

С 345e3

20/1-7

К-431

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

13 - 6369

2189 / 2-72



А.Д.Кириллов, В.А. Кузнецов, С.А.Нежданова,
И.Н. Семенюшкин

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

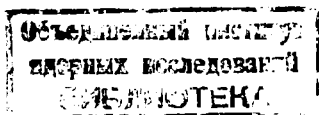
РЕКОНСТРУКЦИЯ КАНАЛОВ
ВТОРИЧНЫХ ЧАСТИЦ НА СИНХРОФАЗОТРОНЕ
ЛВЭ ОИЯИ

1972

13 - 6369

А.Д.Кириллов, В.А. Кузнецов, С.А.Нежданова,
И.Н. Семенюшкин

РЕКОНСТРУКЦИЯ КАНАЛОВ
ВТОРИЧНЫХ ЧАСТИЦ НА СИНХРОФАЗОТРОНЕ
ЛВЭ ОИЯИ



Развитие физики элементарных частиц в значительной степени связано с созданием целой серии ускорителей заряженных частиц на высокие (Беркли, Аргон, Нимрод, Дубна, ИТЭФ) и сверхвысокие (ЦЕРН, Брукхейвен, ИФВЭ, Батавия) энергии.

Громадные средства, затрачиваемые на сооружение ускорителей, могут быть оправданы высокой эффективностью использования таких ускорителей для физических исследований.

Рациональное размещение оборудования, формирование и транспортировка заряженных частиц имеют первостепенное значение для повышения эффективности использования ускорителя, и этому вопросу в настоящее время уделяется огромное внимание.

С увеличением энергии ускоренных частиц формирование пучков превращается в достаточно сложную проблему – растет протяженность каналов, их насыщенность магнитно-оптическими элементами и потребляемая ими мощность. При расчетах и проектировании каналов существенную роль начинают играть экономические соображения, так как стоимость каналов вместе с экспериментальным оборудованием становится сравнимой со стоимостью самого ускорителя.

Эффективность работы ускорителя находится в прямой зависимости от количества выполняемых экспериментов одновременно в одном цикле ускорения. При этом, естественно, предполагается, что для каждого эксперимента созданы достаточно благоприятные условия проведения.

Несколько лет назад, когда еще не была решена проблема вывода ускоренного пучка и источником вторичных частиц являлись мишени, размещаемые внутри камеры, одновременно проводилось в лучшем случае не более четырех экспериментов.

Вывод ускоренного пучка непосредственно в экспериментальные залы позволил значительно увеличить количество экспериментов. Стало возможным использовать одну мишень для формирования двух-трех пучков вторичных частиц или делить интенсивность выведенного протонного пучка на несколько мишеней. Таким образом удалось повысить количество выполняемых на ускорителях экспериментов более чем в два раза.

1. Каналы от внутренних мишеней

Наличие выведенного пучка не исключает проведения экспериментов с частицами, получаемыми от внутренних мишеней. Схема реконструкции системы каналов в измерительном павильоне представлена на рис. 1.

Предполагается создать два канала (№ 20 и № 21), формирующих пучки π -мезонов от внутренних мишеней в диапазоне импульсов от 3 до 7 Гэв/с.

Оптическая схема канала № 20 показана на рис. 2. Первый объектив (дублет из линз Q_1 , $Q_2 - Q_3$, собранный по схеме ДФ в горизонтальной плоскости), формирует в обеих плоскостях изображение на импульсном коллиматоре.

Импульсный анализ осуществляется магнитным полем ускорителя. Дисперсионное смещение на коллиматоре - 10 мм. Второй объектив (линзы типа МЛ-16) переносит изображение на 10 м, от последней линзы. Угол поворота частиц в магните M_2 ($\phi_2 = 0,14$ рад.) выбирается из условия компенсации линейной дисперсии в конечном изображении. Оптическая схема канала № 21 (рис. 3) выбиралась из условия формирования пучков π -мезонов с малой расходимостью (≤ 1 мрад.).

Первый объектив (Q_1 , $Q_2 - Q_3$) формирует изображение на импульсном коллиматоре и линейное дисперсионное смещение ($D_{ик}$) на

Схема
расположения канало-
вторичных частей в
измерительном павильоне корпуса №1

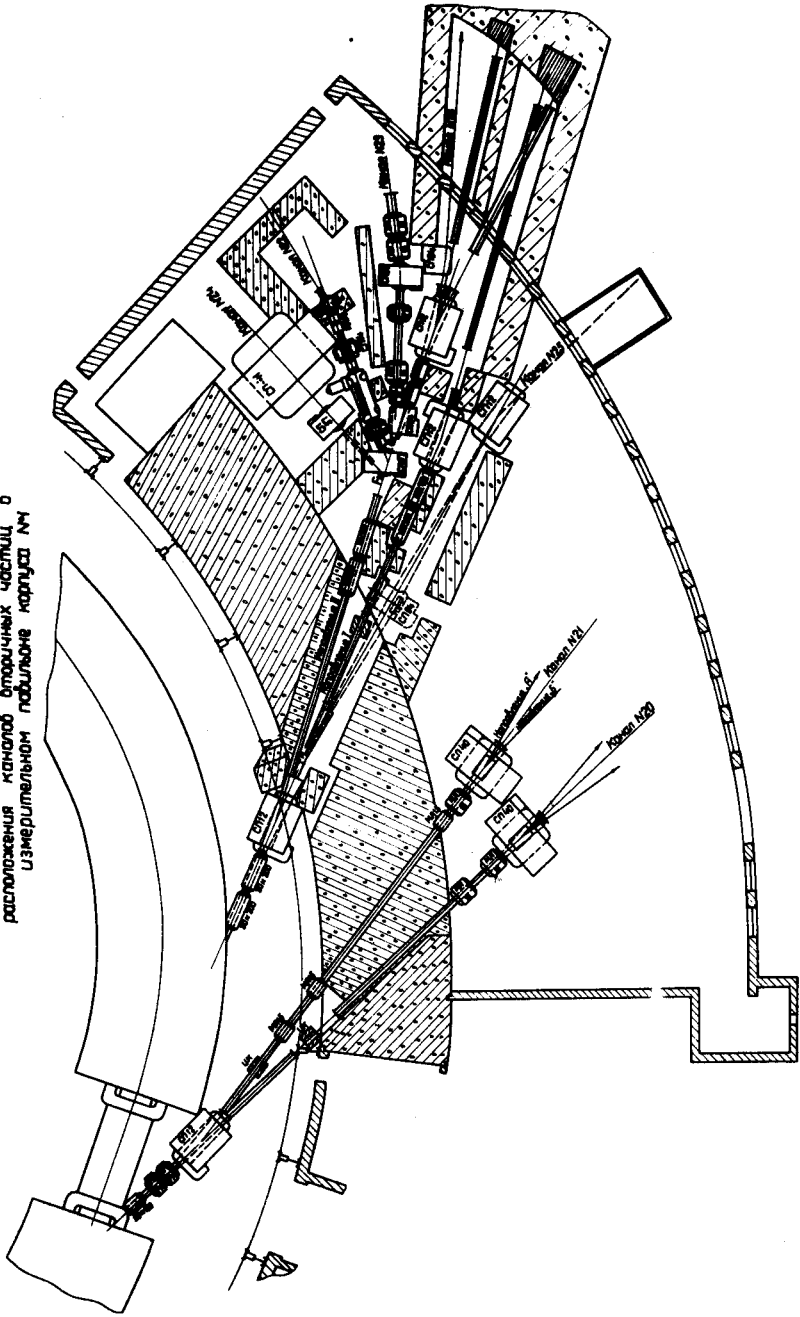


Рис. 1

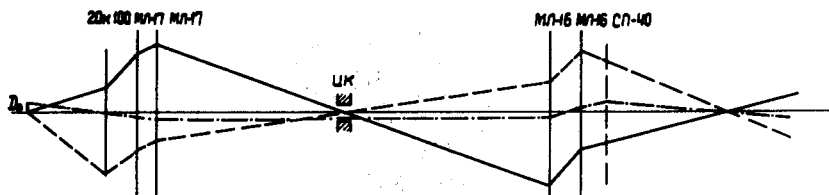


Рис. 2. Оптическая схема каналов № 20.

нем определяется разностью начальной дисперсии D_0 и дисперсии, вызванной отклонением пучка в M_1 - на угол - ϕ_1 , т.е.

$$D_{\text{ИК}} = D_0 V_{1,2} - \phi_1 L_1,$$

где $V_{1,2}$ - коэффициент увеличения первого объектива; L_1 - расстояние от центра M_1 до изображения (центр ИК).

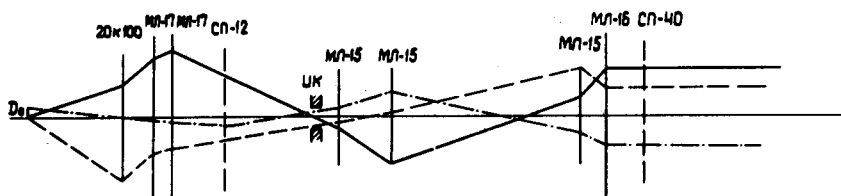


Рис. 3. Оптическая схема каналов № 21. D_0 - начальное дисперсионное смещение для частиц с импульсом P_1 . — - траектория частиц с импульсом P_0 в горизонтальной плоскости. - - - - траектория частиц с импульсом P_0 в вертикальной плоскости. - · - - осевая траектория частиц для $P_1 = P_0 - 0,01 P_0$.

Входным объективом в вертикальной плоскости является триплет квадрупольных линз (рис. 3), собранных по схеме ДФД (Q_1 , Q_2 - Q_3 , Q_4). Он формирует промежуточное действительное изображение на ограничительном коллиматоре, установленном внутри линзы Q_5 .

Для изменения знака дисперсии при работе канала на направлении Б дублет линз Q_4 , Q_5 формирует в горизонтальной плоскости промежуточное изображение в фокусе конечного объектива. Поворот частиц в

M_2 на угол $\phi_2 = 0,141$ рад компенсирует угловую дисперсию в пучке. В вертикальной плоскости фокусное расстояние дублета Q_6 , Q_7 подобрано таким образом, чтобы сформировать также параллельный пучок.

При повороте частиц на направление А для компенсации угловой дисперсии изменения знака дисперсии не требуется, и поэтому промежуточное изображение дублетом линз Q_4 , Q_5 не формируется, а пучок делают слабо сходящимся.

Угол поворота в магните M_2 ($\phi_2 = -0,135$ рад.) также выбирается из условия компенсации угловой дисперсии.

Параметры пучков представлены в таблице 1.

Транспортировка частиц осуществляется в вакуумпроводе, имеющем на выходе из магнитов в измерительном павильоне окна с майларовыми диафрагмами. В канале № 20 в районе импульсного коллиматора предусматривается разрыв в вакуумпроводе — коллиматор устанавливается вне вакуумной трубы.

В канале № 21 все коллиматоры размещаются внутри вакуумпровода. Вакуумпровод отделяется от камеры ускорителя шибером и майларовой диафрагмой.

2. Система каналов на выведенном пучке

Медленный вывод ускоренного пучка из синхрофазотрона осуществляется под углом $4^\circ 48' 41''$ к прямолинейной секции (направление 1). С помощью магнита M (типа СП-12) первичный пучок может быть отклонен на направление II ($\phi = -0,105$ рад.), квартет квадрупольных линз (типа 20к200) формирует на этом направлении изображение F_2 (на расстоянии 630 см от амбразуры) в измерительном павильоне. В этом районе предполагается создать мишенную станцию (рис. 1). Размер изображения в F_2 — 3×3 мм². Магнит (типа СП-57) M_1 служит для выделения по направлениям каналов №22 и №23 частиц с заданными импульсами (0,5 Гэв/с и 2,0 Гэв/с). Выведенный протонный пучок транспортируется до F_2 в вакуумпроводе, оканчивающемся окном с майларовой диафрагмой.

Таблица 1

№№ п/п	Параметры пучка	Канал № 20	Канал № 21
1.	Длина канала	42 м	42 м
2.	Максимальный импульс	7,0 Гэв/с	7,0 Гэв/с
3.	Импульсный интервал (%)	± 1	± 1
4.	Угол рождения частиц в мишени (рад.)	0	0
5.	Телесный угол (стерад.)	$5 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$
6.	Дисперсионное смещение на импульсном коллиматоре на ($1\% \Delta P / P_0$)	10 мм	10 мм
7.	Коэффициент увеличения системы:		
	а) вертикальная плоскость	-	-
	б) горизонтальная плоскость	-	-
8.	Размер оконечного изображения:		
	а) вертикальная плоскость	20 мм	~ 60 мм
	б) горизонтальная плоскость	30 мм	~ 80 мм
9.	Расходимость частицы в пучке:		
	а) ω_B (м. рад.)		≤ 1
	б) ω_G (м. рад.)		≤ 1
10.	Поток π - мезонов при $P_0 = 4$ Гэв/с на 10^{10} сброшенных на мишень протонов	$\sim 1,5 \cdot 10^4$	$\sim 1,0 \cdot 10^4$

Перед фокусом F_2 должна быть расположена система индикации первичного и вторичных пучков и система наведения пучка на мишень. После взаимодействия с мишенью первичный пучок направляется в ловушку, рассчитанную на подавление полной интенсивности (10^{12}). Пучок транспортируется в вакуумпроводе.

В межполюсном пространстве раздаточного магнита M_1 (полюс круглый, диаметром 90 см) устанавливается фигурный коллиматор с отверстиями, соответствующими направлению и входной апертуре протонного пучка и каналов №22 и №23.

Предусматривается перенос фокуса в F_3 на расстояние ~ 830 см от амбразуры, где будут устанавливаться мишени для получения вторичных частиц в канале №26.

а) Канал №22.

Канал предназначен для формирования обогащенных пучков K^- - мезонов с импульсом до 0,6 Гэв/с. Размещение оборудования и защиты показано на общей схеме (рис. 1). Оптическая схема канала приведена на рис. 4. Канал имеет одну ступень электростатической сепарации. Пластини сепаратора - длиной 275 см, с зазором - 8 см. Напряженность поля - 40 кв/см.

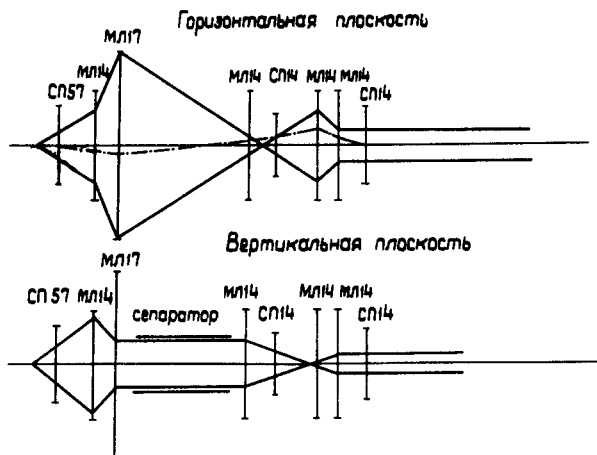


Рис. 4. Оптическая схема канала №22.

Первый дублет линз, включенных по схеме ФД в вертикальной плоскости (плоскость сепарации), формирует параллельный пучок, а линза Q_3 переносит изображение на массовую щель. Для сокращения длины канала компенсирующие магниты, т.е. магниты, компенсирующие отклонение частиц с оси под действием электростатического поля сепаратора, не применяются, поэтому пластины сепаратора и линза Q_3 выставляются по наклонной оси (угол наклона $\alpha = 0,0308$ рад.). Магнит M_2 , поворачивая пучок в вертикальной плоскости на угол $\phi = \alpha$, выводит частицы на новое направление.

В горизонтальной плоскости несимметричный триплет Q_1, Q_2, Q_3 (ДФД) формирует изображение на импульсном коллиматоре (ИК), дисперсионное смещение на котором определяется расстоянием от мишени до центра магнита M_1 (L_1), углом поворота в магните ($\phi_1 = 40^\circ$) и коэффициентом увеличения триплета, т.е.

$$D_{\text{ик}} = \phi_1 \Delta P / P_0 L_1 V_1.$$

Конечный дублет формирует изображение в обеих плоскостях в районе экспериментальной установки, а магнит M_3 компенсирует линейную дисперсию и очищает пучок от рассеянных на коллиматорах частиц. Расчетные параметры пучка представлены в таблице II.

Для частиц с импульсом 0,5 Гэв/с отношение на мишени $\frac{N_{\pi^-}}{N_{k^-}} \sim 200$. После сепарации на первой массовой щели канала примесь π^- , μ^- - мезонов снижается до 20 ($N_{\pi\mu^-} / N_{k^-} \sim 20$), с учетом распада по длине 9 м.

На расстоянии 12 метров (расстояние от мишени до конечного изображения) отношение $N_{\pi\mu^-} / N_{k^-}$ возрастает до 40 (из-за распада).

Если для эксперимента с K^- - мезонами необходима лучшая очистка пучка от фоновых π^- , μ^- - мезонов, можно использовать дополнительный метод сепарации по импульсу с использованием поглотителя (при этом требуется небольшое изменение оптической схемы - изображения в горизонтальной и вертикальной плоскости совмещаются в районе массовой щели).

Канал № 23.

Канал предназначается для формирования пучков положительных и отрицательных частиц в диапазоне импульсов от 1 до 4 Гэв/с.

При транспортировке отрицательных частиц с импульсом ~ 2 Гэв/с возможна одновременная (в одном цикле) работа трех каналов (№№ 22, 23, 24) от одной мишени. Изменение импульса или знака частиц требует отключения магнита M_1 , при этом одновременно могут работать только два канала (№ 23 и № 24).

Таблица II

№№ п/п	Параметры	
1.	Длина канала	10,5 м
2.	Угол рождения частиц в мишени	0,090 рад.
3.	Максимальный импульс	0,5 Гэв/с
4.	Импульсный интервал, %	$\pm 1-2$
5.	Телесный угол (стерад)	$6 \cdot 10^{-3}$
6.	Дисперсионное смещение на ИК (на 1% $\Delta P/P_0$)	6 мм
7.	Угловая сепарация	$1 \cdot 10^{-3}$ рад.
8.	Линейное разделение на массовой щели	20 мм
9.	Коэффициент сепарации	2,5
10.	Коэффициент увеличения в первом изображении:	
	а) вертикальная плоскость	3,0
	б) горизонтальная плоскость	1,43
11.	Коэффициент увеличения в конечном изображении:	
	а) вертикальная плоскость	15,0
	б) горизонтальная плоскость	3,0
12.	Размер конечного изображения (мм ²)	30 x 20
13.	Поток K^- -мезонов в конечном изображении на 10^{12} сброшенных на мишень протонов	$7,3 \cdot 10^3$
14.	Поток π^- - мезонов на массовой щели	$\sim 3 \cdot 10^7$
15.	Примесь π^- - мезонов в конечном изображении	40 на $1K^-$

Оптическая схема канала (рис. 5) с полевой линзой в промежуточном изображении допускает получение полностью ахроматизированного пучка частиц в конечном изображении. Первый объектив формирует изображение

в обеих плоскостях внутри линзы Q_3 . Сила полевой линзы Q_3 выбирается из расчета перевода центра (выходной главной плоскости) магнита M_2 на центр магнита M_3 (с учетом действия линз первого объектива).

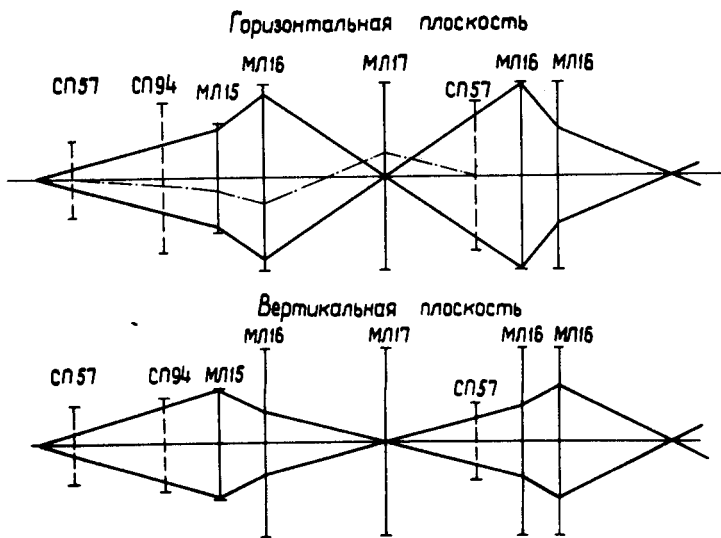


Рис. 5. Оптическая схема канала № 23. — · — · — осевая траектория частиц для $P_1 = P_0 - 0,01 P_0$.

Последний объектив (Q_4, Q_5 - типа МЛ-16) переводит изображение на экспериментальную установку. Пучок транспортируется в вакуум-проводе.

Расчетные параметры канала № 23 представлены в таблице III.

Таблица III

№№ п/п	Название параметров	Величина
1.	Длина канала	21 м
2.	Угол рождения частиц в мишени (рад.)	0
3.	Максимальный импульс	~ 5 Гэв/с
4.	Импульсный интервал (в %)	± 1
5.	Телесный угол (стерад.)	$\sim 1 \cdot 10^{-3}$
6.	Дисперсионное смещение на ИК (на $1\% \Delta P/P_0$)	~ 10 мм
7.	Размер изображения на ИК:	

а) вертикальная плоскость	~ 30 мм
б) горизонтальная плоскость	~ 20 мм
8. Размер конечного изображения (мм ²)	20 x 20
9. Поток π -мезонов с импульсом 2 Гэв/с на 10 ¹² протонов, сброшенных на мишень	$\sim 5 \cdot 10^6$

Канал № 24.

При наведении протонного пучка на мишень, установленную в F_2 , предусматривается возможность проведения экспериментов с нейтральными частицами. Через отверстие в ярме магнита СП-57, которое будет определять апертуру пучка, пропускаются нейтральные частицы, рождающиеся в мишени под углом $\sim 61^\circ$. Канал состоит из системы коллиматоров, магнита M_1 (типа СП-57), очищающего пучок от заряженных частиц, и магнита СП-41-А, установленного на расстоянии 9 м от мишени (F_2).

Таким образом, при наведении протонного пучка на мишень, расположенную в F_2 , могут одновременно работать каналы № 22, № 23 и № 24.

Совместно с этими каналами, в принципе, может работать один из каналов от внутренней мишени, и канал, формирующий пучок на пузырьковую камеру.

При "сбросе" первичного пучка на мишень F_3 предусматривается работа канала № 26, который предназначается для исследования быстрых π -мезонов, образующихся при взаимодействии релятивистских ядер с ядрами мишени. Выделение необходимого импульса будет производиться экспериментальной аппаратурой.

Канал состоит из дублета линз типа 20к100, который формирует параллельный пучок, и двух магнитов, отделяющих π -мезоны от первичного пучка.

Если ускоренный пучок выводится по направлению - 1 (магнит M_1 выключен), мишень может быть установлена в F_1 (на расстоянии 150 см внутри амбразуры со стороны корпуса № 1 рис. 1).

В этом случае возможно проведение экспериментов по коммутативному взаимодействию ускоренных ядер (направление 1) и рассеянию протонов на протонах на малые углы (канал № 25).

Мишени размещаются внутри вакуумпровода и меняются дистанционно, без нарушения вакуума. По направлению канала № 25 в вакуумпроводе предусматривается окно, закрытое майларовой диафрагмой, позволяющее пропускать частицы, выходящие из мишени под углом 4° - 8° .

Магнит M_1 (типа СП-94) должен быть установлен на подставке, допускающей его перемещение поперек пучка на расстояние около 2 м (общее перемещение).

Прошедший мишень (F_1) первичный пучок собирается дублетом линз 20к200 и отклоняется магнитом M_2 (типа СП-12) в ловушку. Пучок ведется в вакууме. При проведении экспериментов на данном направлении возможна работа каналов №20 или №21 в измерительном павильоне, или одного из каналов.

Рукопись поступила в издательский отдел

11 апреля 1972 года.