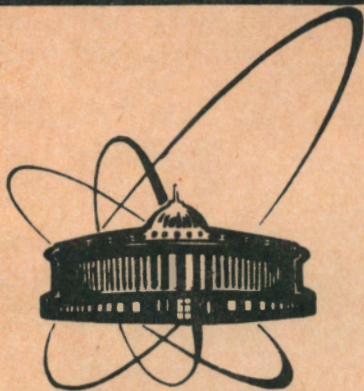


90-376



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

A-655

9-90-376

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

ТРАКТ ТРАНСПОРТИРОВКИ ПУЧКА ПРОТОНОВ
ФАЗОТРОНА ОИЯИ ДО ТОРМОЗИТЕЛЯ
(ТРАКТ Т)

1990

Введение

Каналы пучков фазотрона /1/ ОИЯИ функционируют с 1985 г. Эта система получения пучков отличается от системы проектировавшихся каналов пучков фазотрона /2,3/. Основные особенности реализованной системы получения пучков частиц на фазотроне ЛЯП ОИЯИ состоят в следующем:

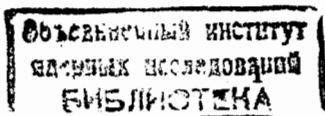
1) Все эксперименты проводятся только на выведенном из ускорителя пучке протонов, пучки вторичных частиц образуются на внешних мишенях.

2) Вывод всех пучков осуществляется в одну сторону через существующую амбразуру 4-метровой защитной стены (размер по вертикали 60 см), используются локальные защиты вокруг мишеней и тормозителя.

3) Для транспортировки пучков и их формирования, в основном, используются ионно-оптические элементы, применявшиеся до реконструкции.

4) Поглощение выведенного протонного пучка производится специальными гасителями пучка в павильонах ЯСНАПП и за мишенью в широкозахватной линзе (на конце трактов I2 и 9 на рис.1), а также в тормозителе протонов главного зала фазотрона.

Схема разводки каналов пучков фазотрона приведена на рис.1. На фазотроне ЛЯП создано 10 каналов пучков. На них расположены около 120 магнитов и линз, которые питаются 45 источниками питания. Каналы 1, 2, 3, 9, 13 служат для формирования пучков мезонов, остальные каналы - для формирования пучков нуклонов.



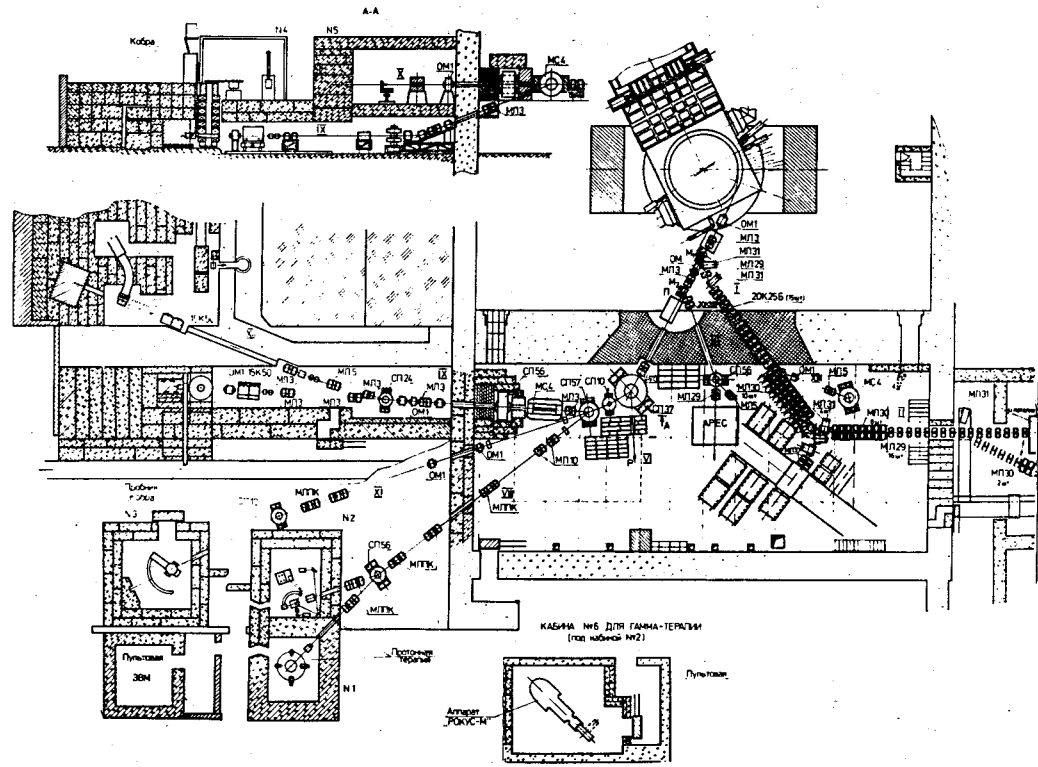


Рис. I. Схема разводки каналов пучков фазотрона ОИЯИ.

Фазотрон может работать в 5 режимах транспортировки пучка протонов:

а) выведенные из ускорителя протоны транспортируются по тракту Т и гасятся в главном зале фазотрона в замедлителе протонов;

б) протоны транспортируются в 4-ю лабораторию по каналу 6 и до нейтронообразующей мишени по каналу I0 /4/;

в) заторможенные протоны транспортируются в 4-ю пристройку по каналу 8 /5/;

г) протоны, выведенные в 4-ю лабораторию, отклоняются вниз по туннелю I-го этажа 4-й пристройки и транспортируются по каналу 9 через пинообразующую мишень до ловушки /6/;

д) выведенные протоны в туннеле канала 9 отклоняются, транспортируются по каналу I2 в павильон ЯСНАПП и гасятся в ловушке /7/.

Во всех режимах используется тракт Т как составная часть каналов транспортировки пучка протонов. Для получения мезонных пучков на тракте Т устанавливаются мезонообразующие мишени. Для облучения радиохимических мишеней также используется тракт Т.

В настоящей работе описывается тракт Т и приводятся характеристики транспортируемого через тракт Т пучка протонов.

Описание тракта Т

Существующий канал транспортировки протонов до тормозителя (тракт Т) отличается от тракта /6/, который эксплуатировался до 1987 г. Тракт Т (рис.2) имеет длину 7 м, включает в себя 3 дипольных отклоняющих магнита и 4 квадрупольные линзы. Выведенный из ускорителя пучок отклоняется первым магнитом типа OMI на угол около 8° . Этот магнит находится в рассеянном магнитном поле ускорителя, кото-

рое уменьшает магнитное поле в нем приблизительно на 15%. Далее пучок фокусируется дублетом линз типа МЛЗ на мезонообразующую мишень; затем корректируется с помощью магнита типа ОМ2 в горизонтальной плоскости, а в вертикальной - вертикально отклоняющим магнитом. Корректировка в горизонтальной плоскости происходит менее чем на градус, а вертикальная - на доли градуса. При работе с мишенями вертикальная коррекция, как правило, не производится. Надо заметить, что рассеянное поле первого отклоняющего магнита МЛЗ мезонного канала (см. рис.2) при его включении отклоняет пучок протонов на доли градуса в горизонтальной плоскости. Это отклонение компенсируется небольшим (~20%) изменением тока в горизонтально корректирующем магните ОМ2. После магнита ОМ2 с помощью дублета линз МЛЗ пучок протонов фокусируется на тормозитель протонов.

Некоторые параметры ионно-оптических элементов тракта Т даны в таблице I. Пучок протонов до тормозителя идет в воздухе.

Устройства на пучке тракта Т

На пучке тракта Т располагаются две мишенные станции с мезонообразующими мишенями, аппаратура для диагностики протонного пучка и тормозитель протонов. Мезонообразующие мишени тракта I расположены в мишенной станции М1 (рис.2). Мишенная станция имеет вид вертикально расположенного стального цилиндра с наружным диаметром 60 см и состоит из защиты и узла установки мишени на ось протонного пучка. Две мишени - мишень из бериллия и из углерода - расположены на двух сторонах равностороннего треугольника со сторонами 23 см. Третья сторона свободна. Треугольное основание из-

готовлено из латуни толщиной 10 см. Латунное основание может вращаться вокруг вертикальной оси, проходящей через центр треугольника. Имеется электропривод, который обеспечивает дистанционную смену мишеней и вывод их из протонного пучка. Вокруг мишеней расположена защита: по 50 см железа сверху и снизу, 40 см и 20 см свинца спереди и сбоку. В мишени из графита толщиной 40 г/см² (цилиндр длиной 20 см по пучку и диаметром 6 см) примерно 30% падающих на мишень протонов взаимодействуют с ядрами углерода. Благодаря защите рассеянный фон от мишени (за мишенной станцией) уменьшается примерно в 20 раз и составляет несколько процентов общего фона от ускорителя. Защита позволяет существенно уменьшить после выключения ускорителя уровень излучений от наведенной радиоактивности.

Выбор мезонообразующей мишени определяется целым рядом факторов /3/, а также геометрией расположения и апертурой мезонного канала (апертура канала 20 см и угол между осями пучка протонов и пучка мезонов $\varphi = 25^\circ$). Длина мишени была найдена эмпирически. С этой целью кубическая мишень из графита объемом 1 см³ располагалась в месте пересечения оси протонного пучка и оси входного элемента мезонного канала, затем эта мишень перемещалась вдоль оси протонного пучка. За пределами ± 10 см выход мезонов уменьшался в несколько раз. В мишенной станции канала 3 (М2 - см. рис.2) смена мишеней происходила вращением барабана вокруг горизонтальной оси, длина мишени из углерода 12 см (апертура канала 20 см и угол $\varphi = 45^\circ$).

Таблица 1. Магнитные элементы на тракте Т

Тип	a (см)	L (см)	B (см)	H (кГс)	I (А)
магнит ОМ-1	5	40	16	12	400
линза МЛЗ	10	40		5,5	400
магнит ОМ-2	10	20	14	10	400

a - вертикальная апертура в магните или диаметр апертуры в линзе;
L - длина полюса; B - ширина полюса; H - максимальное поле в зазоре магнита или на полюсе в линзе; I - максимальный ток в обмотке.

Таблица 2. Режим работы протонного тракта Т для получения сепарированных отрицательных мюонов с импульсом 125 МэВ/с в тракте I

Тракт, элемент	Источн. питания	Магнит, линза	Ток	Напряж.	Напряж.
			источн. питания	на шунте	источ. питания
			(А)	(мВ)	(В)
I-1	МГ-2I	ОМ-1	+400	+40,0	90
I-2,3	17АП	МЛ-3	-350	-17,5	90
Ш-6	МГ-19	ОМ-2	-40	-4,0	15
УШ-4	8АП	МЛ-3	-380	-19,0	50
УШ-5	10АП	МЛ-3	-380	-19,0	50

Для контроля за интенсивностью и формой растяжки пучка используется ионизационная камера, стационарно расположенная на выходе пучка из ускорителя. Контроль положения (и профиля) пучка в горизонтальной и вертикальной плоскостях осуществляется двумя ламельными ионизационными камерами: № 1, расположенной на тормозителе, и № 2 - за мишенной станцией перед магнитом ОМ2 (рис.2). По мере необходимости камеры вводятся и выводятся из пучка дистанционно. В каждой камере по 16x16 ламелей из медной фольги толщиной 0,05 мм, шириной 2,5 мм и шагом 5,0 мм. Токи с ламелей измеряются или с помощью цифрового вольтметра по величине падения напряжения на сопротивлении ~ 10 мОм, или с помощью электронной аппаратуры считывания /9/ с выдачей информации на ПК "Правец-16".

Управление положением пучка в горизонтальной плоскости осуществляется изменением тока в магните ОМ1 с фиксацией положения пучка по камере № 2, а также изменением тока этого корректирующего магнита ОМ2 по показаниям камеры № 1. Управление положением пучка в вертикальной плоскости осуществляется изменением тока во втором корректирующем магните ОМ2 (рис.2).

Тракт Т транспортирует пучок до тормозителя протонов, в котором (в зависимости от режима работы фазотрона) дистанционно устанавливается соответствующий коллиматор, углеродный блок необходимой толщины или заглушка пучка (цилиндр из стали диаметром 8 см, длиной по пучку 1,2 м). При работе с мезонообразующими мишенями (М1 и М2) используется заглушка.

Параметры пучка протонов в тракте I

С помощью железотокового канала из вакуумной камеры фазотрона выводится пучок протонов со средней энергией (659 ± 6) МэВ /10/. С учетом страглинга в замедлителе при измерении средней энергии найдена дисперсия энергетического распределения пучка $(3,1 \pm 0,8)$ МэВ /10/. Измеренный /10/ эмиттанс пучка $(\mathcal{E}_x = (6,9 \pm 1,4) \text{ см} \cdot \text{мрад}, \mathcal{E}_y = (3,3 \pm 0,8) \text{ см} \cdot \text{мрад})$ оказался значительно больше, чем рассчитано в /11/. Определенный нами эмиттанс методом получения минимального значения огибающей /12/ (в 9 точках дрейфового промежутка с использованием метода наименьших квадратичных отклонений) оказался больше этих значений ($\mathcal{E}_x = (11,2 \pm 2,5) \text{ см} \cdot \text{мрад}, \mathcal{E}_y = (9,8 \pm 2,0) \text{ см} \cdot \text{мрад}$).

Измеренная в работе /10/ и определенная нами матрицы пучка были использованы в программе "TRANSPORT" /13/ на ЭВМ CDC-6500 для расчетов токовых режимов магнитных элементов канала T для транспортировки пучка до тормозителя и формирования его на мезонообразующих мишенях. Эти режимы близки к использованным при работе тракта T. В таблице 2 приведен режим работы тракта T при формировании пучка на мишени мезонного тракта I для получения сепарированных отрицательных мюонов с импульсом 125 МэВ/с. Этот режим отличается токами в дублетах линз от режима /6,7/, когда через тракт T протоны транспортируются через коллиматор тормозителя по каналам 9 и 12. В данном режиме размеры протонного пучка в месте расположения мишени I (рис.2) вполне приемлемы для получения мюонных пучков с небольшими (< 10%) примесями электронов. На рис.3 показано распределение пучка протонов в горизонтальной и вертикаль-

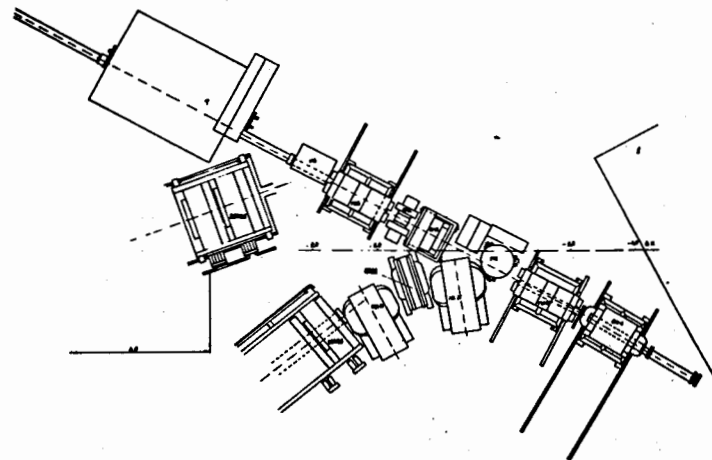


Рис.2. Канал транспортировки пучка протонов до тормозителя в зале фазотрона (тракт T) и головная часть мезонного канала.

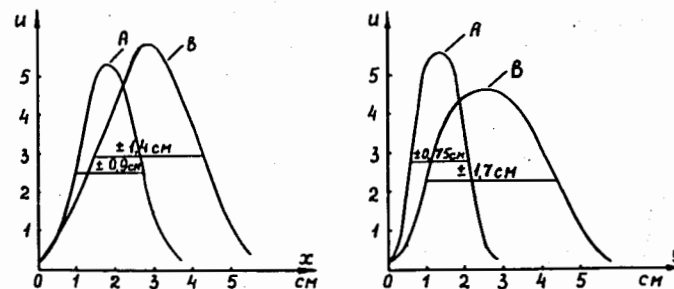


Рис.3. Распределение пучка протонов в горизонтальной (x) и вертикальной (y) плоскостях: A — на мишенной станции; B — на тормозителе в отсутствие мезонообразующей мишени.

ной плоскостях на мезонообразующей мишени и тормозителе (в отсутствие мишени на пучке). При наличии мезонообразующей мишени пучок уширяется, но вписывается в апертуру тормозителя (\varnothing 8 см). Показанное на рис.3 распределение пучка протонов получено с помощью проволочной ионизационной камеры (32x32 проволочки, шаг 2,5 мм) при интенсивности 0,5 мкА. Диаметр мишени 6 см выбран несколько больше диаметра пучка протонов (\sim 4 см).

Фазотрон может работать в двух режимах распределения во времени пучка выведенных протонов: в импульсном режиме и режиме "медленного" вывода. В импульсном режиме сгусток частиц длительностью \sim 40 нс следует с частотой 250 Гц. В случае "медленного" вывода с растянутым /14/ во времени пучком частицы распределены во времени с амплитудной неоднородностью /15/ \sim 25% в течение 85% общего времени (\sim 4 мс). При этом эффективность вывода частиц из ускорителя составляет (75-80)% /15/ от эффективности вывода в импульсном режиме. В обоих режимах выведенный протонный пучок имеет микроструктуру - сгустки с длительностью около 10 нс следуют с частотой 14,575 МГц. Интенсивность /15/ выведенного пучка в режиме "медленного" вывода составляет (1,6-2) мкА.

Приведенное на рис.3 распределение пучка протонов в пространстве измерено при пониженной интенсивности (\sim 0,1 мкА) протонного пучка с растяжкой. Для количественной оценки возможных искажений размеров пучка, полученных с помощью дифференциальной ионизационной камеры и связанных с измерениями профиля при пониженной интенсивности, профиль пучка снимался также путем измерения в полосках бумаги наведенной радиоактивности. Облучение бумажных полосок проводилось на выведенном пучке протонов. Радиоактивность каждой полоски измерялась с помощью сцинтилляционного счетчика, просматри-

ваемого двумя ФЭУ-85, включенными на совпадения. Отношение размеров пучка, полученных в одном и том же сечении с помощью дифференциальной ионизационной камеры и по наведенной активности, оказалось равным $1,00 \pm 0,03$. Измерения профиля пучка протонов по наведенной активности проводились как при интенсивности протонного пучка \sim 1,5 мкА, так и при интенсивности \sim 0,01 мкА, а также в режимах работы ускорителя с растяжкой и без нее. Во всех случаях размеры пучка протонов и его положение совпадали с хорошей точностью (\pm 1 мм), т.е. пространственное распределение частиц в пучке не зависит от режима вывода (импульсного или "медленного") частиц из ускорителя и от интенсивности пучка.

Распределение во времени пучка протонов измерялось на анализаторе *NTAI024* в режиме мультисканирования. В этом режиме в i -й канал анализатора записывается количество событий, поступающих на вход анализатора за интервал времени $[t_i, t_{i+1}]$, где $t_{i+1} = t_i + \Delta t$, после прихода сигнала управления. При повторном приходе сигнала управления происходит запись по тем же каналам с добавлением к имеющимся в этих каналах событиям. Результаты подобных измерений представлены на рис.4. В качестве сигнала управления был использован каждый второй синхросигнал ускорителя, это удобно потому, что наглядно виден интервал времени, не заполненный частицами. Ширина канала Δt равна 50 нс. На вход анализатора подавался сигнал совпадения импульсов двух пластических сцинтилляторов, установленных на выходе мезонного канала I при работе на пучке сепарированных мюонов. В настоящее время эти измерения приводятся с использованием специально разработанного в Лаборатории ядерных проблем блока КЛ 226 /16/ с выводом информации на ПК "Правец-16".

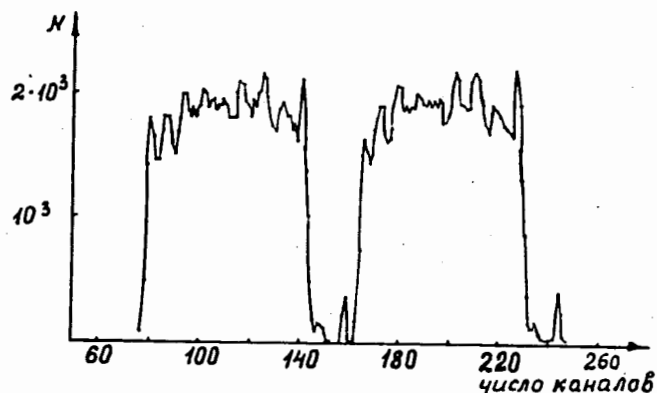


Рис.4. Распределение во времени растянутого пучка (ширина канала 50 нкс).

В заключение авторы выражают искреннюю благодарность Л.М.Онищенко, В.М.Цупко-Ситникову за постоянный интерес к работе и помощь.

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. Дмитриевский В.П. и др. ОИЯИ, 9-7505, Дубна, 1973.
4. Абазов В.М. и др. ОИЯИ, 9-88-214, Дубна, 1988.
5. Кузьмин Е.С. и др. ОИЯИ, Р9-84-445, Дубна, 1984, Абазов В.М. и др. ОИЯИ, Р9-86-648, Дубна, 1986.
6. Кузьмин Е.С. и др. ОИЯИ, 9-82-406, Дубна, 1982.

7. Абазов В.М. и др. ОИЯИ, 9-89-716, Дубна, 1989.
8. Демьянов А.В. и др. ОИЯИ, 9-8782, Дубна, 1975.
9. Вишняков В.В. и др. ОИЯИ, I3-697I, Дубна, 1973.
10. Абазов В.М. и др. ОИЯИ, 9-87-322, Дубна, 1987.
11. Заплатин Н.Л. и др. ОИЯИ, Р9-9023, Дубна, 1975.
12. Бенфорд А. Транспортировка пучков заряженных частиц. М., Атомиздат, 1969.
13. Brown K.L. et al. CERN, 73-I6, 1973.
14. Глазов А.А. и др. ОИЯИ, Р9-87-171, Дубна, 1987.
15. Воронцов С.Б. и др. Труды XI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. ОИЯИ, Д9-89-52, Дубна, 1989, т.2, с.187.
16. До Хоанг и др. ОИЯИ, I3-87-250, Дубна, 1987.

Рукопись поступила в издательский отдел
4 июня 1990 года.

Андреев Е.М. и др.

9-90-376

Тракт транспортировки пучка протонов
фазотрона ОИЯИ до тормозителя /тракт Т/

Описывается протонный тракт фазотрона для транспортировки выведенного пучка до тормозителя, расположенного в главном зале фазотрона. Тракт состоит из четырех квадрупольных и трех дипольных магнитов. Даются сведения об устройстве мишенных станций и диагностической аппаратуры на пучке тракта Т. Приводятся параметры пучка протонов: средняя энергия, эмиттанс, распределения пучка во времени в импульсном режиме и режиме "медленного вывода", интенсивность, профиль пучка.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1990

Перевод авторов

Andreev E.M. et al.

9-90-376

Proton Beam Transport Line of the Phasotron

The phasotron proton line for transportation of the extracted beam to the decelerator installed in the main hall of the phasotron is described. The line consists of four quadrupole and three dipole magnets. The information on the target sections and diagnostic equipment on the beam of line T is given. The parameters of the proton beam are also given: the mean energy, emittance, time distributions of the beam in the pulsed mode and "slow extraction" mode, intensity, beam profile.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1990