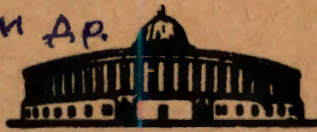


СЗ45е

Б-399

Безногих Ю. Д. и др.

Б2-9-10732.



3023/77

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Б2-9-10732^х

ДЕПОНИРОВАННАЯ ПУБЛИКАЦИЯ

Дубна 19

77

ОБЪЕДИНЁННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория высоких энергий

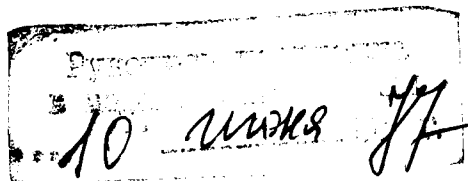
Ю.Д. Безногих, Г.А. Боков, В.П. Вадеев, М.А. Воеводин, Е.Д. Донец,
В.Г. Дудников, В.П. Заболотин, Л.П. Зиновьев, А.С. Исаев, И.И. Карпов,
Н.А. Коруков, Л.Г. Макаров, С.С. Нагдасев, В.Н. Перфеев, А.И. Пикин,
И.Н. Семеновкин, Д.И. Шерстянов, И.Н. Яловой, С.В. Федукон,
А.П. Царенков, В.И. Черников.

Б2-9-10732

СИНХРОФАЗОТРОН ОИЯИ

РАБОТА И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ

(I квартал 1977 г).



Дубна, 1977 г.

СОДЕРЖАНИЕ

	стр
I. Введение.....	2
2. Ускорение ядер углерода и кислорода.....	2
3. Азимутальная асимметрия и интенсивность.....	8
4. Геодезия.....	II

I. Введение.

В первом квартале 1977 г синхрофазотрон ОИЯИ проработал на эксперимент 1164 ч (95,5%) из запланированных 1219 ч. Из них на физический эксперимент использовано 969 ч (79,5%), на совершенствование систем ускорителя - 195 ч (16,0%). На технологическую подготовку (запуск, настройка, осмотры оборудования) затрачено 23 ч (1,9%). Простои систем синхрофазотрона составили 32 ч (2,6%).

Средняя интенсивность ускоряемых ядер:

Протоны - 4.5×10^{11} частиц/цикл,
 дейтроны - 1.5×10^{10} - " - ,
 ядра углерода - 10^4 - " - .

Протоны ускорялись 701 ч, дейтроны - 23 ч, ядра углерода, кислорода, неона - 463 ч (кислород ускорялся 35 ч, неон - 10 ч).

Стабильная работа на ядрах тяжелее гелия оказалась возможной в результате использования электроннолучевого источника ядер "Крион-1". На протяжении работы источника отмечена достаточно высокая стабильность параметров ускоренного пучка от цикла к циклу. В пучке выведенных ядер углерода произведено облучение стримерной камеры СКМ-200 и пропановой. Проведено 19 облучений фотоэмульсий выведенными ядрами углерода и 4 - выведенными ядрами кислорода при энергии 4.2 ГэВ на нуклон.

Продолжено экспериментальное изучение влияния асимметрии магнитного поля ускорителя на потери пучка на начальной стадии ускорения.

Для изоляции токонесущих систем в вакуумной камере ускорителя употребляются различные материалы, общим свойством которых является малое газение. В свете этого требования выполнена работа по испытанию в вакууме стеклотекстолита.

Продолжались геодезические наблюдения за поведением "Куста" реперов и электромагнита синхрофазотрона.

2. Ускорение ядер углерода и кислорода.

В марте 1977 г состоялся рабочий сеанс ускорения в синхрофазо -

троне ядер углерода и кислорода, получаемых из электроннолучевого источника КРИОН-1. Общий вид источника, который установлен на высоковольтном терминале форинжектора ЛУ-20, показан на рис.1.

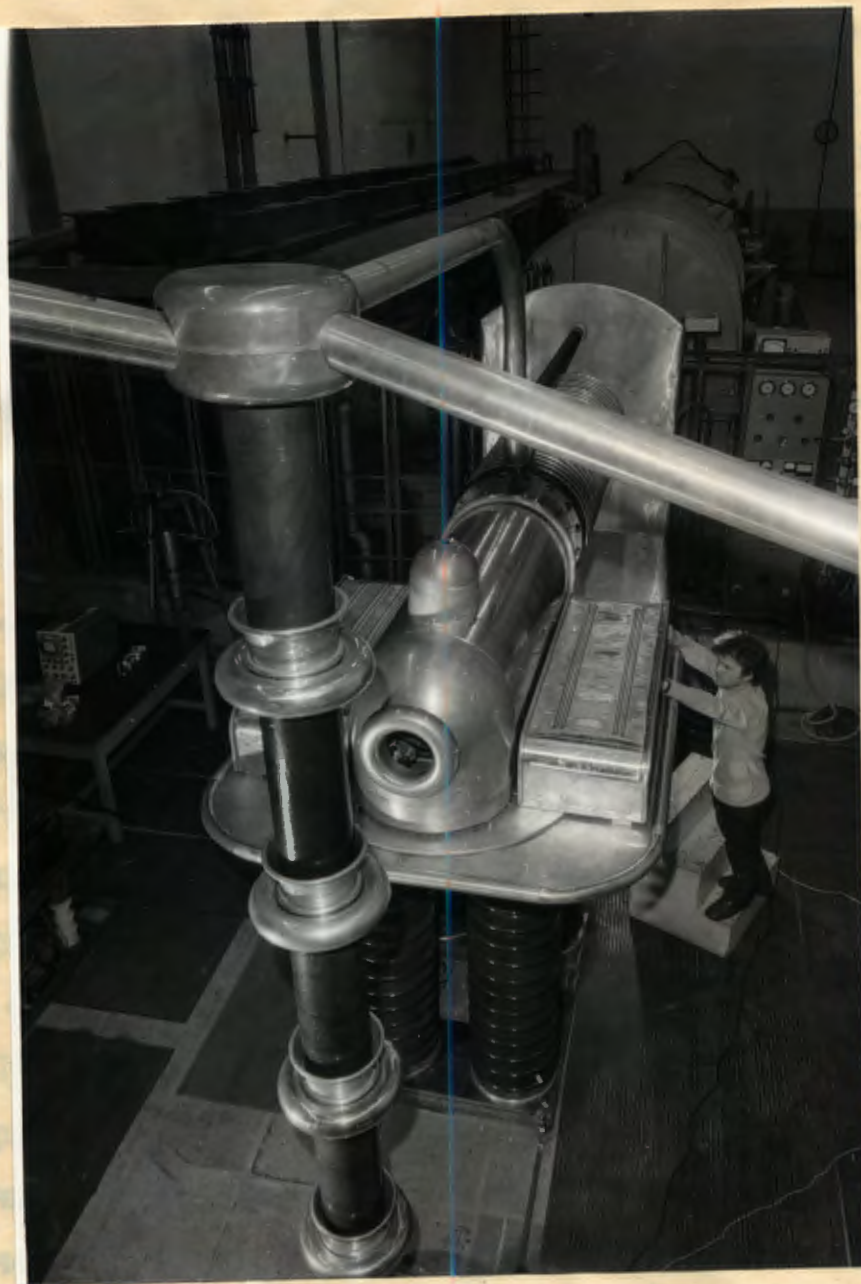


Рис.1. Электроннолучевой источник КРИОН-1.

Источник на высоковольтном терминале работал автономно, с пульта управления ЛУ-20 можно дистанционно управлять временем ввода рабочего вещества, длительностью ионизации, моментом открывания импульсного вакуумного затвора между источником КРИОН-1 и форинжектором.

Рабочие параметры источника во время сеанса были следующими:

Таблица I.

№	Наименование параметра	Величина
1.	Электронный ток	60 мА
2.	Плотность электронного тока	60 А/см ²
3.	Энергия ионизирующих электронов	5.5 кВ
4.	Время ионизации	(60-150) мс
5.	Длительность ионного импульса	35 мкс
6.	Общий ионный заряд на выходе оптической системы источника	$(1-2.5) \times 10^9$ эл. зар.
7.	Напряжённость магнитного поля фокусирующего соленоида	12.8 кЭ
8.	Частота циклов работы источника	0.12 Гц

Система подачи рабочего вещества позволяет вводить в область ионизации только газообразное рабочее вещество. В качестве рабочих газов использовались этилен (C_2H_4), азот, кислород и неон. Переход от одного вещества к другому занимает несколько часов, которые необходимы для замещения в области ввода рабочего вещества одного газа другим.

При ускорении ионов форсиратором ЛУ-20 на входе в линейный ускоритель был зарегистрирован суммарный ионный заряд, равный по величине $(1-2.5) \times 10^9$ элем. зар. До 80% этого заряда было сосредоточено на цилиндре Фарадея диаметром 10 мм. Зарегистрированный на входе ЛУ-20 заряд точно соответствует заряду, на выходе оптической системы источника. Это свидетельствует о хороших угловых характеристиках ионного пучка.

На линейном ускорителе были ускорены до энергии 5 МэВ/нуклон ядра углерода, азота, кислорода и неона.

Таблица II

№№	Род ядер	Выход форинжектора		Выход линейного ускорителя (к-во ядер)	Канал медленного вывода (к-во ядер)
		Общий ионный заряд в импульсе (эл. зар.)	Расчётное количество ядер		
1.	Углерод	1.7×10^9	1.2×10^3	1.2×10^7	до 2.8×10^4
2.	Азот	2.0×10^9	5.5×10^7	5.5×10^6	
3.	Кислород	2.5×10^9	4.0×10^7	4.0×10^6	до 5.0×10^3
4.	Неон		4.4×10^6	4.4×10^5	Индикаторное количество

Из таблицы видно, что количество ядер кислорода на выходе линейного ускорителя лишь в три раза меньше количества ядер углерода, а по заряду разница ещё меньше - в 2.2 раза.

На кольце синхрофазотрона были ускорены ядра углерода, кислорода (азота в качестве примеси к этим ядрам) до энергии 5 ГэВ/нуклон. и сделана попытка ускорить ядра неона. Контроль состава ядерного пучка производился спектрометром $\frac{dE}{dx}$ на выходе канала медленного вывода. На рис. 2, 3 и 4 приводятся спектры ядер при ускорении углерода, кислорода и неона.

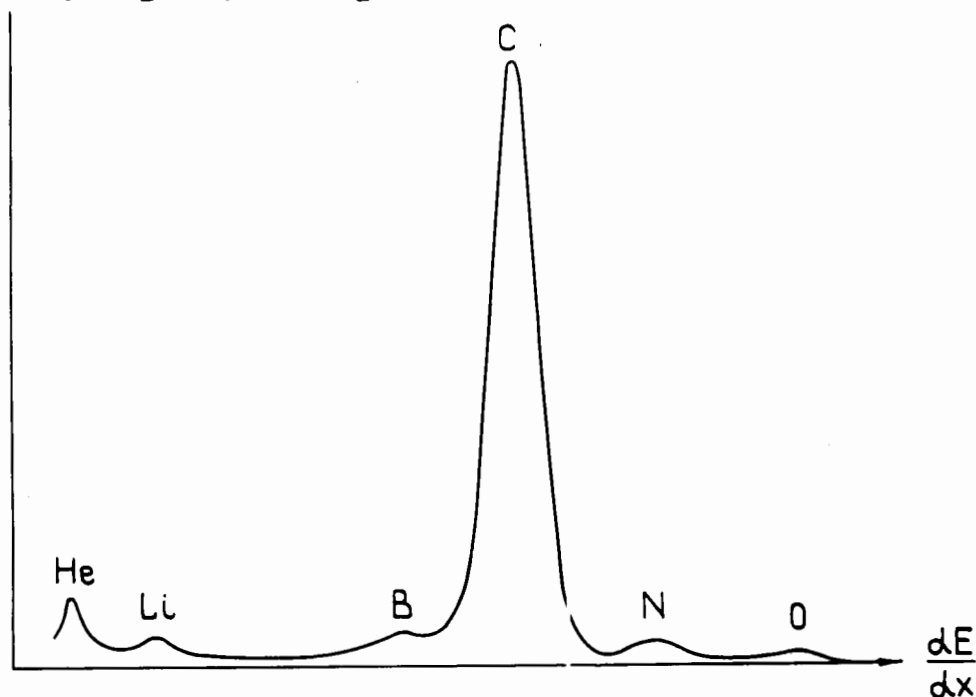


Рис. 2.

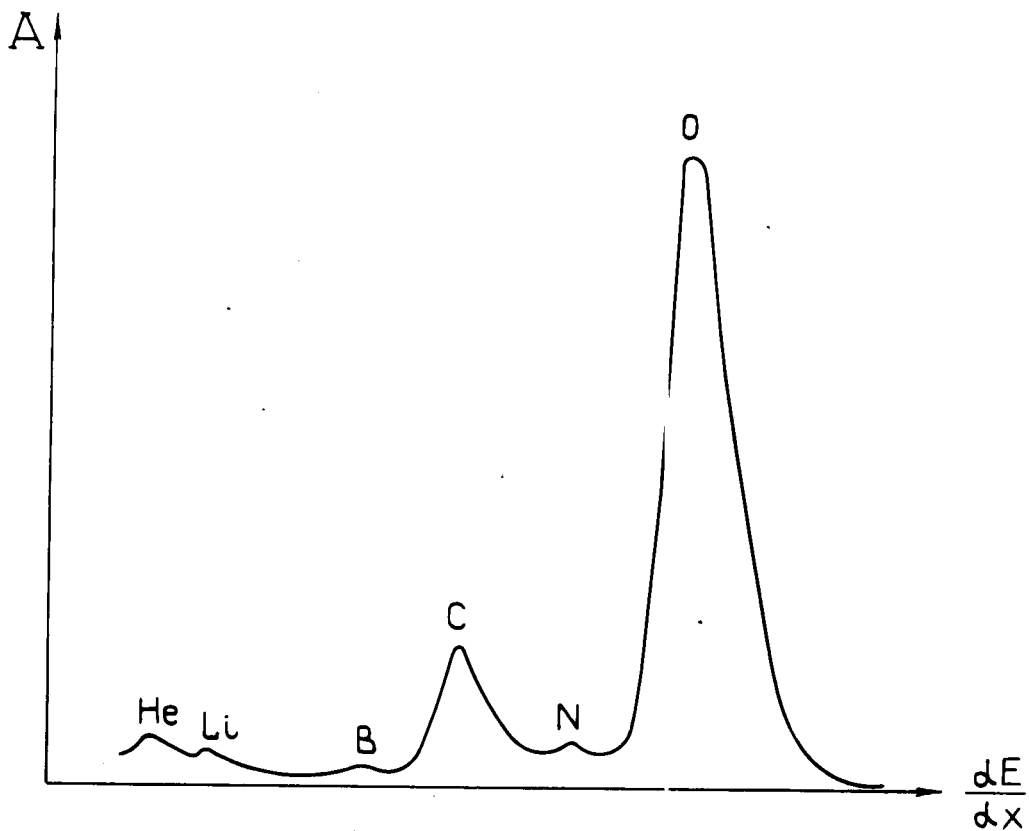


Рис.3. Спектры ядер при ускорении кислорода.

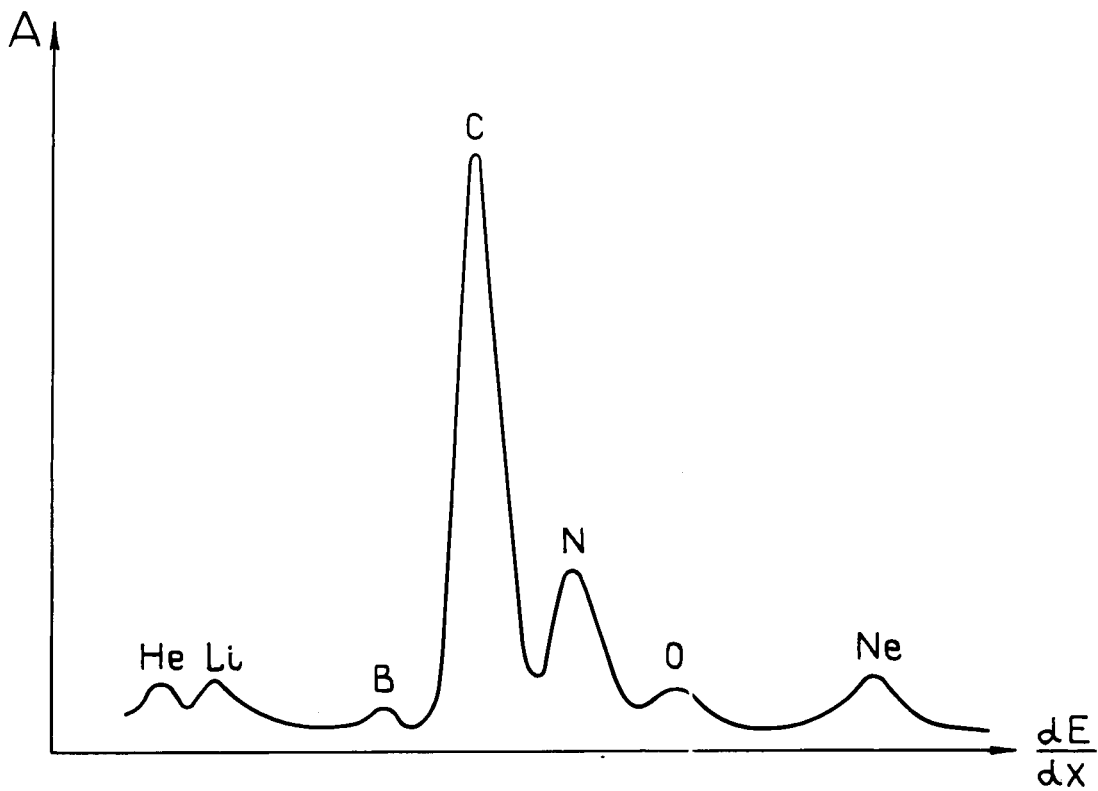


Рис.4. Спектры ядер при ускорении неона.

Во время сеанса ускорения углерода в канале медленного вывода была зарегистрирована максимальная интенсивность 2.8×10^4 ядер в импульсе. Оценка величины потерь при ускорении ядер, сделанная на основе использования данных о потерях при ускорении ядер гелия, даёт величину их примерно на порядок меньшую, чем получена экспериментально при ускорении ядер углерода. Причина повышенных потерь при ускорении углерода в настоящее время не выяснена.

Условия для ускорения кислорода значительно хуже по причине больших потерь при захвате электронов ядрами на начальном этапе ускорения в кольце. Поэтому доля ядер кислорода в спектре на выходе кольца значительно ниже, чем на выходе линейного ускорителя. Тем не менее, из рис.3 видно, что доля ядер кислорода в спектре составляет более 80%. Основной конкурирующей линией является углерод, что связано со спецификой ввода рабочего вещества. Источником углерода является этилен, сорбированный на стенках, имеющих температуру жидкого азота. В результате десорбции этилен постоянно поступает в электронный пучок, и прекратить его поступление можно лишь нагрев эти поверхности до комнатной температуры, что связано со значительной потерей рабочего времени. Таким образом, желаемый состав спектра ядер на выходе кольца ускорителя при существующем вакууме в камере кольца предъявляет определённые требования к чистоте рабочего вещества, поступающего в область ионизации. Для неона эти требования очень высокие, и имеющийся состав рабочего вещества определил весьма незначительную долю ядер на выходе кольца ускорителя. Обеспечение достаточной чистоты рабочего вещества делает возможным получение на ускорителе практически чистого пучка ядер неона.

Кроме основных линий в спектре частиц на выходе наблюдаются также очень незначительные количества ядер гелия, лития и бора., которые, по-видимому, представляют собой осколки ускоряемых ядер, родившиеся в канале медленного вывода или на выходе из него.

Во время этого сеанса работы источника КРИОН-I на ускорителе

рителя на величину потерь пучка на начальной стадии ускорения. Измерение положения орбиты ускоренного пучка, проводимое при различных режимах работы ускорителя, показывало наличие искажений в радиальной орбите. Средняя величина этих искажений составляла 15 см (pick-to-pick). С вводом в эксплуатацию системы оперативного измерения азимутальной асимметрии магнитного поля синхрофазотрона стало возможным проводить периодические измерения азимутальной неоднородности магнитного поля ускорителя /1/. Проведённые измерения асимметрии и измерения положения R-орбиты с помощью сигнальных электродов указывали на имеющуюся азимутальную неоднородность магнитного поля ускорителя. На рис.5 представлена кривая (I), показывающая характер радиальной орбиты пучка, и гистограмма относительной азимутальной неоднородности магнитного поля.

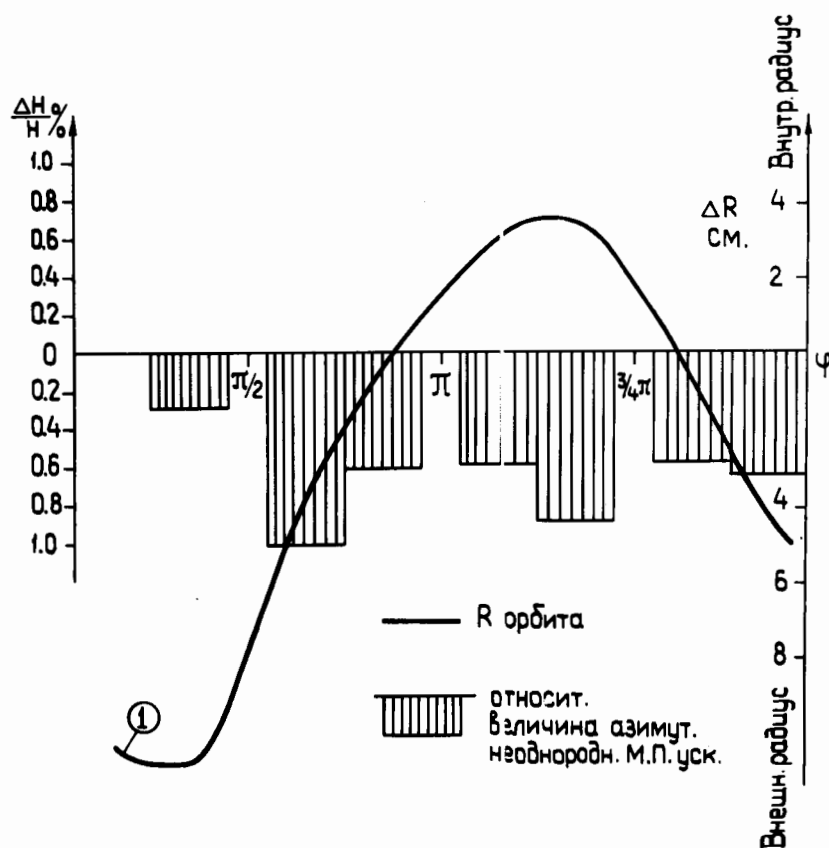


Рис.5.

Величина амплитуды первой гармоники азимутальной неоднородности, вычисленная из этой гистограммы, составляет 0.22%.

Такая неоднородность по первой гармонике приводит к возникновению искажения радиальной орбиты пучка на величину 19 см, что находится в хорошем соответствии с данными измерений при помощи сигнальных электродов. Измерения, проведённые в различных сеансах, показали, что искажения лежат в пределах от 14 до 20 см.

Однако уменьшение искажения радиальной орбиты при помощи воздействия обмоток коррекции азимутальной асимметрии приводило к уменьшению интенсивности и даже к полной потере пучка в квазибетатронном режиме. Это обстоятельство требовало объяснения. Для обеспечения индикации пучка в квазибетатронном режиме при помощи сигнальных электродов был использован режим короткой инжекции (длительность 2 мкс). Было обнаружено, что при улучшенной неоднородности пучок совершал 4 оборота, а далее, практически, полностью погибал в районе третьего прямолинейного промежутка. Возможным препятствием мог служить выводной магнит, установленный у внешней стенки этого промежутка.

В конце одного из сеансов выводной магнит был удалён из промежутка, вместе с ним были удалены вертикальные стенки одного из сигнальных электродов, который располагался в этом промежутке. Вертикальные стенки электрода отстояли от центрального радиуса на 647 мм, в то время как инфлекторные пластины инжектора находились на 670 мм. После этого орбиту с помощью соответствующих коррекций удалось установить почти круговой: искажения составили 2 - 2.5 см. Причём наиболее опасная величина первой гармонки была практически сведена до нуля. (Рис.6.). Надо отметить, что минимальные искажения в орбите наблюдались, как на центральном, так и на внешнем и внутреннем радиусах.

Таким образом, причина искажения радиальной орбиты в данном случае оказалась связанной со взаимным расположением сигнального электрода и выводного магнита и инфлекторных пластин инжектора. Практически эти устройства оказываются на одном радиусе. Это усугубляется ещё и тем, что фаза пучности свободных колебаний для

синхрофазатрона ($\epsilon = 0.65$) располагается в конце второго квадранта, т.е. в районе третьего прямолинейного промежутка.

Приводится панорама потерь при максимальной интенсивности:

$$J_{3.0\text{мс}} = 3.0 \times 10^{12} \text{ прот./цикл,}$$

$$J_{20.0\text{мс}} = 2.0 \times 10^{12} \text{ - " - ,}$$

$$J_{100.0\text{мс}} = (1.3-1.4) \times 10^{12} \text{ - " - ,}$$

$$\text{при } N_{\beta} = 1.5 \times 10^{13} \text{ - " - .}$$

При работе с минимальными искажениями радиальной орбиты увеличения интенсивности получить не удалось.

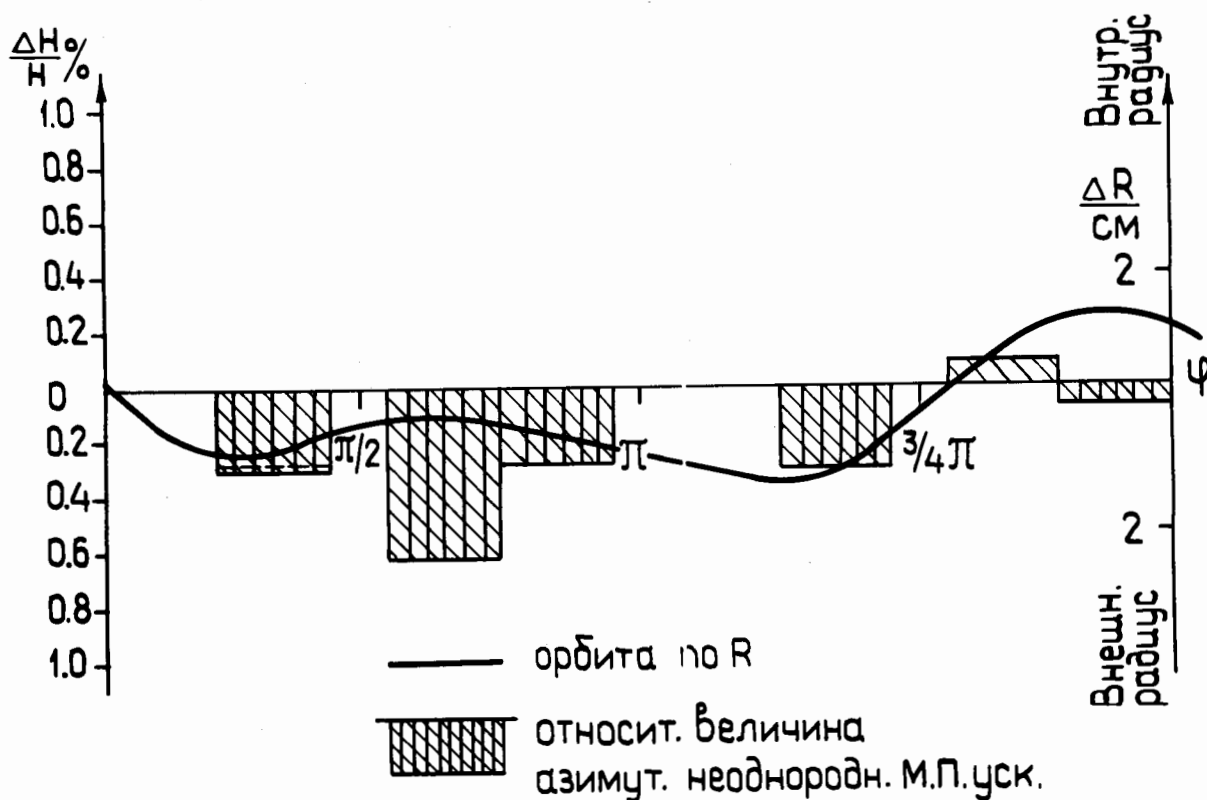


Рис. 6.

4. Геодезия.

Было проведено три цикла геодезических наблюдений за стабильностью куста реперов и по одному циклу по шкалкам осадочной сети на стойках магнита и рабочей сети на колоннах здания ускорителя /2/.

Результаты измерений стабильности "Куста" реперов.

Время проведения цикла измерений	Средняя абсолютная осадка (мм) № реперов				Средняя квадратическая погрешность измерения
	I	2	3	4	
25.01.77.	- 0.10	- 0.02	+ 0.11	+ 0.20	0.023
25.02.77.	- 0.05	+ 0.05	+ 0.03	- 0.04	0.029
31.03.77.	- 0.06	- 0.43	- 0.01	- 0.05	0.043

Доверительный интервал определения осадок реперов

$$0.2 \leq \Delta S \leq 0.4$$

Осадочная сеть на стойках магнита синхροфазотрона и рабочая сеть на колоннах здания ускорителя.

Измерения были выполнены во время паводковой остановки ускорителя I - 30 апреля с.г.

Доверительный интервал определения осадок $0.2 \leq \Delta S \leq 0.4$

Осадочная сеть

№ квадранта	Средняя абсолютная осадка (мм) Радиус измерения		Средняя квадратическая погрешность измерения
	$R_0 + 800$	$R_0 - 800$	
I	- 0.3	- 0.8	0.060
II	- 0.5	+ 0.9	0.060
III	+ 0.3	- 0.5	0.060
IV	+ 0.2	- 0.5	0.060

Рабочая сеть

№ квadrанта	Средняя абсолютная осадка (мм) колонны		Средняя квадратическая погрешность измерения
	Внутренний радиус	Наружный радиус	
I	0.0	+ 0.2	0.060
II	- 0.2	- 0.3	0.060
III	- 0.3	- 0.5	0.060
IV	- 0.1	- 0.4	0.060

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Ю.Д. Безногих и др. ОИЯИ, Б-2-9-10363, Дубна, 1976 г.
2. Ю.Д. Безногих и др. ОИЯИ, Б2-9-8775 , Дубна, 1975 г.