

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



С34511
А-465

P9 - 8753

30/VI-75

2383/2-75

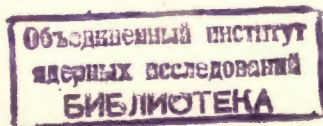
В.С.Александров, Ю.И.Алексахин, Л.С.Барабаш,
Л.Н.Беляев, С.М.Бийский, Э.В.Волковвыский,
И.А.Голутвин, Н.И.Замятин, Ю.Л.Злобин,
Н.Ю.Казаринов, С.С.Кирилов, В.М.Лачинов,
В.К.Маковеев, Н.А.Невская, Э.А.Перельштейн,
А.А.Попов, А.А.Сабаев, В.П.Саранцев, Л.В.Светов,
Д.А.Смолин, З.А.Тер-Мартirosян, В.А.Тимохин,
А.Г.Федунов, В.С.Хабаров, И.М.Хохлов, В.В.Чальшев,
В.С.Швецов, Б.Г.Щинов, Ю.А.Яцуенко

ИЗМЕРЕНИЕ И ФОРМИРОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО
МАГНИТНОГО ПОЛЯ В АДГЕЗАТОРЕ
УСКОРИТЕЛЯ МНОГОЗАРЯДНЫХ ИОНОВ

1975

В.С.Александров, Ю.И.Алексахин, Л.С.Барабаш,
Л.Н.Беляев, С.М.Бийский, Э.В.Волкововский,
И.А.Голутвин, Н.И.Замятин, Ю.Л.Злобин,
Н.Ю.Казаринов, С.С.Кирилов, В.М.Лачинов,
В.К.Маковеев, Н.А.Невская, Э.А.Перельштейн,
А.А.Попов, А.А.Сабаев, В.П.Саранцев, Л.В.Светов,
Д.А.Смолин, З.А.Тер-Мартirosян, В.А.Тимохин,
А.Г.Федунов, В.С.Хабаров, И.М.Хохлов, В.В.Чальшев,
В.С.Швецов, Б.Г.Щинов, Ю.А.Яцуенко

ИЗМЕРЕНИЕ И ФОРМИРОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО
МАГНИТНОГО ПОЛЯ В АДГЕЗАТОРЕ
УСКОРИТЕЛЯ МНОГОЗАРЯДНЫХ ИОНОВ



Александров В.С., Алексахин Ю.И., Барабаш Л.С. и др. P9 - 8753

Измерение и формирование импульсного магнитного поля в адгезаторе ускорителя многозарядных ионов

В работе изложены результаты магнитных измерений в адгезаторе ускорителя многозарядных ионов. Приводится описание установки для магнитных измерений, состоящей из системы питания, импульсных катушек, формирующих магнитное поле в камере адгезатора, магнетометра и электронной аппаратуры, работающей на линии с ЭВМ М-6000.

Работа выполнена в Отделе новых методов ускорения ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований
Дубна 1975

Alexandrov V.S., Aleksakhin Yu.I.,
Barabash L.S. et al.

P9 - 8753

Measurement and Formation of the Momentum Magnetic Field in a Compressor of the Multiply Charged Ion Accelerator

The results are presented of magnetic measurements performed in a compressor of the multiply charged ion accelerator. A setup is described which is intended for magnetic measurements. The setup consists of a feeding system, pulse coils forming a magnetic field in a compressor chamber, a magnetometer and electronics operating with M-6000 on-line computer.

The investigation has been performed at the Department of New Acceleration Methods, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research
Dubna 1975

Для успешного сжатия электронных колец в адгезаторе (компрессоре) ускорителя тяжелых ионов необходимо обеспечить определенные пространственное и временное распределения импульсного магнитного поля и его показателя спада в камере адгезатора^{1/}.

Особенностью формирования магнитного поля в металлической камере является необходимость учета токов, наведенных в стенках камеры, обусловленных импульсным характером магнитного поля и влияющих на его пространственное и временное распределения. Эти факторы должны учитываться при выборе геометрии импульсных ступеней сжатия, расчете необходимых токов в импульсных катушках и времени их включения.

Ниже приводится описание системы формирования магнитного поля в адгезаторе и основные результаты магнитных измерений.

1. Установка для формирования магнитного поля и измерения его характеристик

Блок-схема установки для формирования и измерения магнитного поля в камере адгезатора, показанная на рис. 1, состоит из четырех функциональных узлов:

- системы импульсного питания;
- магнитной системы;
- электронной аппаратуры управления и контроля;
- комплекса аппаратуры измерительного центра.

Система импульсного питания включает в себя блоки формирования импульсных токов для каждой из четырех ступеней сжатия. Один такой блок состоит из источника зарядного напряжения, конденсаторной батареи, тиристорного коммутатора тока и цепи рекуперации энергии^{2/}.

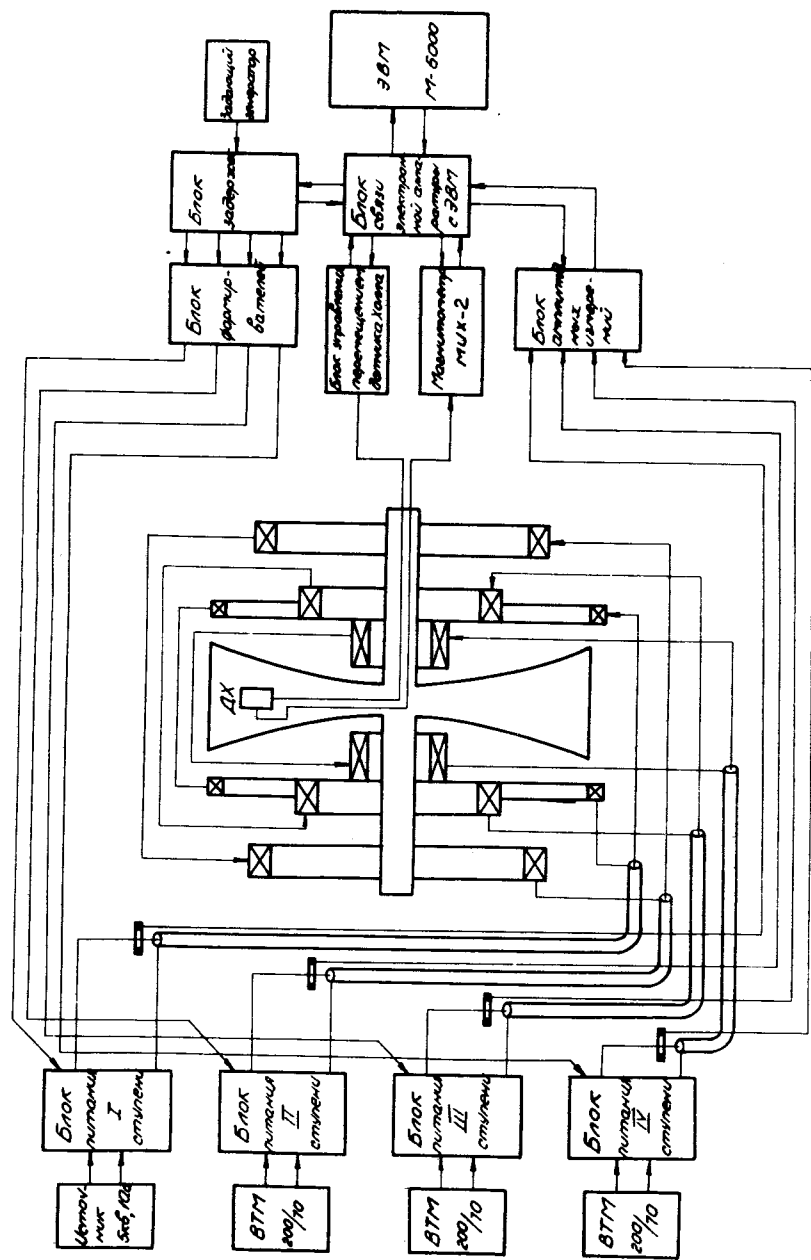


Рис. 1. Блок-схема установки для формирования и измерения магнитного поля в камере адгезатора (компрессора).

Магнитная система включает в себя четыре пары импульсных катушек для формирования магнитного поля и камеру адгезатора. Катушки и камера размещены на специальном стапеле, а положение катушек относительно медианной плоскости камеры показано на рис. 2. Пары катушек электрически включены последовательно, образуя таким образом четыре ступени сжатия электронного кольца. Амплитудные значения токов в каждой паре катушек соответственно составляют 2,5 кА; 6 кА; 4,2 кА и 5 кА.

Электронная аппаратура управления и контроля параметров системы питания выполнена в стандарте КАМАК и связана ЭВМ М-6000 через программно-управляемый канал. В состав ее входят: задающий генератор, определяющий режим работы установки по частоте срабатывания; цифровые программируемые задержки^{/3/}, управляемые от ЭВМ, задающие временную диаграмму работы блоков системы питания и время измерения магнитного поля датчиком Холла; аналого-цифровые преобразователи на 1024 канала для измерения амплитуды импульсов с датчика Холла, амплитудных значений токов в катушках адгезатора и зарядных напряжений.

Измерение магнитного поля, изменение и измерение координат датчика Холла в камере адгезатора производится магнитометром МИХ-2^{/4/} и блоком управления перемещением датчика Холла.

Информация о магнитном поле, амплитуде токов в импульсных катушках, времени измерения магнитного поля и времени срабатывания блоков питания, о координатах датчика Холла по радиусу и азимуту поступает в измерительный центр. Для обработки информации и управления установкой используется ЭВМ М-6000 с комплексом периферийных устройств, в которые входит телетайп, алфавитно-цифровой дисплей, накопитель на магнитных дисках, перфоратор, трансмиттер и читающее устройство FS-1501.

Программа работ на установке предусматривала два режима /5/:

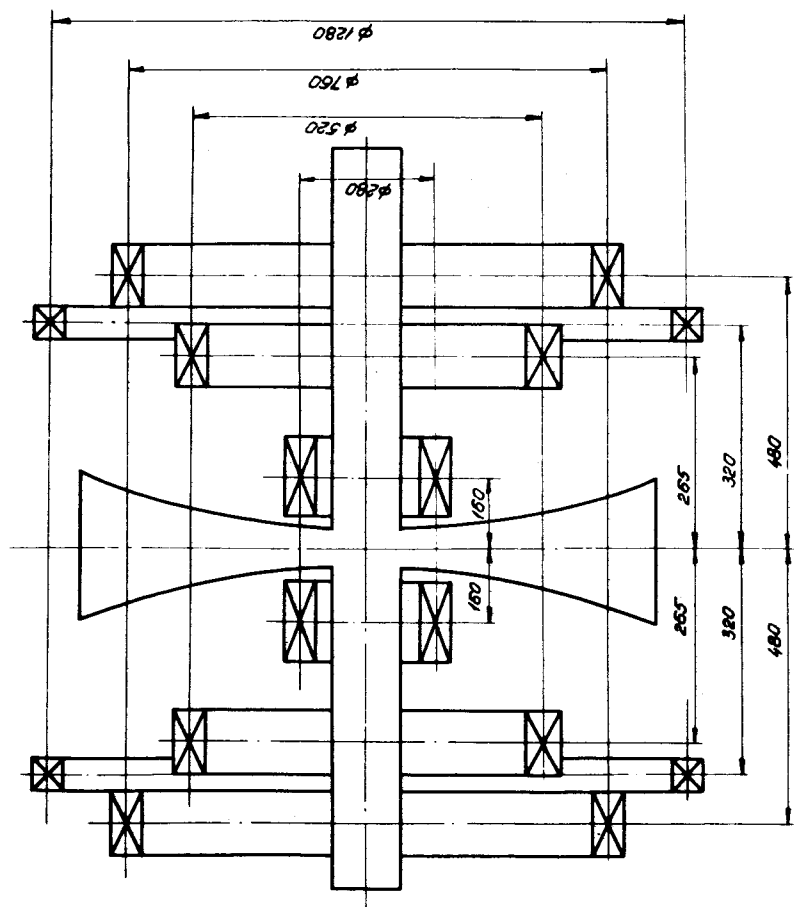


Рис. 2. Схема размещения импульсных катушек для формирования магнитного поля.

Режим "R" - измерение распределения магнитного поля $H(R, t) |_{\phi = \text{const}}$, где R - радиус установки датчика Холла, ϕ - азимут установки датчика Холла, t - время измерения.

Результатом этих измерений является массив $H(R, t)$, используемый затем для вычисления показателя спада $n(R, t)$.

Режим " ϕ " - измерение магнитного поля $H(\phi, t) |_{R = \text{const}}$. Результатом этих измерений является распределение магнитного поля по азимуту.

2. Результаты магнитных измерений

В результате измерений мгновенных значений импульсного магнитного поля на радиусах от 39 до 4 см с шагом по R, равным 1 см, и по времени 10 мкс, накапливается массив $H(R, t)$. Обработка полученных данных проводится в режиме "off-line" и позволяет получить значения среднего магнитного поля $\bar{H}_z(R, t)$, равновесный радиус электронного кольца $R(t_{\text{равн.}})$, значения показателя спада $n(R, t_{\text{равн.}})$ на равновесных радиусах. Точность измерения магнитного поля $\approx (1-3) \cdot 10^{-3}$ позволяет находить $\bar{H}_z(R, t)$ и $R(t_{\text{равн.}})$ с ошибкой $\approx 10^{-2}$. Ошибка в определении n составляет $\approx (1-3) \cdot 10^{-1}$.

На рис. 3+7 показаны измеренные характеристики сжатия колец, полученные в одночастичном приближении (собственные поля кольца не учитывались). Массив $H(R, t)$ соответствовал токам: во второй ступени сжатия - 6 кА, в третьей - 4,2 кА, в четвертой - 5 кА.

Время включения третьей и четвертой ступеней - 200 мкс и 750 мкс относительно второй. Обработка проводилась для электронных колец с начальной энергией 1,5; 2,0; 2,5 МэВ.

На рис. 3,4,5 показаны n-траектории для пучка с $\gamma = 4,5, 6$ соответственно. Значения n приведены для импульсных магнитных полей, формируемых II, III и IV ступенями сжатия (поле 1-й ступени не приводится).

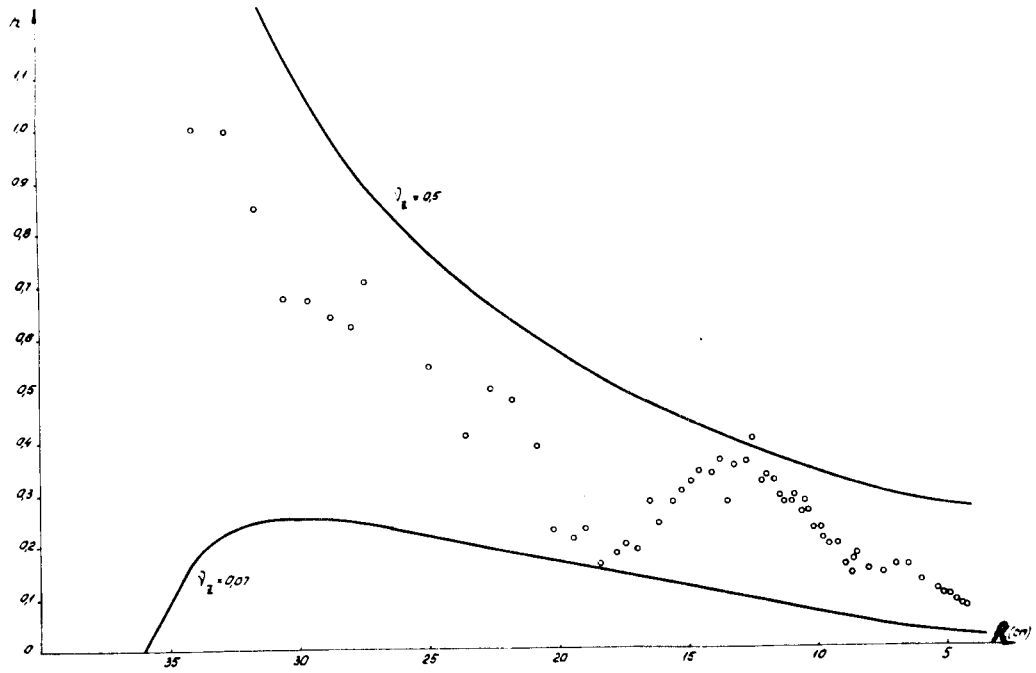


Рис. 3. Измеренная p -траектория для пучка с $\gamma=4$ (одночастичное приближение).

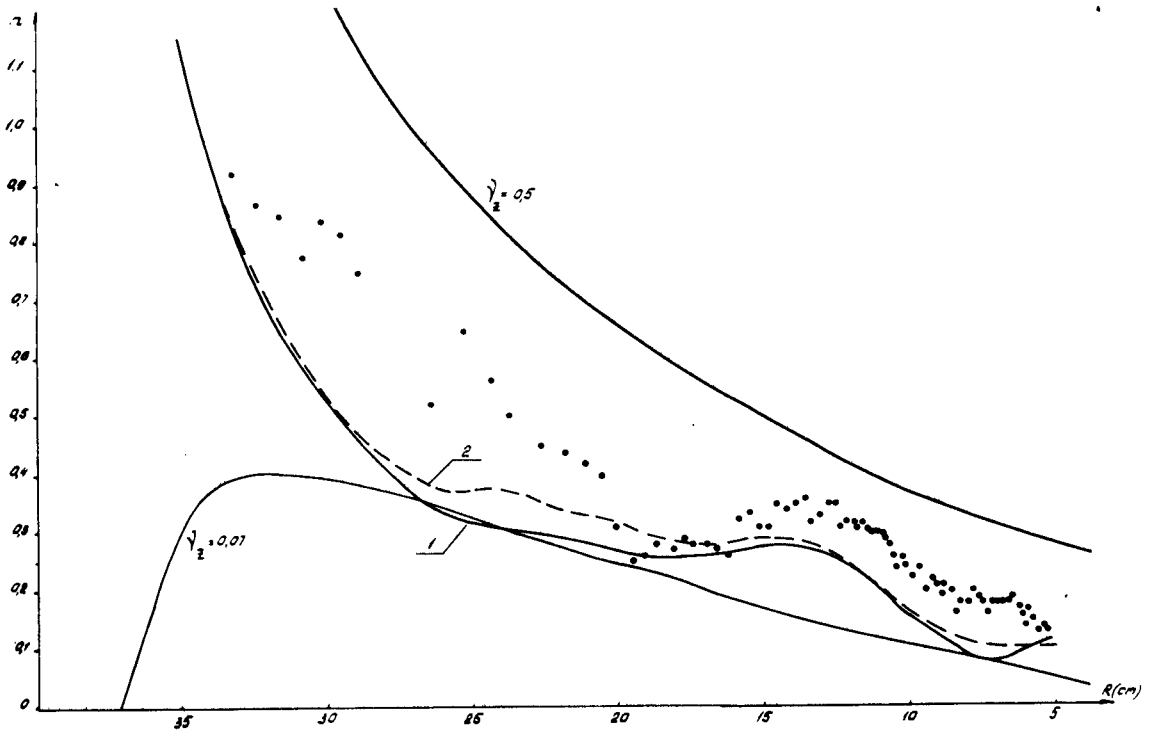


Рис. 4. p -траектория для пучка с $\gamma=5$. Кривая 1 - одночастичное приближение, кривая 2 - для пучка с $N_e = 2 \cdot 10^{13}$, точки - измеренная p -траектория.

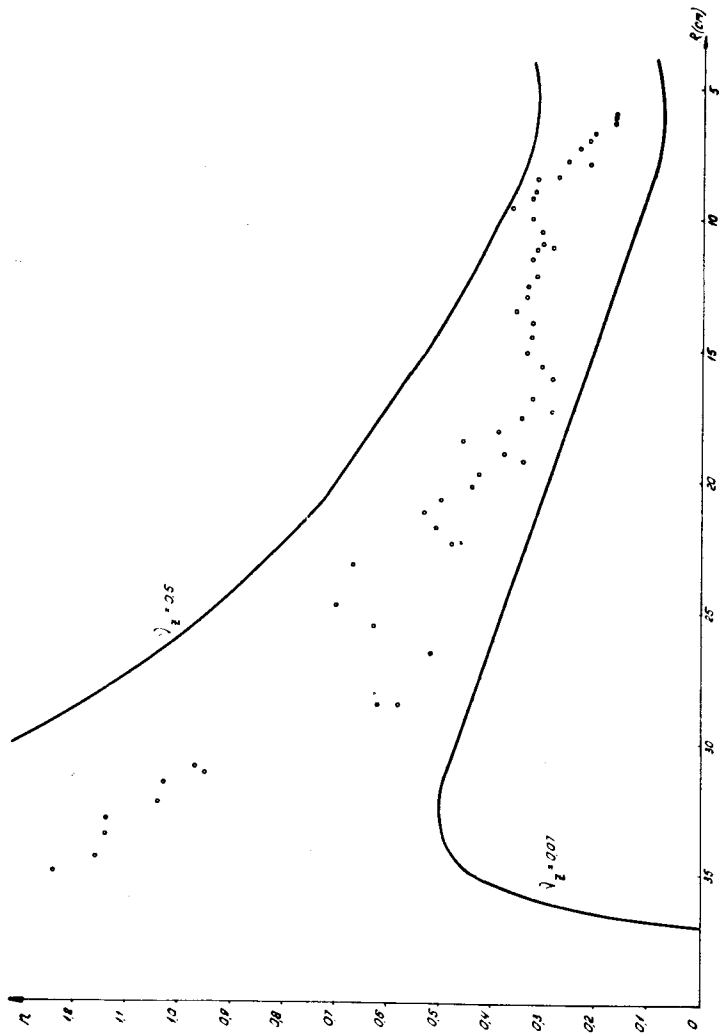


Рис. 5. Измеренная p -траектория для пучка с $\gamma = 6$ (одночастичное приближение).

Сплошными линиями на рисунках показаны теоретические значения p , соответствующие резонансу $\nu_z = 0,5$ и значению $\nu_z = 0,07$. Коридоры вычислялись для электронных колец с параметрами: $\gamma = 4$, $N_e = 10^{13}$; $\gamma = 5$, $N_e = 2.10^{13}$; $\gamma = 6$, $N_e = 3.10^{13}$. Из рисунков видно, что сформированные p -траектории лежат в соответствующих коридорах.

На рис. 4 для пучка с $\gamma = 5$ кроме экспериментальных точек нанесены расчетные кривые. Кривая 1 — одночастичное приближение, кривая 2 соответствует пучку с $N_e = 2.10^{13}$. Как видно из рисунка, измеренная p -траектория проходит несколько выше расчетной. Этот эффект можно объяснить влиянием металлических деталей в стапеле адгезатора, не учтенным в расчетах. Учет собственных полей приведет к тому же эффекту, в то время как значения коридоров практически не изменяются.

В первом варианте магнитной системы адгезатора предполагалось, что инжекция электронного пучка будет производиться в постоянное магнитное поле, создаваемое 1-й ступенью. Измерения, проведенные с катушками постоянного поля на стенде, показали, что из-за связи между ними и парами катушек II, III и IV ступеней в катушках постоянного поля наводится ток, существенно искажающий распределение магнитного поля по радиусу. Для подавления токовой наводки необходимо включить последовательно с катушками постоянного поля дроссель, индуктивность которого должна быть на порядок больше индуктивности катушек постоянного поля. Такое решение трудно реализуемо, поскольку индуктивность дросселя должна быть 0,3 Гн. Кроме того, катушки постоянного тока и дополнительный дроссель должны выдерживать напряжение 30 кВ, что создает дополнительные трудности. Для этого вместо постоянного поля введено импульсное магнитное поле, которое создается парой 6-витковых катушек. Для того чтобы исключить влияние камеры на импульсное поле 1-й ступени, длительность импульса тока в ней выбрана равной 10 мс. Для подавления наводки от II, III и IV ступеней последовательно с катушками 1-й ступени включен дроссель с $L = 3,5$ мГ.

Результаты магнитных измерений при работе 1-й ступени совместно со II и III ступенями сжатия электронного кольца приведены на рис. 6,7.

Расчитанные по измеренным значениям $H(R, t)$ зависимости равновесного радиуса электронного кольца $R_{\text{равн.}}(t)$ и магнитного поля $H_{\text{равн.}}(t)$ для пучка с $\gamma = 4,5$ приведены на рис. 6. Сплошными линиями показаны зависимости, снятые в сеансе совместно с 1-й ступенью, пунктиром - зависимости, снятые в предыдущих сеансах магнитных измерений при работе только II, III и IV ступеней. На рис. 7 показана измеренная p -траектория электронного кольца с начальной энергией $E_{\text{инж.}} = 1,8$ МэВ при работе I, II и III ступеней. Начиная с радиуса $R = 8,7$ см, приводятся p -траектории, измеренные в сеансах с IV ступенью: верхняя - для пучка с $\gamma = 5$, нижняя - для пучка с $\gamma = 4$. Очевидно, что p -траектория для пучка с $\gamma = 4,5$ при включении IV ступени существенно отличаться от этих зависимостей не будет.

Измерения азимутальных неоднородностей производились в медианной плоскости в моменты времени, соответствующие нахождению электронного кольца на данном радиусе.

Результаты измерения распределения импульсного магнитного поля от II и III ступеней по азимуту на радиусах $R = 8$ см и $R = 4$ см показаны на рис. 8. Азимутальные неоднородности магнитного поля на малых радиусах составляют $(2-4) \cdot 10^{-3}$.

На рис. 9 приводится распределение импульсного магнитного поля по азимуту на радиусе $R = 34$ см при работе второй ступени сжатия.

Кривая I - камера имеет вакуумный патрубок размером 40 см по азимуту. Провал поля на азимуте $\phi = 90^\circ$ обусловлен наличием этого патрубка.

Кривая II - патрубок срезан, кривая III - на это место установлены два патрубка диаметром по 14 см.

Как видно из рисунка, после замены одного большого патрубка двумя патрубками меньшего диаметра отклонение амплитуды магнитного поля от среднего значения составляет 4,5%.

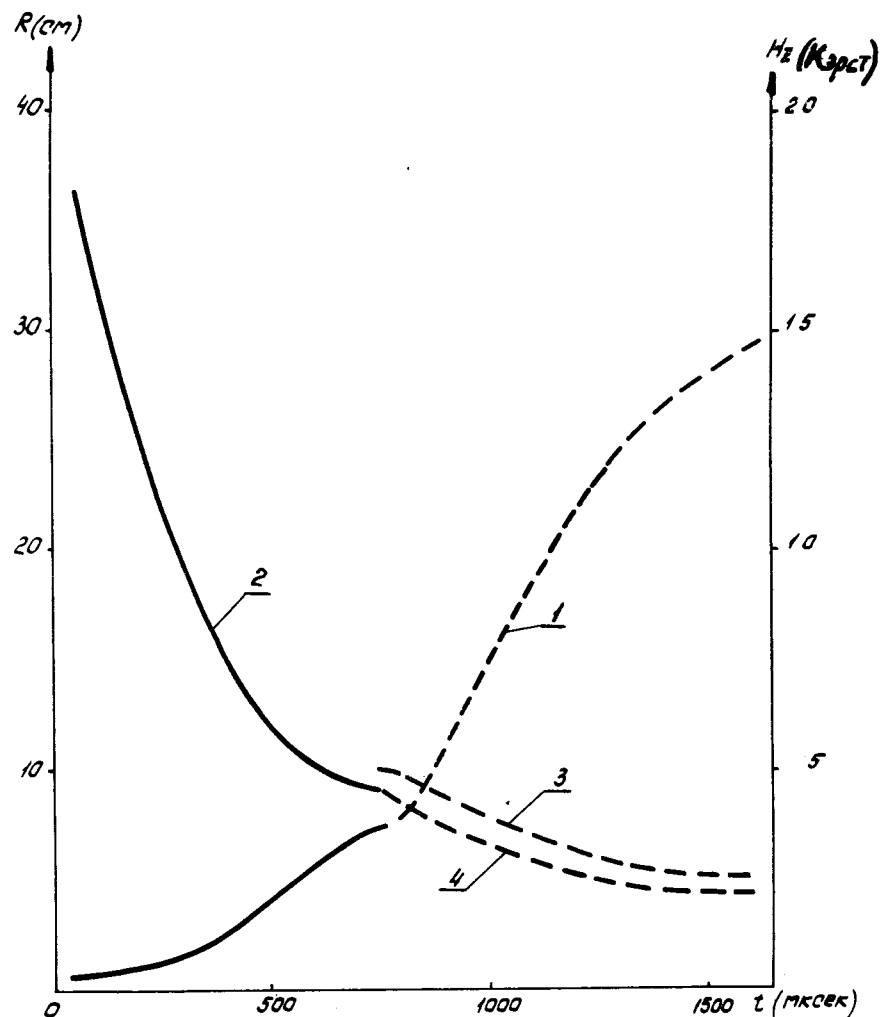


Рис. 6. Распределение импульсного магнитного поля вдоль траектории кольца (1) и зависимости изменения радиуса электронного кольца (2,3,4) от равновесного времени. 2 - при совместной работе 1-й ступени со II и III ступенями сжатия ($\gamma = 4,5$), 3,4 - при работе II, III и IV ступеней сжатия ($\gamma = 5; 4$ соответственно).

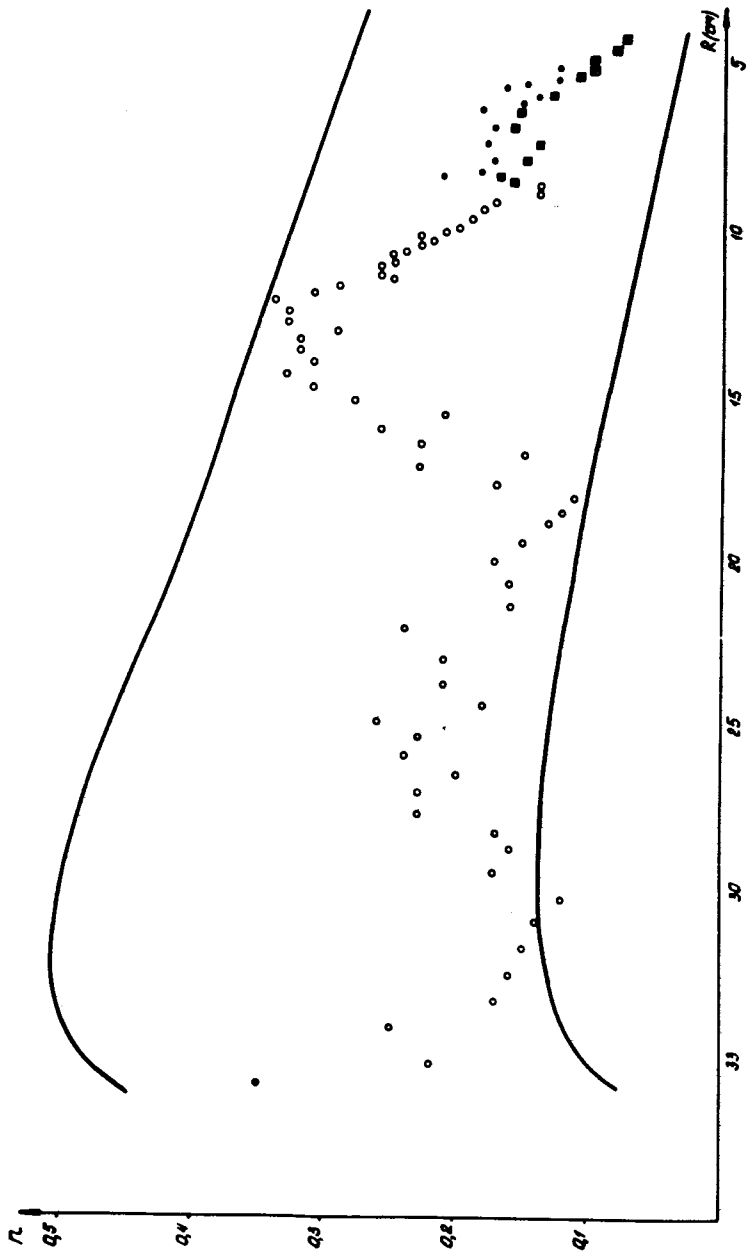


Рис. 7. Измеренная π -траектория. \circ - при работе I, II и III ступеней ($\gamma = 4,5$);
 \blacksquare - при работе II, III и IV ступеней ($\gamma = 5$); \square - при работе II, III и IV ступеней
 ($\gamma = 4$).

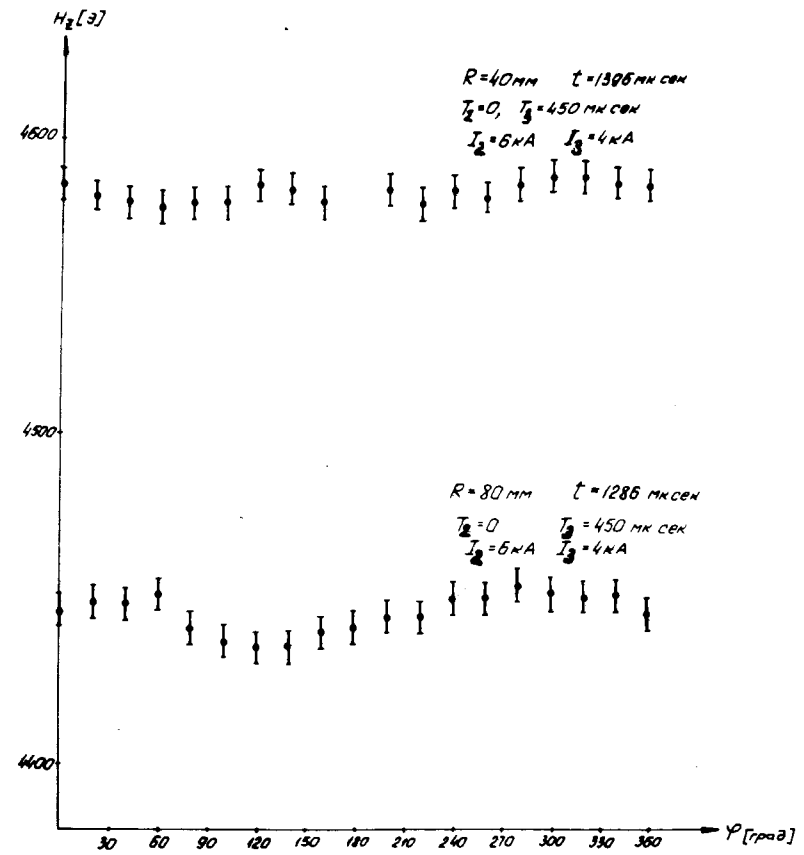


Рис. 8. Распределение импульсного магнитного поля по азимуту на радиусах $R = 4$ см, 8 см для II и III ступеней сжатия.

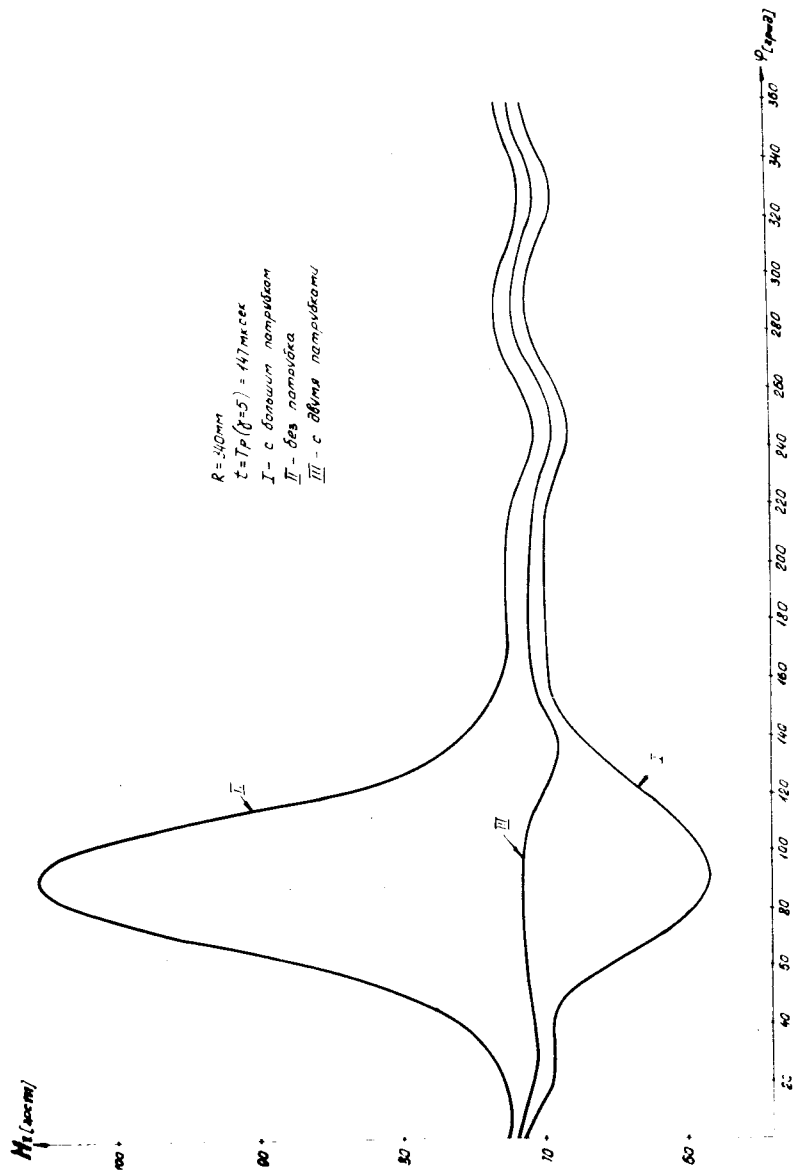


Рис. 9. Результаты измерения распределения импульсного магнитного поля по азимуту на радиусе $R = 34$ см; I - камера имеет широкий по азимуту патрубок, изготовленный из нержавеющей стали толщиной 0,8 мм; II - вакуумный патрубок срезан; III - широкий вакуумный патрубок заменен на два патрубка диаметром 14 см.

Азимутальные неоднородности на радиусе $R = 36$ см при включении 1-й ступени совместно с другими составляют 1,5%.

Таким образом, результаты, полученные в магнитных измерениях, позволяют сделать вывод о пригодности магнитной системы для сжатия электронных колец с указанными выше параметрами.

Литература

1. Л.С.Барабаш и др. Сообщение ОИЯИ, Р9-7697, Дубна, 1974.
2. Л.С.Барабаш и др. Препринт ОИЯИ, Р9-7773, Дубна, 1974.
3. Труды VII Международного симпозиума по ядерной электронике, Будапешт, 1973. ОИЯИ, Д13-7616, стр. 272-287, Дубна, 1974.
4. В.М.Лачинов, В.К.Маковеев. Сообщение ОИЯИ, Р9-8118, Дубна, 1974.
5. В.С.Александров и др. Сообщение ОИЯИ, Р9-8181, Дубна, 1974.

Рукопись поступила в издательский отдел
2 апреля 1975 года.