

ԵՐԵՎԱՆԻ ԳՐԻԳՈՐ ԵՐԶՐԱՎՈՐ ԲՆՍՏՐՏՈՒՄ  
ԵՐԵՎԱՆՍԿԻ ԲՆՍՏՐՏՈՒՄ

ԲՆՍՏՐՏՈՒՄ-297(22)-78

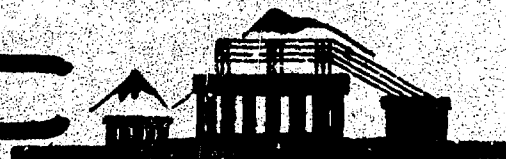
ՅՈՒ Կ 9 0 4 1 0 2

Յ.ՄՈՐԵՐ, Դ.ՍՈԼԵ, Դ.Գ.ՅԵՐՄԷ  
Դ.ՅՈՄՄԵՐ, Բ.ՇԱՐԴԱՆ, Ա.ԿՈՒՇԻՆՍԿԻ  
Դ.Ն.ԵՐԻՑՅԱՆ, Բ.Ա.ՄԵՂՈՅԱՆ, Ե.Ր.ՆԱՅԱՐՅԱՆ, Ա.Ա.ՏԱԿՅԱՆ

ՄՈՆՈԽՐՈՄԱՏՈՐ ՏՈՒՆՅԱՆԵՂՈՒ ՍՈՒՐՈՒՄ  
ԴՆԱ ՍՄԻՐՅԱՆՈՒ ԲՆՍՏՐՏՈՒՄ ԵՐԵՎԱՆԻ  
ՍԻՆԽՐՈՏՐՈՆՈՒ ՍՄԻՐՅԱՆՈՒ

ԱՐՄՍ

ԵՐԵՎԱՆ



ԵՐԵՎԱՆ

**ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

**ФИ-297(22)-78**

**Э.ШНЮРЕР, Г.ПОЛЕ, Г.Г.ЭБЭРЛЕ<sup>\*)</sup>  
Г.ЗОММЕР, Р.САРГАН, А.КОПЧИНСКИ<sup>\*\*)</sup>  
Г.Н.ЕРИЦЯН, Р.А.МЕЛКОНЯН, Е.Р.НАЗАРЯН, А.А.СААКЯН<sup>\*\*\*)</sup>**

**МОНОХРОМАТОР СКОЛЬЗЯЩЕГО ПАДЕНИЯ  
ДЛЯ УЛЬТРАМЯГКОЙ РЕНТГЕНОВСКОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА  
СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

- 
- \*)** Центральный институт электронной физики АН ГДР, Берлин.  
**\*\*)** Университет им.К.Маркса. Лейпциг.  
**\*\*\*)** Ереванский физический институт  
Работа доложена на Совещании СИ-78 г.Новосибирск.

**Ереван 1978**

© **Ереванский физический институт. 1978**

BM-297(22)-78

E. SCHNURER, G. POLE, G. G. EBERLE\*, G. SOMMER,  
R. SZARGEN, A. KOPTSCHINSKI\*\*, G. N. ERITSYAN,  
R. A. MELKONYAN, Yu. R. NAZARYAN, A. A. SAAKYAN\*\*\*

GRAZING MONOCHROMATOR FOR ULTRASOFT X-RAY  
RANGE OF SYNCHROTRON RADIATION SPECTRUM

A grazing monochromator with the glancing angle  $\psi = 3^{\circ}42'$  was developed and constructed by the Pashen-Runge scheme for the utilization in the synchrotron radiation facility of Yerevan Physics Institute. The monochromator consists of an immovable entrance slit, a concave diffraction grating and a movable exit slit moving along the Roland circle together with a radiation receiver. The monochromator was intended for wavelengths ranged from 20 to 400 Å with a resolution not worse than 1 Å for 0.3 mm wide entrance slit. All the measurement and scanning runs were by means of an automatic programmed control.

---

\* Zentralinstitut für Elektronphysik der Akademie der  
Wissenschaft DDR, Berlin

\*\* Karl-Marx-Universität, Leipzig

\*\*\* Yerevan Physics Institute

ВМ- 297(22)-78

УДК.621.039.665

Э.ШНОРЕР, Г.ПОЛЕ, Г.Г.ЭБЕРЛЕ<sup>ж)</sup>

Г.ЗОММЕР, Р.САРГАН, А.КОПЧИНСКИ<sup>жж)</sup>

Г.Н.ЕРИЦЯН, Р.А.МЕЛКОНЯН, Д.Р.НАВАРЯН, А.А.СААКЯН<sup>жжж)</sup>

**МОНОХРОМАТОР СКОЛЬЗЯЩЕГО ПАДЕНИЯ ДЛЯ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЙ  
РЕНТГЕНОВСКОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

Разработан и изготовлен монохроматор скользящего падения по схеме Памена-Рунге с углом скольжения  $\psi = 3^{\circ}42'$  для синхротронного излучения ускорителя Ереванского физического института. Монохроматор состоит из неподвижной входной щели, волгнутой дифракционной решётки и подвижной выходной щели, движущейся по окружности Роуленда вместе с приёмником излучения. Монохроматор рассчитан на диапазон длин волн от 20 до 400 Å с разрешением не хуже, чем 1 Å при ширине входной щели 0,1 мм. Все операции измерения и сканирования выполняются с автоматическим программным управлением.

Ереванский физический институт  
Ереван 1978

---

ж) Центральный институт электронной физики АН ГДР, Берлин.

жж) Университет им. К. Маркса, Лейпциг.

жжж) Ереванский физический институт

## Введение

Как известно, монохроматоры скользящего падения, используемые в области мягкого рентгена, имеют различные модификации montiroвок оптических элементов. Выбор montiroвки монохроматора диктуется характером физической задачи, источника и приёмника излучения, вакуумирования объёма монохроматора и т.д.

Кроме того, трудности создания спектрометра определяются требованиями к точности приготовления оптических и механических деталей.

Для монохроматоров скользящего падения с углом падения излучения на решётку больше  $80^\circ$  используют, как правило, конструкции, в которых обе щели и решётка находятся на окружности Роу-ландса. Это единственная возможность получить достаточную энергию в дифрагированном пучке.

Условиям работы с синхротронным излучением из всех существующих классических montiroвок монохроматоров по геометрии Роуландса удовлетворяют лишь те, в которых направление и оптическая длина входного луча остаются неизменными, так как источник синхротронного излучения принимается неподвижным. Одной из

наиболее удачных схем, удовлетворяющих этим требованиям, при простейшей кинематике является монтаж Пашена-Рунге, которая и была выбрана нами при проектировании монохроматора.

### Оптическая схема монохроматора

Монохроматор с вогнутой дифракционной решёткой, рассчитанный для работы в области мягкого рентгена ( $20+400\text{\AA}$ ), собран по схеме Пашена-Рунге: вершина решётки, входная щель и все её монохроматические изображения находятся на окружности Роуланда с радиусом  $R = r/2$  ( $r$  - радиус кривизмы решётки). В этой конструкции неподвижными оптическими элементами являются входная щель и вогнутая решётка, а сканирование спектра осуществляется перемещением по окружности Роуланда выходной щели вместе с приёмником излучения. Так как местонахождение эксперимента находится далеко от выхода синхротронного излучения (50 м), то в экспериментальную камеру луч поступает почти параллельным. Следовательно, необходимо сфокусировать синхротронное излучение на входную щель монохроматора.

Как показано на рис.1, луч с помощью сферического зеркала  $M$  фокусируется на входную щель. Угол падения на зеркало и фокусное расстояние выбираются так, чтобы обеспечить апертурный угол заполнения рабочей поверхности решётки. Кроме этого, зеркало предохраняет решётку от прямого попадания излучения.

Расчёт параметров фокусирующего зеркала производится с помощью известной функции оптического пути  $V(\varphi, z)$  (характеристическая функция), используемой различными авторами [1,2] для вычисления аберрации вогнутой решетки. Разложением функции

$V(y, z)$  в ряд и последующим дифференцированием по координатам  $y$  и  $z$  точки падения луча на решётку, получаем следующее выражение для первых членов разложения:

$$V(y, z) = -K\lambda m(y, z) + y(\sin \varphi + \sin \varphi') + \frac{y^2}{2} \left( \frac{\cos^2 \varphi}{\rho} + \frac{\cos^2 \varphi'}{f} - \frac{\cos \varphi + \cos \varphi'}{z} \right) + \frac{z^2}{2} \left( \frac{1}{\rho} + \frac{1}{f} - \frac{\cos \varphi + \cos \varphi'}{z} \right). \quad (1)$$

В этом выражении, если член с  $y^2$  обращается в нуль, то лучи фокусируются в одну точку в горизонтальной плоскости

$$\frac{\cos^2 \varphi}{\rho} + \frac{\cos^2 \varphi'}{f} - \frac{\cos \varphi + \cos \varphi'}{z} = 0, \quad (2)$$

где  $\rho$  и  $f$  - расстояния точечного источника и изображения от вершины решётки,  $z$  - радиус кривизны решетки,  $\varphi$  и  $\varphi'$  углы падения и дифракции луча.

Данное условие фокусировки можно использовать для расчёта радиуса кривизны сферического зеркала при условии равенства углов  $\varphi = \varphi'$ . Тогда (2) примет вид:

$$\frac{1}{\rho} + \frac{1}{f} = \frac{2}{z \cos \varphi}. \quad (3)$$

В этом уравнении, кроме  $\rho$ , которое представляет собой расстояние от источника синхротронного излучения до центра фокусирующего зеркала, равного 50 м, остальные параметры  $f$ ,  $z_m$  и  $\varphi$  выбирались так, чтобы обеспечить входной энергетический угол монохроматора равным  $34^\circ$ . Таким образом, при значении  $f = 1,6$  м и  $\varphi = 85^\circ$  радиус сферического зеркала  $z_m$  полу-

чился равным 38,9 м, при этом длина освещаемой поверхности равна 26 см. На зеркало нанесено алюминиевое покрытие толщиной  $\sim 2000 \text{ \AA}$ .

Диспергирующим элементом монохроматора является дифракционная решётка с цилиндрической поверхностью, ось которой вертикальна к плоскости круга Роуанда.

Параметры решётки следующие: радиус-2000 мм, число штрихов на 1 мм - 576, рабочая поверхность - 20 x 10 мм<sup>2</sup>.

Обратная линейная дисперсия рассчитывается дифференцированием по  $x$  соотношения:

$$m\lambda = \frac{b}{2} [\cos\psi - \cos(\psi + \Delta\psi)],$$

где  $\psi$  - угол скольжения,  $\psi + \Delta\psi$  - угол дифракции, причем  $\Delta\psi = x/2$ .

Значения обратной линейной дисперсии

$$\frac{d\lambda}{dx} = \frac{b}{2} \sin(\psi + \Delta\psi)$$

для спектров первого порядка ( $m = 1$ ) занесены в таблицу I.

$\lambda, \text{ \AA}$	$\frac{d\lambda}{dx}, \frac{\text{ \AA}}{\text{мм}}$	$\frac{dE}{dx}, \frac{\text{эВ}}{\text{мм}}$
20	0,71	21,8
40	0,81	6,23
60	0,91	3,13
80	1,00	1,93
100	1,08	1,29
120	1,16	0,96
140	1,23	0,76
160	1,30	0,63
180	1,36	0,52
200	1,43	0,44

### Механическая часть монохроматора

Монохроматор помещён в вакуумную камеру, соединённую с вакуумной камерой ускорителя вакуумопроводом. В монохроматоре поддерживалось давление  $5 \cdot 10^{-6}$  мм рт.ст. при помощи турбомолекулярного насоса производительностью 200 л/сек и титанового насоса производительностью 100 л/сек.

Все оптические элементы монохроматора смонтированы на цоралевой плате, которая в свою очередь опирается на неподвижную платформу и может быть повернута при окончательной настройке вокруг оси, проходящей через ось входной щели.

Расстояния входной щели и монохроматических изображений от вершины дифракционной решетки на окружности Роуанда рассчитывались по следующим формулам:

$$d = r \sin \psi ; \quad d' = r \sin (\psi + \Delta \psi) .$$

Выходная щель вместе с приёмником излучения монтируются на миниатюрной каретке, которая перемещается на окружности Роуанда. Движение каретки осуществляется посредством червячной передачи от шагового двигателя. Одному шагу соответствует перемещение каретки 2,5 мкм. Длина пути каретки по окружности Роуанда для охвата диапазона длин волн от 20 до 200 Å составляет 194 мм. Исследуемый образец крепится на держателе-коромысле, на котором закреплены стержни двух электромагнитов. При срабатывании одного электромагнита коромысло опускается и образец устанавливается на пути пучка; вторым электромагнитом образец убирается из-под пучка.

## Система управления и регистрации

Для осуществления автоматического сканирования спектра и дистанционного управления исследуемым образцом по заданной программе была разработана и изготовлена специальная электронная система, укомплектованная промышленными приборами (в основном производства ГДР) и специально сконструированным устройством автоматического управления. Устройство автоматического управления разработано и изготовлено в Центральном институте электронной физики АН ГДР и секцией химии Лейпцигского Университета им. Карла Маркса.

Блок-схема электронной системы дистанционного управления дана на рис.2.

Монохроматическое излучение регистрируется канальным электронным умножителем (КЭУ), сигнал от которого усиливается предусилителем. Затем сигналы дискриминируются и анализируются в блоке "линейный усилитель" и далее, после интегратора, записываются на самописце. Кроме того, импульсы от линейного усилителя с помощью счётного устройства (через заданный интервал времени) отсчитываются и подаются на цифровую печать. В блок счётного устройства также предусмотрено подключение перфоратора и ЭВМ.

Устройство автоматического управления представлено на рис.2 в виде четырёх отдельных блоков, собранных на интегральных схемах и оптоэлектронных элементах.

Первый блок - "набор шага" состоит из импульсного генератора в диапазоне частот 8-90 гц и предназначен для управления шаговым двигателем, устройством для замены образцов и счётчи-

ном пути, пройденного детектором (КЭУ). Второй блок - "счётчик пути" - предназначен для определения в момент измерений местонахождения детектора и закреплённой перед ним выходной щели на окружности Роуанда. Третий блок - "набор диапазона спектра" - предназначен для выбора определённого участка длины волны спектра.

После набора диапазона спектра каретка детектора движется до достижения набранного конечного значения, после чего измерение автоматически прекращается. Блок позволяет проводить измерения в двух направлениях, причем направление движения каретки указывается знаком (+) или (-) на счётчике пути.

Величину одного шага движения каретки можно выбрать в пределах от 0 до 99 шагов шагового двигателя. Один шаг шагового двигателя соответствует передвижению каретки по окружности Роуанда на 2,5 мкм. При режиме "непрерывного" сканирования автоматика отключается с помощью двух конечных выключателей. Четвёртый блок служит для управления образцом по различным программам.

Для осуществления программы автоматического измерения спектров предусмотрена обратная связь от устройства держателя образца к блоку "набор шага". Обратная связь осуществляется с помощью оптических соединителей. Сигнал обратной связи управляет работой импульсного генератора в первом блоке.

#### Испытание монохроматора

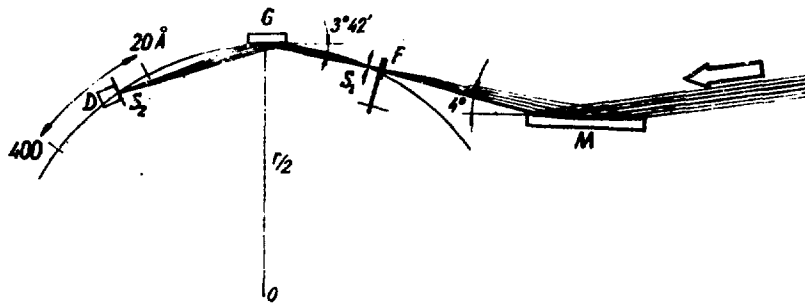
Испытание монохроматора было проведено, когда максимум интенсивности пучка синхротронного излучения лежал вне области,

охватываемой фокусирующим зеркалом. В этих условиях полученная скорость счёта импульсов составляла около 1% от ожидаемой.

Получен спектр пропускания в области К-края бериллия, напыленного на подложку из полистирола (рис.3), при этом монохроматическое излучение попадало на никелевую воронку фотокатода КЭУ. Использование добавочного фотокатода с напыленным слоем  $C_{24}$  позволило увеличить интенсивность сигнала в пять раз.

Проведенные измерения показали, что сильные флуктуации интенсивности пучка могут быть устранены только путем мониторингового управления счёта импульсов, вместо временного управления, которое использовалось в данной схеме.

В заключение авторы выражают благодарность механику ЦИЭФ Г.Лидеку за выполнение механических работ по изготовлению монохроматора. Авторы также считают своим приятным долгом поблагодарить руководство ЕрФИ и ЦИЭФ, сотрудников Международного отдела ГКАЭ СССР и Министерства угля и энергетики ГДР за помощь и содействие при выполнении настоящей работы.



Pnc.I

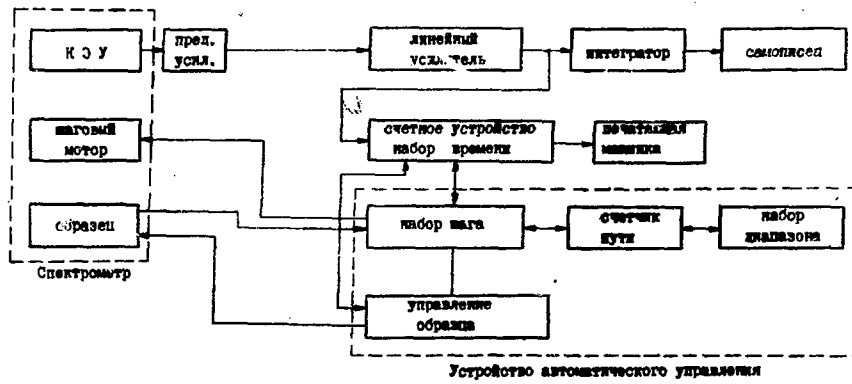


Рис.2

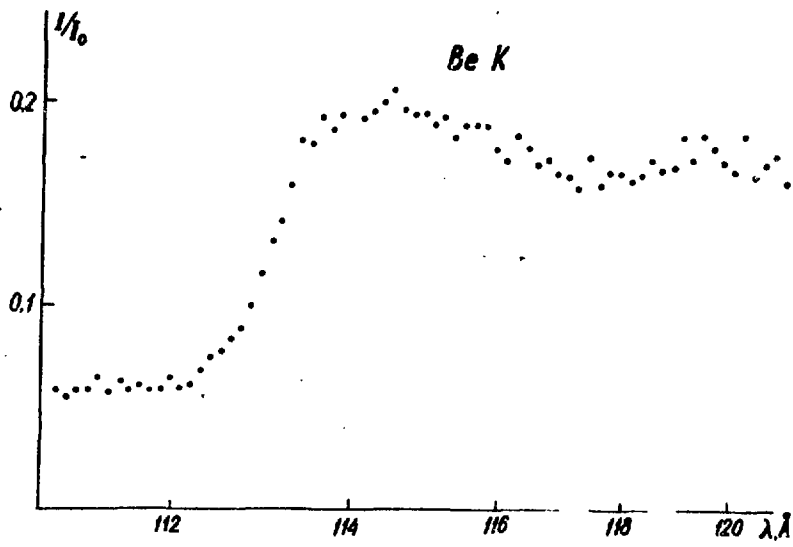


Рис.3

**ПОДПИСИ К РИСУНКАМ**

**Рис.1** Оптическая схема монохроматора.

**Рис.2** Блок схема системы управления и регистрации монохроматора.

**Рис.3** Спектр пропускания в области К-края бериллия.

## ЛИТЕРАТУРА

1. T.Namioka, J.Opt.Soc.Amer. 49,446,460,951, 1959.
2. T.Sai, M.Seya, T.Namioka, Sci Light 17, II, 1968.

Рукопись поступила 16-го февраля 1978г.

**Редактор Л.П.Мухаян**  
**Тех.редактор А.С.Абрамян**

**Заказ I66**

**ВФ-03296**

**Тираж 299**

---

**Подписано к печати 26/IV-78г. Формат издания 30x40**

**1.0 уч.изд.л. Ц. 7 к.**

---

**Надано Отделом научно-технической информации  
Бреванского физического института, Бреван-36, пер.Маркariana 2**

индекс 3624