

Безногих Ю.Д. и др.

СЗ45е Б2-9-9372

Б-399

376/76



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

α
Б2-9-9372

ДЕПОНИРОВАННАЯ ПУБЛИКАЦИЯ

Дубна 1975

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
Лаборатория высоких энергий

BR-4-8372

Ю. Д. Безногих, Г. А. Боков, М. А. Воеводин, А. И. Говоров, В. П. Заболотин,
Л. П. Зиновьев, А. С. Исаев, И. Б. Иссинский, Г. С. Казанский, И. И. Карпов,
Ю. К. Карягин, Н. А. Коруков, Л. Г. Макаров, В. А. Мончинский,
С. С. Нагдасев, С. А. Новиков, В. Н. Перфеев, Ш. З. Сайфулин,
И. Н. Семенюшкин, Ю. В. Смирнов, В. Л. Степанюк, С. В. Федуков,
О. Н. Цисляк, В. И. Черников, К. В. Чехлов, Д. И. Шерстянов, И. Н. Яловой.

НЕКОТОРЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИНХРОФАЗОТРОНА ОИЯИ

(III квартал 1975 г.)

14 ун. 75



Дубна, 1975 г.

СОДЕРЖАНИЕ

стр.

1. Введение.....	2
2. Геодезические измерения.....	3
3. Инжекционный комплекс синхрофазотрона.....	4
4. Быстрый и медленный вывод.....	9
5. Управляющая электроника.....	9
6. Вакуумная система.....	10.

I. Введение.

В третьем квартале 1975 г. синхрофазотрон ОИЯИ проработал на эксперимент 910 ч (92,6 %) из планируемых 928 часов. Из них на физический эксперимент использовано 536 ч (54,6 %), на изучение и совершенствование систем ускорителя - 374 ч (38%).

Средняя интенсивность, измеряемая после 100,0 мс ускорения составляла: протоны - $2,0 \times 10^{11}$ частиц в цикле, дейтроны - $3,7 \times 10^{10}$, ядра гелия - $2,2 \times 10^8$. Максимальные величины ускоренного пучка: протоны - $2,5 \times 10^{11}$ частиц в цикле ускорения, дейтроны - $8,0 \times 10^{10}$, ядра гелия - $1,0 \times 10^9$.

В начале квартала были продолжены периодически ведущиеся геодезические наблюдения за поведением электромагнита (ЭМ) синхрофазотрона /1/. Недостаток времени не позволил выполнить более одного цикла измерений основных объектов.

На инжекционном комплексе синхрофазотрона продолжали решаться задачи по увеличению эффективности работы его при ускорении ядер, использованию лазерного источника ионов для ускорения ядер более высокой зарядности, отысканию более оптимальных режимов настройки комплекса совместно с системами динамического корректирования показателя магнитного поля $n/2/$. Усовершенствование системы модуляции энергии пучка, инжектируемого в кольцо, дало возможность увеличить стабильность работы ускорителя, что оказалось особенно важным для выполнения требований экспериментаторов вывести пучок со стабилизированным уровнем интенсивности порядка $10^3 + 10^5$ ядер в цикле.

Система быстрого вывода пучка доведена до рабочего состояния. Полученная длительность вывода достигает ~800 мкс.

В секторе электроники продолжали вестись работы по исследованию и созданию электроники для управления режимами синхрофазотрона.

9 июля во время завершения предыдущего сеанса работы в системе медленного вывода (МВ) произошла авария, что привело к остановке ускорителя. В высоковакуумную камеру попала вода. Ликвидация последствий аварии происходила в период плановой остановки ускорителя.

2. Геодезические измерения.

Проведённые наблюдения за поведением "куста" опорных реперов на протяжении шести циклов измерений показали достаточно высокую стабильность. Абсолютная максимальная осадка первого репера составила 0.15 мм, осадка остальных реперов находилась в пределах 0.02 + 0.04 мм. Средняя квадратическая погрешность одного измеренного превышения, вычисленная по данным измерений

$$\delta_h = \pm 0.026 \text{ мм.}$$

В период плановой остановки ускорителя было сделано по одному циклу измерений по реперам высотной сети на колоннах здания зала синхрофазотрона, по реперам на стойках ЭМ и реперам осадочной сети фундамента ЭМ. Результаты измерений лежат в пределах доверительного интервала точности измерений

$$0.2 \leq \Delta S \leq 0.4 \text{ мм.}$$

Текущие осадки строительных колонн здания зала и кольца вого фундамента ЭМ находятся в пределах + 0.20 + + 0.30 мм. Средняя квадратическая погрешность одного превышения, полученная по невязкам в полигонах

$$\delta_h = \pm 0.031 \text{ мм}$$

и не превышает допустимой величины 0.06 мм.

На приводимой таблице дана картина абсолютных осадок ЭМ синхрофазотрона:

Таблица I

Квадрант Q	Радиус равно- весной орбиты R_0 мм \pm	Диапазон абсолютн. осадок мм S_a	Средняя абсолютн. осадка мм \bar{S}_a	Перекося пл - ти нижних полюсов мм	Доверит. интервал ΔS мм
I	- 800	+ 0.20 + + 0.30	0.1	0.6	
	+ 800	+ 0.20 + - 0.30	0.5		
II	- 800	+ 0.20 + + 0.40	0.2	1.0	0.2 ÷ 0.4
	+ 800	- 0.40 + - 0.60	0.2		
III	- 800	- 0.20 + + 0.20	0.4	0.4	
	+ 800	+ 0.10 + + 0.20	0.1		
IV	- 800	+ 0.20 + + 0.60	0.4	1.4	
	+ 800	- 0.40 + + 0.80	0.4		

3. Инжекционный комплекс синхрофазотрона.

Известно, что в протонных линейных ускорителях при переходе на ускорение ядер более высокой зарядности используют режим ускорения на двойной кратности дрейфа ускоряемых частиц. При этом, чтобы получить синхронный захват частиц в линейном ускорителе (ЛУ), приходится в два раза снижать ускоряющее напряжение на ускорительной трубке форинжектора (ФИ). Это влечёт за собой не только существенное ухудшение эмитанса пучка ядер, поступающих на вход ЛУ, но и уменьшение абсолютной величины импульса тока пучка, инжектируемого в ЛУ. Таким образом чтобы протонный ЛУ остался и высокоэффективным инжектором ядер, необходимо выполнить условие сохранения прежнего уровня ускоряющего напряжения на трубке ФИ при ускорении ядер, т.е. в режиме двойной кратности дрейфа ускоряемых частиц. Подразумевается что эффективность работы ЛУ не должна ухудшаться и при ускорении протонов. Этих результатов оказалось

Таблица I

Квадрант $\frac{I}{II}$	Радиус равно- весной орбиты $R_0 \pm$ мм	Диапазон абсолютн. осадок мм S_a	Средняя абсолютн. осадка мм \bar{S}_a	Переко- сл - ти нижних полюсов мм	Доверит. интервал ΔS мм
I	- 800	+ 0.20 + + 0.30	0.1	0.6	0.2 ÷ 0.4
	+ 800	+ 0.20 + - 0.30	0.5		
II	- 800	+ 0.20 + + 0.40	0.2	1.0	
	+ 800	- 0.40 + - 0.60	0.2		
III	- 800	- 0.20 + + 0.20	0.4	0.4	
	+ 800	+ 0.10 + + 0.20	0.1		
IV	- 800	+ 0.20 + + 0.60	0.4	1.4	
	+ 800	- 0.40 + + 0.80	0.4		

3. Инжекционный комплекс синхрофазотрона.

Известно, что в протонных линейных ускорителях при переходе на ускорение ядер более высокой зарядности используют режим ускорения на двойной кратности дрейфа ускоряемых частиц. При этом, чтобы получить синхронный захват частиц в линейном ускорителе (ЛУ), приходится в два раза снижать ускоряющее напряжение на ускорительной трубке форинжектора (ФИ). Это влечёт за собой не только существенное ухудшение эмитанса пучка ядер, поступающих на вход ЛУ, но и уменьшение абсолютной величины импульса тока пучка, инжектируемого в ЛУ. Таким образом чтобы протонный ЛУ остался и высокоэффективным инжектором ядер, необходимо выполнить условие сохранения прежнего уровня ускоряющего напряжения на трубке ФИ при ускорении ядер, т.е. в режиме двойной кратности дрейфа ускоряемых частиц. Подразумевается что эффективность работы ЛУ не должна ухудшаться и при ускорении протонов. Этих результатов оказалось

возможным достичь в ЛУ, резонатор которого имеет постоянно установленную металлическую перегородку, делящую его на два отсека. (Предложение Ю.Д.Безногих, В.А.Мончинский, В.А.Попов.) (Рис. I). Тогда в режиме ускорения ядер первый отсек резонатора ВЧ-электрическим полем не возбуждается, а последовательность его трубок дрейфа с квадрупольями, рассчитанная для режима ускорения протонов, используется только для транспортировки пучка, поступающего из ФИ, и для согласования этого пучка со входом второго отсека резонатора. Резонансное ускорение пучка ядер начинается со второго отсека. Важно отметить что металлическая перегородка устанавливается через середину такой трубки дрейфа, чтобы резонансное ускорение пучка ядер начиналось с первого зазора второго отсека при напряжении на ускорительной трубке ФИ приблизительно равном аналогичному при ускорении протонов.

Так для линейного ускорителя инжектора синхротрона ОИЯИ (ЛУ - 20), чтобы выполнить резонансные условия захвата, металлическую перегородку можно установить через середину пятой, либо шестой трубки дрейфа. Тогда напряжение на ускорительной трубке ФИ будет соответственно 562 кВ, либо - 630 кВ. (При ускорении протонов для ЛУ - 20 номинальное напряжение на ускорительной трубке ФИ равно ~ 600 кВ.)

При ускорении протонов ЛУ, резонатор которого разделён перегородкой, работает как обычная двухрезонаторная система: ускоряющие поля возбуждаются в резонаторах от отдельных источников и фазированы между собой известными способами.

В резонаторе ЛУ-20 металлическая перегородка была установлена через середину шестой трубки дрейфа. Эксперименты показали, что при этом интенсивность пучка дейтронов на выходе ЛУ-20 возрастает в три раза ($I_d = 5 - 6 \text{ мА}$), а ядер гелия - в пять раз ($I_{\alpha} = 100 \text{ мкА}$). Сравнение производится с данными работы ЛУ-20 без металлической стенки и с пониженным в два раза напря-

жением ФИ.

В соответствии с поставленной задачей отыскания возможности повышения добротности резонатора ЛУ-20 были выполнены расчёты и разработана конструкция экранов (насадок) на дрейфовые трубки. Эти экраны позволяют проводить настройку ВЧ-электрического поля, направленного вдоль оси резонатора ЛУ. Иные употребляемые для этой цели подстроечные диски тогда можно будет удалить. Как показали измерения, проведённые на I -метровом макете резонатора, подстроечные диски вносят существенные дополнительные потери мощности ВЧ-электрического поля, питающего резонатор.

Результаты измерений добротности, проведённые на макете с экранами вместо дисков, обрабатываются и будут сообщены позднее.

Продолжена работа по получению оптимальных режимов работы инжекционного комплекса ЛУ-20 и системы корректирования показателя магнитного поля n . В сеансе 2-го июля при ускорении протонов после 100 мс была вторично получена интенсивность

$$J_{100 \text{ мс}} = 1,4 \times 10^{12} \text{ прот./цикл}$$

При этом панорама потерь выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned} J_{3 \text{ мс}} &= (2,1 + 2,3) \times 10^{12} \text{ прот./цикл} \\ J_{20 \text{ мс}} &= 1,7 \times 10^{12} \text{ - " -} \\ J_{100 \text{ мс}} &= 1,4 \times 10^{12} \text{ - " -} \end{aligned}$$

В квазибетатронном режиме

$$N_{\beta} = 6,0 \times 10^{12} \text{ - " -}$$

Характеристика показателя поля приведена на рис.2. При этом корректирование n осуществлялось с помощью системы РЭМИ - 2, и дополнительно было введено динамическое корректирование азимутальной асимметрии магнитного поля.

Измерения и теоретический анализ /4,5/ показали, что лучший захват в синхротронный режим и ускорение с минимальными потерями

достигается при инжектировании частиц с малыми свободными колебаниями порядка $7 + 12$ см. Получение малых свободных колебаний зависит от настройки инжекционного комплекса и, в частности, от настройки модулятора энергии /6/, оптимальность настройки которого определяется крутизной и величиной управляющего пилообразного напряжения.

Для более глубокой настройки модулятора энергии в группе ЭРА был разработан, изготовлен и с сентября 1975 г. введен в эксплуатацию блок функционального преобразователя. Этот блок позволяет в пределах времени инжекции (550 + 600 мкс) регулировать крутизну и величину выходного пилообразного напряжения на отдельных участках пилы независимо. Тем самым обеспечивается получение инжектируемых частиц с малыми колебаниями на всем протяжении длительности инжекции. И 6 сентября был получен наилучший режим ускорения дейтронов на первой кратности. Панорама потерь такова:

$$\begin{aligned} J_{3 \text{ мс}} &= 7,0 \times 10^{11} \text{ дейтр/цикл,} \\ J_{20 \text{ мс}} &= 4,0 \times 10^{11} \text{ - " - ,} \\ J_{100 \text{ мс}} &= 2,5 \times 10^{11} \text{ - " - ,} \\ J_{2,5 \text{ с}} &= 1,5 \times 10^{11} \text{ - " - .} \end{aligned}$$

В квазибетатронном режиме

$$N_{\beta} = 2,0 \times 10^{12} \text{ - " - .}$$

При ускорении ядер гелия получено:

$$\begin{aligned} J_{3 \text{ мс}} &= (5,0+6,0) \times 10^8 \text{ зар/цикл,} \\ J_{20 \text{ мс}} &= 4,0 \times 10^9 \text{ - " - ,} \\ J_{100 \text{ мс}} &= (1,8+2,0) \times 10^9 \text{ - " - ,} \\ J_{600 \text{ мс}} &= (1,6+1,8) \times 10^9 \text{ - " - ,} \end{aligned}$$

в квазибетатронном режиме

$$N_{\beta} = (3,0+3,4) \times 10^{10} \text{ - " - .}$$

(Измерения интенсивности ядер проведено на цитированной шкале).

Оптимальность настройки систем корректирования показателя поля n определяет и возможность получения более высокой интенсивности ускоряемого пучка при минимуме потерь за счёт увеличения радиальных размеров сепаратрисы. Эксперимент подтвердил это: при изменении напряжения на ускоряющем электроде с 18 кВ до 25 кВ отмечено увеличение конечной интенсивности на 20 - 25 %.

При анализе панорамы потерь ускоряемых дейтронов обнаруживается резкий спад (потери) интенсивности в районе 80 - 100 мс от начала ускорения. Это можно было объяснить двумя причинами:

а) появлением когерентных колебаний пучка в радиальном направлении;

б) преждевременным выключением динамических коррекций по показателю магнитного поля n .

Для исключения второй возможной причины была увеличена длительность работы динамических коррекций до 300 - 350 мс. Однако характер потерь при этом не изменился. Проведённая тщательная подстройка "закона" связи φ и V в электронике, управляющей ускорением, показала, что существуют варианты, при которых переместить резкие потери интенсивности позднее, за пределы 100 мс, а в некоторых случаях вообще их ликвидировать, возможно.

Связь между потерями интенсивности и выбранным "законом" φ и V известна, т.к. "закон" определяет радиусы многочисленных орбит, по которым в процессе ускорения движутся ускоряемые частицы. Открытым остаётся вопрос о причинах возникновения потерь внутри рабочей области. В данном случае потери интенсивности возникали в области перехода пучка через центральный радиус в пределах $\Delta r = 20$ см.

В качестве нового источника многозарядных ионов был применён лазерный источник. Это позволило ускорить в ЛУ-20 ядра углерода. Работа проводилась сектором инжекции совместно с группой сотру -

дников МИФИ.

Луч лазерной установки длительностью ~ 20 нс фокусировался на мишени из углерода при плотности потока энергии $\sim 10^{12}$ Вт/см². Ядерная компонента углерода вылетает по нормали к поверхности мишени. Попадая в область ускоряющего поля трубки ФИ она ускоряется, и пучок ядер инжектируется в ЛУ. На выходе ЛУ-20 получена интенсивность ускоренных ядер углерода $\sim 10^8$ частиц в цикле.

4. Быстрый и медленный вывод.

В июле-августе для быстрого вывода пучка была заменена наружная стенка вакуумной камеры в конце первого квадранта ускорителя. Установленная новая реконструированная стенка имеет патрубков для выпуска пучка. В сентябре были проведены работы по выводу пучка в направлении корпуса I-B (экспериментальный зал). В соответствии с трассировкой внутри первого квадранта (проделана в предыдущем квартале) пучок проведён через выпускной патрубок за пределы вакуумной камеры. Положение пучка соответствует выбранному направлению. Для обеспечения короткого времени вывода разработана схема дополнительного импульсного питания резонансной обмотки РОМ-I /3/. Полученная длительность вывода, порядка 800 нкс, близка к оптимальному значению с точки зрения работы пузырьковых камер и устройств, дозирующих поступление на них частиц.

Произведена наладка каналов транспортировки частиц к пузырьковым камерам и сделано первое облучение пропановой камеры в рабочем режиме ядрами гелия.

На канале медленного вывода сформированы пучки дейтронов и ядер гелия для проведения медико-биологических экспериментов.

5. Управляющая электроника.

В секторе электроники продолжались работы по подготовке к комплексной наладке нового варианта системы связи А и В, проводилась наладка блоков информационной системы (магнитное поле,

общая и дозированная интенсивности). Закончены монтажные работы в помещении главного зала ускорителя. Написаны программы выдачи интенсивности в корпус синхрофазотрона (всего 1200 команд). Продолжались совместные исследования по оптимизации режимов программной настройки системы РЗМИ-2 /7/.

6. Вакуумная система.

При аварии в форсистеме медленного вывода (МВ)/3/ в высоковакуумную камеру синхрофазотрона попало более 1 м³ охлаждающей воды, что вывело из строя всю вакуумную систему. Ликвидация последствий аварии потребовала больших усилий вакуумной группы. Пришлось демонтировать и разобрать для чистки и промывки 56 высоковакуумных агрегатов, 8 бустерных насосов, 32 форвакуумных насоса. На 30 сентября рабочий вакуум в кольце ускорителя -

$$\bar{p} = 2,2 \times 10^{-6} \text{ тор.}$$

В период плановой остановки (июль-август) на первом квадранте ускорителя был проведён монтаж новой стенки вакуумной камеры с окном для нового канала релятивистских ядер, смонтирована и налажена система вакуумной откачки ионопровода канала и получен рабочий вакуум.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Ю.Д.Безногих и др. ОИЯИ, Б2-9-8775, Дубна 1975 г.
2. Ю.Д.Безногих и др. ОИЯИ, М-9-8460, Дубна 1974г.
3. Б.В.Василишвили др. ОИЯИ, Р9-5973, Дубна 1973 г.
4. Ю.Д.Безногих и др. ОИЯИ, Р9-9115, Дубна 1975 г.
5. Ю.Д.Безногих и др. ОИЯИ, Р9-9120, Дубна 1975 г.
6. Ю.Д.Безногих и др. ОИЯИ, Р9-5956, Дубна 1971 г.
7. М.А.Воеводин и др. ОИЯИ, Р9-7318, Дубна 1973 г.

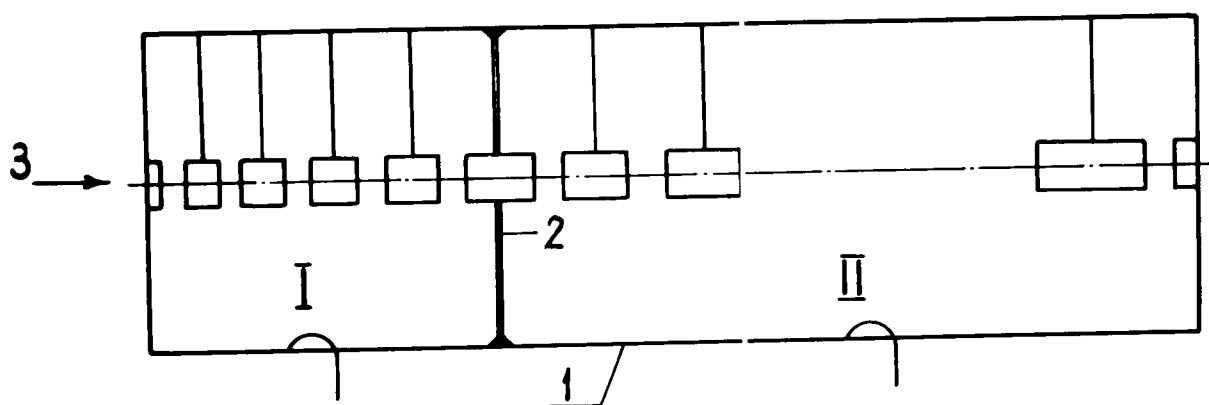


Рис. I. Схема разделения резонатора ЛУ-20 на два резонансных отсека.

- 1 - резонатор ЛУ-20,
- 2 - металлическая перегородка,
- 3 - пучок из форижектора
- I и II - разделённые отсеки резонатора.

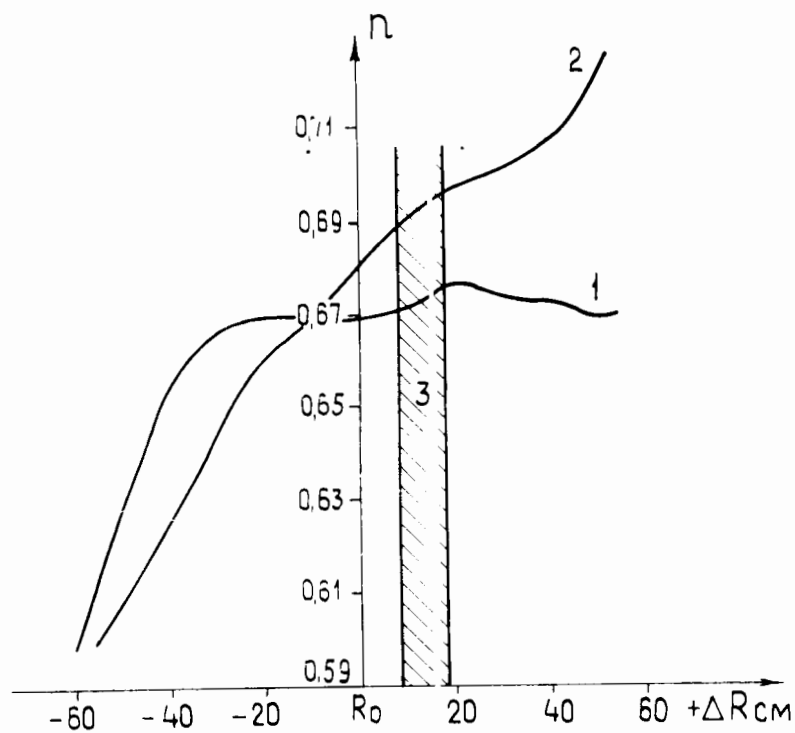


Рис. 2. 1 - усреднённое по кольцу (азимуту) значение показателя магнитного поля n в сеансе 2 июля 1975 г.

$$J_{100,0 \text{ мс}} = 1,4 \times 10^{12} \text{ прот./цикл.}$$

2 - значение показателя магнитного поля n при отключённых системах корректирования.

3 - область положения центра тяжести пучка. Все измерения проведены через 10,0 мс после начала ускорения.