЛ29 (эл.5) системы захвата влияло не только на интенсивность, но и на примесь электронов для режимов, соответствующих мюонам, ридившимся при распаде назад ($P_{\mu} = 0,6 P_{\Pi}$) и вперед ($P_{\mu} = 1,05 P_{\Pi}$) в системе центра масс.

Режим работы тракта для получения пучка сепарированных отрицательных мюонов с импульсом 125 МэВ/с от распада пионов с импульсом 210 МэВ/с приведен в таблице I. Для положительных мюонов полярности источников питания тракта I изменяются на обратные. Режимы для других импульсов получаются из этого режима, если установить токи в соответствии с условием, что градиент в линзах прямо пропорционален импульсу. Зависимости градиента от тока в линзах МЛ29 и МЛ30 приведены в работе $/I_0/$, а для 20К25 градиент (в Э/см) соответствует численному значению тока (в А). При работе с пучком мюонов с импульсом $P_{\mu} = 1,05 P_{\Pi}$ (где велики примеси пионов и электронов) система вывода настраивается на этот импульс $/I_0/$, а режим работы распадной части канала остается практически не отличающимся от режима для $P_{\mu} = 0,6 P_{\Pi}$.

4. Пучки сепарированных мюонов с импульсом 125 МэВ/с

На выходе мезонного тракта для отработки режимов, контроля работы и измерения параметров пучков устанавливается диагностическая аппаратура. Между элементами тракта ее установить нельзя, поскольку расстояние между обмотками линз не превосходит 3 см, внутри линз размещается труба вакуумпровода, детекторы могут влиять на пучок; кроме того, после того, как найден режим работы канала, в такой аппаратуре, расположенной внутри канала, необходимости нет. Интенсивность измеряется телескопом 2 сцинтилляционных счетчиков (10x10x1 см), первый из которых расположен на расстоянии 50 см от последней линзы. Состав пучка (количество π , μ , e) измеряется по времени пролета и по кривой остановок, когда после первых 2 счетчиков устанавливается фильтр переменной толщины. Далее следуют счетчики 3, 4 и 5, 5-й счетчик включается в антисовпадения. Остановки происходят в 4-м счетчике толщиной 1 г/см² ($N(12345)/N(12)$). По кривой остановок измеряется также импульс частиц в пучке (задаваемый током в 3 магнитах второго анализатора). Профиль пучка (в 2 плоскостях) измеряется путем сканирования тонкими сцинтилляторами. Для измерения поляризации пучка используется μSR методика.

Важной характеристикой мезонного канала является импульсный интервал частиц, захватываемых из мезонообразующей мишени. Этот интервал импульсов влияет на примеси пионов в чистых сепарированных мюонных пучках, естественно, чем он шире, тем больше интенсивность пионов, попавших в канал, но тем больше их примесь в мюонных пучках.

Этот интервал был экспериментально найден с помощью изменения тока в магнитах магнитного анализатора (импульса) на выходе мезонного канала и регистрации тройных совпадений в сцинтилляционном телескопе. Для разных токов выходного анализатора состав пучка сильно изменяется при изменении выходного импульса от P_{Π} до $0,55 P_{\Pi}$. Измерения показали, что импульсный интервал для пионов $\Delta p_{\Pi}/p_{\Pi} = \pm 10\%$ (Δp - полуширина на полувысоте импульсного распределения).

Измеренная интенсивность отрицательных мюонов ($P = 125$ МэВ/с) составляет 10^5 в сек. на 1 мкА интенсивности протонного пучка, а интенсивность положительных мюонов ($P_{\mu} = 125$ МэВ/с) втрое больше, $3 \cdot 10^5$ в сек. на 1 мкА, при этом входной анализатор настроен на импульс пионов 210 МэВ/с (таблица I).

Существенным параметром пучка мюонов является импульсный интервал мюонов на выходе из канала. Обычно он определяется из кривой остановок мюонов в веществе, когда с определенным пробегом частиц в веществе атождествляется определенный импульс. На рис.2 приведена кривая остановок отрицательных мюонов, полученная с помощью фильтра из меди. Из кривой находятся импульс и его разброс 125 ± 6 МэВ/с (с учетом страггинга и толщины вещества, в котором останавливаются мюоны), т.е. импульсный интервал ($\Delta P_{\mu}/P_{\mu} = \pm 5\%$). Этот интервал импульсов (так же, как и величина импульса) определяет плотность остановок в 1 г/см^2 вещества, которая в данном случае составляет около $0,2$ (в максимуме мюонных остановок) от числа тройных совпадений на счетчиках мюонов.

Сепарированные мюонные пучки имеют примеси электронов и пионов. Для определения состава пучка используется метод времени пролета. Он основан на том, что при одном и том же импульсе частиц на выходе из канала времена их пролета через канал различны для частиц

с разными массами. Для измерения состава пучка по времени пролета необходимо регистрировать момент прохождения (либо события, связанного с прохождением частицы) частицы в 2 разных точках в пространстве. Например, момент рождения частицы при взаимодействии протона с мезонообразующей мишенью, который с точностью ширины сгустка в микроструктуре пучка связан с высокочастотным ускоряющим полем ускорителя.

В настоящей работе импульс от высокочастотной системы ускорителя служил одним из сигналов для измерения состава пучка по времени пролета, а в качестве другого использовался сигнал из пластического сцинтилляционного счетчика на выходе из канала. Высокочастотный сигнал после соответствующего формирования и сигнал из счетчика подавались на "стоп"- и "старт"-входы конвертора (ПВА-203), разработанного в ЛЯП /17/, сигналы из которого подавались в анализатор АТ4 1024. Недостаток использования ВЧ-сигнала состоит в том, что он в действительную ширину временных пиков вносит дополнительный вклад: разброс частиц в микроструктуре пучка протонов.

На рис.3 показан состав пучка сепарированных положительных и отрицательных мюонов с импульсом 125 МэВ/с, полученный по времени пролета. Примесь электронов в пучке отрицательных мюонов составляет ~9%, а в пучке положительных мюонов ~3%. Эта примесь, естественно, зависит от толщины мезонообразующей мишени по направлению мезонного пучка. В месте расположения пионного пика пионов не заметно, т.е. их примесь масштаба процентов. При настройке канала на пионы с импульсом 125 МэВ/с (т.е. когда и система захвата, и выходной анализатор настроены на этот импульс) соотношение e^+ , μ^+ , π^+ примерно одинаково.

Для количественного определения примеси отрицательных пионов в мюонном пучке используется ^{16/} так называемый "звездный детектор". Он основан на том известном факте, что при поглощении ядром отрицательного пиона выделяется энергия, практически равная энергии покоя пиона. Регистрация значительного энерговыделения на определенном достаточно высоком энергетическом пороге позволяет создать селективный детектор ^{16/}, имеющий довольно высокую эффективность регистрации отрицательных пионов и практически нечувствительный к мюонам (соотношение эффективностей ~ 100).

Звездный детектор, использованный нами, состоял из сцинтиллятора (150x150x10 мм), объем которого просматривался двумя фотомножителями ФЗУ-85 через световоды, расположенные перпендикулярно друг к другу (счетчики 4 и 4д). Использование двух фотомножителей для регистрации сцинтилляций было необходимо для раздельного счета как остановок мюонов, так и пионных звезд, т.е. регистрировать импульсы с дискриминацией и без нее. Счет совпадений $\mathcal{N}(12)$ служил для мониторинга интенсивности. Комбинация совпадений-антисовпадений $1\ 2\ 3\ 4\ 4д\ \bar{5}$ регистрировала остановку мезона в сцинтилляторе счетчика 4, давшую импульсы в фотомножителях 4 и 4д выше определенного порога.

Для экспериментального определения эффективности регистрации остановок пионов и мюонов звездным детектором был измерен амплитудный спектр импульсов в сцинтилляторе 4 для проходящих и остановившихся мюонов и остановившихся пионов. Спектр проходящих частиц $\mathcal{N}(1\ 2\ 3\ 4\ 4д)$ получен на пучке мюонов с импульсом 125 МэВ/с в отсутствие поглотителя, спектр остановившихся мюонов $\mathcal{N}(1\ 2\ 3\ 4\ 4д\ \bar{5})$ на том же пучке в максимуме мюонных остановок. Спектр остановившихся пионов $\mathcal{N}(1\ 2\ 3\ 4\ 4д\ \bar{5})$ получен в максимуме пионных остановок

на пучке мезонов с импульсом 210 МэВ/с. При этом для исключения примесей электронов использовались временные ворота в спектрах, полученных по времени пролета. Амплитудный спектр для остановившихся пионов простирается значительно дальше мюонного спектра, и в области больших амплитуд выбирался порог регистрации и определялась эффективность к пионным остановкам E_{π} .

Более подробно процедура определения примесей пионов описана в работе /16/, там же описано введение необходимых поправок, которые нужны для определения пионной и мюонной компоненты. Отметим, что геометрия расположения счетчиков в данной работе такая же, как и в работе /16/. На рис.2 показана примесь пионов в сепарированном мюонном пучке с импульсом 125 МэВ/с $\sqrt{(1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5)} \cdot I_5 / \sqrt{I_2}$ в зависимости от толщины медного фильтра. В результате примесь пионов в пучке оказывается равна $(2,4 \pm 0,2)\%$, а в максимуме мюонных остановок примесь пионных остановок не превосходит $(0,8 \pm 0,1)\%$. Пересчитанное из этой кривой пионных остановок импульсное распределение дает то же самое значение (125 ± 6) МэВ/с, как и для мюонов.

Важной характеристикой пучка является его размер и расходимость. На рис.4 показано пространственное распределение в горизонтальной (x) и вертикальной (y) плоскостях пучка отрицательных мюонов с импульсом 125 МэВ/с. Поскольку оно определяется параметрами элементов канала, то для положительных мюонов распределение аналогично приведенному. Видно, что мюонный пучок в горизонтальной плоскости шире, чем в вертикальной. Кривые получены путем сканирования пучка тонким сцинтиллятором (диаметром 2 мм) и длиной 100 мм. Полуширина в вертикальной и горизонтальной плоскостях соответствует ± 3 см и ± 5 см, измеренная расходимость составляет около 3° .

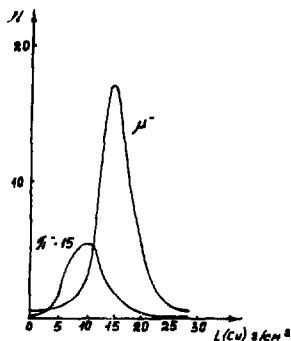


Рис. 2. Кривые остановок отрицательных мюонов с импульсом 125 МэВ/с, полученные с помощью медного фильтра, и примеси пионов, полученные звездным детектором.

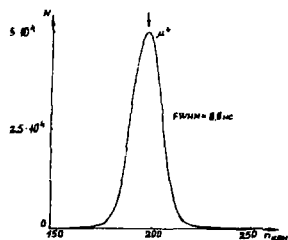
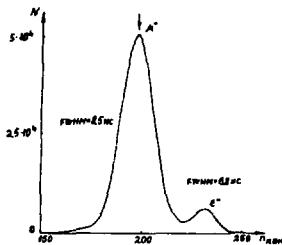


Рис. 3. Состав пучка сепарированных μ^+ и μ^- мезонов с импульсом 125 МэВ/с, полученный по времени пролета.

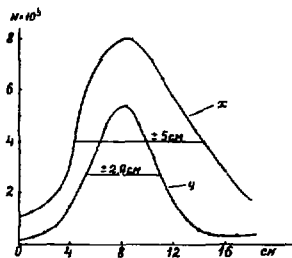


Рис. 4. Пространственное распределение в горизонтальной /x/ и вертикальной /y/ плоскостях μ^- -мезонного пучка с импульсом 125 МэВ/с.

5. Заключение

В настоящее время мезонный канал фазотрона является эффективным жесткофокусирующим трактом для получения интенсивных пучков сепарированных мюонов на I мкА протонного пучка. Это видно, если сравнить интенсивности пучков отрицательных мюонов с импульсом 110 МэВ/с (на I мкА) из разных каналов /8/ (в скобках указаны размеры пучка в см): ЛАМФ - $3 \cdot 10^4$ (10,2x3,5), ЛИЯФ - $5,3 \cdot 10^4$ (10x10), СИН - $2 \cdot 10^5$ (10x6 - сверхпроводящий соленоид) с интенсивностью из канала фазотрона ЛЯП ОИЯИ: $8 \cdot 10^4$ (10x5,8). Интенсивности пучков положительных мюонов в 3 раза выше. Измеренный (совместно с группой ИТЭФ) коэффициент асимметрии μSR -методом имеет величину $0,216 \pm 0,003$, что соответствует поляризации пучка положительных мюонов около 80%, которая близка к ожидаемой величине из мезонного канала I фазотрона ЛЯП ОИЯИ. Данные о других мезонных и нуклонных пучках фазотрона приведены в работе /18/.

В заключение авторы выражают искреннюю благодарность В.П.Джелепову, Л.М.Онищенко, В.М.Цупка-Ситникову за постоянный интерес к работе и помощь, коллективам КО, ЦОЭП, ЭТО и ЦТВС Лаборатории ядерных проблем за создание мезонного канала фазотрона.

Литература

1. Василенко А.Т. и др. Труды X Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. ОИЯИ, Д9-87-107, Дубна, 1987, т.2, с.228.
2. Демьянов А.В. и др. ОИЯИ, Р9-8222, Дубна, 1974.
3. Андреев Е.М. и др. ОИЯИ, 9-90-376, Дубна, 1990.
4. Абазов В.М. и др. СИЯИ, 9-87-322, Дубна, 1987.
5. Глазов А.А. и др. ОИЯИ, Р9-87-171, Дубна, 1987.
6. Ворожцов С.Б. и др. Труды XI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. ОИЯИ, Д9-89-52, Дубна, 1989, т.2, с.187.
7. Citron A. et al. CERN, 63-35, 1963.
8. Круглов С.П. Материалы XIX зимней школы ЛИЯФ, Ленинград, 1984, с.195.
9. Демьянов А.В. и др. ОИЯИ, 9-8270, Дубна, 1974.
10. Роганов В.С. ОИЯИ, Б1-4707, Дубна, 1969.
11. Демьянов А.В. и др. ОИЯИ, 1-4156, Дубна, 1968.
12. Демьянов А.В. и др. ОИЯИ, 9-8782, Дубна, 1975.
13. Абросимов Н.К. и др. ЛИЯФ, № 461, Ленинград, 1979.
14. Абросимов Н.К. и др. ЛИЯФ, № 390, Ленинград, 1978.
15. Brown K.L. et al. CERN, 73-16, 1973.
16. Варламов В.Г. и др. ОИЯИ, 1-4084, Дубна, 1968.
17. Акимов Ю.К., Мерзляков С.И. Труды X Международного симпозиума по ядерной электронике. Дрезден (ГДР), 1980, с.В31.
18. Абазов В.М. и др. ОИЯИ, 9-90-289, Дубна, 1990.

Рукопись поступила в издательский отдел
15 июня 1990 года.