

ПУЧКИ ВТОРИЧНЫХ ЧАСТИЦ НА ПРОТОННОМ СИНХРОТРОНЕ С ЭНЕРГИЕЙ 70 ГЭВ

К. И. ГУБРИЕНКО, Е. В. ЕРЕМЕНКО, В. И. КОТОВ, А. В. САМОЙЛОВ,
Р. М. СУЛЯЕВ, Ю. С. ХОДЫРЕВ

Институт физики высоких энергий, Серпухов
Докладчик В. И. Котов

На протонном синхротроне Института физики высоких энергий создан целый комплекс каналов вторичных частиц, которые обеспечивают проведение широкой программы физических исследований с использованием разнообразной методики. План размещения каналов в экспериментальном зале размерами 156 x 90 м² приведен на рис. 1. В основном созданные каналы предназначены для работы с высоко-энергичными пучками вторичных частиц, генерируемых на внутренних мишенях. Перемещая мишени по радиусу и используя специальные методы наведения ускоренного протонного пучка на мишень [1], можно варьировать импульс вторичных частиц в сравнительно широких пределах при постоянной энергии ускоренного протонного пучка. Так, в канале отрицательных частиц с импульсом до 60 Гэв/с [2] (канал № 2) при $E_p = 70$ Гэв рабочий диапазон импульсов составляет 40 ÷ 60 Гэв/с, а в канале отрицательных частиц с импульсом до 40 Гэв/с (канал № 4) — соответственно 25 ÷ 40 Гэв/с. При этом для уменьшения углов образования вторичных частиц в каналах № 2 и 4 используются мишенные станции, которые состоят из трех мишеней, отстоящих друг от друга на расстоянии ~ 70 см.

Каналы спроектированы таким образом, что формируемые пучки могут отклоняться на несколько экспериментальных установок. Например, на канале № 2 размещены магнитный спектрометр с искровыми камерами (направление а), установка для изучения полных сечений (направление б) и процессов упругого рассеяния (направление в). На канале № 4 располагаются: установка по исследованию процессов перезарядки (направление а), пузырьковая камера и установка по изучению процессов рассеяния назад (направление б), установка для поиска тяжелых частиц и магнитный спектрометр с искровыми камерами (направление в). В результате такого подхода к проектированию каналов

обеспечивается необходимая мобильность в подготовке и проведении экспериментов со сложной и громоздкой физической аппаратурой.

В каналах использованы стандартные квадрупольные линзы, поворотные магниты и другие устройства, разработанные в НИИЭФА им. Д. В. Ефремова. Основные характеристики магнитных элементов приведены в таблице 1, а результаты измерений полей и градиентов даны в [3].

Канал № 2. Оптическая схема этого канала приведена на рис. 2. Пучок вторичных частиц, генерируемых на мишени, расположенной в 24-ом блоке ускорителя, на выходе из ускорителя ограничивается апертурами вертикального С1 и горизонтального С2 коллиматоров (см. рис. 1). Максимальный телесный угол захвата частиц в канал составляет 32 мкстер. Первый объектив состоит из четырех квадрупольных линз Q1—Q4, работающих в режиме дублета с фокусировкой типа ДДФФ в горизонтальной плоскости. В этой плоскости объектив Q1—Q4 фокусирует пучок в центр импульсного коллиматора С3, а в вертикальной плоскости совместно с полевой линзой Q5 преобразует его в параллельный. Поворотный магнит М1 с учетом действия рассеянного для ускорителя обеспечивает дисперсию пучка на импульсном коллиматоре С3 равную 6 мм на 1% $\Delta p/p$. Полевая линза Q5 вместе с магнитами М2 и М3 осуществляет компенсацию линейной и угловой дисперсии в пучке частиц. После этих магнитов дублет Q6—Q7 с фокусировкой типа ФД в горизонтальной плоскости трансформирует пучок частиц в обеих плоскостях в параллельный. Параллельный участок предназначен для установки дифференциальных черенковских счетчиков с высокой разрешающей способностью. В конце параллельного участка дублет Q9, Q10 или триплет Q8, Q9, Q10 в зависимости от требований эксперимента фокусирует пучок на мишень экспериментальной установки. Сформированный в канале пучок при включении магнитов М4, М5 можно отклонять на направления а) и в). При этом окончательное изображение формируется дублетом Q8, Q9 с фокусировкой типа ДФ в горизонтальной плоскости. На направлении в) кроме М4, М5 установлен еще один магнит М6, позволяющий варьировать угол падения пучка на мишень. Основные параметры сформированных на этом канале (направление б) пучков приведены в таблице 11.

Канал для поиска кварков (№2Г). Постановка эксперимента по поиску частиц с дробным зарядом $1/3$ (кварков) [5], потребовала создания канала обладающего рядом специфических особенностей. При работе в области импульсов, соответствующих предполагаемому максимуму выхода кварков [5], канал должен быть настроен на режим с импульсом частиц единичного заряда 80 Гэв/с. При $E_p = 70$ Гэв для указанного режима работы будут отсутствовать частицы с нормальным зарядом. Это обстоятельство существенно облегчает постановку эксперимента с точки зрения фоновых условий, но предполагает настройку канала на пучке частиц с импульсом 60–65 Гэв/с.

с последующей экстраполяцией отлаженных режимов на импульс 80 Гэв/с. Для повышения светосилы канала была выбрана схема безлинзового магнитного анализатора, состоящего из четырех одинаковых магнитов [6] (см. рис. 2б) и позволяющего формировать пучки с достаточно большим разбросом частиц по импульсам ($\sim 15\%$) при хорошей компенсации угловой и линейной дисперсии. Фокусировка частиц в горизонтальной плоскости в центр импульсного коллиматора С4 в этой системе (см. рис. 2б), осуществляется дублетом Q1—Q4. В вертикальной плоскости этот объектив преобразует пучок в параллельный. Формирование изображения на экспериментальную установку осуществляется дублетом Q5, Q6. Поворотный магнит М5 является частью экспериментальной установки. Максимальный телесный угол захвата частиц в канал составляет 35 мкстер, а светосила канала $\int \Omega(p) dp \approx 300$ мкстер. Гэв/с. Элементы С1, С2, Q1—Q4 и М1 являются общими с каналом № 2. Однако при переходе с канала на канал указанные элементы должны несколько смещаться и поворачиваться на своих подставках. Различие в направлениях выхода частиц из поля ускорителя связано с тем обстоятельством, что при существенно различных режимах работы для обоих каналов используется одна и та же мишенная станция.

Канал № 4. В этом канале оптика начального участка и мишенная станция, размещенная в 27-ом блоке ускорителя, аналогичны каналу № 2. В отличие от канала № 2 отклонение пучка на разные направления осуществляется после импульсного анализа (см. рис. 1), так что оптические схемы каждого из трех ответвлений существенно различны. Оптическая схема канала приведена на рис. 3. При работе на направление а) дублет Q1, Q2 фокусирует пучок в горизонтальной плоскости в центр импульсного коллиматора С5, установленного перед магнитом М2. Магнит М1 с учетом рассеянного поля ускорителя обеспечивает на импульсном коллиматоре дисперсию пучка равную 8 мм на $1\% \Delta p/p$. Так как магнит М2 отклоняет пучок в противоположную сторону по отношению к магниту М1, то не происходит компенсации дисперсии в сформированном пучке. Концевой объектив Q4, Q5 с фокусировкой типа ФД в горизонтальной плоскости преобразует пучок в параллельный в обеих плоскостях. Телесный угол захвата частиц в канал составляет 36 мкстер.

На направлении б) использована ахроматическая система аналогичная каналу № 2, но без параллельного участка. Импульсным коллиматором в этом случае является С4, где обеспечивается дисперсия пучка равная 6 мм на $1\% \Delta p/p$. Дублет Q6, Q7 фокусирует пучок на водородную мишень (эксперимент по рассеянию назад) или в центр коллиматоров С6, С7 при работе пузырьковой камеры. В последнем случае также работает дублет Q8, Q9, формирующий пучок на камеру. Магнит М4 входит в состав экспериментальной установки, а также играет роль раздаточного магнита. Телесный угол захвата в канал составляет 18 мкстер.

Направление в) является наиболее протяженным (~ 150 м) и насыщенным оптическими элементами. На этом направлении осуществляется двойной импульсный анализ пучка (коллиматоры С3, С8). Обе половины оптической системы подобны и являются стандартными ахроматическими системами, как в канале № 2 и на направлении б). На выходе первой ахроматической системы пучок в обеих плоскостях преобразуется в параллельный дублетом Q10, Q11. Параллельный участок предусмотрен для размещения дифференциальных черенковских счетчиков. Телесный угол захвата частиц в канал равен 30 мкстер.

Основные характеристики пучков на канале № 4 приведены в таблице 3.

Каналы № 1К° и № 2°К. Данные каналы предназначены для экспериментов с К°-мезонами и нейтронами. Мишень канала № 1К° установлена в прямолинейном промежутке между блоками ускорителя 29 и 30, а мишень канала № 2 К°—в середине 32-го блока. Углы образования частиц на мишенях составляет 1° и 2° соответственно. Измеренная интенсивность пучка нейтронов на канале № 1К° приблизительно равна 10^8 частиц за импульс при интенсивности ускоренного пучка протонов 10^{12} цикл $^{-1}$ и $E_p = 70$ Гэв.

Канал № 6. Для наладки физической аппаратуры на ускорителе создан простой канал положительных частиц. Мишень этого канала располагается в конце 33-го блока ускорителя. При фиксированном значении поля отклоняющего магнита М пучки вторичных частиц соответствующих импульсов направляются на 6 коллиматоров диаметром 10 см, расположенных в бетонной защите толщиной от 5 до 7 м. Таким образом, на канале обеспечиваются условия для одновременной наладки 6-ти физических установок. Диапазон импульсов частиц, выводимых в канал, составляет от 0,8 до 20 Гэв/с. Интенсивность частиц в пучке с импульсом 2 Гэв/с приблизительно равна 10^6 цикл $^{-1}$ при $E_p = 70$ Гэв и интенсивности ускоренного пучка 10^{12} цикл $^{-1}$.

В заключение авторы выражают глубокую благодарность всем подразделениям института, принимавшим участие в наладке каналов и их эксплуатации.

Таблица 1

Основные характеристики поворотных магнитов и квадрупольных линз

Тип оборудования	Поворотные магниты			Квадрупольные линзы		
	СП-129	СП-12А	СП-7А	20К200	20К100	10К200
Максимальное поле в кГс, градиент в Гс/см	18	18	18	1300	1300	2000
Апертура в см	10×33	20×50	20×50	20	20	10
Длина по железу в см	400	300	600	200	100	200
Номинальный ток возбуждения в амперах	1200	1700	2430	350	3500	1100
Падение напряжения на обмотке в вольтах	185	215	400	130	75	90
Расход воды в л/мин при перепаде давлений 5 атм	76	122	380	190	100	28
Вес в тоннах	36,6	70,4	96	8,9	4,65	2,2
Габаритные размеры в см (длина, ширина, высота)	475×238× ×926	450× ×220× ×169	720× ×214× ×109	230×64× ×140	130×64× ×132	223× ×56,6× ×85

Таблица 2

Основные параметры пучков на канале №26, ($E_p=70$ Гэв, угол образования частиц 0° , телесный угол захвата 8,5 мкстер)

Импульс вторичных частиц, Гэв/с	60	50	40
Интенсивность частиц в канале за цикл при $p=1$ Гэв/с и интенсивности протонного пучка 10^{13} цикл $^{-1}$	10^4	10^5	$7 \cdot 10^5$
K^-/P^-*	$8 \cdot 10^{-4}$	$1,15 \cdot 10^{-2}$	$3,1 \cdot 10^{-2}$
P/P^-*	$1,1 \cdot 10^{-5}$	$4,9 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$
Размеры пучка на параллельном участке (гор. х верт.) см 2		$6,5 \times 3$	
Расходимость пучка на параллельном участке, мрад		0,5	
Размеры пучка в оконечном изображении при включении дублета Q9, Q10, см 2		$3,2 \times 1,5$	
Размеры пучка в оконечном изображении при включении триплета Q8, Q9, Q10, см 2		$2,3 \times 2,5$	

* Интенсивности и состав пучка взяты из работы [4].

Таблица 3

Основные параметры пучков на канале №4 ($E_p=70$ Гэв, угол образования частиц на мишени 0°)

Импульс вторичных частиц, Гэв/с	25	31,6	40
Интенсивность частиц в канале за цикл при $p=1$ Гэв/с и интенсивности протонного пучка 10^{12} цикл $^{-1}$		$\approx 10^6$	
K^-/P^-*	$5,2 \cdot 10^{-2}$	$4,4 \cdot 10^{-2}$	$3,1 \cdot 10^{-2}$
P/P^-*	$1,1 \cdot 10^{-2}$	$6,3 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$
Размеры пучка на экспериментальной установке на направлении а) (гориз. х верт) см 2		$3,5 \times 2,5$	
Размеры пучка в оконечном изображении на направлении б) (гориз. х верт). см 2			(2x1,6)
Размеры пучка в оконечном изображении на направлении в) (гориз. х верт). см 2			(1,5x16)

* Данные по составу пучка взяты из работы [7].

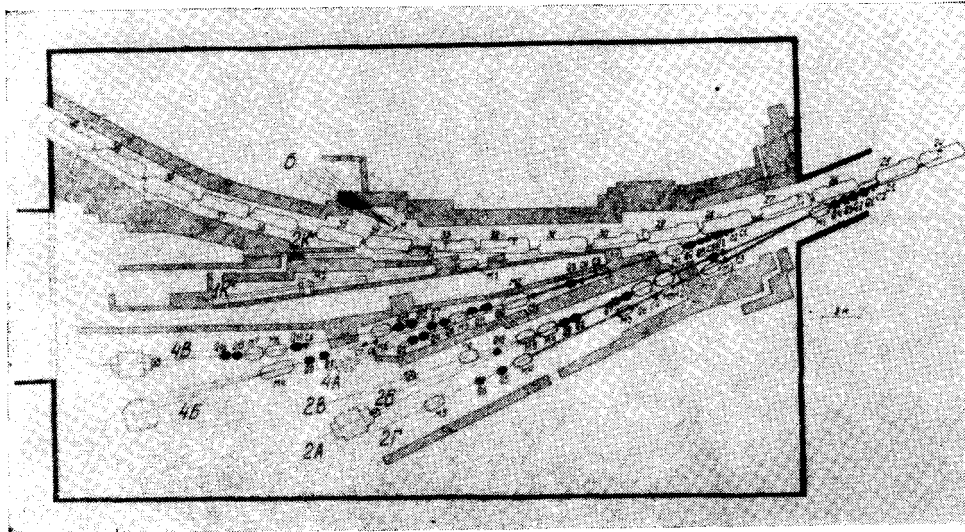


Рис. 1. План размещения пучков в экспериментальном зале

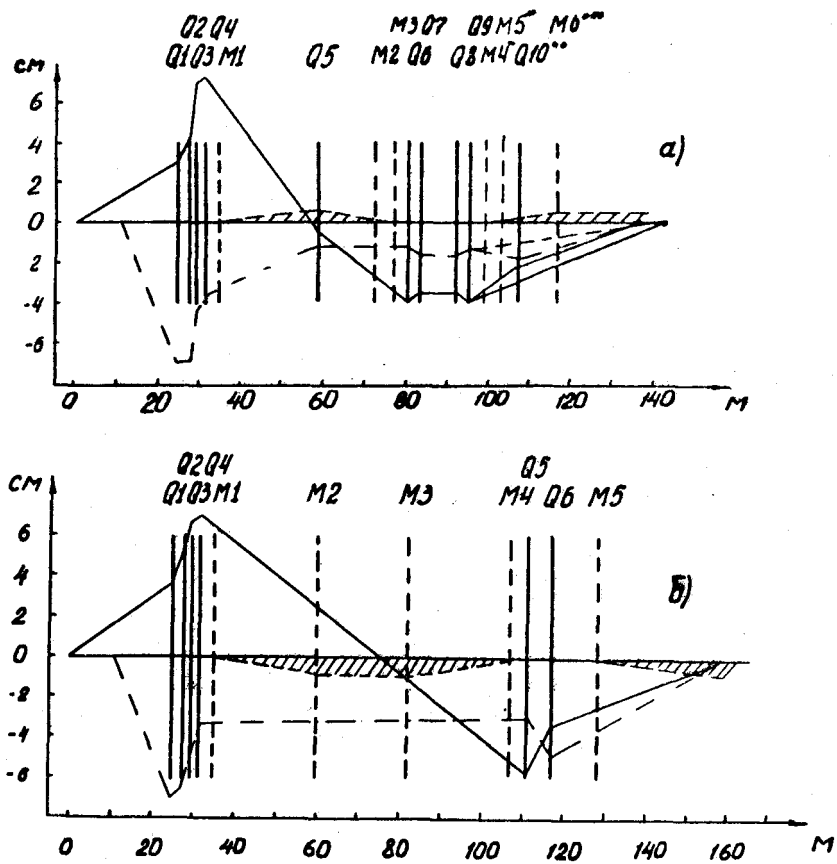


Рис. 2. Оптические схемы канала № 2 (рис. 2а) и канала для поиска кварков (рис. 2б); ————— горизонтальная плоскость, - · - · - вертикальная плоскость, ———— дисперсия для $1\% \frac{\Delta p}{p}$ (*) элементы, используемые на направлениях а) и в); **) элемент, используемый на направлении б) ***) элемент, используемый на направлении в).

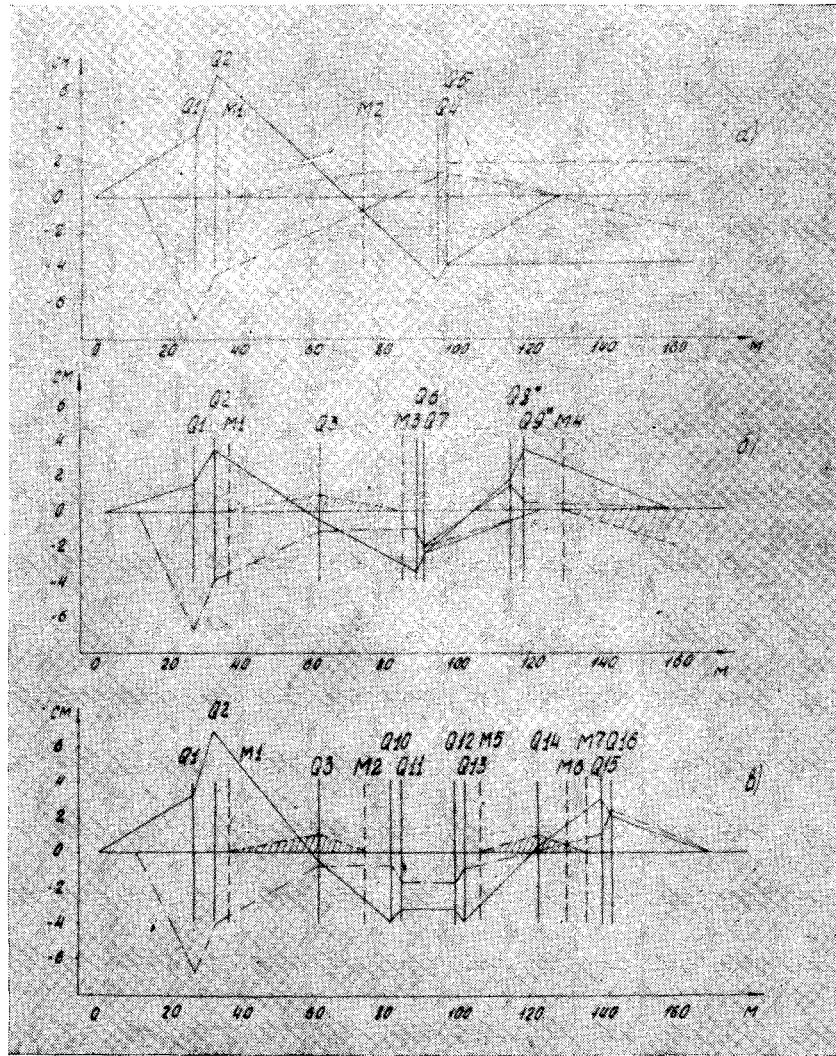


Рис. 3. Оптические схемы канала № 4: направление а) (рис. 3а), направление б) (рис. 3б), направление в) (рис. 3в); ———— горизонтальная плоскость, - - - - - вертикальная плоскость, - · - · - · дисперсия для 1% $\Delta n/n^*$; элементы, используемые при работе на пузырьковую камеру.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. И. Гридасов, К. П. Мызников, препринт ИФВЭ/СКУ 68—60 1968 г.
2. И. А. Александров, М. И. Грачев, К. И. Губриенко и др., препринт ИФВЭ 69—36 1969 г.
3. А. В. Алексеев, М. Д. Веселов, В. С. Кузнецов и др., препринт ИФВЭ/ОП 68—62 1968 г.
4. Дж. В. Аллаби, Ю. Б. Бушнин, Ф. Бинон, Ю. П. Горин и др., препринт ИФВЭ/СЭФ 69—18 1969 г.
5. Ю. М. Антипов, В. Н. Болтов, Н. К. Вишневский и др., препринт ИФВЭ/СЭВ 69—49 1969 г.
6. К. G. Steffen, High Energy Beam Optics. Interscience Publishers, 1965.
7. Ф. Бинон, Н. К. Вишневский, П. Дютейль и др. Доклад на международной конференции по физике частиц высоких энергий, Луид, Швеция, 1969 г.

ДИСКУССИЯ

Barbalat: How do you measure beam size at the focus point?

Котов: Мы используем для измерения размеров пучков обычные сцинтилляционные «пальцевые» счетчики.

Kuiper: What is the stability of the beam on the target?

Котов: Работа каналов достаточно стабильна и не требует какой-либо коррекции в процессе эксперимента.

Agoritsas: It appears from your paper as well as from the paper presented by V-Gridasov that in some of your secondary beams the particle fluxes are of the order of 10^6 per burst. Under such conditions I wonder how your scintillation counters can work properly. These conditions are even worse if any structure HF or LF is present. Have you ever measured the HF structure of your bursts produced on internal targets and if so what method have you used? Would you also tell us how debunch the circulating proton beam.

Котов: Потоки частиц в каналах можно ограничивать коллиматорами. Как отмечалось в докладе В. Гридасова, колебания плотности в импульсе вторичных частиц не превышают 10%.

Barbalat: How do you debunch?

Котов: Путем выключения ускоряющего в. ч. поля на плоской части цикла магнитного поля.

Neale: Are the fluxes higher or lower than expected? For example how do they compare with those predicted by Ranft?

Котов: Полученные результаты по образованию вторичных частиц высоких импульсов ниже ожидаемых, особенно для антипротонов. Детальное сравнение с расчетами Ранфта мною не проводилось.

Lengeler: I got cross-section values Dr. Ranft which for π^- are too high by a factor 3, for K^- by a factor 10 and for \bar{p} even much more especially at the upper end of the production spectrum.