

сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
Дубна

2368 / 2-80

2/6-80

13-80-97

Ю.Ш.Багатуря, Ю.М.Казаринов, М.Ю.Казаринов,  
М.Ю.Либург, В.Н.Матафонов, Г.Г.Мачарашвили,  
И.К.Поташникова, М.Страхотова, И.Страхота,  
Ю.А.Усов, Б.А.Хачатуров, М.Р.Хаятов

УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ  
ПОЛЯРИЗАЦИИ И ПАРАМЕТРА  $D$   
В ОБМЕННОМ  $np$ -РАССЕЯНИИ  
ПРИ ЭНЕРГИИ 600 МэВ

1980

Описанная в настоящей работе установка была создана для проведения важного дискриминационного эксперимента по программе полного опыта для однозначного восстановления амплитуды упругого NN-рассеяния при энергии 600-630 МэВ. Эксперимент спланирован на основании фазового анализа данных по NN-рассеянию, проведенного ранее в Дубне<sup>/1/</sup>.

Известно, что эксперименты по определению элементов тензора деполаризации, к которым относится параметр D, являются достаточно сложными. Тем более сложно проведение такого эксперимента с пучком нейтральных частиц. Ранее подобные эксперименты, как правило, проводились с помощью рассеяния пучка поляризованных протонов на нейтронах дейтериевой мишени. При этом предполагалось, что благодаря малой энергии связи нуклонов в дейтроне в результате эксперимента не вносится заметной ошибки\*. Такую постановку опыта, однако, практически невозможно использовать в исследовании обменного  $np$ -рассеяния при малых переданных импульсах из-за слишком низкой энергии протонов отдачи. В этом случае измерение поляризации P и деполаризации D возможно, по-видимому, только при использовании поляризованной протонной мишени.

В соответствии со сказанным для измерения параметров P и D была выбрана следующая постановка эксперимента /рис.1/.

Пучок нейтронов синхроциклотрона ОИЯИ рассеивался на поляризованной протонной мишени ППМ /первое рассеяние/. Протоны отдачи от упругих  $np$ -столкновений выделялись системой сцинтилляционных и черенковских счетчиков и вторично рассеивались для определения их поляризации на углеродных анализаторах, помещенных внутри оптических искровых камер. Искомые значения D определялись из угловых распределений протонов после второго рассеяния. Поляризация P находилась из азимутальной асимметрии в первом рассеянии, возникающей при изменении знака поляризации ППМ.

---

\* Необходимо заметить, что экспериментально это предположение до сих пор не проверено. Более того, можно предполагать, что в случае обменных  $np$ -столкновений оно не совсем правильно.

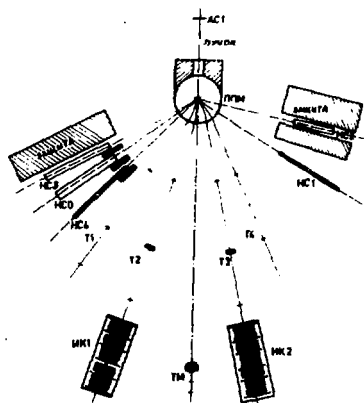


Рис. 1. Схема установки. ППМ - протонная поляризованная мишень; Т1÷Т4 - телескопы, регистрирующие протоны отдачи; НС1÷НС4, НСО - нейтронные счетчики; ТМ - телескоп-монитор; МК1÷2 - искровые камеры, АС1 - счетчик антисовпадений.

## 1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

При создании установки требовалось выполнить следующие главные условия:

1. Установка должна обеспечить достаточно высокую скорость набора данных с тем, чтобы время набора полной статистики /~10 тыс. событий двойного рассеяния на точку/ не превышало 500-600 ч работы ускорителя. Эффективная энергия пучка нейтронов должна составлять при этом 600-630 МэВ при энергетическом разбросе 10-15%.

2. Обработка результатов эксперимента должна быть простой и не должна требовать разработки новых приборов и большого времени на ЭВМ.

На основании этих требований в качестве основных элементов установки были выбраны:

а/ Поляризованная протонная мишень на базе кристалла  $LMN^{2/2}$ , работающая в большом магните СП-56-1. Мишень имеет относительно большой телесный угол для выхода вторичных частиц из мишени ( $-\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$ ) и  $\Delta\phi = +6,6^\circ$  и работает в сильном магнитном поле, которое можно использовать для сепарации частиц в заданном интервале импульсов.

б/ Сцинтилляционные и черенковские счетчики для детектирования частиц в первом рассеянии.

в/ Оптические искровые камеры, которые обеспечивают большой телесный угол для регистрации случаев второго /анализирующего/ рассеяния и, как показал опыт предыдущих экспериментов, - удовлетворительное угловое разрешение:  $\Delta\theta \approx 0,8^\circ$ ,  $\Delta\phi \approx 7^\circ$ .

Основные трудности, возникшие при проектировании, связаны со следующими обстоятельствами:

- низкое содержание водорода в веществе ППМ /3% по весу/;
- средняя энергия нейтронного пучка  $400 \text{ МэВ}$  при энергетическом разбросе 80% и интенсивности  $10^5 \text{ нейтр./см}^2\text{с}$ .

На ЭВМ было смоделировано несколько вариантов установки для регистрации случаев упругого пр-рассеяния на ППМ с угловым разрешением  $\Delta\theta = 2^\circ$  и  $\Delta\phi = 3^\circ$  при средней энергии нейтронов 600-620 МэВ. Во всех вариантах для регистрации протонов отдачи использовались телескопы из сцинтилляционных счетчиков, главное отличие вариантов состояло в использовании черенковских и нейтронных счетчиков. Рассчитанные при моделировании распределения углов рассеяния и энергии падающих нейтронов для случаев упругого рассеяния, регистрируемых установкой, изображены на рис. 2.

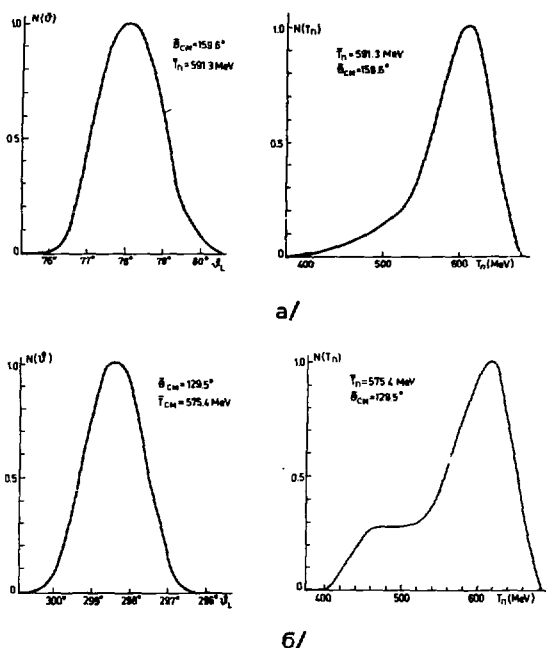


Рис.2. Распределение событий упругого пр-рассеяния по энергии падающих нейтронов и углу рассеяния в лабораторной системе: а/ канал T2\*HC2; б/ канал T3\*HC3.

## 2. СХЕМА УСТАНОВКИ

На основе результатов моделирования был выбран оптимальный вариант установки, схема которой изображена на рис. 1.

Первое рассеяние. В выбранном варианте в первом рассеянии регистрируются обе частицы, вылетающие из ППМ в результате упругого др-рассеяния на углы 98, 123, 130 и 160° /с.ц.м./, что существенно снижает фон от сложных ядер, содержащихся в ППМ. Протон отдачи при этом детектируется телескопом из трех счетчиков /Т1-Т4/, рассеянный нейтрон - нейтронным детектором /НС1-НС4/, включенным на совпадение с телескопом /Т1-НС1; Т2-НС2; Т3-НС3; Т4-НС4/. Угловое разрешение детекторов при регистрации случаев первого рассеяния и средние энергии нейтронов в пучке, рассеяние которых установка регистрирует, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Средние значения и среднеквадратичные отклонения угла рассеяния в с.ц.м. и энергии падающих нейтронов для событий упругого рассеяния, регистрируемых отдельными каналами установки

Канал	$\bar{\theta}$ с.ц.м.	$\Delta\theta^\circ$	$\Delta\phi^\circ$	$\bar{T}_n$ /МэВ/	$\Delta T_n$ /МэВ/
T1*НС1	123,4	0,7	3,1	605,2	31,4
T2*НС2	159,6	1,3	3,1	591,3	48,7
T3*НС3	129,5	1,6	3,1	575,4	61,2
T4*НС4	97,4	1,4	3,1	579,2	58,9

Для мониторингования потока нейтронов, падающих на ППМ, используются: совпадения Т3\*НС3, регистрирующие число частиц, вылетающих из мишени в результате квазиупругого др-рассеяния на протонах сложных ядер, содержащихся в ППМ; телескоп ТМ и ионизационная камера ИКМ. Счетчик антисовпадений АС1 служит для исключения случаев взаимодействия заряженных частиц, присутствующих в нейтронном пучке.

Монитор ТМ собран на 4 сцинтилляционных счетчиках. Передний счетчик включен на антисовпадение и исключает регистрацию заряженных частиц. Нейтроны взаимодействуют с веществом полиэтиленового конвертора, который расположен за первым счетчиком; три задних счетчика, включенные на совпадение, регистрируют заряженные продукты взаимодействия, вылетающие из конвертора. Тонкостенная ионизационная камера ИКМ, установленная на выходе коллиматора, формирующего нейтронный пучок, регистрирует вторичные заряженные частицы /второй монитор/.

Сцинтилляционные счетчики протонов собраны на фотоумножителях ФЭУ-30, цилиндрических световодах из органического стекла и плоских пластических сцинтилляторах. В черенковских пороговых счетчиках были использованы фотоумножители ДУР-56 и радиаторы из органического стекла. Три протонных детектора со световодами, разведенными вниз и вверх, составляют один протонный телескоп.

Для регистрации нейтронов использовались сцинтилляционные счетчики с однородными пластическими сцинтилляторами. Поперечные размеры сцинтилляторов нейтронных счетчиков выбраны так, чтобы перекрыть телесный угол сопряженного детектора протонов отдачи. Длина сцинтиллятора выбиралась экспериментально из соображений максимальной эффективности и оказалась порядка 50 см. Свет собирался с помощью световода из органического стекла на фотокатод ФЭУ ДУР-56.

Детекторы установки схематично изображены на рис. 1. Их размеры приведены в табл. 2.

Таблица 2

Размеры счетчиков, энергия  $T'_n$  регистрируемых нейтронов в отдельных каналах и эффективность нейтронных счетчиков  $\epsilon$

Канал	Размеры сцинтилляторов в см				$T'_n$ /МэВ/	$\epsilon$
	С1	С2	С3	С4		
T1*НС1	2x5x0,5	2x8,5x0,5	2x8,5x0,5	50x15x2	137	0,25
T2*НС2	3x5x0,5	5x8,5x3*	4x8,5x0,5	30x12x5	20	0,10
T3*НС3	3x5x0,5	5x8,5x3*	4x8,5x0,5	50x15x5	109	0,22
T4*НС4	2x5x0,5	2x8,5x0,5	2x8,5x0,5	50x11,8x2	263	0,32

\* Черенковский радиатор из оргстекла.

Протонная поляризованная мишень<sup>/2/</sup>. Материал мишени - кристалл лантан-магниевого нитрата размером 2x2x3 см<sup>3</sup>. Рабочая температура 1 К достигается откачкой паров <sup>4</sup>Не. Содержание водорода в мишени - 3% по весу. Рабочее магнитное поле - 2 Т. Средняя поляризация  $\leq 6,0\%$ . Измерение поляризации производится ЯМР-методом с помощью Q-метра с жесткой автоподстройкой резонансной частоты<sup>/10/</sup>. Относительная ошибка измерения поляризации составляет 5%. Преимущество использованного варианта мишени - относительно большой объем магнитного поля /диаметр полюса магнита 470 мм/, облегчающий отбор по импульсу частиц, вылетающих из мишени. Последнее весьма важно в связи с тем, что установка работает в пучке нейтронов с широким спектром.

Второе рассеяние. Для регистрации второго рассеяния используются оптические искровые камеры размерами  $\varnothing 19 \times 50$  см<sup>3</sup>. Внутри камеры помещены два графитовых блока-анализатора поляризации пролетающих через камеру протонов отдачи. Толщина анализаторов выбрана так, чтобы средний угол многократного рассеяния протона не превышал  $0,5^\circ$ . Камеры позволяют регистрировать случаи рассеяния в большом телесном угле ( $2^\circ \leq \theta \leq 30^\circ$ ,  $0 \leq \phi \leq 2\pi$ ) с полной вероятностью рассеяния протона в камере  $\approx 0,1$ . Использование оптических искровых камер обеспечило высокую геометрическую эффективность и достаточно хорошее угловое разрешение. Треки в камерах фотографируются в горизонтальной и вертикальной проекциях на стандартную 35-мм киноплёнку /рис.3/. Проекция трека на вертикальную плоскость фотографируется через плоское зеркало ЗП1. Чтобы получить необходимую длину оптического пути между объективом киноаппарата и фотографируемой камерой в компактном объеме, используются плоские зеркала ЗП2, ЗП3. Объектив киноаппарата находится в фокальной плоскости линз Л1, Л2, установленных параллельно стенкам искровой камеры и обеспечивающих просмотр всей глубины промежутков между ее электродами.

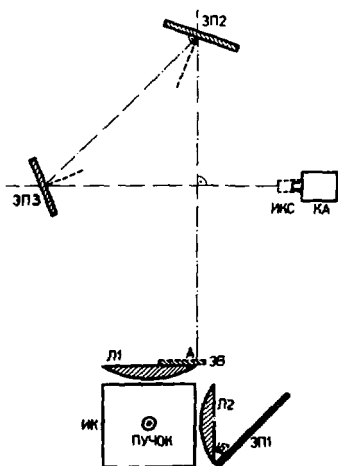


Рис.3. Схема фотографирования треков в искровых камерах. ИК - искровая камера; Л1÷2 - линзы; ЗП1-ЗП3 - плоские зеркала; КА - киноаппарат. Пунктиром указаны средства юстировки: ИКС - источник коллимированного света; ЗВ - вспомогательное зеркало.

Фотографируются треки всех протонов отдачи, для которых сигнал соответствующего протонного телескопа совпал с сигналом сопряженного нейтронного счетчика. Отбор треков с рассеянием протона на углеродной мишени-анализаторе проводится при просмотре пленки.

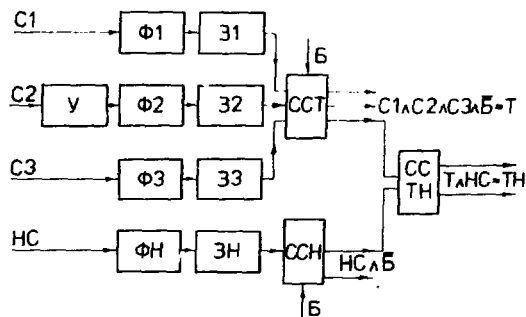
### Электронная логика. Электронная логика обеспечивает:

- выделение актов упругого пр-взаимодействия с разрешающим временем  $10^{-8}$  с;
- запуск искровых камер и киноаппаратов для регистрации второго рассеяния не позднее, чем через  $0,5-0,6$  мкс после прохождения протона отдачи через телескоп;
- надежную блокировку ложных сигналов, возникающих при срабатывании искровых камер;
- контроль функций электронной логики с быстрым откликом при низкой скорости набора статистики;
- мониторинг потока нейтронов и измерение числа событий на сложных ядрах мишени.

Для решения этих задач были использованы, в основном, логические блоки, разработанные в стандартах "Вишня"<sup>1/4/</sup> и "Каммак"<sup>1/5/</sup>.

1/ Для четырех углов первого рассеяния использовалась одинаковая схема, основным элементом которой является стандартный блок совпадения с разрешением 10 нс. Блок-схема электроники для одного из четырех каналов представлена на рис. 4. Сигналы от всех счетчиков С1, С2, С3, НС канала формируются на стандартных формирователях Ф. Сигнал от черенковских счетчиков до входа в формирователь предварительно усиливается неперегружающимся услителем-ограничителем (К=50). Сформированные импульсы длительностью 10 нс с выхода формирователя через линии задержки поступают на схему совпадений. На входы антисовпадений поступает сигнал блокировки Б. С выходов схемы совпадений снимаются сигналы:  $T = C1 * C2 * C3 * \bar{B}$ ,  $np = C1 * C2 * C3 * HC * \bar{B}$ ,  $HC * \bar{B}$ . Сигнал "np" возникает при регистрации акта упругого пр-рассеяния и служит /на углах  $150, 160^\circ$  с.ц.м./ для запуска искровых камер. Сигнал Т соответствует регистрации протонов, выбитых из мишени нейтроном падающего на мишень пучка. Он

Рис. 4. Блок-схема быстрой электроники одного канала регистрации первого рассеяния. С1÷3 - счетчики телескопа; НС - нейтронный счетчик; Ф - формирователи, З - задержки; СС - схемы совпадений.





используется для мониторинга уровня случайных совпадений в "лр", для быстрой диагностики изменения эффективности канала в цепях С1, С2, С3, а также как дополнительная информация при обработке данных с учетом временного дрейфа эффективности аппаратуры. Сигнал НС\*Б определяет, в основном, уровень фона в измерительном зале и служит для мониторинга уровня случайных совпадений в "лр".

2/ Блок-схема электроники запуска искровых камер, киноаппаратов и индикации номера кадра на снимках показана на рис.5. В ней используется стандартный разветвитель, работающий в режиме совпадений сигнала "лр" и сигнала ворот ВП, соответствующего выводу пучка из ускорителя. С выходов разветвителя сигналы поступают на схему цифроиндикации, одновибратор ОВ запуска искровых камер и схему блокировки. Схема цифроиндикации<sup>18/</sup> высвечивает номер кадра на рабочем дисплее, расположенном около искровой камеры в поле зрения киноаппарата и на контрольном дисплее. Одновибратор ОВ формирует импульс длительностью 2 мкс, необходимой для надежного срабатывания генератора импульсов высокого напряжения /ГВИ/, который питает электроды искровых камер и выдает сигнал управления на схему запуска киноаппарата.

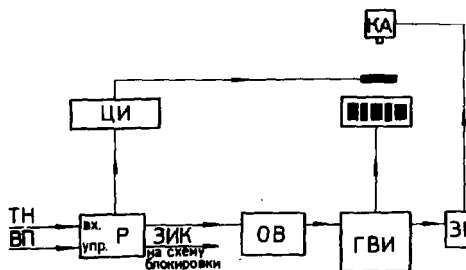
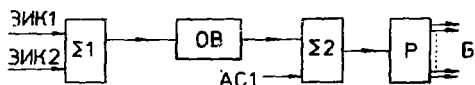


Рис.5. Блок-схема запуска искровых камер, киноаппаратов и цифроиндикации. ТН - сигнал запуска от быстрой электроники; ВП - сигнал ворот пучка; ЗИК - сигнал запуска искровой камеры. Р - разветвитель; ЦИ - схема цифроиндикации; ОВ - одновибратор; ГВИ - генератор высоковольтных импульсов; ЗК - схема запуска киноаппарата; КА - киноаппарат.

3/ Блокировка всех схем совпадений на 20 нс осуществляется при регистрации счетчиком антисовпадений АС1 заряженной частицы в пучке, и на 10 мкс, когда срабатывает любая из искровых камер /рис. 6/. Для этого в схеме "ИЛИ" суммируются сигналы запуска обеих искровых камер, на одновибраторе ОВ формируется импульс блокировки 10 мкс, который на схеме "ИЛИ" складывается с импульсом от пучкового счетчика антисовпадений АС1.

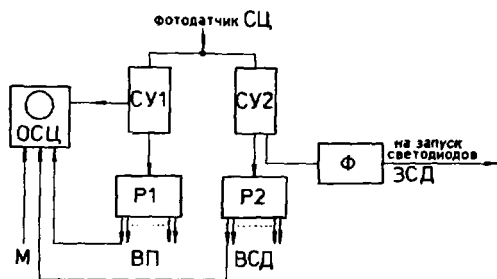
4/ В связи с небольшой частотой сигналов лр /~1 Гц/ возникает опасность того, что отказ или неисправная функция какой-



**Рис.6.** Схема блокировки быстрой электроники. ЗИК - сигналы запуска искровых камер; АС1 - сигнал пучкового счетчика антисовпадений; Б - сигнал блокировки;  $\Sigma$  - сумматоры; ОВ - одновибратор; Р - разветвитель.

нибудь схемы в логической цепи будет обнаружена слишком поздно и, таким образом, приведет к потере времени набора статистики. Чтобы избежать этого, мы использовали время между отдельными циклами ускорения для проверки электронной логики с помощью имитированных пр-событий /частота 167 Гц/. Имитация этих событий осуществляется вспышками светодиодов, установленных на всех счетчиках. Относительные задержки импульсов, поступающих на светодиоды, определены расчетным путем. Амплитуды импульсов установлены так, что вспышка светодиода эквивалентна вспышке света от регистрируемой частицы. Истинные и имитированные события считаются отдельно двоичными счетчиками, управляемыми сигналами ворот, описанными ниже. Большая частота имитированных событий обеспечивает немедленное обнаружение возникающих неисправностей. На рис. 7 представлена блок-схема запуска светодиодов и формирования импульсов ворот пучка /ВП/ и ворот светодиодов /ВСД/ для пересчетов, регистрирующих сигналы со схем совпадений. Для синхронизации используется сигнал фотодатчика, регистрирующего угол поворота вариатора В4 генератора синхроциклотрона. Этот сигнал подается параллельно на две схемы синхронизации от ускорителя СУ1, СУ2, на которых установлена длительность выходного сигнала -1 мс и такие за-

**Рис.7.** Блок-схема формирования ворот и запуска светодиодов. М - сигнал мониторингового счетчика; ВП - сигнал ворот пучка; ВСД - сигнал ворот светодиодов; СУ - схемы синхронизации от ускорителя; Р - разветвители; Ф - фотодатчик.



держки по времени, что сигнал ВП перекрывает время вывода пучка из ускорителя, а сигнал ВСД находится между двумя последующими выводами. Для установления задержек и их постоянного контроля используется сигнал одного счетчика мониторингового телескопа ТМ и осциллоскоп /рис.8/. От переднего фронта ворот ВСД формируются импульсы запуска светодиодов, которые подаются после нужного ослабления и задержки по времени на соответствующие светодиоды.

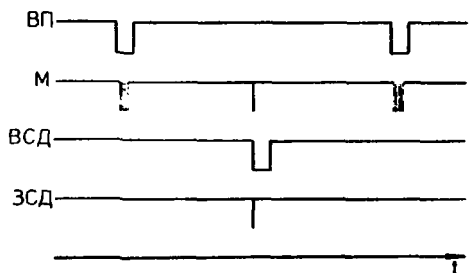


Рис.8. Временная диаграмма сигналов ворот пучка /ВП/, мониторингового счетчика (М), ворот светодиодов /ВСД/ и запуска светодиодов /ЗСД/.

5/ Для мониторингования потока нейтронов ток ионизационной камеры ИКМ преобразуется в серию импульсов ИКМ на преобразователе ДИГД. Эти импульсы преобразуются в уровни NIM и регистрируются пересчетом. Вторым монитором служит телескоп ТМ. Со схемы совпадений мониторингового телескопа ТМ снимается сигнал  $TM = M1 * M2 * M3 * ACM * \bar{B}$ , соответствующий образованию нейтронами быстрых заряженных частиц в конверторе. Измерение квазиупругого рассеяния нейтронов на сложных ядрах ППМ, которое осуществляется по сигналу  $pr_Q = T4 * HCO$ , является третьим монитором. Сигналы ТМ и  $pr_Q$  образуются при помощи логических цепей, аналогичных описанным в пункте 1 настоящего раздела.

Запись данных эксперимента. Для записи информации был использован крейт "Камак" с двоичными счетчиками, регистром для мониторингования поляризации мишени, таймером и регистрами констант.

Сигналы со всех схем совпадений установки поступают на двоичные счетчики. Одна часть счетчика открывается импульсом ворот ВП во время вывода пучка из ускорителя и регистрирует истинные события. Сюда выводятся сигналы  $pr$ , Т,  $HC * \bar{B}$  из всех четырех стандартных каналов, а также сигналы ТМ, ИК,  $pr_Q$  и специальный сигнал П. Сигнал П /паразитный/ служит для контроля установки ворот пучка ВП и сигнала блокировки Б. Он образуется на отдельной схеме совпадений. На один вход схемы поступает логическая сумма сигналов запуска светодиодов и сигналов

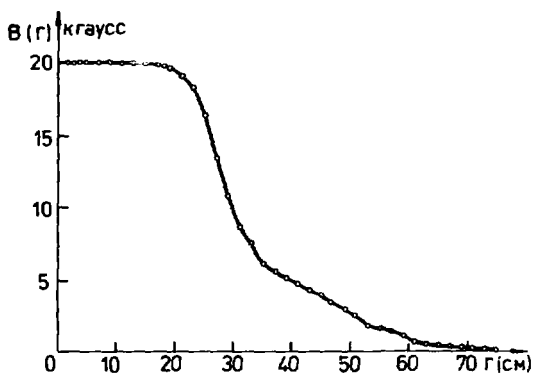
/наведенных разрядами искровых камер/ стандартного канала незапитанного ФЭУ, размещенного около искровых камер. На вход антисовпадений поступает сигнал блокировки Б. Нулевое показание счетчика, на вход которого поступает сигнал П, свидетельствует о правильной настройке ворот ВП и сигнала блокировки Б.

Вторая часть счетчиков открывается импульсом ворот ВСД и регистрирует имитируемые события. На эти счетчики выводятся сигналы  $pr$ ,  $pr_0$ , Т, ТМ.

Контроллер крейта связан с ЭВМ HP 2116C. Считывание данных происходит чаще, чем их запись на магнитный носитель /диск или ленту/. Одна запись /экспозиция/ содержит информацию заданного числа считываний крейта /минизкспозиций/, происходящих после установленного на таймере времени. В стандартном режиме набора статистики мы работали с 5 минизкспозициями длительностью 2 мин. на одну запись. Таким образом возникла возможность проводить достаточно часто измерения поляризации мишени и проверку логики с помощью сигналов от светодиодов, а в отдельных записях иметь разумную статистику  $pr$ -событий /статистическая ошибка - несколько процентов/. Величина минизкспозиции выбрана так, чтобы в промежутках между отдельными считываниями ЭВМ успевала выполнить стандартную обработку информации с крейта и запросы на работу факультативных программ /вывод разных гистограмм на дисплей и др./. Программа набора данных печатает протокол измерений с контрольной распечаткой записанных данных и диагностикой неисправного функционирования электронной логики или статистической несовместимости данных. Информация на магнитном носителе автоматически делится на блоки, соответствующие одинаковым условиям измерения. При изменении условий проводится автоматическое усреднение данных в законченном блоке.

### 3. ЮСТИРОВКА ДЕТЕКТОРОВ, ИЗМЕРЕНИЕ ИХ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

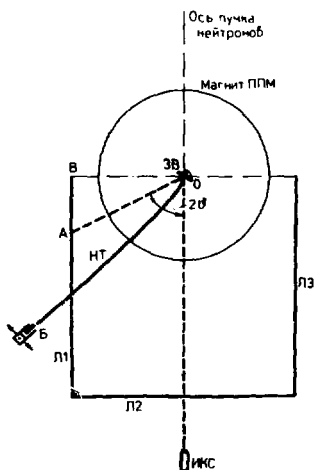
Юстировка счетчиков. Магнитное поле  $/2T/$ , необходимое для работы ППМ, осложняет определение положения протонных счетчиков. Для начальной их установки координаты  $x$  и  $z$  определялись двумя независимыми способами: расчетом траекторий протонов отдачи в магнитном поле ППМ и методом токонесущей нити<sup>17</sup>. Для проведения расчетов траекторий была промерена карта поля магнита ППМ с помощью датчика Холла в 150 точках в 50 разных расстояниях от центра магнита /рис.9/. При расчете траектории протона предполагалось, что между двумя точками, где измерено магнитное поле, протон движется по окружности, радиус которой соответствует среднему магнитному полю:  $rc = 0,3H\rho / p$  - импульс протона в МэВ/с,  $\bar{H}$  - среднее значение поля в кГс,  $\rho$  - радиус



**Рис. 9.** Карта магнитного поля протонной поляризованной мишени.

в см/. Проекция траектории в плоскости  $xz$  была нанесена на платформу установки.

Измерения с токонесущей нитью проводились по схеме, изображенной на **рис. 10**. Нить закреплялась в двух точках: в центре магнита ППМ и на радиусе 2,5 м, превышающем радиальное расстояние всех счетчиков от мишени. Нужный угол отдачи устанавливался с помощью вертикального зеркала, вращающегося вокруг вертикальной оси под действием рычага, к которому припаивана токонесущая нить. Угол поворота зеркала равен углу вылета



**Рис. 10.** Схема трассировки траекторий протонов отдачи методом токонесущей нити. ВЗ - вращающееся зеркало; НТ - нить с током; Б - блок; ИКС - источник коллимированного света; Л1÷3 - линейки; OA - луч света после отражения на ВЗ;  $\theta$  - выбранный угол отдачи в лабораторной системе.

протона отдачи из мишени. Зеркало отражало свет автоколлиматора, падающий на него в направлении, противоположном направлению нейтронного пучка. С помощью линеек Л1-Л3 по изображению отраженного от зеркала луча отсчитывался тангенс удвоенного угла поворота зеркала. Чтобы определить место установки детекторов, координаты  $x$ ,  $z$  трех точек траектории протона с заданным импульсом и углом вылета из мишени, имитированной нитью с током, были перенесены на установочную платформу с помощью отвесов.

В обоих подходах энергия налетающего нейтрона принималась равной 612 МэВ. Результаты определения координат  $x$ ,  $z$  положений протонных счетчиков очень хорошо совпали; расстояние между соответствующими точками, найденными двумя способами, были во всех случаях меньше 1 мм. Вертикальная юстировка счетчиков проводилась с помощью нивелира.

Юстировка оптики искровых камер. Для того, чтобы фотографировать симметрично на кадр вертикальную и горизонтальную проекции трека в камере, линзы Л1, Л2 /рис. 3/ устанавливались соответственно в горизонтальное и вертикальное положение. Зеркало ЗП1 было установлено под углом  $45^\circ$  к линзе Л2. Юстировка зеркал ЗП2, ЗП3 проводилась с помощью автоколлиматора, установленного вместо объектива в оправку на киноаппарате так, чтобы изображение креста автоколлиматора после отражения в центральной точке А на вспомогательном зеркале ЗВ попадало обратно в центр автоколлиматора /рис. 10/. Таким образом, обе проекции трека в И.К. фотографируются не под прямым углом, а под углом  $\alpha = 90^\circ - \arctg \frac{w}{2d} < 90^\circ$  /  $w$  - ширина камеры,  $d$  - расстояние между камерой и объективом/. Вычисленные поправки к измеряемым проекциям угла рассеяния протона на мишени внутри искровой камеры, а также поправки к сферическим углам, вычисленным из проекций, пренебрежимо малы по сравнению с погрешностями данных по анализирующей способности углерода.

Измерение эффективности нейтронных счетчиков. Большинство наладочных работ на нейтронном пучке было проведено с полиэтиленовой мишенью ( $\text{CH}_2$ ) такой же формы, как кристалл LMN поляризованной мишени, и ее безводородным /углеродным/ эквивалентом. Рассеяние на  $\text{CH}_2$ -мишени было использовано для решения следующих задач:

- 1/ выбор рабочих напряжений и задержек всех счетчиков;
- 2/ измерения амплитудных спектров счетчиков от протонов отдачи для подбора амплитуд вспышек светодиодов;
- 3/ проверка правильности позиций детекторов;
- 4/ оценка эффективности нейтронных счетчиков;
- 5/ выбор диафрагмы на киноаппаратах.

После того как были выбраны рабочие напряжения и задержки счетчиков, а также проверена правильность их установки, было

выполнено измерение эффективности нейтронных счетчиков и ее зависимости от длины сцинтиллятора. Эффективность нейтронного счетчика оценивали по формуле:

$$\epsilon = \frac{nr^{CH_2} - nr^C}{T^{CH_2} - T^C} \cdot \frac{\sigma_{tot}}{\sigma_{e1}}$$

где индексы  $CH_2$ ,  $C$  означают тип мишени,  $\sigma_{e1}$  - полное сечение упругого  $nr$ -рассеяния,  $\sigma_{tot}$  - полное сечение  $nr$ -взаимодействия. Результаты измерений эффективности нейтронных счетчиков представлены на рис. 11, где для сравнения показаны также расчетные эффективности<sup>8/</sup>. На основе полученной зависимости эффективности регистрации нейтронов от длины сцинтиллятора были выбраны рабочие размеры, приведенные в табл.2. Эффективности нейтронных счетчиков в рабочем режиме /после выбора оптимального напряжения ФЭУ для конкретных размеров сцинтиллятора/ также указаны в табл. 2.

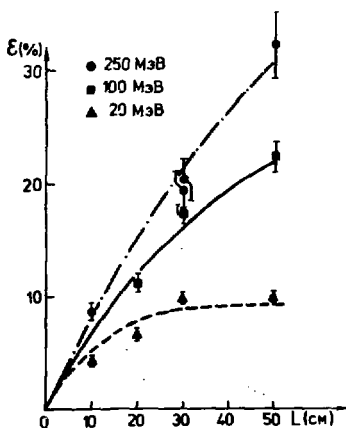


Рис.11. Эффективности нейтронных счетчиков в зависимости от длины сцинтиллятора. Кривые проведены по расчетным точкам<sup>8/</sup> при энергиях нейтронов  $T_n = 250, 100, 20$  МэВ и пороге регистрации  $T_{пор} = 30, 15, 7, 6$  МэВ для углов рассеяния  $\theta = 97, 130, 160^\circ$  с.ц.м., соответственно.

Измерение фона от сложных ядер, содержащихся в ППМ. Основная часть фона в данной установке дают два источника:

- а/ случайные совпадения сигнала протонного телескопа и нейтронного счетчика,
- в/ взаимодействие нейтронов со сложными ядрами вещества ППМ /в основном квазиупругое рассеяние на нуклонах ядер/.

Случайные совпадения измерялись на протяжении всего эксперимента, поскольку их уровень меняется в зависимости от интенсивности ускорителя. Измерение вклада в результате взаимодействий со сложными ядрами проводилось с неполяризованной мишенью (LMN)

и ее безводородным эквивалентом<sup>9/</sup>. Коэффициент  $K = N_{LMN} / N_H$  необходим для вычисления  $P_{пр}$ , определялся следующим образом:

$$K = \frac{N_{LMN}}{N_{LMN} - \alpha N_{DT}} = \frac{N_{LMN}}{N_H},$$

где  $N_{LMN}$ ,  $N_{DT}$  - нормированные на поток нейтронов количества событий, зарегистрированные при использовании соответствующих мишеней /за вычетом случайных совпадений/,  $\alpha = \frac{пр_{DT}^{LMN}}{пр_{DT}^Q}$  - множитель, учитывающий отличие эквивалента от мишени LMN. Здесь  $пр_{DT}^Q$ ,  $пр_{DT}^{LMN}$  - нормированные на поток нейтронов количества событий, зарегистрированные в совпадении T3\*HC0 от LMN и DT соответственно. Измерения фона от сложных ядер проводились трижды и дали повторяющиеся результаты /табл.3/.

Таблица 3

Коэффициент  $K = N_{LMN} / N_H$  отношения полного числа случаев рассеяния на ППМ к случаям рассеяния на водороде, содержащемся в ППМ

Канал	K	$\theta^\circ$ с.ц.м.
T1 HC1	1,60±0,10	123,4
T2 HC2	1,29±0,02	159,6
T3 HC3	1,36±0,02	129,5
T4 HC4	1,70±0,10	97,4

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанная установка для измерения поляризации и параметра D в упругом  $пр$ -рассеянии проработала в эксперименте на синхротронном ОИЯИ свыше 500 ч. Установка обеспечила измерение параметра D на двух углах рассеяния 130 и 160° /с.ц.м./ на статистике  $10^6$  фотографий и измерение поляризации на четырех углах рассеяния /98, 123, 130 и 160° с.ц.м./ в одном эксперименте. В течение эксперимента мы убедились в полезности разработанной схемы регистрации световых вспышек от светодиодов, размещенных на всех ФЭУ установки. Эта схема в сочетании с диагностическими средствами программы набора данных обеспечивала быстрое определение момента нарушения работы электронной логики и соответственно быстрое устранение неисправности.



В заключение авторы считают своим приятным долгом поблагодарить Б.Ж.Залиханова за плодотворные обсуждения и помощь в работе, Н.И.Журавлева за наладку связи контроллера крейта "Камак" с ЭВМ, А.И.Гилева за обеспечение работы ЭВМ НР 2116С во время сеансов, В.С.Киселева - за плодотворные обсуждения, В.Р.Абазову и Т.Д.Тимофееву - за оформление рисунков и рукописи.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Глонти Л.Н. и др. ОИЯИ, Р1-6387, Дубна, 1972.
2. Парфенов Л.Б., Неганов Б.С. ОИЯИ, 13-4143, Дубна, 1968.
3. Киселев В.С. и др. ЖЭТФ, 1958, 35, с.812.
4. Борейко В.Ф. и др. ОИЯИ, 13-6396, Дубна, 1972.
5. Антюхов В.А. и др. ОИЯИ, 10-11636, Дубна, 1978.
6. Синаев А.Н., Стэхин А.А. ОИЯИ, 13-4859, Дубна, 1969.
7. Козодаев М.С., Тяпкин А.А. ПТЭ, 1956, №1, с.21.
8. Телегин Н.Н. Препринт ХФТИ, 77-19, Харьков, 1977.
9. Šech J. et al. Nucl.Instr.&Meth., 1968, 63, p.83.
10. Киселев Ю.Ф., Матафонов В.Н. ОИЯИ, Р13-10101, Дубна, 1976.

Рукопись поступила в издательский отдел  
8 февраля 1980 года.