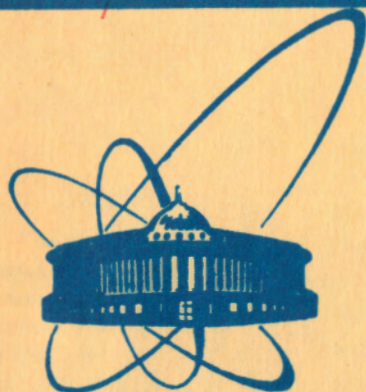


1587/82

5/IV-8.



**сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна**

P13-81-857

**Б.Н.Ананьев, А.М.Балагуров, В.И.Горделий,
Г.Ф.Жиронкин, В.Е.Новожилов, Е.Я.Пикельнер,
В.Д.Шibaев**

**ДВУХКООРДИНАТНЫЙ ДЕТЕКТОР
ДЛЯ НЕЙТРОННОГО ДИФРАКТОМЕТРА
ПО ВРЕМЕНИ ПРОЛЕТА**

1. Конструкция и испытания

1981

1. ВВЕДЕНИЕ

Традиционная нейтронная дифрактометрия монокристаллов заключается в измерении с помощью "точечного" детектора интенсивности рассеянного образцом монохроматического пучка. В обратном пространстве кристалла при этом наблюдается малый объем /объем разрешения/, величина которого определяется апертурой детектора и степенью монохроматичности пучка нейтронов и обычно составляет около 10^{-6} \AA^{-3} . Структурная информация о кристалле накапливается в результате сканирования окрестности некоторого числа узлов обратной решетки, реализуемого с помощью малых перемещений образца и детектора.

Процедура последовательного сканирования обычно приводит к большой продолжительности эксперимента, поэтому в последнее время быстро развиваются методы, позволяющие заменить последовательную регистрацию дифракционной функции на параллельную, т.е. наблюдать не точку, а сразу некоторую область обратного пространства. Параллельную регистрацию можно осуществить, если использовать позиционно-чувствительный детектор /ПЧД/, или "белый" спектр нейтронов в сочетании с методом времени пролета, или то и другое вместе. В литературе уже описаны нейтронные дифрактометры с одно-/1/ и двухкоординатными /2/ ПЧД, дифрактометры по времени пролета /3/, а также установки, сочетающие метод времени пролета с многосчетчиковыми системами /4/, или однокоординатными детекторами /5,6/. Проблемы, возникающие при увеличении размерности дифракционных спектров, не позволили пока реализовать трехмерную дифрактометрию кристаллов, т.е. регистрацию непрерывного по длине волны спектра нейтронов двухкоординатным ПЧД, однако проекты таких установок имеются /7,8/. Для их осуществления требуется наличие импульсного источника нейтронов и двухкоординатного ПЧД с необходимым электронным обеспечением, а также совершенная система накопления, хранения и оперативной обработки больших массивов экспериментальных данных.

В настоящей работе описываются конструкция и принцип действия разработанного и изготовленного в ЛНФ ОИЯИ двухкоординатного детектора, предназначенного для использования на дифрактометре по времени пролета ДН-2 на мощном импульсном источнике нейтронов ИБР-2 /9/, а также результаты его испытаний. Основной экспериментальной задачей, планируемой на ДН-2, является

ся структурный анализ сложных, в том числе биологических /белковых/ кристаллов. Эта задача имеет ряд особенностей, обсуждаемых ниже. В отдельной статье будет описана электроника детектора и система накопления информации на базе малой ЭВМ и внешней памяти большого объема.

2. ОСОБЕННОСТИ ДИФРАКТОМЕТРИИ СЛОЖНЫХ КРИСТАЛЛОВ

Применение двухкоординатного детектора на нейтронном дифрактометре по времени пролета позволяет осуществить трехмерное сканирование некоторого объема обратного пространства, причем без каких-либо поворотов кристалла и детектора^{/7/}. Величина наблюдаемого объема зависит от телесного угла $\Delta\Omega$, охватываемого детектором, и от ограничений на минимальное и максимальное значение регистрируемых векторов обратного пространства. Последнее связано с уменьшением интенсивности нейтронного потока при больших и малых длинах волн. Если средний угол Брэгга θ_0 не мал, наблюдаемый объем есть

$$\Delta v^* \approx \frac{2}{3} (\lambda_{\min}^{-3} - \lambda_{\max}^{-3}) \sin^2 \theta_0 \Delta\Omega, \quad /1/$$

где λ_{\min} , λ_{\max} - границы рабочего интервала спектра нейтронов. Число узлов обратной решетки, содержащихся в Δv^* , практически не зависит от ориентации образца и составляет

$$n = \Delta v^* / v_c^*, \quad /2/$$

где $v_c^* = 1/v_c$, v_c - объем элементарной ячейки кристалла. Для $\lambda_{\min} = 2\text{Å}$, $\lambda_{\max} \gg \lambda_{\min}$, $\theta_0 = 45^\circ$, $\Delta\Omega = 2 \cdot 10^{-2}$ объем Δv^* составит 10^{-8}Å^{-3} и для кристалла с периодом 50Å одновременно будет наблюдаться около 100 узлов обратной решетки.

Полное число наблюдаемых "элементов" обратного пространства значительно больше и определяется разрешающей способностью дифрактометра. Разрешение дифрактометра описывается функцией $R(\vec{H} - \vec{H}')$, дающей относительный вес различных точек \vec{H}' обратного пространства при проведении измерения интенсивности рассеяния в точке \vec{H} . В общем случае^{/10/} сечение функции R на некотором уровне является трехмерным асимметричным эллипсоидом. Для определения объема эллипсоида разрешения достаточно знать дисперсии функции R по временной и двум пространственным координатам, которые легко оцениваются по параметрам дифрактометра и кристалла. Разрешение по временной координате в основном определяется длительностью импульса τ источника нейтронов и величиной пролетного расстояния L . При $L = 25 \text{ м}$ и $\tau = 150 \text{ мкс}$ /параметры дифрактометра ДН-2/ для регистрации нейтронов в диапазоне от 2 до 10Å необходимо иметь около 10^3 ка-

налов временного анализатора, для того, чтобы конечная ширина канала не ухудшала временного разрешения.

Для оценки требуемого пространственного разрешения детектора следует учесть, что угловая ширина дифракционных пиков от сложных кристаллов определяется их мозаичностью и составляет величину около 2° . Регистрация в пределах ширины пика нескольких угловых точек возможна таким образом при пространственном разрешении 0,5 см и расстоянии от образца до детектора 1 м.

При указанных временном и позиционном разрешении полное число элементов гистограммы экспериментальных данных, регистрируемых даже в сравнительно малом телесном угле, оказывается очень большим /порядка 10^6 для $\Delta\Omega=2 \cdot 10^{-2}$ ср/. Однако в структурных экспериментах не требуется подробного измерения профиля дифракционных пиков, достаточно определить их интегральную интенсивность. В этом случае разрешающая способность дифрактометра может быть адаптирована к изучаемой структуре^{/11/}, что позволяет регистрировать информацию в оперативной памяти, объемом которой определяется числом одновременно измеряемых пиков. Обычно для определения фона и обработки частично перекрывающихся дифракционных пиков достаточно иметь 4-8 точек на каждой стороне параллелепипеда, в который вписан пик. При этом для регистрации информации о 100 дифракционных пиках нужно иметь не более 51200 ячеек оперативной памяти.

На основе приведенных оценок были сформулированы требования к техническим характеристикам детектора для структурного анализа сложных кристаллов, а также к системе накопления и обработки информации.

3. ДЕТЕКТОР

3.1. Конструкция детектора

В литературе описаны несколько типов нейтронных газовых ПЧД, различающихся по наполнению, способу выделения сигнала и по методу определения координат области взаимодействия нейтрона с наполняющим детектор газом^{/13,2,14/}. Наш двухкоординатный нейтронный детектор, далее обозначаемый ДНД, во многом похож на детектор, описанный в работе^{/2/}, который также предназначался для проведения дифракционных экспериментов со сложными кристаллами.

ДНД является многонитевой пропорциональной камерой матричного типа, наполненной смесью ^3He и Ar и имеющей три /анодную и две катодных/ электродных плоскости, с выходом каждой катодной нити на отдельный электронный тракт. Детектор /рис.1/ смонтирован на плите из нержавеющей стали толщиной 2,3 см и диамет-

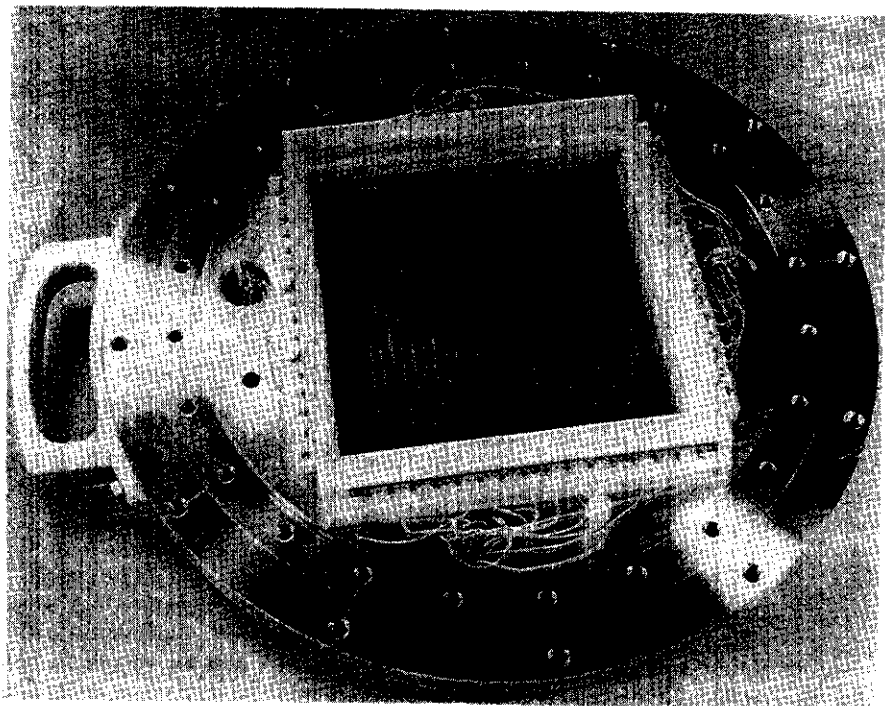


Рис.1. Многонитевой двухкоординатный детектор со снятой передней крышкой. Видны тefлоновая рама с электродами, многостырьковые разъемы, высоковольтный ввод.

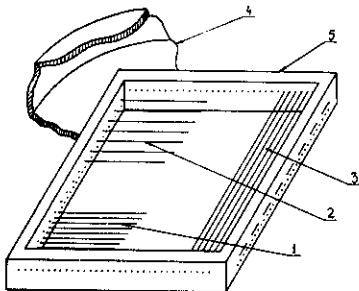
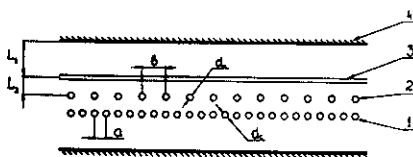


Рис.2. Схема расположения электродов детектора. 1 и 3 - катодные нити, 2 - анод, 4 - корпус детектора, 5 - рама для крепления нитей.



ром 38,2 см. На плите закреплены тефлоновые колодки с электродами, высоковольтный ввод для подачи напряжения на анодную нить, и четыре герметичных многотырьковых разъема для вывода сигналов с катодных нитей. Тефлоновая рама с электродами образует квадрат со стороной 16,5 см, который является чувствительной областью детектора. Геометрия расположения электродов в камере схематически представлена на рис.2. В качестве анодной плоскости /2/ используется вольфрамовая нить диаметром $d_a = 50$ мкм, натянутая зигзагообразно с шагом $b = 1$ см. С двух сторон анодной плоскости расположены две катодные плоскости, нити которых идут параллельно /1/ и перпендикулярно /3/ анодным, они изготовлены из бериллиевой бронзы диаметром $d_c = 100$ мкм и натянуты с шагом $a = 0,5$ см. Катоды, параллельные анодам, делятся на четные, идущие вдоль анодной нити, и нечетные, идущие в промежутках между двумя анодными нитями. Для выравнивания электрического поля крайние /1-я и 32-я/ катодные нити обеих плоскостей имеют диаметр 200 мкм. Каждая катодная нить проходит через медные посеребренные втулки, закрепленные в тефлоновых колодках, и припаивается к ним. Натяжение нити регулируется с помощью гайки, накрученной на одну из втулок. От этой же втулки катодная нить выведена на многотырьковый разъем типа 2РМГ. Крышка детектора изготовлена из дюралюминия и представляет собой полый цилиндр с внутренним диаметром 29 см и высотой 2,65 см. Толщина крышки над рабочей областью детектора составляет 1,0 см. Расстояние между электродными плоскостями $L_2 = 0,5$ см, расстояние между катодными плоскостями и корпусом /4/ детектора $L_1 = 0,75$ см.

С внешней стороны плиты прикреплен корзина, в которой размещены 64 предусилителя сигналов с катодов, объединенных по 8 штук на одной плите, и предусилитель сигнала с анода, а также схема подачи высокого напряжения на анод и напряжения смещения на катоды. При работе на пучке нейтронов детектор помещается в защиту, выполненную из гранулированного полиэтилена и карбида бора.

3.2. Физические основы работы детектора

Рабочим газом в детекторе является смесь ^3He и аргона, т.е. регистрация нейтрона основана на хорошо известной $^3\text{He}(n, p)^3\text{H}$ реакции. Большое поперечное сечение реакции $/\sigma = 53276$ при $\lambda = 1,8 \text{ \AA}/$ и возможность использовать высокое давление гелия обеспечивают хорошую эффективность регистрации нейтронов. Добавление аргона необходимо для уменьшения пробегов продуктов ядерной реакции. Так, пробег протона, в основном определяющий протяженность области ионизации, уменьшается

с 3,3 см при 2,5 атм ^3He без аргона до 0,31 см при 2,5 атм ^3He и 3,5 атм $\text{Ar} / 12 /$.

Распределение потенциала внутри многонитевой камеры можно рассчитать точно для той ее части, где катоды идут параллельно анодной нити. Можно показать /см., например, /2/ /, что для оценок величины поля и межэлектродных емкостей достаточным является приближение параллельных плоскостей. Оказывается, что емкость анод - корпус существенно меньше емкости анод - катоды, и, следовательно, большая часть скачка потенциала, образовавшегося на аноде в результате сбора электронов из облака ионизации, передается на катодные нити. В первом приближении можно считать, что величина заряда, наведенного на катодных нитях, будет пропорциональна телесному углу, под которым видна данная нить из точки сбора заряда на аноде. Для катодов, параллельных анодам, телесный угол слабо зависит от координаты вдоль участка анодной нити, на которой произошел сбор заряда, и, наоборот, резко зависит от расстояния между катодом и данным участком анода. Поэтому амплитудный спектр сигнала с таких катодов должен иметь форму, аналогичную форме анодного амплитудного спектра, т.е. с достаточно резко выраженным пиком, соответствующим энергии реакции $^3\text{He}(n,p)^3\text{H}$ 0,764 МэВ. Для катода, перпендикулярного аноду, телесный угол зависит от координаты вдоль участка анодной нити непрерывным образом, поэтому амплитудный спектр сигнала с этих катодов не будет иметь выраженного пика. В любом случае при сборе заряда на аноде на катодных нитях будут выделены сигналы, амплитуды которых убывают с увеличением расстояния между точкой сбора заряда и данным катодом. Производя дискриминацию этих сигналов снизу, можно выделить некоторое число вертикальных и горизонтальных катодов, ближайших к месту захвата нейтрона, и таким образом определить x и y координаты события.

3.3. Электроника детектора*

Предварительное усиление сигналов с катодов производится зарядо-чувствительными усилителями с низким уровнем шума, расположенными непосредственно на детекторе. Далее сигналы поступают на модули усилитель - дискриминатор - формирователь, с выхода которых снимаются две группы по 32 логических сигнала и подаются на блок кодирования. Функциями блока кодирования являются определение номеров одновременно сработавших катодных

* Здесь приведено только краткое описание функциональной схемы электроники. Более подробно см. часть 2 этой работы.

нитей и вычисление номера средней в этой группе нити. Одновременное появление сигналов с нескольких групп нитей, разделенных промежутками из несработавших нитей, вызывает блокирование дальнейшего прохождения сигнала. Номера средних в группах горизонтальных и вертикальных нитей, представленные в виде пятиразрядных кодов, считаются координатами N_x и N_y события и используются далее для записи информации в запоминающее устройство.

При исследовании характеристик детектора с помощью Po - Be нейтронного источника для накопления двумерной (x, y) -гистограммы данных использовался малогабаритный анализатор в стандарте КАМАК с памятью 4К слов. При работе на пучке нейтронов от импульсного реактора одновременно с позиционными регистрировалась и временная координата события, т.е. проводился трехмерный анализ рассеянных нейтронов. В этом случае в состав электронного обеспечения входил временной кодировщик и выходное устройство, формировавшее из кодов x , y и t координат 17-разрядное слово, которое являлось адресом ячейки запоминающего устройства. В качестве накопительной системы использовался модуль на базе ЭВМ СМ-3 с внешней памятью 128К слов. Комплекс программ обеспечивал просмотр на дисплее накопленных спектров, запись на внешние носители для хранения, формирование из последовательности одномерных спектров таблиц, представляющих информацию в трехмерном виде.

Электроника детектора обладает следующими временными характеристиками: ширина импульса с предусилителя - 3 мкс, время обработки сигналов с группы сработавших нитей - 2 мкс, время передачи кода адреса ячейки памяти - 36 мкс, цикл обращения к памяти - 1,2 мкс. Большое время передачи адреса связано с тем, что он передается последовательным кодом с синхронизацией по двухпроводной линии связи. Переход на передачу адреса параллельным кодом позволит снизить это время до 2 мкс. Применение буферной памяти для разравнивания информации во времени также позволяет регистрировать события с интервалом 2 мкс. Таким образом, работа детектора с просчетами на уровне 3% возможна при загрузке $1,5 \cdot 10^4$ н/с.

4. ИСПЫТАНИЯ ДЕТЕКТОРА

В ходе испытаний детектора выяснялись его спектроскопические характеристики /амплитудные спектры с анода и катодов, временные соотношения между сигналами/, определялся режим работы /величины высокого напряжения на аноде и катодах, уровни дискриминации/, проверялась работа цифровых схем по формированию кодов событий и системы накопления информации, измеря-

лась разрешающая способность по пространственным координатам, регистрировались трехмерные дифракционные спектры от монокристаллов.

Состав рабочего газа детектора в течение испытаний был следующим: 670 мм ^3He , 5 атм Ar , 34 мм CO_2 . Все спектры измерялись при напряжениях на аноде $U_a = +3200$ В и катоде $U_k = +200$ В относительно корпуса детектора. Расположение детектора было таким, что анодные нити шли горизонтально, поэтому катоды, параллельные анодам, называются далее горизонтальными, они определяют y -координату; катоды, перпендикулярные анодам, называются вертикальными, они определяют x -координату.

4.1. Спектроскопические характеристики

Распределения амплитуд импульсов с анода от Po-Be источника нейтронов, γ -источника ^{22}Na и шумов электроники представлены на рис.3а. Несмотря на то, что энергетическое разрешение не достигает величин, обычно получаемых на ^3He -детек-

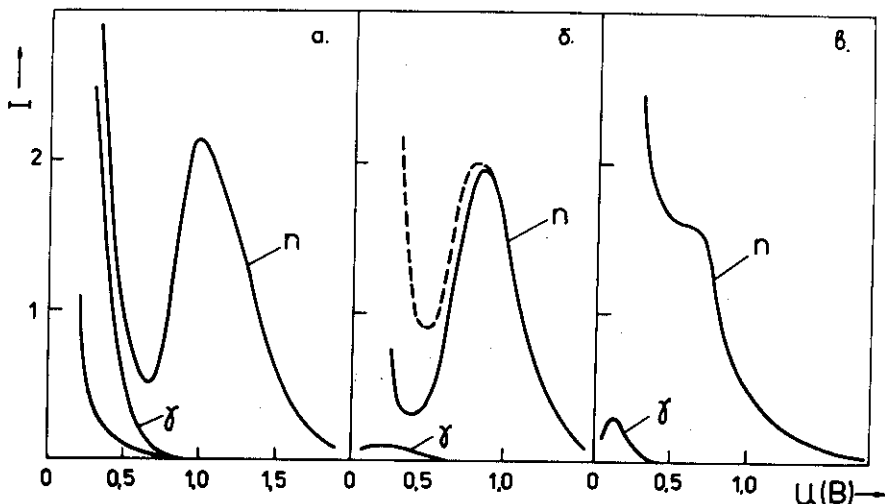


Рис.3. Амплитудные спектры с анода /а/, горизонтального /б/ и вертикального /в/ катодов. n - спектр от нейтронного Po-Be источника, γ - спектр от γ -источника ^{22}Na . Для анодного спектра приведено амплитудное распределение шумов электроники. Катодные спектры измерены в режиме совпадений с анодным сигналом при пороге дискриминатора 0,7В. Для горизонтального катода пунктиром приведен исходный спектр /без режима совпадений/.

торах, видно, что при выборе порога дискриминации 0,7 В детектор будет обладать как высокой эффективностью, так и малой чувствительностью к γ -лучам. Аналогичные распределения импульсов с горизонтальных и вертикальных катодов показаны на рис.3б,в. Как отмечалось выше, распределение сигналов с вертикальных катодов, идущих перпендикулярно анодам, не имеет явно выделенного пика. Видно также, что при работе в режиме совпадений с анодным сигналом вклад γ -фона в распределение катодных импульсов мал.

Интересную информацию дает наблюдение катодного амплитудного спектра в режиме совпадений с соседними катодными нитями. На рис.4а,б представлены спектры в режиме совпадений с четной и нечетной катодными горизонтальными нитями соответственно. Видно, что при установке порога катодных дискриминаторов на уровне 0,2 В в первом случае одновременно срабатывают три нити - четная и две соседние нечетные, во втором случае срабатывают пять нитей: нечетная и по две нити с каждой ее стороны. Последний эффект может быть однако простой суперпозицией срабатывания двух групп из трех нитей с общей нечетной нитью. При определении эффективности регистрации событий каждой нитью

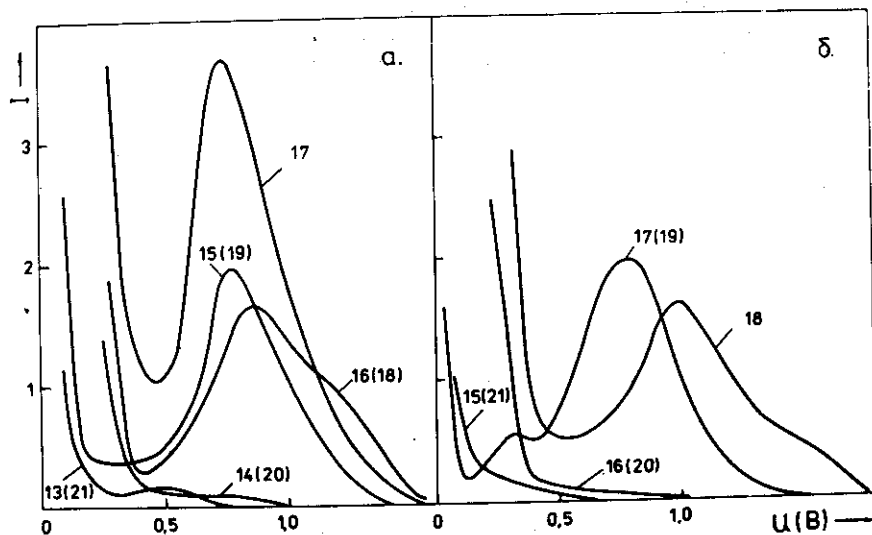


Рис.4. а. Амплитудные спектры с горизонтальных катодов, измеренные в режиме совпадений с сигналом с катода №17 при пороге дискриминатора 0,5 В. Приведены спектры с катодов 13÷21. б. То же, что на рис.4а, но совпадения с сигналом с катода 18 при пороге дискриминатора 0,6 В. Приведены спектры с катодов 15÷21.

выяснилось, что именно эта суперпозиция имеет место. При примерном равенстве эффективностей регистрации событий вертикальными и горизонтальными катодами среднее число одновременно срабатывающих вертикальных катодов равно трем.

4.2. Эффективность регистрации

Эффективность регистрации нейтронов в том или ином месте детектора определяется несколькими факторами: вероятностью того, что нейтрон пройдет через переднюю стенку камеры, вероятностью его захвата ядром ^3He , вероятностью превышения порогов дискриминаторов анодным и катодными сигналами, а также способом логического отбора одной катодной нити из нескольких сработавших. Алюминиевое входное окно толщиной 1 см изотропно рассеивает около 9% нейтронов, половина из которых попадает затем в камеру, увеличивая фон. Вероятность регистрации детектором определяется парциальным давлением гелия и длиной волны нейтрона. Ограничения на величину давления ^3He связаны с механической прочностью камеры и необходимостью иметь достаточное количество аргона для уменьшения длины пробега протонов реакции. При полном давлении в камере 6 атм и давлении аргона 3,5 атм /пробег протонов около 0,31 см/ 2,5 атм ^3He обеспечивает эффективность регистрации нейтронов 0,63 при $\lambda = 2\text{Å}$ и 0,86 при $\lambda = 4\text{Å}$.

При настройке усилителей и дискриминаторов электронных трактов выяснилось, что изменение порога дискриминации по какой-либо катодной нити и, следовательно, изменение вероятности ее срабатывания, влияет на число событий, регистрируемых соседними нитями, что связано с работой системы выделения одной нити из группы сработавших. Оказалось, в частности, что нечетные горизонтальные нити срабатывают существенно реже, чем четные. Это легко объясняется, если предположить, что основная часть образовавшегося в процессе ионизации заряда регистрируется одной анодной нитью и, таким образом, нечетные катоды почти никогда не являются средними в группе одновременно сработавших нитей. В случае срабатывания двух соседних анодов сигнал, выделяющийся на горизонтальном катоде, расположенном между ними, оказывается слишком мал, и регистрация блокируется. Таким образом в выбранном режиме работы из 32 горизонтальных катодов необходимую эффективность имели только 16 четных, и везде ниже результаты, относящиеся к у-координате, получены для 16 нитей, идущих через 1 см.

Выравнивание эффективности регистрации по рабочей площади ДНД проводилось с помощью подбора коэффициентов усиления предусилителей таким образом, чтобы амплитудные спектры, регистри-

руемые с катодных нитей одной плоскости, были идентичны. Дальнейшая настройка проводилась с помощью регулировки уровня дискриминации сигналов. В результате для распределения разброса эффективности, измеренного с помощью равномерной засветки поверхности детектора широко расходящимся пучком, получена форма, близкая к гауссовой, с эмпирическим среднеквадратичным отклонением 6%, при этом 86% площади распределения соответствует отклонениям от средней эффективности не более, чем на 14%. Отношение суммы отсчетов от всех нитей какой-либо плоскости к числу отсчетов от анода определяет вероятность срабатывания данной плоскости при регистрации нейтрона и составляет 0,94 для горизонтальных и 0,93 для вертикальных катодов.

4.3. Разрешающая способность детектора

Пространственное разрешение детектора определяется двумя факторами: расстоянием между катодными нитями и протяженностью облака первичной ионизации. Как отмечалось выше, интервалы между нитями выбирались исходя из требуемого углового разрешения около 20°. Протяженность облака ионизации определяется в основном пробегом R_p протона, который примерно в два раза больше пробега тритона и составляет около 0,25 см для смеси газов, использовавшейся в ходе испытаний. При однородной ионизации ширина облака составляет $\sqrt{2}R_p$, а для распределения ионизации в соответствии с кривой Брэгга этот вклад в пространственное разрешение детектора равен $1,2R_p^{1/2}$. В любом случае до тех пор, пока ширина облака первичной ионизации не превышает расстояния между катодными нитями l_c , ширина функции разрешения, т.е. зависимости счета какой-либо катодной нити от положения δ -образного пучка нейтронов, будет равна l_c .

Для иллюстрации позиционной чувствительности детектора на рис.5 приведено распределение отсчетов по горизонтальным и вертикальным нитям в области попадания пучка нейтронов сечением 1,0x1,0 см.

Оценка разрешающей способности была проведена с помощью сканирования по поверхности ДНД монохроматическим пучком нейтронов, полученным путем отражения от монокристалла Zп и сформированным щелями из кадмия до ширины 0,5 см. На рис.6 приведены сечения регистрируемого трехмерного распределения при фиксированных (N_y, N_t) и (N_y, N_x) . Обработка измеренных распределений дала для позиционного разрешения детектора величины $\Gamma_x = 0,6$ см и $\Gamma_y = 1,1$ см, что практически равно расстояниям между горизонтальными и вертикальными катодами соответственно. Обращает на себя внимание большая ширина гистограммы отсчетов по N_x на малом уровне ~ 5 см на уровне 0,01%. Этот эффект при-

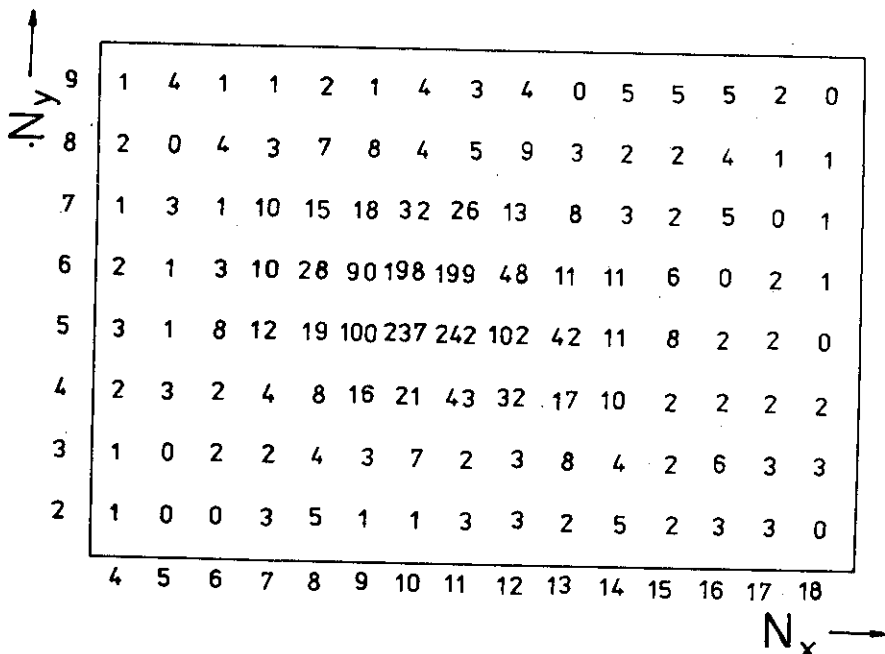


Рис.5. Распределение отсчетов детектора по N_x и N_y в области попадания пучка нейтронов сечением $1,0 \times 1,0$ см. Ширина канала по N_x 0,5 см, по N_y 1 см.

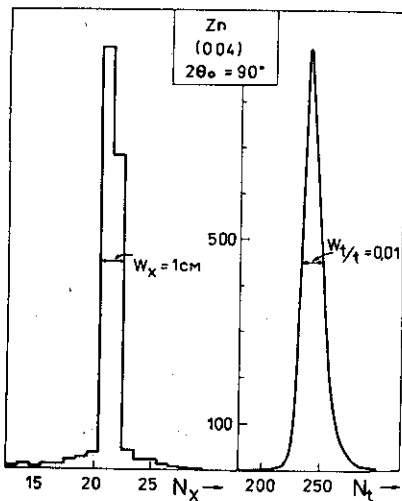


Рис.6. Одномерные сечения трехмерного дифракционного пика от монокристалла Zn при узкой /0,5 см/ вертикальной щели на детекторе.

мерно в равной степени обязан рассеянию на передней и задней стенках детектора и должен существенно уменьшиться при увеличении давления ^3He до номинального.

4.4. Регистрация трехмерных нейтрограмм

При работе на пучке нейтронов от импульсного реактора детектор помещался на поворотной платформе дифрактометра по времени пролета $3/$. Регистрация трехмерных нейтрограмм была проведе-

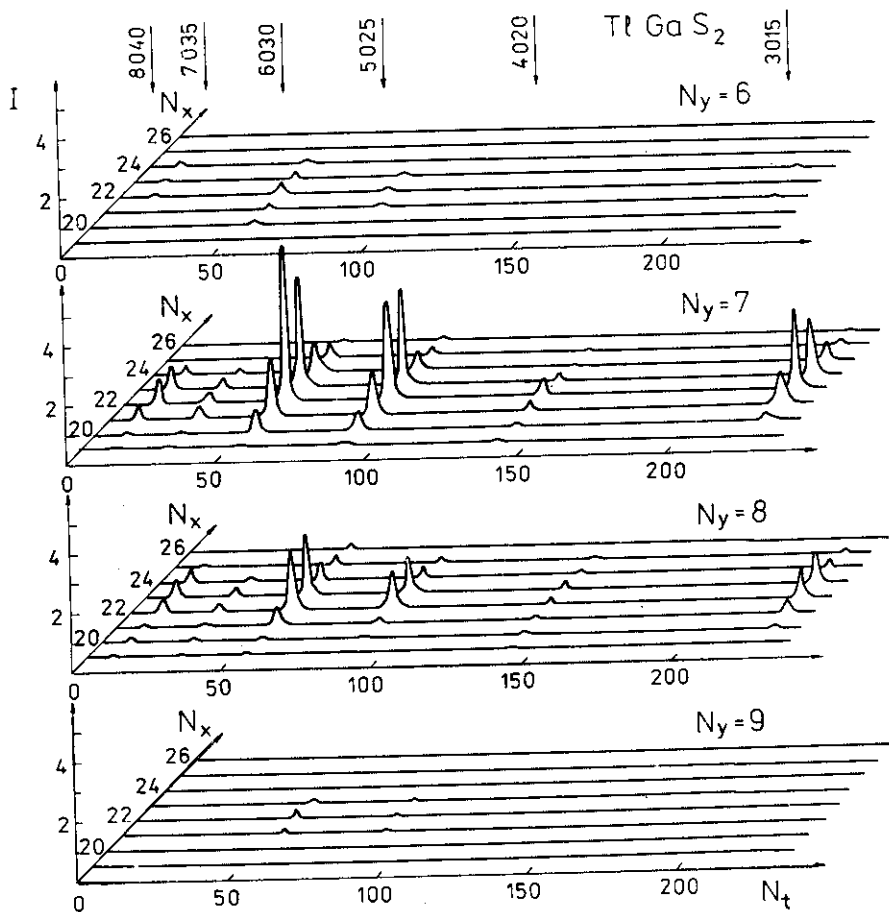


Рис. 7. Двумерные сечения трехмерной нейтрограммы от монокристалла $TiGaS_2$. Ширина канала по N_t 128 мкс, угловые интервалы по N_x $0,5^\circ$, по N_y 1° , задержка запуска временного анализатора относительно импульса мощности реактора - 16 мс.

на для ряда монокристаллов: Zn , KD_2PO_4 и $TlGaS_2$. Для сегнетоэлектрика KD_2PO_4 наблюдался переход из пара- в сегнетоэлектрическое состояние с образованием системы доменов. При этом регистрировались дифракционные спектры, аналогичные измеренным в работе /6/ с помощью однокоординатного детектора, с дополнительной возможностью наблюдения расщепления узлов обратной решетки вдоль сегнетоэлектрической оси. Однако, как и следовало ожидать исходя из симметрии элементарной ячейки этого кристалла, расщепление узлов решетки происходило лишь в (b_1, b_2) -плоскости.

В кристалле $TlGaS_2$ сверхструктурное искажение вдоль оси C решетки приводит к тому, что период по этому направлению составляет около $60\text{Å}^{15/}$ и наблюдается большое число порядков отражения для рефлексов с $l \neq 0$. На рис.7 приведено несколько двумерных сечений /при фиксированном N_y / трехмерной нейтронogramмы в районе нахождения узлов типа $(h 0 5h)$. На рисунке изображена лишь 1/16 часть всего наблюдавшегося объема, в котором присутствовало около 60 дифракционных пиков.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные испытания двухкоординатного детектора показали, что в основном его характеристики соответствуют предпологавшимся. Обнаружившаяся малая эффективность нечетных горизонтальных катодов может быть исправлена путем уменьшения расстояния между анодными нитями до 0,5 см. За время работы около 1 года, потребовавшегося на наладку электроники детектора и системы регистрации информации, не произошло сколько-нибудь заметного уменьшения эффективности детектора, что говорит об удовлетворительной технологии его изготовления. Принцип, использованный для определения координат места регистрации нейтрона в детекторе, потребовал изготовления большого количества /по одному на каждую катодную нить/ усилительных и формирующих каскадов, требующих к тому же тщательной предварительной настройки. Это, однако, окупается их сравнительной простотой, быстродействием, а также удобством анализа поступающих с нитей сигналов.

Таким образом, двухкоординатный позиционно-чувствительный детектор, основные характеристики которого приведены в таблице, может быть использован на нейтронном дифрактометре для проведения структурных экспериментов с монокристаллами.

Таблица

Характеристики двухкоординатного детектора

1. Объем области регистрации	16,5x16,5x2,5 см ³
2. Состав газа	2,5 атм ³ He, 3,5 атм Ar, 45 мм рт.ст. метана
3. Эффективность регистрации для $\lambda = 4\text{\AA}$	0,86
4. Количество позиционных каналов	32x16=512
5. Позиционное разрешение	0,6x1,1 см
6. Позиционная однородность эффективности	6%
7. Длительность импульса с предусилителя	3 мкс
8. Время обработки сигнала	2,0 мкс
9. Загрузка при просчетах менее 3%	10 ⁴ н/с.

Авторы искренне благодарят Э.П.Липипенко, принимавшего участие в изготовлении детектора, В.Г.Тишина, И.П.Барабаша, В.А.Вагова, Г.Н.Зимица, А.И.Островного и И.М.Саламатина, внесших большой вклад в создание электроники детектора и системы накопления информации, Г.П.Жукова за постоянное внимание к работе, а также Г.М.Миронову, создавшую ряд программ для ЭВМ, А.И.Бескровного, Б.Н.Савенко, Ле Кат Тьонг и В.Ю.Беззаботнова, принимавших участие в испытаниях детектора.

Авторы благодарны В.И.Луцикову за предложение начать работу над детектором и за постоянную поддержку, Ю.М.Останевичу, оказавшему большую помощь на всех этапах работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Eder O.J., Kunsh B., Westphal G.P. Nucl.Instr. and Meth., 1977, 141, p.533.
2. Alberi J. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1975, 127, p.507.
3. Ананьев Б.Н. и др. ПТЭ, 1979, 2, с.55.
4. Vindryavskiy V.A. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1981, 180, p.79.
5. Niimura N. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1980, 173, p.517.
6. Балагуров А.М. и др. ОИЯИ, P13-80-440, Дубна, 1980.
7. Балагуров А.М. и др. ОИЯИ, Б1-3-9011, Дубна, 1975;
Bally D. et al. IFA, FN-48, Bucharest, 1975.
8. Carpenter J.M. et al. ANL-78-88, Argonne, Illinois, 1978.
9. Ананьев В.Д. и др. ПТЭ, 1977, 5, с.8.
10. Stoika A.D. Acta Styst., 1975, A31, p.193.

11. Балагуров А.М. и др. ОИЯИ, P14-12840, Дубна, 1979.
12. Northcliffe L.S., Schilling R.F. Nucl.Data, 1970, A7, p.233.
13. Meardon B.H., Salter D.C. RHEL/R 262, Harwell, 1972.
14. Allemand R. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1975, 126, p.29.
15. Балагуров А.М., Длоуга М., Миронова Г.М. ОИЯИ, P14-11981, Дубна, 1978.

Рукопись поступила в издательский отдел
30 декабря 1981 года.