

K-431

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

13 - 6365

А.Д.Кириллов

ПУЧКИ ВТОРИЧНЫХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ
НА СИНХРОФАЗОТРОНЕ ЛАБОРАТОРИИ
ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Специальность 040 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Дубна · 1972

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий
Объединенного института ядерных исследований

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук

старший научный сотрудник

В.И. КОТОВ

доктор физико-математических наук

старший научный сотрудник

В.А. СВИРИДОВ

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Институт теоретической и экспериментальной физики

г. Москва

Автореферат разослан "20" августа 1972 г.

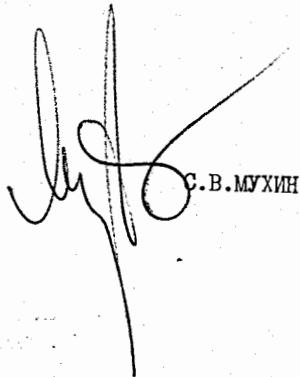
Защита диссертации состоится " " 1972 г.

на заседании Ученого совета Лаборатории высоких энергий
Объединенного института ядерных исследований (Дубна, Моск. обл.)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛВЭ.

Ученый секретарь Совета,

кандидат физико-математических наук



С.В. МУХИН

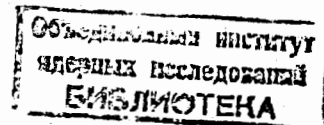
А.Д. Кириллов

ПУЧКИ ВТОРИЧНЫХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ
НА СИНХРОФАЗОТРОНЕ ЛАБОРАТОРИИ
ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Специальность 040 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)



Развитие физики элементарных частиц и методики физических исследований в значительной степени обязано появлению ускорителей высоких энергий. Если при создании первых ускорителей вопросы обеспечения физических экспериментов пучками первичных и вторичных частиц не являлись главными, в настоящее время повышению эффективности их использования уделяется все большее внимание. Непрерывно проводятся работы, направленные на улучшение параметров как самих ускорителей (увеличивается интенсивность, частота циклов, длительность растяжки и т.д.), так и пучков вторичных частиц.

Широкий диапазон требований, предъявляемый к параметрам пучков вторичных частиц, стимулирует создание сложных магнитно-оптических систем, в некоторых случаях состоящих из десятков линз и магнитов. Одни из таких систем обеспечивают высокое импульсное разрешение, другие — малый конечный эмиттанс пучка, третьи — хорошее угловое разрешение и т.д.

За период с 1957 по 1971 г.г. в Лаборатории высоких энергий введен в строй комплекс каналов вторичных заряженных частиц, обеспечивший проведение широкой программы исследований с применением самой разнообразной методики^{/1-8/}.

В диссертации систематизированы и обобщены результаты исследований автора, связанные с проектированием и наладкой каналов в ЛВЭ ОИЯИ, опубликованные в препринтах и сообщениях ОИЯИ или доложенные на конференциях^{/6,9-13/}.

Диссертация состоит из четырех глав и заключения. В первой главе рассматриваются свойства основных элементов магнитной оптики — квадрупольных линз и магнитов, а также простейших их комбинаций.

Для описания движения частиц в линзах и магнитах используется матричный аппарат, позволяющий достаточно просто выявить общие свойства как отдельных элементов, так и сложных оптических систем. Анализ действия магнитного поля на частицы проводится в линейном приближении, которое допускает независимое описание траекторий частиц в вертикальной и горизонтальной плоскости.

Вводятся представления "тонкой" и "полутонкой" линзы, используемые весьма часто для практических расчетов при выборе оптической схемы канала. В этой главе рассматриваются также квадратичные аберрации квадрупольных линз, причем особое внимание уделя-

ется наиболее сильной аберрации – хроматической. Заканчивается глава описанием общих свойств симметричных магнитных систем. Возможность простого матричного представления сложных симметричных систем часто позволяет при расчетах конкретных, обычно несимметричных систем, опираться на типовые симметричные системы.

Во второй главе обсуждаются вопросы, связанные с выбором оптической схемы канала.

Если известны начальные характеристики пучка (на выходе из ускорителя) и желаемые параметры в районе экспериментальной установки, тем самым оказываются известными некоторые (иногда все) коэффициенты полной матрицы перехода. Задача состоит в том, чтобы подобрать такие комбинации элементов в транспортирующей системе, которые обеспечили бы выполнение этих условий.

Выбор оптической схемы канала включает:

1. Определение количества, типов, мест установки и режимов работы квадрупольных линз и магнитов;
2. Определение положения, размеров и материала мишени, импульсных, апертурных и других коллиматоров;
3. Оценку допусков на параметры элементов;
4. Оценку интенсивности, импульсного разрешения, размеров изображения, расходимости и фона.

Вещество и размеры мишени выбираются из условия получения максимальной интенсивности вторичных частиц при выполнении также и других требований к пучку (размеры изображений, импульсное разрешение, расходимость и т.д.). В каналах, формирующих пучки для пузырьковых камер, применяют толстые мишени (5–10 см) из вещества с большим Z (медь, свинец, вольфрам, уран), что увеличивает выход вторичных частиц и уменьшает время взаимодействия. При формировании пучков для электронных экспериментов используют как толстые, так и тонкие^{*/} мишени – при соблюдении определенных условий эффективность ядерного взаимодействия первичного пучка с тонкой мишенью может достигать – 0,6, а время взаимодействия ≥ 500 мсек (из-за многократного прохождения).

Выделяемый каналом интервал импульсов определяется размерами зазора коллиматора, располагаемого в плоскости изображений перво-

^{*/} Тонкой считается такая мишень, ионизационные потери в которой при однократном прохождении первичных протонов много меньше прироста энергии за один оборот.

го объектива. Разделение на коллиматоре тем лучше, чем больше дисперсионное смещение и меньше размер изображения. Форма импульсного спектра при увеличении разделения стремится к прямоугольной. Уменьшение зазора сначала снижает интервал пропускаемых импульсов, не меняя практически формы спектра. Дальнейшее сужение зазора, когда расстояние между пластинами коллиматора становится сравнимым с размерами изображения для β , вызывает снижение интенсивности, изменение формы спектра и лишь незначительное уменьшение Δp . Для улучшения разрешения в ряде случаев щель в коллиматоре делают "фигурной" – боковые стенки наклоняют таким образом, чтобы свободно проходили крайние траектории частиц с импульсом $\beta - \Delta p$ и $\beta + \Delta p$. "Фигурный" коллиматор более выгоден и с точки зрения снижения фона – частицы за пределами зазора пересекают стенки под меньшими углами и в среднем теряют большую энергию.

Дисперсия частиц позволяет выделять импульсный интервал в канале, однако увеличивает размеры пучка в последующих элементах и в конечном изображении. Для исключения влияния дисперсии на параметры пучка проводят компенсацию угловой и линейной дисперсии частиц – ахроматизацию. Ахроматизация – совмещение (в линейном приближении) осевых траекторий и сечений пучка для всего набора импульсов, пропускаемых каналом. Методы построения ахроматических магнитно-оптических систем рассматриваются в диссертации на примерах зеркально-симметричных систем и систем с симметрией более сложного вида.

Если условия, сложившиеся в экспериментальных залах, не позволяют создать ахроматическую систему, компенсируется только линейная дисперсия (для получения более узкого конечного изображения), или только угловая (при формировании пучков с малой расходимостью). К пучкам со скомпенсированной линейной дисперсией в конечном изображении на синхрофазотроне ЛВЭ относятся пучки вторичных частиц, формируемые в каналах МЗ, 4, 6, 13, 13а. (Расположение каналов показано на рис. I.)

В канале М1 применена оптическая схема, позволяющая осуществлять компенсацию угловой дисперсии при отклонении пучка на два направления (А или В).

2) малую длину ядерного взаимодействия (λ);

3) достаточно большую плотность (ρ).

Эти требования являются противоречивыми, так как меньшую длину ядерного взаимодействия и большую радиационную длину имеют легкие вещества.

Если для оценки пригодности вещества ввести коэффициент "качества", составленный с учетом вышеперечисленных требований ($\xi = \frac{\lambda}{\rho \cdot X_0}$), оказывается, что наименьшую величину ξ дают легкие материалы (бериллий, углерод и т.д.). Из металлов меньшее значение ξ имеют вольфрам, медь и железо, наибольшее - свинец. Таким образом, в области средних и высоких энергий наиболее целесообразно использовать для изготовления коллиматоров вольфрам, однако, учитывая его стоимость и трудность обработки, чаще применяют медь или железо. В некоторых случаях делают комбинированные коллиматоры - большая часть блоков изготавливается из железа, а внутренние стенки - из меди или даже вольфрама.

При выборе оптической схемы всегда учитывается влияние изменения параметров элементов канала на конечные характеристики пучка. В главе II (§9) приводятся формулы для оценки допусков на изменения параметров магнитов и квадрупольных линз, вызываемых ошибками в установке элементов в канале и отклонениями токов от расчетных значений.

В конце главы рассматриваются вопросы расчета магнитно-оптических систем по специальным программам на ЭВМ (программа "Фокус" и IO47) /I4, I5/.

В главе III обсуждаются вопросы реализации проектов транспортирующих систем: трассирование направлений каналов, установка и юстировка элементов, исследование параметров и выбор оптимальных режимов работы (с пучком вторичных частиц).

Расчеты допусков, проводимые при проектировании каналов в ЛВЭ, позволили оценить необходимую точность установки элементов и стабильность поддержания в них заданных токов:

а) поперечное смещение квадрупольных линз

$$\Delta X (\Delta y) \leq 0,1 \text{ мм};$$

б) поворот линзы вокруг поперечной оси $x(y)$

$$\alpha_{xy} \leq 0,02 \text{ рад};$$

в) поворот линзы вокруг оси Z (ось канала)

$$\alpha_z \leq 3 \cdot 10^{-3} \text{ рад};$$

г) продольное смещение магнита

$$\Delta Z \leq 1 \text{ мм};$$

д) стабильность тока в линзах

$$\Delta I \leq 2 \cdot 10^{-3} \cdot I;$$

е) стабильность тока в магнитах

$$\Delta I \leq 2 \cdot 10^{-4} \cdot I;$$

Применяемая в ЛВЭ методика обеспечила требуемую точность юстировки.

Определение магнитной оси квадрупольной линзы проводилось способом, предложенным в 1966 году в ЛВЭ /I6/. Способ основывается на том факте, что на парамагнитные и диамагнитные тела, помещаемые во внешнее магнитное поле, действуют силы, направленные в случае парамагнетика в сторону полюсных наконечников (в сторону более сильного поля) и в случае диамагнетика - в сторону оси линзы, где поле равно нулю. Если в коллоидный раствор парамагнитной соли (например, $FeCl_2$), помещенный в прозрачной кювете между полюсными наконечниками, добавить каплю диамагнитной жидкости, диамагнетик соберется на магнитной оси линзы, образуя прозрачный цилиндр, вытянутый по всей длине кюветы. При освещении кюветы с раствором источником света на темном фоне коллоида видна яркая "точка", фиксирующая положение оси. Точность определения магнитной оси данным способом не хуже $\pm 0,05$ мм.

Так как сепараторы, применявшиеся в ЛВЭ, не имеют компенсирующего магнитного поля, вывод пучка на ось канала осуществляется магнитами, установленными или между двумя сепараторами (один магнит) или с обеих сторон сепаратора.

В каналах, формирующих обогащенные пучки K^+ -мезонов низких энергий (≤ 1 Гэв), установка двух компенсирующих магнитов существенно увеличивает длину канала. В ЛВЭ предложен способ компенсации с помощью квадрупольных линз. Одну из линз перед сепаратором смещают в плоскости сепарации таким образом, чтобы пучок на входе в сепаратор имел угловое отклонение $\alpha/2$ (α - угол отклонения полезных частиц в сепараторе). Смещение одной из линз выходного объектива, определяемое из условия

$$\Delta y_i (1 - V_i) V_{n-i} + \Delta y_m (1 - V_m) V_{n-m} = 0,$$

($\Delta y_i, \Delta y_m$ - величины смещения линз до и после сепаратора; V_i, V_m - коэффициенты увеличения смещаемых линз; V_{n-i}, V_{n-m} - коэффициен-

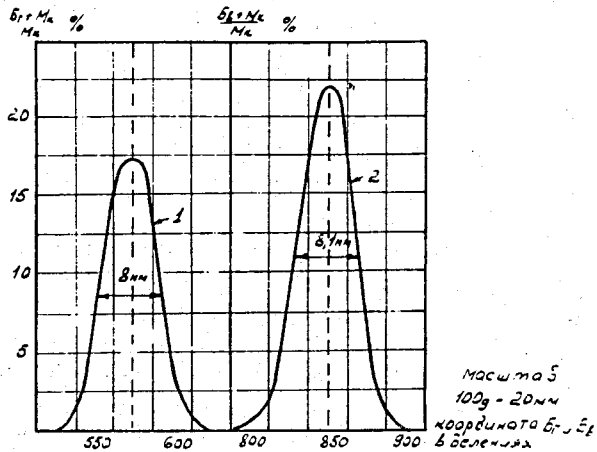


Рис. 2. Распределение интенсивности частиц в конечном изображении канала №1 (наладочный вариант)
 1 - горизонтальная плоскость (снята 1,5 мм сантиметром)
 2 - вертикальная плоскость (снята 2 мм сантиметром)

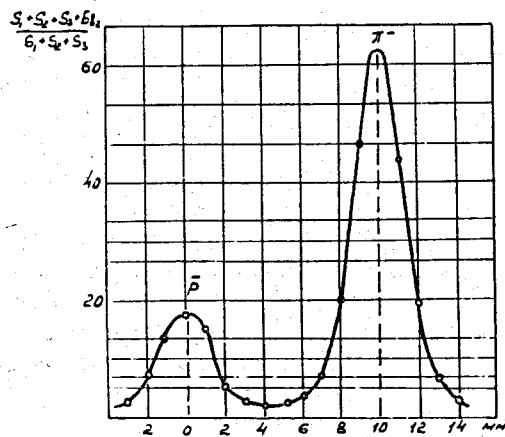


Рис. 3. Профиль пучка на второй массовой щели канала №13 (вертикальная плоскость)

ты увеличения системы послестоящих линз) позволяет вывести частицы снова на ось канала.

Весь процесс настройки канала делится на несколько этапов, последовательное выполнение которых обеспечивает получение пучка с нужными характеристиками:

- а) юстировка элементов канала пучком,
- б) наладка первого объектива,
- в) настройка промежуточных и конечного объективов,
- г) проверка значения импульса и ΔP ,
- д) определение расходимости частиц и массового состава,
- е) измерение интенсивности.

Исследование параметров магнитно-оптических систем на синхрофазотроне ЛВЭ в диссертации прослежено на примере канала №1, формирующего пучки π^- -мезонов для электронных экспериментов, и канала №13, формирующего пучок антипротонов.

Для проведения наладочных работ и исследования параметров пучков использовалась разнообразная регистрирующая аппаратура, разработанная в ЛВЭ. Настройка режимов работы каналов осуществлялась, как правило, на основании изучения профиля пучка и на максимум интенсивности. Исследование характеристик каналов всегда базировалось на расчетах ожидаемых параметров пучка в различных характерных местах магнитно-оптических систем, что позволило значительно сократить время наладки. На рис. 2 и 3 приведены характерные распределения интенсивности частиц в конечном изображении каналов №1 и №13.

Описание разработанных на синхрофазотроне ЛВЭ каналов, особенности их оптических схем и параметры сформированных пучков даются в четвертой главе диссертации. Каналы, формирующие высокоинтенсивные пучки π^- -мезонов для экспериментов с применением электронной методики, оканчиваются, как правило, в измерительном павильоне первого корпуса (корпус приспособлен для работы с водородными мишенями). Каналы, транспортирующие сепарированные пучки для экспериментов с пузырьковыми камерами, размещаются в экспериментальном зале корпуса 1Б.

При проектировании каналов учитывалась возможность отклонения формируемых пучков на несколько экспериментальных установок. Например, на канале №1 (направление А) располагалась эксперименталь-

ная аппаратура для измерения полных сечений Π -р взаимодействия, а на направлении В – система искровых камер и магнитный спектрометр для изучения реальной части амплитуды упругого рассеяния в Π -р взаимодействии вперед.

Канал М1 формирует пучки Π^- -мезонов в области импульсов 1,5 – 7,0 Гэв/с. При работе в диапазоне импульсов 3–7 Гэв/с используются роторные мишени 6Р и 10Р, устанавливаемые во втором секторе ускорителя. Для генерации частиц с импульсом 1,5 – 2,5 Гэв/с применялась "плунжерная" мишень 5В. Мишени имеют размеры 3 x 3 x 100 мм³ и изготавливаются чаще всего из латуни.

В канале принята двухобъективная оптическая схема с компенсацией угловой дисперсии. В случае перевода пучка на направление В в горизонтальной плоскости формируется дополнительное изображение (для изменения знака дисперсии). Импульсный анализ осуществляется магнитным полем синхрофазотрона и магнитом М1 ($\varphi = +0,052$ рад). Суммарное линейное дисперсионное смещение на импульсном коллиматоре ~ 9 мм на 1%

Пучок транспортируется в вакуумпроводе (давление $\sim 10^{-3}$ – 10^{-4} мм рт.столба).

В 1971 году на этом канале (направление А) был проведен эксперимент по наблюдению Π^- -мезонов высокой энергии, образующихся при столкновении релятивистских дейтронов с ядрами мишени ¹⁷Тl.

Канал №6 формирует пучки Π^- -мезонов в области импульсов 3–7 Гэв/с. Для генерации Π^- -мезонов используются мишени 9Р (3–4,6 Гэв/с) и 5Р (4,6–7,26 Гэв/с). Начальная дисперсия частиц – 12 мм на 1% $\frac{\Delta p}{p}$. Первый объектив (ФД* – в вертикальной плоскости) формирует изображение на коллиматоре, размеры зазора которого позволяют выделять трехпроцентный импульсный интервал. Второй объектив (ДФ – в вертикальной плоскости) переводит изображение на экспериментальную установку. Угол поворота в конечном магните обеспечивает компенсацию линейной дисперсии.

Канал №10 имеет общую с каналом №6 головную часть (мишени и первый объектив).

Дисперсионное смещение на импульсном коллиматоре равно разности начального смещения и линейной дисперсии, определяемой углом

* ФД – первая линза фокусирующая, вторая – дефокусирующая.

отклонения частиц в магните М1 (отклонение частиц в магните синхрофазотрона и в М1 происходит в разные стороны).

На канале проводились исследования радиационных распадов бозонных резонансов и измерялось Π^- р рассеяние вблизи 180° в области импульсов налетающих Π^- -мезонов 4–6 Гэв/с.

Основные параметры каналов, формирующих пучки Π^- -мезонов, приведены в таблице I.

Канал №3 являлся первым в ЛВЭ каналом, формирующим сепарированные пучки положительных частиц. Для разделения частиц по массам (р, K^+ , Π^+) также впервые применялись электростатические сепараторы без компенсирующего магнитного поля (компенсация отклонения частиц с оси канала осуществлялась одним магнитом, установленным между двумя сепараторами). Для компенсации хроматической аберрации в плоскости сепарации использовалась секступольная линза, установленная в районе первого изображения (в горизонтальной плоскости). Второй объектив (квартет квадрупольных линз, включенных по схеме ДФ – ФД в вертикальной плоскости, с сепараторами на параллельном участке) фокусировал пучок на разделительном коллиматоре. В канале проводилось облучение 0,5м водородной и ксеноновой пузырьковых камер Π^+ -мезонами с импульсом 2,4 Гэв/с. Примесь фоновых частиц в пучке (р и μ) не превышала 10%.

В 1967 году в связи с реконструкцией каналов в измерительном павильоне корпуса №1 оптическая схема канала №3 была изменена (с целью увеличения телесного угла). Сформирован пучок дейтронов с импульсом 2,5 Гэв/с. На канале проводилось облучение эмульсионных камер дейтронами ¹⁶С.

Канал №4 формирует пучок K^+ -мезонов с импульсом 0,75 Гэв/с на ксеноновую пузырьковую камеру. Имеет две ступени сепарации: первая – с применением электростатического сепаратора (длина пластин 2,75 м, зазор – 7 см, напряженность поля – 46 кв/см), вторая – сепарация по импульсам. В массовой щели помещался графитовый замедлитель (~ 50 г/см²), обеспечивший получение разницы в импульсах ~ 50 Мэв/с (для Π^+ и K^+). Импульсный анализ частиц осуществляется магнитным полем синхрофазотрона. Начальное дисперсионное смещение ~ 50 мм на 1% $\frac{\Delta p}{p}$.

Канал №13 формирует "чистый" пучок антипротонов с импульсом

Таблица I. Основные характеристики каналов, формирующих пучки π^- -мезонов для электронных экспериментов.

№ пп	Наименование параметров	№1	№2	№6	№10
1	длина канала (м)	46	10	45	45
2	угол генерации частиц (рад)	0	0,140	0	0
3	область импульсов (Гэв/с)	1,5-7,0	0,55	3-7	3-7
4	интервал импульсов в % $\Delta P/P$	± 1	± 2	$\pm 1,5$	$\pm 1,0$
5	входной телесный угол (стерад)	$2 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$
6	дисперсионное смещение на координате (на 1% $\Delta P/P$)	9мм	21мм	10мм	9мм
7	коэффициент увеличения системы:				
	а) вертикальная плоскость	-	3,0	1,7	3,5
	б) горизонтальная плоскость	-	0,35	3,1	1,0
8	размеры конечного изображения:				
	а) вертикальная плоскость	84мм	35мм	20мм	40мм
	б) горизонтальная плоскость	100мм	80мм	45мм	30мм
9	расходимость частиц (мрад):				
	а) вертикальная плоскость	0,60	± 15	± 10	± 10
	б) горизонтальная плоскость	0,67	± 30	± 5	± 10
10	интенсивность π^- -мезонов на 1010 протонов, наводимых на мишень	$3,5 \cdot 10^3$ $P_0 = 4,6$ Гэв/с	$6,6 \cdot 10^4$ $P_0 = 0,5$ Гэв/с	$1,3 \cdot 10^4$ для $P_0 = 4,26$ Гэв/с	$1 \cdot 10^4$ для $P_0 = 4,0$ Гэв/с

2,72 Гэв/с. Имеет две ступени сепарации, с электростатическими сепараторами (длина пластин - 11 м, зазор - 7 см) в каждой ступени.

Оптическая схема для каждой ступени в вертикальной плоскости - однообъективная (квартет квадрупольных линз, собранных по схеме ДФ - ФД). Первый объектив в горизонтальной плоскости формирует изображение между сепараторами (в компенсирующем магните), где установлен коллиматор, выделяющий $\pm 0,65\% \Delta P/P$. Импульсный анализ осуществляется магнитным полем ускорителя. Второй дублет первой ступени фокусирует пучок на массовую цель, на которой проводится выделение антипротонов и повторный импульсный анализ. Магнит, стоящий за коллиматором, компенсирует линейную дисперсию и очищает пучок от рассеянных частиц. Вторая сепарация необходима для отделения в основном распадающих Λ -мезонов.

Канал №13а введен в строй в 1971 году вместо канала №13.

Предназначается для облучения положительными (или отрицательными) частицами водородной пузырьковой камеры. Имеет длину 120 м. Трасса головной части канала относительно ускорителя выбрана таким образом, что допускает использование мишеней, установленных как вне, так и в магнитном поле. Электростатический сепаратор (длина пластин 11 м, напряженность поля 50 кв/см) позволяет уверенно выделять дейтроны в области импульсов до 4,0 Гэв/с, π^+ -мезоны и протоны - до 3,0 Гэв/с и K^+ -мезоны - до 2,0 Гэв/с. Выделение импульсного интервала в канале проводится перед сепарацией по скоростям.

На канале проведено облучение дейтронами с импульсом 3,6 Гэв/с водородной камеры, получено около 50 тыс. фотографий. Примесь фоновых частиц (в основном протонов) не превышает 10-12%.

Основные параметры каналов, формирующих сепарированные пучки, приведены в таблице П.

В заключение приводятся основные результаты, которые состоят в следующем:

I. Исследованы вопросы выбора оптических схем каналов, формирующих пучки вторичных заряженных частиц. Сформулированы основные положения, обеспечивающие выбор оптимальных вариантов оптических схем для решения конкретных физических задач на синхрофазотроне ЛВЭ ОИЯИ. Предложена и проверена на практике методика построения оптических схем каналов.

Таблица П. Основные характеристики каналов, формирующих сепарированные пучки.

№ пп	Наименование параметров	№3	№4	№13	№13а
I	длина канала (м)	39	17,5	64	121
2	угол генерации частиц в мишени (рад)	0,349	0,087	0	0,384
3	область импульсов (Гэв/с)	2,5	0,75	3,0	4,0
4	интервал импульсов (в % $\Delta p/p$)	± 1	± 1	$\pm 0,65$	± 1
5	входной телесный угол (стерад)	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$4,4 \cdot 10^{-4}$	$0,9 \cdot 10^{-4}$	$1,81 \cdot 10^{-4}$
6	линейное разделение а) первая ступень б) вторая ступень	24мм -	18мм -	15мм 10мм	20мм -
7	коэффициент сепарации	3	2,2	5	2
8	коэффициент увеличения в конечном изображении: а) вертикальная плоскость б) горизонтальная плоскость	1,81 1,08	- -	0,64 1,62	1,6 9,40
9	размер конечного изображения: а) вертикальная плоскость б) горизонтальная плоскость	6мм 11мм	44мм 50мм	3мм 5мм	30мм 120мм
10	примесь фоновых частиц ($N_p/N_{\text{мез}}$)	0,10	2	0,18	0,12
11	коэффициент подавлений (N_p/N_k)	-	-	$2,7 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^3$
12	интенсивность частиц на 10^{10} протонов	$N_p = 500$ $N_p = 100$ $N_p = 20$	$N_p = 2 \cdot 10^4$ $N_k = 60$	$N_p = 1 \cdot 10^3$ $N_p = 1$	$N_d = 5$ для $p = 3,3$ Гэв/с

2. Рассмотрены вопросы снижения примеси фона в пучках вторичных частиц. Разработана методика, обеспечивающая оптимальный выбор размеров и материала для коллиматоров и поглотителя.

3. Разработана удобная для практического применения при выборе оптических схем каналов система оценок допусков на точность установки элементов при монтаже каналов.

4. Предложен способ определения магнитной оси квадрупольных линз, примененный для юстировки линз в ЛВЭ ОИЯИ и в других институтах.

5. Разработана методика установки и юстировки элементов магнитной оптики, нашедшая применение при создании каналов вторичных заряженных частиц на синхрофазотроне ЛВЭ ОИЯИ.

6. Предложен способ компенсации отклонения частиц с оси канала в сепараторах с помощью квадрупольных линз, сдвигаемых соответствующим образом с оси канала. Способ может найти применение при создании каналов, формирующих пучки K^- -мезонов сравнительно невысоких энергий (≤ 1 Гэв).

7. Разработана система регистрирующих счетчиков, используемых при наладке каналов с пучком вторичных частиц.

8. Разработана и применена при наладке методика исследования параметров пучка и выбора оптимальных режимов в транспортирующих системах, создаваемых в Лаборатории высоких энергий (импульсного интервала, расходимости и т.д.)

9. Созданы каналы, формирующие пучки π^- -мезонов в широком диапазоне импульсов (№ 1, 2, 6, 10) для электронных экспериментов. Параметры пучков полностью удовлетворяют требованиям экспериментов.

10. Спроектированы и отлажены каналы с электростатической сепарацией (№ 3, 4, 13, 13а), формирующие пучки для пузырьковых камер. Проведено облучение: 0,5м водородной пузырьковой камеры, ксеноновой камеры и 1м водородной пузырьковой камеры π^- , K^+ -мезонами и дейтронами. Всего было получено около 1,5 миллиона фотографий.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- I. Ангелов М.С., Граменицкий И.М. и др. Препринты ОИЯИ: РІ-4003, РІ-4097, РІ-4125, РІ-4271, Дубна, 1968.
2. Б.А.Кулаков и др. Ядерная физика, 6, IOIO, 1967.
3. М.А.Азимов, А.М.Балдин и др. Препринт ОИЯИ, Е-1-3148, Дубна, 1967.
4. Воробьев Г.Г., Говорун Н.Н. и др. Препринт ОИЯИ РІ-4445, Дубна, 1969.
5. Р.Г.Аствацатуров, А.М.Балдин и др. Препринт ОИЯИ Р-13-6184, Дубна, 1971.
6. Гудима К.К., Кириллов А.Д. и др. Препринт ОИЯИ Р2-5261, Дубна, 1970.
7. Н.Гиордэнеску, В.Н.Зубарев, В.С.Ставинский и др. Препринт ОИЯИ, РІ-5460, Дубна, 1970.
8. Е.С.Басова, У.Г.Гулямов, К.Р.Ибрагимов, А.Д.Кириллов и др. Препринт ОИЯИ, І3-3519, Дубна, 1967.
9. Кириллов А.Д. и др. Сообщение ОИЯИ, БІ-І3-4675, Дубна, 1969.
10. Гаврилов А.С., Голутвин И.А., Заневский Ю.В., Кириллов А.Д. и др. Препринт ОИЯИ, І3-3503, Дубна, 1967.
- II. Возенко А.С., Кириллов А.Д. и др. XII Международная конференция по физике высоких энергий, Дубна, 1964, т.2, Атомиздат, стр. 553, 1966.
12. Кириллов А.Д. и др. Сообщение ОИЯИ, БІ-І3-4674, Дубна, 1969.
13. Кириллов А.Д. и др. Соповедание по формированию пучков заряженных частиц высоких энергий. ОИЯИ 9-3582, стр.12,13,14, Дубна 1967.
14. Миллер В.В., Препринт ОИЯИ 9-3582, Дубна, 1967.
15. Кулакова Е.М., Смирнов А.А. Препринт ОИЯИ Р-2880, Дубна, 1966.

16. Кириллов А.Д., Малашкевич Р.Т., Нежданова С.А. Авторское свидетельство № 186576, б.19, "Изобретения, промышленные образцы, товарные знаки", стр.56, 1966.
17. Балдин А.М., Гиордэнеску Н., Зубарев В.Н., Кириллов А.Д. и др. Препринт ОИЯИ РІ-5819, 1971.

Рукопись поступила в издательский отдел
5 апреля 1972 г.