

ПОЛУЧЕНИЕ МЕЗОННЫХ ПУЧКОВ ВЫСОКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ НА ФАЗОТРОНЕ ОИЯИ

В.М.Абазов, А.Н.Брагин, С.А.Густов, С.А.Кутузов, И.В.Мирохин,
Г.В.Мицын, О.В.Савченко

Дано краткое описание широкоугольной магнитной линзы, используемой на фазотроне ОИЯИ для получения интенсивных мезонных пучков, и приведены первые результаты измерений физико-дозиметрических параметров мезонных пучков. Полученные значения интенсивностей π^+ -мезонов $\sim 10^8 \text{ с}^{-1}$ и π^- -мезонов $\sim 3 \cdot 10^7 \text{ с}^{-1}$ соответствуют проектным параметрам для мезонных пучков фазотрона. Интенсивность примеси мюонов примерно на порядок меньше, а величина интенсивности поверхностных μ^+ -мезонов в пучке составила $\sim 10^6 \text{ с}^{-1}$ для медной мишени.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Production of High Intensity Meson Beams at the JINR Phasotron

V.M.Abazov et al.

The paper briefly describes a wide-angle magnetic lens used at the JINR phasotron to obtain intensive meson beams, and reports the first results of measurement of meson-beam physical-dosimetric parameters. The intensity estimations obtained for π^+ -mesons ($\sim 10^8 \text{ s}^{-1}$) and π^- -mesons ($\sim 3 \cdot 10^7 \text{ s}^{-1}$) correspond to the nominal parameters of phasotron meson beams. The intensity of the muon impurity is about an order lower, and the intensity of surface μ^+ -mesons in the beam was $\sim 10^6 \text{ s}^{-1}$ for a copper target.

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

В Лаборатории ядерных проблем уже продолжительное время, начиная с 1971 года, ведутся разработки нетрадиционных методов фокусировки мезонных пучков^{/1-3/}, основанные на использовании широкоугольных магнитных систем с аксептансом по телесному углу на один-два порядка большим по сравнению с обычными каналами пучков из квадрупольных линз и отклоняющих магнитов.

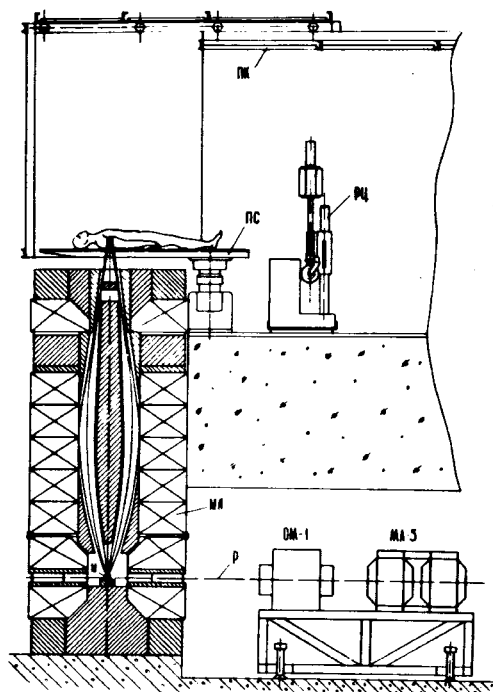


Схема формирования пи-мезонного пучка. р — протонный пучок, М — мезонообразующая мишень, МЛ — широкоугольная магнитная линза, ПС — стол для фиксации пациента, РЦ — рентгеновский центратор, ПК — процедурная кабина для радиотерапии.

В первом варианте такой широкоугольной фокусирующей системы, осуществленной в 1974 году^{/2/} на основе соленоидальной линзы с неоднородным аксиально-симметричным магнитным полем, были получены интенсивные пи-мезонные пучки с энергией до 30 МэВ, на которых была выполнена серия

радиобиологических экспериментов по определению относительной биологической эффективности и кислородного отношения^{/4/}, а также цикл физических экспериментов по определению множественности нейтронов, возникающих при захвате отрицательных пи-мезонов тяжелыми ядрами, и по изучению эффекта образования высокоспиновых ядерных изомеров^{/5,6/}.

В период реконструкции синхроциклотрона в сильноточный фазотрон был разработан и создан второй вариант широкоугольной магнитной линзы, показанный на рисунке^{/7/}. Протонный пучок подводится к мезонообразующей мишени из вольфрама или меди, располагаемой в вакуумной камере на оси симметрии магнитной линзы между нижней парой катушек возбуждения. Специальное автоматизированное устройство позволяет дистанционно вводить или выводить требуемую мишень из рабочего положения. Мезонный пучок фокусируется вертикально вверх на расстоянии ~ 25 см от магнитной линзы, при этом четыре винтовые лопасти, закрепленные на центральном защитном сердечнике, позволяют выделить пучок мезонов с заданным знаком заряда. Максимально допустимая мощность рассеивания энергии на тепловых катушках возбуждения магнитной линзы позволяет получать мезонные пучки с импульсом до 180 МэВ/с. Особенностью данного варианта магнитной

Таблица 1. Параметры пучка отрицательных мезонов

Импульс $P,$ МэВ/с	Пробег $R,$ г/см ² · Н ₂ О	Полуширина разброса про- бегов $\Delta R,$ г/см ² · Н ₂ О	Мощность дозы в пике Брэгга $D_{max},$ рн/мин · мкА	$\frac{D_{max}}{D_{выхода}}$
76	1,8 ± 0,1	0,4 ± 0,1	4,6	2,8
95	3,7 ± 0,1	0,7 ± 0,1	5,1	3,6
112	6,1 ± 0,1	1,3 ± 0,1	5,0	3,9
123	8,0 ± 0,1	1,6 ± 0,1	4,7	3,7
149	13,7 ± 0,1	2,7 ± 0,1	3,4	3,1
165	17,9 ± 0,1	3,0 ± 0,1	2,3	2,6

линзы является то, что ее магнитное поле сформировано таким образом, чтобы при углах захвата мезонов до 25° к оси симметрии угол расходимости пучка на выходе из линзы не превышал 10° к оси симметрии.

Обработка кривых Брэгга для положительно заряженных мезонных пучков с различными импульсами, измеренных в водном фантоме с помощью полупроводникового кремниевого детектора, позволила определить импульсное разрешение магнитной линзы $\Delta p/p$ (%) = 5,8 ± 0,3. В табл.1 представлены некоторые параметры глубинодозовых распределений в водном фантоме для пучков отрицательных мезонов из вольфрамовой мишени.

Полупроводниковый детектор был прокалиброван по результатам измерений кривой Брэгга промышленным дозиметром VA-J-18, для нормировки мощности дозы на 1 мкА тока протонного пучка фазотрона использовались измерения тока мониторинговой ионизационной камеры, предварительно прокалиброванной с помощью калориметра. При этом относительная ошибка величины абсолютной мощности дозы в пике Брэгга на 1 мкА тока протонного пучка составила ~ 20%.

Результаты измерений $\partial E/\partial x$ -спектров с помощью спектрометра из трех сцинтилляционных счетчиков, а также результаты измерений профиля мезонного пучка и абсолютной мощности экспозиционной дозы на 1 мкА тока протонного пучка фазотрона позволили оценить плотность потока, интенсивность и плотность остановок компонент мезонных пучков с импульсом в диапазоне 80 ÷ 170 МэВ/с (см. табл.2 и 3). Аналогичные измерения для пучка

Таблица 2. Плотность потока, интенсивность и плотность остановок компонент положительно заряженного мезонного пучка (мишень W)

P	Плотность потока, 10^4 1/см ² · с			Интенсивность, 10^6 1/с			Плотность остановок, 10^4 1/г Н ₂ О · с	
	МэВ/с	e ⁺	μ ⁺	π ⁺	e ⁺	μ ⁺		π ⁺
76		40±8	3,3±0,7	16±3	32±6	2,6±0,6	13±3	40±8
95		30±6	4,5±0,9	38±8	24±5	3,6±0,8	30±6	54±11
112		20±4	4,8±1,1	58±12	16±3	3,8±0,8	46±9	45±9
123		10±2	3,6±1,0	62±12	0,8±1,6	2,9±0,8	50±10	33±7
149		5,4±1,2	1,5±0,5	52±10	4,3±0,9	1,2±0,4	42±8	17±3
165		3,5±1,0	0,8±0,4	44±9	2,8±0,6	0,6±0,3	35±7	13±2

Таблица 3. Плотность потока, интенсивность и плотность остановок компонент отрицательно заряженного мезонного пучка (мишень W)

P	Плотность потока, 10^4 1/см ² · с			Интенсивность, 10^6 1/с			Плотность остановок, 10^4 1/г Н ₂ О · с	
	МэВ/с	e ⁻	μ ⁻	π ⁻	e ⁻	μ ⁻		π ⁻
95		23±5	1,8±0,5	12±2,5	18±4	1,4±0,4	10±2	16±3
112		14±3	1,5±0,5	19±4	11±2	1,2±0,4	15±3	15±3
123		10±2	1,1±0,4	21±4	8,0±1,6	0,9±0,3	17±3,4	13±2,6
149		6,3±1,3	<0,9	22±4,5	5,0±1,0	<0,7	18±3,6	8,0±1,6
165		4,8±1,0	<0,8	20±4	3,8±0,8	<0,7	17±3,4	6,0±1,2

мезонов с положительным зарядом, выполненные в импульсном диапазоне 20 ÷ 30 МэВ/с, дали возможность оценки параметров пучка поверхностных мюонов (см.табл.4).

В заключение можно отметить, что при существующей в настоящее время интенсивности выведенного протонного пучка фазотрона ОИЯИ 2,0 ÷ 2,5 мкА интенсивности несепарированных пи-мезонных

Таблица 4. Поверхностные μ^+ -мезоны (мишень Cu)

P , МэВ/с	$\frac{N_{\mu^+}}{N_{e^+}}$	Плотность потока, $\times 10^3$ 1/см ² с. мкА	Интенсив- ность, $\times 10^5$ 1/с. мкА	Плотность остановок, $\times 10^5$ 1/г _{H₂O} мкА·с
26	1,9±0,2	3,8±0,8	3,0±0,6	2,1±0,4
28	3,3±0,2	6,6±1,3	5,3±1,1	2,8±0,6
30	2,7±0,2	5,4±1,1	4,3±0,9	1,8±0,4
32	< 0,2	< 0,4	—	—

пучков, получаемых с помощью широкоугольной магнитной линзы, достигают значений $\sim 10^8$ с⁻¹ для π^+ -мезонов и $\sim 3 \cdot 10^7$ с⁻¹ для π^- -мезонов и соответствуют проектным параметрам мезонных пучков фазотрона¹⁸. Кроме этого имеется принципиальная возможность формирования сепарированных пучков¹⁹. π^+ -мезонов с интенсивностью до $\sim 3 \cdot 10^7$ с⁻¹, π^- -мезонов $\sim 10^7$ с⁻¹, μ^+ -мезонов $\sim 2 \cdot 10^6$ с⁻¹, μ^- -мезонов $\sim 10^6$ с⁻¹ и поверхностных μ^+ -мезонов с интенсивностью около $2 \cdot 10^5$ с⁻¹. Это в достаточной мере обеспечивает перспективу развития на ближайшее время, как для исследований в области мезонной физики, так и для целого ряда прикладных работ.

Л и т е р а т у р а

1. Савченко О.В. — Депонированная публикация ОИЯИ, Б1-13-6255, Дубна, 1971.
2. Абазов В.М. и др. — Сообщение ОИЯИ P13-8079, Дубна, 1974.
3. Абазов В.М., Савченко О.В. — Депонированная публикация ОИЯИ, Б1-13-9782, Дубна, 1976.
4. Ярмоменко С.П. и др. — Мед.радиология, 1975, № 20, с.70.
5. Бутцев В.С. и др. — Препринт ОИЯИ P6-8541, Дубна, 1975.
6. Butsev V.S. et al. — Preprint JINR, E6-8535, Dubna, 1975.
7. Абазов В.М. и др. — Сообщение ОИЯИ P13-80-707, Дубна, 1980.
8. Глазов А.А. и др. — Препринт ОИЯИ 9-3951, Дубна, 1968.
9. Савченко О.В. — Депонированная публикация ОИЯИ, Б1-18-90-51, Дубна, 1990.

Рукопись поступила 8 февраля 1990 года.