

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



С 3450
К-431

29/11/78
9 - 9303

А.Д.Кириллов, С.А.Нежданова, И.Н.Семенюшкин,
М.Д.Шафранов

4994/2-75

СИСТЕМА КАНАЛОВ, ФОРМИРУЮЩИХ ПУЧКИ
ПЕРВИЧНЫХ И ВТОРИЧНЫХ
ЧАСТИЦ СИНХРОФАЗОТРОНА

1975

9 - 9303

А.Д.Кириллов, С.А.Нежданова, И.Н.Семенюшкин,
М.Д.Шафранов

СИСТЕМА КАНАЛОВ, ФОРМИРУЮЩИХ ПУЧКИ
ПЕРВИЧНЫХ И ВТОРИЧНЫХ
ЧАСТИЦ СИНХРОФАЗОТРОНА

Одной из наиболее важных проблем при создании современного ускорительного комплекса является обеспечение экспериментальных установок эффективной системой магнитно-оптических каналов, формирующих пучки первичных и вторичных частиц.

Транспортировка выведенного пучка в экспериментальные залы позволяет более рационально использовать площади для оборудования, наимыгоднейшим образом размещать каналы, формирующие пучки вторичных частиц. Постановка внешних мишеней (мишени, устанавливаемые на выведенном из ускорителя пучке) позволяет создавать оптимальные схемы магнитно-оптических каналов для экспериментов, а также значительно снижает радиационное загрязнение камеры ускорителя.

Применение наружных толстых мишеней^ж для генерации вторичных частиц увеличивает интенсивность по сравнению с аналогичными внутренними мишенями для каналов с одинаковыми аксептансами примерно в 4-5 раз (для синхрофазотрона).

Использование тонких внутренних мишеней^{жж} дало бы возможность получать большие потоки вторичных частиц^{/I/} за счет многократного прохождения ускоренных частиц тонкой мишени суммарное количество вещества может при определенных условиях возрастать (значительно превысить ядерную длину). Однако применение тонких мишеней ($< 0,001 \text{ г/см}^2$) на синхрофазотроне возможно лишь при решении ограниченного круга физических задач.

ж толстыми мишенями принято считать мишени, потери энергии при однократном прохождении которых много больше прироста энергии за один оборот при ускорении.

жж тонкие мишени - мишени, потери энергии в которых много меньше прироста за один оборот.

Увеличение толщины (количества ядер) для однократного прохождения частиц через мишень позволяет также добиться возрастания потока вторичных частиц, однако в этом случае начинает сказываться конкурирующий процесс выщелачивания вторичных частиц из-за взаимодействия их с веществом.

На практике мишени толщиной более 100 мм (*Al, Cu, Pb* и т.д.) не применяются.

На синхрофазотроне ЛВЭ для получения вторичных частиц использовались до недавнего времени внутренние мишени, устанавливаемые в камере ускорителя, в магнитном поле основного магнита, поэтому наружу кольца выводились отрицательно заряженные частицы (P^-, K^-). Только для сравнительно небольших импульсов ($p < 2.0$ ГэВ/с) возможен вывод частиц обоих знаков наружу. Мишени при этом должны устанавливаться в прямолинейной секции ускорителя, вне магнитного поля (или в рассеянном поле). Из-за конструктивных особенностей синхрофазотрона вывод вторичных частиц в этом случае может осуществляться только под большими углами к первичному пучку ($> 20^\circ$), что приводит к значительному уменьшению интенсивности.

Критерием успешной работы ускорительного комплекса может служить объем поставляемой научной информации, который находится в прямой зависимости от количества одновременно работающих экспериментальных установок.

При использовании только внутренних мишеней для генерации вторичных частиц организовать одновременную работу нескольких (больше 2) каналов, формирующих пучки на экспериментальные установки от одной мишени, сложно. Это обстоятельство сильно сужает круг физических задач, решаемых одновременно, и создание нескольких каналов, формирующих пучки от одной внутренней мишени, оказывается часто нерациональным.

Применение внешних мишеней снимает данное затруднение - от внешней мишени можно сравнительно просто создавать несколько (> 2) независимых транспортирующих систем, способных формировать пучки вторичных частиц обоих знаков (при соответствующем изменении полярности магнитных элементов) в широком диапазоне энергий.

Кроме того, при наличии выведенного из ускорителя пучка возможна постановка нескольких мишеней и одновременная их работа, т.е. первичный пучок после взаимодействия с первой мишенью системой квадрупольных линз фокусируется на вторую и т.д. При этом необходимо, конечно, чтобы первые мишени были достаточно тонкими (размеры последующих изображений первичного пучка зависят от протяженности предыдущих мишеней и количества вещества).

Таким образом можно обеспечить работу в одном цикле ускорения не менее 4-6 каналов, формирующих пучки вторичных частиц на экспериментальные установки.

Организация нескольких каналов вывода первичного пучка (как, например, на синхротроне с нулевым градиентом в Аргонне, США) обеспечивает еще более значительное увеличение эффективности работы ускорителя на эксперимент. Если конструктивные особенности ускорителя (или отсутствие экспериментальных площадей) допускают создание только одного канала вывода ускоренных частиц, возможно их разделение на несколько направлений (2-3) с помощью элементов магнитной оптики с последующим формированием каждого из разделенных пучков. При этом, естественно, необходимым условием работы всех каналов первичного пучка является достаточная интенсивность ускоренного пучка.

Разделение можно осуществлять с помощью, например, импульсных

безжелезных магнитов с малыми временами нарастания и спада импульса тока ($< 1-2 \mu\text{с}$) или специальных магнитов с резкими границами поля. Импульсные магниты могут использоваться для временного разделения только растянутых во времени пучков (при длительности растяжки 400-500 нс).

Для пространственного разделения пучка применяют "С" или "П"-образные септум-магниты.

Соответствующим образом сформированный пучок (широкий - в горизонтальной плоскости и узкий - в вертикальной) разводится магнитом на два направления. Установка двух септум-магнитов позволяет развести пучок на три направления.

1. ПЕРВИЧНЫЙ ПУЧОК

На основе введенного из синхрофазотрона пучка предполагается организовать комплекс каналов, формирующий пучки первичных и вторичных частиц (рис.1). В этот комплекс будут входить три канала (ВН-1, ВН-2, ВН-3), транспортирующие первичный пучок, и 17 каналов вторичных частиц.

Разводку первичного пучка предполагается осуществлять с помощью септум-магнитов по любому из трех направлений или отбирая часть интенсивности для каждого направления.

В каждом из каналов, транспортирующих первичный пучок, создаются две или три мишенные станции (соответственным образом оборудованные и защищенные места установки мишеней), обеспечивающие работу не менее двух каналов, формирующих пучки вторичных частиц.

Это позволяет иметь не менее 10-12 каналов, формирующих пучки П-и К-мезонов в области импульсов до 7 ГэВ/с, два-три обогащенных пучка К-мезонов и антипротонов средних энергий (до 3 ГэВ/с)

СХЕМА КАННІЛОВ ВТОРНІХ ЧАСТИЦ НА СМІЛДІОБСЛУДКОНЕ
ЛВЗ ОІАІІ

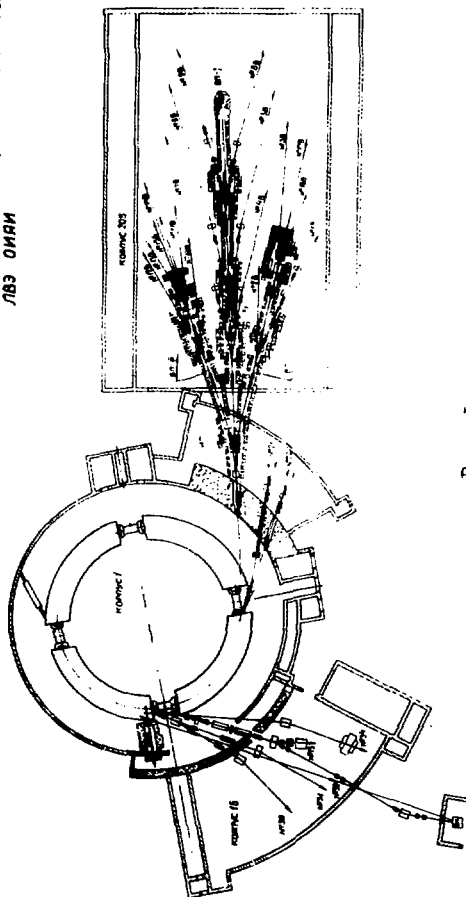


Рис. 1

и несколько пучков нейтральных частиц (K^0, n). Предлагаемый комплекс каналов должен обеспечить проведение не менее 6-8 экспериментов одновременно (в одном цикле ускорения) и тем самым значительно повысить эффективность использования синхротрона.

На первом этапе освоения нового экспериментального корпуса ЛЭЗ предполагается иметь только одно направление выведенного пучка (ВП-I), причем на нем предусматривается создание трех мишенных станций, каждая из которых будет обеспечивать работу не менее двух каналов вторичных частиц.

Оптическая схема канала ВП-I выбрана с учетом возможности формирования изображений первичного пучка как в районе каждой мишенной станции, так и в одном или двух местах. При фокусировке на одну из мишеней (F_1, F_2 , или F_3) начальный эмиттанс выведенного пучка (~ 160 мм x мрад и ~ 80 мм x мрад^{2/2}) позволяет получать изображения не более 5×5 мм².

При последовательном формировании изображений в F_1, F_2 и F_3 или в F_1, F_2 (F_2, F_3 и F_1, F_3) перемы по пучку мишени должны быть достаточно тонкими (< 5 г/см²), из легкого материала (Be, C, Al) — для снижения эффекта многократного рассеяния. Транспортирующая система канала ВП-I состоит из 10 линз типа 20К-200, образующих пять дублетов. Все линзы работают только в случае, когда последовательно формируется изображение на трех мишенях (в F_1, F_2 и F_3). Если работают две или одна мишени, число включаемых элементов канала снижается (часть линз может быть отключена). Первичный пучок транспортируется в вакуумпроводе

с форвакуумной откачкой (10^{-2} - 10^{-3} атм), имеющей разрывы в местах установки мишеней. Окна в вакуумпроводе закрываются майларовыми диафрагмами.

Канал ВП-I оканчивается ловушкой, обеспечивающей подавление полной интенсивности (10^{12} в цикле), а вся трасса отделяется от экспериментального зала защитными стенками, собираемыми из стандартных бетонных блоков.

Каждая из трех мишенных станций оборудуется приборами индикации интенсивности первичного пучка (камеры вторичной эмиссии), измерения профиля и положения пучка (проволочные ионизационные или пропорциональные камеры и сцинтиллирующие экраны с телеустановками).

Для относительных измерений интенсивности в районе каждой мишенной станции будут установлены телескопы из сцинтилляционных и черенковских счетчиков.

Схема канала ВП-I предусматривает возможность поворота первичного пучка на направления каналов вторичных частиц (3В, 4В, 5В, 6В). Поворот осуществляется магнитами типа СП-40, которые устанавливаются в районе мишенных станций F_1 и F_2 .

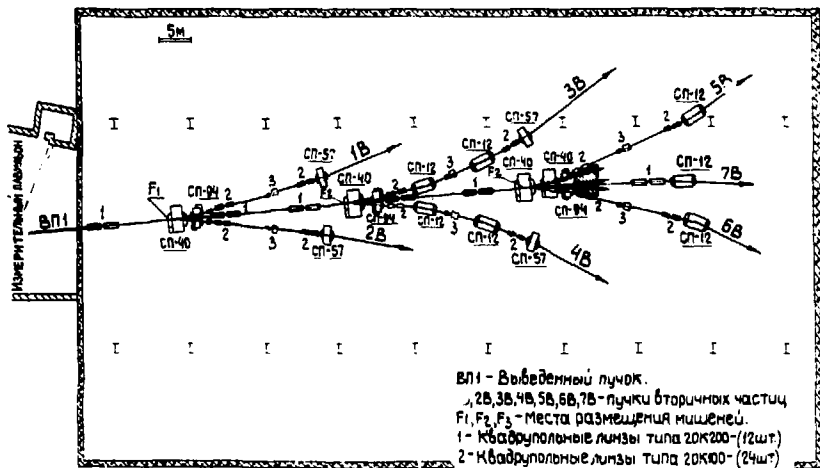
П. КАНАЛЫ, ФОРМИРУЮЩИЕ ПУЧКИ ВТОРИЧНЫХ ЧАСТИЦ

Предполагается иметь на первом этапе 8 каналов, формирующих пучки заряженных частиц (1В-8В), канал нейтральных частиц и два тестовых пучка - от мишеней, устанавливаемых в F_1 , F_2 и F_3 (см. схему на стр.10).

Размещение каналов вторичных частиц предусматривает возможность их независимой работы - в каждом из каналов (1В-4В) можно менять импульс и сорт частиц, не мешая работе других каналов.

Используемые углы рождения частиц в мишенях и телесные углы

Схема размещения каналов в новом экспериментальном корпусе ЛВЗ ОЯИ



ВЛ1 - Выведенный лучок.

2B, 3B, 4B, 5B, 6B, 7B - лучки вторичных частиц

F₁, F₂, F₃ - места размещения мишеней.

1 - Квадратные линзы типа 20К200 - (12шт.)

2 - Квадратные линзы типа 20К100 - (24шт.)

3 - Квадратные линзы типа МЛ-17 - (6шт.)

захвата их апертурой каналов определяются элементами магнитной оптики, применяемыми для построения оптических схем и в большой степени конструктивными особенностями "С"-образных магнитов (типа СП-94), выделяющих частицы нужных импульсов.

Постановка анализирующих магнитов на первичный пучок, которая позволила бы уменьшить угол рождения частиц в мишени и увеличить телесный угол захвата их каналом, все же представляется нецелесообразной, так как очень сильно снижает возможности независимой работы каналов и их перестройки на другие режимы.

Все каналы (IB-6B) имеют зеркально-симметричные с полевой линзой оптические схемы /3/. Такая схема построения элементов магнитной оптики обеспечивает получение ахроматизированных пучков частиц в широкой области рабочих импульсов (0,5-8,5 ГэВ/с - в нашем случае) в районе экспериментальных установок и, кроме того, обладает очень важным свойством - допускает получение хорошего импульсного разрешения.

Зеркально-симметричные системы с полевой линзой нашли широкое применение при формировании высокоинтенсивных пучков вторичных частиц /4/.

Переход на другой импульс осуществляется простой сменой токов в элементах каналов.

Изменение импульсного интервала в канале достигается путем расширения или сужения зазора в импульсном коллиматоре, проводимого с пульта управления каналами дистанционно.

Оптические схемы каналов IB-6B допускают значительное увеличение пропускаемого импульсного интервала ($\Delta t \pm 4-5\%$), при этом размеры конечного изображения меняются сравнительно мало.

В оптическую схему канала 5B введено два магнита типа СП-40,

Оптические схемы каналов

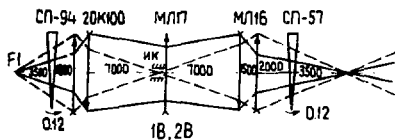


Рис. 2

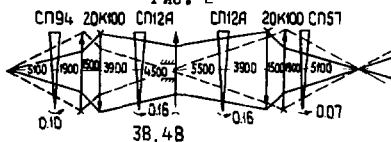


Рис. 3

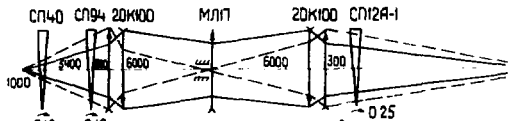
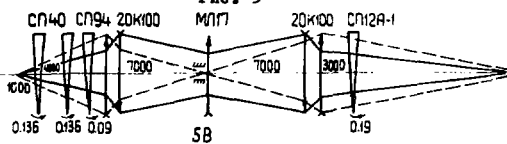


Рис. 4

Штриховые линии - огибающие
пучка в горизонтальной плоскости,
сплошные линии - огибающие
пучка в вертикальной плоскости.

установленные на первичном пучке. Такое построение выбрано для того, чтобы использовать частицы, генерируемые мишенью под нулем градусов (верхняя граница рабочих импульсов в данном канале 8,5 ГэВ/с) и при этом отделить первичный пучок от положительно заряженных вторичных частиц (π^+ , K^+). При изменении импульса (или знака) частиц в этом канале первичный пучок меняет свое положение и поэтому ловушка, гасящая его, имеет значительные размеры.

Канал 6В, формирующий пучки также от мишени F_2 под нулем градусов, оказывается связанным с каналом 5В, импульс, выделяемый одним каналом, зависит от импульса частиц по другому каналу. Однако то обстоятельство, что мишенная станция в F_2 - конечная, сильно упрощает вопрос перестройки. Оптические схемы каналов 1В-6В приведены на рисунках 2,3,4, а расчетные параметры проектируемых пучков - в таблице I (расчеты проводились по программе "Фокус" на ЭВМ).

Канал 7В предназначается для формирования пучков π -и K - мезонов, образовавшихся в процессе взаимодействия пучка релятивистских ядер с мишенью в F_2 /5/. Схема канала включает два магнита (типа СП-40 и СП-12) и дублет квадрупольных линз (типа 20К200). Угол вылета частиц из мишени - 0° . Магнит СП-40 отклоняет частицы на угол 0,02 радиана и они пропускаются через ловушку, в которой под данным углом к оси первичного пучка устанавливается коллиматор. Дублет линз 20К200 формирует параллельный или сходящийся пучок на экспериментальную установку, а магнит СП-12 очищает пучок от фоновых частиц.

Канал предполагается использовать для экспериментов с частицами (π, K), имеющими импульс больше 10 ГэВ/с.

При необходимости по направлению данного канала может быть

Таблица I. Расчетные параметры пучков заряженных частиц

Параметры пучка		номера каналов				
		1В-2В	3В-4В	5В	6В	7В
1.	Сорт частиц	Π^{\pm}, K^{\pm}	Π^{\pm}, K^{\pm}	Π^{\pm}, K^{\pm}	Π^{\pm}, K^{\pm}	Π^{\pm}
2.	Угол генерации частиц в мишени (рад.)	0,075	0,06	0	0	0
3.	Область рабочих импульсов (в ГэВ/с).	до 5	до 7	до 8,5	до 6	10
4.	Интервал пропускаемых каналом импульсов (в % D/D)	± 2	± 2	± 2	± 2	± 1
5.	Материал и размеры мишени.	латунь - 4 x 4 x 50 мм ³				
6.	Входной телесный угол (стерад).	5.0×10^{-4}	3.5×10^{-4}	3.0×10^{-4}	3.2×10^{-4}	10^{-5}
7.	Дисперсионное смещение на импульсном коллиматоре (на 1% D/D)	12 мм	20 мм	20 мм	6 мм	-
8.	Размеры конечного изображения :					
	а) вертикальная плоскость	25 мм	20 мм	15 мм	20 мм	-
	б) горизонтальная плоскость	25 мм	30 мм	25 мм	30 мм	-
9.	Конечный угловой эмиттанс пучка : (м.рад)					
	а) вертикальная плоскость	3	4	3	3	-
	б) горизонтальная плоскость	5	4	4	4	-
10.	Интенсивность - (10^{12} протонов на мишени) :					
	Π^+	10^7	$6 \cdot 10^6$	$5.5 \cdot 10^6$	$5.7 \cdot 10^6$	
	Π^-	$7 \cdot 10^6$	$4 \cdot 10^6$	$3.6 \cdot 10^6$	$3.8 \cdot 10^6$	
	K^+	$7 \cdot 10^5$	$4.5 \cdot 10^5$	$3.8 \cdot 10^5$	$4.0 \cdot 10^5$	
	K^-	$2.5 \cdot 10^5$	$1.3 \cdot 10^5$	$1.1 \cdot 10^5$	$1.2 \cdot 10^5$	

(Приведен выход частиц на мишени - без учета распада)

сформирован пучок нейтральных частиц (n, K^0) с помощью системы коллиматоров, а очистка от заряженных частиц осуществляется магнитами СП-40 и СП-12.

III. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КАНАЛАМИ

При создании системы каналов предполагается организация единого пульта управления, обеспечивающего контроль за работой, перестройку и управление всеми каналами первичных и вторичных частиц.

Система управления каналами (АКУ) обеспечивает сбор и обработку следующей информации :

- а) о работе систем транспортировки первичного пучка ;
- б) о работе мишенных станций (мишень, интенсивность первичного пучка, мониторингирование по вторичным частицам и т.д.);
- в) контроль за токами в магнитно-оптических элементах каналов (токи, магнитное поле, коллиматоры);
- г) параметры пучков (интенсивность, импульс, интервал импульсов, состав, профиль, расходимость).

Поступающая информация будет обрабатываться на ЭВМ и в случае необходимости передаваться (вся или ее часть) экспериментаторам.

IV. ЗАЩИТА

При проектировании системы каналов первичных и вторичных частиц предусматривается возможность обеспечения работы экспериментаторов и обслуживающего персонала при функционировании канала медленного вывода (ВП-I) и каналов вторичных частиц.

Исходные данные для расчета защиты :

- а) интенсивность пучка протонов в конце цикла ускорения при $p=10 \text{ ГэВ/с} - 10^{12}$ и длительность цикла - 10 с.
- б) длительность вывода 300 - 400 мс.
- в) потери интенсивности первичного пучка при работе мишеней - 60%.
- г) ловушку надо рассчитывать на полное гашение пучка.

На основе этих данных был проведен расчет необходимой толщины защитных стен в канале ВП-I и каналах вторичных частиц, потребного для построения защиты и ловушки количества в ассортименте материалов /6/.

В районе каждой мишенной станции предусматривается создание прохода к каналу первичных частиц (ВП-I) и головным частям каналов вторичных частиц, оборудованного дверью с блокировкой.

Блокировка включается автоматически с началом вывода пучка по каналу ВП-I.

Обслуживающий персонал и экспериментаторы в процессе ускорения могут находиться за защитной стеной, отделяющей первичный пучок от остальной части корпуса.

При отключении любого из элементов транспортирующей системы ВП-I вывод частиц из синхрофазотрона прекращается.

Л И Т Е Р А Т У Р А :

1. И.Б.Иссинский, А.Д.Кириллов, К.П.Мызников.
Препринт ОИЯИ 1224, Дубна, 1963 г.
2. Б.В.Василишин, И.Б.Иссинский, Е.М.Кулакова, В.А.Михайлов.
Препринт БИ-9-6536, Дубна, 1972 г.
3. В.И.Котов, В.В.Миллер.
"Фокусировка и разделение по массам частиц высоких энергий", Москва, Атомиздат, 1969 г.
4. М.М.Кац, А.П.Пьянков.
"Вторичные пучки протонного синхротрона ИТЭФ"
Препринт ИТЭФ-4, Москва, 1974 г.
5. А.М.Балдия и др.
Препринт ОИЯИ. Р1-5819, Дубна, 1971 г.
6. А.И.Антипук, В.Б.Гетманов и др.
"Радиационная защита и поля излучений вокруг синхрофототрона при медленном выводе протонов".
Препринт ОИЯИ Р16-7958, Дубна, 1974 г.

Рукопись поступила в издательский отдел
13 ноября 1975 г.