

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

5441/82

15/71-82

P14-82-591

Ю.В.Заневский, В.Д.Пешехонов, С.П.Черненко

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ  
КООРДИНАТНЫЕ ДЕТЕКТОРЫ  
РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ  
НА ОСНОВЕ ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫХ КАМЕР  
(обзор)

Направлено в Оргкомитет II Всесоюзного семинара  
по автоматизации научных исследований  
в ядерной физике и смежных областях  
/Новосибирск, 1982/

1982

## ВВЕДЕНИЕ

Среди наиболее крупных методических достижений физики высоких энергий, играющих важную роль в создании новых эффективных и безопасных методов медицинской диагностики, в исследовании микро-структуры биологических объектов, необходимо выделить координатные детекторы ионизирующих излучений - многопроволочные пропорциональные камеры /МПК/. При проведении медико-биологических исследований такие детекторы имеют существенные преимущества /по сравнению с традиционными/: а/ высокую чувствительность, хорошее пространственное разрешение и быстрое действие, что позволяет на два-три порядка снизить дозу облучения; б/ получение информации в удобном для взаимодействия с ЭВМ виде, обработку данных по различным критериям и представление результатов на цветных или черно-белых дисплеях<sup>/1-5/</sup>. Возможность получения импульса запуска и считывания двух координат с одной МПК позволяют успешно использовать их для регистрации рентгеновского излучения. В большинстве случаев МПК имеют собственное пространственное разрешение около 1 мм, временное разрешение ~100 нс и быстрое действие ~10<sup>5</sup> ÷ 10<sup>6</sup> соб./с.

Считывание и обработка информации производится с помощью хорошо развитых в различных лабораториях регистрирующих систем, работающих на линии с ЭВМ или автономно. Большое внимание уделяется системам визуализации информации. Можно представить, что МПК состоит как бы из большого числа "сот" с общим количеством, например, 256x256. Это означает, что для записи информации с детектора необходимо иметь быстродействующую память объемом ~64 тыс. слов. "Изображение", которое требуется получить после обработки информации в ЭВМ, должно содержать такое же число разрешаемых элементов. Оно представляется на телевизионный дисплей, где каждый элемент может иметь десятки или сотни цветовых градаций.

Таким образом, МПК можно рассматривать как электронный аналог рентгеновской пленки. Усилиями коллективов разных лабораторий создаются автоматизированные рентгеновские детекторы на основе МПК для структурных исследований, медицинской диагностики, радиоастрономии и т.п.

## РЕНТГЕНОВСКАЯ ДИФРАКТОМЕТРИЯ

Рентгеновское излучение в диапазоне энергий от 5 до 20 кэВ широко используется для структурных исследований. Дифракционная

картина, являющаяся следствием упругого рассеяния рентгеновских лучей на электронных оболочках атомов в упорядоченных структурах, позволяет получить распределение электронной плотности. Эта методика широко используется для изучения биологических объектов от атомарных структур молекул белков до молекулярной организации в мышечных волокнах. Использование МПК вместо рентгеновской пленки или небольших сканирующих счетчиков позволяет примерно на два порядка сократить время получения информации о молекулярной структуре. Для исследований белковых монокристаллов с периодами решетки ~100 Å необходимо зарегистрировать несколько сот тысяч отражений. При этом в одном положении кристалла возникает большое количество дифрагированных пучков. Параллельная регистрация всей дифракционной картины с помощью МПК существенно ускоряет съемку.

Основные требования к параметрам рентгеновского детектора для регистрации двумерной дифракционной картины монокристаллов макромолекул можно сформулировать следующим образом: 1/ достаточное угловое разрешение для отдельной регистрации рефлексов от кристаллов с большим периодом решетки; 2/ одновременная регистрация всех отражений; 3/ высокая и однородная по площади эффективность регистрации излучения; 4/ высокое быстрое действие; 5/ удовлетворительное энергетическое разрешение для отсеки фона; 6/ низкий уровень собственного фона детектора; 7/ относительная простота, надежность, приемлемая стоимость<sup>/6,20/</sup>. В настоящее время исследуются четыре типа координатных дифрактометров: 1/ с плоской МПК; 2/ с МПК со сферическим дрейфовым промежутком; 3/ с цилиндрическим мозаичным детектором<sup>/7/</sup>; 4/ со сцинтилляционным детектором телевизионного типа<sup>/8/</sup>.

Важнейшее преимущество координатных дифрактометров с плоской МПК - гибкость, т.е. возможность варьирования в ту или иную сторону величины углового разрешения путем изменения расстояния от образца до детектора. Основным недостатком - ухудшение углового разрешения при косом падении дифрагированных пучков. Дифрактометры второго и третьего типов свободны от этого недостатка, но имеют фиксированное угловое разрешение. Дифрактометры со сцинтилляционным детектором имеют нестабильности во времени, присущие аналоговым системам.

В таблице приведены основные характеристики трех дифрактометров на основе плоских МПК, с помощью которых исследуются белковые монокристаллы и уже достигнуто ускорение эксперимента более чем на порядок. Плоская МПК состоит из анодной плоскости, помещенной между двумя катодными. Шаг намотки анодной плоскости - 2 мм, катодной - 1 ÷ 2 мм. Расстояние между анодной и катодными плоскостями - 4 ÷ 8 мм. В катодных плоскостях нити намотаны взаимно-перпендикулярно, что позволяет регистрировать две координаты по наведенному заряду. Передняя катодная плоскость может быть заменена входным окном из бериллия, но при этом снижается эффективность детектора. Этого можно избежать, если входное окно Д

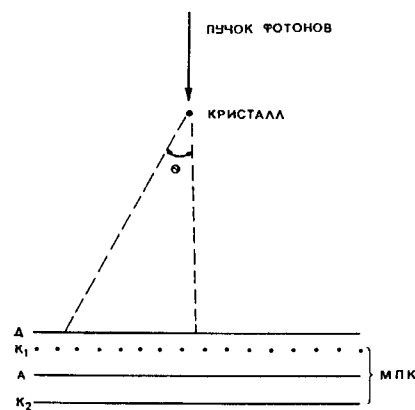
Таблица

№ пп	Характеристики	МАД <sup>9/</sup>	АРГУС <sup>10/</sup>	КАРД-3 <sup>11/</sup>
1.	Площадь регистрируемой МПК дифракционной картины /мм <sup>2</sup> /	300x270	250x250	350x320
2.	Число элементов пространственного разрешения дифракционной картины	256x128	128x128	250x200
3.	Объем оперативной памяти ЭВМ, используемой для получения дифракционной картины /16 разр.слов/	32К	16К	64К
4.	Эффективность регистрации $\text{CuK}_\alpha$ -излучения /%/	50	60	70
5.	Среднеквадратичное отклонение относительной эффективности каналов /%/	2	4+6	4+6
6.	Скорость счета при потерях не более 25% /имп./с/	60000	300000	250000
7.	Метод считывания информации с МПК	ЛЗ	цифровой	ЛЗ
8.	Среднее количество измеряемых дифракционных отражений в час /от кристалла с периодом решетки ~100 Å/	700	700	2000*

\*Для леггемоглобина / a = 93 Å; b = 38,4 Å; c = 52,4 Å/.

выполнить из металлизированного майлара, расположенного на расстоянии 1±2 мм от катодной плоскости  $K_1$  /рис.1//<sup>12/</sup>. Плоскости Д и  $K_1$  образуют конверсионный дрейфовый промежуток, который увеличивает эффективность детектора и практически не вносит дополнительной погрешности при регистрации наклонных лучей. МПК продувают газовой смесью 90% Хе + 10%  $\text{CH}_4$  ( $\text{CO}_2$ ).

Для считывания информации применяют цифровые и аналоговые методы. В первом случае сигнал с каждой нити /анодной или катодной/ усиливается, дискриминируется и регистрируется в элементе памяти. Специальный процессор определяет координаты X и Y. Не-



достаток метода - большое число измерительных каналов и необходимость тщательного выравнивания усиления и уровня дискриминации всех каналов. Достоинство - высокое быстродействие детектора. При аналоговом считывании информации обычно применяют электромагнитные линии задержки /ЛЗ/, установленные на катодных плоскостях. Координаты события X и Y пропорциональны временным интервалам, образованным сигналом с анодной плоскости и с соответствующих ЛЗ. Погонная задержка ЛЗ - от 1,5 до 10 нс/мм. Временные интервалы измеряются цифровыми методами на частотах в несколько

сот мегагерц. Недостаток метода - ограниченное быстродействие. Достоинство - высокая надежность и сравнительно невысокая стоимость, определяемые небольшим числом каналов регистрации. Пространственное разрешение, реализуемое для обоих методов считывания, составляет 1±2 мм.

Функциональная схема рентгеновского дифрактометра на основе МПК может быть рассмотрена на примере дифрактометра КАРД-3 /рис.2//<sup>11/</sup>. Информация с камеры считывается с помощью ЛЗ, сигналы усиливаются и анализируются соответствующей аппаратурой. Затем осуществляются преобразование временных интервалов события в координаты X и Y, статистическое разравнивание поступающей информации, предварительная обработка по заданным критериям и передача в ЭВМ по инкрементному каналу. ЭВМ с набором внешних устройств производит прием, обработку и запоминание информации, управляет гониометром, а также реализует представление дифракционной картины на ТВ-дисплей. Математическое обеспечение позволяет в реальном масштабе времени производить вычисления интенсивностей и запоминание их массива на внешнем носителе информации. Оно также содержит программы управления аппаратурой, контроля поступающих данных и юстировки кристалла. ТВ-дисплей существенно облегчает процедуру юстировки, т.к. дает возможность оперативно отображать быстро меняющуюся картину /полутонную или цветную/.

Рентгеновский детектор АРД-1<sup>12,13/</sup>, созданный в ЛВЭ ОИЯИ для дифрактометра КАРД-3, имеет сравнительно большой чувствительный размер и обладает высокой эффективностью регистрации  $\text{CuK}_\alpha$  излучения - 70%. Погонная задержка ЛЗ составляет 1,4 нс/мм. Общее число элементов пространственного разрешения дифракционной картины детектора - 50 тыс. На рис.3 представлена дифракционная картина кристалла леггемоглобина, полученная с помощью КАРД-3. Дифрактометр МАД<sup>9,14,15/</sup>,



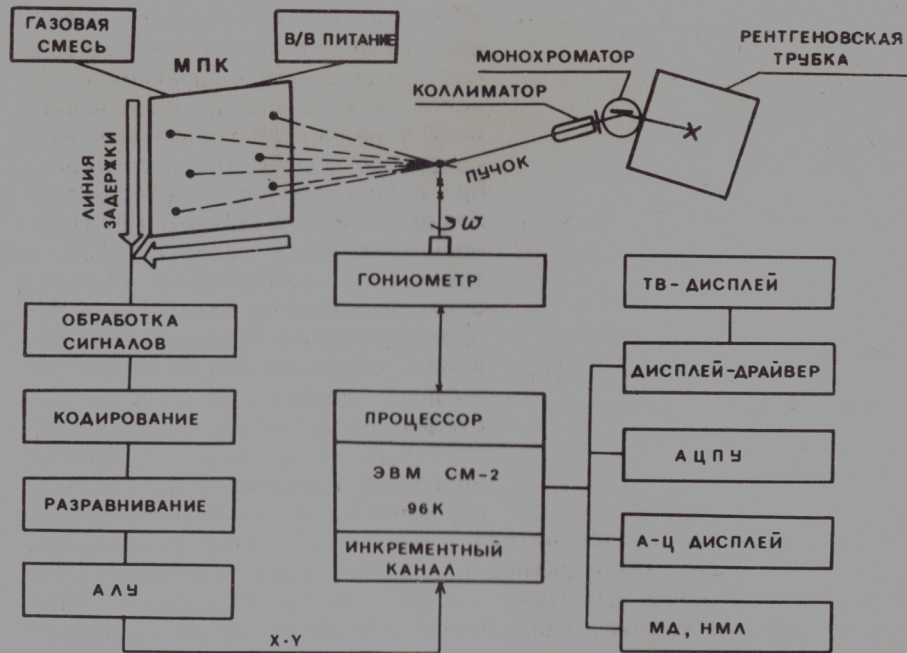


Рис. 2

созданный в Калифорнийском университете /США/, имеет аналогичную структуру, однако погонная задержка ЛЗ в МПК - около 7 нс/мм /суммарное время задержки ~2 мкс/, что ограничивает быстродействие детектора. На этом дифрактометре произведен полный набор интегральных интенсивностей нескольких белков и расшифрована их структура. Для дифрактометра АРГУС<sup>/10/</sup> в ИЯФ СО АН СССР создан рентгеновский детектор ДЕД-2 с цифровым съемом информации<sup>/16/</sup>. Суммарное число регистрирующих каналов - 256. Детектор этого типа обладает лучшим временным разрешением /~100 нс/ и более высоким быстродействием, однако имеет меньшее число элементов разрешения дифракционной кар-



Рис. 3

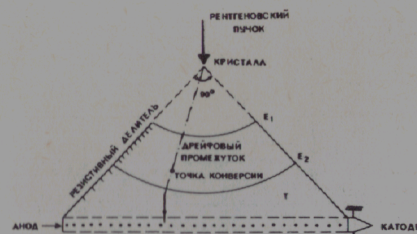


Рис. 4

тины - 16 тыс. Высокое временное разрешение детектора позволяет использовать его для работы с синхротронным излучением<sup>/17/</sup>. Как отмечалось, существенным недостатком дифрактометров с плоской МПК является ухудшение пространственного разрешения при наклонном падении рентгеновских лучей. Возникающая дополнительная неопределенность в координате - пропорциональна  $d \cdot \tan \theta$ , где  $d$  - толщина детектора. Эта проблема может быть решена с помощью плоских МПК, помещенных вокруг кристалла так, чтобы существенно уменьшить углы падения косых лучей  $\theta$ . При этом уменьшение телесного угла /для одного детектора/ может быть скомпенсировано путем применения нескольких камер<sup>/18/</sup>. В другом случае перед плоской МПК помещают сферический дрейфовый промежуток, в котором силовые линии поля совпадают с направлением падающих лучей /рис. 4/<sup>/19/</sup>. Считывание информации осуществляется с катодов камеры цифровым методом. Чувствительная площадь детектора 500x500 мм<sup>2</sup>, пространственное разрешение лучше 1 мм. На основе такого детектора разработан дифрактометр МАРК-3<sup>/20/</sup>, находящийся на этапе методической отладки. Достоинство дифрактометра - высокое пространственное разрешение при нормальном и косом падении лучей. Общее число элементов дифракционной картины - 480x240, быстродействие - 370000 имп/с. Недостатки - фиксированное угловое разрешение, сложность конструкции, серьезные трудности в отладке детектора.

Широкое распространение в рентгеновских дифрактометрах для малоугловых исследований поликристаллов получили линейные пропорциональные счетчики /ЛПС/, измеряющие интенсивность и угловое распределение рентгеновских лучей на углы меньше 5°. Изучаемые объекты с размером до 2000 Å и более не имеют, как в кристаллах, высокой степени упорядоченности. Примером могут служить макромолекулы, биологические структуры с большими периодами, аналогичные мышечным тканям, и т.п.<sup>/21/</sup>. Необходимость измерения одной координаты позволяет существенно упростить и удешевить детектор, сравнительно легко получить высокое быстродействие и хорошее пространственное разрешение. Использование ЛПС в малоугловых дифрактометрах ускоряет дифракционный эксперимент более чем на 2 порядка. Применяют три типа ЛПС: а/ с резистивной анодной нитью, позволяющей по времени нарастания фронта сигнала определить координату<sup>/24/</sup>; б/ с катодом, выполненным в виде ЛЗ для съема информации со счетчика методом кодирования временных интервалов<sup>/16/</sup>; в/ в виде МПК, используемой в качестве одномерного счетчика с регистрирующим трактом на каждой анодной проволочке<sup>/16, 22/</sup>. Последний тип детектора - наиболее быстродейст-



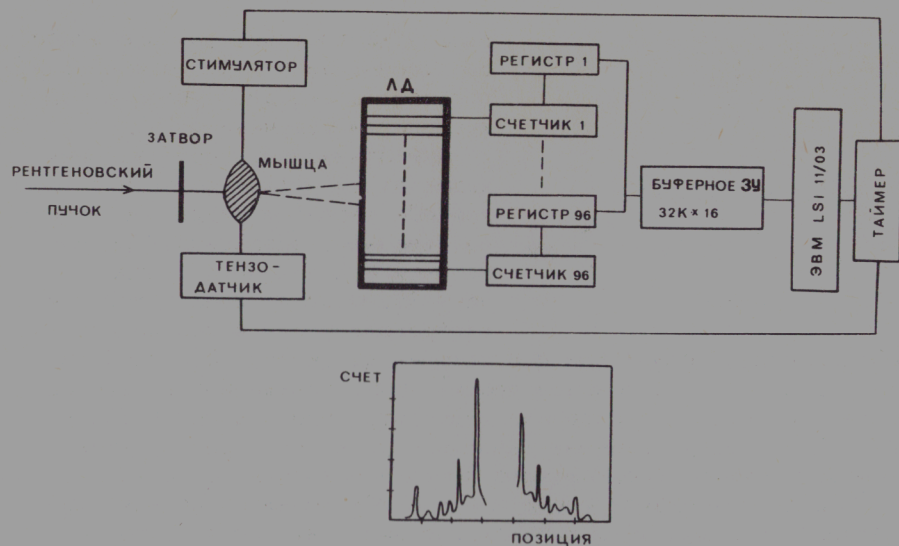


Рис. 5

вующий, но требует значительного количества регистрирующей электроники. Поэтому его применение оправдано при высоких нагрузках.

Возможность электронного стробирования информации в сочетании с высоким быстродействием ЛПС дает возможность применять их для исследований динамики структурных превращений биологических объектов. Эта методика эффективна при использовании синхротронного излучения, позволяющего существенно увеличить интенсивность. Как показано в работе /22/, детектор должен удовлетворять следующим требованиям: скорость счета  $5 \div 10$  МГц, пространственное разрешение  $\sim 0,5$  мм, длительность съемки "кадра"  $\sim 1$  мс. Авторами разработана МПК размером  $100 \times 100$  мм<sup>2</sup>, анодная плоскость намотана с шагом 1 мм. К каждой из 96 анодных проволочек подсоединен счетчик с быстродействием до 6 МГц /рис.5/. После окончания времени экспозиции кадра содержимое счетчиков переписывается в память емкостью  $32К \times 16$  бит. Предполагается увеличить число каналов детектора до 200 при шаге 0,5 мм.

## РЕНТГЕНОВСКАЯ РАДИОГРАФИЯ

Свойство рентгеновских лучей селективно поглощаться в среде с различной плотностью широко используется в радиологии для получения рентгенографического изображения /рентгеновская диагностика, компьютерная томография и т.п./. Энергия излучения выбирается в диапазоне  $20 \div 50$  кэВ. Источниками служат рентгеновские трубки и радионуклиды. В последние годы начаты исследования с

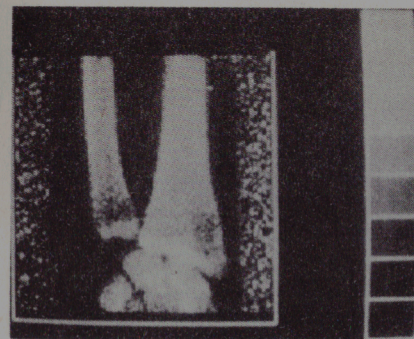


Рис. 6

использованием синхротронного излучения. В большинстве случаев для получения изображения применяется рентгеновская пленка, которая обладает высоким пространственным разрешением, не накладывает ограничений на интенсивность пучка и имеет невысокую стоимость. Основной ее недостаток - низкая чувствительность. Применение МПК позволяет на два порядка улучшить чувствительность и автоматизировать процедуру исследований /23+25/. Пространственное разрешение МПК ограничивается пробегом фотоэлектронов и соответствует  $\sim 1$  мм в Хе при атмосферном давлении /для 40 кэВ/. Увеличение давления улучшает эффективность и пространственное разрешение.

В работе /26/ исследовалась двухкоординатная МПК размером  $200 \times 200$  мм<sup>2</sup>, заполненная Хе+30% изобутана. Шаг намотки анодных и катодных проволочек - 2 мм. Информация считывалась с помощью ЛЗ с погонной задержкой 2,5 нс/мм. Изображение получалось в виде матрицы  $128 \times 128$  элементов /размер элемента  $1,5 \times 1,5$  мм<sup>2</sup>/. На рис.6 показано изображение запястья руки человека, полученное на этой установке с помощью  $\text{EuK}_\alpha$  излучения /41,5 кэВ/. Быстродействие - около 100 кГц. Время экспозиции - 4 мин. Авторы собираются улучшить разрешение до 0,5 мм и увеличить быстродействие. Следует отметить, что ограниченное быстродействие МПК / $\sim 10^6$  Гц/ является основным сдерживающим фактором этих детекторов в области рентгеновской радиологии. Поэтому делаются попытки применить сканирующие линейные позиционно-чувствительные детекторы /кристаллические или газовые/, аналогичные описанным в работе /22/. Это позволит сократить время экспозиции в  $30 \div 50$  раз.

## ЯДЕРНАЯ МЕДИЦИНА

Получение изображения распределения нуклида в объекте широко применяют в медицинской диагностике. Пациенту вводят препарат с гамма-активными элементами и по его распределению в статике или динамике исследуют состояние органов. Эффективность регистрации излучения, пространственное разрешение и быстродействие - основные параметры, которые необходимо оптимизировать, чтобы уменьшить дозу, получаемую пациентом. Широко используемые гамма-камеры на основе кристаллов NaI обладают высокой эффективностью регистрации гамма-излучения, но имеют низкое пространственное разрешение / $\sim 10$  мм/ и недостаточно высокое быстродействие.



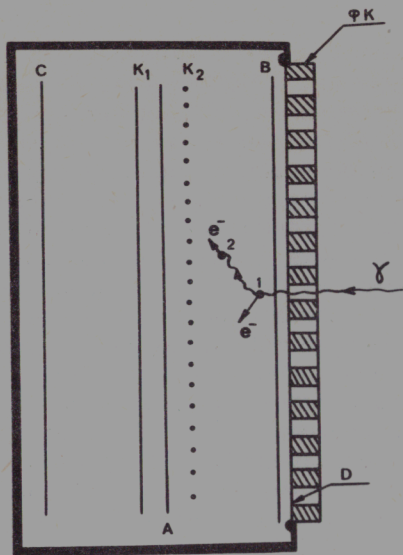


Рис. 7.

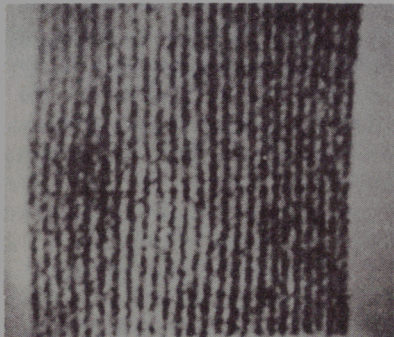


Рис. 8

катодными плоскостями - 12 мм. Анодная плоскость А намотана с шагом 2 мм, катодные - с шагом 1 мм. Съем информации осуществляется с помощью ЛЗ с погонной задержкой  $\sim 1$  нс/мм. Детектор заполняется газовой смесью Хе+10% метана. Основные параметры: чувствительная площадь -  $280 \times 280$  мм<sup>2</sup>, собственная эффективность регистрации гамма-излучения с энергией 70 кэВ - 60%, пространственное разрешение - 1,8 мм, быстроедействие -  $3 \cdot 10^5$  соб./с. Рабочий диапазон энергий -  $30 \div 100$  кэВ. На рис. 8 приведено изображение бар-фантома с периодом решетки 4 мм / 2 мм свинца и 2 мм оргстекла/, полученное с помощью детектора. Экспозиция проводилась от <sup>241</sup>Am. Детектор работает на линии с ЭВМ, изображение представляется на цветной ТВ-монитор. Общий вид создаваемой гамма-камеры показан на рис. 9. Аналогичная разработка выполняется Гарвардской медицинской школой совместно с Массачусетским технологическим институтом /30/.

В ядерной медицине важное место занимает диагностика заболеваний сердца. Для этих целей разрабатывают новые приборы; получены короткоживущие изотопы с энергией излучения  $60 \div 70$  кэВ: Та-178, Ir-191m, Tl-201 и др. /27/. В ряде лабораторий создают для этих целей детекторы, обладающие хорошим пространственным и временным разрешением.

В ЛВЭ ОИЯИ разрабатывается гамма-камера на основе МПК, заполненной ксеноном под давлением до 10 атм. /28, 29/. Схематически детектор показан на рис. 7. МПК с двумя дрейфовыми промежутками помещена в герметичный бокс. Для обеспечения механической прочности используется стальной фланец ФК, являющийся одновременно коллиматором. Коллиматор имеет гексагональную структуру; отверстия диаметром 2 мм расположены с шагом 2,5 мм. Расстояние между дрейфовыми электродами В и С - 80 мм, между

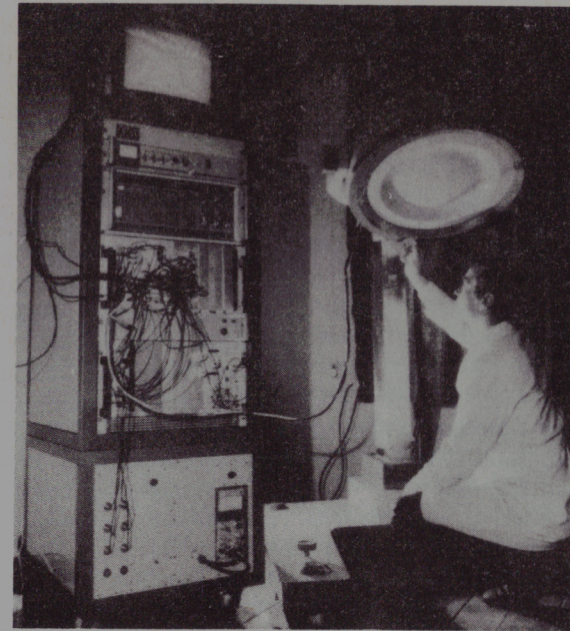


Рис. 9

## РЕНТГЕНОВСКАЯ И ГАММА-АСТРОНОМИЯ

Возможность регистрировать излучения детекторами, установленными на спутниках или высотных баллонах, стимулирует развитие рентгеновской и гамма-астрономии. Проводимые исследования физического строения и химического состава небесных тел с помощью спектральных исследований привели к открытию рентгеновских источников, позволили обнаружить излучение газа в межгалактическом пространстве и т.п. Типичный гамма-телескоп с широким полем зрения, применяемый для этих целей и состоящий из сэндрвича с многопроволочными координатными детекторами и конверторами, позволяет идентифицировать регистрируемое событие и измерять угол падения гамма-квантов. По пространственной ориентации прибора определяют координаты излучающего источника. Для выделения полезного события из потока космических лучей применяют сцинтилляционные и черенковские счетчики. Угловое разрешение телескопа площадью 640 см<sup>2</sup> с проволочными камерами составило несколько градусов для энергий около 1 МэВ /31/.

Для регистрации излучения нейтронных звезд, поиска гамма-всплесков предложен детектор, просматривающий всю небесную сферу и позволяющий локализовать источник рентгеновского излучения с угловой точностью 1 мин /рис. 10/ /32/. Детектор состоит из МПК с двумя дрейфовыми промежутками, образованными с помощью элект-



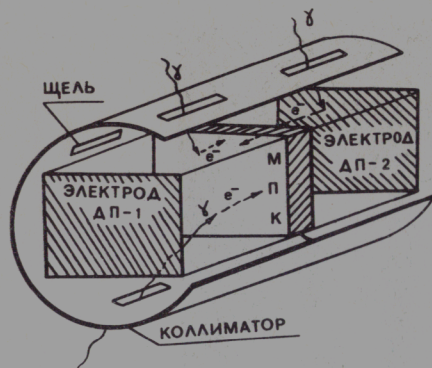


Рис. 10

родов ДП-1 и ДП-2, и окружен цилиндрическим коллиматором со щелевыми отверстиями. Отверстия ориентированы по оси цилиндра и расположены случайным образом. Рентгеновские лучи через отверстия могут попадать в детектор, заполненный Хе с 5% добавкой  $\text{CH}_4$  при повышенном давлении. Образованные в результате конверсии электроны дрейфуют по направлению щели к МПК площадью  $10 \times 10 \text{ см}^2$ , где регистрируются.

Спектральные исследования рентгеновского излучения с энергией до  $\sim 10$  кэВ проводятся в основном с помощью газовых сцинтилляционных пропорциональных счетчиков, обладающих хорошим энергетическим разрешением  $\sim 9\%^{/33/}$ . Многопроволочные детекторы, установленные в фокальной плоскости телескопов, позволяют существенно повысить угловое разрешение путем восстановления направления падающего рентгеновского кванта через точку регистрации и отверстие осевого коллиматора. Угловое разрешение такого телескопа может составить единицы секунд.

#### РАЗРАБОТКИ НОВЫХ ГАЗОВЫХ ДЕТЕКТОРОВ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

В последнее время возрос интерес к многоступенчатым лавинным камерам /МЛК/  $^{/37,34,35/}$ , которые могут, например, улучшить точность измерений в дифрактометрии. Такой детектор состоит из МПК с двумя дополнительными промежутками, предназначенными для предварительного усиления и передачи заряда в чувствительный объем МПК /рис. 11/  $^{/36/}$ . Если рентгеновский квант абсорбировался в газе плоского предусилительного промежутка, амплитуда импульса будет пропорциональна  $e^{-\alpha(L-z)}$ , где  $L$  - ширина промежутка,  $z$  - расстояние между входным окном и образовавшимися фотоэлектронами /1 или

$2/$ ,  $\alpha$  - коэффициент Таунсенда. Измеряя амплитуду импульса, можно определить  $z$  с достаточной точностью и скорректировать ошибку в определении координаты для наклонных лучей. Авторы исследовали МЛК размером  $100 \times 100 \text{ мм}^2$  с 20 мм предусилительным и 10 мм передающим промежутками. Детектор продувался газовой смесью 98,4% Ar и 1,6% пропана. Для

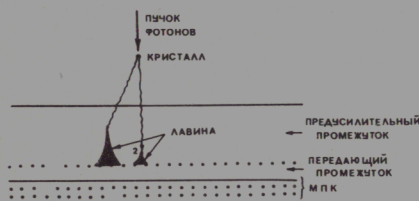


Рис. 11

наклонных лучей с энергией 8 кэВ получено пространственное разрешение  $0,7 \pm 1$  мм. Однако в таком детекторе теряется возможность дифференциальной дискриминации для улучшения отношения пик/фон. При введении в газовую смесь компоненты с низким потенциалом ионизации МЛК может регистрировать ультрафиолетовое излучение с энергией до 10 эВ и средней квантовой эффективностью  $\sim 30\%$ . Этот принцип использован при создании координатного детектора черенковского излучения для идентификации пионов, каонов и анти-протонов с импульсом  $\sim 200 \text{ ГэВ}/c^{/38/}$ .

Интенсивно развиваются газовые сцинтилляционные детекторы. Они основаны на принципе регистрации ультрафиолетовой вспышки, вызываемой электронами, дрейфующими в инертных газах под действием электрического поля. Счетчики обладают высокой чувствительностью к мягкому рентгеновскому излучению и высоким энергетическим разрешением. Подобные детекторы позволяют хорошо отделять полезные события от фоновых, что важно в рентгеновской астрономии при регистрации излучения с энергией  $0,1 \pm 2$  кэВ. Успешно разрабатываются методы считывания координатной информации с таких детекторов  $^{/33,39/}$ .

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рентгеновские детекторы, как показано выше, представляют большой интерес для исследований в биологии, медицине, астрономии. В рентгеновской дифрактометрии они дали возможность для изучения структуры на качественно новом уровне и практически вытеснили традиционные детекторы. Представляется весьма перспективным применение таких детекторов в ядерной медицине /в диапазоне энергий излучения  $30 \pm 100$  кэВ/, где они позволяют получить лучшее пространственное и энергетическое разрешение и быстроедействие по сравнению со сцинтилляционными гамма-камерами. Увеличение быстрогодействия электронных систем обработки информации с МПК, так же как и создание линейных сканирующих детекторов, обеспечат более широкое их использование для низкодозной рентгеновской радиографии. В рентгеновской и гамма-астрономии МПК успешно применяют в телескопах на спутниках и высотных баллонах для поиска и исследований новых источников излучений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Perez-Mendez V. Int. Meeting on Proportional and Drift Chambers, 1975. JINR, D13-9164, Dubna, 1975, p.177.
2. Charpak G. Wire Chamber Conf., Vienna, 1978; Nucl. Instr. and Meth., 1978, 156, p.1.
3. Заневский Ю.В. ЭЧАЯ, 1977, т.8, вып.3, с.631.



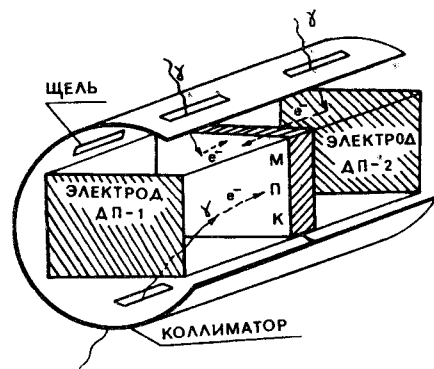


Рис. 10

Спектральные исследования рентгеновского излучения с энергией до  $\sim 10$  кэВ проводятся в основном с помощью газовых сцинтилляционных пропорциональных счетчиков, обладающих хорошим энергетическим разрешением  $\sim 9\%$ <sup>33/</sup>. Многопроволочные детекторы, установленные в фокальной плоскости телескопов, позволяют существенно повысить угловое разрешение путем восстановления направления падающего рентгеновского кванта через точку регистрации и отверстие осевого коллиматора. Угловое разрешение такого телескопа может составить единицы секунд.

#### РАЗРАБОТКИ НОВЫХ ГАЗОВЫХ ДЕТЕКТОРОВ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

В последнее время возрос интерес к многоступенчатым лавинным камерам /МЛК/ <sup>37,34,35/</sup>, которые могут, например, улучшить точность измерений в дифрактометрии. Такой детектор состоит из МПК с двумя дополнительными промежутками, предназначенными для предварительного усиления и передачи заряда в чувствительный объем МПК /рис. 11/ <sup>36/</sup>. Если рентгеновский квант абсорбировался в газе плоского предусилительного промежутка, амплитуда импульса будет пропорциональна  $e^{-\alpha(L-z)}$ , где  $L$  - ширина промежутка,  $z$  - расстояние между входным окном и образовавшимися фотоэлектронами /1 или

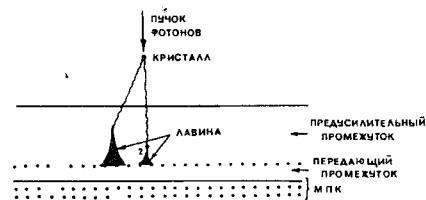


Рис. 11

2/,  $\alpha$  - коэффициент Таунсенда. Измеряя амплитуду импульса, можно определить  $z$  с достаточной точностью и скорректировать ошибку в определении координаты для наклонных лучей. Авторы исследовали МЛК размером  $100 \times 100$  мм<sup>2</sup> с 20 мм предусилительным и 10 мм передающим промежутками. Детектор продувался газовой смесью 98,4% Ar и 1,6% пропана. Для

наклонных лучей с энергией 8 кэВ получено пространственное разрешение  $0,7 \pm 1$  мм. Однако в таком детекторе теряется возможность дифференциальной дискриминации для улучшения отношения пик/фон. При введении в газовую смесь компоненты с низким потенциалом ионизации МЛК может регистрировать ультрафиолетовое излучение с энергией до 10 эВ и средней квантовой эффективностью  $\sim 30\%$ . Этот принцип использован при создании координатного детектора черенковского излучения для идентификации пионов, каонов и антипротонов с импульсом  $\sim 200$  ГэВ/с<sup>38/</sup>.

Интенсивно развиваются газовые сцинтилляционные детекторы. Они основаны на принципе регистрации ультрафиолетовой вспышки, вызываемой электронами, дрейфующими в инертных газах под действием электрического поля. Счетчики обладают высокой чувствительностью к мягкому рентгеновскому излучению и высоким энергетическим разрешением. Подобные детекторы позволяют хорошо отделять полезные события от фоновых, что важно в рентгеновской астрономии при регистрации излучения с энергией  $0,1 \pm 2$  кэВ. Успешно разрабатываются методы считывания координатной информации с таких детекторов <sup>33,39/</sup>.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рентгеновские детекторы, как показано выше, представляют большой интерес для исследований в биологии, медицине, астрономии. В рентгеновской дифрактометрии они дали возможность для изучения структуры на качественно новом уровне и практически вытеснили традиционные детекторы. Представляется весьма перспективным применение таких детекторов в ядерной медицине /в диапазоне энергий излучения  $30 \pm 100$  кэВ/, где они позволяют получить лучшее пространственное и энергетическое разрешение и быстроедействие по сравнению со сцинтилляционными гамма-камерами. Увеличение быстрогодействия электронных систем обработки информации с МПК, так же как и создание линейных сканирующих детекторов, обеспечат более широкое их использование для низкодозной рентгеновской радиографии. В рентгеновской и гамма-астрономии МПК успешно применяют в телескопах на спутниках и высотных баллонах для поиска и исследований новых источников излучений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Perez-Mendez V. Int. Meeting on Proportional and Drift Chambers, 1975. JINR, D13-9164, Dubna, 1975, p.177.
2. Charpak G. Wire Chamber Conf., Vienna, 1978; Nucl. Instr. and Meth., 1978, 156, p.1.
3. Заневский Ю.В. ЭЧАЯ, 1977, т.8, вып.3, с.631.

4. Заневский Ю.В. Проволочные детекторы элементарных частиц. Атомиздат, М., 1978.
5. Хабахпашев А.Г. "Природа", 1980, №1, с.30.
6. Хейкер Д.М. "Кристаллография", 1978, т.3, вып.6, с.1288.
7. Вайнштейн Б.К. и др. Кристаллография, 1975, 20, №4, с.829.
8. Arndt U.W. et al. J.Appl.Cryst., 1979, 12, p.1.
9. Hamlin R. et al. J.Appl.Cryst., 1981, 14, p.85.
10. Мокульская Т.Д. и др. ИАЭ №3369/15, М., 1980.
11. Анисимов Ю.С. и др. ОИЯИ, 18-81-426, Дубна, 1981.
12. Anisimov Yu.S. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1981, 179, p.503.
13. Анисимов Ю.С. и др. Кристаллография, 1980, т.26, вып.6, с.1305.
14. Cork C. et al. Acta Cryst., 1975, A-31, p.702.
15. Xuong Ng. et al. Acta Cryst., 1978, A-34, p.289.
16. Бару С.Е. и др. Кристаллография, 1980, т.25, вып.2, с.371.
17. Мокульская Т.Д. и др. ИАЭ №3370/15, М., 1980.
18. Hamlin R. et al. Elevent Int. Congr.Crystal, Warszawa, 1978.
19. Charpak G. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1974, 122, p.1307.
20. Kahn R. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1980, 172, p.337.
21. Faruqi A.R. Wire Chamber Conf., Vienna, 1978. Nucl.Instr. and Meth., 1978, 156, p.19.
22. Faruqi A.R. Wire Chamber Conf., Vienna, 1980. Nucl.Instr. and Meth., 1980, 176, p.71.
23. Kaplan S. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1973, 106, p.397.
24. Borkowski C. et al. IEEE Trans.Nucl.Sci., 1975, NS-22, No.2, p.896.
25. Заневский Ю.В. и др. ПТЭ, 1978, №3, с.60.
26. Bateman J., Connoly J. Nucl.Instr. and Meth., 1980, 173, p.525.
27. Holman B. et al. J.Nucl.Med., 1979, 20, p.538.
28. Заневский Ю.В. и др. ОИЯИ, P13-81-298, Дубна, 1981.
29. Анисимов Ю.С. и др. ОИЯИ, P13-81-541, Дубна, 1981.
30. Zimmerman R. et al. IEEE Trans.Nucl.Sci., 1981, NS-28, No.1, p.55.
31. Fichtel C. et al. Astrophys.J., 1975, 198, p.163; Гальпер А.М. и др. УФН, 1979, т.128, №2, с.313.
32. Gorenstein P. et al. IEEE Trans.Nucl.Sci., 1979, NS-26, No.1, p.502.
33. Manzo G. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1980, 174, p.301.
34. Charpak G. Wire Chamber Conf., Vienna, 1980. Nucl.Instr. and Meth., 1980, 176, No.1,2, p.9.
35. Абдушукуров Д.А. и др. ОИЯИ, 13-82-216, Дубна, 1982.
36. Breskin A. et al. CERN-EP/81-106, Geneva, 1981.
37. Charpak G. et al. CERN 78-05(EP), Geneva, 1978.
38. Coutrakon G. et al. IEEE Trans. on Nucl.Sci., 1982, NS-29, No.1, p.323.
39. Hailey C. et al. IEEE Trans. on Nucl.Sci., 1982, NS-29, No.1, p.138.

Рукопись поступила в издательский отдел  
2 августа 1982 года.

Заневский Ю.В., Пешехонов В.Д., Черненко С.П. P14-82-591  
Автоматизированные координатные детекторы рентгеновского излучения  
на основе пропорциональных камер /обзор/

В обзоре представлены автоматизированные рентгеновские детекторы, созданные на основе многопроволочных пропорциональных камер. Высокое число элементов пространственного разрешения, хорошее быстродействие, возможность работы на линии с ЗВМ - все эти качества дают основание считать такие детекторы электронным аналогом рентгеновской пленки. При этом чувствительность существенно выше, что позволяет на два-три порядка снизить радиационные дозы, получаемые объектами, и в большинстве случаев значительно сократить время проведения исследований. Пропорциональные камеры различных модификаций применяются для регистрации рентгеновского излучения в диапазоне от долей до сотен кэВ. Это обеспечивает их успешное использование в биологии и медицине. Рассмотрены автоматические одно- и двухкоординатные дифрактометры с пропорциональными камерами, созданные для рентгеноструктурного анализа. Показаны возможности применения этих детекторов в рентгенодиагностике, ядерной медицине, рентгеновской и гамма-астрономии. Обсуждаются новые модификации рентгеновских детекторов.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1982

Zanevsky Yu.V., Peshkhonov V.D., Chernenko S.P. P14-82-591  
Automatized x-Ray Coordinate Detectors Constructed Using Proportional  
Chambers

Automatized x-ray detectors constructed using multiwire proportional chambers (MWPC) are presented. Such detectors can be considered as an electronic analog of a film due to a large number of space resolution elements fast operation and the possibility to operate on-line with a computer. Their sensitivity is much higher that allows radiation doses obtained by the objects to be decreased by two-three orders and the time of carrying out studies to be reduced significantly in most cases. Proportional chambers of different modification are used to register x-ray radiation over a range from fractions to hundreds keV. This provides their successful application to biology and medicine. Automatic one- and two-coordinate diffractometers with proportional chambers constructed for x-ray structure analysis are considered. The possibilities of using these detectors in x-ray diagnostics, nuclear medicine, x-ray and gamma-astronomy are shown. New modifications of x-ray detectors are discussed.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1982

Перевод О.С.Виноградовой.