

сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
Дубна

A 131

9-90-69

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

ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ
МЕЗОННЫХ ПУЧКОВ ВЫСОКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ
ДЛЯ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ
И ФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
НА ФАЗОТРОНЕ ОИЯИ.

Состав мезонных пучков

1. ВВЕДЕНИЕ

Мезонные пучки медицинского многокабинного комплекса фазотрона ОИЯИ формируются с помощью широкоугольной мезонной линзы^{1/}. Анализ измерений профиля мезонного пучка, а также измерений глубинодозовых распределений^{2/} позволил оценить средние поперечные размеры пучка $\sim 80 \text{ см}^2$, импульсное разрешение мезонной линзы $\sim 6\%$ и размеры области остановок пионов, представленные в табл. 1.

Таблица 1. Ширина области остановок пионов ΔR для мезонных пучков с различными импульсами P

P (МэВ/с)	76	95	112	123	149	165
$\Delta R (\text{г/см}^2 \cdot \text{H}_2\text{O})$	0,4	0,7	1,3	1,6	2,7	3,0

Величина абсолютных ошибок при определении импульса и ширины области остановок пионов составили, соответственно, $\sim 1 \text{ МэВ/с}$ и $\sim 0,1 \text{ г/см}^2 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

Приведенные данные, а также результаты определения процентного состава мезонных пучков и измерений абсолютной мощности дозы в области фокуса были использованы для оценки плотности потока и интенсивности компонент мезонных пучков и для оценки плотности остановок пионов.

2. СОСТАВ МЕЗОННЫХ ПУЧКОВ С ИМПУЛЬСОМ $80 \div 170 \text{ МэВ/с}$

Состав пучка отрицательных мезонов определялся в результате обработки $\partial E/\partial x$ -спектров, измеренных с помощью спектрометра, собранного из трех сцинтилляционных счетчиков. В двух входных счетчиках использовались пластиковые сцинтилляторы размером $20 \times 20 \text{ мм}^2$ и толщиной 5 мм. Третий счетчик представлял собой торцовый счетчик с кристаллом стильбена диаметром 30 мм и толщиной 10 мм. Измерялась амплитуда сигнала третьего

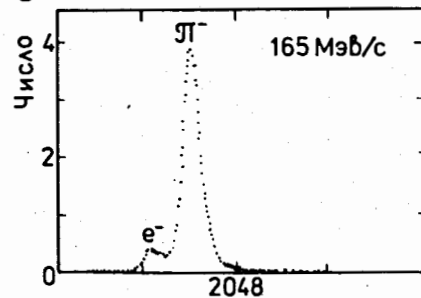
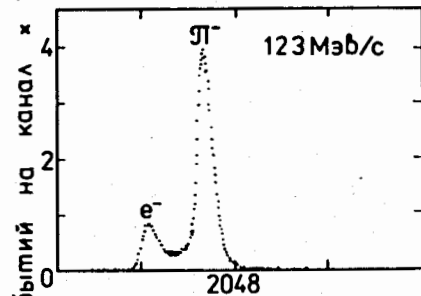
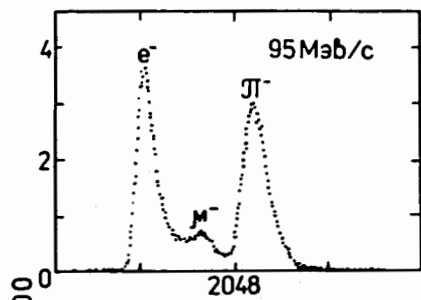


Рис. 1. $\partial E/\partial x$ -спектры пучков отрицательных мезонов.

счетчика, причем запуск измерения осуществлялся сигналом совпадений импульсов всех трех счетчиков, что позволило исключить измерение амплитуд шумовых сигналов и сигналов от нейтральных частиц в пучке. Измерения проводились на связи с персональной ЭВМ "Правец-16".

На рис. 1 представлено несколько $\partial E/\partial x$ -спектров для пучка отрицательных мезонов. Для измерений в пучке положительно заряженных мезонов использовались два счетчика с пластическими сцинтилляторами, так как в случае использования торцового счетчика продукты распада положительных мезонов в веществе частей счетчика, расположенного по ходу пучка, вызывали искажения $\partial E/\partial x$ -спектра. Для счетчика с пластическим сцинтиллятором при использовании фотоумножителей ФЭУ-85 было получено разрешение по амплитуде сигнала $\sim 15\%$, а для торцового счетчика с кристаллом стибьена $\sim 11\%$.

Как видно из рис. 1 и 2, этих значений разрешения достаточно для разделения пиков от пионов, мюонов и электронов /позитро-

нов/ при импульсах до 110 МэВ/с. Вклад разных компонент пучка при больших значениях импульса оценивался из анализа формы пиков спектра $\partial E/\partial x$.

В табл. 2 и 3 приведен процентный состав пучка положительных и отрицательных мезонов для вольфрамовой и медной мишени при различных значениях импульса пучка, полученный в результате анализа измеренных $\partial E/\partial x$ -спектров. Из таблиц следует, что при увеличении импульса пучка до 170 МэВ/с величина примеси мюонов и электронов /позитронов/ быстро падает до вели-

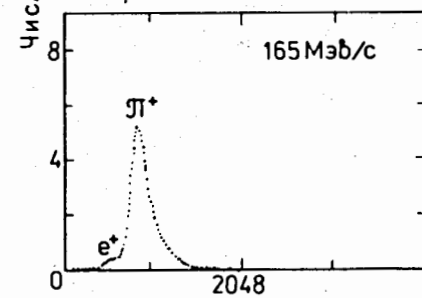
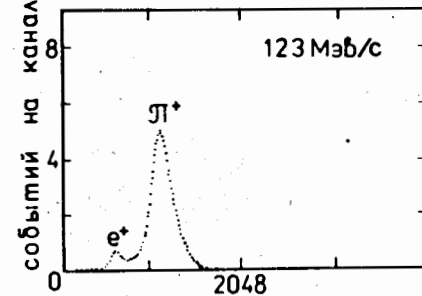
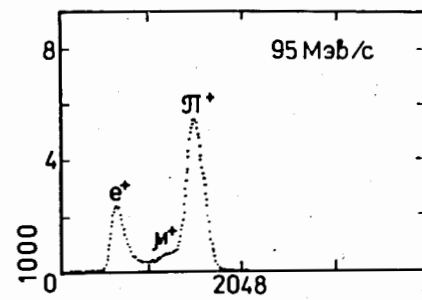


Рис. 2. $\partial E/\partial x$ -спектры пучков положительных мезонов.

чин $\sim 10 \div 20\%$. При этом основную долю примесей составляют электроны и позитроны, образованные в веществе мишени в результате распада $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$ и конверсии $\gamma \rightarrow e^-e^+$. Величина примеси электронов и позитронов приблизительно пропорциональна вертикальному размеру протонного пучка в мезонообразующей мишени. Существующая в настоящее время ионно-оптическая система транспортировки протонного пучка [3] /IX канал фазотрона/ позволяет сформировать на мишени протонный пучок с минимальным размером по вертикали 2 см, однако при модернизации IX канала возможно уменьшение этой величины в 3-4 раза, что приведет к соответствующему уменьшению примеси электронов и позитронов в мезонном пучке. Используя данные измерения мощности дозы D в воздухе на 1 мкА тока протонного пучка дозиметром VA-J-18 с шаровой воздушной ионизационной камерой и результаты определения процентного состава, можно вычислить плотность потока каждой из компонент мезонного пучка согласно выражению

$$I_j = \alpha_j \cdot k \cdot D / \left(\sum_i \alpha_i \frac{\partial E_i}{\partial x} \right),$$

где α_j - величина примеси j-й компоненты пучка, $\frac{\partial E_i}{\partial x}$ - удельные ионизационные потери в воздухе для i-й компоненты пучка при заданном импульсе, k - коэффициент перевода экспозицион-

Таблица 2. Состав π^+ -пучка

МэВ/с	Мишень Cu			Мишень W ₀		
	e^+ (%)	μ^+ (%)	Π^+ (%)	e^+ (%)	μ^+ (%)	Π^+ (%)
76	50±2	8±1	42±2	67±2	6±1	27±1,5
95	26±1,5	8±1	68±2	41±2	6±1	53±2
112	15±1	6±1	79±2,5	24±1,5	6±1	70±2
123	9±1	5±1	86±2,5	13±1	5±1	82±2,5
149	6±1	3±1	91±2,5	9±1	3±1	88±2,5
165	5±1	2±1	93±2,5	7±1	2±1	91±2,5

Таблица 3. Состав π^- -пучка

МэВ/с	Мишень Cu			Мишень W ₀		
	e^- (%)	μ^- (%)	Π^- (%)	e^- (%)	μ^- (%)	Π^- (%)
95	50±2	6±1	44±2	61±2	5±1	34±1,5
112	32±1,5	5±1	63±2	41±2	4±1	55±2
123	24±1,5	3,5±1	73±2,5	32±2	3,5±1	65±2
149	15±1	< 3	82±2,5	22±1,5	< 3	75±2,5
165	13±1	< 3	84±2,5	19±1	< 3	78±2,5

Таблица 4. Плотность потока, интенсивность и плотность остановок компонент положительно заряженного мезонного пучка. Мишень W₀

МэВ/с	Плотность потока			Интенсивность		Плотность остановок	
	10 ⁴ I/cm ² .с			10 ⁶ I/c		10 ⁴ I/г.Н ₂ О	
P	e^+	μ^+	Π^+	e^+	μ^+	Π^+	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	8,0±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 5. Плотность потока, интенсивность и плотность остановок компонент отрицательно заряженного мезонного пучка. Мишень W₀

МэВ/с	Плотность потока			Интенсивность		Плотность остановок	
	10 ⁴ I/cm ² .Н ₂ О			10 ⁶ I/c		10 ⁴ I/г.Н ₂ О	
P	e^-	μ^-	Π^-	e^-	μ^-	Π^-	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	< 0,6	17±3,4	6,0±1,2

ной дозы в энергию, выделяемую на 1 г воздуха. В табл. 4 и 5 представлены результаты расчетов.

При вычислении полной интенсивности предполагалось, что эффективное сечение пучка для всех его компонент ~80 см², а для определения плотности остановок пионов были использованы значения ширины кривой Брэгга из табл. 1. Все величины в табл. 4 и 5 приведены к значению тока протонов фазотрона 1 мкА. В пределах ошибок измерений /~20%/ значения интенсивности потока электронов и позитронов при заданном импульсе пучка совпадают.

3. ПОВЕРХНОСТНЫЕ μ^+ -МЕЗОНЫ

Мезоны, образованные в результате двухчастичного распада остановившегося положительного пиона $\pi^+ \rightarrow \mu^+ \nu$, имеют фиксированную энергию ~4,13 МэВ. Если остановка пиона происходит в достаточно тонком поверхностном слое мезонообразующей мишени, то μ^+ -мезоны, имеющие пробег ~0,15 г/см².Н₂О, вылетают из мишени и образуют пучок поверхностных мюонов [11]. Уникальным свойством такого пучка является его 100% поляризация. Для определения состава пучка в области импульса пучка 20÷32 МэВ/с /верхней границе энергии поверхностных мезонов 4,13 МэВ соответствует импульс 29,8 МэВ/с/ были использованы амплитудные спектры, измеренные с помощью двух последовательно расположенных счетчиков с пластическими сцинтилляторами толщиной 5 мм. Для каждого значения импульса мезонного пучка измерялся

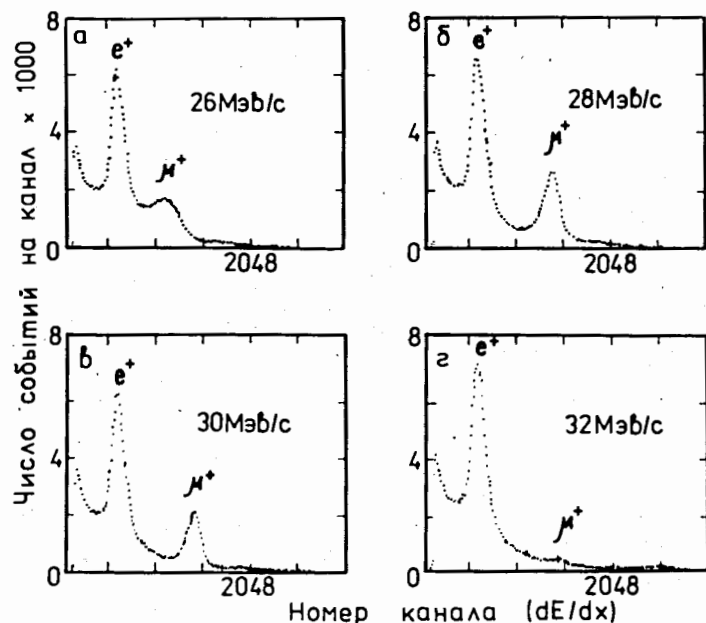


Рис. 3. dE/dx -спектры пучков поверхностных мезонов.

полный спектр амплитуд сигнала входного счетчика, а также спектр амплитуд сигнала при условии антисовпадений с сигналом второго счетчика, что позволило примерно в 12 раз подавить пик от позитронов и выделить в спектре пик от поверхностных мюонов. По данным этих спектров с учетом показаний монитора протонного пучка определялся состав пучка. На рис. 3 приведены спектры амплитуд для нескольких значений импульса мезонного пучка, полученные при условии антисовпадений сигнала второго счетчика с сигналом первого счетчика. На трех первых спектрах четко выделяются два пика в области энергий ~ 1 МэВ и ~ 4 МэВ, соответствующие позитронам и поверхностным мюонам. Однако в четвертом спектре, измеренном для мезонного пучка с импульсом, превышающим максимальный импульс поверхностных мюонов примерно на величину импульсного разрешения мезонной линзы, пик от мюонов практически исчезает. Это связано с тем, что мюоны с таким импульсом могут образоваться только от распада "налету" пионов, которые за время жизни с большой вероятностью вылетают из области захвата распадных мюонов в пучок. Для определения плотности потока были использованы результаты дозиметрических измерений в воздухе /процедура вычислений

Таблица 6. Поверхностные μ^+ -мезоны. Мишень Cu

P МаВ/с	$\frac{N_{\mu^+}}{N_{e^+}}$ (%)	Плотность потока		Интенсивность		Плотность остановок	
		$\times 10^3$ I/cm ² с	·мкА	$\times 10^5$ I/с	·мкА	$\times 10^5$ I/2H ₂ O·мкА	-
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	-	-	-	-	-

описана в предыдущем разделе данной работы/. В табл. 6 приведены результаты вычислений.

В табл. 6 представлены результаты, полученные для медной мишени. В случае вольфрамовой мишени значения плотности потока поверхностных мюонов оказались примерно в два раза меньше. Следует отметить, что оптимизации положения протонного пучка на мишени и оптимизации его размеров для получения наибольшего выхода поверхностных мезонов не производилось.

4. ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ СЕПАРИРОВАННЫХ МЕЗОННЫХ ПУЧКОВ И ОЦЕНКА ИХ ИНТЕНСИВНОСТИ

В работе [4] рассмотрены различные варианты получения сепарированных мезонных пучков на фазотроне ОИЯИ с помощью широкоугольных фокусирующих линз, промежуточного замедлителя и последующего магнитного анализа.

Наиболее перспективным является вариант, изображенный на рис. 4, в котором разделение частиц по массам осуществляется путем отклонения частиц на угол 90° в поперечном однородном магнитном поле. Такой вариант можно осуществить на базе магнита типа МС-4 и трех магнитных квадрупольных линз с апертурой 20 см. Преимущество этого варианта заключается в использовании готового магнита и линз, простоте конструкции вакуумной камеры и полюсных накладок, а также возможности перехода с режима работы "на медицину" в режим работы "на физику" без всяких механических перемещений путем только переключения токов в элементах магнитной системы.

Для варианта, изображенного на рис. 4, на основании экспериментальных данных, полученных для несепарированных мезонных пучков на широкоугольной линзе, были выполнены оценки интенсивностей, плотностей потока и плотностей остановок сепари-

ной магнитной линзы, достигают значения 10^8 с^{-1} для π^+ и $3 \cdot 10^7 \text{ с}^{-1}$ для π^- , что соответствует проектным параметрам мезонных пучков установки "Ф"/12/. Это в достаточной мере обеспечивает перспективу развития на ближайшее время, как для исследований в области мезонной физики, так и для целого ряда прикладных работ.

Авторы выражают благодарность В.Г.Зинову, Б.Ж.Залиханову и Б.М.Сабирову за полезные советы при выборе методики измерения состава мезонного пучка.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.М.Абазов и др. - Сообщение ОИЯИ Р13-80-707, Дубна, 1980.
2. В.М.Абазов и др. - Сообщение ОИЯИ 9-90-68, Дубна, 1990.
3. В.М.Абазов и др. - Сообщение ОИЯИ 9-90-64, Дубна, 1990.
4. О.В.Савченко - ОИЯИ, Б1-18-90-51, Дубна, 1990.
5. В.А.Волченков и др. - Препринт ЛИЯФ-617, Л., 1980.
Н.К.Абросимов и др. - Препринт ЛИЯФ-622, Л., 1980.
6. G.H.Eaton et al. - NIM, 1988, A269, p.483.
7. W.P.Lisenko et al. - IEEE Trans. NS-22, 1975, No.3, p.1593.
A.Badertscher et al. - NIM, 1985, A238, p.200.
8. N.M.M.Al-Qazzar et al. NIM, 1980, 174, p.35.
9. SIN Jahresbericht P.1319, 1975.
SIN Jahresbericht. P.1318, 1978.
10. В.С.Роганов - ОИЯИ, Б1 9-4707, Дубна, 1969.
11. A.E.Pifer et al. - NIM, 1976, 135, p.39.
12. А.А.Глазов и др. - Препринт ОИЯИ 9-3951, Дубна, 1968.

Рукопись поступила в издательский отдел
5 февраля 1990 года.