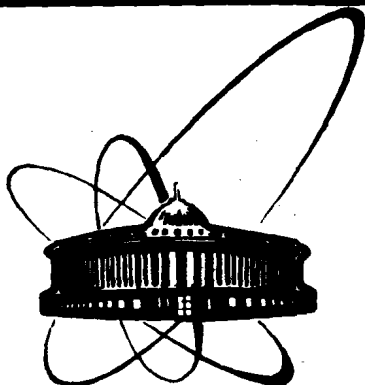


89-176



**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

A 131

9-89-176

В.М.Абазов, В.П.Афанасьев, С.А.Густов,
О.Л.Климов, И.В.Мирохин, Г.В.Мицын,
О.В.Савченко

**ТРАНСПОРТИРОВКА ВЫВЕДЕННОГО
ПРОТОННОГО ПУЧКА ФАЗОТРОНА
К УСТАНОВКЕ ЯСНАПП-2**

1989

ОПИСАНИЕ КАНАЛА ЯСНАПП-2

Реализованная схема канала транспортировки выведенного протонного пучка (канала XII) фазотрона представляет собой довольно сложную ионно-оптическую систему, которую можно разбить на отдельные участки в соответствии с их функциональным назначением (рис. 1).

1. Начальный участок состоит из трех линз типа МЛЗ и трех отклоняющихся магнитов, первый из которых (типа ОМ1) поворачивает пучок на 8° , а два других являются вертикальным и горизонтальным корректорами соответственно. Линзы Q1, Q2, Q3 обеспечивают удержание пучка на этой части тракта и прохождение им участка горизонтального поворота с минимальными потерями.

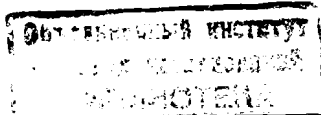
2. Участок горизонтального поворота состоит из трех магнитов СП-37, СП-10 и СП-57, поворачивающих пучок на суммарный угол 64° , и линзы Q4 (типа МЛЗ), частично компенсирующей дисперсию пучка и обеспечивающей его захват линзой Q5.

3. Участок вертикального поворота или снижения пучка состоит из линз Q5, Q6 (типа МЛЗ), удерживающих пучок, а также магнита МС4 и трех магнитов ОМ1, обеспечивающих снижение пучка в туннель, расположенный на первом этаже здания фазотрона.

4. Конечный участок состоит из магнита СП-024, отклоняющего протоны на $18,5^\circ$, вертикального и горизонтального корректоров, а также двух линз типа МЛЗ (Q7, Q8), линз типа МЛ5 и 15К-50 (Q8), обеспечивающих удержание пучка и формирование на мишени ЯСНАПП-2 изображения оптимальных размеров.

ТРАНСПОРТИРОВКА И ФОРМИРОВАНИЕ

Настройка элементов XII канала основывалась на расчетах, проведенных с помощью программ "TRANSPORT"^{1/1} и "DECAY TURTLE"^{2/1}. В качестве начальных условий при вычислениях брались реальные фазовые и энергетические параметры выведенного протонного пучка, измененные после ввода фазотрона в эксплуатацию^{3, 4/}. Единственное, но весьма существенное отличие реализованного режима работы XII канала (рис. 2) от варианта, описанного в^{5/}, состоит в том, что изменена поляриность линзы Q4 с ФД на ДФ. Это позволило в достаточной степени



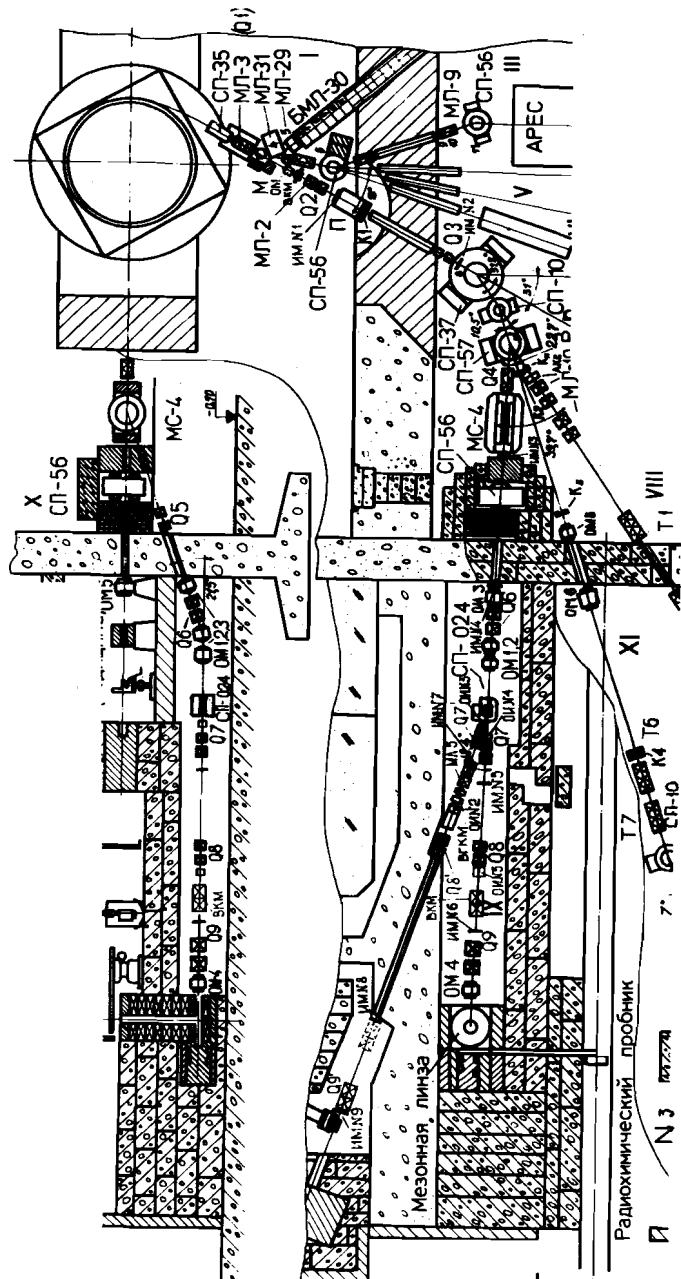


Рис. 1. Схема XII канала.

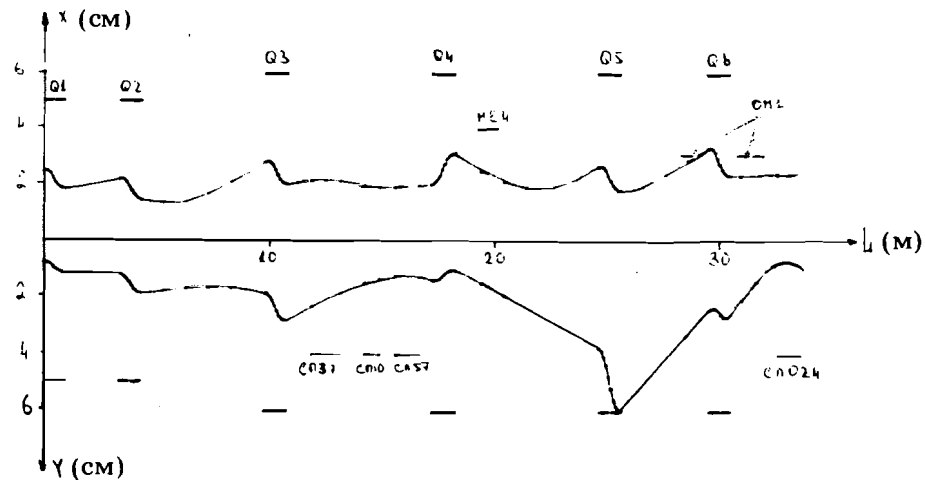


Рис. 2. Огибающие пучка на начальном участке XII канала.

сфокусировать пучок на входе Q5, не используя полюсных насадок на входе СП37 и выходе СП57. При проектировании конечной части XII тракта учитывалось то обстоятельство, что ограниченная точность знания параметров ионно-оптических элементов, их неидеальность, неточности юстировки, а также неучтенные aberrации могут внести существенные различия между расчетными и реальными условиями транспортировки пучка. Поэтому были проведены дополнительные измерения матрицы пучка на выходе магнита СП024. Из рис. 3 видны существенные различия расчетных и вновь измеренных фазовых характеристик пучка.

Вновь полученные значения параметров пучка использовались для расчетов режима работы последних линз XII канала (рис. 4 и 5).

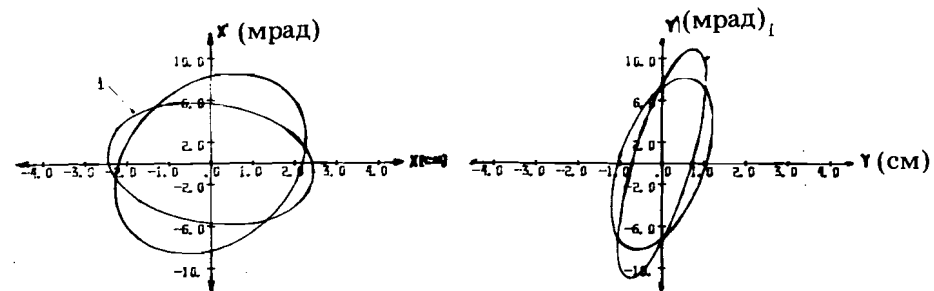


Рис. 3. Эллипсы, соответствующие расчетным и вновь измеренным (1) фазовым параметрам пучка на выходе СП024.

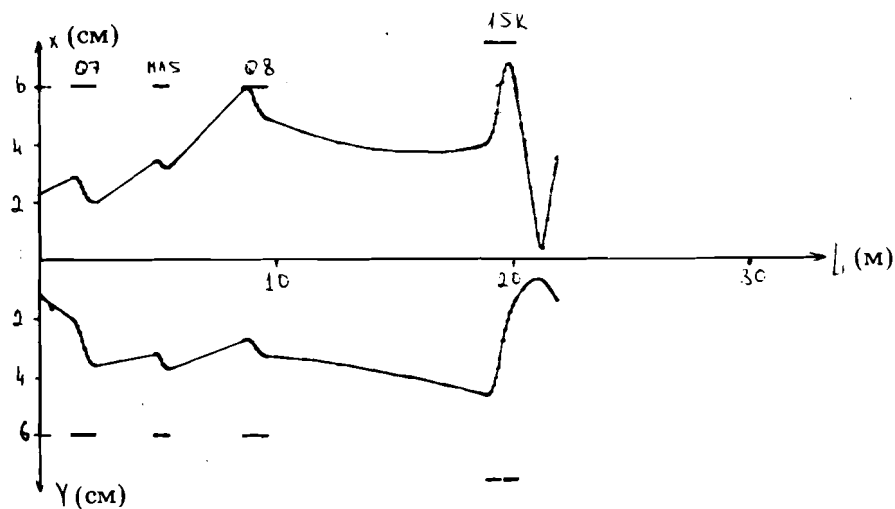


Рис. 4. Огибающие пучка на конечном участке XII канала.

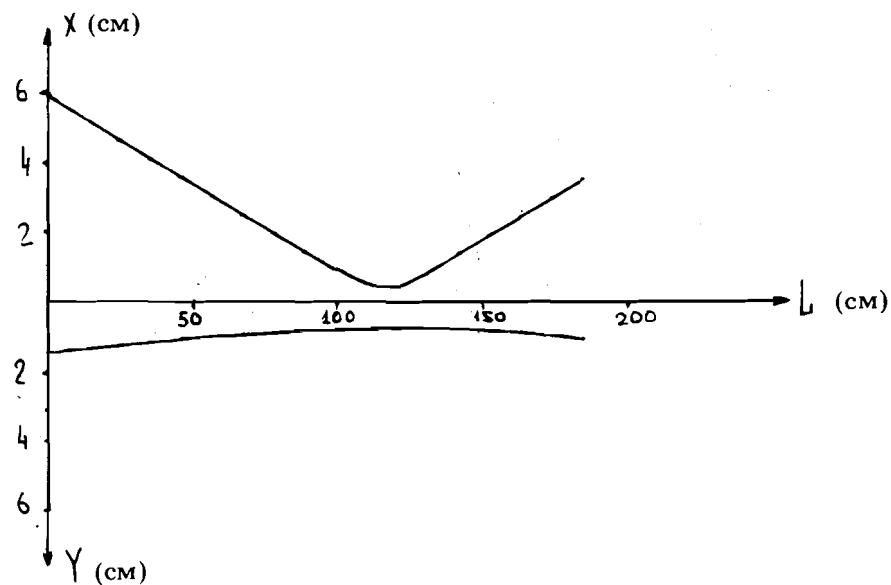


Рис. 5. Огибающие пучка в районе расположения мишеней ЯСНАПП-2.

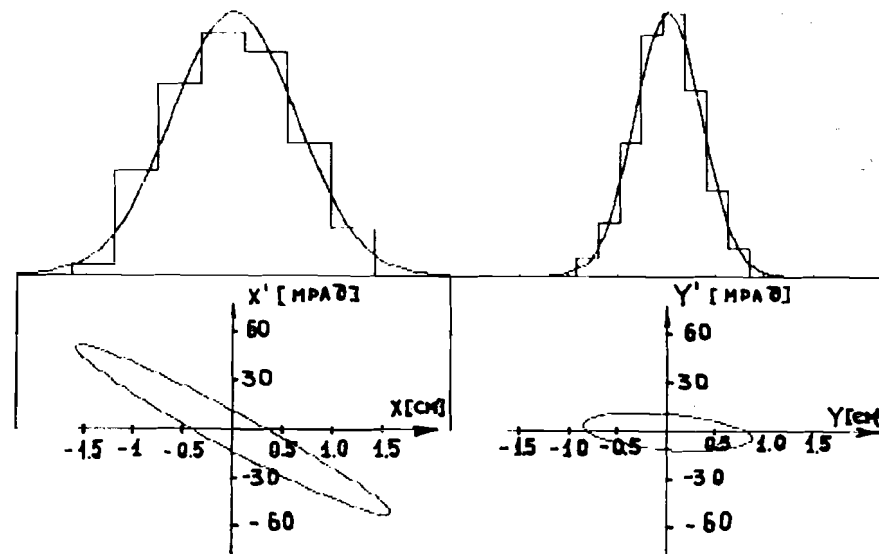
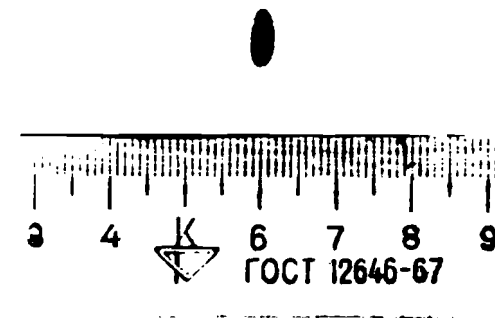


Рис. 6. Экспериментальные (вверху) и расчетные огибающие пучка на мишени ЯСНАПП-2.

Рис. 7. Автограф протонного пучка, имеющего минимальную площадь.



Из рис. 6 видно хорошее совпадение расчетных и измеренных значений огибающих на мишени ЯСНАПП-2. На рис. 7 приведена фотография автографа протонного пучка на фотопластине в сечении, где он имеет минимальную площадь.

В таблице приведены значения коэффициентов прохождения пучка, измеренные в различных сечениях тракта (рис. 1), с помощью системы магнитоиндукционных датчиков^{16/}. Анализ показаний системы дозиметрического контроля фазотрона^{17/} свидетельствует о том, что при таком уровне и распределении потерь максимально возможная интенсивность выведенного протонного пучка на входе в XII канал достигает 2 мкА.

Таблица

Номер монитора	1	2	3	4	7	8
Коэффициент прохождения	1,0	1,0	0,95	0,93	0,92	0,87

ВОЗМОЖНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ XII КАНАЛА

В настоящий момент выведенный протонный пучок на начальном участке тракта (рис.1) транспортируется в воздухе. Расчеты, проведенные согласно методике, развитой в ^{18,9}, с учетом ¹⁴ показали, что из-за многократного рассеяния на воздухе при используемом режиме транспортировки фазовый объем пучка возрастает в 2,8 раза или в 1,75 и в 1,6 раза в вертикальной и горизонтальной плоскостях соответственно (рис. 8). Анализ огибающих (рис. 9 и 10) показывает, что прохождение пучка на всем протяжении XII канала в вакууме позволяет надеяться на заметное уменьшение потерь. Однако следует заметить, что особенности

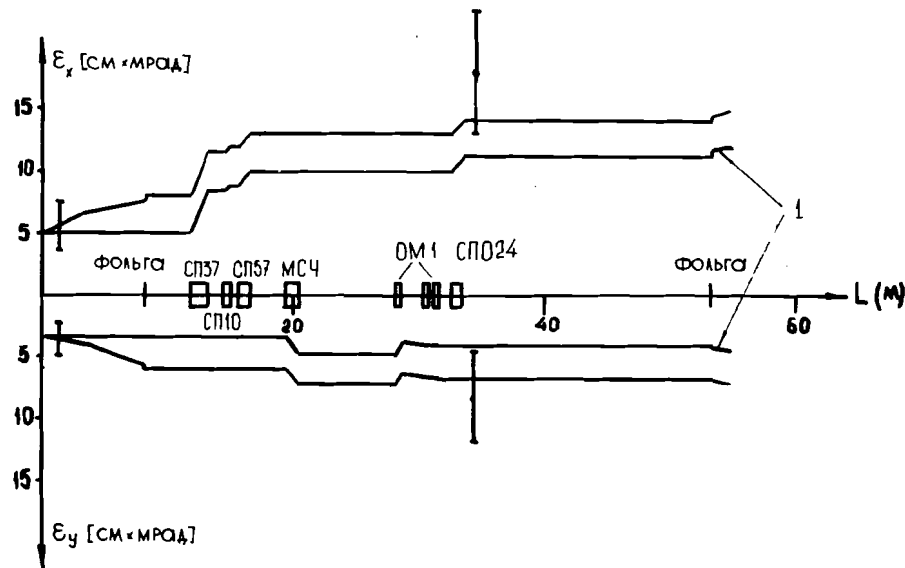


Рис. 8. Нарастание вертикального и горизонтального эмиттансов пучка.

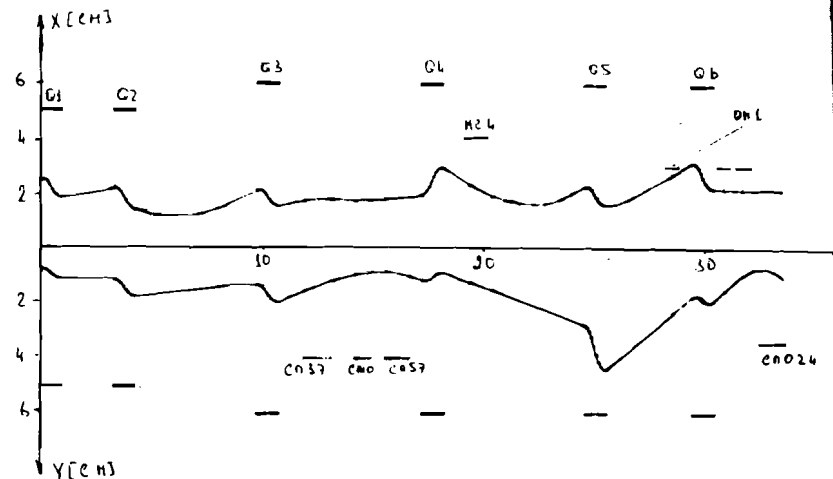


Рис. 9. Огибающие пучка на начальном участке в случае, когда весь его путь в вакууме.

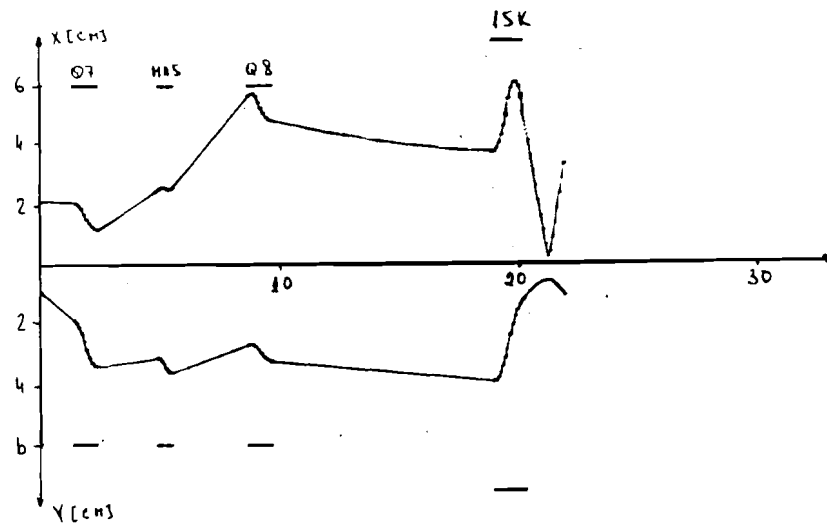


Рис. 10. Огибающая пучка на конечном участке тракта в случае, когда весь проходит в вакууме.

схемы XII канала (суммарный угол поворота в горизонтальной плоскости составляет $74,5^\circ$) приводят к весьма значительному увеличению фазового объема пучка за счет дисперсии (рис. 8,1), что, в свою очередь, и дает наиболее существенные потери.

В приложении к настоящей работе рассмотрено несколько конкретных предложений по модернизации начального участка тракта транспортировки выведенного протонного пучка, которые, наряду с решением вопроса об образовании стационарного вакуум-провода на этом участке, позволят также повысить интенсивность мезонных пучков с энергией до 80 МэВ от внешней мишени фазотрона, улучшить радиационную обстановку и создать более благоприятные возможности для параллельной работы нескольких экспериментальных групп.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на данном этапе реализован режим работы XII канала, имеющий следующие характеристики:

- 1) площадь изображения в возможном районе расположения мишени ЯСНАПП-2 составляет 0,5-1,0 см² (2 σ -уровень);
- 2) коэффициент проводки пучка 0,87;
- 3) максимальная возможная начальная интенсивность выведенного протонного пучка при полученном уровне и распределении потерь достигает 2 мкА.

На основе некоторых полученных результатов рассмотрен ряд рекомендаций по модернизации начального участка тракта транспортировки выведенного протонного пучка, которые позволят уменьшить потери при транспортировке протонного пучка по XII каналу, а также решить другие вопросы, связанные с улучшением радиационной обстановки на этом участке и созданием более благоприятных возможностей для параллельного проведения нескольких физических экспериментов.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Представленные в настоящей работе результаты формирования протонного пучка малых поперечных размеров на мишени ЯСНАПП-2 путем приближения к этой мишени последней квадрупольной линзы с большой оптической силой указывают на простую возможность повышения интенсивности мезонных пучков с энергиями до 80 МэВ от внешней мезонообразующей мишени фазотрона.

Из анализа данных по образованию пи-мезонов на ядрах различных элементов при энергии налетающих протонов 730 МэВ¹¹⁰ следует, что при одинаковых размерах по направлению протонного пучка в мишени из тяжелых элементов (медь, вольфрам) выход пи-мезонов относительно малых энергий (до 80 МэВ) увеличивается от двух до шести

раз по сравнению с выходом из таких мишеней, как бериллий или углерод.

Однако такое теоретически возможное повышение интенсивности пи-мезонных пучков при использовании мишеней из тяжелых элементов может быть достигнуто практически только при условии, что толщина мишени в направлении вылета мезонов достаточно мала, так как в противном случае выход пи-мезонов из мишени сильно уменьшается вследствие эффекта самопоглощения мезонов в мишени. Это приводит к необходимости резкого уменьшения размеров протонного пучка на мезонообразующей мишени.

Эксперименты, выполненные на пи-мезонном канале (π -2) на синхроциклотроне ЛИЯФ (Гатчина)¹¹¹, показали, что для мишеней размером 1,7 см вдоль оси канала за счет приближения линз протонного тракта к мезонной мишени и установки вакуум-провода для транспортировки выведенного протонного пучка выход пи-мезонов с импульсом меньше 125 МэВ/с увеличивается до 5 раз при использовании мишеней из таких элементов, как медь и вольфрам.

Оценка минимальных размеров выведенного протонного пучка фазотрона, выполненная на основе уже полученных результатов формирования протонного пучка на мишени ЯСНАПП-2 и с учетом уширения пучка за счет многократного кулоновского рассеяния, показывает, что ожидаемый размер протонного пучка по горизонтали в месте расположения мишени не превысит величины 0,4 см, и предполагаемое увеличение выхода пи-мезонов будет достаточно точно выполняться, если ось протонного пучка пройдет на расстоянии 0,2 см от края мишени.

Это также приведет, как показывают данные работы¹¹², к уменьшению вклада электронной или позитронной компоненты мезонных пучков из-за сокращения количества вещества мишени на пути высокоэнергетичных гамма-квантов от распада π^0 -мезонов, и, тем самым, — к меньшей вероятности конверсии таких гамма-квантов в электрон-позитронные пары.

Кроме того, следует отметить, что все выводы, касающиеся увеличения выхода пи-плюс-мезонов при использовании мишеней из тяжелых элементов и протонного пучка с малыми поперечными размерами, целиком относятся и к пучку так называемых "поверхностных" мю-мезонов с импульсом ~ 30 МэВ/с, возникающих при распаде пи-плюс-мезонов в тонком поверхностном слое мезонообразующей мишени.

Существующее разнесенное расположение мезонных мишеней станций, отсутствие стационарного вакуум-провода и использование на начальном участке вывода протонного пучка фазотрона магнитных квадрупольных линз типа МЛ-3 с фокусным расстоянием около 3 м, не позволяют получить хорошо сфокусированный протонный пучок в области мезонообразующей мишени.

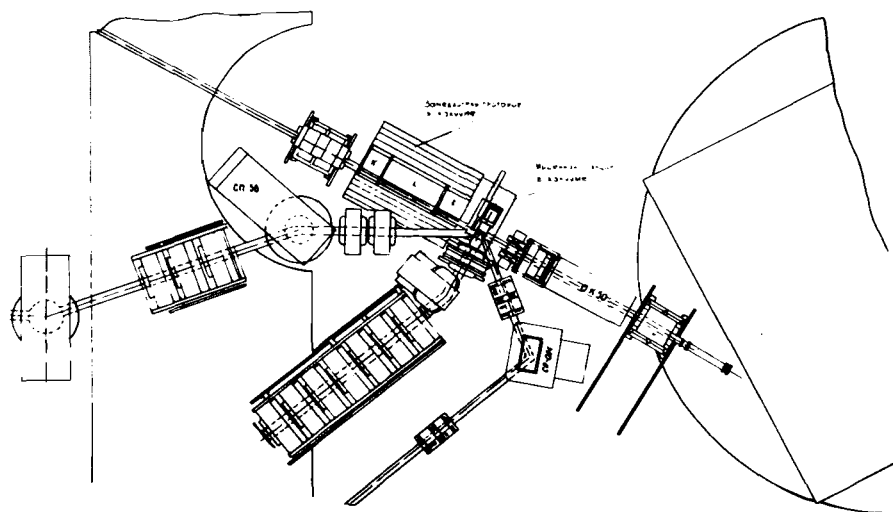


Рис. 11. Возможный вариант расположения начальных элементов тракта транспортировки выведенного протонного пучка фазотрона и головных элементов трактов вторичных частиц (пояснения в тексте).

На рис. 11 показан один из возможных вариантов расположения начальных элементов тракта транспортировки выведенного протонного пучка фазотрона и головных элементов трактов вторичных частиц, который позволяет сформировать и использовать минимальные размеры протонного пучка на мезонообразующей мишени, а также получить ряд дополнительных преимуществ по сравнению с существующим размещением оборудования на этом участке.

В этом варианте две разнесенные мезонные мишеневые станции заменяются одной, где имеется вращающийся в вакууме барабан с набором из 10-15 сменных мишеней разного типа. Первая линза типа МЛ-3 заменяется на линзу типа 15К-50, которая обладает достаточной оптической силой, чтобы сформировать на мезонной мишени протонный пучок с поперечным размером в горизонтальной плоскости 0,3-0,4 см. Головная часть мю-мезонного канала сокращена до одной линзы и одного поворотного магнита и направлена под углом 90° к протонному пучку. Это позволит: а) приблизить первую линзу мю-канала на расстояние до 15-20 см от мезонообразующей мишени и тем самым увеличить акцептанс канала; б) использовать сменную мишень из воды и осуществить настройку канала на энергию пи-мезонов 110 МэВ, где выход положительных пи-мезонов может возрасти в 2-3 раза по сравнению с мишенью из чистого углерода из-за интенсивного типа пи-плюс-мезонов от реакции $p + p \rightarrow d + \pi^{+1131}$; в) повысить интенсивность мезонных пуч-

ков с энергией меньше 80 МэВ за счет максимума в угловом распределении пи-мезонов в области углов 90° - 120° в л.с. для мишеней из любых элементов 110 ; г) уменьшить вклад электронной или позитронной компоненты в мезонных пучках.

За мезонной мишенью предусмотрена возможность установки вакуумного радиохимического пробника для облучения образцов в области минимальных размеров протонного пучка, что может создать условия для увеличения более чем на порядок удельной активности образцов.

Углеродный замедлитель протонного пучка приближен вплотную к мезонообразующей мишени и располагается в вакуумном боксе. Это уменьшит потери протонного пучка в промежутке от мезонной мишени до замедлителя из-за рассеяния в мишени. Мезонная мишеневая станция и замедлитель протонов окружены единой компактной защитой из железных кирпичей толщиной около 1 м.

В целом предложенный вариант расположения оборудования на начальном участке протонного пучка обеспечит:

а) увеличение акцептанса мю-мезонного канала и повышение интенсивности мезонных пучков с энергией до 80 МэВ для мишеней из любых элементов;

б) возможность параллельного проведения двух-трех мезонных экспериментов, одного — на протонах в интервале энергий от 70 до 660 МэВ, и облучение образцов на радиохимическом пробнике, т.е. одновременную работу пяти экспериментальных групп;

в) образование стационарного вакуум-провода от камеры ускорителя с разветвлением по всем трактам пучков;

г) значительное улучшение общей радиационной обстановки и радиационной защиты головных элементов начального участка протонного тракта и трактов вторичных частиц и тем самым — готовность использования выведенного протонного пучка с большей интенсивностью;

д) уменьшение плотности и скученности оборудования на начальном участке вывода протонного пучка и облегчение доступа для обслуживания головных элементов, возможность маневрирования при их размещении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Brown K.L. et al. — CERN 80-04, 1980.
2. Brown K.L., Iselin C. — CERN 74-2, 1974.
3. Абазов В.М. и др. — ОИЯИ, 9-87-322, Дубна, 1987.
4. Абазов В.М. и др. — ОИЯИ, 9-88-214, Дубна, 1988.

5. Кузьмин Е.С. и др. – ОИЯИ, 9-82, 406, Дубна, 1982.
6. Мицын Г.В. – ОИЯИ, 13-89-170, Дубна, 1989.
7. Громов В.О. и др. – ОИЯИ, 10-84-687, Дубна, 1984.
8. Абросимов Н.К. и др. – ЛИЯФ, 1170, Л., 1986.
9. Абросимов Н.К. и др. – ЛИЯФ, 1171, Л., 1986.
10. Cochran D. et al. – Phys. Rev. D, 1972, v.6, p.3086.
11. Волченков В.А. и др. – Препринт ЛИЯФ, 612, Л., 1980.
12. Волченков В.А. и др. – Препринт ЛИЯФ, 617, Л., 1980.
13. Неганов Б.С., Савченко О.В. – ЖЭТФ, 1957, т.32, с.1265.

Рукопись поступила в издательский отдел
16 марта 1989 года.

Коллекция документов

Абазов В.М. и др.

9-89-176

Транспортировка выведенного протонного пучка фазотрона к установке ЯСНАПП-2

Описаны первые результаты транспортировки выведенного протонного пучка фазотрона (XII канал). Показано хорошее соответствие расчетных и экспериментальных данных. Указаны возможности уменьшения потерь. Рассмотрены рекомендации по модернизации начального участка тракта транспортировки выведенного протонного пучка. Для реализованного режима работы канала получены следующие характеристики: 1) площадь изображения пучка в районе возможного расположения мишени ЯСНАПП-2 $0,5 \div 1,0$ см (на уровне 2σ); 2) коэффициент проводки 0,87; 3) максимально допустимая начальная интенсивность выведенного пучка протонов при полученном уровне потерь достигает 2 мкА.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1989

Перевод О.С.Виноградовой

Abasov V.M. et al.

9-89-176

Transport of the Extracted Proton Beam of the Phasotron to JASNAPP Installation

The first results on the transport of phasotron extracted proton beam (XII channel) are described. A good agreement of calculated and experimental data is shown. The possibilities of diminishing the losses are pointed to. Recommendations of the modification of initial part of the tract of extracted proton beam transport are considered. The following parameters of actual channel regime are obtained: 1) cross section of the beam image in area of possible beam location is $0.5 \div 1.0$ cm² (at level 2σ); 2) transmission coefficient is 0.87; 3) maximum permitted initial intensity of extracted proton beam for the achieved loss level is as high as 2 mкА.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1989