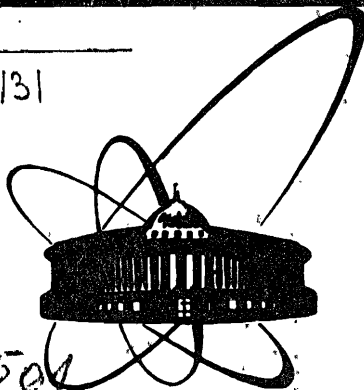


87-322

A 131



СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

C.34504

9-87-322

В.М.Абазов, С.А.Густов, В.П.Зорин, О.Л.Климов,
С.А.Кутузов, И.В.Мирохин, Г.В.Мицын,
А.Г.Молоканов, О.В.Савченко, Е.П.Череватенко

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ
ВЫВЕДЕННОГО ПРОТОННОГО ПУЧКА
РЕКОНСТРУИРОВАННОГО ФАЗОТРОНА ОИЯИ

1987

ВВЕДЕНИЕ

В Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ ведутся работы по реализации разветвленной системы разводки первичных и вторичных пучков, получаемых на выведенном протонном пучке реконструированного фазотрона. Различные вопросы, связанные с оптимизацией режимов работы каналов транспортировки выведенного протонного пучка на большие расстояния, а также с получением минимальных размеров первичного протонного пучка на мезонообразующих мишенях или тормозителе протонов, требуют для своего решения знания таких параметров выведенного протонного пучка, как средняя энергия и энергетический разброс, горизонтальный и вертикальный эмиттансы, абсолютное значение интенсивности.

Целью настоящей работы явилось проведение измерений и получение первых оценок указанных параметров выведенного протонного пучка реконструированного фазотрона, а также сопоставление с ранее выполненными расчетами возможных режимов формирования и транспортировки протонного пучка по IX каналу с учетом этих параметров.

ИЗМЕРЕНИЕ СРЕДНЕЙ ЭНЕРГИИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РАЗБРОСА ВЫВЕДЕННОГО ПРОТОННОГО ПУЧКА

Величины средней энергии и дисперсии энергетического распределения могут быть получены из анализа кривых Брэгга, измеренных на этом пучке. Средний пробег протонов R_p соответствует значению толщины поглотителя на спаде за пиком Брэгга, где мощность дозы составляет 0,82 от мощности дозы в пике Брэгга $^{1/}$. Величина дисперсии пробегов σ_R /при гауссовском их распределении/ определяет крутизну спада ионизации за пиком Брэгга и равна интервалу толщины поглотителя, на котором происходит спад от 0,82 до 0,33 от мощности дозы в пике Брэгга.

Полная флуктуация пробегов при замедлении пучков тяжелых заряженных частиц σ_R является результатом немонохроматичности первичного пучка σ_{RE} : страгглинга, обусловленного статистическими флуктуациями потерь энергии σ_{RS} и страгглинга, обусловленного многократным кулоновским рассеянием σ_{RK} .

В этом случае дисперсия пробегов, характеризующая немонохроматичность первичного пучка, определяется из соотношения:

$$\sigma_{RE} = \sqrt{\sigma_R^2 - (\sigma_{RS}^2 + \sigma_{RK}^2)}$$

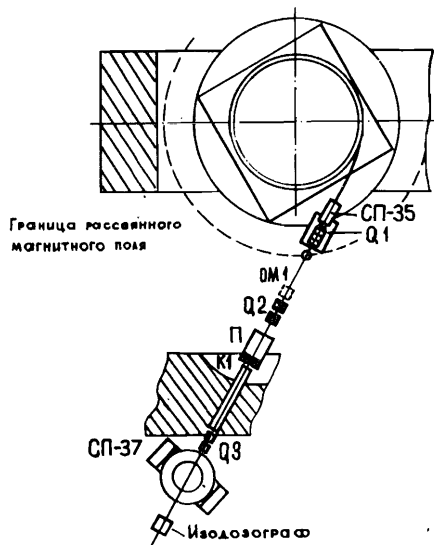


Рис. 1.

апертуру линзы Q_3 и магнит SP-37 попадал на водный фантом. Измерения были выполнены при двух значениях толщины углеродного замедлителя /167,6 г/см² и 181,8 г/см² углерода/ при различных размерах коллиматора K_1 /диаметром от 1 см до 8 см/, расположенного непосредственно за углеродом. Были учтены потери энергии в фольгах вакуумного канала и в воздухе, а также неводоэквивалентность детектора. На рис.2 показан один из измеренных в водном фантоме конечных участков кривой Брэгга заторможенного пучка протонов.

Погрешность определения средней энергии обусловлена погрешностью определения толщины углерода в замедлителе /0,2% - точность изготовления углеродных блоков, 0,3% - точность определения плотности углерода/ и точностью использовавшихся табличных данных зависимости пробега от энергии в углероде /2/ /1,4%/.

Полученное таким образом значение средней энергии выведенного из фазотрона пучка протонов составило:

$$T_p = /659 \pm 6/ \text{ МэВ.}$$

Из измерений дисперсии пробега протонов в водном фантоме получена величина $\sigma_{R(H_2O)} = /2,1 \pm 0,2/ \text{ г/см}^2$, где приведенная

Измерения кривых Брэгга проводились полупроводниковым кремниевым детектором в водном фантоме, расположенном в лаб. № 4 за магнитом СП-37 на направлении неотклоненного пучка протонов /рис.1/. Выведенный из фазотрона пучок протонов поворачивался магнитами СП-35 и ОМ-1 на углы 4° и 0,5° соответственно и фокусировался дублетами квадрупольных линз Q_1 и Q_2 на центр углеродного замедлителя. Заторможенный протонный пучок ограничивался сменным коллиматором K_1 углеродного замедлителя, проходил отверстие в защитной стене и далее через

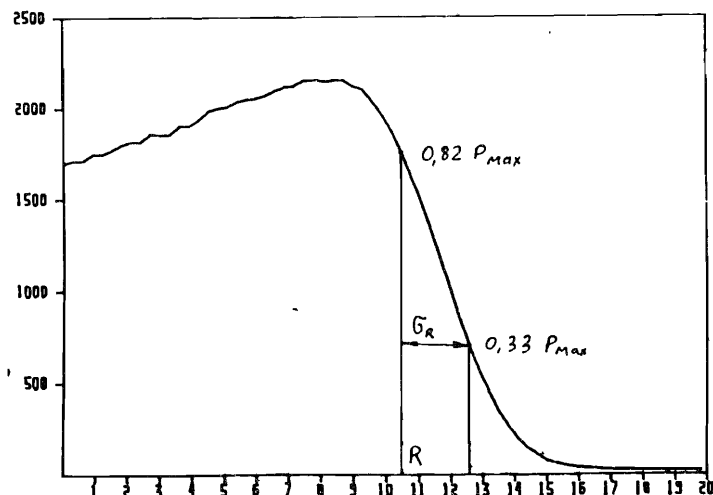


Рис. 2.

ошибка определяется погрешностями метода и разбросом величин $\sigma_{R(H_2O)}$ в разных сеансах. Это соответствует дисперсии пробега в углероде $\sigma_{RS} = /2,3 \pm 0,22/ \text{ г/см}^2$. Стратегинг, возникающий в результате статистических флуктуаций потерь энергии в углероде по данным работы /2/, составляет $\sigma_{RS} = /1,84 \pm \pm 0,04/ \text{ г/см}^2$. Дисперсия пробега за счет многократного кулоновского рассеяния σ_{RK} дает вклад менее 1% и им можно пренебречь. Тогда дисперсия пробега из-за некогерентности пучка будет равна $\sigma_{RE} = \sqrt{2,3^2 - 1,84^2} = 1,38 \text{ г/см}^2$. Это соответствует дисперсии энергетического распределения пучка $\sigma_E = \sigma_{RE} \cdot dE/dx \cdot /660 \text{ МэВ, с/} = 1,38 \times 2,23 = 3,1 \text{ МэВ}$.

Относительная погрешность определения σ_E обусловлена в основном погрешностью измерения σ_R и может быть получена из формулы:

$$\frac{\Delta \sigma_E}{\sigma_E} \approx \frac{1}{1 - \frac{\sigma_{RS}^2}{\sigma_R^2}} \cdot \frac{\Delta \sigma_R}{\sigma_R} = 0,26$$

Отсюда $\Delta \sigma_E = 0,8 \text{ МэВ}$, таким образом дисперсия энергетического распределения выведенного протонного пучка фазотрона равна:

$$\sigma_E = /3,1 \pm 0,8/ \text{ МэВ.}$$

ИЗМЕРЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ВЫВЕДЕННОГО ПУЧКА ПРОТОНОВ

Измерения абсолютного значения интенсивности выведенного пучка протонов осуществлялись калориметрическим методом^{13/}. В новых калориметрах в качестве рабочего тела была выбрана медная пластина размером 5×20 см² и толщиной 1 см, что позволяет измерять абсолютную интенсивность протонных пучков в интервале от 0,03 до 10 мкА с точностью около 10%. Интенсивность пучка определялась по калибровочной формуле: $I_p = 0,35 \cdot \Delta T / \Delta t$, где I_p - средняя интенсивность пучка в мкА, ΔT - разность показаний термометра в градусах Цельсия, Δt - время измерения в мин. В 1986 году для получения медицинских протонных пучков с энергиями 100, 130 и 200 МэВ использовалась интенсивность выведенного протонного пучка до 2 мкА, а при настройке IX и X каналов - до 1 мкА.

ОЦЕНКА ВЕРТИКАЛЬНОГО И ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ЭМИТТАНСОВ ВЫВЕДЕННОГО ПРОТОННОГО ПУЧКА

Эмиттанс выведенного протонного пучка определялся тремя способами:

- 1/ методом получения минимального значения огибающей^{4/};
- 2/ методом трех токов^{5/};
- 3/ методом измерения профиля пучка в трех сечениях дрейфового промежутка тракта^{6/};

Профили выведенного протонного пучка интенсивностью примерно 0,2 мкА измерялись специально созданным полупроводниковым профилометром, работающим на связи с ЭВМ. Абсолютная точность измерения огибающей пучка этим профилометром не хуже 1 мм. На рис.3 показаны измеренные с помощью этого профилометра два сечения протонного пучка в месте расположения одной из мезонных мишеней.

Многokратное рассеяние в воздухе учитывалось в соответствии с подходом, развитым в работах^{17/}.

В таблице приведены результаты оценки горизонтального - ϵ_x и вертикального - ϵ_y эмиттансов протонного пучка, соответствующих огибающей на уровне 2σ , на границе рассеянного магнитного поля фазотрона /рис.1/. Приведенные ошибки соответствуют ошибке в измерении огибающей 1 мм.

В работе^{18/} была показана возможность транспортировки выведенного протонного пучка фазотрона ОИЯИ до мишени широкоугольной пи-мезонной линзы, при следующих характеристиках пучка на границе рассеянного магнитного поля ускорителя

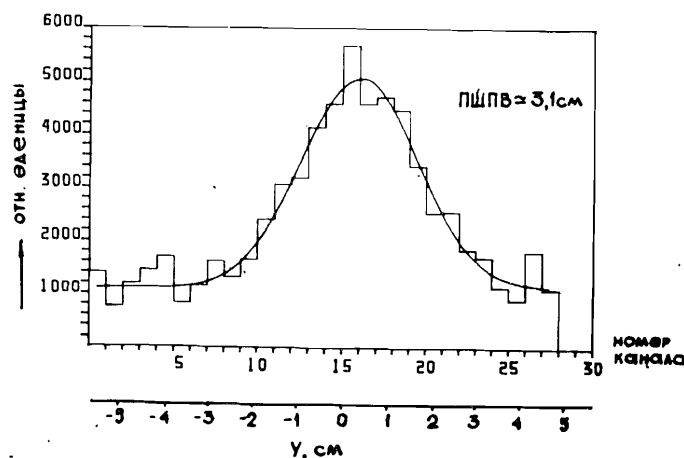
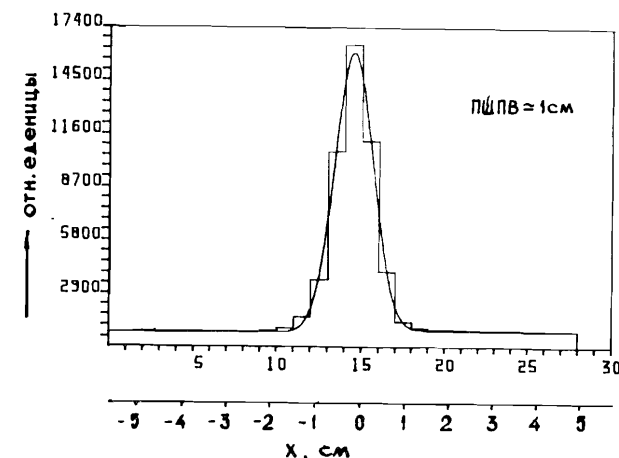


Рис. 3.

Таблица

	23.04.86 /мин.огибающая/	29.09.86 /три сечения/	12.10.86 /три тока/
ϵ_x /см·мрад/	$6,9 \pm 1,4$	$6,4 \pm 1,4$	5,4
ϵ_y /см·мрад/	$3,3 \pm 0,8$	$4,4 \pm 1,3$	"-

$\epsilon_x \leq 7,0$ см·мрад; $\epsilon_y \leq 4,0$ см·мрад; $\bar{E} = 660$ МэВ; $\Delta E / E \leq 1\%$.
Значения горизонтального и вертикального эмиттансов, энергии и энергетического разброса выведенного протонного пучка,

измеренные в настоящей работе при интенсивности $\sim 0,2$ мкА, примерно укладываются в рамки сделанных в^{8/} предположений. Определение возможных изменений этих параметров при переходе к интенсивности выведенного протонного пучка > 1 мкА потребует применения другой методики измерения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mather R., Segre E. - Phys.Rev., 1951, v.84, p.191.
2. Janny J.F. Proton Range-Energy Tables. Atomic Data and Nuclear Data Tables. 1982, v.27., No.2-5.
3. Желепов В.П., Комаров В.И., Савченко О.В. ОИЯИ, 16-3491, Дубна, 1967.
4. Бенфорд А. Транспортировка пучков заряженных частиц. М.: Атомиздат, 1969.
5. Plass H., Blumberg L. BNL Accel.Dept.Report, ATS-DIN, 68-4, 1968.
6. Асеев В.Н. и др. Некоторые алгоритмы настройки магнитооптических систем. Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. ОИЯИ, Дубна, 1985, т.1, с.277.
7. Абросимов Н.К. и др. Оптика пучков в условиях многократного рассеяния в газе. Там же, т. 1, с.352.
Абросимов Н.К. и др. ЛИЯФ, 1170, Ленинград, 1986.
Абросимов Н.К. и др. ЛИЯФ, 1171, Ленинград, 1986.
8. Кузьмин Е.С. и др. ОИЯИ, 9-82-406, Дубна, 1982.

Рукопись поступила в издательский отдел
8 мая 1987 года.

ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика