

Р и с. 2. Изменение величины неравенства максимумов в угловом распределении π -компоненты по поперечному сечению пучка (L — среднеквадратичный вертикальный размер пучка).

В плоскости орбиты электронов (см. рис. 1, б) $\pi' = \pi''$, в то время как выше плоскости орбиты $\pi' > \pi''$ (см. рис. 1, а) и ниже плоскости орбиты $\pi' < \pi''$ (см. рис. 1, в). Причем относительная величина неравенства максимумов интенсивности по поперечному сечению пучка изменяется по закону, примерный вид которого представлен на рис. 2. Направление оси z

противоположно направлению магнитного поля синхротрона.

Интенсивность в минимуме π -компоненты поляризации излучения электронов по поперечному сечению пучка не равна нулю, что обусловлено наличием заметной амплитуды вертикальных бетатронных колебаний электронов. При перемещении точечной диафрагмы по поперечному сечению изображения пучка в радиальном направлении искажений в угловом распределении интенсивности π -компоненты не наблюдалось ($\pi' = \pi''$). Таким образом, полученные экспериментальные результаты полностью подтверждают положения теории [4].

Авторы выражают благодарность А. А. Воробьеву, А. Н. Диденко и А. В. Кожевникову за содействие проведению данной работы.

Поступило в Редакцию 9/IV 1971 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. R. Naensel, C. Kunz. *Z. angew. Phys.*, **23**, 276 (1967).
2. Р. Годвин. «Успехи физ. наук», **101**, 493, 697 (1970).
3. И. С. Щепольский. «Докл. АН СССР», **90**, 983 (1953).
4. Сб. «Синхротронное излучение». Под ред. А. А. Соколова, И. М. Тернова. М., «Наука», 1966.
5. Ф. А. Королев, О. Ф. Куликов, А. С. Яров. *ЖЭТФ*, **43**, 1953 (1962).
6. А. А. Воробьев, М. М. Никитин, А. В. Кожевников. «Атомная энергия», **29**, 389 (1970).

Формирование пучков положительных частиц с импульсом 25—70 Гэв/с с внутренних мишеней ускорителя ИФВЭ

Н. И. ГОЛОВИИ, М. И. ГРАЧЕВ, К. И. ГУБРИЕНКО, Е. В. ЕРЕМЕНКО, В. Н. ЗАПОЛЬСКИЙ, В. И. КОТОВ, Ю. Д. ПРОКОШКИН, В. С. СЕЛЕЗНЕВ, Ю. С. ХОДЫРЕВ

УДК 539.1.074

Физические исследования на ускорителе ИФВЭ проводились до последнего времени на выведенных из ускорителя под малыми углами пучках отрицательных частиц [1]. В выполненных на этих пучках экспериментах были получены важные результаты: обнаружено постоянство полных сечений для отрицательных мезонов при высоких энергиях, найден антигелий-3 и др. Однако для осуществления более широкой программы исследований, в частности для изучения взаимодействия частиц и античастиц при высоких энергиях, необходимо проводить эксперименты также на пучках положительных частиц.

Вывод из ускорителя положительных частиц, образованных под малыми углами θ , затруднен из-за обратного действия рассеянного поля ускорителя, особенно если стремиться сформировать в широком интервале импульсов пучки частиц, идущих по одному направлению [2, 3]. Ниже описывается вывод положительных частиц с внутренних мишеней, осуществленный на ускорителе ИФВЭ в конце 1970 г. Благодаря применению магнитных экранов и системы из трех мишеней удалось в одном магнитооптическом канале сформировать пучки положительных частиц (протонов, π^+ -мезонов, K^+ -мезонов и дейтонов) в широком интервале импульсов $P = 25 \div 70$ Гэв/с при фиксированной энергии ускоренных протонов $E_0 = 70$ Гэв.

Этот вывод осуществлен под углами θ , выбранными так, чтобы поперечный импульс частиц пучка $P_{\perp} = P \theta$ не превышал величины ~ 1 Гэв/с. При этом интенсивность пучков, которая пропорциональна $\exp(-aP_{\perp}^2)$ [4], где $a \approx 5$ (Гэв/с) $^{-2}$, хотя и падает на 1—2 порядка величины по сравнению с выводом под углами $\theta \approx 0$, все же остается достаточно большой ($\approx 10^5$ частиц/цикл) для проведения физических экспериментов.

Схематически участок вывода, расположение мишеней и магнитных экранов представлены на рис. 1. Там же показаны взаимное расположение экранов относительно равновесной орбиты и их поперечные сечения. Экраны изготовлены из Ст. 3 и ослабляют магнитное поле ускорителя в 50 раз (экран 3) и в пять раз (экран 4). Геометрия расположения экранов была выбрана так, чтобы, с одной стороны, не создавать заметных возмущений магнитного поля ускорителя в окрестности равновесной орбиты и, с другой стороны, обеспечить направление вывода положительных частиц, близкое к направлению 5 пучка отрицательных частиц с импульсом до 65 Гэв/с [4, 5]. При этом оказалось возможным использовать для формирования пучков положительных частиц существующий канал [5] при небольшом (в пределах 25 см)

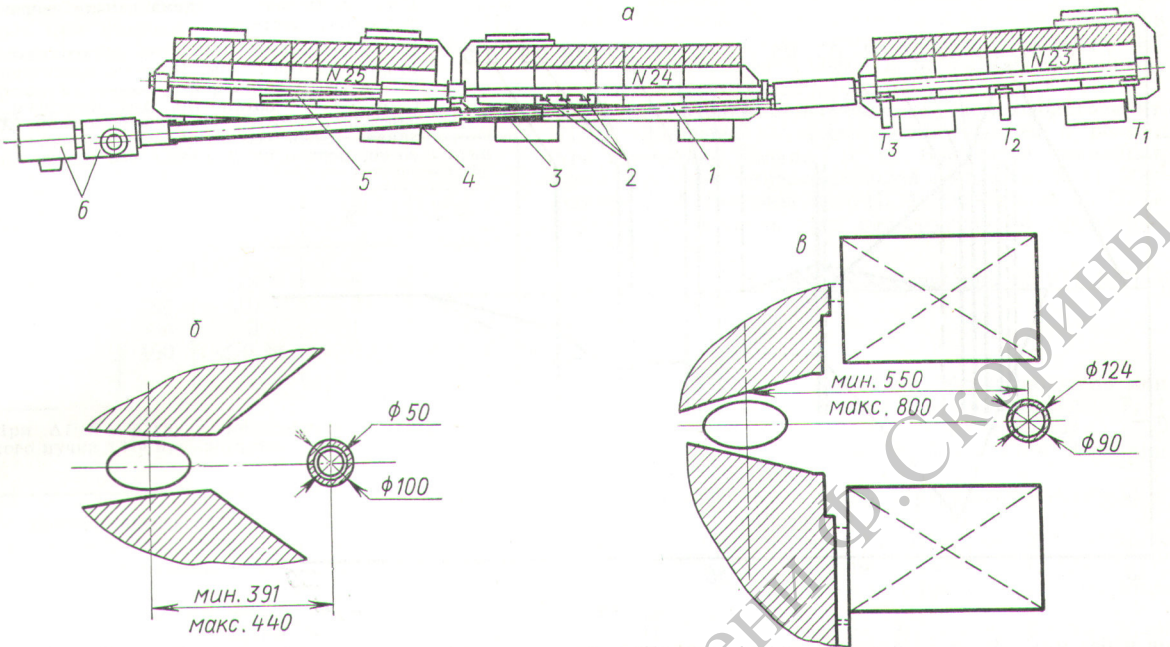


Рис. 1. Схема расположения мишеней и выводного участка канала вторичных положительных частиц (а) и эскизы расположения магнитных экранов 3 и 4 (б и б' соответственно):

$T_1 - T_3$ — мишени; 1 — ионопровод; 2 — место расположения мишеней; 5 — выводной участок канала отрицательных частиц; 6 — апертурные коллиматоры.

перемещении лишь апертурных коллиматоров 6 и первого объектива квадрупольных линз.

Для указанных условий вывода углы образования положительных частиц θ получаются минимальными, если мишени разместить в магнитном блоке 23 (см. рис. 1). Вследствие экранирования рассеянного поля

углы образования частиц заметно уменьшаются, особенно для частиц с малыми импульсами.

На рис. 2 приведены зависимости радиального положения мишеней r и углов образования положительных частиц θ от импульса для трех мишеней, размещенных в блоке 23, при наличии магнитных экра-

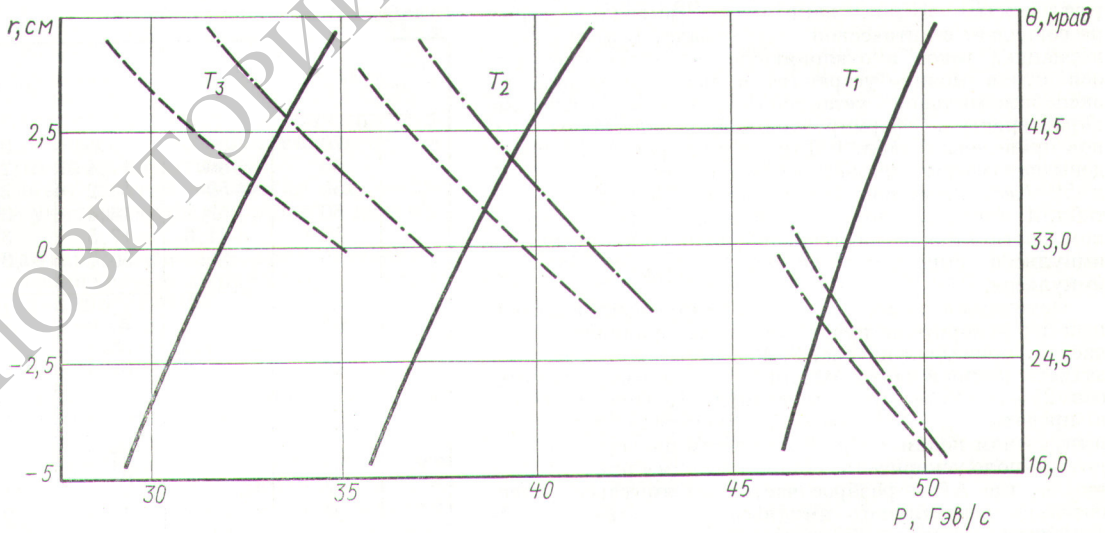


Рис. 2. Зависимость радиального положения r мишеней $T_1 - T_3$ (сплошные кривые) и углов образования положительных частиц θ от импульса P при наличии магнитных экранов (---) и без них (-·-·-).

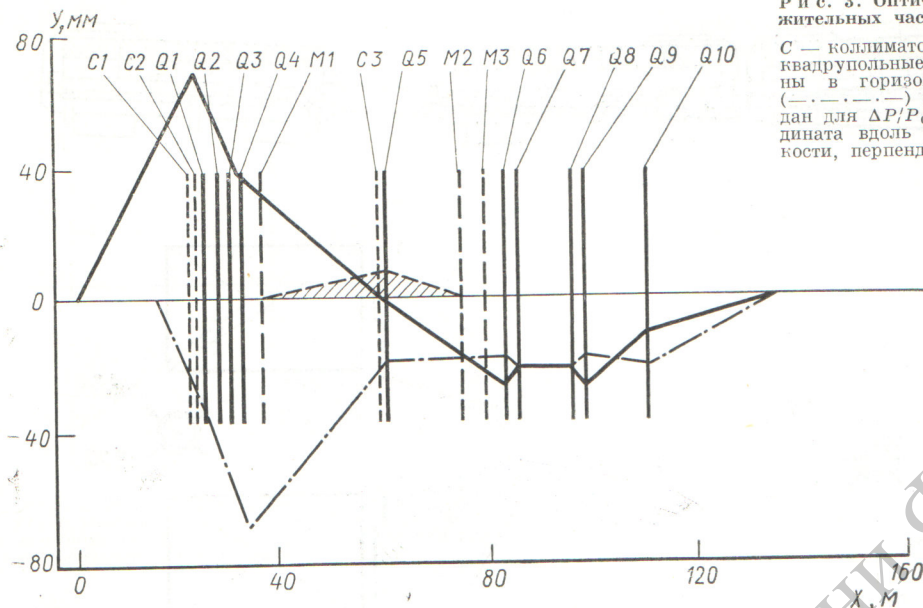


Рис. 3. Оптическая схема канала вторичных положительных частиц:

С — коллиматоры; М — отклоняющие магниты; Q — квадрупольные линзы. Краевые траектории показаны в горизонтальной (—) и вертикальной (---) плоскостях, ход дисперсии (— · — · —) дан для $\Delta P/P_0 = +1\%$ (заштриховано). X — координата вдоль оси пучка, Y — координата в плоскости, перпендикулярной к оси пучка.

нов и без них. Из этого рисунка видно, например, что углы образования частиц с импульсом 40 Гэв/с при введении экранов уменьшаются на 7 мрад . Такое изменение угла θ приводит к уменьшению P_{\perp}^2 на $0,5 (\text{Гэв/с})^2$ и соответственно к увеличению интенсивности пучка вторичных частиц на порядок величины. Применение магнитных экранов позволяет расширить диапазон импульсов выводимых частиц в сторону меньших импульсов и получить в этом диапазоне пучки положительных частиц с интенсивностями, достаточными для постановки физических экспериментов.

Указанный на рис. 2 диапазон импульсов выводимых частиц можно дополнительно расширить, формируя «косые» пучки, направление вывода которых не совпадает с оптической осью канала. В этом случае вариацией токов в отклоняющих магнитах смещение оси пучка можно устранить в месте расположения экспериментальной установки. Основные расчетные характеристики сфокусированных в канале косых пучков приведены в табл. 1. Там же для сравнения приведены параметры «прямых» пучков с импульсами $30, 40$ и 50 Гэв/с (помечены звездочками). Как следует из табл. 1 и рис. 2, при работе с косыми пучками в основном достигается существенное расширение интервала импульсов выводимых частиц в сторону больших импульсов.

Оптическая схема канала, формирующего выведенный из ускорителя пучок вторичных положительных частиц, приведена на рис. 3. Расчетные телесные углы захвата частиц в канал $\Delta\Omega$ для всего диапазона импульсов $25-70 \text{ Гэв/с}$ указаны в табл. 1. Они меняются в пределах $0,5-11 \text{ мкстер}$. Дисперсия пучка на импульсном коллиматоре С3 с учетом дисперсии в магнитном поле ускорителя составляет $8,2 \text{ мм}$ при $\Delta P/P = 1\%$, где ΔP — разброс частиц по импульсам относительно центрального импульса P . Учитывая коэффициенты линейного увеличения по горизонтали в магнитном поле ускорителя ($0,16-0,26$) и первого объектива линз ($2,14$), получаем, что указанная величина дисперсии обеспечивает надежное выделение

требуемого для экспериментов импульсного интервала $\Delta P/P \geq 1\%$.

Угловая расходимость пучка частиц на параллельном участке между дублетами Q6, Q7 и Q8, Q9 не превышает $\pm 0,5 \text{ мрад}$. Это позволяет эффективно использовать дифференциальные черенковские счетчики с высоким разрешением [6] для разделения в пучке протонов, π^+ -мезонов, K^+ -мезонов и дейтронов. Размеры пучков, сфокусированных на мишень экспериментальной установки, составляют $1,5 \cdot 1,2 \text{ см}^2$ в горизонтальной и вертикальной плоскостях соответственно.

Расчетные характеристики пучков положительных частиц

Таблица 1

Мишень	$P, \text{ Гэв/с}$	$r, \text{ мм}$	$\theta, \text{ мрад}$	$\Delta\Omega, \text{ мкстер}$	$X_0, \text{ мм}$
T_1	70	+50	5,8	0,5	-58,30
	60	+50	10,4	2,0	-31,6
	55	+50	13,2	3,3	-17,1
	50	+50	16,4	3,4	1,5
	50*	+41,6	17,5	3,5	0
	45	-30	30,7	3,4	8,0
T_2	45	+50	25,6	4,7	-11,3
	40	+50	28,7	4,8	5,7
	40*	+27,8	31,4	5,5	0
T_3	40	+50	30,5	5,8	-17,3
	35	+50	32,5	9,4	0,21
	30	+50	34,9	10,0	23,4
	30*	-32,5	44,0	11,5	0
	25	-40	48,4	9,0	24,6

Примечание. X_0 — смещение мнимых источников от оси канала в горизонтальной плоскости.

Относительные выходы положительных частиц, измеренные при помощи черенковских счетчиков [7], и интенсивности пучков указаны в табл. 2. Особен-

Основные характеристики пучков вторичных положительных частиц ($E_0 = 70 \text{ ГэВ}$) Таблица 2

$P, \text{ ГэВ/с}$	Интенсивность пучка, $10^5 \text{ частиц/цикл}^*$	Относительное содержание частиц в пучке (приведено к мишени), %			
		p	π^+	K^+	d
25	0,5	64	28	8	—
40	1	87	10	3	0,05
50	3	96	3	1	0,03
70	1	100	< 0,01	< 0,01	< 0,001

* При $\Delta P/P = \pm 1\%$ и интенсивности ускоренного протонного пучка $10^{12} \text{ протон/цикл}$.

ностью осуществленного режима вывода пучков положительных частиц является высокое относительное содержание в них K^+ -мезонов по сравнению с выводом под углами $\theta \approx 0^\circ$. При $P = 70 \text{ ГэВ/с}$ и $E_0 = 70 \text{ ГэВ}$ в канал выводится чистый пучок упруго рассеянных протонов, примесь посторонних частиц в котором не превышает 10^{-4} .

Созданный пучок положительных частиц высокой энергии значительно расширил возможности проведе-

ния экспериментальных исследований на ускорителе ИФВЭ. После запуска на нем были выполнены измерения полных сечений взаимодействия протонов, π^+ и K^+ -мезонов с протонами и ядрами и исследованы выходы положительных частиц [7].

В заключение пользуемся случаем поблагодарить С. П. Денисова за полезные обсуждения и помощь при настройке канала, В. С. Кузнецова, выполнившего магнитные измерения полей в экранах, К. П. Мызникова, В. Г. Рогозинского, Н. М. Тараканова, Б. Н. Теркина за помощь при конструктивной проработке участка вывода.

Поступило в Редакцию 22/VII 1971 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. К. И. Губриенко и др. Международная конференция по ускорителям высоких энергий. Т. 1. Ереван. Изд. АН АрмССР, 1970, стр. 471.
2. Ю. М. Сапунов, А. М. Фролов. Препринт ИФВЭ 68-69, Серпухов, 1969.
3. К. П. Мызников и др. Препринт ИФВЭ 68-56-К, Серпухов, 1968.
4. Ю. М. Антипов и др. Препринт ИФВЭ 70-38, Серпухов, 1970; «Ядерная физика», 13, 135 (1971).
5. И. А. Александров и др. «Атомная энергия», 29, 29 (1970).
6. Ю. П. Горин и др. Препринт ИФВЭ 70-48, Серпухов, 1970.
7. Ю. П. Горин и др. Препринт ИФВЭ 71-30, Серпухов, 1971.

ПОРЯДОК ДЕПОНИРОВАНИЯ СТАТЕЙ

Депонирование статей осуществляется или по просьбе авторов, или по решению редакционной коллегии журнала.

В журнале печатаются подробные аннотации статей, а полные тексты хранятся в редакции в течение 5 лет и высылаются читателям по их требованию наложенным платежом. Объем аннотации не должен превышать 2 стр. машинописного текста, а объем депонируемого текста — 12 стр. В отдельных случаях в аннотацию можно включать рисунок, таблицу, основные формулы и т. п. (уменьшив соответственно объем текстового материала аннотации).

Депонированные статьи являются научными публикациями и учитываются при защите диссертаций.

Статьи, представленные для депонирования, должны быть окончательно отработаны авторами и пригодны для фотографического воспроизведения (первый экземпляр), в связи с чем необходимо соблюдать следующие правила их подготовки.

1. Текст следует печатать на машинке с жирной черной лентой через два интервала на одной стороне белой односортной бумаги форматом $21 \times 30 \text{ см}$ с полями слева и снизу не менее 3 см и справа 1 см . При перепечатке текста на первой странице оригинала необходимо отступать на 10 см сверху (место для клише «Атомная энергия»). Никакие поправки чернилами или карандашом над словами не допускают-

ся. Исправления выполняются путем вклеивания.

2. Необходимо вписывать формулы тушью или черными чернилами; разметку формул в тексте (подчеркивание красным или синим карандашом и т. д.) делать не следует.

3. Рисунки необходимо выполнять на ватманской бумаге или кальке, наклеивать их на стандартные форматные страницы и помещать в конце статьи, после таблиц и списка литературы. Каждый рисунок следует снабжать подрисунком подписью. Рисунки должны быть достаточно отчетливыми для фотографического воспроизведения. Включение в рукопись тоновых рисунков не допускается в связи с трудностью их копирования. В необходимых случаях тоновый рисунок выполняется штриховым методом.

4. Допускается в виде исключения печатать отдельные (большие) таблицы на неформатных листах (вклейках).

5. Все страницы рукописи (включая приложение) должны быть пронумерованы (первой страницей считается титульный лист, на нем цифра «1» не ставится, на следующей странице представляется цифра «2» и т. д.). Порядковый номер печатается в середине верхнего поля страницы.

6. Первый экземпляр рукописи должен быть подписан автором в конце статьи.

В случае несоблюдения указанных правил оформления статей рукописи возвращаются авторам.