

Магнитные измерения поля спектрометра установки ЭКСЧАРМ

Ю.К. Потребенников, А.И. Зинченко, А.Ш. Мествиришвили,
В.К. Маковеев, С.И. Кукарников, А.Н. Алеев, В.П. Баландин,
А.А. Бордюков, И.Г. Косарев, Н.А. Кузьмин, Н.Ф. Фурманец, И.П. Юдин
Объединенный институт ядерных исследований, ЛСВЭ, Дубна, Россия

Установка ЭКСЧАРМ (рис. 1) используется для изучения характеристик рождения и распада очарованных частиц и поиска экзотических адронов [1] и расположена в нейтронном канале 5Н ускорителя У-70 (ИФВЭ, г.Протвино). Электромагнит спектрометра имеет внешние размеры $4,485 \times 3,196 \times 3,058 \text{ м}^3$ и апертуру $2,740 \times 0,489 \text{ м}^2$.

Измерение магнитного поля осуществлялось трехкомпонентным холловским магнитометром в автоматизированном режиме на связи с персональным компьютером. Рабочая область измерений составила $2,40 \times 0,32 \times 3,78 \text{ м}^3$. В докладе дается описание измерительной аппаратуры и процедуры измерений. Приведены результаты измерений, дается оценка их точности.

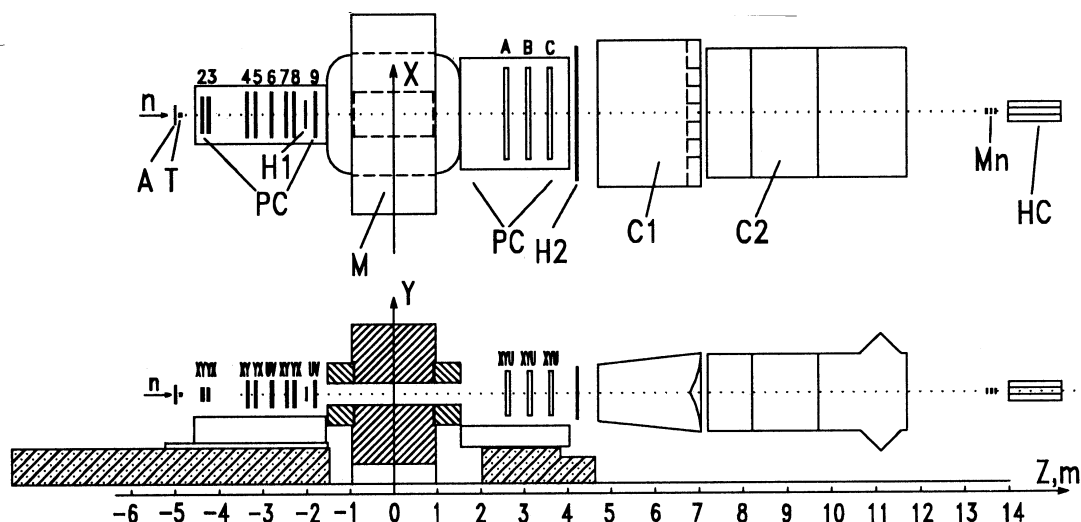


Рис. 1: Схема расположения детекторов спектрометра ЭКСЧАРМ. М — спектрометрический магнит СП-40А; PC — пропорциональные камеры; Н1,2 — сцинтилляционные годоскопы; С1,2 — пороговые черенковские счетчики; НС — адронный калориметр; А — антисчетчик; Т — мишень; Mn — нейтронный монитор.

I. Блок-схема измерительного комплекса

Измерение магнитного поля осуществлялось трехканальным холловским магнитометром (МЗХ) [2] в автоматизированном режиме на связи с персональным компьютером (ПК). Блок-схема измерения магнитного поля установки ЭКСЧАРМ представлена на рис.2. Центр спектрометрического магнита СП-40а принимается за начало "правой" декартовой системы координат (XYZ) спектрометра. Уточним, что плоскость $y=0$ расположена на 2,5 мм выше медианной плоскости магнита. Магнитоме-

трическая аппаратура позволяла одновременно измерять все три проекции в выбранной системе координат (XYZ) вектора магнитного поля в заданной точке с помощью трех независимых измерительных каналов.

Основная измерительная аппаратура располагалась непосредственно возле магнита в экспериментальной зоне канала 5Н. Пробники с датчиками Холла (ДХ) размещались в специальной головке, и пятиметровым кабелем соединялись со входом аппаратуры. Выход измерительной аппаратуры соединялся пятнадцатиметровым кабелем с ПК, расположенным вне экспериментальной зоны в специальном домике. Данные о магнитном поле обрабатывались и записывались на магнитном диске ПК. Магнитометр позволял измерять магнитные поля в диапазоне от 0 до 2 Тл (в трех поддиапазонах) с максимально возможной чувствительностью не хуже 0,13 Гс. Точность измерения магнитного поля была не менее $\pm 0,02\%$ от максимума поддиапазона. Данные о токе питания магнита фиксировались на центральном пульте с последующей записью в рабочем журнале измерений. Стабильность тока питания магнита во время магнитных измерений была не хуже 0,01 %.

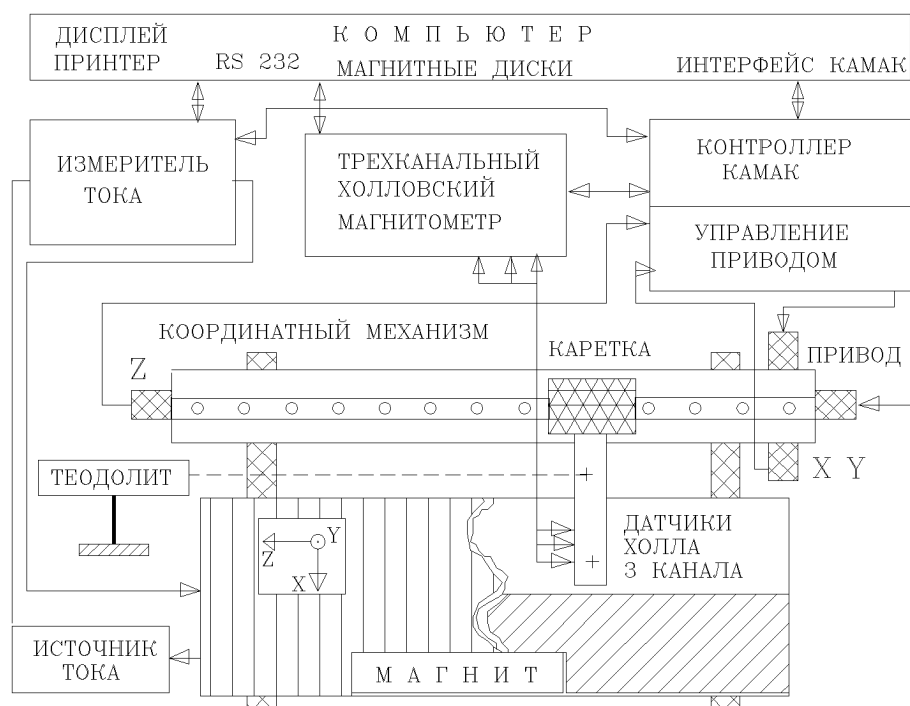


Рис.2. Блок-схема измерения поля магнита ЭКСЧАРМ

Координатный механизм

Перемещение головки с тремя пробниками осуществлялось с помощью специального координатного механизма (рис.3). На четырех стационарных опорах вне магнита закреплялись две двутавровые дюралюминиевые балки длиной по 3,5 м, которые могли перемещаться по высоте (Y) на 480 мм. На верхней обработанной поверхности этих балок закреплялась двутавровая дюралюминиевая балка длиной 4,3 м, которая

могла перемещаться поперек магнита (X) на 2400 мм. По верхней обработанной поверхности этой балки вдоль магнита (Z) каталась каретка с закрепленными на ней датчиками. Перфорированная лента из нержавеющей стали обеспечивала перемещение каретки в диапазоне 3780 мм с точностью не хуже 0,1 мм. Конструкция каретки позволяла закреплять головку с ДХ в двух крайних положениях, что обеспечивало максимальное приближение (до 5 мм) датчиков к полюсам магнита.

Юстировка координатного механизма и его привязка к реперным осям измеряемого магнита осуществлялась с помощью прецизионной геодезической аппаратуры (теодолит, уровень, угломер). Точность привязки координатного механизма к осям магнита составила 0,2 мм. Отклонение от линейности при перемещении каретки вдоль оси Z на длине 3780 мм составило ± 1 мм. Пробники с ДХ закреплялись в головке так, что $X_1 = X_2 = X_3$, $Y_1 = Y_2 = Y_3$, $Z_1 = Z_2 - 10$ мм = $Z_3 - 20$ мм.

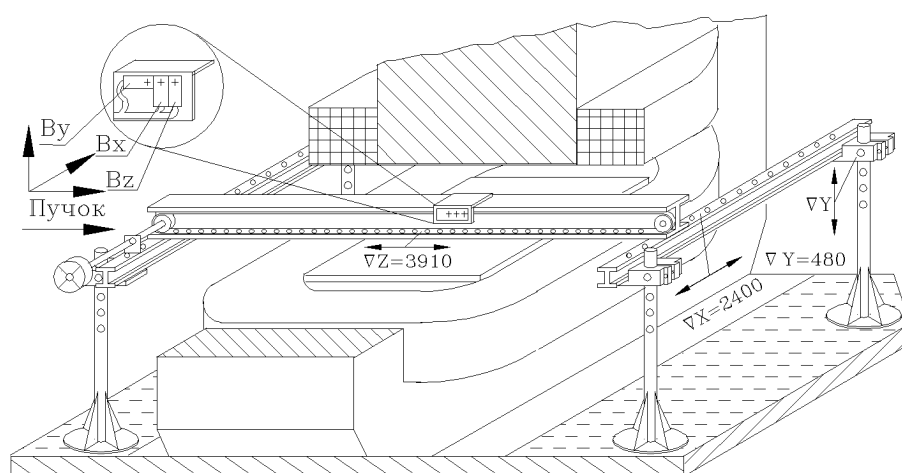


Рис.3. Координатная система для измерения поля магнита ЭКСЧАРМ

Результаты измерения магнитного поля спектрометра

Процесс измерения магнитного поля включал в себя следующие основные этапы:

1. Проверка стабильности магнитного поля электромагнита при номинальном режиме. Для этого проводилось многократное измерение магнитного поля в одной заданной точке. Статистика, основанная на 50 измерениях, позволила вычислить среднеквадратическую ошибку. Эта ошибка составила не более 0,02 % (от максимума поддиапазона).
2. Измерение подробной карты вектора магнитного поля (60000 точек) при номинальном режиме в девяти плоскостях по высоте магнита. На рис.4 а; б; в приведены соответственно компоненты B_y , B_x и B_z измеренного магнитного поля.

Измерение B_x и B_z на фоне существенно большей компоненты B_y могло привести к серьезным ошибкам при непараллельности чувствительной плоскости ДХ основной компоненте (B_y) при измерении этих компонент (B_x , B_z). Для учета этой ошибки пробники с ДХ тестировались в поле 1,67 Тл калибровочного магнита с однородностью не хуже 0,001 при установке базовой плоскости пробника

параллельно вектору поля \mathbf{B} . Затем пробники закреплялись в головке и проверка повторялась для всей сборки в целом. Тест показал, что вклад основной компоненты (1,6 Тл) при расположении ДХ параллельно этой компоненте составил 2 – 3 Гс. Окончательная коррекция результатов при измерении поперечных компонент B_x и B_z проводилась при установке каретки в максимально однородной части магнитного поля, т.е. где $B_x = B_z = 0$, а $B_y = B_{max}$. Это позволило при анализе результатов учитывать возможные ошибки при измерении поперечных компонент из-за неточности сборки и перемещения механизма в целом.

3. Определение повторяемости вектора магнитного поля при многократной переполюсовке тока питания электромагнита. Она составила 0,1 %.
4. Измерение карты вектора магнитного поля при изменении знака тока питания электромагнита в семи плоскостях по высоте магнита. При переполюсовке использовался режим размагничивания магнита. Значение магнитного поля при измененном знаке тока питания электромагнита отличалось от значения магнитного поля при номинальном режиме на 0,3 %. Для устранения этой ошибки (до 0,025 %) измерена подробная карта магнитного поля после переполюсовки тока.
5. Для мониторинга магнитного поля в процессе эксперимента в зазоре магнита стационарно установлен ДХ. Проведена калибровка этого датчика в процессе магнитных измерений при основных режимах.

Заключение

Основные параметры измерительного комплекса:

1. Количество независимых измерительных каналов — 3.
2. Диапазон измеряемых магнитных полей — $0 \div 2$ Тл.
3. Точность измерения магнитного поля — $\pm 0,02$ %.
4. Рабочий диапазон перемещения датчиков:
вдоль оси X — 2400 мм, $-1150 \text{ мм} \leq X \leq +1250 \text{ мм}$, с шагом 50 мм,
вдоль оси Y — 320 мм, $-120 \text{ мм} \leq Y \leq +200 \text{ мм}$, с шагом 40 мм.
вдоль оси Z — 3780 мм, $-1720 \text{ мм} \leq Z \leq +2060 \text{ мм}$, с шагом 20 мм,
5. Точность установки датчиков по осям X, Y, Z — 0,1 мм.

Авторы благодарны В.Д. Кекелидзе и В.Д. Калагину за постоянное внимание к данной работе и всестороннюю поддержку проекта. Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований, гранты 96-02-18734 и 95-01-00737.

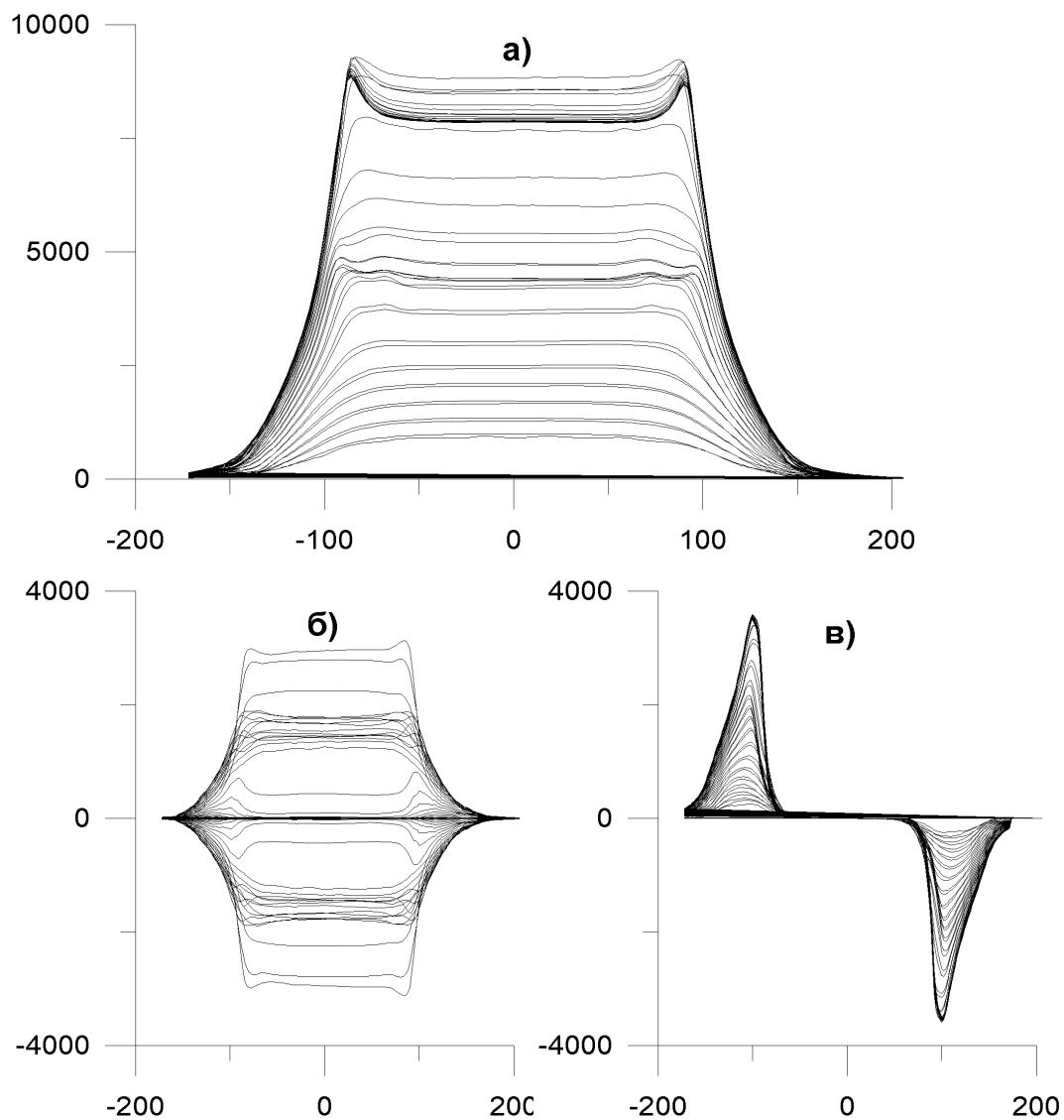


Рис. 4: Компоненты магнитного поля: а) – B_y , б) – B_x , в) – B_z [Гс] вдоль оси z [см] при различных x с шагом $h_x = 5$ см в плоскости $y = 20$ см.

Список литературы

- [1] А.Н.Алеев и др. Наблюдение очарованного бариона Σ_c^0 в эксперименте ЭКСЧАРМ. Краткие сообщения ОИЯИ N3 [77]–96, с.31–46.
- [2] V.K.Makoveev. Hall Three-Channel Magnetometer (НЗМ). Proceedings of the 9th International Magnet Measurement Workshop IMMW–9, (June 19–22, 1995, Saclay, France), vol.2, Saclay, 1995.