

3/IV-68

И-50

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

9 - 3713



Э.Г.Имаев, С.И.Козлов, Р.Ц.Оганесян,
С.Г.Фефилова, И.А.Шелаев, Л.П.Челноков

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

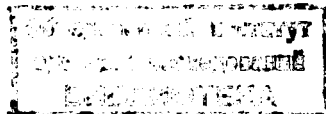
МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ
ДВУХМЕТРОВОГО ИЗОХРОННОГО ЦИКЛОТРОНА
ОИЯИ

1968

9 - 3713

Э.Г.Имаев, С.И.Козлов, Р.Ц.Оганесян,
С.Г.Фефилова, И.А.Шелаев, Л.П.Челноков

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ
ДВУХМЕТРОВОГО ИЗОХРОННОГО ЦИКЛОТРОНА
ОИЯИ



7833/2 нр.

В в е д е н и е

Создание нужной топографии магнитного поля секторно-фокусирующих циклотронов является сложной и трудоемкой задачей, так как для определения параметров пучка необходимо знать магнитное поле в очень большом ($\approx 10^3$ и более для одного уровня поля) числе точек медианной плоскости с высокой точностью ($\approx 10^{-4}$)/1,2/.

Жесткие допуски на величину среднего поля, амплитуды и фазы ряда гармоник приводят к тому, что единственным приемлемым методом шиммирования является метод последовательного приближения к нужному закону распределения магнитного поля путем многократного измерения характеристик поля и их последующей коррекции. Поэтому автоматизация процесса измерения, а также быстрая математическая обработка такого числа данных с применением электронно-вычислительных машин, приобретает важное значение/3/.

В данной работе описывается разработанная в Лаборатории полуавтоматическая методика измерения магнитного поля двухметрового изохронного циклотрона, которая позволяет проводить измерения с высокой точностью ($\approx 10^{-4}$) и высокой скоростью ($\approx 2,5$ сек. на точку).

Измерительная аппаратура

Измерение магнитного поля осуществляется Холл-датчиком типа Х211. Датчик размером $1 \times 1,5 \times 0,2 \text{ мм}^3$ изготовлен из арсенида индия (InAs). Через слюдяную подложку толщиной $0,05 \text{ мм}$ датчик приклеен к торцу латунного цилиндра, внутри которого протекает вода. Температура воды равна $29,5^\circ\text{C}$ и поддерживается постоянной с точностью $\pm 0,2^\circ\text{C}$ термостатом типа ТС-24. Эта температура устанавливается через 30 мин. после включения.

Датчик питается от стабилизатора тока (рис. 1), в который входят регулирующий элемент, схема сравнения и усилитель постоянного тока. Регулирующий элемент выполнен на транзисторах Т3 и Т4 (П16 и П4Д). Схема сравнения выполнена на основе дифференциального усилителя (транзисторы Т1 и Т2). Источником опорного напряжения служит стабилитрон СТ3 для получения собственно опорного напряжения и СТ4 - для термокомпенсации. Для питания источника анодного напряжения, а также дифференциального усилителя служит вспомогательный стабилизированный выпрямитель, выполненный по мостовой схеме ($\text{Д}_5 + \text{Д}_7$), и стабилитроны СТ1, СТ2. Выпрямитель стабилизатора тока собран на диодах $\text{Д}_1 + \text{Д}_4$. Рабочий ток датчика Холла равен $115,34 \text{ ма}$ и поддерживается постоянным с точностью $\pm 0,02 \text{ ма}$.

Напряжение, возникающее в цепи датчика из-за неэквипотенциальности подтая электродов, компенсируется при помощи балансного сопротивления, которое подбирается индивидуально для каждого датчика.

Измерение э.д.с. Холла производится пятизначным цифровым вольтметром типа LM1440.2 "Solatron" с максимальной чувствительностью 10 мкв и временем срабатывания $19 \pm 10 \text{ мсек}$. Чувствительность датчиков Холла типа Х211 составляет $\approx 10 \text{ мкв/э}$, что позволяет нам измерять поле в точке цифровым вольтметром с точностью $\pm 2 \text{ э}$ без применения усилителя ЭДС Холла. Градуировка датчиков производится по ядерному магнито-

метру. В измеряемом нами диапазоне полей ($12 \pm 24 \text{ кэ}$) магнитное поле H в зависимости от ЭДС Холла E_x с высокой точностью можно представить в виде

$$H = a + b E_x$$

Погрешность представления поля в таком виде дана на рис. 2.

Блок-схема измерительного устройства приведена на рис. 3, а на рис. 4 - общий вид измерительной штанги в рабочем положении. Измерительная штанга опирается в центре электромагнита на неподвижный латунный подшипник. На внешнем конце штанги укреплены латунные ролики, движущиеся по дюралевому кольцу, укрепленному к цилиндрической поверхности полюса. Датчик Холла, помещенный в латунный цилиндр, крепится на каретке, скользящей по направляющим измерительной штанги (1). С помощью ходового винта датчик устанавливается на заданный радиус с точностью $\pm 0,1 \text{ мм}$. Точность установки датчика по высоте не хуже $+ 0,5 \text{ мм}$.

Перемещение штанги по азимуту производится закрепленным на штанге двигателем постоянного тока (4), "статором" которого служит рассеянное поле электромагнита циклотрона. Усилие от двигателя через редуктор и резиновый валик (6) передается дюралюминиевому кольцу (5), на которое опирается внешний край штанги.

На этом же кольце укреплена латунная лента толщиной $0,5 \text{ мм}$, на которой профрезерованы вертикальные щели $8 \times (0,3 \pm 0,1) \text{ мм}^2$. Расстояние между щелями равно $34,16 \pm 0,05 \text{ мм}$, что соответствует азимутальному углу $1^\circ,875$. На одной платформе с двигателем укреплен источник света (3) и фотодиод (2) в экране со щелью $0,2 \times 8 \text{ мм}^2$. Латунная лента расположена между источником света и фотодиодом, так что фотодиод освещается только в момент совпадения щели и экрана с одной из щелей на ленте.

В этом случае вырабатывается электрический импульс в цепи фотодиода, который после дополнительного формирования запускает цифровой вольтметр, работающий в режиме "внешний запуск". После срабатывания вольтметра его показания, преобразованные в электронном блоке, поступают на цифропечатающее устройство. Последнее разработано на базе телеграфного аппарата СТА-2М^{4/}. Показания цифрового вольтметра (E_x) выводятся на перфоленту и одновременно печатаются на телеграфную ленту для визуального контроля. Перфолента используется для ввода данных магнитных измерений в ЭВМ типа "Минск".

Результаты измерений

Для ускорения процесса измерения обычно измеряют поле секторно-фокусирующего циклотрона только на элементе периодичности поля. В случае нашего циклотрона измерения проводились в обоих направлениях движения датчика (по и против часовой стрелки), что вдвое сокращает время измерений. Для исключения ошибки в этом случае, вызванной конечной шириной щели на ленте, цифровой вольтметр запускается при движении датчика по часовой стрелке передним фронтом импульса, возникающим в цепи фотодиода, а при движении против часовой стрелки - задним фронтом. Таким образом запуск вольтметра происходит в одной и той же точке по азимуту. Так как цифровой вольтметр измеряет ЭДС Холла спустя 19 ± 10 мсек после появления импульса в цепи фотодиода, то ошибка в измерении поля в точке равна $\Delta H = \pm 10^{-2} \frac{\partial H}{\partial t}$. Исходя из того, что максимальная скорость измерения поля со временем (при движении датчика) составляет 2000 э/сек. на внешних радиусах, $\Delta H = 20$ э. в точках наибольшего градиента.

10-кратное измерение поля на одном и том же радиусе показало, что ошибка в определении среднего поля при движении датчика в одном и том же направлении не превосходит $\pm 0,5$ э. При движении датчика в

обратном направлении ошибка, как и ожидалось, выше, но точность определения среднего поля не хуже, так как очевидно, что

$$\int_0^{2\pi/N} \frac{\partial H}{\partial \theta} d\theta = 0.$$

Была сделана оценка максимальной погрешности вычисления среднего магнитного поля при разных значениях числа точек измерения n , где n - число точек измерения на элементе периодичности поля. Результаты анализа, проведенного для трех значений числа точек ($n = 12, 24, 48$) показывают, что выбранное число точек $n = 48$ является вполне достаточным. Так, значение среднего магнитного поля H , вычисленное для $n = 48$ и равное 19652 э, будет отличаться от соответствующих значений H на ± 10 э для $n = 24$, а для $n = 12$ отличие составляет уже ± 150 э.

Заключение

Использование описанной полуавтоматической методики измерения магнитного поля позволяет получить при необходимой точности ($\approx 10^{-4}$) высокую скорость измерения ($\approx 2,5$ сек на точку) за счет безостановочного движения датчика по азимуту на заданном радиусе.

В заключение авторы хотели бы выразить искреннюю благодарность проф. Г.Н.Флерову за постоянный интерес к работе, м-ль М.Р.Бургарель (Орсэ, Франция) за ряд ценных советов, З. Тер-Акопян за изготовление и наладку электронных блоков.

Литература

1. А.В.Степанов, диссертация, Ленинград, 1965 г.
2. А.Г.Алексеев и др. Измерение магнитного поля циклотрона У-240. Материалы совещания по изохронным циклотронам. Алма-Ата, 1967 г.

3. Nelson D.H., UCRL-17641, Second International Conference on Magnet Technology, Oxford, July, 1967.

4. Труды VI конференции по ядерной электронике, т.3, часть II, стр.18. Атомиздат, 1965 г.

Рукопись поступила в издательский отдел
15 февраля 1968 года.

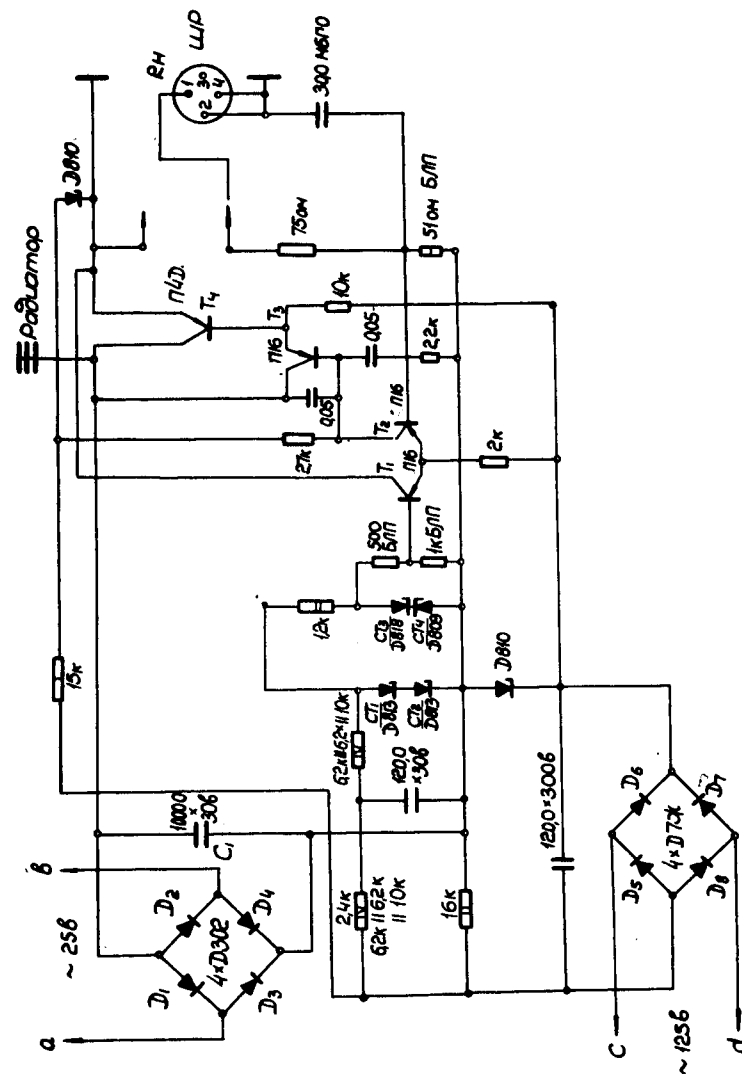


Рис.1

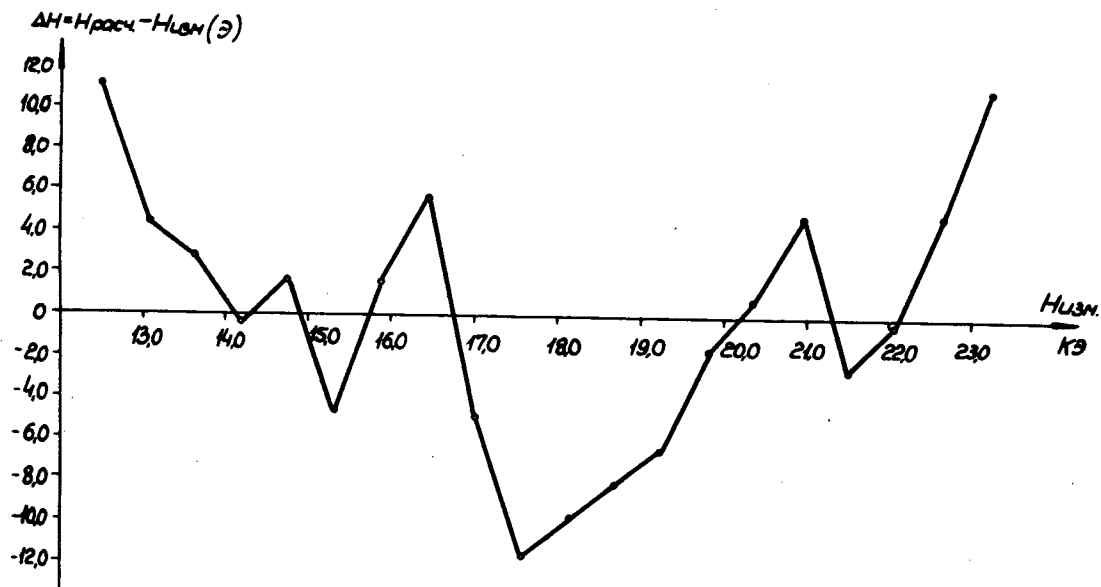


Рис. 2

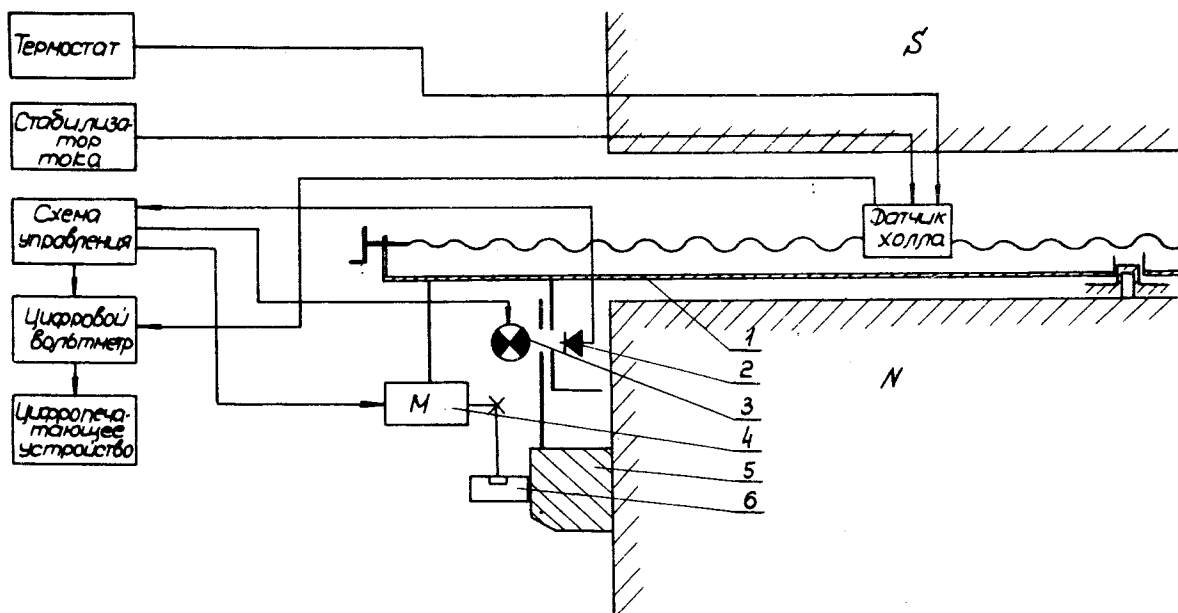


Рис. 3

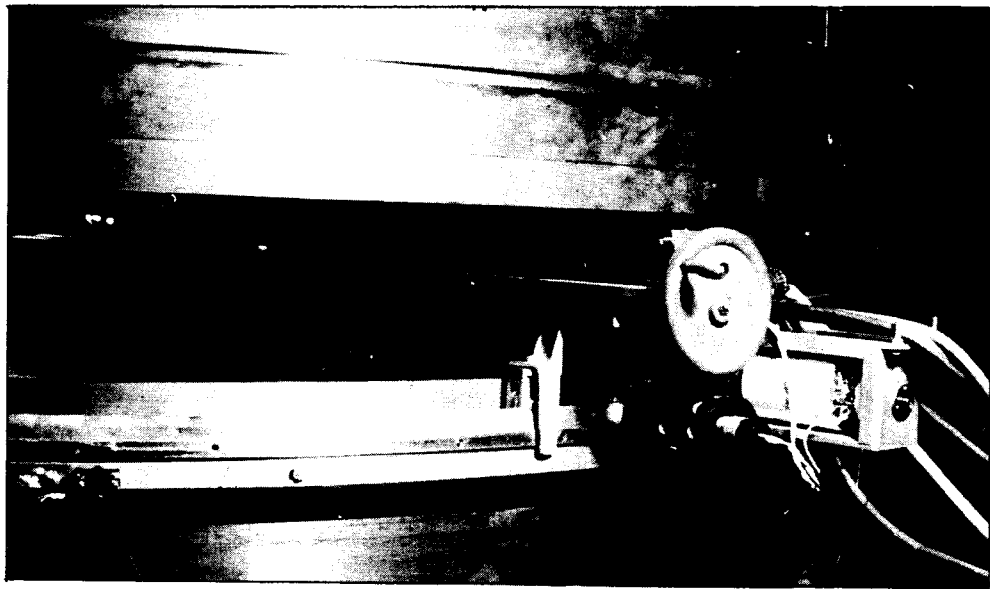


Рис. 4