

Б.28

57

**И Н С Т И Т У Т
ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СОАН СССР**

ПРЕПРИНТ И Я Ф 75 - 109

**П.И.Батурич, Б.А.Лазаренко, Д.М.Николенко,
С.Г.Попов, Ю.Г.Украинцев**

**А П П А Р А Т У Р А Д Л Я И З У Ч Е Н И Я Р А С С Е Я Н И Я
Э Л Е К Т Р О Н О В А Т О М Н Ы М И Я Д Р А М И
Н А Н А К О П И Т Е Л Е**

Новосибирск

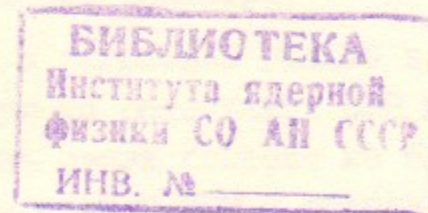
1975

АППАРАТУРА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ РАССЕЯНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ
АТОМНЫМИ ЯДРАМИ НА НАКОПИТЕЛЕ

П.И.Батурин, Б.А.Лазаренко, Д.М.Николенко,
С.Г.Попов, Ю.Г.Украинцев

А Н Н О Т А Ц И Я

В работе описана аппаратура, используемая в экспериментах по электровозбуждению ядер на накопителе ВЭШ-2. Основные элементы: спектрометр, электроника, обеспечивающая его работу, система связи с ЭВМ. Спектрометр был описан раньше /1/, здесь обсуждаются подробнее некоторые вопросы его работы, дается краткая характеристика остальным элементам.



В работе /1/ описан магнитный спектрометр электронов для экспериментов по электровозбуждению ядер на накопителе. В настоящее время проводится эксперимент на накопителе ВЭШ-2 /2/ при энергии 110 МэВ. В этой работе мы кратко описываем аппаратуру, используемую в этом эксперименте, а также освещаем подробнее некоторые вопросы работы спектрометра.

На рис. I приведена блок-схема эксперимента. Электрон, рассеявшись на мишени, проходит через три искровые камеры спектрометра и пару сцинтилляционных счетчиков, включенных в быструю схему совпадений (СС-1). СС-1 запускает генератор высоковольтных импульсов (ГВИ). При одновременном срабатывании трех камер (метод определения срабатывания описан в /1/) запускается система опроса ферритового куба памяти, а также следует запрещение на подачу стирающих импульсов, подающихся в куб памяти при срабатывании СС-1. Считывание информации с куба производится последовательным опросом ячеек и записью информации в регистры оперативной памяти в двоичном коде. Блок предварительной обработки позволяет отбрасывать события, информация о которых записана более чем в 5-ти ячейках подряд ("ширина" искры более 2,5 мм); а также в двух или более далеко отстоящих друг от друга ячейках (две или более искры). В неостракованных событиях номера ячеек усредняются. Все это дает возможность сократить машинное время, необходимое на обработку бракованных событий и усреднение координат при сохранении статистической загрузки. Кроме информации со спектрометра в регистры памяти записывается мгновенное значение величин магнитных полей накопителя и спектрометра.

Собранная информация с регистров памяти выводится на ЭВМ "ОДРА-1325", расположенную на расстоянии 600 м, при помощи системы связи /3/. Система связи состоит из блока связи (БС), подключенного к знаковому каналу ЭВМ и расположенному вблизи нее, магистральной станции (МС), расположенной в экспериментальной пультовой и позволяющей подключить 8 оконечных устройств ввода-вывода (передатчик, приемник, блок-прерываний (БП), служащий для вызова ЭВМ). Вся передача информации от блока связи до оконечных устройств и обратно производится в последовательном виде по двум коаксиальным кабелям.

После предварительной обработки и записи информации в регистры памяти, в блок прерываний посылается импульс вызова ЭВМ. ЭВМ, согласно программе приема информации, высылает в блок связи специальное управляющее слово, в котором указан адрес оконечного устройства, адрес регистра памяти, с которого необходимо начать опрос, и количество регистров, которые необходимо опросить. Затем блок связи самостоятельно опрашивает все регистры, посылая код адреса и команду на передачу информации в ЭВМ. По окончании приема всего массива информации ЭВМ высылает команду в блок блокировок для продолжения работы аппаратуры. Весь цикл передачи информации занимает примерно 25 мсек.

Оперативная связь с ЭВМ осуществляется с помощью дисплея "Videoton - 340", подключенному ко второму знаковому каналу ЭВМ. Программа обработки экспериментальных данных позволяет в процессе набора статистической информации проводить ее обработку, строить на экране дисплея распределение по координатам и радиусам, оставляя высший приоритет для съема информации. Вся набранная информация может быть записана на барабан или на магнитофон ЭВМ. При желании содержание экрана дисплея может быть отпечатано на пишущей машинке "Consul - 256" или записано на бытовой кассетный магнитофон и в дальнейшем многократно воспроизводиться.

На рис.2 схематически изображен спектрометр электронов. Две искровые камеры 1,2, измеряющие координаты пролета электронов X_1, Y_1 и X_2, Y_2 , расположены в области однородного магнитного поля. Радиус траектории электрона в однородном поле определяется $R = R_0 / \cos \alpha$, где $R_0 = (x_1 + x_2 + L) / 2$, L - расстояние между началами отсчета X_1 и X_2 , α - угол влета в первую камеру (угол между направлением движения электрона при пролете первой камеры и осью Z - нормалью к плоскости проволочного электрода этой камеры). Угол α определяется из тех условий, что магнитное поле основного магнита до первой камеры "компенсируется" специальным компенсирующим магнитом. Электроны, независимо от энергии, испытывают при прохождении этой области лишь параллельный перенос. Действительно, если магнитное поле в этой области в медианной плоскости зависит только от одной координаты $H_y = H_y(Z)$, то следуя /4/ можно записать дифференциальное уравнение траектории электрона:

$$\frac{dx'}{dz} = - \frac{J(z) + R \sin \alpha}{[R^2 - (J(z) + R \sin \alpha)^2]^{1/2}} \quad (I)$$

здесь $J(z) = \int^z \frac{H_y(z)}{H} dz$, z^0, x_1^0 - координаты центра мишени, $z_0 R$ - радиус траектории электрона в магнитном поле H_0 . Компенсация будет, если $J(0) = 0$. Интегрируя (I), можно найти связь между величиной параллельного переноса $|X_1 - X_1^0|$ и R . В нашем случае, произведя численное интегрирование по результатам магнитных измерений, убеждаемся, что эта связь упрощается и принимает вид:

$$\sin \alpha \approx (x_1 - x_1^0 - \frac{96}{R}) / z$$

Поскольку нам известны координаты Y_1 и Y_2 электрона, имеется возможность вычислить соответствующую координату электрона, которую он имел при вылете из мишени. Такая информация позволяет установить наличие фона, а в ряде случаев отбросить часть фоновых событий. Для таких вычислений необходимо учитывать фокусировку электронов краевыми полями компенсирующего и основного магнитов. Наибольшую фокусировку частицы испытывают после поворота в компенсирующем магните при выходе из него и при входе в основной магнит. Известно /5/, что фокусировка краевым полем описывается формулой:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{R} \left(\frac{b}{b R \cos \epsilon} - \operatorname{tg} \epsilon \right)$$

где R - радиус траектории частицы в магнитном поле, b - длина, на которой поле линейно спадает до нуля, ϵ - угол между нормалью к границам полюсов и проекцией на медианную плоскость направления движения частицы. Хотя спад поля от краев в нашем магните отличается от линейного, воспользуемся этой формулой. Из определения ϵ следует, что $\operatorname{tg} \epsilon = \frac{dx'}{dz} |_{H_y(z)=0}$ в этой же точке $J(z)$ достигает максимального значения, т.е. $\operatorname{tg} \epsilon = \frac{J_{\max}}{(R^2 - J_{\max}^2)^{1/2}}$ для частиц с $\alpha = 0$. При $\frac{J^2}{R^2} \ll 1$ (в нашем случае $0,03 \leq \frac{J_{\max}^2}{R^2} \leq 0,1$ при $30 \text{ см} \leq R \leq 15 \text{ см}$)

$$\frac{1}{F} \approx \frac{C}{R^2} \left(1 - \frac{I_{max}^2}{2R^2}\right) \quad (2)$$

где C - константа.

Для выяснения фокусирующих свойств спектрометра строились гистограммы распределений событий по Y_2 , при Y_1 и R ограниченных в небольших пределах. На рис.3а представлена обработка этих гистограмм. Точки, соответствующие различным энергиям, хорошо ложатся на прямые, пересекающиеся примерно в одной точке. На рис.3в построены значения K -тангенсов углов наклона этих прямых в зависимости от R . Сплошная кривая: $K(R) = -1 + \left(\frac{1}{Z} + \frac{1}{F}\right) \pi R$ (3) получена в предположении, что электроны фокусируются одной линзой, расположенной в плоскости камеры I ($Z=0$). Для F взято выражение (2) при $C=5,3$ см видно, что выражение (3) хорошо описывает экспериментальные данные. Если частица, вылетая из мишени, отстоит от медианной плоскости магнита спектрометра на расстоянии Δ , то:

$$Y_2 = Y_1 + \left(\frac{Y_1 - \Delta}{Z_0} - \frac{Y_1}{F}\right) \pi R, \text{ отсюда}$$

$$\Delta = Y_1 - \frac{Z_0}{\pi} \left[Y_1 \frac{5,3}{R} \left(1 + \frac{I_{max}^2}{2R^2}\right) + \frac{Y_2 - Y_1}{\pi} \right] \quad (4)$$

На рис.4 приведены гистограммы Δ , вычисленные по формуле (4), для событий, полученных при рассеянии электронов на газовой мишени /6/ аммиака. Формы кривых Δ для событий из "упругих" пиков азота и водорода практически совпадают и имеют ширину (8 мм) несколько превышающую размер газовой струи (6 мм). Кривая распределения Δ для событий, лежащих по энергии в области между этими пиками, имеет ярко выраженные "хвосты". Это можно объяснить тем, что фон распределен почти равномерно по энергии. Тогда доля фона мала в тех энергетических диапазонах, где скорость эффекта велика.

Видно, что при построении спектра можно в несколько раз уменьшить в нем число фоновых событий, беря для построения события, лежащие в узком интервале ($\sim 10-12$ мм) по Δ .

Одним из основных эффектов, определяющих разрешение спектрометра (см /I/), был эффект смещения электрона от идеальной траектории вследствие многократного рассеяния на рабочем газе камер при его движении от первой ко второй камере. Чтобы избавиться от этого эффекта в конструкцию спектрометра были внесены некоторые изменения. На рис.2 изображена схематически конструкция спектрометра. Магнит спектрометра состоит из полюсов основного магнита 4, катушек I2 и магнитопровода I3. Полюса основного магнита сжимают латунные вкладыши 6 и с помощью фланцев 8 и I4 образуют герметичную камеру, разделенную на две неравные части. Верхняя часть камеры выполнена в виде тонкостенной латунной коробки 9, имеющей окна для прохода частиц. Окна закрыты лавсановыми диафрагмами I0, I5 и титановой фольгой II, толщиной 50 мк. Здесь установлены искровые камеры, а внутреннее пространство верхней части камеры заполнено рабочим газом искровых камер. Нижняя часть камеры представляет вакуумный объем с давлением 10^{-1} Торр.

При наличии газа (Ne при давлении 0,75 атм) в вакуумном объеме ширина пика упругого рассеяния (при $E=110$ МэВ, $R=28$ см) $\Gamma \approx 500$ КэВ, против 250 КэВ при откачанной вакуумной камере.

Или $(\quad)_{\text{газ}} = (1,6 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$. В /I/ приведена формула для оценки разрешения по этому эффекту, к сожалению при ее написании была допущена неточность, должно быть $\left(\frac{\Delta E}{E}\right)_{\text{газ}} = \left(\frac{\pi R K}{8}\right)^{1/2} \frac{1}{E}$, где K входит в упрощенную формулу для определения среднеквадратичного угла многократного рассеяния $\theta^2 = \frac{K}{E^2} l$ на длине пути l . Согласно этой формуле $\left(\frac{\Delta E}{E}\right)_{\text{газ}} = 2,4 \cdot 10^{-3}$, т.е. если учесть, что эта упрощенная формула дает завышенный результат, совпадение с экспериментальным результатом достаточно хорошее.

Эффекты, определяющие энергетическое разрешение спектрометра, следующие:

1. Неоднородность поля основного магнита.
2. Различные эффекты, приводящие к неопределенности угла влета.
3. Пространственное разрешение искровых камер.

По ряду причин энергию накопителя ВЭШ-2 нежелательно опускать ниже 100 МэВ, поэтому предельная энергия спектрометра была поднята с 80 МэВ до 120 МэВ ($H = 12,5 \text{ Кгс}$). При этом оказалось, что магнитное поле основного магнита вследствие насыщения не обладает достаточной однородностью. Поэтому оно корректировалось с помощью шиммов. После этого отклонение значений магнитного поля от среднего в рабочей области не превышало $\pm 10^{-3} H_0$. Так как отклонения частично компенсируют друг друга, ошибка в определении энергии по этому эффекту $(\frac{\Delta E}{E})_{\text{неоднор. поля}} \approx 4 \cdot 10^{-4}$.

Что касается второго эффекта, то, поскольку $(\frac{\Delta E}{E})_{\alpha} = \text{tg} \alpha (\Delta \bar{\alpha}^2)^{\frac{1}{2}}$,

$$\text{tg} \alpha \approx \frac{x + \text{const}}{z_0}, \quad \text{можно отделить его}$$

вклад в разрешение экспериментально. На рис.5 приведено разрешение пика упруго рассеянных электронов на различных участках камеры. Видно, что основной вклад в разрешение дают эффекты не зависящие от α . Сплошная кривая построена по формуле

$$\frac{\Delta E}{E} = (A + \text{tg}^2 \alpha \cdot \Delta \bar{\alpha}^2)^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

где $A = 7,65 \cdot 10^{-4}$ (разрешение при $X_I = 75 \text{ мм}$). В величину $\Delta \bar{\alpha}^2$ дают вклад: размер пучка электронов, многократное рассеяние на фольгах, газе, проволочках, неточная компенсация и т.д. Основной вклад в величину $\Delta \bar{\alpha}^2$ дает размер пучка, ширина которого по измерениям равна 6 мм. С учетом остальных эффектов $\Delta \bar{\alpha}^2 = 3,5 \cdot 10^{-3}$.

После вычитания из $\frac{\Delta E}{E}$ вклада ^{от} разброса энергии пучка электронов в накопителе (согласно измерениям по фазовому размеру, при токах 0,5+1,0 ампер, Γ пучка = 70 КэВ), $\frac{\Delta E}{E} = 7,2 \cdot 10^{-4}$ при $X_I = 75 \text{ мм}$.

Очевидно, что наибольший вклад в разрешение спектрометра дает пространственное разрешение искровых камер. Однако, измерить его обычным способом (с помощью нескольких камер на космических частицах) трудно ввиду конструктивных особенностей камер. Если приведенное выше энергетическое разрешение при $X_I = 75 \text{ мм}$ обязано только неоднородности магнитного поля и

пространственному разрешению камер, то пространственное разрешение одной камеры $(\Delta x^2)^{\frac{1}{2}} = 0,24 \text{ мм}$.

Дальнейшее улучшение разрешения спектрометра может быть связано с выбором состава газа и режима работы искровых камер, пространственное разрешение которых может быть доведено до 0,2 мм, а также улучшением однородности магнитного поля. Другое изменение, которое будет уже вскоре произведено, определение координат в 3-й камере. На данном этапе проверялась возможность ее работы в условиях интенсивного фона вблизи пучка электронов накопителя. Существенно улучшает условия работы этой камеры небольшой очищающий магнит (16, рис.2). Камера 3 играет сейчас также роль активного коллиматора, ее применение значительно снизило фон. Знание координат пролета электрона в этой камере позволит определить еще одну координату вылета его из мишени, что уменьшит ошибку в определении α и даст дополнительные возможности для отделения фоновых событий.

В заключение на рис.6 приводим обзорную гистограмму спектра электронов, рассеянных на газовой мишени из NH_3 на угол $\theta = 90^\circ$. Шаг гистограммы примерно 500 КэВ. Гистограмма получена при обработке накопленной информации на ЭВМ "ОДРА-1305". Максимумы пиков упруго рассеянных электронов на N и H лежат соответственно в 2250 и 2030 каналах. Предварительные результаты этих экспериментов приведены в /7/.

Авторы благодарят сотрудников лаборатории, способствовавших выполнению данной работы, а также коллектив ВЭШ-2 за обеспечение стабильной работы накопителя.

Л и т е р а т у р а

1. Д.М.Николенко, С.Г.Попов. ЖТФ, XLIV, 451, 1974.
2. В.Л.Ауслендер, В.Н.Байер, Г.А.Блинов, Г.И.Будкер, А.В.Киселев, Е.А.Кушниренко, А.А.Лившиц, Е.С.Миронов, А.А.Наумов, В.С.Панасюк, С.Н.Родионов, В.А.Сидоров, Г.И.Сильвестров, А.Н.Скринский, В.С.Сынах, Л.И.Юдин, Международная конференция по ускорителям. Дубна, 1963 г. Материалы конференции, стр.280.
3. Д.К.Весновский, Б.А.Лазаренко, Д.М.Николенко, С.Г.Попов, Ю.Г.Украинцев, А.Д.Орешков, Ю.И.Ощепков, Г.С.Пискунов, С.В.Тарарышкин. Система обработки информации в эксперименте по электровозбуждению ядер. Доклад на семинаре по обработке физической информации. Ереван, 1975 г.
4. Экспериментальная ядерная физика. Под ред.Сегре, Москва, 1955, том.1, стр.513.
5. *C. Bovet, R. Youizan, J. Yumowski, K.H. Reich
A selection of formulae and data useful
for the design of A.U. Synchrotrons.
CERN/MDS-si/Int DL/70/4.*
6. П.И.Батурин, С.Г.Попов, Д.К.Топорков. ЖТФ, XLV, 2463 (1975).
7. Б.Б.Войцеховский, Д.М.Николенко, С.Г.Попов, В.Н.Ротаев, Д.К.Топорков. Упругое и неупругое рассеяние электронов ИО МэВ на ядре N^{14} . Направлено в ЯФ.

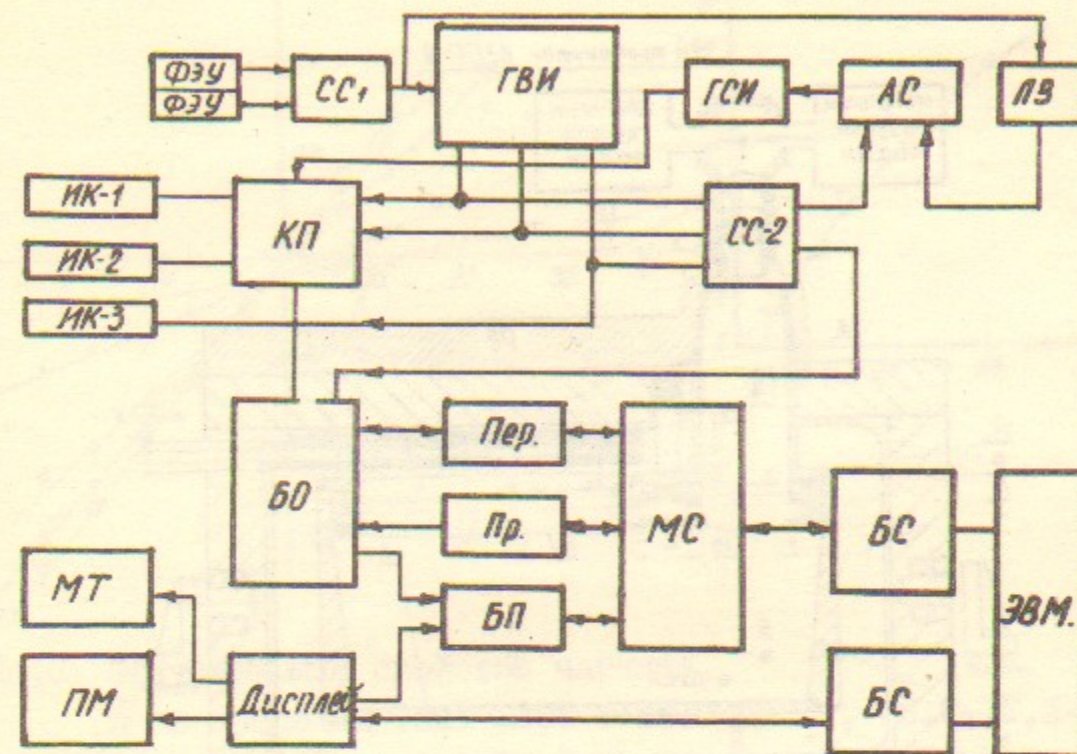


Рис.1. Блок-схема эксперимента.

СС-1 - быстрая схема совпадений, СС-2 - медленная схема совпадений, ГВИ - генератор высоковольтных импульсов, ГСИ - генератор стирающих импульсов, АС - схема антисовпадений, ЛЗ - линия задержки, ИК - ионные камеры, КП - куб памяти, БО - блок опроса и предварительной обработки, Пер - передатчик, Пр - приемник, БП - блок прерываний, МС - магистральная станция, БС - блок связи, МТ - магнитофон, ПМ - пишущая машинка.

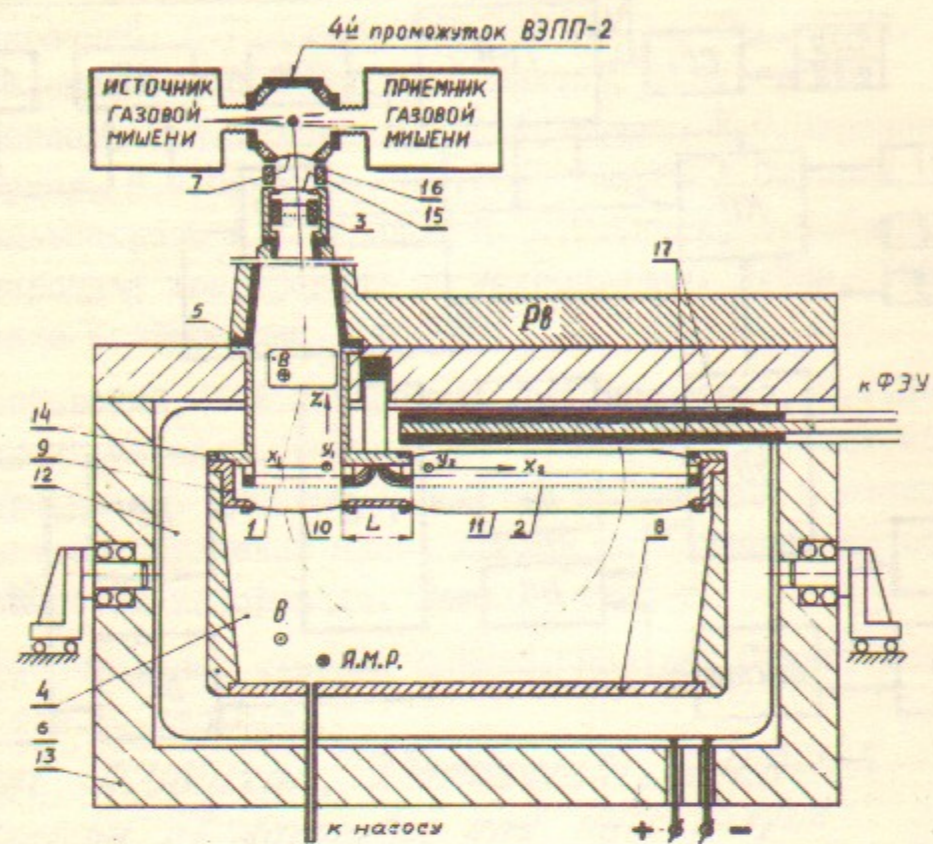


Рис.2. Спектрометр электронов.

1,2,3 - искровые камеры; 4,5 - полюса основного и компенсирующего магнитов; 6 - латунные вкладыши; 7 - фольга накопителя (50 мк, Tl); 8 - фланец, 9 - латунная коробка; 10,15 - лавсановые пленки (60 мк каждая); 11 - фольга (50 мк, Tl); 12 - катушка магнита спектрометра; 13 - магнитопровод; 14 - верхний фланец; 16 - очищающий магнит; 17 - сцинтилляционные счетчики.

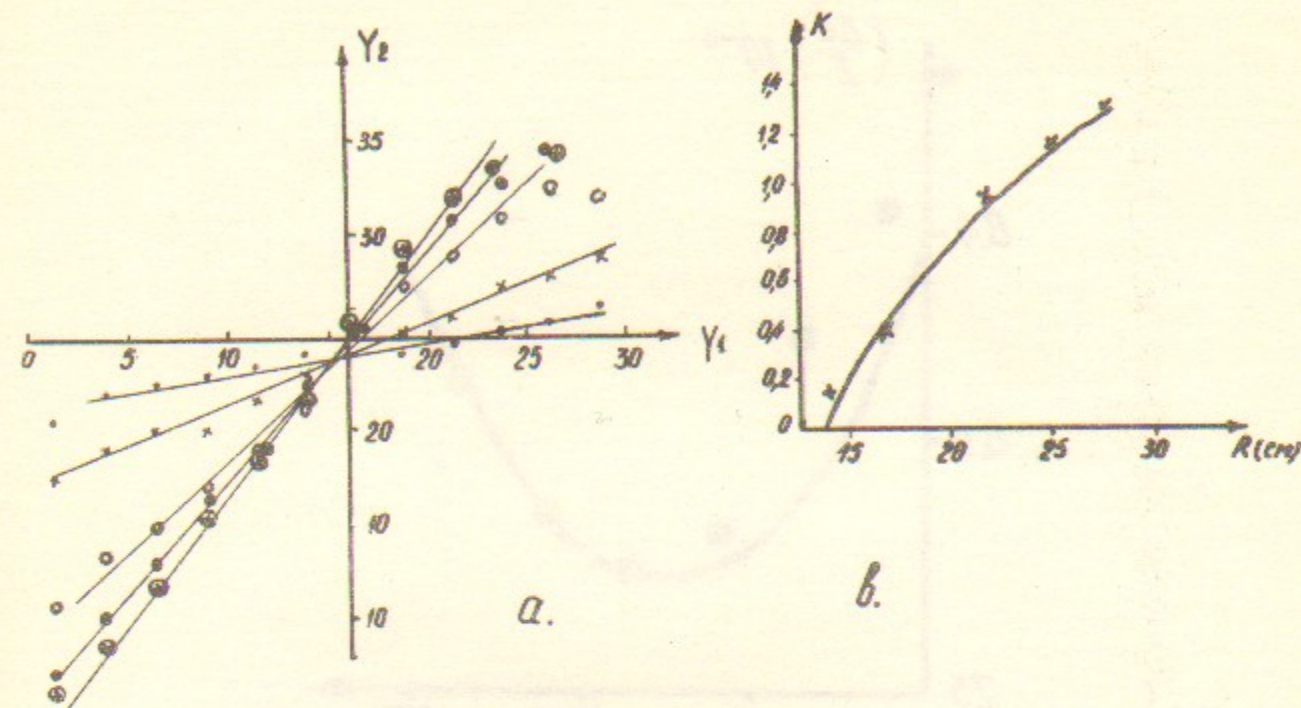


Рис.3. Фокусирующие свойства магнита.

R в пределах (см) 13,7 + 15,0 - \bullet , 16,2 + 17,5 - \times ,
21,2 + 22,5 - \circ , 25,1 + 25,4 - \bullet , 27,8 + 28,1 - \otimes .

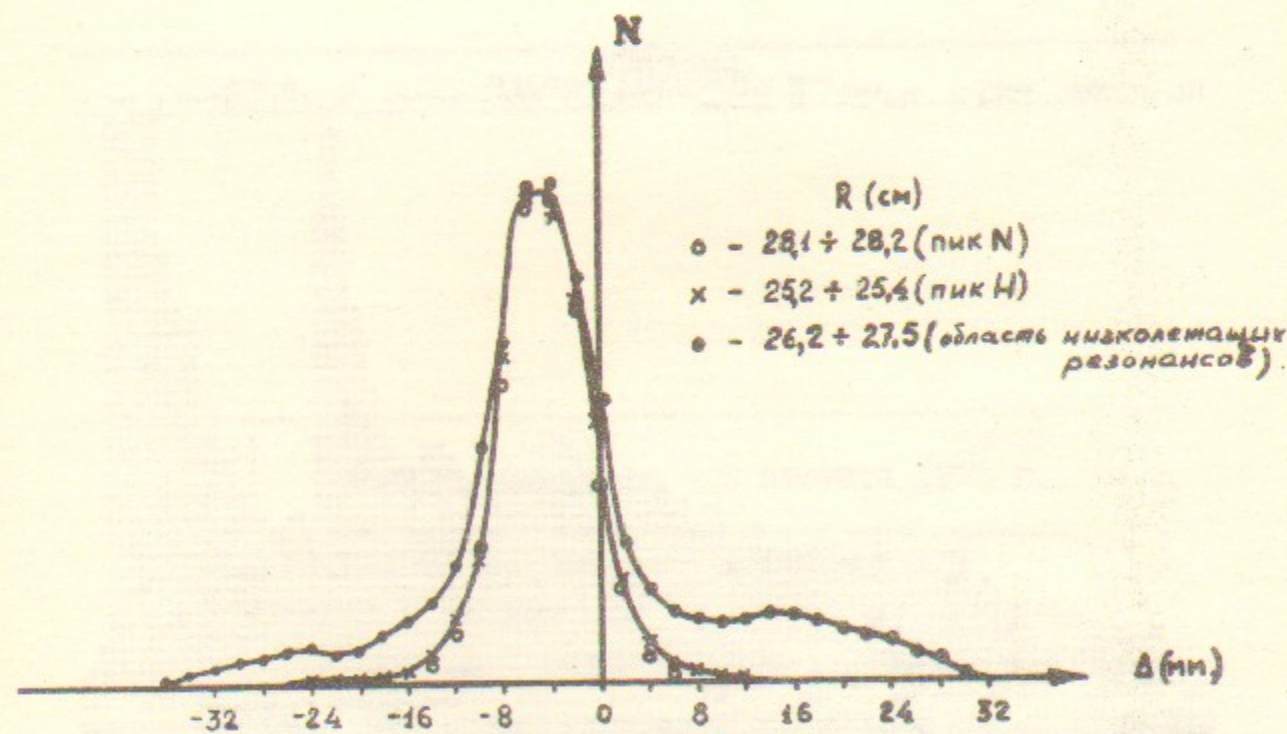


Рис. 4

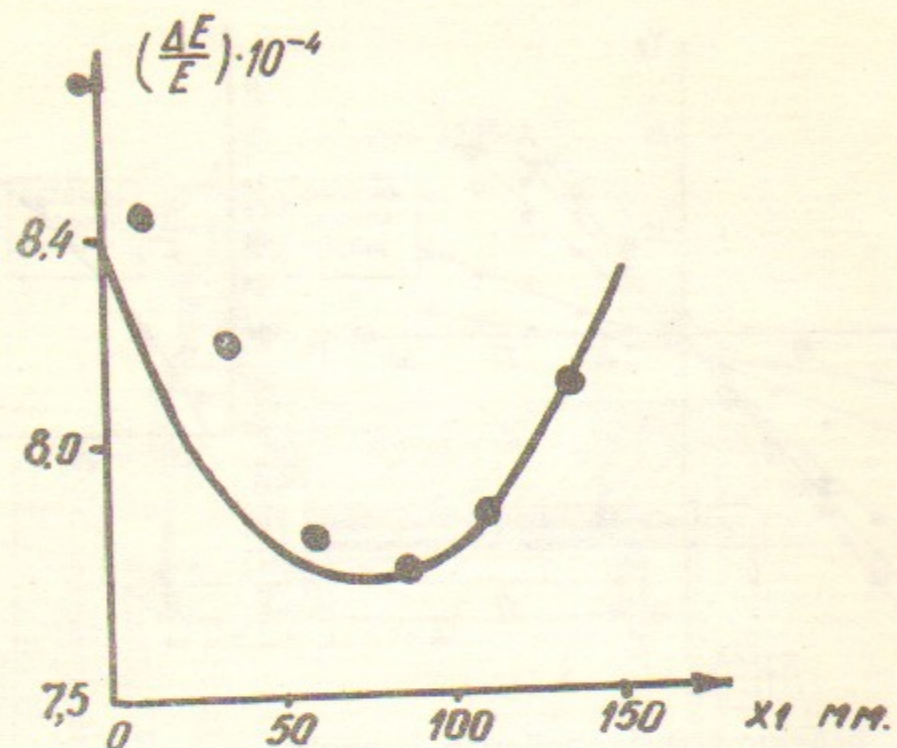


Рис. 5

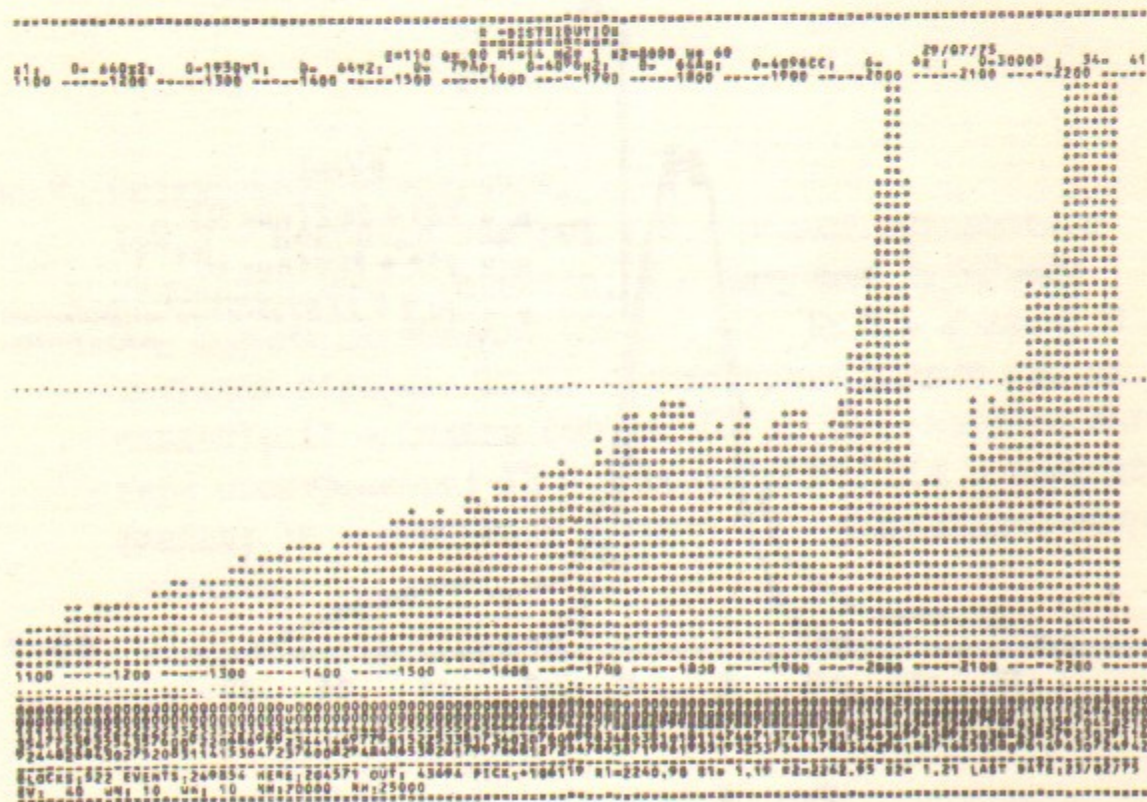


Рис. 6

Работа поступила - 8 августа 1975 г.

Ответственный за выпуск Г.А. СПИРИДОНОВ

Подписано к печати 20.XI-1975г. МН 03239

Усл. 0,7 печ.л., тираж 200 экз. Бесплатно

Заказ № 109.

Отпечатано на ротапринтере в ИЯФ СО АН СССР, вт