

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



С 345e
Б-399

11/11-78
9 - 11765

5402/2-78

Ю.Д.Безногих, А.Г.Бонч-Осмоловский, М.А.Воеводин,
А.И.Говоров, В.П.Зоболотин, Л.П.Зиновьев, А.С.Исаев,
Г.С.Казанский, И.И.Карпов, А.Д.Коваленко,
Н.А.Коруков, Л.Г.Макаров, В.А.Мончинский,
В.Н.Перфеев, В.А.Попов, Е.В.Руднев, Ш.З.Сайфулин,
И.Н.Семенюшкин, С.В.Федуков, А.П.Царенков,
В.И.Черников, К.В.Чехлов, Д.И.Шерстянов, И.Н.Яловой

СИНХРОФАЗОТРОН ОИЯИ.

РАБОТА И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ

(I квартал 1978 г.)

1978

9 - 11765

Ю.Д.Безногих, А.Г.Бонч-Осмоловский, М.А.Воеводин,
А.И.Говоров, В.П.Зоболотин, Л.П.Зиновьев, А.С.Исаев,
Г.С.Казанский, И.И.Карпов, А.Д.Коваленко,
Н.А.Коруков, Л.Г.Макаров, В.А.Мончинский,
В.Н.Перфеев, В.А.Попов, Е.В.Руднев, Ш.З.Сайфулин,
И.Н.Семенюшкин, С.В.Федуков, А.П.Царенков,
В.И.Черников, К.В.Чехлов, Д.И.Шерстянов, И.Н.Яловой

СИНХРОФАЗОТРОН ОИЯИ.

РАБОТА И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ

(I квартал 1978 г.)



Безногих Ю.Д. и др.

9 - 11765

Синхрофазотрон ОИЯИ. Работа и совершенствование (I квартал 1978 г)

Синхрофазотрон ОИЯИ работает на физический эксперимент с одновременным использованием его ускоренного пучка двумя - тремя экспериментальными установками. Совершенствование инжекционного комплекса, ослабление влияния искажающих факторов на магнитное поле в рабочей области позволили получить среднюю интенсивность ускоренного пучка протонов $\bar{N}_k = 1,4 \times 10^{12}$ прот./имп. и максимальную на полной энергии $N_{k \max} = 4,0 \times 10^{12}$ прот./имп., что весьма важно для ускорения ядер тяжелее протонов. Магнитные измерения различными типами магнитометров позволили уточнить величину рабочего поля ускорителя с погрешностью не хуже $\pm 0,5\%$. Продолжающиеся геодезические наблюдения за поведением электромагнита ускорителя ставят своей целью контроль и набор статистических данных о влиянии окружающих конструкций и сезонных условий на искажение кольцевого фундамента электромагнита.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1978

Beznogikh Yu.D. et al.

9 - 11765

The JINR Synchrotron, Operation and Improvement (the First Quarter of 1978)

At the Dubna Synchrotron an accelerated beam is simultaneously used by two or three experimental setups. An improvement of the injection system and a decrease of the influence of distortion factors of the electromagnetic field in the operating region of the vacuum chamber made it possible to obtain the average intensity of an accelerated proton beam $\bar{N}_k = 1,4 \cdot 10^{12}$ protons per pulse and the maximum intensity of total energy $N_{k \max} = 4,0 \cdot 10^{12}$ protons per pulse. This is of importance to accelerate nuclei heavier than protons. Magnetic measurements made by different types of magnetometer permitted the operating field of the accelerator to be refined with an error of no worse than $\pm 0,5\%$. Geodetic observations of the behaviour of the accelerator electromagnet are in progress and are aimed at controlling the electromagnet position at accumulation of statistical data on the influence of surrounding constructions and season conditions on the deformation of the electromagnet ring foundation.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1978

1. ВВЕДЕНИЕ

Весь I квартал 1978 г. в синхрофазотроне ОИЯИ ускорялись только протоны. Расписанием было запланировано 1192 ч работы ускорителя. На эксперимент отработано 1082 ч /90,7%/, в том числе - на физический эксперимент 920 ч /77,2%/, на совершенствование систем синхрофазотрона - 162 ч /13,5%/. Технологическая подготовка систем /запуск, осмотры и т.п./ заняла 51 ч /4,3%/, потери времени из-за простоев составили 60 ч /5%/>.

Средняя интенсивность ускоренного пучка на полной энергии была:

$$\bar{N}_k = 1,4 \times 10^{12} \text{ прот./имп.}$$

Максимальная интенсивность имела величину:

$$N_{k \max} = 4,0 \times 10^{12} \text{ прот./имп.}$$

Средний вакуум в камере ускорителя

$$\bar{p} = 4,0 \times 10^{-6} \text{ Тор.}$$

Коэффициент использования ускорителя на физический эксперимент $K = 1,84$.

Продолжена работа по увеличению уровня интенсивности ускоряемых частиц.

В конце 1977 г. на входе линейного ускорителя /ЛУ-20/ был установлен группирователь /ГР/, продолжена замена широких металлических шин, расположенных в камере основного ускорителя, на более узкие.

В результате был получен рост интенсивности в кольце, что, в конечном счете, является решающим фактором при ускорении ядер более высокой зарядности, чем протоны. Тогда же после 100 мс ускорения было получено в импульсе:

$$\begin{aligned} \text{дейтронов } N_{100} &= 3,0 \times 10^{11} \text{ ядер,} \\ \alpha\text{-частиц } N_{100} &= 3,0 \times 10^{10} \text{ " .} \end{aligned}$$

В 1978 г. продолжены исследования динамики пучка протонов в кольце и после 100 мс ускорения было получено:

$$N_{100} = 4,7 \times 10^{12} \text{ ядер/имп.}$$

Магнитные измерения, проведенные двумя типами магнитометров, имели цель уточнить калибровку основного датчика магнитного поля - интеграторной катушки. Это позволило уточнить значение магнитного поля синхрофазотрона с погрешностью не хуже $\pm 0,5\%$.

Приводятся результаты очередной серии геодезических наблюдений за поведением электромагнита /ЭМ/ синхрофазотрона.

2. ИНЖЕКЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС

В конце 1977 г. ток дейтронов и ядер гелия на выходе ЛУ-20 был увеличен в 2 раза и достиг величины 14 мА для дейтронов и 0,8 мА - для ядер гелия в импульсе за счет установки однозазорного ГР /1/.

В I квартале 1978 г. был настроен оптимальный режим работы ГР и для протонного пучка. Ток пучка протонов на выходе ЛУ-20 при тщательной настройке элементов инжекционной оптики, обеспечившей 100-процентное прохождение пучка, достиг 50 мА/имп. Это в 2 раза превысило величину максимального тока, получаемого ранее.

Имеются некоторые физические особенности работы ГР в наших условиях. Отбор высокочастотной /ВЧ/ мощности для питания ГР осуществляется при помощи петли связи из резонатора ЛУ-20. Фаза возбуждения ГР регулируется изменением длины фидера связи. Заданный уровень ВЧ поля сохраняет значение на протяжении суток, что определяет высокую стабильность ра-

боты ГР. Конструктивно ГР расположен на расстоянии ~ 1 м от входа в первый зазор резонатора ЛУ-20, диаметр пучка в его зазоре ~ 90 мм. Такого же порядка выбрана и апертура ГР. Длина зазора ГР - 10 мм. Фактор времени пролета /Т/ будет существенно зависеть от поперечной координаты пролетающей частицы /рис. 1/. Расчет кривой 1 на рис. 1 произведен для апертуры ГР $2a = 90$ мм. Очевидно, что эффективное напряжение на зазоре ГР $U_{эфф} = U \cdot T$ будет оптимальным только для небольшой доли частиц, располагающихся на краю апертуры.

Для увеличения Т в зазор ГР с двух сторон были вставлены сетки из тонкой вольфрамовой проволоки

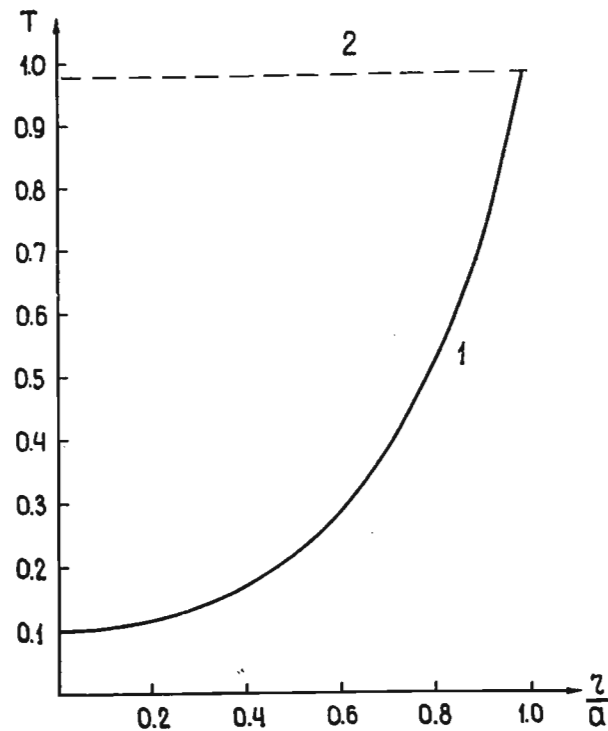


Рис. 1. 1 - характер изменения Т в зависимости от радиальной координаты частицы, 2 - то же, но с установленными сетками в зазоре ГР.

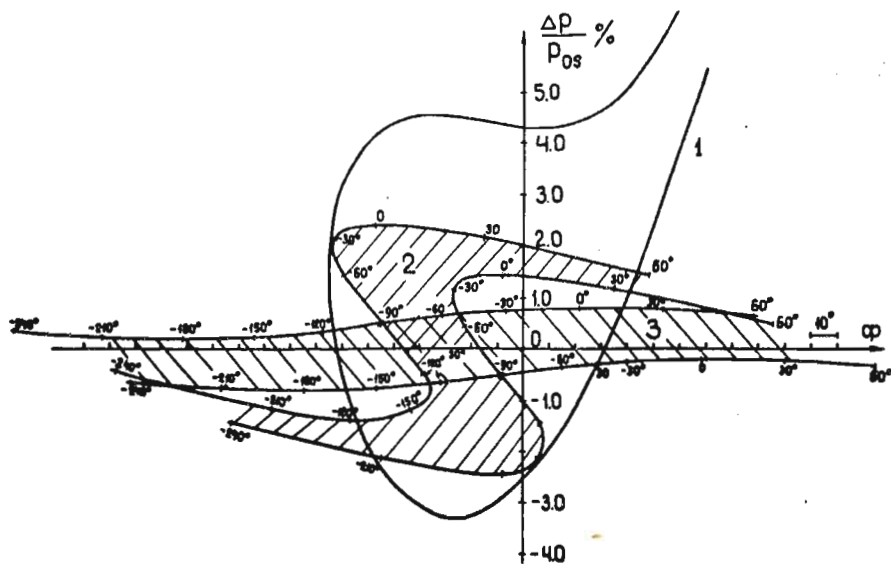


Рис. 2. 1 - сепаратриса на входе ЛУ-20. 2 - характер поведения частиц, проходящих зазор ГР без сеток на радиусе $r=0,9a$, 3 - то же, но на радиусе $r=0$.

$d = 0,1$ мм. В результате фактор времени пролета оказался близок к максимуму и перестал зависеть от радиальной координаты частиц пучка /кривая 2/. Коэффициент прозрачности сеток для пучка $K_{пр} = 0,99$.

На рис. 2 приведена сепаратриса на входе ЛУ-20 /1/ и эффект группировки в область сепаратрисы частиц, проходящих зазор ГР на радиусе $r=0,9a$ /область 2/ и $r=0$ /область 3/.

Расчет проводился для протонного пучка с начальным разбросом по импульсам

$$\Delta P / P_{0s} = 1,0\%$$

Коэффициент группировки для области 2 $K_{гр} = 2,54$, для области 3 $K_{гр} = 1,27$.

3. ИНТЕНСИВНОСТЬ ПУЧКОВ УСКОРЯЕМЫХ ЧАСТИЦ

После ввода в работу ГР было проведено 3 сеанса повышения интенсивности в кольце.

22.12.77 г. интенсивность дейтронов после 100 мс ускорения на 1-ой кратности составила:

$$N_{100} = 3,0 \times 10^{11} \text{ дейтр./цикл.}$$

27.12.77 г. была получена интенсивность α -частиц:

$$N_{100} = 3,0 \times 10^{10} \text{ ядер/цикл.}$$

На основании имеющихся экспериментальных данных можно ожидать увеличения интенсивности в конце полного цикла ускорения:

$$\text{дейтроны} \quad - 1,0 \times 10^{12} \text{ частиц,}$$

$$\text{ядра гелия} \quad - 10^{11} \text{ ядер}$$

при ускорении на 2-ой кратности.

Особый интерес вызывал вопрос увеличения интенсивности протонного пучка. Эта работа была проведена в специально выделенное время. После ЛУ-20 был получен ток ~ 50 мА, что соответствовало инжекции в кольцо ускорителя

$$N_{и} = 1,5 \times 10^{14} \text{ протонов}$$

при длительности импульса ≈ 600 мкс. В синхротронный режим захватывалось порядка 10^{13} частиц. В этом случае рабочая точка за счет некогерентного кулоновского сдвига должна попадать в область параметрического ре-

зонанса $\theta_z = \frac{1}{2}$, что при существующих представлениях

говорит о верхнем пределе интенсивности для ускорителя. Эксперимент показал, что при ускорении в синхрофазотроне пучок проходит область параметрического резонанса $\theta_z = \frac{1}{2}$, и, следовательно, предел по пространственному заряду для нашего ускорителя при энергии инжекции 20 МэВ может оказаться выше того, который был указан в работе ^{1/2}. Объяснение этого интересного факта требует дальнейших исследований и, после обработки полученных результатов, будет дано в отдельной работе.

Ниже приводится максимальная интенсивность ускоренного пучка, зафиксированная в ускорителе.

В захвате, после 3 мс ускорения

$$- N_{3,0} = 1,1 \times 10^{13} \text{ прот./имп.,}$$

после 20 мс ускорения

$$- N_{20} = 6,4 \times 10^{12} \text{ прот./имп.,}$$

после 100 мс ускорения

$$- N_{100} = 4,7 \times 10^{12} \text{ прот./имп.}$$

Отсюда видно, что около 40% захваченного в ускорение пучка сохраняется и после 100 мс ускорения.

На рис. 3 приводятся кривые существования пучка в ускорителе в зависимости от времени ускорения. Кривые нормализованы по интенсивности захвата в синхротронный режим ускорения. Количество вводимых сеток /от одной до трех/ не влияет на характер кривой 2.

Кривые наглядно демонстрируют действие пространственного заряда. При ограничении пучка после 100 мс ускорения в кольце остается 70% пучка, захваченного в синхротронный режим, для полного пучка эта величина достигает лишь 40%.

Таким образом, увеличение тока инжекции, с одной стороны, и замена широких шин системы резонансного

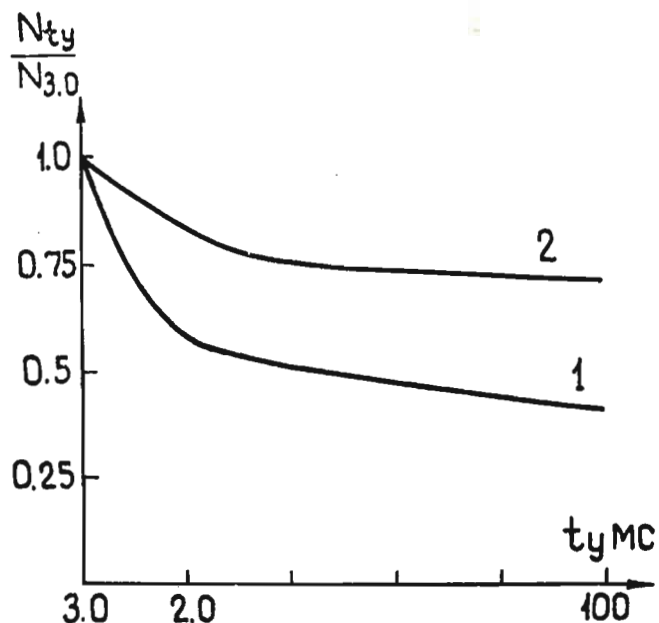


Рис. 3. Характер поведения пучка в процессе ускорения: 1 - полный пучок инжектируется в кольцо, 2 - пучок ограничен сетками в тракте инжекции.

вывода, вносящих большие искажения в градиент магнитного поля ускорителя с другой, позволили существенно поднять интенсивность ускоряемого в синхрофазотроне пучка и сдвинуть предел по пространственному заряду в сторону больших значений интенсивности.

4. МАГНИТНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

С целью определения абсолютной величины ведущего магнитного поля синхрофазотрона и калибровки основного датчика системы измерения магнитного поля 24 февраля 1978 г. были проведены измерения магнитного поля на равновесном радиусе в медианной плоскости с использованием двух магнитометров различного типа. Основным требованием являлось получение точности измерений не хуже 10^{-3} . Измерения проводились во II квадранте ускорителя на базе длиной 3 м с шагом 10 см. Были применены:

- а/ магнитометр с индукционным датчиком и интегратором,
- б/ магнитометр с 3-компонентным датчиком Холла.

Для уменьшения погрешности, связанной с неколлинеарностью оси индукционного датчика и вертикальной составляющей индукции, использовался датчик маятнико-

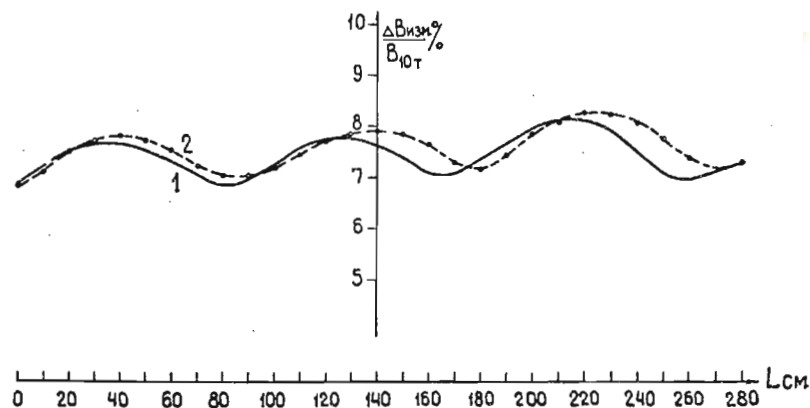


Рис. 4. Приведенные результаты измерений магнитного поля по азимуту II квадранта: 1 - измерения индукционным магнитометром, 2 - измерения магнитометром с датчиком Холла.

вого типа. Чувствительность индукционного датчика определена с точностью не хуже $5 \cdot 10^{-4}$. Постоянная времени интегратора, собранного на базе высокоточного усилителя УВТ-8 с коэффициентом усиления 10^9 , определялась с помощью специально разработанного и изготовленного калибратора с точностью не хуже $1,5 \cdot 10^{-4}$.

В результате общая погрешность индукционного магнитометра не превышает $1,0 \cdot 10^{-3}$.

Для повышения точности измерений магнитометра с датчиком Холла измерения проводились при остановленном магнитном поле /на столе магнитного поля/ $\dot{B} = 0$.

Средняя величина B , измеренная индукционным магнитометром, составляет $10,743$ кГс, та же, измеренная магнитометром с датчиком Холла, дает величину $10,755$ кГс. С учетом краевых эффектов концов квадранта среднее значение индукции магнитного поля $B = 10,705$ кГс, вместо $10,0$ кГс, как определялось ранее.

5. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

На протяжении I квартала проведено 3 цикла наблюдений за кустом реперов и по одному полному и короткому циклу по рабочей сети на колоннах зала ускорителя и на стойках ЭМ синхрофазотрона.

Результаты высотных измерений приведены ниже.

Куст реперов /последний цикл апрель-май 1978/

№ репера	S_T Текущая осадка (мм)	S_a Абсолютная осадка (мм)	Средняя квадратическая погрешность измерений (мм)
I	-0,06	-0,12	$\pm 0,028$
2	0,00	0,00	
3	-0,10	-0,09	
4	-0,05	+0,02	

Доверительный интервал определения осадок реперов /мм/ $0,2 \leq \Delta S \leq 0,4$

Рабочая сеть на колоннах здания ускорителя /XX и XXI циклы измерений/

№ квадранта	Внутренний радиус (мм)		Внешний радиус (мм)		Средняя квадратическая погрешность измерений (мм)	
	XX	XXI	XX	XXI		
I	S_T +0,06	S_a +0,07	S_T -0,14	S_T +0,01	S_a +0,08	$\pm 0,037$
II	-0,12	-0,46	-0,28	+0,02	-0,71	
III	+0,12	-0,59	-0,32	+0,22	-1,50	
IV	+0,27	-0,32	-0,12	+0,27	-0,95	

Доверительный интервал определения осадок сети на колоннах /мм/ $0,2 \leq \Delta S \leq 0,5$

Осадочная сеть на стойках ЭМ синхрофазотрона

№ квадранта	Внутренний радиус (мм)		Внешний радиус (мм)		Средняя квадратическая погрешность измерений (мм)	
	XX	XXI	XX	XXI		
I	S_T +0,17	S_a +1,00	S_T -0,29	S_T -0,11	S_a -0,15	$\Delta h = 0,06$
II	+0,17	-0,90	-0,29	-0,22	-0,52	
III	+0,08	-1,19	-0,41	+0,28	-0,37	
IV	+0,51	-1,21	-0,31	+0,17	-0,65	

Доверительный интервал определения осадок по осадочной сети на стойках ЭМ $0,2 \leq \Delta S \leq 0,5$ /мм/.

В течение квартала было проведено несколько предварительных циклов измерений высотного положения ЭМ синхрофазотрона ОИЯИ при помощи гидростатической системы с дистанционным съемом информации ^{3/}. Данные измерений находятся в стадии математической обработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волков В.И. и др. ОИЯИ, БЗ-9-11456, Дубна, 1978.
2. Безногих Ю.Д. и др. Труды V Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, т. II, "Наука", М., 1977, с.245.
3. Васютинский И.Ю. и др. ОИЯИ, 9-11329, Дубна, 1978.

Рукопись поступила в издательский отдел
18 июля 1978 года.