

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



С 345Г1
В-19

20/Г-75
Р9 - 8256

А.Т.Василенко, Н.Л.Заплатин, А.Г.Комиссаров,
Н.А.Морозов, Е.В.Самсонов, П.Т.Шишлянников

190/2-75

ФОРМИРОВАНИЕ
МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЭЛЕКТРОННОЙ МОДЕЛИ
КОЛЬЦЕВОГО ЦИКЛОТРОНА
ДЛЯ ВЫВОДА ЧАСТИЦ МЕТОДОМ РАСШИРЕНИЯ
ЗАМКНУТЫХ ОРБИТ

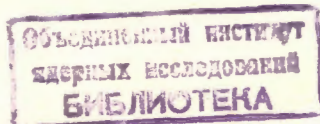
1974

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

P9 - 8256

А.Т.Василенко, Н.Л.Заплатин, А.Г.Комиссаров,
Н.А.Морозов, Е.В.Самсонов, П.Т.Шишляников

**ФОРМИРОВАНИЕ
МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЭЛЕКТРОННОЙ МОДЕЛИ
КОЛЬЦЕВОГО ЦИКЛОТРОНА
ДЛЯ ВЫВОДА ЧАСТИЦ МЕТОДОМ РАСШИРЕНИЯ
ЗАМКНУТЫХ ОРБИТ**



Василенко А.Т., Заплатин Н.Л., Комиссаров А.Г.,
Морозов Н.А., Самсонов Е.В., Шишлянников П.Т.

P9 - 8256

Формирование магнитного поля электронной модели
кольцевого циклотрона для вывода частиц методом
расширения замкнутых орбит

В работе приводятся экспериментальные результаты по формированию
магнитного поля модели, дается сравнение расчета и эксперимента, ана-
лизируются причины возникновения возмущений в конфигурации поля.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований
Дубна, 1974

Vasilenko A.T., Zaplatin N.L.,
Komissarov A.G., Morozov N.A.,
Samsonov E.V., Shishlyannikov P.T.

P9 - 8256

Forming of a Magnetic Field of an Electron
Model of a Ring Cyclotron for Particle Extrac-
tion by the Method of Closed Orbit Expansion

The results of experoments on forming of a magnetic
field of an electron model are presented. The experimental
data are compared with the calculated ones. The reasons
of the appearance of the perturbations in the field confi-
guration are analysed.

Communications of the Joint Institute for Nuclear Research.
Dubna, 1974

В работе ^{/1/} проведено расчетное формирование
основных характеристик магнитного поля электронной мо-
дели кольцевого циклотрона /ЭМКЦ/^{/2/}. Показано, что
для получения необходимого спада варнации поля в зоне
вывода может быть использована дополнительная вари-
ационная обмотка, располагаемая на конечных радиусах
модели.

В работе отмечено, что анализ возможных возмуще-
ний от различных элементов токовой системы позволил
сделать вывод о необходимости исключения трех кон-
центрических обмоток и замены их одной обмоткой,
расположенной на большом расстоянии от медианной
плоскости. Предложенная система концентрических об-
моток позволит с большей точностью сформировать сред-
нее магнитное поле модели.

В настоящем сообщении приведены результаты иссле-
дования экспериментального распределения магнитного
поля, полученного на ЭМКЦ для найденных в работе ^{/1/}
параметров обмоток и токов в них. Необходимость про-
ведения подобного исследования связана прежде всего
с возможностью появления возмущений магнитного поля
от токоподводов из-за неточности изготовления элементов
системы, а также из-за невозможности выполнения за-
данной конфигурации по конструктивным соображениям.
Такие возмущения вносят существенный вклад в низшие
гармоники, что важно при анализе эффекта расширения
замкнутых орбит.

Требования к магнитному полю сводятся к сле-
дующему:

1. Изохронное среднее магнитное поле должно быть
выполнено с точностью $\frac{\Delta H}{H} = \pm 2,5 \cdot 10^{-3}$.

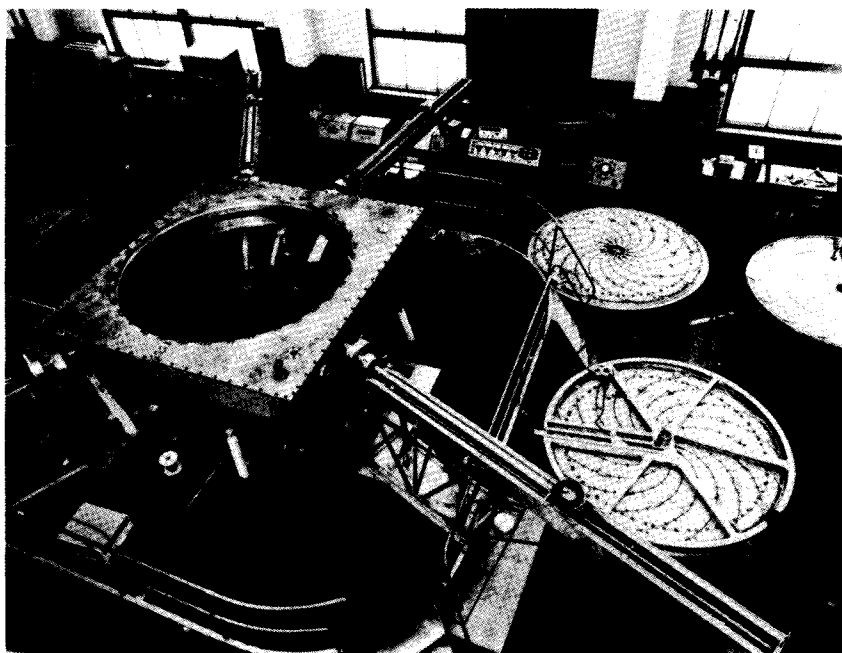


Рис. 1. Общий вид зала электронной модели.

2. Градиент основной гармоники магнитного поля на радиусе $r = 97,5$ см должен составлять $\frac{dH_8}{dr} = -2,8$ Э/см, а градиент фазы максимума $\frac{d\phi_{8\max}}{dr} = 0$.

3. Низшие гармоники магнитного поля не должны превышать

$$H_{1z} = 0,015 \text{ Э}, \quad H_{2z} = 0,15 \text{ Э}, \\ H_{1r} = 0,015 \text{ Э для конечных радиусов } r \approx 100 \text{ см.}$$

В процессе работы было установлено:

1. Градуировка измерительных шунтов источников питания токовых обмоток позволяет установить значения токов с относительной точностью не хуже 10^{-4} .

2. Градуировка прибора для измерения магнитного поля, выполненного на основе пермаллового датчика $^{3/}$, обеспечивает точность измерения $2 \cdot 10^{-3}$.

3. Магнитное поле Земли в средней плоскости модели не имеет искажений от конструктивных элементов камеры и здания и составляет величины 0,43 и 0,132 Э для вертикальной и горизонтальной составляющих поля соответственно во всем диапазоне радиусов модели.

4. Точность профиля основной вариационной обмотки составляет $\pm 0,3$ мм, а отклонение от заданной спиральности $r = 64 \cdot \phi$ см не превышает $\Delta r = \pm 0,2$ мм.

5. Точность геометрических размеров дополнительной вариационной обмотки не хуже $\pm 0,2$ мм.

На рис. 1 показан общий вид зала с электронной моделью в период ревизии и монтажа дополнительных обмоток. На снятых крышках камеры видны вариационные обмотки и приспособление для перемещения пермаллового датчика измерительного прибора в радиальном и азимутальном направлениях. Конфигурация дополнительной вариационной обмотки показана на рис. 2 и 4.

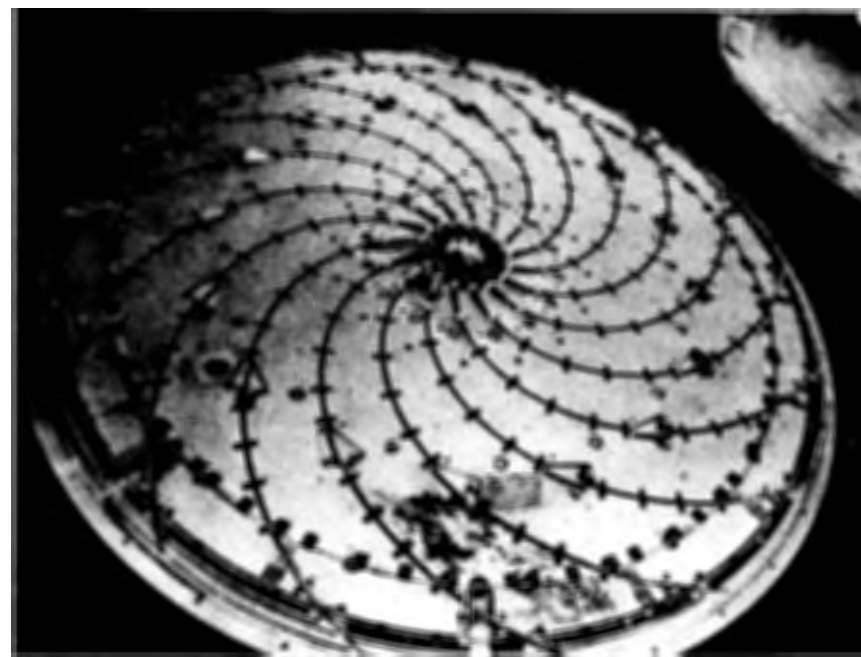


Рис. 2. Полюс магнитной системы.

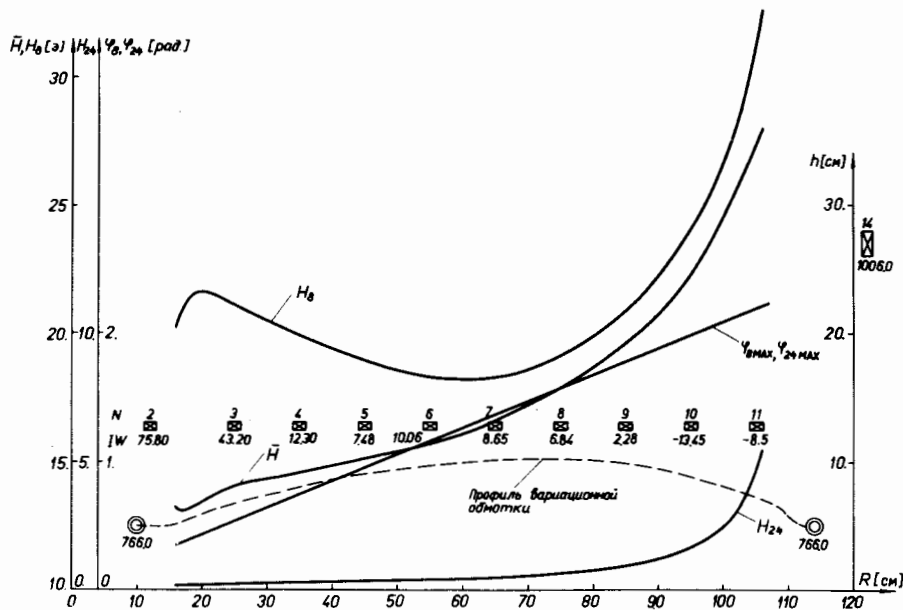


Рис. 3. Основные характеристики магнитного поля в режиме без расширения орбит.

Измерение распределения магнитного поля для заданного радиуса проводилось по 144 равноотстоящим точкам по азимуту с шагом по радиусу $0,5 \pm 1$ см. Данные магнитных измерений записывались на перфоленту, которая затем обрабатывалась на ЭВМ. Результаты магнитных измерений приведены на рис. 3-7.

На рис. 3 даны основные характеристики магнитного поля ЭМКЦ во всем диапазоне радиусов для режима работы без расширения замкнутых орбит. На том же рисунке приведена схема размещения токовых обмоток, используемых при формировании этого поля, и значения токов в них. Отклонение сформированного поля от изохронного вблизи радиуса инжекции $r = 18$ см обусловлено требованием обхода инжектора на первых оборотах.

Сравнение расчетного и экспериментального распределения 8-й и 24-й гармоник поля для дополнительной вариационной обмотки приведено на рис. 4. Отличие

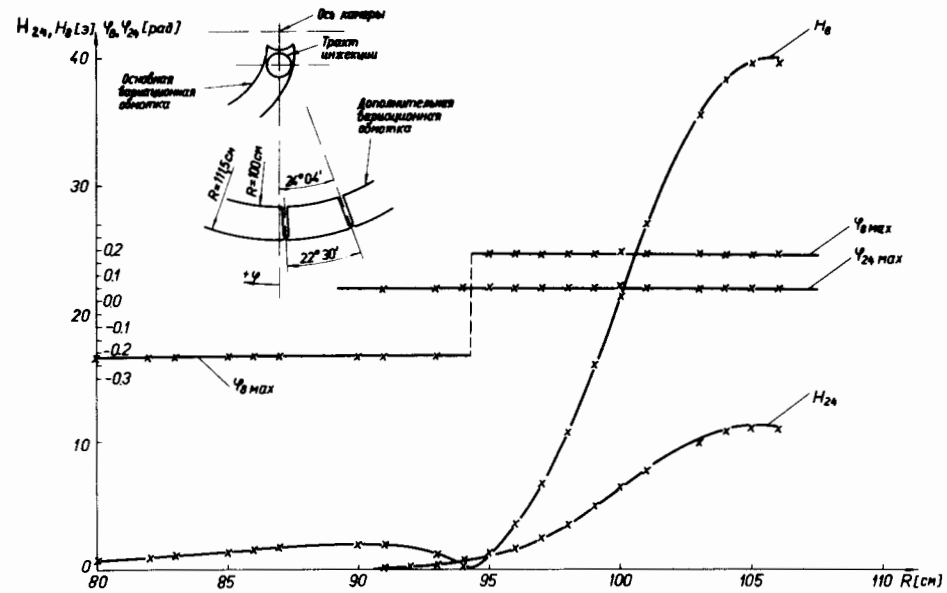


Рис. 4. Распределение амплитуд и фаз 8-й и 24-й гармоник магнитного поля дополнительной вариационной обмотки, $I_{доп} = 500$ А.

соответствующих значений не превышает 0,2 Э, что находится в пределах точности эксперимента. Отметим также, что величина вносимого среднего поля от обмотки составляет 0,05 Э.

Из приведенных графиков зависимостей гармоник и их фаз на рис. 5 видно, что градиент 8-й гармоники поля на радиусе $r = 97,5$ см составляет требуемую величину, а фаза ϕ_8 близка к постоянной величине в диапазоне радиусов /94-99/ см.

Распределения низших гармоник H_z -составляющей магнитного поля, сформированного /рис. 5 и рис. 3, кривая $H /$ для анализа расширения замкнутых орбит, представлены графиками на рис. 6. Имеются три причины возникновения гармоник.

1/ Гармоники создаются во всем интервале радиусов обмотками компенсации горизонтальной составляющей поля Земли. Как показывают расчеты, амплитуды 1-й

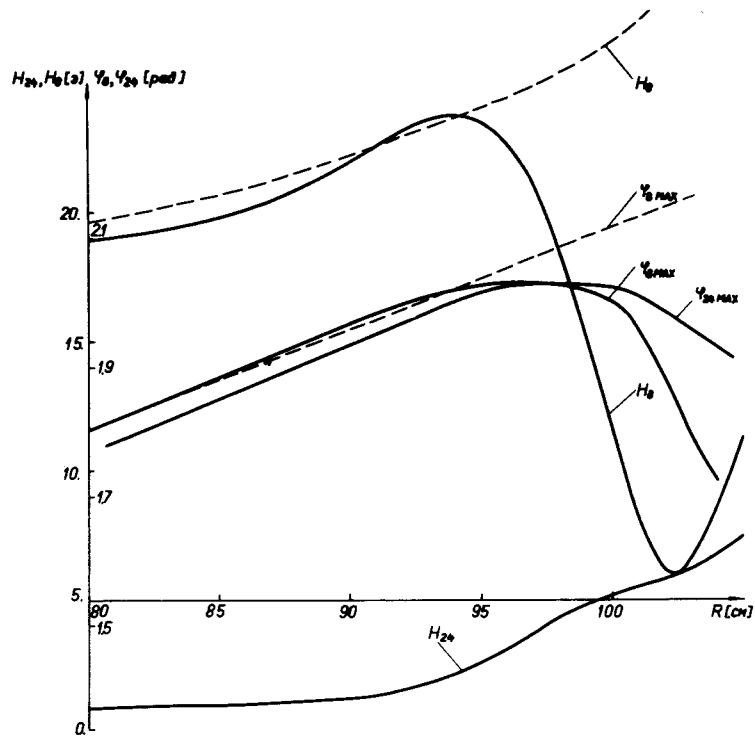


Рис. 5. Основные характеристики магнитного поля в режиме с расширением орбит /штриховые линии - без расширения орбит/.

гармоники возрастают примерно линейно с радиусом от 0,02 Э на $r = 18$ см до 0,1 Э на $r = 100$ см.

2/ В центральной части всплеск амплитуд гармоник обусловлен возмущением поля, вызванным пермалловым экраном, расположенным в тракте инъекции. Характер этого возмущения показан на том же рисунке /А/, где приведено азимутальное распределение магнитного поля на $r = 18$ см при включении концентрической обмотки №14 в случае $I_W = 1020$ А. Видно, что величина возмущения составляет $-1,0$ Э, азимутальная протяженность $\sim 100^\circ$ с максимумом возмущения при $\alpha = 180^\circ$, что соответствует азимуту расположения центра тракта инъекции.

3/ Возрастание амплитуд гармоник в зоне радиусов /60-100/ см зависит от токоподводов и токовводов.

В качестве примера на этом же рисунке /В/ приведено азимутальное распределение магнитного поля дополнительной вариационной обмотки на $r = 83$ см. Величина возмущения составляет 0,5 Э, и зона его действия соответствует азимуту расположения ввода и его расстояния от средней плоскости. Т.к. фаза 1-й гармоники H_z - составляющей в зоне конечных радиусов модели $r = 100$ см остается постоянной, амплитуда может быть уменьшена за счет двух пар гармонических обмоток /1/.

На рис. 6 штриховой кривой показана зависимость H_{1z} после компенсации расчетным путем.

На рис. 7 приведены графики зависимости 1-й и 2-й гармоник горизонтальной составляющей поля. На этом же рисунке показано распределение возмущения H_r - составляющей, вызванного пермалловым экраном тракта

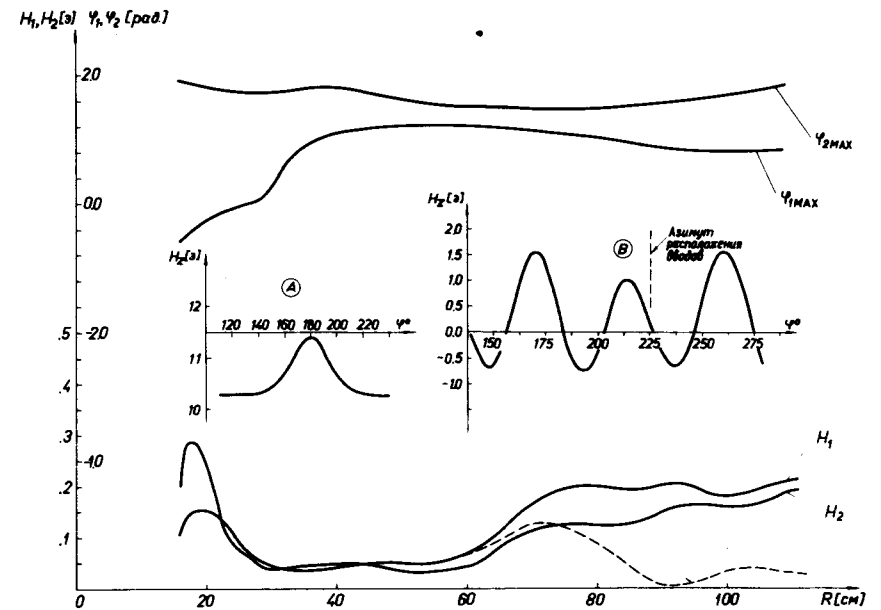


Рис. 6. Распределение низших гармоник H_z - составляющей в режиме расширения орбит.

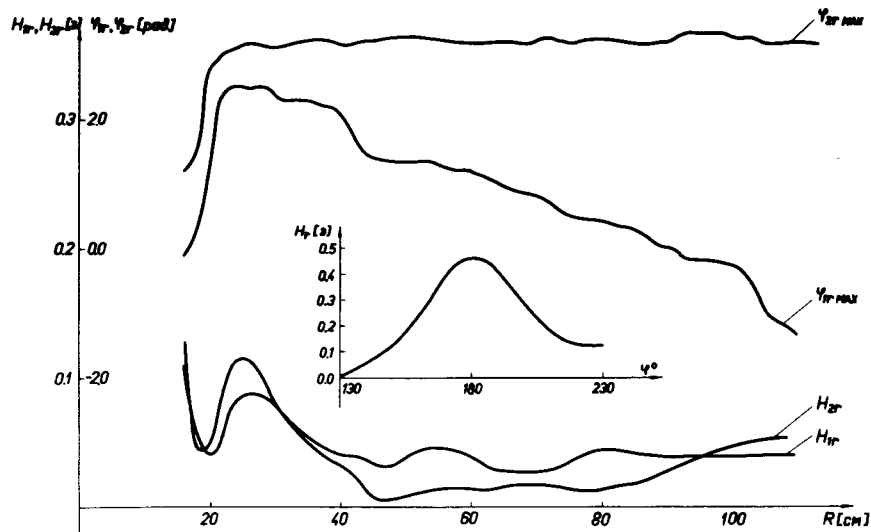


Рис. 7. Распределение низших гармоник H_n -составляющих.

инжекции для $r = 24$ см, максимум которого составляет 0,5 Э при величине намагничивающего поля 10 Э, создаваемого concentрической обмоткой № 14.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе изложен фактический материал, полученный из анализа сформированного магнитного поля ЭМКЦ для экспериментального исследования эффекта расширения замкнутых орбит в циклотроне с жесткой фокусировкой. В результате проведенных исследований показано:

1. Выбор геометрических размеров и токов вариационных и аксиально-симметричных обмоток ЭМКЦ на основании расчетов, выполненных в работе ^{1/}, обеспечивает получение требуемых зависимостей средней составляющей и основной гармоники поля в заданных допусках. Этот вывод также следует из проведенных исследований характеристик ускоренного пучка электронов на модели.

2. Среднее магнитное поле, вносимое дополнительной вариационной обмоткой, находится в пределах допуска. Это обеспечивает возможность глубокого регулирования характера зависимости основной гармоники магнитного поля на конечных радиусах при исследовании эффекта расширения замкнутых орбит без выполнения трудоемких операций по подстройке среднего магнитного поля.

3. Компенсация низших гармоник в структуре магнитного поля модели может быть осуществлена с помощью дополнительных обмоток, размещенных вне вакуумной камеры.

Литература

1. Н.Л. Заплатин, Е.В. Самсонов. Сообщение ОИЯИ, Р9-8257, Дубна, 1974.
2. В.Н. Аносов, А.Т. Василенко, С.Б. Ворожцов и др. Электронная модель релятивистского циклотрона с жесткой фокусировкой. АЭ, 25, вып. 6, 539 /1968/.
3. Ю.Н. Денисов, А.Г. Комиссаров, П.Т. Шишлянников. Препринт ОИЯИ, 2883, Дубна, 1966.

Рукопись поступила в издательский отдел
6 сентября 1974 года.