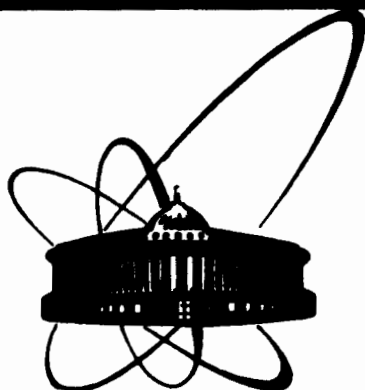


87-364



**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

9-87-364 ет

**СИНХРОФАЗОТРОН ОИЯИ
Работа и совершенствование
(IV квартал 1986 г.)**

1987

А.Н.Баландиков, В.Н.Булдаковский, М.А.Воеводин, В.И.Волков, В.Г.Глушченко, А.И.Голохвастов, В.М.Горченко, А.З.Доршченко, В.П.Заболотин, Л.П.Зицков, А.С.Исаев, И.Б.Иссинский, И.В.Калагин, А.Д.Кириллов, И.А.Курсков, Л.Г.Макаров, В.А.Мончинский, С.А.Новиков, Б.Д.Омельченко, В.Н.Перфеев, С.В.Романов, И.Н.Семенюшкин, В.Ф.Сиколенко, А.А.Смирнов, В.Л.Тищенко, С.В.Федуков, С.А.Хорозов, А.П.Царенков, О.Н.Цисляк, В.И.Черников, Д.И.Шерстянов

1. РАБОТА И НАУЧНАЯ ПРОГРАММА

В IV квартале 1986 г. синхрофазотрон отработал 1762 ч. Из них на физический эксперимент использовано 1557 ч (88,4%), на совершенствование ускорителя — 114 ч (6,5%), сюда включены и работы, связанные с настройкой и юстировкой элементов магнитной оптики в каналах транспортировки выведенных пучков. Потери времени из-за простоя оборудования составили 65 ч (3,7%), технологическая подготовка заняла 26 ч (1,4%).

В табл. 1 приведена информация о виде ускоряемых ядер, величине максимальной и рабочей интенсивности в цикле ускорения и длительности работы в данном режиме в часах.

Таблица 1

Вид ядер	N_{\max}	N_p	$T_{\text{ч}}$
p		N_p	751
${}^7\text{Li}^{3+}$	$4,0 \cdot 10^9$	$1,0 \cdot 10^9$	113
${}^{12}\text{C}^{6+}$	$2,0 \cdot 10^9$	$0,9 \cdot 10^9$	634
${}^{16}\text{O}^{8+}$	$2,5 \cdot 10^7$	$1,5 \cdot 10^7$	96
${}^{19}\text{F}^{9+}$	$2,0 \cdot 10^6$	$1,0 \cdot 10^6$	168

N_p — стабилизируемый уровень интенсивности определяется санитарным паспортом или требованиями эксперимента. Коэффициент использования ускорителя в протонном сеансе составил $K = 3,55$, при ускорении ядер $K = 1,84$.

В IV квартале 1986 г. выполнены исследования упругого протон-протонного рассеяния, получены данные по массовой зависимости рождения K^+ - и K^- -мезонов на ядрах на пучке углерода, установлены корреляции (pp) , $(\pi\pi)$ и $(p\pi)$ для разных углов вылета с измерением спектров протонов при излучении взаимодействия углерода с мишенью, получен экспериментальный материал при изучении фрагментации фтора и кислорода и др. Выполнены предусмотренные методологические и медико-биологические исследования.

В табл. 2 приводятся основные характеристики работы синхрофазотрона на протяжении последних 10 лет, с 1976 г. по 1986 г.

Таблица 2

Годы	Отработано		Отказы (%)	Л	Т	Интенсивность (частиц/цикл)		К	А	
	τ_1	τ_2				N_{max}	N_p			
1976-1980	21160	60	6,0	p-8600		$3,0 \cdot 10^{12}$	N_p	1,65	970	
						$1,0 \cdot 10^{12}$	N_p			
						$4He-4810$	$4,7 \cdot 10^{10}$			$1,3 \cdot 10^9$
						$C-2935$	$4,0 \cdot 10^6$			
						$O-148$	$2,0 \cdot 10^5$			
						m				
1981-1985	19809	55	5,0	p-6416		$4,0 \cdot 10^{12}$	N_p	2,3	1233	
						$1,0 \cdot 10^{12}$	N_p			
						d^+-1156	$6,0 \cdot 10^8$			$2,1 \cdot 10^8$
						$^3He-615$	$4,0 \cdot 10^9$			$0,8 \cdot 10^9$
						$^4He-2403$	$6,0 \cdot 10^{10}$			$1,5 \cdot 10^{10}$
						$Li-60$	$2,0 \cdot 10^9$			$0,3 \cdot 10^9$
						$C-2575$	$4,0 \cdot 10^8$			$2,2 \cdot 10^8$
						$O-843$	$2,5 \cdot 10^7$			$0,5 \cdot 10^7$
						$F-522$	$6,0 \cdot 10^6$			$2,0 \cdot 10^6$
						$Ne-386$	$6,0 \cdot 10^3$			$1,5 \cdot 10^3$
						$Mg-282$	$1,0 \cdot 10^5$			$0,3 \cdot 10^5$
						$Si-63$	$3,0 \cdot 10^4$			$1,5 \cdot 10^4$
		51		p-1715			N_p	4,3		
				d-372			N_p			
				d ⁺ -813	$2,0 \cdot 10^8$	$1,1 \cdot 10^8$				
				Li-113	$4,0 \cdot 10^9$	$1,0 \cdot 10^9$				
1986	4089	3,7		C-634		$2,0 \cdot 10^9$	$0,9 \cdot 10^9$	269		
						$O-96$	$2,5 \cdot 10^7$			$1,5 \cdot 10^7$
						$F-168$	$2,0 \cdot 10^6$			$1,0 \cdot 10^6$
						$Mg-178$	$8,0 \cdot 10^4$			$4,0 \cdot 10^4$

τ_1 — время, использованное для ускорения частиц.

τ_2 — время, использованное для ускорения протонов и дейтронов (в процентах).

Л — род ускоренных частиц.

Т — длительность работы (в часах).

N_p — рабочая интенсивность, определяемая требованиями санитарного паспорта, условиями эксперимента или возможностью ускорителя.

К — коэффициент использования ускорителя в протонном и дейтронном сеансах работы.

А — работа на сэкономленной энергии (в часах).

m — индикаторное количество ядер.

2. ЛАЗЕРНЫЙ ИСТОЧНИК ИОНОВ

Для обеспечения запланированных физических экспериментов пучками ядер лития, углерода, кислорода и фтора был использован лазерный источник многозарядных ионов.

В зависимости от выбранного элемента в линейном ускорителе (ЛУ-20) ускоряются ионы с различным отношением Z/A.

Таблица 3

Элемент	литий	углерод	кислород	фтор
Ускоряемый ион	ядро $^7Li^{3+}$	$^{12}C^{4+}$	$^{16}O^{6+}$	$^{19}F^{7+}$
Z/A	0,4285	0,3333	0,3750	0,3684
Потенциал ионизации (эВ)	122,45	64,49	138,12	185,18

Из табл. 3 видно, что максимальный потенциал ионизации, который надо получить в лазерной плазме, оказывается < 200 эВ. Это позволяет существенно снизить требование к плотности потока излучения на мишени.

Для оптимальной настройки тока на выходе ЛУ-20 подбирается соответствующая плотность потока на мишени посредством расфокусировки падающего излучения.

Все ускоренные ионы, за исключением ядер лития, подвергаются обдирке на углеродном стриппере, расположенном в ~ 2 м после резонатора ЛУ-20.

Из-за низкого отношения Z/A, особенно для углерода, в резонатор ЛУ-20 требуется ввести большую высокочастотную мощность. При ускорении углерода ВЧ-генераторы системы "Родонит" ^{1/} работают уже в режиме максимальной нагрузки, что, естественно, снижает их надежность. Поскольку расчетная напряженность ускоряющего электрического поля в резонаторе не достигается, синхронная фаза оказывается малой. При использовании группирователя это приводит к острой зависимости режима ускорения от уровня напряжения форинжектора (ФИ). Так, изменение напряжения ФИ $U = U_{ном} \pm 1$ кВ ($\Delta U = \pm 0,2\%$) приводит к уменьшению тока на выходе ЛУ-20 в 2-3 раза. В то же время напряжение на ускоряющей трубке зависит и от токовой нагрузки ионов, поступающих из источника. Нагрузка эта растет со временем, поэтому длительность тока на выходе ЛУ-20 определяется не только самой длительностью ионного пучка, но и временем, в течение которого напряжение ФИ соответствует необходимой величине.

В прошедшем сеансе удалось простым способом увеличить это время практически до длительности ионного пучка, что было достигнуто путем запуска источника не на плоской вершине импульса напряжения ФИ, а на его нарастающем фронте с таким расчетом, чтобы изменение уровня напряжения за время прохождения пучка ионов было минимальным. В результате длительность ускоренного тока углерода увеличилась с 5 мкс до 20 ± 25 мкс, а для лития достигла ~ 15 мкс. Это позволило получить в кольце синхрофазотрона ускоренные пучки ядер углерода $\sim 2 \cdot 10^9$ ядер/цикл, лития — $4 \cdot 10^9$ ядер/цикл.

В табл. 4 приведены характеристики пучков ионов на выходе ЛУ-20.

Таблица 4

Элемент	литий	углерод	кислород	фтор
Материал мишени	фтористый литий	графит	кварц	фторопласт
Ток ядер, мА	2,0	2,5	0,8	1,2
Длительность на полувысоте, мкс	15	25	10	6
Число ядер	$6,25 \cdot 10^{10}$	$6,5 \cdot 10^{10}$	$6,25 \cdot 10^9$	$5,0 \cdot 10^9$

3. БЕССТРУКТУРНЫЙ МЕДЛЕННЫЙ ВЫВОД

Экспериментальные физические установки успешно работали в режиме бесструктурного медленного вывода, который обеспечивался совместной работой системы синхронного управления вентильным преобразователем питания главного магнита, активного фильтра (АФ) и обратной связи по току пучка с блоком демпфирования автоколебаний и стабилизации скорости развития резонанса ^{1/2}. Вывод пучка производился на плато индукции магнитного поля $B = 1,07$ Тл, интенсивность выводимого пучка составляла $1 \cdot 10^{10}$ частиц в цикле ускорения. Измерения показали, что низкочастотная модуляция тока выведенного пучка — не более $(30 \pm 40)\%$ (рис. 1).

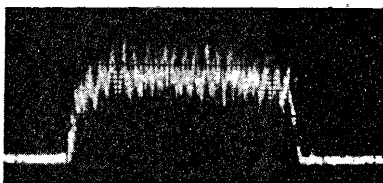


Рис. 1. Макроструктура тока выведенного пучка частиц.

При организации совместной работы систем, обеспечивающих получение режима бесструктурного медленного вывода, большие усилия пришлось затратить для увеличения работоспособности активного фильтра (АФ) ^{3/}. В частности, это выразилось в усовершенствовании защитных устройств АФ.

В схеме АФ работают параллельно четыре одинаковых усилителя, каждый из которых питает током пульсаций компенсационную обмотку соответствующего квадранта главного электромагнита. В связи с большой нагрузкой в каждом плече работают параллельно 40 транзисторов типа КТ 809 А.

При аварийных режимах в системе питания главного магнита ускорителя бросок напряжения в компенсационной обмотке, достигающий 90 В, складывается с напряжением источника питания усилителя, что и определяет при полном открытии усилительных каскадов ток в плече до 80 А или величину выделяемой мощности ~ 12000 Вт. Способность выдерживать такие перегрузки не одинакова для различных транзисторов, в результате выходят из строя отдельные параллельные ветви, происходит еще большая перегрузка остающихся в работе — развивается авария, и АФ выходит из строя. Использование максимальной импульсной защиты для закрытия ключей оказалось неэффективным — выход из строя транзисторов продолжался: за короткое время из строя выходило до 100 транзисторов.

Был предпринят ряд усовершенствований, который позволил значительно увеличить надежность работы АФ:

1. Проведены мероприятия для улучшения деления тока между транзисторами.

2. В схему АФ введен компаратор, выдающий сигнал для закрывания тиристорных ключей уже при величине амплитуды пульсаций в компенсационной обмотке квадранта, превышающей $\Delta U = \pm 1$ В. Таким образом коллекторное питание транзисторов отключается, как только амплитуда пульсаций в обмотке достигнет трехкратного значения.

3. Введена пороговая обратная связь коллектор-база для открывания транзистора при $U_k \geq 100$ В.

4. Вместо разрядников типа Т-100, шунтирующих силовые транзисторы, установлены высокочастотные разрядники ТЧИ-100.

5. Введено токовое реле РТ-40 ^{4/} для отключения АФ при срабатывании разрядника или коротком замыкании в силовых цепях. При повреждении транзистора он отключается вследствие сгорания предохранителя в базовой или эмиттерной цепях. При этом АФ остается в работе, так как время срабатывания реле РТ-40 ^{4/} больше, чем время разрушения предохранителей.

4. ИЗМЕРЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ПУЧКА В КАНАЛЕ МЕДЛЕННОГО ВЫВОДА

С целью расширения диагностических возможностей автоматизированной системы контроля и управления параметрами медленного

вывода пучка из синхрофазотрона созданы, испытаны на ускорителе и введены в действие два комплекта аппаратуры для абсолютных измерений интенсивности пучка.

В качестве детекторов используются плоскопараллельные восьми-зачерные ионизационные камеры, наполненные аргоном. Сигнальные и высоковольтные электроды камер изготовлены из медной фольги толщиной 10 мкм. Диаметр электродов 180 мм, расстояние между ними 10 мм. Рабочее напряжение на высоковольтных электродах — 700 В. Сопротивление изоляции между высоковольтными и сигнальными электродами 10^{14} Ом.

Основным узлом аппаратуры регистрации сигнала с камеры является интегратор тока ионизации, который обеспечивает измерения в трех диапазонах со следующими коэффициентами преобразования заряда в напряжение: в первом диапазоне — $2 \cdot 10^9$ В/Кл, во втором — 2×10^7 В/Кл и в третьем — $2 \cdot 10^5$ В/Кл. Переключение чувствительности производится дистанционно с пульта управления ускорителем. Интегратор снабжен эффективной схемой компенсации токов утечки от высоковольтных электродов и возможных фоновых токов, вызванных наведенной радиоактивностью элементов камеры и конструкций канала транспортировки пучка. Скорость дрейфа выходного сигнала интегратора, подключенного к камере, не превышает 0,3 мВ/с.

Передача информации от интегратора к ЭВМ, расположенной в зале управления ускорителем, производится с помощью преобразователя напряжения — частота (ПНЧ) для исключения влияния помех, возникающих в протяженной линии связи (~ 500 м). Крутизна характеристики преобразования ПНЧ составляет 10 кГц/В. Интегральная нелинейность — не более $3 \cdot 10^{-4}$ в диапазоне входных сигналов 0:10 В.

Регистрация данных в месте размещения ЭВМ осуществляется счетчиком импульсов. После обработки информация отображается на телевизионных мониторах.

Достигнутая высокая чувствительность аппаратуры позволила провести ее калибровку с использованием методики сцинтилляционных счетчиков на выведенном пучке ядер углерода при интенсивности $\sim 10^4$ част./цикл в условиях, когда вероятность просчетов крайне незначительна. Калибровка проведена при четырех энергиях выведенного пучка.

Проведенные исследования показали, что введенная в действие аппаратура позволяет производить, как и предполагалось при ее разработке, абсолютные измерения интенсивности в диапазоне $10^5 \div 10^{12}$ однозарядных част./цикл с погрешностью не более $\pm 3\%$. Тем самым обеспечивается контроль одного из основных параметров выводимого пучка в широком диапазоне интенсивностей и реализуются дополнительные возможности в проведении работ по оптимизации режимов вывода пучка и его транспортировки к физическим установкам.

5. ИЗМЕРЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ИНЖЕКТИРУЕМОГО ПУЧКА

Внутри камеры синхрофазотрона находятся два коллекторных датчика для измерения тока и заряда пучка частиц, инжектируемых в камеру ускорителя. Один из них — цилиндр Фарадея — измеряет число частиц, прошедшее инфлекторные пластины; второй — бетатронная мишень — измеряет число частиц, циркулирующих в камере ускорителя в квазибетатронном режиме. Обычно сигналы с коллекторных датчиков поступают на вход усилительного устройства, находящегося в непосредственной близости от датчика. При этом усилитель работает либо в режиме сбора заряда, либо в токовом режиме. Такое построение измерительной аппаратуры имеет следующие недостатки. Во-первых, для достижения большого динамического диапазона по входным сигналам, например 10^5 , усилитель должен иметь переключатель диапазонов, управляемый, как правило, с операторских пультов. Во-вторых, усилитель, расположенный вблизи датчика, находится в "зоне запрета" по радиационной обстановке, что усложняет его эксплуатацию. Для устранения этих недостатков на синхрофазотроне реализована следующая схема измерительного устройства. Сигнал с коллекторного датчика поступает на вход зарядового усилителя (1) с интегрирующей емкостью C_u в цепи обратной связи (см. рис. 2). Усилитель находится на пульте управления ускорителем и обеспечивает динамический диапазон измерения входных сигналов от $1 \cdot 10^9$ до $1 \cdot 10^{14}$ р/цикл благодаря переключению величины интегрирующей емкости. Зарядовый усилитель собран на базе малошумящего быстродействующего операционного ускорителя с большим входным сопротивлением (КР544 УД2А).

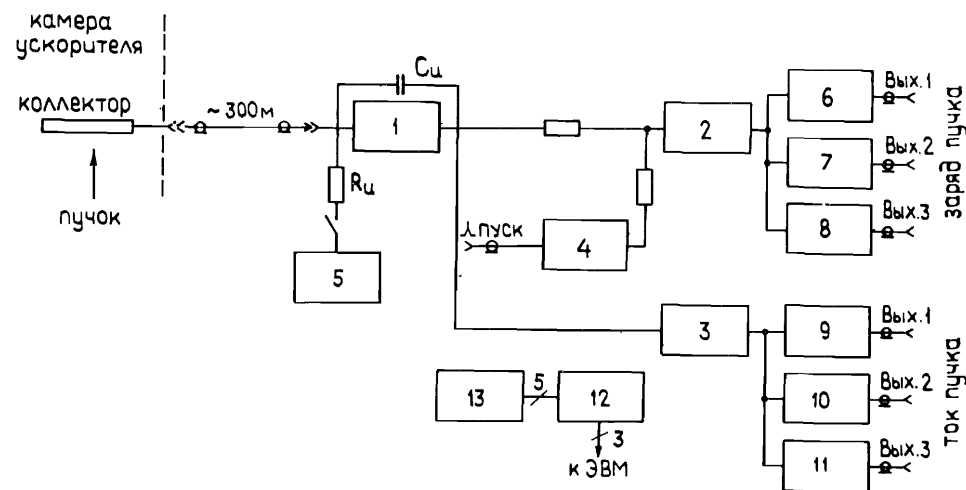


Рис. 2. Структурная схема системы измерения тока и заряда инжектируемого пучка.

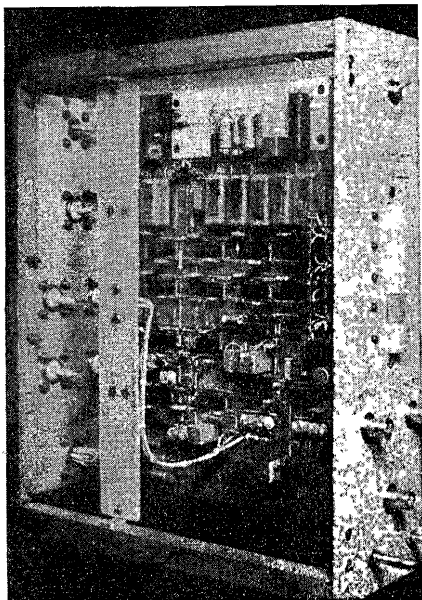


Рис. 3. Общий вид электронного блока.

Емкость кабеля между датчиком и усилителем при этом практически не оказывает шунтирующего действия и не уменьшает чувствительности зарядового усилителя, так как его входная емкость определяется выражением $C_{вх} = C_{и} (K + 1) \gg C_{каб}$, где $K = 2 \cdot 10^4$ — коэффициент усиления операционного усилителя. Следовательно, в режиме сбора заряда предусилитель допускает удаление его на значительное расстояние (в нашем случае — на 300 м). Измерение тока в цепи коллекторной мишени осуществляется введением в схему дифференциатора (3). При этом измерение тока и заряда происходит одновременно в одном цикле ускорения. Для увеличения точности абсолютных измерений заряда в схему

введена цепь калибровки зарядового усилителя. Для калибровки используется метод формирования высокоточного импульсного сигнала (5). Длительность импульса и его амплитуда известны с точностью не хуже $1 \cdot 10^{-3}$. Определение же с такой точностью величины C не представляется возможным. В измерительную аппаратуру введена схема формирования маркерных меток (4). Метки суммируются с полезным сигналом в усилителе (2) и поступают на пульт управления ЛУ-20, что позволяет оператору определить положение позиционного переключателя (13), то есть чувствительность аппаратуры. Для ЭВМ положение переключателя кодируется схемой шифратора (12). Для усиления мощности используются выходные усилители (6 ÷ 11). Общий вид электронного блока, реализующего структурную схему, представлен на рис. 3.

Технические характеристики измерительной системы:

1. Динамический диапазон входных сигналов	$1 \cdot 10^9 \div 1 \cdot 10^{14}$ р/имп.
2. Порог чувствительности	$3 \cdot 10^8$ р/имп.
3. Точность абсолютных измерений заряда, не хуже	0,5%
4. Диапазон рабочих частот	$0 \div 0,1$ мГц
5. Количество измерительных каналов	2

ЛИТЕРАТУРА

1. Попов В.А. Сообщение ОИЯИ 9-11835, Дубна, 1978.
2. Волков В.И. и др. Сообщение ОИЯИ 9-8910, Дубна, 1975.
3. Глуценко В.Г. и др. Сообщение ОИЯИ 9-86-473, Дубна, 1986.
4. Алексеев В.С. и др. Реле защиты. М.: Энергия, 1976, с.97.

Рукопись поступила в издательский отдел
22 мая 1987 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

ДЗ,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р.00 к.
Д7-83-644	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.	6 р.55 к.
Д2,13-83-689	Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.	2 р.00 к.
Д13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р.50 к.
Д2-84-366	Труды 7 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1984.	4 р.30 к.
Д1,2-84-599	Труды VII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1984.	5 р.50 к.
Д10,11-84-818	Труды V Международного совещания по проблемам математического моделирования, программированию и математическим методам решения физических задач. Дубна, 1983.	3 р.50 к.
Д17-84-850	Труды III Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1984. /2 тома/	1 р.75 к.
Д11-85-791	Труды Международного совещания по аналитическим вычислениям на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1985.	4 р.00 к.
Д13-85-793	Труды XII Международного симпозиума по ядерной электронике. Дубна, 1985.	4 р.80 к.
Д4-85-851	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1985.	3 р.75 к.
ДЗ,4,17-86-747	Труды V Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1986. Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1984. /2 тома/	4 р.50 к. 13 р.50 к.
Д1,2-86-668	Труды VIII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1986. /2 тома/	7 р.35 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу: 101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79. Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.

Баландиков А.Н. и др.

9-87-364

Синхрофазотрон ОИЯИ. Работа и совершенствование (IV квартал 1986 г.)

Приводятся сведения о работе ускорителя в IV квартале 1986 г. и в 1986 г., а также сравнительные данные за три последние пятилетки. При работе ускорителя с лазерным источником ионов найдена возможность увеличить число ядер, инжектируемых в кольцо синхрофазотрона. Это позволило существенно увеличить интенсивность ускоренных ядер. Создана аппаратура для абсолютных измерений выведенного пучка ядер; в пучке выведенных ядер углерода малой интенсивности проведена ее калибровка. Абсолютные измерения интенсивности в пределах $10^5 \cdot 10^{12}$ однозарядных частиц в цикле возможны с погрешностью не более $\pm 3\%$. В опытную эксплуатацию введен комплекс аппаратуры для осуществления так называемого "бесструктурного" вывода. Получен рост эффективной длительности медленного вывода. Для измерения интенсивности инжектируемого пучка создана новая схема электроники.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1987

Перевод О.С.Виноградовой

Balandikov A.N. et al.

9-87-364

JINR Synchrotron. Operation and Improvement (IV Quarter 1986)

Information on the operation of the Dubna synchrotron in quarter IV, 1986 and in 1986 is presented. Comparative data obtained over a period of the last fifteen years are also given. When a CO₂ laser ion source is used as an injector, the number of nuclei injected into the accelerator can be increased. This allows the intensity of accelerated nuclei to be increased significantly. The apparatus for absolute measurements of an extracted beam of nuclei has been constructed. It was calibrated in a beam of carbon nuclei of low intensity. Absolute measurements of the intensity of singly-charged particles from 10^5 to 10^{12} per cycle can be performed with an error of no more than $\pm 3\%$. To obtain the so-called "structureless" extraction, a set of devices has been put into operation. These devices made it possible to increase the effective duration of slow extraction. A new circuit of electronics has been constructed to measure the intensity of an injected beam.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1987