

сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна

P1-90-247

И. В. Богуславский, А. И. Григорьев, Ю. Д. Зернин,  
А. И. Иваненко, К. С. Медведь, А. В. Пожарский,  
Ю. Р. Тер-Акопов

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ СПЕКТРОМЕТРА  
С ВЕРШИНЫМ ДЕТЕКТОРОМ

1990



В ОИЯИ совместно с ИФВЭ, НИИЯФ МГУ и ИФВЭ ТУ создана экспериментальная установка — магнитный спектрометр с вершинным детектором (СВД) — для исследования образования частиц с открытым очарованием при энергиях серпуховского ускорителя. Она состоит из прецизионного вершинного детектора, магнитного спектрометра с пропорциональными камерами и годоскопического  $\gamma$ -спектрометра<sup>1/1</sup>. Для магнитного спектрометра используется после соответствующей реконструкции магнит МС-7, в котором раньше монтировалась пузырьковая камера "Людмила"<sup>2/1</sup>. Реконструкция должна была обеспечить магнитное поле с  $H$  до 1,7 Тл и апертуру порядка 100x150 см<sup>2</sup> для размещения внутри магнита пропорциональных камер. При этом для ускорения реконструкции и уменьшения затрат предстояло обеспечить:

а) использование существующих систем электропитания и охлаждения магнита МС-7;

б) подключение к магниту одного генератора (магнит установки "Людмила" запитывался от двух генераторов);

в) организацию работ по реконструкции магнита МС-7 без транспортировки существующих узлов магнита на заводы.

Были проведены расчеты двумерного магнитного поля по программе POISSON<sup>3/1</sup>, которая решает уравнение Пуассона (Лапласа) для векторного (скалярного) потенциала методом последовательной точечной верхней релаксации, для различных вариантов реконструкции магнита. Рассматривались две технические возможности проведения реконструкции:

а) изготовление плоских катушек и увеличение вертикальных стоек магнитопровода;

б) изготовление катушек с отогнутыми лобовыми частями.

Результаты расчетов для этих вариантов реконструкции магнита МС-7 показаны на рис.1 и 2, соответственно. Видно, что в обоих случаях для получения более сильного и однородного магнитного поля следует закрыть металлической вставкой отверстие в верхней части магнитопровода, которое использовалось для монтажа установки "Людмила".

Более равномерное магнитное поле получается для катушек с отогнутыми лобовыми частями. Этот вариант и был выбран для проведения реконструкции. Проектные работы выполнены в НИИЭФА им.Д.В.Ефремова. Магнит получил название МС-7А. Его схема представлена на рис.3.

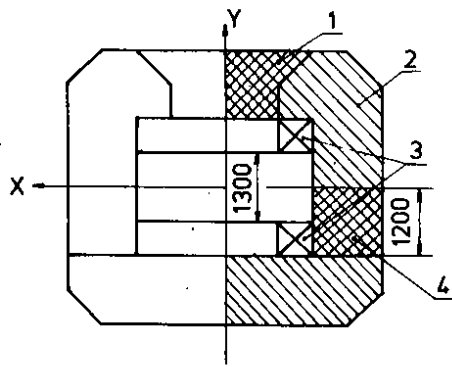


Рис.1. Изменение компоненты поля  $B_y$  вдоль оси  $X$  ( $Y = 0$ ). Сплошная линия — поле для варианта с металлической вставкой. 1 — металлическая вставка, 2 — магнитопровод магнита МС-7, 3 — плоские катушки обмотки, 4 — дополнительные вертикальные стойки магнитопровода.

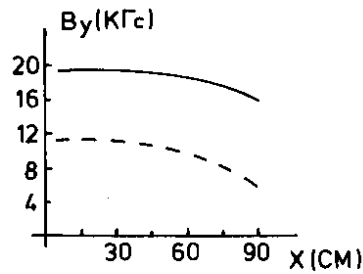


Рис.2. Изменение компоненты поля  $B_y$  вдоль оси  $X$  ( $Y = 0$ ). Сплошная линия — поле для варианта с металлической вставкой. 1 — металлическая вставка, 2 — магнитопровод магнита МС-7, 3 — катушки с отогнутыми лобовыми частями.

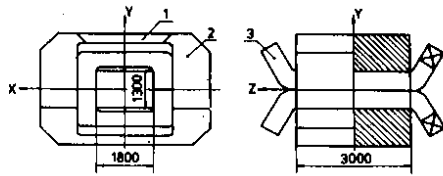
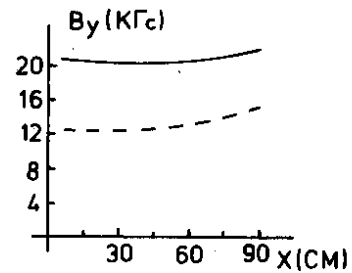
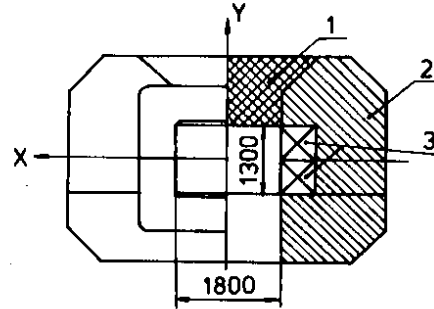
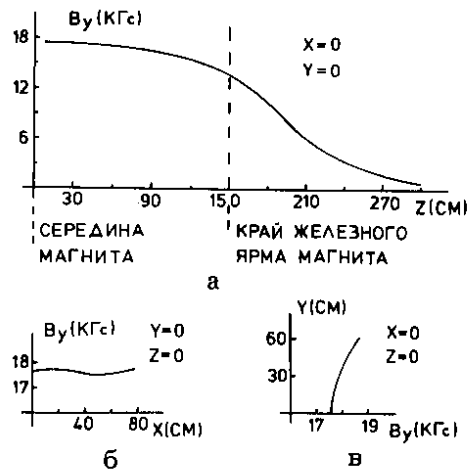


Рис.3. Схема магнита МС-7А. 1 — металлическая вставка, 2 — магнитопровод, 3 — катушки с отогнутыми лобовыми частями.

**Основные данные магнита МС-7А:**

- |  |             |
|--|-------------|
| 1. Расчетное значение максимальной индукции магнитного поля в центре рабочего зазора, Тл | 1,7         |
| 2. Величина рабочего зазора, см <sup>3</sup>   | 130x180x300 |
| 3. Максимальный ток возбуждения, А   | 6800        |
| 4. Число витков в обмотке  | 288         |
| 5. Количество катушек в обмотке  | 2           |

Рис.4. Расчетные значения магнитного поля магнита МС-7А при токе 6800 А. а) — изменение  $B_y$  вдоль оси Z ( $X = 0$ ,  $Y = 0$ ), б) — изменение  $B_y$  вдоль оси X ( $Y = 0$ ,  $Z = 0$ ), в) — изменение  $B_y$  вдоль оси Y ( $X = 0$ ,  $Z = 0$ ).



Проектные данные были применены для расчета трехмерного магнитного поля магнита МС-7А по программе GFUN3D<sup>4,5</sup>, использующей метод интегральных уравнений. Расчет примерно в двух тысячах точек внутри магнита и рассеянного поля вблизи магнита занял два часа счетного времени на ЭВМ CDC-6500. Характерное поведение компоненты  $H_y$  внутри магнита и на расстоянии до 1,5 м от края магнитопровода показано на рис.4. Результаты этих расчетов были использованы при моделировании работы установки СВД<sup>6</sup> и разработке аппаратуры для магнитных измерений.

Учет расчетных значений рассеянного магнитного поля позволил оптимально расположить вблизи магнита МС-7А различные узлы установки СВД — вершинный детектор, кремниевые детекторы, сцинтилляционные счетчики и т.п.

После завершения реконструкции магнита и пробных включений были проведены измерения топографии магнитного поля внутри магнита и рассеянного магнитного поля на расстоянии до 170 см от края магнита.

Измерения магнитного поля проводились с помощью магнитометра, в измерительной головке которого находились три датчика Холла, расположенных ортогонально по отношению друг к другу.

Механическое приспособление (рис.5) для прецизионного перемещения датчиков магнитного поля состоит из измерительной

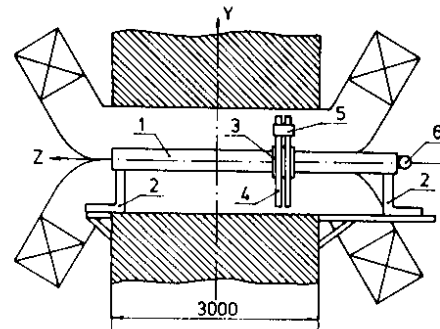


Рис.5. Схема координатного устройства для измерения магнитного поля. 1 — измерительная балка, 2 — поперечные штанги, 3 — подвижная каретка, 4 — направляющие, 5 — блок датчиков Холла, 6 — электродвигатель.

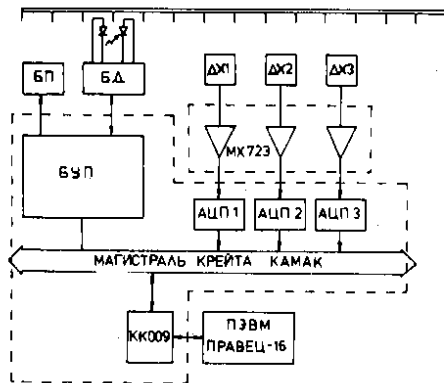


Рис.6. Блок-схема электроники управления перемещением датчиков Холла, съема и регистрации информации.

балки (1) длиной 5000 мм, двух поперечных штанг (2), подвижной каретки (3) с двумя направляющими (4), по которым перемещаются датчики Холла (5).

Измерения проводились в системе координат, в которой ось  $Y$  направлена вертикально и совпадает

с направлением максимальной составляющей магнитного поля, ось  $X$  направлена поперек магнита, ось  $Z$  — вдоль магнита и совпадает с направлением пучка частиц. Шаг перемещений составил: по  $Z$  — 40 мм, по осям  $X$  и  $Y$  — 50 мм. Перемещение по осям  $X$  и  $Y$  осуществлялось вручную. По оси  $Z$  каретка (3) перемещалась автоматически от реверсивного электродвигателя (6).

На рис.6 показана блок-схема электроники управления позиционированием по оси  $Z$ , съема информации с датчиков Холла и регистрации. Три датчика Холла, установленные на подвижной каретке, соединены с магнитометром Холла МХ723<sup>177</sup>. В крейте КАМАК установлены три 12-разрядных АЦП, блок управления позиционированием (БУП) и контроллер КК009, соединенный с ПЭВМ "Правец-16".

На измерительной балке установлена планка с прорезями через 40 мм для фиксации каретки с датчиками Холла при помощи фотодатчиков. Управляющие сигналы "старт-стоп" формируются в блоке датчиков (БД), а БУП вырабатывает сигналы для управления блоком перемещения каретки (БП). Время прохода измерительной каретки координатного устройства вдоль оси  $Z$  составляло ~6 мин.

Систематические измерения значений магнитного поля проводились как внутри самого магнита (в левой половине), так и вне его, на расстояниях до 170 см от края ярма магнита. Для того чтобы убедиться в симметричности поля относительно плоскости  $Z$ - $Y$ , нами также измерялось магнитное поле в некоторых характерных точках в правой половине магнита. Всего значения трех компонент магнитного поля были измерены в 32 тысячах точек.

Для решения первоочередных физических задач эксперимента оптимальным является магнитное поле величиной 1 Тл, поэтому магнитные измерения проводились при значении тока через обмотки магнита 4000 А.

Контроль стабильности тока питания магнита производился при помощи датчика ЯМР, установленного в объеме эффективной области магнита. Стабильность тока через магнит МС-7А за все время измерений была не хуже 0,01%.

Коэффициент усиления для усилителей напряжения с датчиком Холла подбирался для каждого из трех каналов таким образом, чтобы использовать все 12 разрядов АЦП и тем самым достичь необходимой точности регистрации измерений.

Для опроса АЦП и записи данных измерения использовалась программа MAGD, ранее применявшаяся при измерениях магнитного поля в спектрометре установки БИС. Получаемые данные записывались в виде отдельных файлов на твердый диск и сохранились для дальнейшей обработки и анализа.

Для учета возможной нелинейности нами проводилась градуировка всей измерительной цепочки в широком диапазоне значений магнитного поля. При этом датчики Холла размещались рядом с ЯМР-датчиком в центре магнита, в области наиболее однородного магнитного поля. Ток в магните поднимался от 600 до 4000 А, и при этом точные значения величин полей, измеренные ЯМР-датчиками, регистрировались одновременно с показаниями датчиков Холла. Данные измерений поля в восьми точках позволили описать градуировочную кривую в виде

$$V_i = U_i(K_i - a_i U_i),$$

где  $V_i$  — значение  $i$ -й компоненты магнитного поля,  $U_i$  — соответствующее значение напряжения, снятое с АЦП. Значения коэффициентов  $K$  и  $a$  приведены в таблице.

Таблица

	АЦП-1	АЦП-2	АЦП-3
К	3,73	25,4	5,08
а	0,0000720	0,000978	0,0000512

Выбранный вид градуировочной кривой с данными коэффициентами позволяет описывать измеренное поле с достаточной точностью, не хуже 0,05%, во всем интервале интересующих нас значений поля.

Данные о пересчитанных значениях магнитного поля в дальнейшем могут быть соответствующим образом отфитированы и занесены в программу геометрической реконструкции событий спектрометра установки СВД.

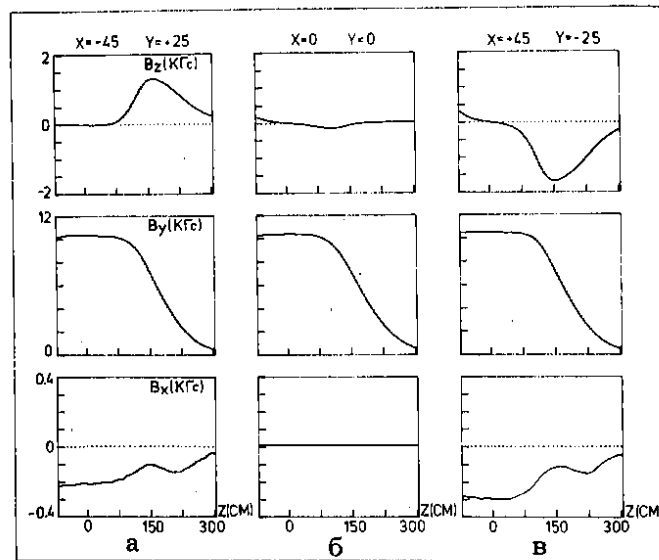


Рис.7. Изменение компонент  $B_z$ ,  $B_y$ ,  $B_x$  вдоль оси  $Z$ , при токе 4000 А. а)  $X = -45$  см,  $Y = +25$  см; б)  $X = 0$  см,  $Y = 0$  см; в)  $X = +45$  см,  $Y = -25$  см. Центр магнита —  $z = 0$  см, край ярма магнита —  $z = 150$  см.

При помощи простого программного обеспечения эти данные могут быть представлены в графическом виде для быстрого визуального анализа и сравнения значений поля в различных областях магнита. Так, на рис.7 показано поведение компонент поля вдоль оси  $Z$ : в центре магнита ( $X = 0$  см,  $Y = 0$  см), а также в точках расположенных симметрично относительно центра магнита ( $X = -45$  см,  $Y = +25$  см) и ( $X = +45$  см,  $Y = -25$  см). На рис.7 хорошо заметно небольшое плавное "выпирание" поля вблизи края ярма магнита. На рис.8 приведено распределение значений основной компоненты магнитного поля  $B_y$  в горизонтальной плоскости, проходящей через центр магнита.

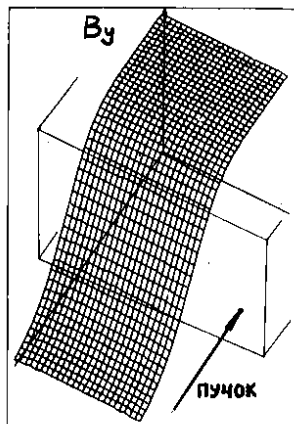


Рис.8. Распределение компоненты  $B_y$  магнитного поля в рабочем объеме спектрометра и на расстоянии до 170 см от края ярма магнита. (Прямоугольник показывает край рабочей области).



Кроме того, были проведены дополнительные измерения при помощи переносного датчика вблизи отдельных частей установки, влияние поля на которые может быть заметным. Так, в области механизма расширения БЦПК значение поля составило 136 эрстед, а вблизи фотоумножителей сцинтилляционных счетчиков регистрации частиц пучка это значение достигало 70 эрстед, что может повлиять на работу электромагнитных клапанов БЦПК и фотоумножителей и потребует дополнительной их экранировки.

Однородность поля внутри магнита может быть слегка искажена за счет конструктивных особенностей деталей магнитопровода, но эти искажения находятся вдали от границ эффективной области регистрации частиц и не могут оказать какого-либо влияния на точность восстановления регистрируемых событий.

Авторы благодарят сотрудников СНЭО и НЭОВК ЛВЭ за участие в подготовке и проведении магнитных измерений, а также сотрудников коллаборации БИС за предоставление программы для записи результатов измерений на ПЭВМ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Андришцин А.М. и др. — Препринт ИФВЭ № 84-3, Серпухов, 1984.
2. Бетко Ю. и др. — Препринт ОИЯИ 1-6769, Дубна, 1972.
3. Ворожцов С.Б. и др. — Препринт ОИЯИ Б1-11-12070, Дубна, 1978.
4. Simkin J. et al. — Rutherford Laboratorz report, RL-76-029, 1976.
5. Борисовская Э.В. и др. — Препринт ОИЯИ 9-81-304, Дубна, 1981.
6. Богуславский И.В., Тахтамышев Г.Г. — Препринт ОИЯИ, P1-89-219, Дубна, 1989.
7. Иваненко А.И., Шпиринг К. — ПТЭ, 1987, № 3, с.203.

Рукопись поступила в издательский отдел  
4 апреля 1990 года.

**ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ  
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ**

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

Богуславский И.В. и др.

P1-90-247

Магнитное поле спектрометра с вершинным детектором

Приведены результаты расчетов магнитного поля в реконструированном магните установки, описана аппаратура и методика измерения поля. Приведены результаты измерений магнитного поля как в рабочем объеме спектрометра, так и рассеянного поля на расстоянии до 170 см от края ярма магнита.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1990

Перевод авторов

Boguslavsky I.V. et al.

P1-90-247

Magnetic Field of the Spectrometer with a Vertex Detector

Results of calculations of the magnetic field in the reconstructed magnet of the setup are presented. The apparatus and methods of measuring the field are described. Results of measurements of the magnetic field in the effective volume of the spectrometer and of the scattered field at a distance of up to 170 cm from the edge of the magnet yoke are presented.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1990

Редактор М.И.Зарубина. Макет Т.Е.Попеко.  
Набор Л.В.Пахомовой.

Подписано в печать 4.06.90.

Формат 60x90/16. Офсетная печать. Уч.-изд.листов 0,83.

Тираж 480. Заказ 43576.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.  
Дубна Московской области.