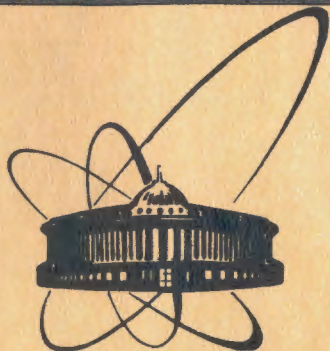


85-199



СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

P9-85-199

Ю.Г.Аленицкий, Н.Л.Заплатин, С.А.Ивашкевич,  
Н.А.Морозов, Л.М.Онищенко, С.И.Чеснова,  
П.Т.Шишляников

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ  
В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ  
ФАЗОТРОНА ОИЯИ

1985

В феврале 1984 года был произведен физический пуск фазотрона ОИЯИ /установка "Ф"/. Основные характеристики пускового варианта магнитного поля ускорителя приведены в [1-4]. Пусковой вариант магнитного поля установки "Ф" был сформирован с использованием центральной втулки с отверстием  $\phi 52,2$  мм, геометрия которой показана на рис.1а. Для перехода на работу с вертикальным ионным источником необходимо было изменить конфигурацию втулки так, чтобы обеспечивалось перемещение ионного источника относительно элементов центральной оптики в диапазоне радиусов  $\Delta r = /7-37/$  мм. Расчетным способом рассмотрены различные варианты изменения геометрии центральной втулки. Первый вариант - увеличение диаметра центрального отверстия. Снятие кольца 1 /рис.1а/ компенсировалось добавлением кольцевых шимм 2,3,4.

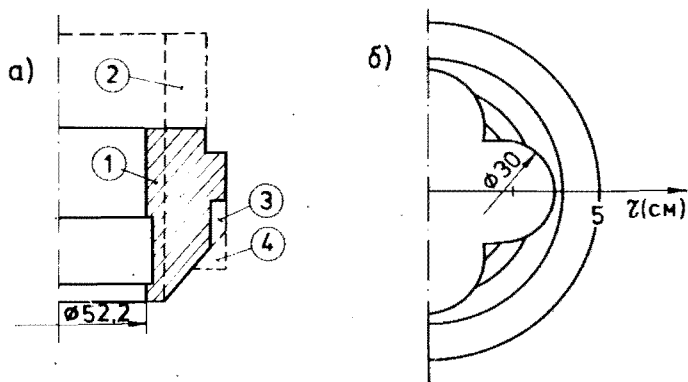


Рис.1. а/ Геометрия втулки с центральным отверстием; б/ с четырьмя отверстиями.

Для элементов 1 и 3 использовались экспериментальные данные по магнитному полю. Данные для элементов 2 и 4 были получены при помощи расчетной модели центральной области фазотрона на основе метода сеток [6]. Точность расчета поля этих элементов составила  $\sim 10\%$ . На рис.2 /кривая 1/ приведено магнитное поле элемента 3 /эксперимент - сплошная линия, расчет - пунктирная/. Расчет геометрии с центральным отверстием показал, что, используя элементы 2-4, можно получить минимальное отклонение от требуемого поля  $\sim 12$  мТл при диаметре отверстия  $\phi 63$  мм /рис.2, кривая 2/. Вторая рассмотренная геометрия представляла собой втулку с четырьмя отверстиями  $\phi 30$  мм /рис.2б/. При расчете этой геометрии для кольцевых элементов 1 и 2, попадающих в об-

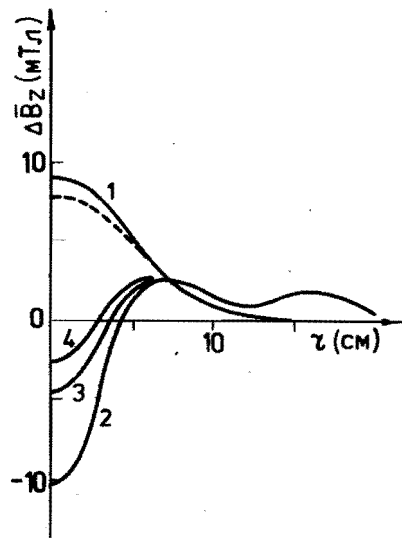


Рис.2. Расчетные возмущения магнитного поля в центре фазотрона для различных геометрий втулки.

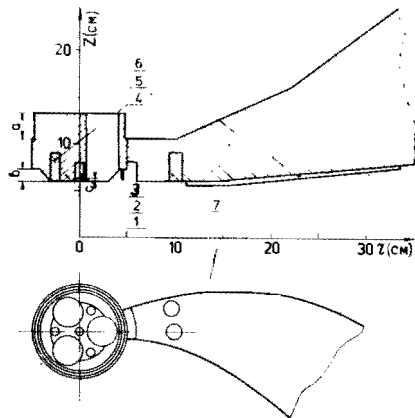


Рис.3. Схема магнитной системы центральной области ускорителя.

ласть, занятую отверстиями, магнитное поле уменьшалось в соответствии со средним коэффициентом заполнения ферромагнетиком для этой области  $K_3 = 0,47$ . Расчет показал, что при радиусе выреза 35 мм отклонение поля от требуемого составляет 7 мТл /рис.2, кривая 3/. Третья геометрия - втулка с тремя отверстиями  $\phi 35$  мм /рис.3/. Расчет при среднем коэффициенте заполнения  $K_3 = 0,58$  показал, что для радиуса выреза 42 мм отклонение поля от требуемого составляет 5 мТл /рис.2, кривая 4/, которое может быть скомпенсировано при помощи, появляющейся в этом варианте центральной ферромагнитной части.

На рис.3 приведена полная геометрия центральной части магнитной системы установки "Ф". Три отверстия в центральных втулках 1 имеют диаметр  $\phi 35,5$  мм, с радиусом центров отверстий  $r = 2,3$  см. Втулки снабжены рядом шиммирующих элементов: 2 - винт M10x10 мм, 3 - кольцевая шимма, закрепляемая при помощи прижима центральной втулки, 4 - винты M10x30 мм на радиусе  $r = 2,6$  см. На поверхности спиральных шимм 5 установлена плакировка с уложенными токовыми корректирующими обмотками 6.

Для оптимизации режима работы ускорителя требования к среднему магнитному полю в центре сформулированы в виде двух вариантов бампа<sup>5/</sup> /рис.4, кривые 1 и 4/. Малый бамп был сформирован путем доработки центральной втулки /кривая 3/. Кривая 2 показывает магнитное поле, на котором был осуществлен физический пуск ускорителя. Переход к большому бампу осуществляется

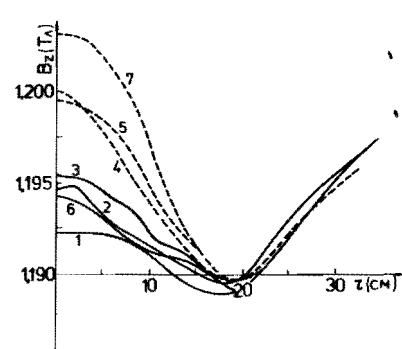


Рис.4. Характеристики средней составляющей вертикальной компоненты магнитного поля фазотрона в центральной области.

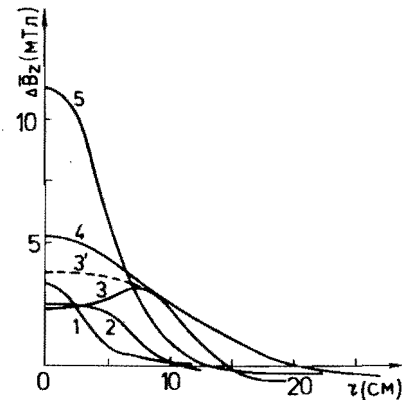


Рис.5. Среднее магнитное поле от ферромагнитных шиммирующих элементов.

путем установки в изготовленные в спиральных шиммах отверстия на радиусе  $r = 10$  см заглушек M16x15 мм /7, рис.3/. Магнитное поле большого бампа показано кривой 5. Путем изменения размера заглушек величина бампа может плавно меняться в пределах, характеризуемых кривыми 6 и 7. Нижний предел определяется появлением нулевого градиента среднего магнитного поля на радиусе  $r = 10$  см, верхний предел - размерами заглушек. На рис.5 приведены магнитные поля для различных шиммирующих элементов. Кривая 1 - поле центрального винта M10x20 мм /2, рис.3/. Кривая 2 - поле кольцевой шиммы 3 при ее радиальном размере  $\Delta r = 4,55-4,40$  см и вертикальном -  $\Delta h = 0,9$  см. Кривые 3, 3' - поля заглушек в спиральных шиммах на радиусе  $r = 10$  см, M16x15 мм, установленных на расстоянии от средней плоскости зазора камеры  $h_1 = 6$  см и 7,5 см, соответственно. Кривая 4 - магнитное поле для 10 мм проточки  $\phi 89$  мм центральных втулок 1 при  $h_1 = 12,4$  см. Кривая 5 - изменение поля при увеличении диаметров трех отверстий центральных втулок на 1 мм.

Частоты свободных вертикальных и радиальных колебаний заряженных частиц для сформированных магнитных полей приведены на рис.6. Кривые 1 соответствуют малому бампу, кривые 2 - большому. Кривые 3 характеризуют пусковой вариант магнитного поля фазотрона.

Величины низших гармоник магнитного поля в центральной области ускорителя могли изменяться из-за степени затяжки концов спиральных шимм. Для устранения этих изменений концы шимм были приварены к опорным стаканам, а центральные втулки получили самостоятельное крепление прижимами.

На рис.7 приведены данные по низшим гармоникам поля. Кривая 3 - амплитуда первой гармоники для пускового варианта маг-

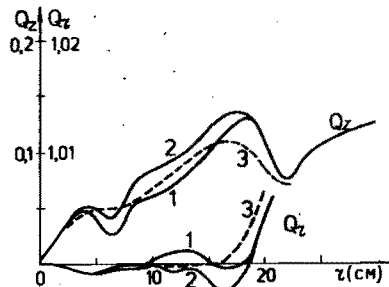
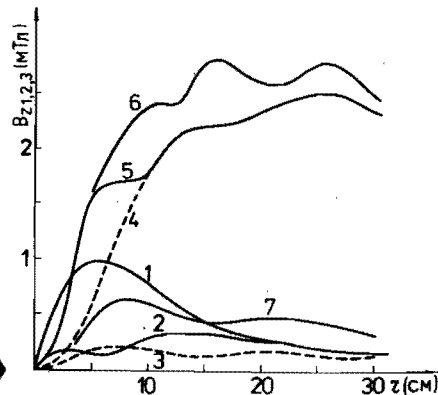


Рис. 7. Амплитуды низших гармоник вертикальной компоненты магнитного поля.

Рис. 6. Частоты свободных бетатронных вертикальных и радиальных колебаний.



нитного поля. Кривая 1 характеризует увеличение первой гармоники после изменения способа крепления спиральных шимм. Кривая 2 показывает результаты шиммирования распределения от радиуса амплитуды первой гармоники поля путем перераспределения корректирующих элементов на радиусах  $r = 6$  и  $7,5$  см. Кривая 7 - амплитуда второй гармоники магнитного поля фазотрона. Кривая 4 - распределение амплитуды третьей гармоники для пускового варианта поля. Кривая 5 показывает распределение третьей гармоники после замены втулок с центральным отверстием втулками с тремя отверстиями, кривая 6 - окончательное распределение третьей гармоники после изменения способа крепления концов спиральных шимм.

Установка новых центральных втулок и закрепление концов спиральных шимм привели к изменению распределения средней радиальной компоненты магнитного поля в центральной области ускорителя и к необходимости проведения шиммирования этой компоненты. На рис. 8 кривой 1 показано распределение радиальной компоненты от ферромагнитных элементов магнитной системы ускорителя для пускового варианта поля. Настройка режима работы ускорителя потребовала использования токовой корректирующей обмотки на радиусе  $r = 17,5$  см при токе 5 А. Соответствующее этому режиму распределение радиальной компоненты показано кривой 2. Кривая 3 характеризует радиальную компоненту магнитного поля фазотрона после установки новых центральных втулок. Шиммирование радиальной компоненты было проведено путем неодинаковых изменений формы верхней и нижней втулок. Различия геометрии верхней и нижней втулок /рис. 3/ приведены в табл. 1. Итоговое распределение радиальной компоненты поля представлено кривой 4, рис. 8. Изме-

Рис. 8. Характеристики средней составляющей радиальной компоненты магнитного поля.

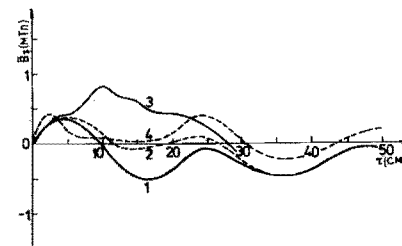


Таблица 1

Параметр втулки /рис. 3/	a /мм/	b/мм/	c/мм/
Верхняя втулка	27	9	3
Нижняя втулка	20	12	13

ние распределения поля относительно исходного распределения /кривая 1/ после радиуса  $r > 20$  см, связано с закреплением концов спиральных шимм. Для распределения 4 рассчитанное максимальное отклонение центра пучка от средней плоскости ускорительной камеры составляет 1 см для радиуса  $r = 24$  см.

На рис. 9 приведены распределения радиальной компоненты магнитного поля для различных шиммирующих элементов. Кривая 1 - поле центрального винта втулки M10x10 мм. Кривая 2 - поле проточки втулки на 3 мм при  $h_1 = 6$  см. Кривая 3 - поле трех винтов M10x30 мм на радиусе  $r = 2,6$  см. Кривая 4 - поле проточки втулки на 10 мм при  $h_1 = 12,4$  см.

До физического пуска ускорителя определение средней радиальной компоненты  $\bar{V}_r$  производилось путем измерения индукционной катушкой разности средних составляющих вертикальной компоненты поля в двух плоскостях, отстоящих от средней на величину  $\pm a^{7,8}$ . Существенным недостатком этого метода является зависимость показаний датчика от радиального градиента вертикальной компоненты магнитного поля, что требует привязки результатов измерений хотя бы на одном радиусе к известному значению  $\bar{V}_r$ . Значительное удаление радиуса измерения поля от радиуса привязки могло приводить к возрастанию ошибки измерения. Тем не менее, этот метод позволил отшиммировать  $\bar{V}_r$  компоненту в центральной области фазотрона<sup>4/</sup>; последующие измерения более совершенными методами не привели к изменению положения и величины шиммирующих элементов.

При измерениях  $\bar{V}_r$  для магнитной системы ускорителя с новыми центральными втулками был использован более точный метод определения средней радиальной компоненты магнитного поля. Суть его заключается в использовании в качестве датчика  $\bar{V}_r$

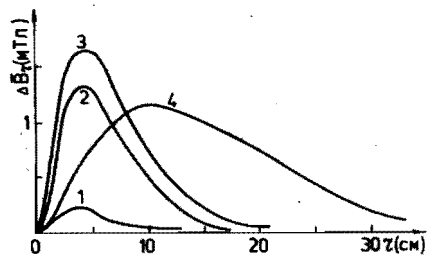


Рис.9. Средняя радиальная компонента магнитного поля от ферромагнитных шиммирующих элементов.

системы концентрических катушек. Для индуцирования сигнала использовалось вертикальное перемещение катушек из положения ниже средней плоскости ускорительной камеры в положение выше. Измерительные катушки наматывались в пазы, изготовленные в пластмассовых дисках. Были изготовлены два диска. Малый диск имел индукционные катушки в диапазоне радиусов  $\Delta r = /2-20/$  см с шагом 2 см. Большой диск - в диапазоне радиусов  $\Delta r = /2,5-25/$  см с шагом 2,5 см, а в диапазоне радиусов  $\Delta r = /25-50/$  см с шагом 5 см. На малом диске первая катушка радиуса  $r_1 = 2$  см имеет 630 витков провода ПЭВ -  $\phi 0,07$  мм. На большом диске первая катушка радиуса  $r_1 = 2,5$  см имеет 460 витков того же провода. Число витков последующих катушек уменьшалось пропорционально их радиусу, т.е. как  $r_1/r_k$ , где  $k$  - номер катушки. При такой намотке все катушки имели одинаковую чувствительность. На малом диске она составляла 0,118 В/мТл для вертикального перемещения диска 2 см, на большом - 0,107 В/мТл. Сигнал, индуцированный вертикальным перемещением катушки в магнитном поле, интегрировался электронной схемой<sup>18/</sup>. Сигнал с интегратора регистрировался цифровым вольтметром, показания которого фиксировались цифрочечатающим устройством. Объем информации на каждом радиусе - 3-4 числа, в зависимости от способа измерения дрейфа электронного интегратора, поэтому ЭВМ из схемы измерения исключается. Малый диск с концентрическими обмотками позволяет проводить измерения  $\bar{B}_r$  не только в свободной камере, но и при наличии дуанта, направляющих пробников, ионного источника и т.д. Измерения  $\bar{B}_r$  в таких условиях показали, что элементы конструкции, выполненные из нержавеющей стали, не оказывают влияния на положение медианной плоскости магнитного поля.

Для определения ошибок измерений  $\bar{B}_r$  при помощи этой методики были осуществлены эксперименты и оценки расчетным способом. Проведены измерения известного изменения  $\bar{B}_r$ . На рис.10 /кривая 1/ показано распределение градиента средней вертикальной компоненты магнитного поля, полученного путем измерения  $\Delta \bar{B}_r$  при вертикальном изменении средней плоскости положения датчика на 3 мм ( $\frac{d\bar{B}_z}{dr} = \frac{\Delta \bar{B}_r}{\Delta z}$ ). Кривая 2 - градиент поля, полученный из измерений  $\bar{B}_z$  датчиком Холла. Несовпадение двух кривых обусловлено тем, что ошибка определения  $d\bar{B}_z/dr$  методом

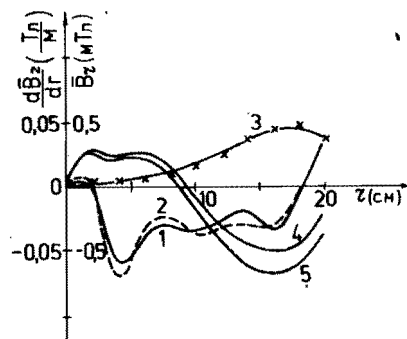


Рис.10. К анализу точности метода измерения радиальной компоненты магнитного поля.

Холла может достигать 0,01 Тл/м. Кривая 3 показывает распределение  $\bar{B}_r$  для токовой корректирующей катушки №1, крестиками отмечено поле этой катушки, измеренное данной методикой. Эти эксперименты показали, что изменения  $\bar{B}_r$  метод выделяет с точностью не хуже 0,02 мТл. Точность измерений уровня  $\bar{B}_r$ , существующего в магнитной системе фазотрона, анализируется расчетными оценками возможных ошибок измерений и при помощи экспериментов, показывающих малую зависимость результатов измерений от точности установки системы катушек.

#### СЛУЧАЙНЫЕ ОШИБКИ ИЗМЕРЕНИЯ

1. Дрейф уровня магнитного поля. Для исключения этого вида ошибки в схему измерения была введена дополнительная катушка с той же чувствительностью, что и у катушки  $\bar{B}_r$ , но включенная встречно с ней. Катушка помещается в измеряемое поле и является неподвижной.

2. Дрейф электронного интегратора. Величина ошибки из-за линейной части дрейфа измеряется каждый раз перед измерениями данного радиуса, затем вычитается из полезного сигнала. Ошибка из-за нелинейной части дрейфа составляет единицы мкТл и может не учитываться.

3. Ошибка измерения из-за люфта направляющей вертикального перемещения измерительных катушек. Появление дополнительного сигнала в этом случае связано с поворотом измерительной катушки после вертикального перемещения на угол  $\alpha_x$ . Этот сигнал пропорционален изменению площади проекции окружности измерительной катушки на среднюю плоскость зазора ускорительной камеры. Если начальное значение угла наклона измерительной катушки -  $\alpha$ , то максимальная ошибка измерения - в случае, когда фазы углов  $\alpha$  и  $\alpha_x$  совпадают:  $\Delta \bar{B}_r = \bar{B}_z [\cos \alpha - \cos(\alpha + \alpha_x)]$ .

После преобразования получим:

$$\Delta \bar{B}_r \approx \bar{B}_z \alpha \alpha_x.$$

/1/

В нашем случае  $\alpha_x = 10^{-3}$  рад,  $\alpha = 10^{-2}$  рад, что дает  $\Delta \bar{B}_r = 0,01$  мТл.

#### СИСТЕМАТИЧЕСКИЕ ОШИБКИ ИЗМЕРЕНИЯ

1. Постоянный перекося измерительного диска относительно средней плоскости ускорительной камеры. При этом ошибка измерения  $\Delta \bar{B}_r$ :  $\Delta \bar{B}_r = \bar{B}_r \cdot (1 - \cos \alpha) \approx \frac{\bar{B}_r}{2} \alpha^2$ . Для  $\alpha = 10^{-2}$ ,  $\bar{B}_r = 1$  мТл - максимальная ошибка  $\sim 10^{-4}$  мТл.

2. Изменение начального перекося диска на постоянный угол после вертикального перемещения. Механизм вертикального перемещения измерительного диска может срабатывать таким образом, что люфт направляющей вертикального перемещения выбирается в одном направлении и будет создавать систематическую ошибку. Ее оценка проводится по формуле /1/. Проведена экспериментальная проверка этого выражения. Угол  $\alpha$  был увеличен в 10 раз, что привело к изменению первоначального распределения  $\bar{B}_r$  на 0,1 мТл /кривые 4 и 5, рис.10/.

3. Несовпадение оси измерительной катушки с осью магнитной системы. Из разложения магнитного поля вблизи радиуса  $r$ :

$$\bar{B}_r(r + \Delta r) = \bar{B}_r(r) + \frac{\partial \bar{B}_r}{\partial r} \Delta r + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \bar{B}_r}{\partial r^2} (\Delta r)^2$$

видно, что смещение измерительной катушки на величину  $\Delta r$  относительно центра магнитной системы может привести к ошибке измерений

$$\Delta \bar{B}_r \sim \frac{\partial^2 \bar{B}_r}{\partial r^2} (\Delta r)^2$$

При величине  $\frac{\partial^2 \bar{B}_r}{\partial r^2} = 2$  Тл/м<sup>2</sup>,  $\Delta r = 1$  мм ошибка  $\Delta \bar{B}_r = 0,002$  мТл.

#### 4. Геометрия измерительной катушки

При вертикальном размахе измерительной катушки 2 мм отклонение положения центров катушек от требуемого значения может достигать величины  $\sim 0,2$  мм, что при градиентах среднего магнитного поля  $d\bar{B}_z/dr \sim 0,05$  Тл/м может привести к постоянной ошибке измерений до 0,01 мТл.

Гармоники радиальной геометрии обмотки при условии разворота измерительной катушки в процессе вертикального перемещения могут привести к появлению дополнительной ошибки

$$\Delta \bar{B}_r \sim B_{zi} \frac{\Delta r_i}{r} \Delta \phi,$$

где  $B_{zi}$  - гармоника вертикальной компоненты поля,  $\Delta r_i$  - гармоника радиальной геометрии обмотки,  $\Delta \phi$  - угол поворота.

Наибольшую опасность представляет четвертая гармоника радиального искажения формы обмотки. Для  $B_{z4} = 200$  мТл,  $\Delta r_4 = 0,1$  мм,  $r = 10$  см,  $\Delta \phi = 0,01$  рад получим  $\Delta \bar{B}_r = 0,002$  мТл.

Суммируя результаты приведенных оценок возможных ошибок измерений, данные экспериментов, многочисленные опыты на повторяемость результатов измерений, можно утверждать, что ошибка измерений средней составляющей радиальной компоненты магнитного поля при помощи вертикально перемещаемых концентрических катушек лежит в пределах  $\pm 0,02$  мТл.

Для расширения возможностей оперативной настройки ускорителя по качеству пучка в центральной области установлены концентрические обмотки, изготовленные из медного провода  $\phi 1,6$  мм и размещенные на поверхности спиральных шимм в медном каркасе /6, рис.3/. Максимальный ток в обмотке - 10 А. В каждой обмотке 13 витков, радиальная протяженность - 2,1 см. Количество обмоток по сравнению с пусковым вариантом магнитной системы было увеличено до 9 штук, а минимальный радиус уменьшен до 11 см. Параметры обмоток приведены в табл.2. Основное назначение обмоток - коррекция средней радиальной компоненты поля.

Таблица 2

№ обмотки	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$r_1$ /см/	11	13,6	16,1	18,7	21,2	23,8	26,3	28,9	31,4
$h_{cp}$ /см/	5,8	6,0	6,2	6,6	7,0	7,4	7,8	8,3	8,7

В /4/ показано, что магнитное поле таких обмоток может быть определено с точностью 5% путем расчета для токового слоя без учета отражений. На рис.11 показаны расчетные распределения радиальной компоненты магнитного поля для всех корректирующих обмоток для  $IW = 100$  А. Отдельной кривой показана вертикальная компонента поля обмоток для радиуса  $r = 0$ . На рис.11 показана схема расположения корректирующих обмоток в магнитной системе ускорителя. Такая система обмоток позволяет активно воздействовать на радиальную компоненту поля ускорителя, начиная с радиуса  $r = 7-8$  см. Воздействие на  $\bar{B}_r$  в зоне радиусов  $\Delta r = 0-7$  см возможно при помощи стальных винтов на радиусе  $r = 2,6$  см /4, рис.3/. Поле винтов M10x10 мм приведено на рис.11 кривой 1.

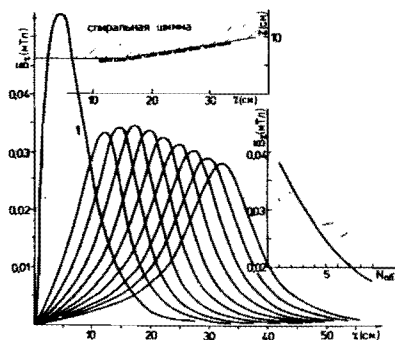


Рис.11. Магнитное поле элементов коррекции в центральной области ускорителя.

Авторы благодарят А.Н.Кокарева за большую помощь в проведении магнитных измерений на ускорителе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Аленицкий Ю.Г. и др. ОИЯИ, Р9-81-664, Дубна, 1981.
2. Заплатин Н.Л. и др. ОИЯИ, Р9-82-926, Дубна, 1982.
3. Заплатин Н.Л. и др. ОИЯИ, Р9-83-123, Дубна, 1983.
4. Аленицкий Ю.Г. и др. ОИЯИ, Р9-84-152, Дубна, 1984.
5. Ворожцов С.Б. и др. ОИЯИ, Р9-84-25, Дубна, 1984.
6. Заплатин Н.Л., Морозов Н.А. ОИЯИ, Р9-81-476, Дубна, 1981.
7. Морозов Н.А., Шишлянников П.Т. ОИЯИ, Р9-80-889, Дубна, 1980.
8. Морозов Н.А., Шишлянников П.Т. ОИЯИ, Р9-82-926, Дубна, 1982.

Рукопись поступила в издательский отдел  
19 марта 1985 года.

Вниманию организаций и лиц, заинтересованных в получении публикаций Объединенного института ядерных исследований

Принимается подписка на препринты и сообщения Объединенного института ядерных исследований.

Установлена следующая стоимость подписки на 12 месяцев на издания ОИЯИ, включая пересылку, по отдельным тематическим категориям:

ИНДЕКС	ТЕМАТИКА	Цена подписки на год
1.	Экспериментальная физика высоких энергий	10 р. 80 коп.
2.	Теоретическая физика высоких энергий	17 р. 80 коп.
3.	Экспериментальная нейтронная физика	4 р. 80 коп.
4.	Теоретическая физика низких энергий	8 р. 80 коп.
5.	Математика	4 р. 80 коп.
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия	4 р. 80 коп.
7.	Физика тяжелых ионов	2 р. 85 коп.
8.	Криогеника	2 р. 85 коп.
9.	Ускорители	7 р. 80 коп.
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных	7 р. 80 коп.
11.	Вычислительная математика и техника	6 р. 80 коп.
12.	Химия	1 р. 70 коп.
13.	Техника физического эксперимента	8 р. 80 коп.
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами	1 р. 70 коп.
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях	1 р. 50 коп.
16.	Дозиметрия и физика защиты	1 р. 90 коп.
17.	Теория конденсированного состояния	6 р. 80 коп.
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники	2 р. 35 коп.
19.	Биофизика	1 р. 20 коп.

Подписка может быть оформлена с любого месяца текущего года.

По всем вопросам оформления подписки следует обращаться в издательский отдел ОИЯИ по адресу: 101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79.



В Объединенном институте ядерных исследований начал выходить сборник "Краткие сообщения ОИЯИ". В нем будут помещаться статьи, содержащие оригинальные научные, научно-технические, методические и прикладные результаты, требующие срочной публикации. Будучи частью "Сообщений ОИЯИ", статьи, вошедшие в сборник, имеют, как и другие издания ОИЯИ, статус официальных публикаций.

Сборник "Краткие сообщения ОИЯИ" будет выходить регулярно.

The Joint Institute for Nuclear Research begins publishing a collection of papers entitled *JINR Rapid Communications* which is a section of the JINR Communications and is intended for the accelerated publication of important results on the following subjects:

Physics of elementary particles and atomic nuclei.  
Theoretical physics.  
Experimental techniques and methods.  
Accelerators.  
Cryogenics.  
Computing mathematics and methods.  
Solid state physics. Liquids.  
Theory of condensed matter.  
Applied researches.

Being a part of the JINR Communications, the articles of new collection like all other publications of the Joint Institute for Nuclear Research have the status of official publications.

*JINR Rapid Communications* will be issued regularly.



Аленицкий Ю.Г. и др.  
Магнитное поле в центральной области  
фазотрона ОИЯИ

P9-85-199

Работа посвящена формированию магнитного поля фазотрона ОИЯИ. Ее целью является получение заданной зависимости от радиуса среднего магнитного поля, спадающего в центральной области ускорителя, и коррекция амплитуд низших гармоник поля до величин меньше допустимых. Проведенные изменения в магнитной системе фазотрона обеспечивают использование вертикального ионного источника. В результате шиммирования амплитуда первой гармоники не превышает 0,4 мТл для области радиусов  $r \leq 30$  см. Представлены результаты по исправлению положения медианной поверхности магнитного поля фазотрона ОИЯИ. Для определения средней составляющей радиальной компоненты магнитного поля использовалась система измерительных индукционных катушек. Обсуждаются вопросы точности и требований к системе измерения. После перераспределения ферромагнитных элементов магнитной системы фазотрона величина  $\bar{B}_r$  не превышает 0,4 мТл, что соответствует отклонению медианной поверхности поля не более чем на 1 см.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1985

Перевод О.С.Виноградовой

Alenitskij Yu.G. et al.  
Central Magnetic Field  
for the Dubna Synchrocyclotron

P9-85-199

The shaping of the magnetic field of the Dubna synchrocyclotron is described. The purpose of this investigation was to obtain the required dependence of the average central magnetic field on radius with bump and required accuracy for the field harmonic amplitudes. The magnetic system changes realised the use of the axial ion source. The shimming has resulted in the first harmonic amplitude less than 0.4 mT for  $r \leq 30$  cm region. The correction of magnetic field median plane of the Dubna synchrocyclotron is described. The mean radial component of the magnetic field was measured using the system of search coils. The measurement accuracy and tolerances for the coordinate systems are discussed. After the iron elements of the magnetic system reassembling the  $\bar{B}_r$  value does not exceed 0.4 mT. It corresponds to the magnetic field plane deviation by not more than 1 cm.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1985