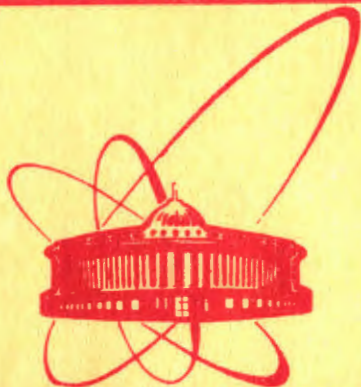


A-674



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

6438/2-81

28/11-81

18-81-426

Ю.С.Анисимов, Ю.В.Заневский, А.Б.Иванов,
С.А.Мовчан, В.Д.Пешехонов, С.П.Черненко,
М.Е.Андрианова, А.Н.Попов, В.И.Симонов,
Д.М.Хейкер

КООРДИНАТНЫЙ
РЕНТГЕНОВСКИЙ ДИФРАКТОМЕТР
НА ОСНОВЕ ДВУХКООРДИНАТНОЙ
ПРОПОРЦИОНАЛЬНОЙ КАМЕРЫ
И ДВУКРУЖНОГО ГОНИОМЕТРА

Направлено в "Journal of Applied
Crystallography"

1981

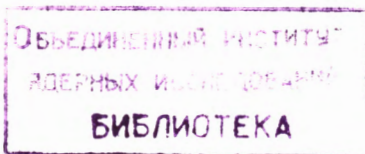
1. ВВЕДЕНИЕ

Параллельное измерение интенсивности одновременно возникающих дифрагированных лучей от монокристаллов с большими периодами решетки приводит к ускорению эксперимента более чем на порядок при таком же уменьшении дозы облучения образца^{/1,2/}. Это позволяет исследовать нестабильные объекты, уменьшить число необходимых для исследования образцов и их величину, исследовать кристаллы при меньшей степени радиационного повреждения и тем самым дополнительно ускорить эксперимент и повысить его точность. Здесь следует отметить, что повышение интенсивности первичного пучка или расширение спектрального интервала /в энергодисперсионных дифрактометрах/ ускоряет съемку, но не уменьшает дозы. Параллельное измерение многих отражений от кристаллов с большими периодами требует высокого углового разрешения и достаточно большого телесного угла, в котором регистрируется дифракционная картина, то есть эффект ускорения эксперимента будет определяться числом элементов пространственного разрешения детектора.

В настоящее время исследуются возможности четырех типов координатных дифрактометров для монокристаллов: 1/ с плоской многократной пропорциональной камерой МПК /128x128 элементов/ ^{/3,4/}; 2/ с цилиндрическим мозаичным детектором /128x4 элементов^{/5/}/; 3/ с МПК со сферическим дрейфовым промежутком /240x480 элементов/^{/6/}; 4/ со сцинтилляционным детектором телевизионного типа /300x300 элементов/^{/7/}. Для дифрактометров первого и второго типов работы вышли из стадии методической разработки; при использовании соответствующих приборов получены полные наборы для многих белковых монокристаллов с высоким разрешением, достигнуто ускорение эксперимента в 10-30 раз^{/8,9/}. Дифрактометры второго и третьего типов имеют фиксированное угловое разрешение.

Предельные величины периодов решетки для $\text{CuK}\alpha$ равны 92 Å по X и Y, 190 Å по Z, $d_{\min} = 2$ Å /для второго типа/, 153 Å по X и Y, 77 Å по Z, $d_{\min} = 2,2$ Å /для третьего типа/. Дифрактометры со сцинтилляционным детектором имеют некоторые недостатки аналоговых систем^{/7/}.

Важнейшее преимущество координатных дифрактометров с плоской пропорциональной камерой - ее гибкость: возможность увеличения углового разрешения Δ при сокращении разрешения съемки



$\frac{1}{d_{\min}} = \frac{2 \sin \Theta_{\max}}{\lambda}$ и увеличения разрешения съемки при ухудшении углового разрешения соответственно при увеличении и уменьшении расстояния R от образца до детектора. Основной недостаток - ухудшение углового разрешения при косом падении дифрагированных пучков. При расположении камеры таким образом, чтобы ее центральная часть касалась сферы Эвальда, угловое расширение отражения на краях камеры, где угол падения $\alpha = \Theta_{\max}$, составит

$$\Delta_{\alpha} = \frac{t \operatorname{tg} \alpha \cos^2 \alpha}{R} = \frac{t}{2L} \left(\frac{\lambda}{d_{\min}} \right) \quad //1/$$

здесь t - эффективная толщина камеры; L - размеры камеры; λ - длина волны рентгеновского излучения. Уменьшить эффект косого падения путем увеличения давления в камере и, как следствие, уменьшить t практически невозможно из-за большой площади окна; уменьшить λ нельзя вследствие падения эффективности, уменьшить разрешение съемки $\frac{1}{d_{\min}}$ невыгодно. Остается путь увеличения размеров камеры.

Рассматриваемый в данной работе координатный дифрактометр КАРД-3 с отпаянной рентгеновской трубкой создан на базе плоской МПК размером $350 \times 350 \times 10 \text{ мм}^3 / 10/$.

2. УСТРОЙСТВО ДИФРАКТОМЕТРА

Блок-схема дифрактометра КАРД-3 показана на рис.1. В состав дифрактометра входят автоматический рентгеновский детектор АРД-1, гониометрическое устройство от координатного дифрактометра КАРД-1^{5/}, высоковольтный стабилизированный источник питания рентгеновской трубки ВИП-50-60, управляющая ЭВМ СМ-2.

Основой дифрактометра КАРД-3 является многоканальный автоматический рентгеновский детектор АРД-1^{11/}, состоящий из:

- плоской двухкоординатной многопроволочной пропорциональной камеры /со съемом информации с линий задержки/ размером $350 \times 350 \times 10 \text{ мм}^3$ с системой газового обеспечения и высоковольтного питания;
- электронной аппаратуры регистрации и обработки данных с МПК, устройств сопряжения с ЭВМ СМ-2 по программному и инкрементному каналам и системы представления данных на ТВ-мониторе.

Дифракционная картина накапливается в буфере ОЗУ ЭВМ емкостью $256 \times 256 = 65\text{К}$ 16-разрядных слов. АРД-1 имеет следующие основные параметры: число элементов пространственного разрешения 250×200 , эффективность регистрации излучения $\text{CuK}_{\alpha} \sim 70\%$, временное разрешение $\sim 0,5 \text{ мкс}$.

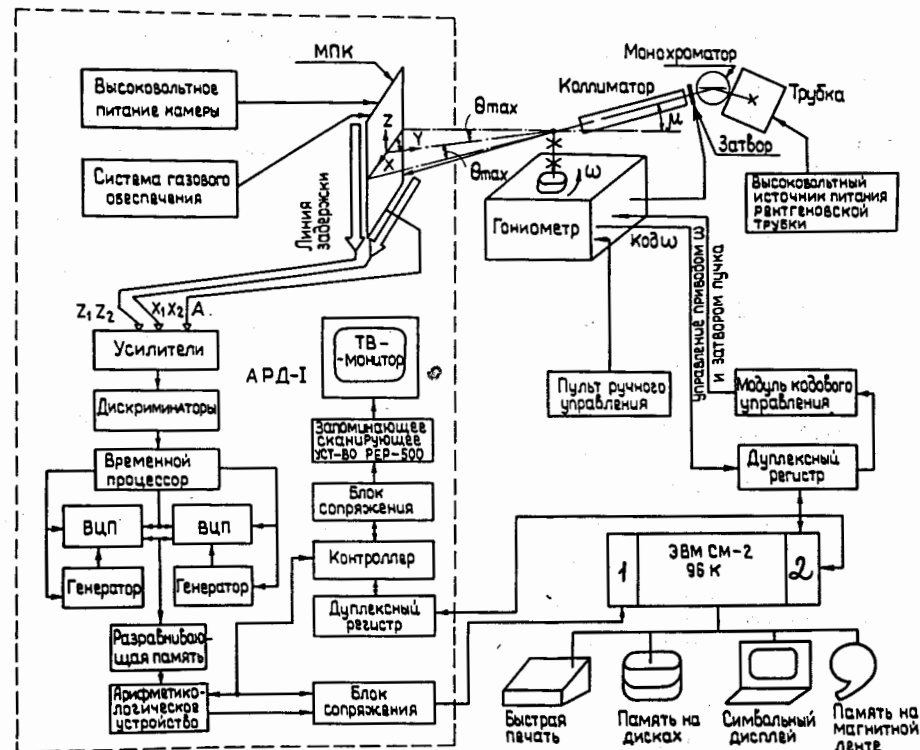


Рис.1. Блок-схема координатного дифрактометра. Пунктиром выделен автоматический рентгеновский детектор АРД-1.

Программируемое арифметико-логическое устройство /АЛУ/ позволяет выбрать как зону в МПК, так и поле в памяти ЭВМ, установить величину дискретизации запоминаемой дифракционной картины /256x256, 128x128 и т.д./ заданием соответствующего коэффициента "сжатия". Дифракционная картина, накопленная в памяти ЭВМ, может быть показана на ТВ-мониторе с указанной выше дискретностью, с 8 градациями яркости. Согласование быстрого действия ЭВМ и стандартного телевизора производится с помощью запоминающего сканирующего устройства РЕР-500^{12/}. Пропорциональная камера устанавливается таким образом, чтобы ее плоскость была параллельна оси вращения кристалла ω^* и составляла угол $90^\circ - \Theta_{\max}$ с первичным пучком при $\mu = 0$. При $\mu = 0$ первичный пучок попадает на правый край камеры в средний по высоте элемент. Нормаль Y, восстановленная из центра камеры, лежит в эква-

* ω, γ, μ, ν - стандартные обозначения углов для наклонной геометрии съемки.

ториальной плоскости гониометра, пересекает центр гониометра и составляет с первичным пучком при $\mu=0$ угол γ_0 , равный Θ_{\max} . Камера имеет юстировочные смещения по двум направлениям в плоскости X и Z и юстировочные повороты вокруг оси X и нормали. Координаты X и Z в камере следующим образом связаны с углами γ и ν :

$$\begin{aligned} X &= R \operatorname{tg}(\gamma - \gamma_0) + X_0, \\ Z &= R \frac{\operatorname{tg} \nu}{\cos(\gamma - \gamma_0)} + Z_0. \end{aligned} \quad /2/$$

В свою очередь ν , γ , ω определяются индексами hkl и матрицей ориентации UB:

$$\begin{aligned} \nu &= \arcsin(\lambda Z + \sin \mu), \\ \gamma &= \arcsin \frac{\cos^2 \nu + \cos^2 \mu - \lambda^2(X^2 + Y^2)}{2 \cos \nu \cos \mu}, \\ \omega &= \arcsin \frac{\lambda^2(X^2 + Y^2) + \cos^2 \mu - \cos^2 \nu}{2\lambda \sqrt{X^2 + Y^2} \cos \mu} + \arcsin \frac{Y}{X}. \end{aligned} \quad /3/$$

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = UB \begin{pmatrix} h \\ k \\ l \end{pmatrix}.$$

Камера устанавливается на расстояниях 300, 500 и 750 мм от образца. При наклоне первичного пучка на углы $\mu = \pm \Theta_{\max}$ и вращении кристалла вокруг оси ω на 360° может быть снята верхняя или нижняя полусфера ограничения с $2\Theta_{\max}$, равным 58° , 38° и 25° . Тангенс угла падения будет пропорционален расстоянию рефлекса от центра камеры. Наклон первичного пучка на угол μ производится с точностью $\pm 0,02^\circ$.

Управляющая ЭВМ имеет два независимых процессора, оперативную память 96К 16-разрядных слов, память на двух магнитных дисках /2 диска по 3 Мбайта каждый/, устройства ввода-вывода /символьный дисплей, быструю печать, устройство считывания с перфоленты и перфоратор/, память на магнитной ленте. ЭВМ сопряжена с аппаратурой несколькими каналами: поток информации с МПК поступает в режиме инкрементации в оперативное запоминающее устройство /в буфер 256x256 слов/ через согласующий блок и процессор 1; управление электронной регистрирующей аппаратурой и телевизионным монитором производится процессором 2 через дуплексный регистр и контроллер крейта КАМАК, таким же образом

передается в ТВ-монитор дифракционная картина накопления в памяти ЭВМ; управление гониометром осуществляется также процессором 2 через модуль кодового управления, а величина углового кода ω поступает в ЭВМ через дуплексный регистр и процессор 2. В быстрой памяти /с циклом 300 нс/ процессора 1 сформирована специальная инкрементная команда, посредством которой за время ~ 4 мкс в ячейку памяти с адресом X·Z, соответствующим координатам зарегистрированного события, добавляется единица. Синхронизация работы процессора 1 в инкрементном режиме и электронной аппаратуры МПК производится в блоке сопряжения, передача данных ведется по асинхронному принципу. Таким образом, предельная скорость счета в МПК составляет 250000 импульсов в секунду. Использование быстрой разравнивающей памяти большой емкости /16 событий/ позволяет иметь величину потерь счета при максимальной скорости счета $\sim 25\%$. Потери счета определяются в основном разрешающим временем МПК.

Сигналы, поступающие из ЭВМ в гониометр, включают и выключают затвор первичного пучка, включают и выключают шаговый двигатель привода, реверсируют вращение кристалла и изменяют скорость вращения. Из гониометра в ЭВМ поступает 14-разрядный циклический используемый для контроля за накопленной ошибкой код с фотоэлектрического преобразователя угол-код, установленного непосредственно на валу ω .

3. СХЕМА ИССЛЕДОВАНИЯ КРИСТАЛЛОВ В ДИФРАКТОМЕТРЕ

Параметры элементарной ячейки кристалла определяются вне дифрактометра. Грубая ориентировка кристалла может производиться в координатном дифрактометре оптическим методом или с помощью телевизионного монитора. Юстировка вдоль оси гониометрической головки производится методами, применяемыми в дифрактометрах с наклонной геометрией: по отражениям $00l$ для кристаллов нетриклинной сингонии и по отражениям $hk0$ для триклинных кристаллов /13/. Определение ω_0 производится путем нахождения максимума интенсивности сильного отражения с известными индексами. Повороты счетчика в обычном дифрактометре на углы γ и ν заменяются программой, выдающей на дисплей интенсивности в области 9×9 элементов вблизи точки с заданными X и Z. Для отъюстированного кристалла рассчитывается предварительный список индексов hkl , упорядоченный по интервалам $\Delta\omega_1 = 0,1^\circ - 0,3^\circ$, и заносится в память на магнитном диске. Во время вращения кристалла в интервале $\Delta\omega_1$ в оперативной памяти ЭВМ накапливается дифракционная картина. Одновременно с дисков вызываются индексы hkl для 5 интервалов $\Delta\omega$, расположенных симметрично относительно $\Delta\omega_{i2}$. С помощью уточненной

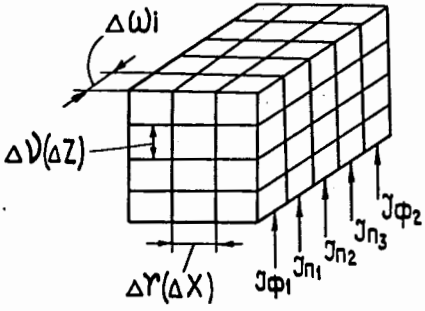


Рис.2. Измерение интегральной интенсивности в дифрактометре.

матрицы ориентации UB по этим hkl составляется уточненный список hkl для интервала $\Delta\omega_{i+2}$. Для этих hkl из $\Delta\omega_{i+2}$ рассчитываются координаты X_{hkl}, Z_{hkl} центра рефлекса. Вблизи центра каждого рефлекса производится суммирование в областях $n \times m$ элементов / n и m изменяются от 3 до 7 в зависимости от расстояния до центра камеры по X и Z /. Таким образом, для этих рефлексов в интервале $\Delta\omega_i$ будет измерен фон слева $J_{\phi 1}$. Уточненный список hkl для $\Delta\omega_{i+2}$ проходит последовательно через

четыре таблицы, в которые помимо hkl заносятся последовательно суммы $J_{\phi 1}$ при измерении в $\Delta\omega_i$; $J_{\phi 1}, J_{\pi 1}$ для $\Delta\omega_{i+1}$; $J_{\phi 1}, J_{\pi 1+\pi 2}$ для $\Delta\omega_{i+2}$; $J_{\phi 1}, J_{\pi 1+\pi 2+\pi 3}$ для $\Delta\omega_{i+3}$. После получения в интервале $\Delta\omega_{i+4}$ пятой суммы $J_{\phi 2}$ проводится контроль за перекосом фона $J_{\phi 1} - J_{\phi 2} < n \sqrt{J_{\phi 1} + J_{\phi 2}}$, рассчитываются интегральная интенсивность $J_{\text{инт}} = J_{\pi 1+\pi 2+\pi 3} - \frac{3}{2}(J_{\phi 1} + J_{\phi 2})$ и ста-

тистическая ошибка $\sigma = \sqrt{J_{\pi 1+\pi 2+\pi 3} + \frac{9}{4}(J_{\phi 1} + J_{\phi 2})}$ и вместе с индексами hkl и признаком перекоса фона τ заносятся в пятую таблицу. По мере завершения цикла измерений в пяти интервалах hkl, $J_{\text{инт.}}$, σ , τ соответствующих отражений запоминаются на диске. При описанной методике интегральная интенсивность измеряется в 27-147 элементах обратного пространства $\Delta\gamma \times \Delta\nu \times \Delta\omega$ с размерами, приблизительно равными $0,2^\circ \times 0,2^\circ \times 0,2^\circ$, расположенных вблизи расчетного положения центра узла обратной решетки. Первые два размера определяются из компромисса между необходимой степенью разрешения соседних порядков и разрешением съемки $1/d_{\text{min}}$. Величина $\Delta\omega_i$ устанавливается таким образом,

чтобы число отражений с $\Delta\omega > 3\Delta\omega_i$ было малым. Фон измеряется в 18-98 элементах, смещенных по ω влево и вправо от узла /рис.2/. Методика напоминает процедуру измерения интегральной интенсивности в 512-канальном дифрактометре КАРД-1 /5/. Для введения поправки на дрейф 1 раз в час запоминается число анодных импульсов в счетчике за время прохождения заданных интервалов $\Delta\omega$.

После завершения съемки кристалла производится первичная обработка полученных данных, включающая введение поправки на дрейф и поправочных множителей Лоренца поляризации, учет поглощения, усреднение эквивалентных отражений, объединение массивов,

вычисление модулей структурных амплитуд и весов, редактирование и упорядочение по hkl, статистический анализ /14/. Результаты первичной обработки запоминаются на магнитной ленте и используются для определения и уточнения в ЭВМ структуры следующей ступени.

Для введения поправки на дрейф намеченные интервалы исследуются заранее в течение короткого промежутка времени. В этих интервалах измеряется также интенсивность отражений для контроля за распадом кристалла. Для введения поправки на поглощение по Филлипсу предварительно получают интегральные кривые пропускания.

Уточнение матрицы ориентации производится путем нахождения X, Z, ω для максимумов 10-15 отражений, расположенных в двух областях ω , различающихся приблизительно на 90° . Для этого регистрируются дифракционные картины от неподвижного кристалла с шагом $\Delta\omega = 0,05^\circ /3/$.

4. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ КООРДИНАТНОГО ДИФРАКТОМЕТРА

Возможность отдельного измерения интегральной интенсивности соседних отражений, регистрируемых в пропорциональной камере, определяется расстоянием между рефлексами, равным $\frac{\lambda R}{a \cos^2 \alpha}$,

и размерами пятен, зависящими от пространственного разрешения камеры Δ_N , отклонения дифрагированного пучка от нормали на угол $\alpha - \Delta\alpha$, расходимости дифрагированных пучков κ и размеров образца P. Суммарную величину $\Delta_{N,\alpha}$ можно получить исходя из кривых разрешения наклоненных пучков /11/. $\Delta_{N,\alpha}$ определяется в основном размытием косых пучков /1/. Приравняв расстояние между пятнами и их размеры на краях камеры $\alpha = \Theta_{\text{max}}$ получим предельную величину параметра ячейки исследуемого кристалла a_{max} для данного расстояния между образцом и камерой:

$$a_{\text{max}} = \frac{\lambda \cdot R}{\Delta_{N,\alpha,\kappa,P} \cos^2 \Theta_{\text{max}}} = \frac{\lambda \cdot R}{\Delta_{N,\alpha} \cos^2 \Theta_{\text{max}} + R \kappa + P \cos \Theta_{\text{max}}} \quad /4/$$

Ускорение съемки в координатном дифрактометре пропорционально a_{max}^2 и квадрату разрешения съемки $(\frac{1}{d_{\text{min}}})^2 = (\frac{2 \sin \Theta_{\text{max}}}{\lambda})^2$. При увеличении R пропорционально увеличивается a_{max} и уменьшается

$\frac{1}{d_{\text{min}}}$, поскольку $\Theta_{\text{max}} = \arctg \frac{L}{2R}$. В табл.1 приведены величины d_{min} и a_{max} для различных расстояний между образцом и детектором и величин $\kappa / P = 0,4 \text{ мм/}$.

На рис.3а показано разделение отражений от монокристалла белка леггемоглобина $\alpha = 27^\circ$, $R = 275 \text{ мм}$ при измерении интен-

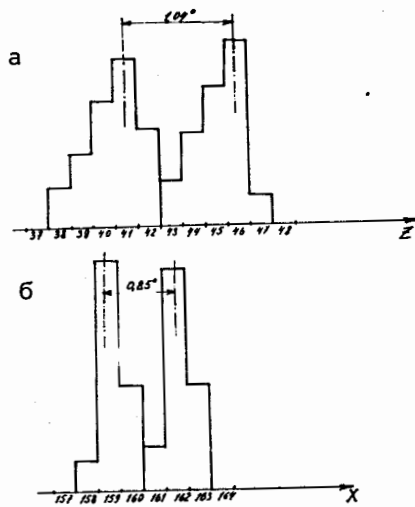


Рис.3. Разрешение отражений от монокристалла леггемоглобина при сдвиге камеры: а/ на пять элементов для периферийного отражения, $\alpha = 27^\circ$, и б/ на три элемента для центрального отражения, $\alpha = 5^\circ$.

сивности в 5×5 элементах. Разделение получено при сдвиге камеры на 5 элементов, эквивалентном расстоянию между соседними порядками для $a_{\max} = 84 \text{ \AA}$, что согласуется с данными табл.1 при $R = 300 \text{ мм}$, $\kappa = 0,15^\circ$, $P = 0,4 \text{ мм}$. В середине камеры 5 элементов соответствуют большему в $\frac{1}{\cos^2 \alpha}$

углу и $a_{\max} = 63 \text{ \AA}$. Размер пятна в середине камеры быстро убывает и, чтобы сохранить разрешение соседних отражений, следует в зависимости от расстояния до центра камеры уменьшать число элементов, в которых суммируется интенсивность. На рис.3б показано разделение центральных отражений ($\alpha = 5^\circ$) при измерении интенсивности в 3×3 элементах, $a_{\max} = 103 \text{ \AA}$.

Таблица 1

Разрешение съемки $\frac{1}{d_{\min}} = \frac{2 \sin \theta_{\max}}{\lambda}$, размер пятен $\Delta_{N, \alpha, \kappa, \rho}$ в элементах изображения и предельная величина параметров ячейки a_{\max} в зависимости от расстояния между образцом и детектором R и расходимости дифрагированного пучка κ

R мм	300	500	750	
$2 \theta_{\max}^\circ$	58	38	25	
$d_{\min} \text{ \AA}$	1,6	2,5	3,5	
$\Delta_{N, \alpha, \kappa, \rho}$	$\kappa = 0,08^\circ$	-	-	3,0
	$\kappa = 0,15^\circ$	5,4	4,3	3,8
	$\kappa = 0,3^\circ$	6,0	5,3	5,3
	$\kappa = 0,5^\circ$	6,8	6,6	7,3
$a_{\max} \text{ \AA}$	$\kappa = 0,08^\circ$	-	-	320
	$\kappa = 0,15^\circ$	84	150	253
	$\kappa = 0,3^\circ$	76	122	181
	$\kappa = 0,5^\circ$	67	98	132

Таблица 2

Сравнение вычисленных и измеренных координат центра для пучка, проходящего через центр гониометра

γ°	-20	-15	-10	-5	-4	-2	0	2	4	5	10	15	20	25	29
Z аксп.	-74,42	-54,52	-35,73	-17,37	-13,78	-6,89	0	7,01	14,20	17,76	35,61	54,53	74,22	95,22	113,43
Z выч.	-74,25	-54,44	-35,61	-17,55	-13,95	-6,90	0	6,90	13,95	17,55	35,61	54,44	74,25	95,40	113,66
ΔZ	0,17	0,08	0,12	-0,18	-0,17	-0,01	0	-0,11	-0,25	-0,21	0	-0,09	0,03	0,18	0,23
$\Delta \gamma^\circ$	0,04	0,02	0,03	-0,04	-0,04	0	0	-0,02	-0,05	-0,05	0	-0,02	0,01	0,03	0,04

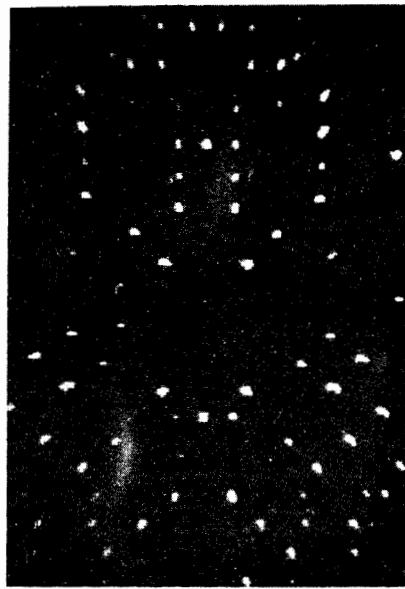


Рис.4. Дифракционная картина от кристалла леггемоглобина. Снимок с экрана ТВ-монитора.

Точность измерения интегральных интенсивностей определяется однородностью эффективности детектора и стабильностью во времени. При смещении первичного пучка по камере путем наклона на μ и измерении его интенсивности в группе 3×3 элемента изображения была получена одна и та же величина интенсивности с отклонением $\pm 1\%$; падение эффективности на краях камеры из-за большего поглощения в воздухе компенсируется большим поглощением наклоненных пучков в эффективном объеме. Для пучков с сечением, большим $0,5$ мм, поглощением в проволочках переднего ка-

тода $\phi 50$ мкм, расположенных после 2-мм дрейфового промежутка, можно пренебречь ¹⁰/10/. Неоднородность ширины каналов /относительное среднеквадратичное отклонение/, измеренная с помощью радионуклида ⁵⁵Fe, составляет $\delta_x = 2\%$, $\delta_y = 4\%$. Неоднородность ширины каналов в группе 3×3 элемента мала / $< 2\%$ /, но и ее влияние исключается при измерении пика и фона в одних и тех же элементах.

Суммарная нестабильность эффективности камеры и первичного пучка определяется большей нестабильностью рентгеновского аппарата и при введении поправки на дрейф не превышает $0,5\%$.

Вместо поворота обычного счетчика на углы γ и ν в наклонном дифрактометре в координатном дифрактометре область из p хм элементов смещается на X и Z , см. выражение /2/. При введении поправки, зависящей от ν и $(\gamma - \gamma_0)$, положение центра тяжести рефлекса можно рассчитать с отклонением от измеренного, не превышающим $\pm 0,25$ элемента изображения / $\pm 0,35$ мм/, независимо от положения рефлекса в камере /табл.2/. Такая ошибка в предсказании центра тяжести рефлекса не приводит к ошибке в измерении интегральной интенсивности, большей $\pm 2\%$, при измерении ее в 3×3 элементах.

При вращении пластинчатого кристалла леггемоглобина общая загрузка камеры вследствие изменения множителя поглощения плавно изменялась в пределах $\pm 15\%$. Колебания загрузки в результате изменения числа и интенсивности отражений в пределах $\Delta\omega = 0,5^\circ$

не превышает $\pm 4\%$. Таким образом, при введении поправки по числу импульсов, зарегистрированных в интервале $\Delta\omega$, пересчетным устройством в цепи анодной плоскости, ошибка из-за потерь счета не превысит 1% .

На рис.4 приведена дифракционная картина от ориентированного кристалла леггемоглобина, полученная при вращении кристалла в интервале $\Delta\omega = 2^\circ$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Создаваемый на базе плоской МПК дифрактометр КАРД-3 имеет большое число элементов разрешения, высокую эффективность регистрации рентгеновского излучения и хорошее быстродействие. Данные параметры позволяют значительно сократить время съемки монокристаллов белков. Используемый способ съема информации с МПК делает дифрактометр относительно простым и надежным в работе. В дальнейшем временное разрешение МПК будет сокращено в несколько раз, что даст возможность проводить исследования с помощью синхротронного излучения.

В заключение авторы выражают искреннюю благодарность академику Б.К.Вайнштейну и члену-корреспонденту АН СССР А.М.Балдину за внимание и интерес к работе, Л.Г.Макарову за поддержку при создании автоматического рентгеновского детектора АРД-1.

ЛИТЕРАТУРА

1. Arndt U.W. Acta Crystallogr., 1968, B24, No.10, p.1355-1357.
2. Хейкер Д.М. Кристаллография, 1978, 23, №6, с.1288-1302.
3. Xuong N.H. et al. Acta Cryst., 1978, A34, p.289-296.
4. Мокульская Т.Д. и др. Препринт ИАЭ-3369/15, М., 1980.
5. Вайнштейн Б.К. и др. Кристаллография, 1975, 20, №4, с.829-836.
6. Kahn R. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1980, 172, p.337-344.
7. Arndt U.W., Gilmore D.Y. J.Appl.Cryst., 1979, 12, p.1-9.
8. Xuong N.H. et al. In: Abstracts Fourth European Crystallographic Meeting, Oxford, 1977.
9. Арутюнян Э.Г. и др. In: Abstracts Sixth European Crystallographic Meeting. Barcelona, 1980, p.324.
10. Anisimov Yu.S. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1981, 179, p.503.
11. Анисимов Ю.С. и др. ОИЯИ, 18-80-569, Дубна, 1980.
12. PER-500, Lithocon Solid Image Memory/Scan Converter. Princeton Electronic Products Inc., 1976.
13. Хейкер Д.М. Рентгеновская дифрактометрия монокристаллов. "Машиностроение", Л., 1973.
14. Шультейстер В.М. В сб.: Аппаратура и методы рентгеновского анализа. "Машиностроение", Л., 1981, №25, с.147-151.

Рукопись поступила в издательский отдел
14 октября 1981 года.