

сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
Дубна

7

2370/2-80

2/6-80

13-80-77

В.Б.Виноградов, А.Г.Володько, А.А.Кукушкин,
Ю.В.Куликов, А.С.Курилин, А.В.Карпунин,
Ю.Ф.Ломакин, А.Г.Мурызин, Г.П.Николáевский,
В.Г.Одинцов, Н.А.Русакович, Ю.Н.Харжеев,
М.И.Яцута

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТА ИК-3-4

1980

ВВЕДЕНИЕ

В данной работе приведены результаты измерения напряженности магнитного поля электромагнита ИК-3-4. Эти измерения были предприняты в связи с планируемой постановкой в электромагнит 180-сантиметровой стримерной камеры.

Имевшиеся измерения магнитного поля ^{1,2/} электромагнита ИК-3-4, выполненные для исследований с помощью метровой пропановой пузырьковой камеры, не соответствовали планируемым экспериментам, поскольку ранее электромагнит имел меньший зазор между катушками, а объем и точность этих измерений были недостаточны.

Карта магнитного поля будет использована в программе геометрической реконструкции событий при определении импульсов заряженных частиц ^{3,4/}. Для 180-сантиметровой стримерной камеры импульсы заряженных частиц могут быть определены с относительной точностью 0,5-2%. Отсюда требования к относительной и абсолютной точности магнитных измерений $\Delta H/H < 0,2\%$ и $\Delta H \leq 15$ Гс, соответственно.

ЭЛЕКТРОМАГНИТ ИК-3-4

Схематический вид электромагнита ИК-3-4 представлен на *рис. 1* и *2*. С целью постановки стримерной камеры зазор между катушками электромагнита был увеличен с 200 до 400 мм с помощью железных вставок между стойками и верхней балкой электромагнита. Нижний полюс имеет размеры 1610x870 мм, верхний отсутствует, длина магнита 3220 мм, ток питания - 13200 А. На *рис. 2б, в* показана связанная с магнитом система координат, в которой в дальнейшем будут представлены результаты измерений.

АППАРАТУРА

Для измерения напряженности магнитного поля использовался преобразователь Холла типа Х215 с чувствительностью 9 мкВ/Гс. Этот преобразователь был термостатирован с точностью $\pm 0,1^\circ$, прокалиброван с помощью ядерного магнитометра и питался током от источника, имеющего относительную стабилизацию не хуже $\pm 10^{-4}$. Точность измерения напряженности магнитного поля составляла $\pm 0,1\%$.

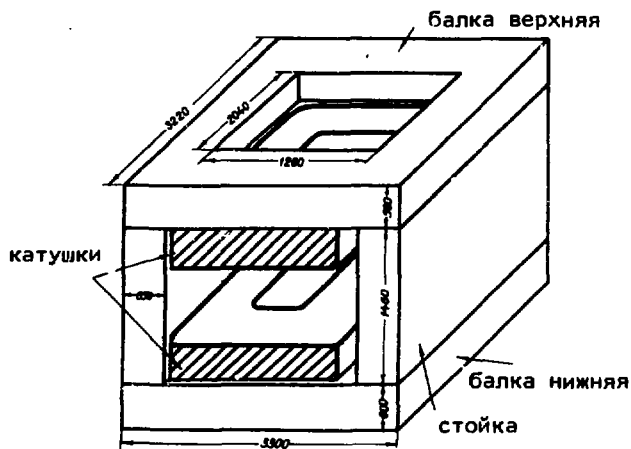


Рис. 1. Схематический вид электромагнита ИК-3-4.

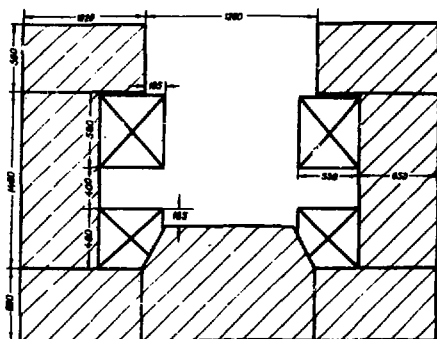
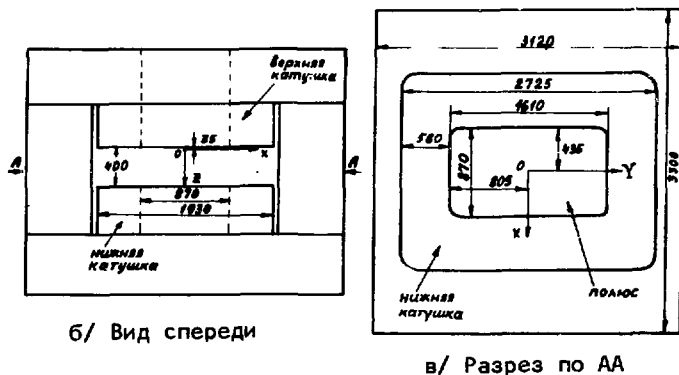


Рис. 2. Разрезы электромагнита. Привязка системы

а/ Разрез электромагнита



б/ Вид спереди

в/ Разрез по АА

Преобразователь Холла устанавливался на каретке, которая с помощью электромотора двигалась вдоль рамы, расположенной параллельно оси Y. Рама была изготовлена из дюралюминия и имела габаритные размеры 500x80x15 см. Положение преобразователя Холла относительно системы координат, заданной реперными метками на полюсе, было известно с точностью не хуже ± 2 мм. Измерения различных компонент напряженности магнитного поля производились путем установки преобразователя Холла в трех взаимно перпендикулярных положениях. Измерения производились при движении каретки в прямом и обратном направлениях, так что для каждой точки были выполнены два измерения. Границы движения каретки определялись концевыми датчиками, установленными на раме.

Вдоль одной из продольных балок рамы натянута латунная лента с прорезями шириной 0,5 мм, расположенными через 10 мм. С одной стороны этой ленты движется коллимированный источник света, с другой - фотодатчик. Они закреплены на каретке. Сигнал с фотодатчика, служащий меткой продольной координаты, поступал на блок запуска цифрового вольтметра, который измерял ЭДС преобразователя Холла. Эта информация через интерфейсный блок поступала на ЭВМ БЭСМ-3М, находящуюся на линии с аппаратурой, и записывалась на магнитную ленту.

ИЗМЕРЕНИЯ

Измерения были выполнены в объеме $470 \times 68 \times 33$ см³/длина \times ширина \times высота/. В области расположения стримерной камеры -90 см $\leq Y \leq +90$ см/ они выполнены с шагом $\Delta X = 4$ см, $\Delta Y = 2$ см, $\Delta Z = 3$ см. В остальных частях этого объема - с $\Delta X = 10$ см, $\Delta Y = 6-9$ см, $\Delta Z = 4-12$ см. В целом измерения H_x , H_y , H_z выполнены в 22000 точек. Записанные на магнитной ленте ЭВМ БЭСМ-3М, показания ЭДС Холла U /мкВ/ были переписаны на магнитную ленту ЭВМ CDC 1604А, перекодированы и переведены в напряженности магнитного поля H /Гс/ по формуле

$$B = \sum_{k=0}^5 a_k U^k . \quad /1/$$

Коэффициенты полинома a_k определены методом наименьших квадратов при аппроксимации табличных значений калибровочной кривой /52 точки/ по формуле /1/. Среднеквадратичный разброс точек относительно аппроксимирующей функции /1/ составлял ± 4 Гс.

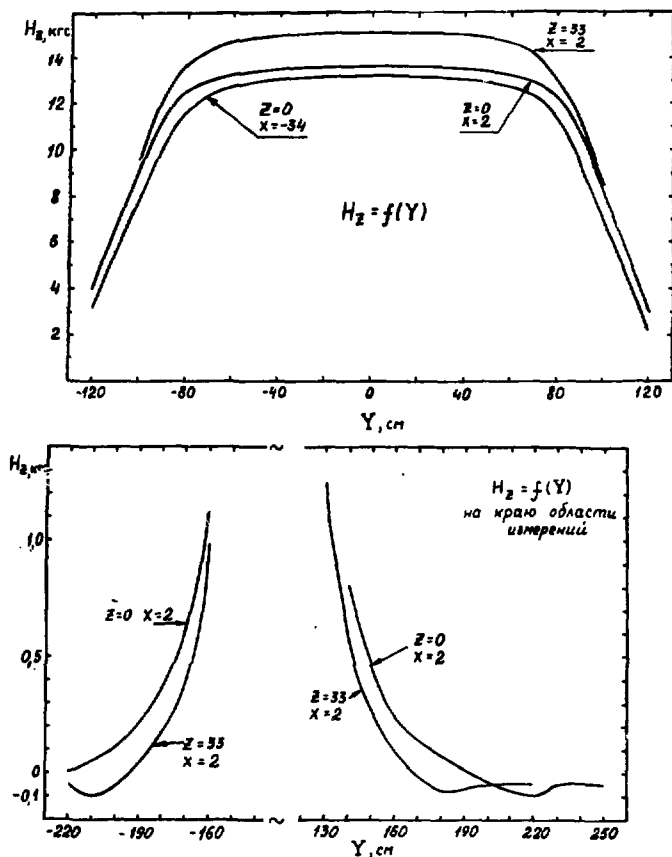


Рис. 3. Зависимости $H_z = f(Y)$.

КАРТА МАГНИТНОГО ПОЛЯ

На рис. 3 представлены зависимости $H_z = f(Y)$ для различных X, Z линий. Эти зависимости характеризуются следующим: плато в интервале $/-60, +60/$ см, резким падением от 12 до 2 кгс в интервалах $/+80, +120/$ см и $/-80, -120/$ см, изменением полярности в интервалах $/170, 190/$ см и $/-190, -220/$ см. Далее поле держится на уровне 50 Гс. В области плато характерные величины: $\partial H_z / \partial Y = 5$ Гс/см, $\partial^2 H_z / \partial Y^2 = 0,25$ Гс/см².

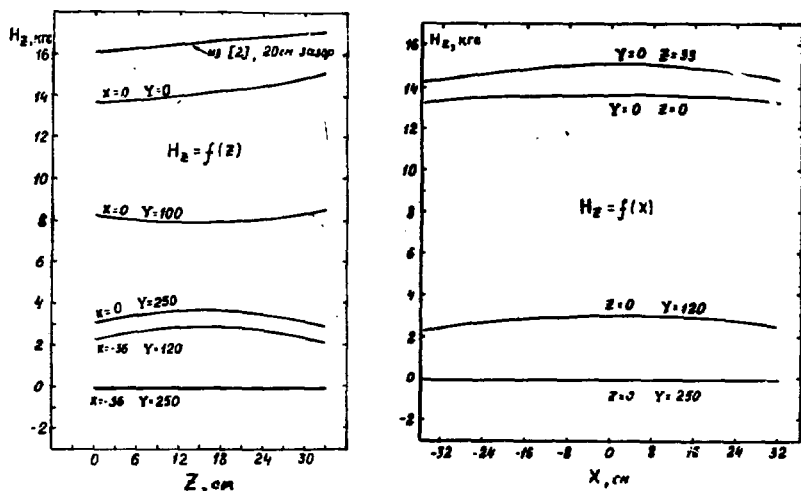


Рис. 4. Зависимости $H_z = f(X)$ и $H_z = f(Z)$.

Кривые $H_z = f(Z)$ при различных X и Y показаны на рис. 4. В центральной области ($X=0, Y=0$) эта зависимость - монотонно растущая, и характеризуется максимальными $\partial H_z / \partial Z = 85$ Гс/см и $\partial^2 H_z / \partial Z^2 = 7$ Гс/см². Верхняя кривая - аппроксимация измерений магнитного поля данного магнита с 20-сантиметровым зазором из работы [2]. В результате увеличения зазора между катушками с 20 до 40 см поле в точке $X=0, Y=0, Z=0$ упало с 16,1 до 13,7 кГс, т.е. на 15%.

Зависимости $H_x = f(X, Y, Z)$ показаны на рис. 5. В центральной области магнита компоненты напряженности H_x не превышают 500 Гс и возрастают на краю области измерения при $X = +34$ см до 2,5 кГс.

Зависимости $H_y = f(X, Y, Z)$ изображены на рис. 6. Компонента не превышает 500 Гс в центральной области магнита и резко возрастает до 3 кГс под катушками.

В программе геометрической реконструкции событий магнитное поле может быть задано или в виде таблицы, или в виде полиномов. В случае табличного представления промежуточные значения напряженности магнитного поля будут определяться методом линейной интерполяции. Это равносильно тому, что при разложении в ряд напряженности поля $H = f(X, Y, Z)$, например, по координате X

$$H(X, Y, Z) = H(X_0, Y_0, Z_0) + \frac{\partial H}{\partial X}(X - X_0) + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 H}{\partial X^2}(X - X_0)^2 + \dots \quad /2/$$

пренебрегаем квадратичным и следующим членами. Вклад этих

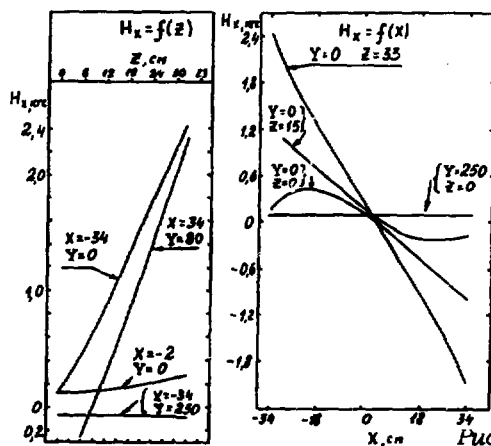
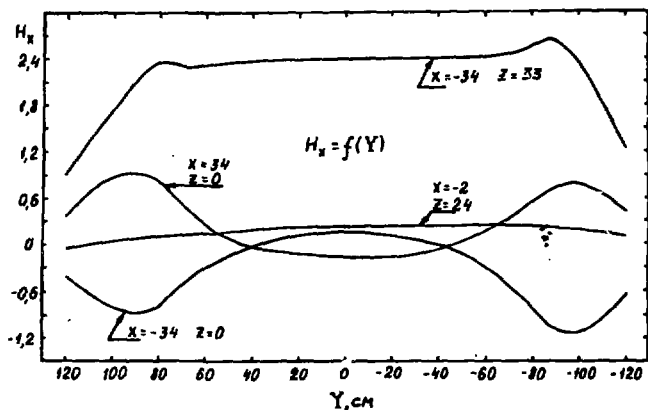


Рис. 5. Зависимости $H_x = f(X, Y, Z)$.

членов должен быть меньше заданной точности ΔH , т.е. в случае квадратичного члена:

$$\frac{1}{2} \frac{\partial^2 H}{\partial X^2} \left(\frac{\Delta X}{2}\right)^2 < \Delta H = 15 \text{ Гс.} \quad /3/$$

Отсюда вытекает условие на размер ячейки карты поля:

$$\Delta X < 2 \sqrt{30 / \partial^2 H / \partial X^2}. \quad /4/$$

Аналогично /4/ - оценки ячеек по ΔY и ΔZ .

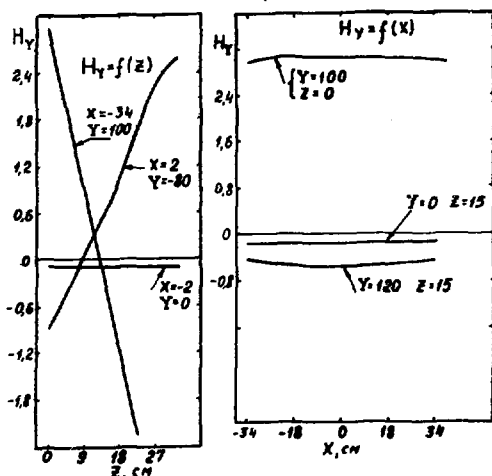
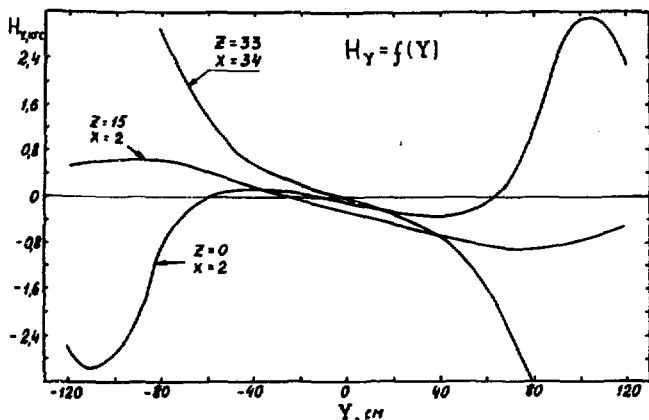


Рис. 6. Зависимости $H_Y = f(X, Y, Z)$.

Точности δX , δY , δZ , с которыми необходимо знать координаты узловых точек карты поля, можно оценить в линейном приближении:

$$\delta X < \Delta H / \partial H / \partial X.$$

15/

Анализ первых и вторых производных от компонент напряженности магнитного поля по координатам и оценка размеров ячеек линейности по формуле /4/ показали, что в области расположения стримерной камеры карта магнитного поля может быть представле-

на в виде трехмерной таблицы с размером ячейки $\Delta X = 5$ см, $\Delta Y = 20$ см, $\Delta Z = 4$ см. При этом неопределенность в знании положения узловых точек может составлять 2-3 мм.

Авторы благодарны дирекции ЛВЭ за содействие в проведении измерений и предоставление необходимой аппаратуры, Ю.А.Будагову, В.Б.Флягину, Э.М.Матевосяну, Т.Н.Шапошниковой и В.Г.Яцюку - за помощь в работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богомолов А.В. и др. ПТЭ, 1964, 1, с.61.
2. Буздавина Н.А. и др. ОИЯИ, 2/95, Дубна, 1965.
3. Буздавина Н.А. и др. ОИЯИ, Д10-8425, Дубна, 1974.
4. Абдурахимов А.У. и др. ОИЯИ, 10-10988, Дубна, 1977.