

СЗУSeY
E-155

2219/2-76

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



14/61-76

9 - 9545

А.К.Евдокимов, В.Б.Злоказов, С.И.Козлов,
Б.А.Кленин, А.М.Сухов, С.Г.Фефилова, И.А.Шелаев

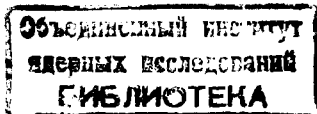
ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ
МАГНИТНОГО ПОЛЯ ИЗОХРОННОГО ЦИКЛОТРОНА

1976

9 - 9545

А.К.Евдокимов, В.Б.Злоказов, С.И.Козлов,
Б.А.Кленин, А.М.Сухов, С.Г.Фефилова, И.А.Шелаев

ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ
МАГНИТНОГО ПОЛЯ ИЗОХРОННОГО ЦИКЛОТРОНА



**Аппаратура для измерения
магнитного поля**

Для формирования магнитного поля изохронных циклотронов необходим большой объем магнитных измерений.

Для определения параметров орбит требуется знать с высокой точностью / 10^{-5} / значение магнитного поля в очень большом числе точек / 10^4 / медианной плоскости. В этой связи чрезвычайно актуальна задача создания быстродействующей и точной методики измерений, включающей в себя экспрессную обработку полученных результатов.

В Лаборатории ядерных реакций в 1972 году была изготовлена специальная аппаратура для магнитных измерений, использующая основные принципы, изложенные в работе^{4/} /см. рис. 1/.

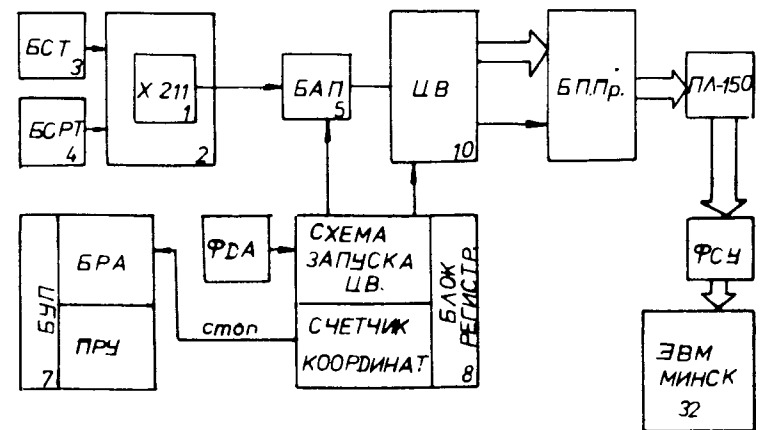


Рис. 1. Блок-схема установки.

Так же, как и в работе /4/, топография магнитного поля снимается датчиком Холла /1/ типа Х.211 с чувствительностью 10 мкВ/Э и рабочим током 115 мА .

Датчик Холла помещен в термотат /2/, температура в котором поддерживается электронным блоком /3/ постоянной, с точностью $\pm 0,10^\circ \text{С}$. Стабилизация рабочего тока датчика Холла осуществляется блоком стабилизации /4/ с точностью $\pm 5 \cdot 10^{-6} \text{А}$. ЭДС Холла измеряется пятизначным цифровым вольтметром LM1440.3(Solatron), на входе которого включено устройство для запоминания аналогового сигнала /5/. Последнее позволяет избежать погрешности, связанные с неопределенностью момента срабатывания цифрового вольтметра и существенно улучшить точность измерения. Показания цифрового вольтметра поступают в блок промежуточного преобразования информации /6/ и накапливаются на восьмидорожечной перфоленте.

Обработка полученной информации ведется на ЭВМ Минск-32.

Применение корректирующего кода Хемминга /5,6/ позволило своевременно выявлять и устранять одиночные, а также блокировать двойные аппаратные ошибки в тракте информации в ЭВМ.

Существенно изменены схемы управления движением /7/ и регистрации положения датчика Холла /8/.

В блок управления перемещением /7/, кроме релейной автоматики, введен пульт ручного управления, с которого можно осуществлять пуск и остановку механизмов перемещения, менять направление перемещения, задавать необходимое число точек измерения. Контроль за положением датчика Холла осуществляется фотоэлектрическим датчиком угла поворота измерительной штанги /9/.

Датчик состоит из источника света и двух фотодиодов ФД-1 /основного и дублирующего/. Источник света и фотодиоды закреплены на измерительной штанге /4/. По периметру полюса магнита закреплена проградуированная металлическая лента с вертикальными щелями. Ширина щелей 6 мм . Расстояние между щелями /36, $16 \pm 0,05 \text{ мм}$ / соответствует азимутальному углу $1,875^\circ$.

Число щелей определяет максимальное число точек измерения /192/. Лента размещена таким образом, что всегда находится между источником света и фотодиодами. При движении штанги в момент совпадения щели на ленте с прорезью в световом экране фотодиодов в цепи питания последних возникает электрический импульс. Длительность импульса определяется шириной щели. Крутизна фронтов $V/\text{мм}$, определяющая точность измерения положения датчика Холла, зависит от размеров окна в экране фотодиода. Для основного фотодиода размеры окна $h = 0,1 \text{ мм}$. Дублирующий фотодиод имеет широкое окно $h = 5 \text{ мм}$. Импульсы основного фотодиода используются для запуска цифрового вольтметра.

Дублирующий фотодиод имеет большую интегральную чувствительность, чем основной. Он надежно фиксирует сам факт прохождения мимо щели.

Запуск цифрового вольтметра разрешен только при одновременном появлении импульсов от обоих фотодиодов. Кроме того, если в момент появления импульса от дублирующего фотодиода по каким-либо причинам не сработает цифровой вольтметр, схема блокировки затормозит движение датчика Холла и выдаст сигнал ошибки.

Все это повышает надежность работы магнитометра и достоверность получаемой информации.

Число срабатываний цифрового вольтметра контролируется счетчиком координат. Счетчик координат связан с тумблерным регистром на пульте ручного управления. Перед началом измерения число, набранное на тумблерном регистре /равное числу точек измерения по азимуту/, заносится в обратном коде в счетчик координат. Импульс переполнения последнего прекращает перемещение датчика Холла по выбранному направлению.

Чтобы использовать оба направления перемещения по азимуту и исключить погрешность, связанную с конечной шириной щели на ленте, запуск цифрового вольтметра /10/ производится при движении по часовой стрелке передним, а при движении против часовой стрелки задним фронтом импульса основного фотодиода.

Максимальный угол поворота измерительной штанги ограничивается концевыми выключателями, снимающими напряжение питания с механизма перемещения.

*Измерение магнитного поля
и обработка результатов измерения*

Описанная аппаратура была использована во время коррекции магнитного поля изохронного циклотрона У-200.

Магнитное поле измерялось как по всему азимуту, так и на элементе периодичности циклотрона. Число точек измерения по всему азимуту составляло 192. Угловое расстояние между точками - 1,875 градусов. Поле измерялось от центра циклотрона ($R = 0$) до радиуса $R = 120$ см с шагом 2 см.

Результаты измерений /в виде ЭДС Холла/, отперфорированные на бумажной ленте, вводились в ЭВМ Минск-32 и обрабатывались. Схема обработки следующая:

- 1/ диагностика и исправление ошибок кодирования;
- 2/ вычисление магнитного поля в каждой точке измерения по формуле:

$$H(r_i, \theta) = \sum_{k=0}^m C_k E_x^k(r_i, \theta),$$

где C_k - коэффициенты полинома степени m , дающего наилучшее приближение калибровочной кривой датчика Холла. Коэффициенты определялись по методу наименьших квадратов. Число m не превышало 8. $E_x(r_i, \theta)$ - измеренная ЭДС Холла в точке r_i, θ ;

- 3/ вычисление амплитуд и фаз Фурье - разложения магнитного поля $H(r_i, \theta)$

$$H(r_i, \theta) = \bar{H}(r_i) + \sum_{n=1}^3 A_{Nn}(r_i) \cdot \cos Nn(\theta - \psi_{Nn}(r_i)),$$

где $\bar{H}(r_i)$, $A_{Nn}(r_i)$, $\psi_{Nn}(r_i)$ - среднее магнитное поле, амплитуды и фазы гармоник, соответственно.

На рис. 2 представлены зависимости амплитуды и фазы первой гармоники азимутальной неоднородности магнитного поля от радиуса для начальной установки элементов и после коррекции. Для обоих случаев на рис. 3 приведены последовательные смещения центра ускоряемых частиц /через 10 оборотов/, полученных

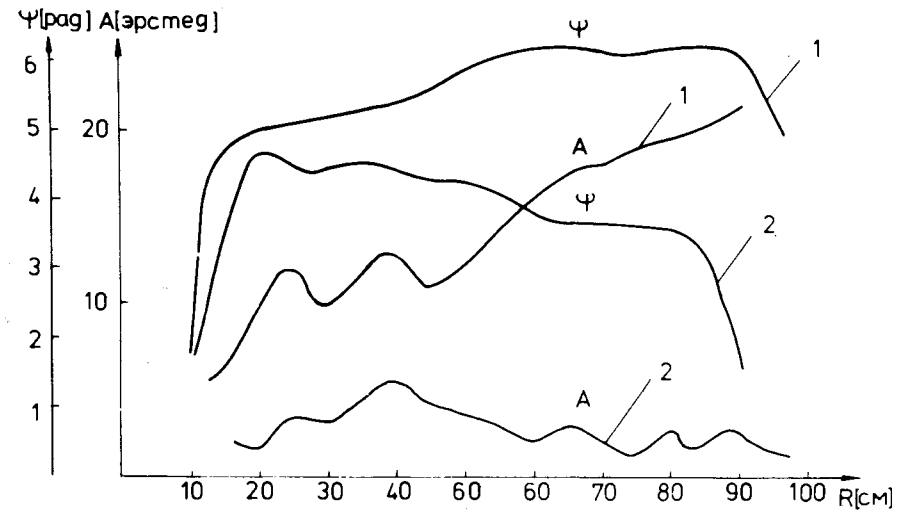


Рис. 2. Амплитуды A и фазы ψ первой гармоники магнитного поля в циклотроне У-200. 1 - до коррекции; 2 - после коррекции.

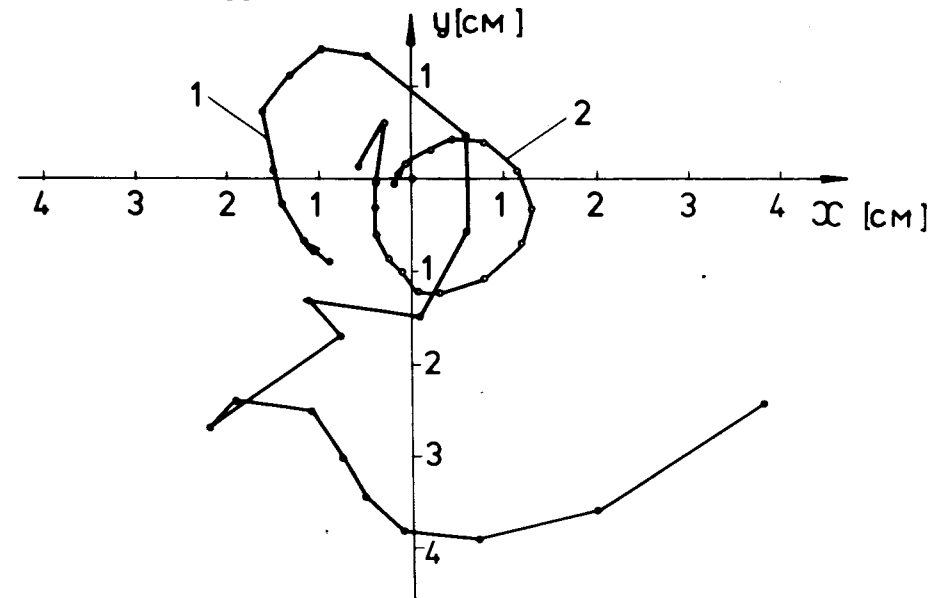


Рис. 3. Движение центра орбит ускоренных ионов He^{+1} относительно центра циклотрона. 1 - до коррекции 41 гармоника магнитного поля; 2 - после коррекции - " - " "расстояние" между точками - 10 оборотов.

численным интегрированием уравнений движения иона в измеренном магнитном поле с постоянным набором энергии за оборот. Этот метод позволяет определить как направление, так и величину полного смещения орбиты иона, а, значит, и его конечную энергию.

Таким образом, в результате выполненной работы была создана полуавтоматическая система измерения магнитного поля изохронного циклотрона, отличающаяся высокой скоростью измерения /1сек/точка/и повышенной надежностью.

Литература

1. И.А.Шелаев, С.И.Козлов, Р.Ц.Оганесян, Ю.Ц.Оганесян, В.А.Чугреев. Препринт ОИЯИ, 9-3988, Дубна, 1968.
2. И.А.Шелаев, С.И.Козлов, Р.Ц.Оганесян, С.Г.Фефилова. Препринт ОИЯИ, Р9-4233, Дубна, 1968.
3. И.А.Шелаев, А.И.Иваненко, С.И.Козлов, Р.Ц.Оганесян, В.А.Чугреев. ОИЯИ, Р9-5047, Дубна, 1970.
4. Э.Г.Имаев, С.И.Козлов, Р.Ц.Оганесян, С.Г.Фефилова, И.А.Шелаев, Л.П.Челноков. Препринт ОИЯИ, 9-3713, Дубна, 1968.
5. А.В.Михушкин, А.М.Сухов. Препринт ОИЯИ, 10-5816, Дубна, 1971.
6. А.М.Сидоров. "Методы контроля электронных цифровых машин". М., Советское радио, 1966.

*Рукопись поступила в издательский отдел
17 февраля 1976 года.*