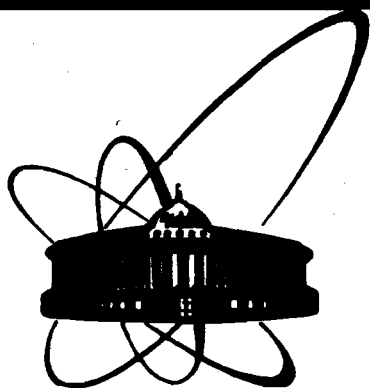


89-118



**СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

Б 201

9-89-118

А. Н. Баланди́ков, Б. В. Васи́лишин, В. И. Волков,  
А. Э. Дорошенко, В. П. Заболотин, И. В. Зайцев,  
Л. П. Зиновьев, А. С. Исаев, И. Б. Иссинский,  
А. Д. Кириллов, С. В. Костюченко, И. И. Куликов,  
Е. А. Матюшевский, Л. Г. Макаров, В. А. Мончинский,  
С. А. Новиков, В. Н. Перфеев, И. Н. Семенюшкин,  
В. Ф. Сиколенко, Д. В. Уральский, С. В. Федукон,  
Д. И. Шерстянов, В. Ю. Шилов

**СИНХРОФАЗОТРОН ОИЯИ**

**Работа и совершенствование**

**(I и II квартал 1988 г.)**

**1989**

## 1. РАБОТА И НАУЧНАЯ ПРОГРАММА

В I квартале 1988 г. синхрофазотрон работал 1394 ч. На эксперимент отработано 1311 ч (94,1%), в том числе на физический эксперимент 1204 ч (86,4%), на совершенствование ускорительного комплекса 107 ч (7,7%). Потеряно по причине простоя систем ускорителя 62 ч (4,5%), технологическая подготовка, осмотры и пр. заняли 21 ч (1,5%).

В таблице приведена информация о виде ускоряемых ядер, величине их рабочей ( $N_{\text{раб.}}$ ) и максимальной ( $N_{\text{макс.}}$ ) интенсивности в цикле ускорения и длительности работы в данном режиме в часах.

Таблица

Вид ядер	$N_{\text{раб.}}$	$N_{\text{макс.}}$	$T_{\text{ч}}$
p	$N_{\text{ст}}$	$N_{\text{ст}}$	729
d	$N_{\text{ст}}$	$1,1 \cdot 10^{11}$	271
$^4\text{He}^{2+}$	$5,0 \cdot 10^9$	$7,0 \cdot 10^9$	394

Здесь  $N_{\text{ст}}$  — уровень рабочей интенсивности, определяемый санитарным паспортом или требованиями эксперимента.

Коэффициент использования ускорителя на физический эксперимент показывает количество физических установок, одновременно работающих на пучках синхрофазотрона,  $K = 4,45$ .

Во II квартале 1988 г. синхрофазотрон работал всего 256 ч на поляризованных дейтронах. На физический эксперимент использовано 135 ч (52,9%), на совершенствование собственно ускорителя 12 ч (4,6%), технологическая подготовка, осмотры оборудования и пр. заняли 2 ч (0,7%). Средняя рабочая интенсивность ускоренных дейтронов  $N_{\text{раб.}} = 5,1 \cdot 10^8$  ядер в цикле ускорения, максимальная  $N_{\text{макс.}} = 8,0 \cdot 10^8$  ядер в цикле ускорения.

Отличительной особенностью работы синхрофазотрона в I квартале 1988 г. была его высокая эффективность: на пучке ускорителя могли работать одновременно до пяти экспериментаторов. Это обеспечивалось не только хорошей стабильностью работы всего комплекса, но и созданием нестандартных режимов совмещения. Одним из таких был режим одновременной работы трех физических установок на одном направлении медленного вывода. При этом для двух установок требовалась интенсивность  $5,0 \cdot 10^9$  ядер в импульсе, а для третьей —  $5,0 \cdot 10^4$  ядер в импульсе. Подавление пяти порядков интенсивности было достигнуто за счет перестройки оптической схемы канала ВП-1<sup>11</sup> на участке между линзами  $F_4$  и  $F_5$ . Установка коллиматоров в канале ВП-1 не давала необходимого эффекта и, кроме того, ухудшала чистоту пучка (появлялась возможность развала  $\alpha$ -частиц с появлением дейтронов с тем же импульсом). Поэтому для получения нужной интенсивности объектив из четырех линз канала ВП-1 (3, 4, 5, 6 К200) был включен по схеме Д, Д, Д, Д в горизонтальной плоскости (соответственно — Ф, Ф, Ф, Ф в вертикальной). Пучок  $\alpha$ -частиц на трассе канала до линзы  $F_5$  имел большую расходимость в обеих плоскостях, и взаимодействие со стенками не приводило к появлению в канале другого сорта частиц с аналогичным импульсом.

В первом полугодии 1988 г. продолжался набор экспериментального материала по рождению заряженных кумулятивных частиц в протон-ядерных взаимодействиях, измерялись сечения перезарядки пионов ( $\rho\pi = 1200$  МэВ) с возбуждением  $\Delta_{3,3}$ -изобары на легких ядрах, выполнены эксперименты по определению выхода антипротонов при взаимодействии релятивистских дейтронов с ядрами др. На установке АЛЬФА-ПОЛИС проведены измерения анализирующей способности в реакции  $d\uparrow + C \rightarrow p + X$  под несколькими углами и при импульсе дейтронов 2,92 ГэВ.

На пучке ядер гелия проводились измерения спектров вторичных частиц с отбором по ассоциативной множественности при работе с разными мишенями, получен экспериментальный материал по исследованию рождения гиперядер и др.

На двухметровой пропановой и однометровой жидководородной пузырьковых камерах в пучке дейтронов, гелия и поляризованных дейтронов получено более 150 тыс. фотографий.

Выполнены планировавшиеся методические и медико-биологические эксперименты.

## 2. ИЗМЕРЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА ПОМЕХ, МОДУЛИРУЮЩИХ ТОК ВЫВЕДЕННОГО ПУЧКА

В течение ряда лет на синхрофазотроне ведутся работы по подавлению низкочастотных пульсаций в токе пучка медленного вывода. Несмотря на то, что в этом направлении достигнут определенный прог-

## ВРЕМЕННАЯ СТРУКТУРА И ЧАСТОТНЫЙ СПЕКТР РАСЯЖКИ ВЫВЕДЕННОГО ПУЧКА

17 МАРТА 1988 Г. 1232

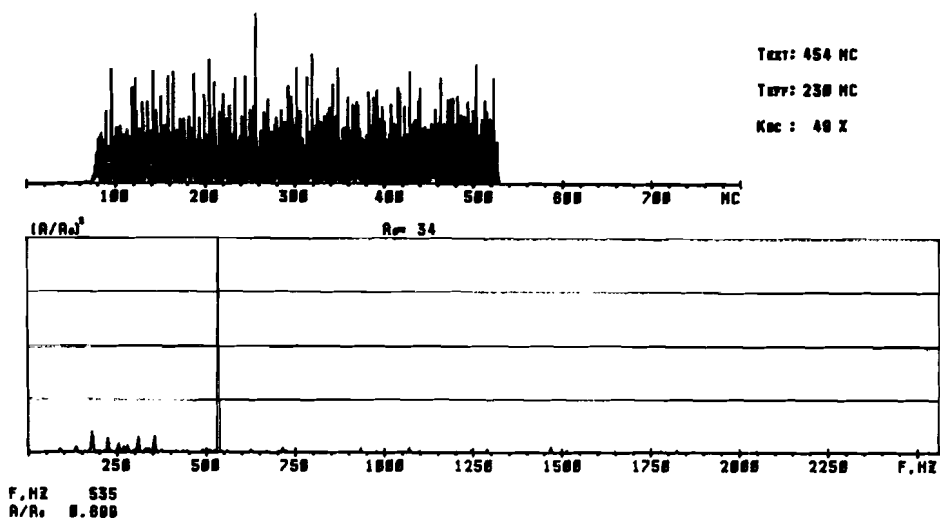


Рис. 1. Временная структура и частотный спектр выведенного пучка. В верхней части рисунка в реальном масштабе времени дается информация о характере тока выводимого пучка.

ресс<sup>11</sup>, вклад в модуляцию пучка отдельных систем ускорителя в настоящее время недостаточно ясен. Каждая система, определяющая или влияющая на режим медленного вывода, характеризуется вполне определенной возможной частотой модуляции. Спектральный анализ частот модулирующих помех мог бы помочь решению поставленной задачи. С этой целью на базе ЭВМ СМ-4 была разработана аппаратура гармонического анализа спектра тока выведенного пучка из синхрофазотрона. Используется алгоритм быстрого фурье-преобразования (БПФ). С помощью этой аппаратуры в одном из экспериментов было обнаружено, что заметный вклад в модуляцию тока выведенного пучка вносит двенадцатая гармоника частоты источника питания главного магнита ускорителя. Вывод пучка осуществлялся при значении магнитного поля  $B = 1,07$  Тл, и частота гармоники оказалась  $f = 535$  Гц.

На основании полученных результатов и дальнейших исследований будут выработаны рекомендации по возможной модернизации системы питания с целью существенного ослабления влияния этой гармоники.

Кроме того, аппаратура обеспечивает оперативное представление информации о степени подавления модуляции. На экране дисплея выво-

дятся данные об эффективной длительности импульса тока выведенного пучка (в абсолютных цифрах и процентном отношении) (см. рис. 1).

Работа по повышению эффективной длительности медленного вывода из синхрофазотрона продолжается.

### 3. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫВОДА ПУЧКА НА ВТОРОМ НАПРАВЛЕНИИ

Второе направление вывода пучка ускоренных частиц из синхрофазотрона (МВ-2) было создано для облучения пузырьковых камер, которым требуется не более 5-20 частиц за время вывода  $1 \text{ мс}^{1/2}$ . Впоследствии на этом направлении появились установки, использующие электронную методику. Для подобных установок потребовались уже высокоинтенсивные пучки ( $\cong 10^9$  частиц/цикл) с максимальной длительностью вывода, определяемой, в конечном счете, энергетическими ограничениями систем вывода. Получить высокоэффективный вывод в существовавшей схеме не удавалось по причине дефокусирующего действия

на пучок в горизонтальной плоскости быстро спадающего краевого магнитного поля. Для устранения такого влияния было предложено шиммировать участок трассы вывода пучка. Проведенные расчеты показали, что наилучший эффект может быть получен, если в районе наибольшего спада магнитного поля дефокусирующий участок длиной 4 м заменить на фокусирующий. В этом случае участок трассы пучка в крайнем поле квадранта окажется эквивалентным триплету ДФД. В этом случае участок краевого поля перед шиммами аналогичен первой линзе Д, шиммированный участок эквивалентен линзе Ф, а участок поля после шимм выполняет функцию второй линзы Д. При расчетах были определены значения азимута шиммированного участка и градиент магнитного поля в нем, которые обеспечивали получение оптимальных характеристик на выходе из квадранта ускорителя (рис. 2, 3, 4). Вывод пучка производился через боковую стенку вакуумной камеры 1 квадранта с внешней стороны. Потребовалась переделка вакуумной камеры, прилегающей к десяти полюсным наконечникам, выбранным для шиммирования. Необходимая конфигурация поля в области, где пучок выходит за пределы существующих полюсов, создается дополнительными наконечниками-шиммами из стали-3, которые закрепляются на полюсах магнита ускорителя. Внешние концы шимм опираются на трапециевидные немагнитные вставки из стали 12Х18Н9Т, выполняющие функции распорок. Шиммы с внешней стороны уско-

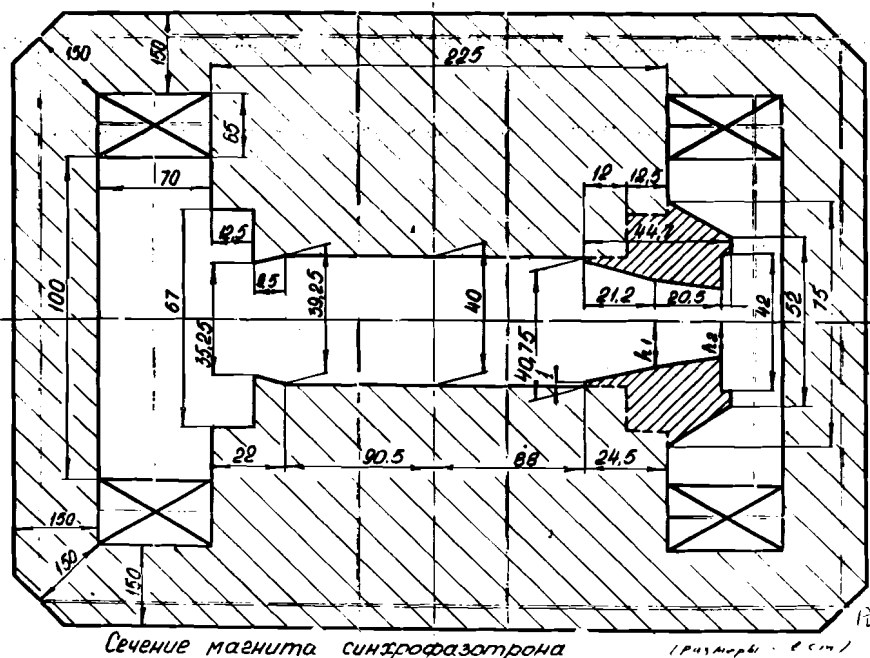


Рис. 2. Поперечное сечение электромагнита синхрофазотрона в месте расположения шимм.

Рис. 3. Горизонтальная и вертикальная огибающие пучка при движении его через квадрант 1 (расчет).

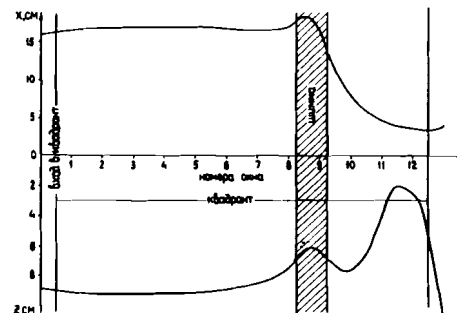
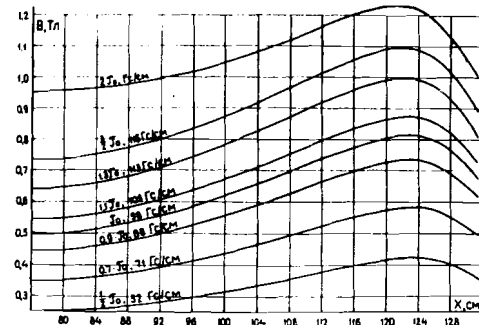


Рис. 4. Магнитные характеристики в зазоре электромагнита в области установки шимм ( $h_1-h_2$ ) в зависимости от тока возбуждения.  $J_0$  — ток возбуждения электромагнита, соответствующий индукции  $B_0 = 0,5 \text{ Тл}$ . Ось "х" направлена в сторону увеличения радиуса. Величина зазора в месте расположения шимм  $h_1 = 131,2 \text{ мм}$ ,  $h_2 = 100 \text{ мм}$ .



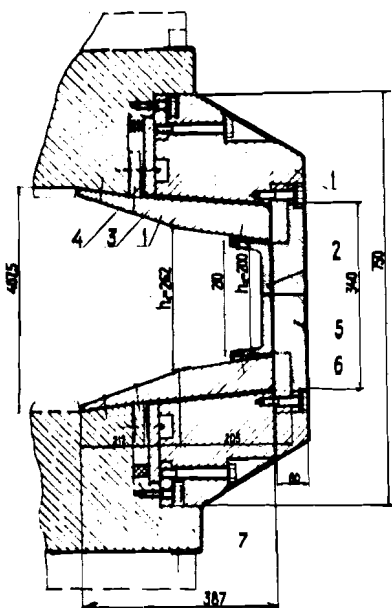


Рис. 5. Поперечное сечение шиммированного участка электромагнита. 1 – шиммы, 2, 5 – распорки, 3 – стенка вакуумной камеры, 4 – вакуумное уплотнение, 6 – стенка форвакуумной камеры, 7 – полюс электромагнита.

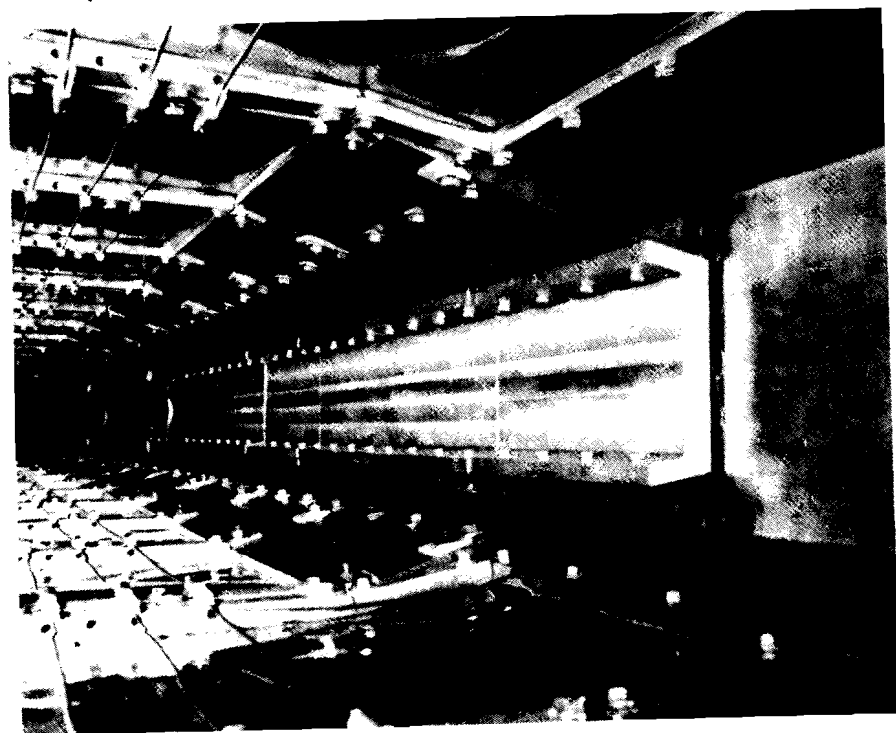


Рис. 6. Внутренний вид высоковакуумной камеры на шиммированном участке электромагнита.

рителя закрываются высоковакуумным кожухом толщиной 2 мм, который изготовлен из листовой стали той же марки. Выступающая часть конструкции окружена форвакуумной камерой. Силовые элементы ее выполнены в виде башмаков, прикрепленных к полюсам, аналогично шиммам, и вставок между ними, используемый материал – дюралюминий (рис. 5, 6).

Монтаж шимм был закончен в июне 1988 г. Вакуумная камера уплотнена и откачана до рабочего вакуума. Затем новая конструкция испытана в условиях нормальной работы главного магнита в циклическом режиме. Испытания прошли успешно. В июле 1988 г. была запланирована работа по выведению пучка ускоренных частиц в направлении МВ-2.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Воеводин М.А. и др. – ОИЯИ, 9-86-647, Дубна, 1986.
2. Боков Г.А. и др. – ОИЯИ, Р9-10399, Дубна, 1977.

Рукопись поступила в издательский отдел  
21 февраля 1989 года