

с345.0

З-635

Зиновьев Л. П. и др.

Б1-1835.

Б1-1835

+



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Л.П.Зиновьев, И.М.Баженова,  
Е.М.Кулакова, М.И.Яцута.

БИ-1835

с 3450

3-635

О Т Ч Ё Т

"Магнитные характеристики квадрупольных линз  
системы инъекции синхрофазотрона ЛВЭ".

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

Д У Б Н А  
март 1964 года

с.ф. 783



В настоящем отчёте описан метод измерений и приведены основные магнитные характеристики квадрупольных линз системы ввода синхрофазотрона ЛВЭ [1]. Для расчёта ионно-оптической системы необходимо знать зависимость градиентов линз от величины тока в них, форму распределения магнитного поля по апертуре линз и эффективные длины линз. Измерения производились с помощью холловского магнитометра [2], который был выбран из-за малых размеров датчика и удовлетворительной точности. Точность измерений 1-2%, определяется в основном точностью установки тока подпитки датчика и температурным режимом окружающей среды.

#### 1. Описание измерений.

В качестве датчика Холла использовался кристалл германия, длиной 5 мм и сечением  $3 \times 3 \text{ мм}^2$ . Перед началом измерений датчик был проградуирован в постоянном поле от "0" до 1700э, величина поля измерялась с помощью ядерного резонанса. Градуировочная кривая приведена на рис. 1

На рис. 2 приведена схема измерений, которая использовалась в данной работе. Ток в датчик Холла подавался от батареи аккумуляторов (1), он измерялся прибором точности 0,5%. Напряжение на датчике Холла, пропорциональное магнитному полю, измерялось потенциометром Р-2 (класс точности 0,1%). Отпайка с одной стороны датчика (точка Б) произведена через потенциометр (2), чтобы избежать неэквипотенциальности подключения цепи измерения, которая проявляется в том, что при отсутствии поля напряжение на датчике отлично от нуля. Каждый раз перед включением поля напряжение на датчике потенциометром (2) выставлялось на нуль.



На рис. 3 указана система координат, принятая при измерениях ось  $z$  совпадает с продольной осью линз. Для передвижения датчика Холла использовалось приспособление, которое позволяло перемещать его по оси  $z$  с точностью 1 мм и по осям  $x$  и  $y$  с точностью 0,1 мм. Линзы и приспособления выставлялись в горизонтальной плоскости по уровню.

## 2. Характеристики квадрупольных линз.

В системе инжекционной оптики синхрофазотрона ЛВЭ находятся квадрупольные линзы. Линзы имеют длину по железу  $l =$

Градиент квадрупольной линзы равен (2):

$$y = \frac{\partial B_y}{\partial x} = \frac{\partial B_x}{\partial y}$$

На рис. 4 приведены зависимости градиентов  $\frac{\partial B_y}{\partial x}$  от токов линз в приосевой области  $\pm 3$  см. Как видно, все градиенты имеют линейную зависимость от тока, вплоть до максимального тока  $4a$ , т.е. отсутствует насыщение железа. Зависимость составляющей поля  $B_y$  от  $x$  приведена на рис. 5 для линз № 2 и № 4 (для линз № 1 и 3 кривые выглядят аналогично). В пределах точности измерений градиент линз  $y = \text{const}$  в области  $\pm 7$  см около оси  $z$ . Вблизи краёв апертуры линз градиент спадает. В области  $\pm 7$  см сферической аберрацией линз можно пренебречь.

Эффективная длина линзы определяется как:

$$L_{\text{эф.}} = \frac{1}{B_0} \int_{-\infty}^{\infty} B(z) dz$$

Для определения  $L_{\text{эф.}}$  было снято распределение  $B_y(z)$  для всех 4-х линз. На основании этих измерений были подсчитаны эффективные



длины линз, которые приведены в таблице I. Все измерения сделаны при токе  $2,7a$ ,  $x = +30$  мм,  $y = 0$ .

Измерения с помощью датчика Холла контролировались в некоторых точках индукционной катушкой и баллистическим гальванометром. Результаты совпали с точностью до  $\pm 2\%$ .

Таблица I.

$N$ линз	$l_{эф}$ [см]
1	24,7
2	24,6
3	25
4	25

На основании измеренных градиентов и эффективных длин, можно  $x$  подсчитать силы линз и их фокусные расстояния.

Сила линзы определяется, как [3] :

$$K^2 = \frac{1}{BR} y [cm^{-2}]^*$$

Фокусные расстояния единичной квадрупольной линзы в плоскости фокусировки  $f_{\varphi}$  и в плоскости дефокусировки  $f_{\partial}$  определяются по следующим формулам:

$$f_{\partial} = -\frac{1}{K} \operatorname{cth} Kl_{эф},$$

$$f_{\varphi} = \frac{1}{K} \operatorname{ctg} Kl_{эф}.$$

$BR$ - магнитная жесткость системы  
[гаусес $\times$  см]



ТАБЛИЦА 2.

№ линз	$\gamma [a]$	$\gamma [2/cm]$	$K [cm^{-1}]$	$f^*_\varphi [cm]$	$f_0 [cm]$
1	2,7	192	$2,08 \cdot 10^{-2}$	84	- 100
2	2,7	140	$1,78 \cdot 10^{-2}$	120	- 134
3	2,7	203	$2,14 \cdot 10^{-2}$	78	-93
4	2,7	197	$2,11 \cdot 10^{-2}$	81,7	-0,94

Для линзы № 1  $f_\varphi$  и  $f_0$  для проверки были измерены методом токонесущей нити [4].

Было получено

$$f_\varphi = 101,2 \text{ см}$$

$$f_0 = 89,54 \text{ см.}$$

При точности метода токонесущей нити  $\sim 10\%$  совпадение можно считать удовлетворительным.

В заключение авторы выражают благодарность Миллеру В.В. за помощь в работе.

\*) Фокусные расстояния найдены для протонов с  $E = 9,4$  мев-энергии и тем же самым электромагнитом ЛВЗ.

Миллер  
Борис  
Миллер



НАДПИСИ К РИСУНКАМ.

Рис.1. Градуировочная кривая датчика Холла.

Рис.2 Схема измерений:

$\frac{1}{2}$  - батарея аккумуляторов  
2 - потенциометр.

Рис.3 Система координат, принятая при измерениях. Ось  $Z$  перпендикулярна плоскости чертежа. Указано расположение полюсов квадрупольной линзы.

Рис.4 Зависимость градиентов поля линз от токов в обмотках.

$\bar{1}, 2, 3, 4$  - номера линз.

Рис.5 Распределение составляющей поля  $B_y$  от  $X$  в линзах 2 и 4 при токе 0,8 а.

Рис.6 К определению эффективной длины линзы  $F_4$ .



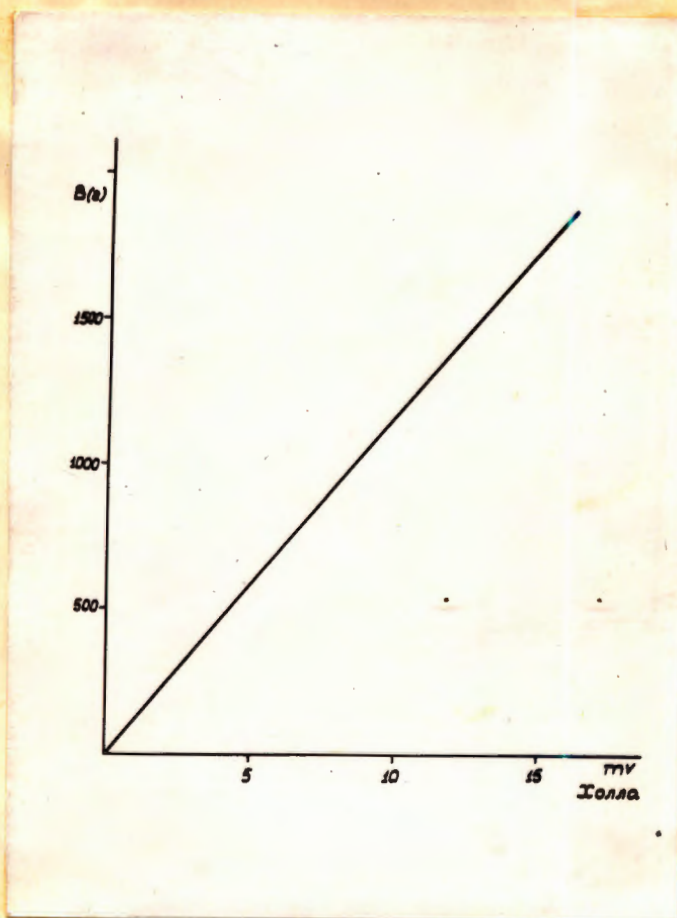


Рис 1

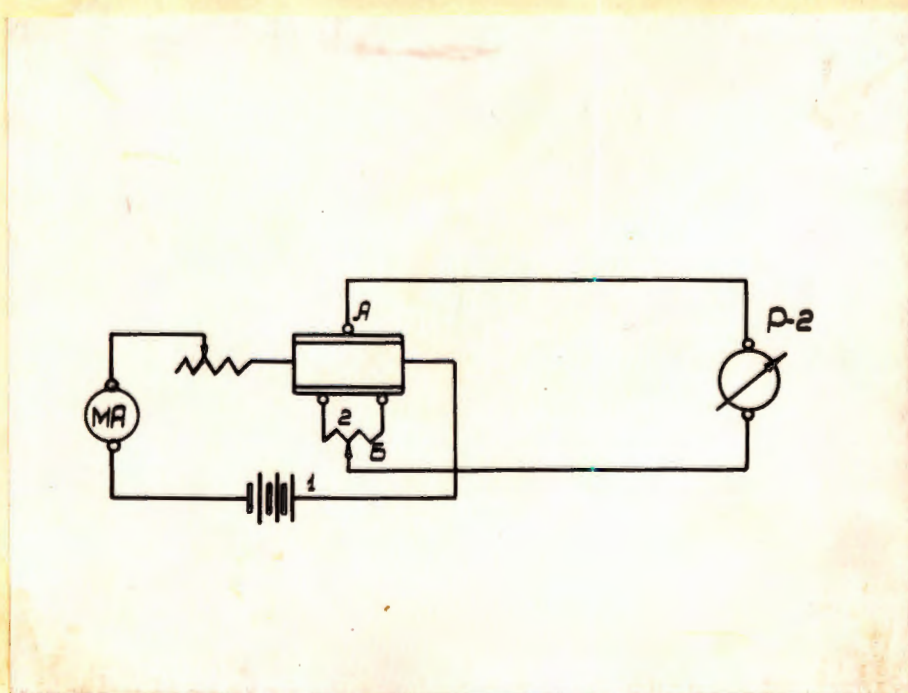


Рис 2



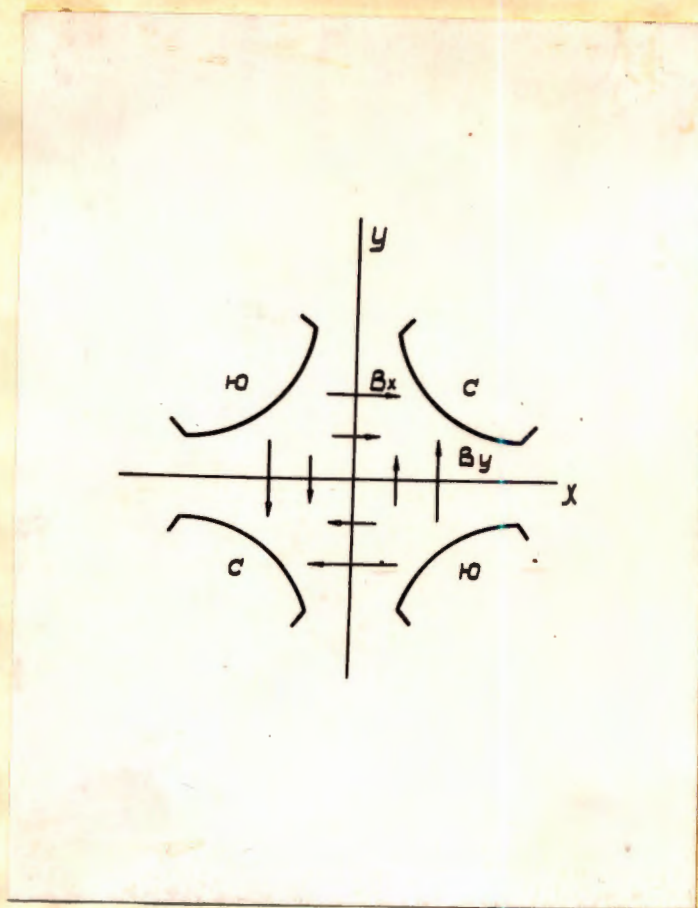


Рис 3

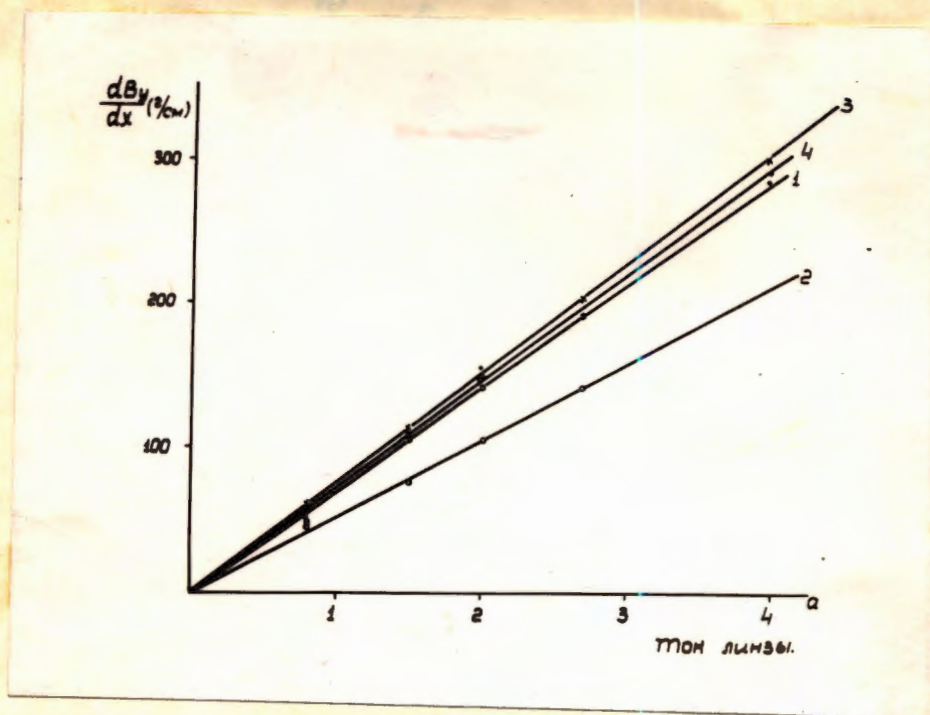
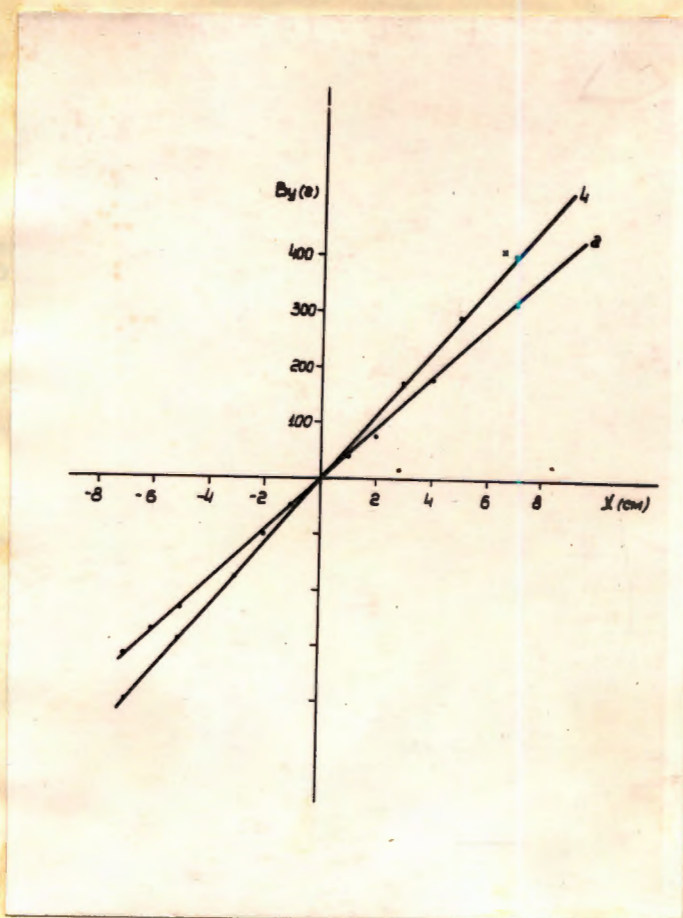
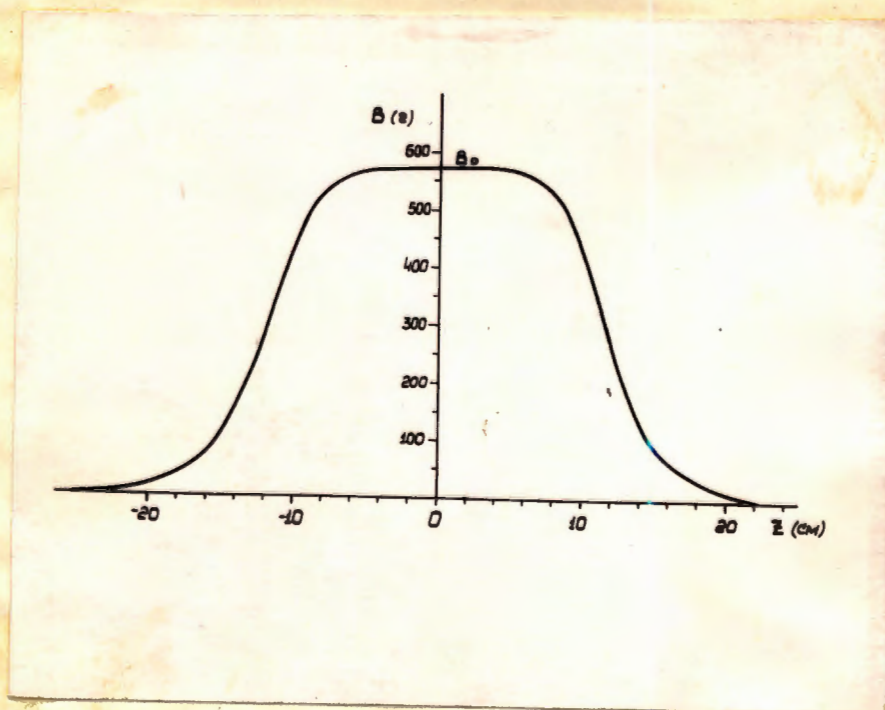


Рис 4





Pue 5



Pue 6



## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. R.S.J. 26. 2. 1954, Bruce Cork "Proton Linear Accelerator for the Bevatron"

2. Сборник "Вопросы магнитных измерений" 86, АН УССР, 1959

3. Дж. Ливингуд. Принципы работы циклических ускорителей ИЛ., Москва, 1963.

4. ПТЭ, №1, 1956 г. М.С. Козодаев, А.А. Тяпкин "Определение траекторий заряженных частиц в магнитном поле с помощью натянутого гибкого проводника с током".