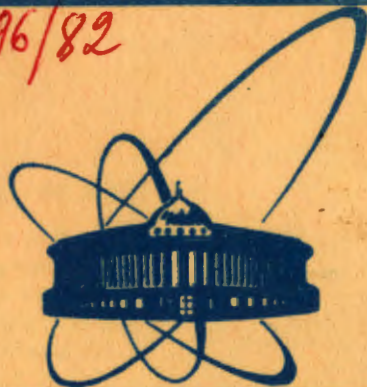


20/1x-82

4496/82



**сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна**

9-82-406

**Е.С.Кузьмин, И.В.Мирохин,
Ю.Л.Обухов, О.В.Савченко**

**КАНАЛ ТРАНСПОРТИРОВКИ
ВЫВЕДЕННОГО ПРОТОННОГО ПУЧКА
ФАЗОТРОНА ОИЯИ**

1982

1. ВВЕДЕНИЕ

В лаборатории ядерных проблем ОИЯИ осуществляется реконструкция синхроциклотрона в сильноточный фазотрон с пространственной вариацией магнитного поля /установка "Ф"/. Проектом реконструкции предусматривалось увеличение внутреннего тока протонов до 50 мкА и рост интенсивности выведенного протонного пучка в 100-200 раз^{1/}, а также создание каналов вторичных пучков мезонов и нуклонов, интенсивность которых должна возрасти /по сравнению с синхроциклотроном/ примерно в 50-100 раз^{2,3/}.

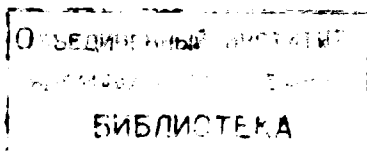
На первом этапе сооружения установки "Ф" планируется увеличение внутреннего тока протонов до 10 мкА и реализация схемы первой очереди разводки пучков, в которой используются, в основном, ионно-оптические элементы, применявшиеся до реконструкции ускорителя.

Целью настоящей работы явилось рассмотрение варианта канала транспортировки выведенного протонного пучка от вакуумной камеры ускорителя до мишени пи-мезонной линзы и выяснение возможности таких режимов работы этого канала, при которых обеспечиваются оптимальные условия получения и использования мезонного пучка отрицательных пи-мезонов.

2. ОПИСАНИЕ КАНАЛА

Предложенная схема проектируемого канала транспортировки выведенного протонного пучка /канал № IX / установки "Ф" изображена на рис.1. После выхода из камеры ускорителя протонный пучок отклоняется магнитом СП-35 на угол 8°, а затем линзами Q1, Q2 и Q3 /типа МЛ-3/ направляется на центр магнита СП-37, расположенного за четырехметровой защитной стеной. На этом участке транспортировки пучка могут быть установлены мишень М и углеродный замедлитель П, позволяющий уменьшить энергию пучка в диапазоне от 700 до 100 МэВ.

Магниты СП-37, СП-10 и СП-57 отклоняют пучок в горизонтальной плоскости на суммарный угол 64°, затем с помощью магнита МС-4, повернутого вокруг горизонтальной оси на угол 90°, протонный пучок отклоняется в вертикальной плоскости вниз на 20° и далее тремя магнитами типа ОМ-1, расположенными в туннеле на первом этаже здания ускорителя, снова переводится в горизонтальное положение. Семь линз /Q4- Q10/ типа МЛ-3 обеспечи-



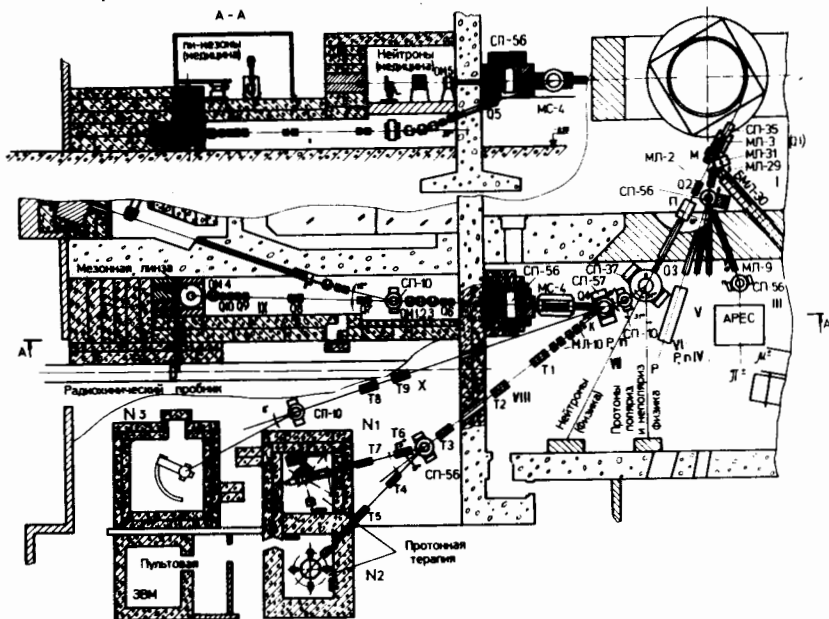


Рис. 1. Схема первой очереди разволки медицинских пучков установки "Ф" /пояснения в тексте/.

вают удержание протонного пучка и его транспортировку без потерь от магнита СП-57 до мишени пи-мезонной линзы, предназначенной для получения медицинского пучка отрицательных пи-мезонов. Магнит ОМ-1 в конце тракта служит для наводки протонного пучка на мезонообразующую мишень, расположенную в сильном магнитном поле пи-мезонной линзы.

3. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ КАНАЛА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ЕГО РАБОТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проектируемый канал должен обеспечить:

- 1/ транспортировку выведенного протонного пучка от вакуумной камеры установки "Ф" до мишени пи-мезонной линзы без потерь;
- 2/ формирование на мезонообразующей мишени протонного пучка с размерами, не превышающими 5 см по горизонтали и 0,5 см по вертикали.

Эти требования и были положены в основу процесса оптимизации, проведенного на ЭВМ CDC-6500 по линейной теории с

помощью программы "TRANSPORT/360"/4/. Эммитанс пучка на выходе из ускорительной камеры установки "Ф" брался из работы /5/, энергия считалась равной $E = 660$ МэВ, энергетический разброс пучка $\Delta E/E = \pm 1\%$.

Рассматривались три возможности прохождения пучка по каналу: 1/ весь путь пучка, начиная от предохранительной титановой фольги толщиной 100 мкм, отделяющей вакуумную камеру установки "Ф" от вакуумпровода канала, проходит в вакууме;

2/ на пути пучка имеется еще и воздушный промежуток длиной 1 м, расположенный между первой и второй линзами тракта и отделенный от вакуумпровода алюминиевыми фольгами толщиной 100 мкм каждая;

3/ посредине воздушного промежутка расположена мишень мю-мезонного тракта.

На первом этапе процесса оптимизации варьированием форм полюсных наконечников магнитов СП-37 и СП-57 достигалась частичная ахроматизация отклоняющей системы. Удовлетворительный результат был получен при таких конфигурациях полюсных насадок, при которых пучок входит в СП-37 под углом $25,4^\circ$ и выходит из СП-57 под таким же углом. На последующих этапах оптимизации варьированием градиентов магнитных полей квадруполей всех линз достигалось удержание пучка и формирование заданного изображения на мишени пи-мезонной линзы.

Все полученные варианты режима работы канала исследовались затем путем моделирования транспортировки пучка методом Монте-Карло с учетом aberrаций второго порядка при помощи программы "DECAY TURTLE"/8/. При этом при учете многократного рассеяния брался угол, в пределах которого остается 99,8% протонов / 2σ -интервал/.

В результате этих вычислений были подобраны режимы работы канала, обеспечивающие выполнение перечисленных выше требований для первых двух случаев, т.е. для случая, когда весь путь пучка, начиная от предохранительной титановой фольги, проходит в вакууме /рис.2 - сплошная линия/, и для случая, когда на пути пучка имеется дополнительно один воздушный промежуток /рис.3 - сплошная линия и рис.4/. В табл.1 даны соответствующие величины магнитных полей, а также значения эффективных длин и апертур всех линз и магнитов, использовавшиеся при расчетах.

Оценка устойчивости рассчитанных режимов работы канала показала, что питание линз должно быть стабилизировано с точностью 10^{-3} , отклоняющих магнитов - 10^{-4} . Точность установки элементов относительно оси канала должна быть выдержана в следующих пределах:

- 1/ величина смещения линз и магнитов по вертикали и горизонтали не более $\pm 0,1$ см;

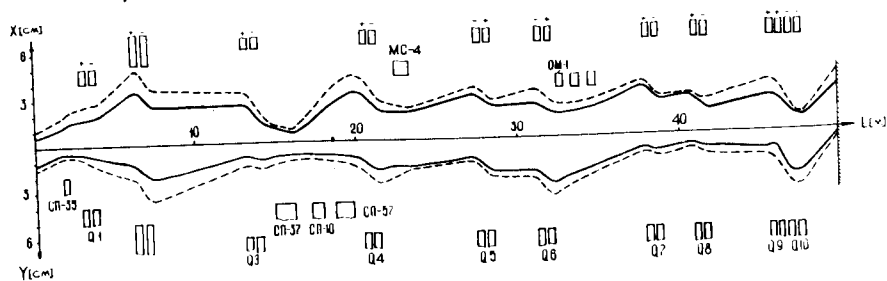


Рис. 2. Огибающие пучка, весь путь которого проходит в вакууме. Сплошная линия - результат расчета для пучка с начальным фазовым объемом, соответствующим данным работы /5/; пунктирная линия - для пучка с начальным фазовым объемом, увеличенным в 2 раза по сравнению с /5/. Прямоугольниками вверху и внизу условно изображены все ионно-оптические элементы канала, знаки + и - соответствуют полярности включения отдельных секций линз.

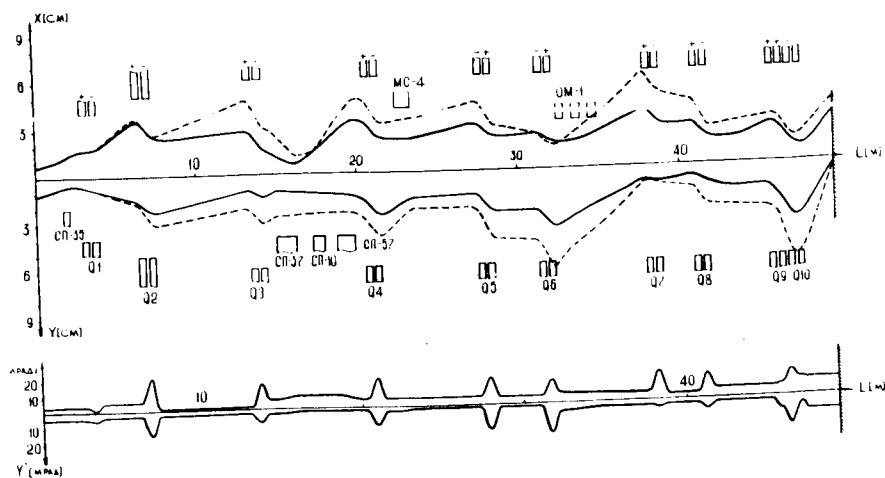


Рис. 3. Огибающие пучка, на пути которого имеется воздушный промежуток на месте расположения мишенной станции мю-мезонного тракта - сплошная линия /в нижней части рисунка приведены угловые огибающие для этого случая/ и бериллиевая мишень мю-мезонного тракта толщиной 5 см - пунктирная линия.

Таблица 1

Значения эффективных длин и апертур всех линз и магнитов канала транспортировки выведенного протонного пучка, а также величин магнитных полей для двух режимов работы канала.

Магниты	Вертикальная апертура (см)	Эффективная длина (м)	Индукция поля в медианной плоскости (кГс)
СП-35	4	0,8	7,539
СП-37	8	1,23	19,000
СП-10	8	0,666	11,320
СП-57	8	1,04	18,123
МС-4	8	1,00	15,078
ОМ-I	6	0,45	11,218

№ линзы	Апертура (см)	Эффективная длина (м)	Индукция поля на полюсе для различных режимов работы канала	
			B_1 (весь путь в вакууме)	B_2 (имеется один воздушный промежуток)
Q 1	8	0,40	0,958	+0,951
			-1,559	-1,514
Q 2	10	0,42	4,238	+4,442
			-4,249	-4,477
Q 3	12	0,44	4,607	+4,890
			-4,607	-4,890
Q 4	12	0,44	+3,333	+3,333
			-4,481	-4,481
Q 5	12	0,44	-4,500	-4,500
			+4,500	+4,500
Q 6	12	0,44	-4,500	-4,500
			+4,500	+4,500
Q 7	12	0,44	-4,500	-4,500
			+4,500	+4,500
Q 8	12	0,44	-4,500	-4,500
			+4,500	+4,500
Q 9 Q 10	12	0,44	+3,027	+3,027
			+3,027	+3,027
			-3,027	-3,027
			-3,027	-3,027

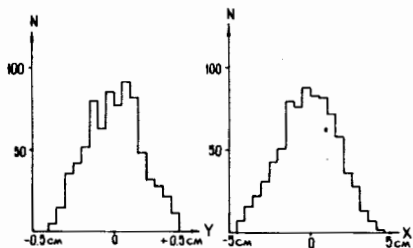


Рис.4. Распределения плотности протонов на мезонообразующей мишени пи-мезонной линзы в вертикальной и горизонтальной плоскостях для случая, когда на пути выведенного протонного пучка на месте расположения мишени станции мю-мезонного тракта имеется воздушный промежуток.

2/ повороты и наклоны осей ионно-оптических элементов не более 1 мрад.

Следует отметить, что выбранная схема канала подходит и для транспортировки пучков с несколько большими начальными фазовыми объемами. Так, к примеру, на рис.2 пунктирной линией показана огибающая пучка, путь которого, начиная от предохранительной фольги, проходит в вакууме, а начальный эмиттанс увеличен в 2 раза по сравнению с ϵ_0 ($x_1 = \sqrt{2}x_0$, $x'_1 = \sqrt{2}x'_0$, $y_1 = \sqrt{2}y_0$, $y'_1 = \sqrt{2}y'_0$).

Тем не менее для данной схемы канала, состоящего только из имеющихся в наличии ионно-оптических элементов, не удалось подобрать режим, позволяющий работать параллельно с мю-мезонным трактом. Так, уже при наличии на пути пучка бериллиевой мишени толщиной 5 см потери достигают 21% начальной интенсивности, даже если при учете многократного рассеяния взять угол, в пределах которого остается 63,4% протонов / σ -интервал/. Соответствующая огибающая показана на рис.3 пунктирной линией. Если же при оптимизации канала отказаться от условия формирования на мишени пи-мезонной линзы изображения заданных размеров, то и тогда расчетную величину потерь удалось снизить лишь до уровня 10,5% начальной интенсивности. В табл.2 даны значения потерь на отдельных элементах канала, соответствующие этим случаям. Следует, однако, заметить, что особенности программы "DECAY TURTLE" ϵ_0 приводят к некоторому завышению начального фазового объема пучка, используемого для розыгрыша траекторий отдельных частиц. Поэтому нельзя исключить возможность того, что указанные в табл.2 величины потерь окажутся на самом деле несколько меньшими.

Проведенные расчеты показали возможность таких режимов работы проектируемого IX канала установки "Ф", при которых обеспечивается транспортировка выведенного протонного пучка без потерь от вакуумной камеры ускорителя до мишени пи-мезонной линзы и получение заданной формы поперечного сечения протонного пучка на мезонообразующей мишени в конце канала.

Таблица 2

Потери интенсивности выведенного протонного пучка на отдельных элементах канала для двух режимов работы.

Элементы	Потери (% начальной интенсивности)	
	I (заданные размеры пучка на мишени)	II (любые размеры пучка на мишени)
СП-35	0	0
Q 1	0	0
Q 2	0,3	0
Q 3	0,1	0,1
СП-37	0	0
СП-10	0	0
СП-57	0	0
Q 4	3,4	2,0
MC-4	0,7	0,2
Q 5	2,5	0,4
Q 6	7,6	6,1
OM-1	0	0
OM-2	0	0
OM-1	4,6	0,2
Q 7	2,8	1,4
Q 8	0	0
Q 9 Q 10	0,1	0

В то же время для предложенной схемы этого канала, состоящего из имеющихся в наличии ионно-оптических элементов, не удалось подобрать режим параллельной работы канала транспортировки с мю-мезонным трактом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Глазов А.А. и др. ОИЯИ, 9-3951, Дубна, 1968.
2. Демьянов А.В. и др. ОИЯИ, 9-8270, Дубна, 1974.
3. Демьянов А.В. и др. ОИЯИ, P9-8798, Дубна, 1975.
4. Brown K.L. et al. CERN 80-04 (1980).
5. Заплатин Н.Л. и др. ОИЯИ, P9-9023, Дубна, 1975.
6. Brown K.L., Jselin C. CERN 74-2, 1974.

Рукопись поступила в издательский отдел
2 июня 1982 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

D13-11182	Труды IX Международного симпозиума по ядерной электронике. Варна, 1977.	5 р. 00 к.
D17-11490	Труды Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1977.	6 р. 00 к.
D6-11574	Сборник аннотаций XV совещания по ядерной спектроскопии и теории ядра. Дубна, 1978.	2 р. 50 к.
D3-11787	Труды III Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1978.	3 р. 00 к.
D13-11807	Труды III Международного совещания по пропорциональным и дрейфовым камерам. Дубна, 1978.	6 р. 00 к.
	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
D1,2-12036	Труды V Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1978	5 р. 00 к.
D1,2-12450	Труды XII Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Приморско, НРБ, 1978.	3 р. 00 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
D11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
D4-80-271	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
D4-80-385	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.
D2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
D10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
D1,2-81-728	Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 60 к.
D17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981,	5 р. 40 к.
D1,2-82-27	Труды Международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 20 к.
P18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

Кузьмин Е.С. и др. Канал транспортировки выведенного протонного пучка фазотрона ОИЯИ 9-82-406

Рассмотрен вариант канала транспортировки выведенного протонного пучка фазотрона ОИЯИ от вакуумной камеры ускорителя до мишени широкоугольной пи-мезонной линзы, предназначенной для формирования медицинского пучка отрицательных пи-мезонов.

Расчетным путем показана возможность таких режимов работы этого канала, при которых обеспечивается транспортировка выведенного протонного пучка без потерь и получение заданной формы поперечного сечения протонного пучка на мезонообразующей мишени в конце канала. В то же время не удалось подобрать режима параллельной работы этого канала с мю-мезонным трактом.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1982

Kuzmin E.S. et al. Channel to Transport Extracted Proton Beam of JINR Phasotron 9-82-406

The variant of a strong focusing channel to transport the proton beam of JINR phasotron from the accelerator vacuum chamber to the target of a wide angle π -meson lens assigned to form the medical beam of π^- -mesons is considered. It is shown by calculations that there are such modes of operation of the channel when it is possible to transport external proton beam without losses, and to obtain the given shape of the proton beam cross section on the meson production target at the end of the channel.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1982

Перевод О.С.Виноградовой.