

ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱՅԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ  
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

---

ՏՆՔՈՍԵՐԻ

ЕФИ-383(41)-79

В.Г.БАГДАСАРЯН, Д.Л.ЕГИКЯН, И.П.КАРАБЕКОВ

Մ.Ա.ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ, Բ.Ա.ՄԻԿԱԷԼՅԱՆ

ФОРМИРОВАНИЕ ПУЧКОВ СИ С ЗАДАНЫМИ  
УГЛОВЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

ԵՐԵՎԱՆ 1979 ԵՐԵՎԱՆ

В.Г.БАГДАСАРЯН, Д.Л.ЕГИКЯН, И.П.КАРАБЕКОВ,  
М.А.МАРТИРОСЯН, Р.А.МИКАЭЛЯН

ФОРМИРОВАНИЕ ПУЧКОВ СИ С ЗАДАНЫМИ УГЛОВЫМИ  
ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Для формирования пучков СИ в рентгеновском интервале длин волн с заданными угловыми характеристиками исследовано коллимирующее устройство, позволяющее установить требуемую величину расходимости излучения в интервале  $10^{-3}$  -  $10^{-5}$  рад. Устройство представляет собой дистанционно регулируемый коллиматор, набранный из стандартных рентгеновских щелей, установленный на расстоянии 17,54 м от места возникновения излучения. Дистанционно управляемый механизм позволяет установить на пути пучка требуемую коллимирующую щель. Показано, что при расходимости сформированного пучка СИ  $10^{-5}$  рад появляется возможность с помощью  $(n, +n)$  спектрометра определять ширину и форму дифракционных кривых отражения кристаллов.

Ереванский физический институт

Ереван 1979

EDM-383(4I)-79

V.G.BAGDASARYAN, D.L.EGIKYAN, I.P.KARABEKOV.  
M.A.MARTIROSYAN, R.A.MIKAELYAN

FORMING OF THE GIVEN ANGULAR CHARACTERISTICS  
IN THE SYNCHROTRON RADIATION BEAMS

The investigation of the collimating device, permitting to form angular characteristics of X-ray beams synchrotron radiation in the  $10^{-3}$  -  $10^{-5}$  rad. interval of the beam divergence, is performed. The device represents a distantly aligned collimator assembled of industrial X-ray slits placed at 17.54 m from the radiation point at the electron orbit. The distantly controlled mechanism permits to establish a required slit on the beam path. In the case of the  $10^{-5}$  rad. angular divergence an opportunity to measure both shape and width of diffraction curves of the crystal by means of (n+n) spectrometer arises.

Yerevan Physics Institute

Yerevan 1979

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЕФН-383(41)-79

В.Г.БАГДАСАРЯН, Д.Л.ЕГИКЯН, И.П.КАРАБЕКОВ,  
М.А.МАРТИРОСЯН, Р.А.МИКАЭЛЯН

ФОРМИРОВАНИЕ ПУЧКОВ СИ С ЗАДАНЫМИ УГЛОВЫМИ  
ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Ереван 1979

© *Ереванский физический институт, 1979*

Результаты экспериментального исследования взаимодействия рентгеновских лучей с идеальными кристаллами интерпретируются в рамках динамической теории в приближениях либо плоской [1], либо сферической [2] падающей монохроматизированной волны. В первом случае расходимость падающего пучка  $\Delta \psi$  должна быть много меньше ширины дифракционного максимума  $\varepsilon$  идеального кристалла. Приближение же сферической волны предполагает выполнение условия  $\Delta \psi \gg \varepsilon$  [3].

Формирование пучков рентгеновских лучей, удовлетворяющих тому или иному приближению, осуществляется с помощью системы коллимирующих щелей, кристаллов с асимметричными срезами, многокристалльных спектрометров и т.д. [3]. Однако, при формировании пучков с очень малым значением  $\Delta \psi$  с использованием традиционных источников, интенсивность потока фотонов может уменьшиться настолько, что использование их в ряде экспериментов оказывается практически невозможным.

Синхротронное излучение в связи с большой плотностью потока фотонов и узкой направленностью (см. например [4]) позволяет при той же степени коллимации получить более высокую интен-

сивность сформированного пучка. При этом возникает реальная возможность проведения экспериментов в приближении плоской падающей волны, что в свою очередь позволит решить широкий круг задач, связанных с экспериментальной проверкой большинства положений динамической теории, полученных на основании модели падающей плоской волны. В частности к таким фундаментальным проблемам относятся исследования параметров и тонкой структуры динамических максимумов, распределения волновых полей в кристаллических структурах [3] и др. Получение пучков с очень малым значением  $\Delta\psi$  позволит в экспериментах с использованием методики фотоэлектронной спектроскопии существенно повысить точность определения углового и энергетического распределения фотоэлектронов, а для структурных исследований объектов с большими периодами кристаллической решетки разрешение при регистрации фотонов малоуглового рассеяния [5].

Для количественного анализа результатов эксперимента необходима также нормализация измеренных данных относительно  $\epsilon/\Delta\psi$ . Поэтому в экспериментах необходимо не только измерение величины  $\epsilon/\Delta\psi$  для использования модели плоской или сферической волны, но и её фиксация. Создание специальных устройств для фиксации требуемого значения расходимости  $\Delta\psi$  особенно актуально для пучков СИ, генерируемых ускорителями электронов, в которых поперечное распределение частиц пучка изменяется в течение цикла ускорения, в эжекционный период и от цикла к циклу. При экспозиции на таком пучке результаты измерений представляют собой усредненное значение измеряемой величины в значительном интервале  $\Delta\psi_{\min} \div \Delta\psi_{\max}$ . Для ряда исследуемых образцов этот диапазон может простирается от условия приближения плоской волны

до условия, соответствующего модели сферической волны.

В настоящей работе описано устройство, позволяющее осуществить требуемое формирование пучков СИ и фиксирование их пространственных и угловых характеристик, установленное на канале синхротронного излучения Ереванского ускорителя электронов на энергию 6 Гэв [6]. Устройство состоит из двух коллимирующих щелей  $K_1$  и  $K_2$  установленных на пучкопроводе на расстояниях соответственно 17,54 м и 25,5 м от места возникновения излучения. Коллиматор  $K_1$  установлен в вакуумированном пучкопроводе канала и имеет дистанционное управление, которое позволяет установить на пучке щель с требуемым горизонтальным размером  $h_i$  из следующего набора:  $h_1 = 2$  мм,  $h_2 = 1$  мм,  $h_3 = 0,5$  мм,  $h_4 = 0,25$  мм,  $h_5 = 0,1$  мм. Выбранная коллимационная щель  $h_i$  может быть перемещена в горизонтальном направлении до совмещения центра коллимированного пучка с вертикальной осью симметрии экспериментальной установки. Вертикальная ось щели может быть зафиксирована в пределах  $\pm 10^\circ$  с помощью дистанционно управляемого эксцентричного вала. Коллиматоры набраны из стандартного комплекта гониометра ГУР-5. При установке одного коллиматора пучок, однако, проходит также и через соседние, что увеличивает уровень радиационного фона в районе установки и может быть опасным для персонала. Для устранения этого недостатка в этом же вакуумном патрубке на вертикально перемещаемом штоке механизма закреплен стальной экран толщиной 10 мм с прорезью, равной 10 мм. Эскиз конструкции дистанционного коллиматора показан на рис. I. Второй коллиматор устанавливается непосредственно на выходе пучка из бериллиевого окна.

Характеристика описанной коллимационной системы была исследована с помощью двухкристального спектрометра с  $(n, +n)$  расположением кристаллов, собранного на базе гониометра ГУР-5. В спектрометре использовались два монокристалла кремния Si (III) с числом дислокаций  $Nd \sim 10 \text{ см}^{-2}$ , ширина кривых качания, которых была измерена и равна соответственно  $\epsilon_1 = 24''$ ,  $\epsilon_2 = 20''$  [7]. При различных комбинациях входных и выходных щелей снимались дифракционные кривые отражения, как известно [3], ширина дифракционной кривой, полученной на  $(n, +n)$  спектрометре представляет собой свертку истинного углового распределения фотонов,  $\Delta\psi$ , в сформированном пучке СИ и кривых качания,  $\epsilon$ , обоих кристаллов спектрометра. При обработке дифракционных кривых и определении абсолютного значения величины углового распределения фотонов необходимо учитывать вклад, вносимый кривыми качания кристаллов в свертку. Так как дифракционная кривая отражения и кривые качания кристаллов в отдельности аппроксимируются кривой Гаусса [7,8], истинное значение расходимости  $\Delta\psi$  определяется из выражения

$$\Delta\psi = \sqrt{\sigma_{\Delta}^2 - \sigma_{1,2}^2}, \quad (I)$$

где  $\sigma_{\Delta}$  - полуширина дифракционной кривой, полученной на  $(n, +n)$  спектрометре,  $\sigma_{1,2}^2$  - сумма квадратов кривых качания кристаллов спектрометра. Обработанные таким методом дифракционные кривые отражений при различных комбинациях щелей коллиматоров  $K_1$  и  $K_2$  дали значения  $\Delta\psi$ , приведенные в таблице.

Как видно из приведенной таблицы измеренные значения угловой расходимости сформированных пучков с хорошей точностью

соответствуют значениям  $\Delta \psi$ , подсчитанным исходя из геометрии эксперимента по формуле

$$\Delta \psi = \frac{h_1 + h_2}{L} \quad (2)$$

где  $L$ , расстояние между коллиматорами  $K_1$  и  $K_2$  и равно 7,96 м.

Однако, при значениях щелей  $h_1 = 0,1$  мм,  $h_2 = 0,1$  мм ширина свертки оказалась меньше суммы кривых качания кристаллов спектрометра. Этот экспериментальный результат можно объяснить исходя из теории двухкристалльных спектрометров [9] опираясь на диаграммах Дю-Монда [10] для случая  $(n_1 + n_2)$  спектрометра (рис.2). Дело в том, что если угловое распределение фотонов  $\Delta \psi$ , падающего пучка уже кривой качания первого кристалла  $(n_1 + n_2)$  спектрометра, (рис.2б), то: полученная дифракционная кривая будет представлять собой свертку  $\Delta \psi$  и кривой качания второго кристалла. В этом случае

$$\Delta \psi = \sqrt{\beta_{\Omega}^2 - \beta_2^2} \quad (3)$$

где  $\beta_{\Omega}$  - полуширина дифракционной кривой,  $\beta_2$  - кривая качания второго кристалла. Подставляя в (3) значение  $\beta_{\Omega}$  и  $\Delta \psi$  подсчитанное из (2) было определено значение ширины кривой качания второго кристалла. Полученное значение  $\beta$  хорошо согласуется со значением, измеренным в [7]. Таким образом предложенная установка позволяет формировать пучки СИ с очень малой

угловой расходимостью без существенной потери интенсивности. Отсюда вытекает другая, очень важная экспериментальная методика, заключающаяся в том, что при формировании пучков с  $\Delta\psi \ll \epsilon$  на  $(n_1 + n_2)$  спектрометре можно измерять параметры и тонкую структуру кривых качания кристаллов.

С помощью дистанционного, юстируемого коллиматора были сформированы пучки с угловой расходимостью от  $2,4 \cdot 10^{-5}$  рад до  $11,2 \cdot 10^{-4}$  рад. Соответствующие дифракционные кривые с помощью которых получены эти граничные данные представлены на рис.3. Первая кривая получена при значениях  $h_1 = h_2 = 0,1$  мм, вторая без дистанционного коллиматора при значениях  $h_2 = 2$  мм. Описанное коллимирующее устройство одновременно уменьшило на два порядка рассеянный радиационный фон в районе экспериментальной установки и юстирующей аппаратуры.

Таблица

$K_1$ мм	$K_2$ мм	$\Delta \varphi$ изм.	$\Delta \varphi$ расч.
0,1	2	$2,74 \cdot 10^{-4}$	$2,64 \cdot 10^{-4}$
-"-	1	$1,36 \cdot 10^{-4}$	$1,38 \cdot 10^{-4}$
-"-	0,5	$0,75 \cdot 10^{-4}$	$0,75 \cdot 10^{-4}$
-"-	0,1	$0,65 \cdot 10^{-4}$	$0,24 \cdot 10^{-4}$

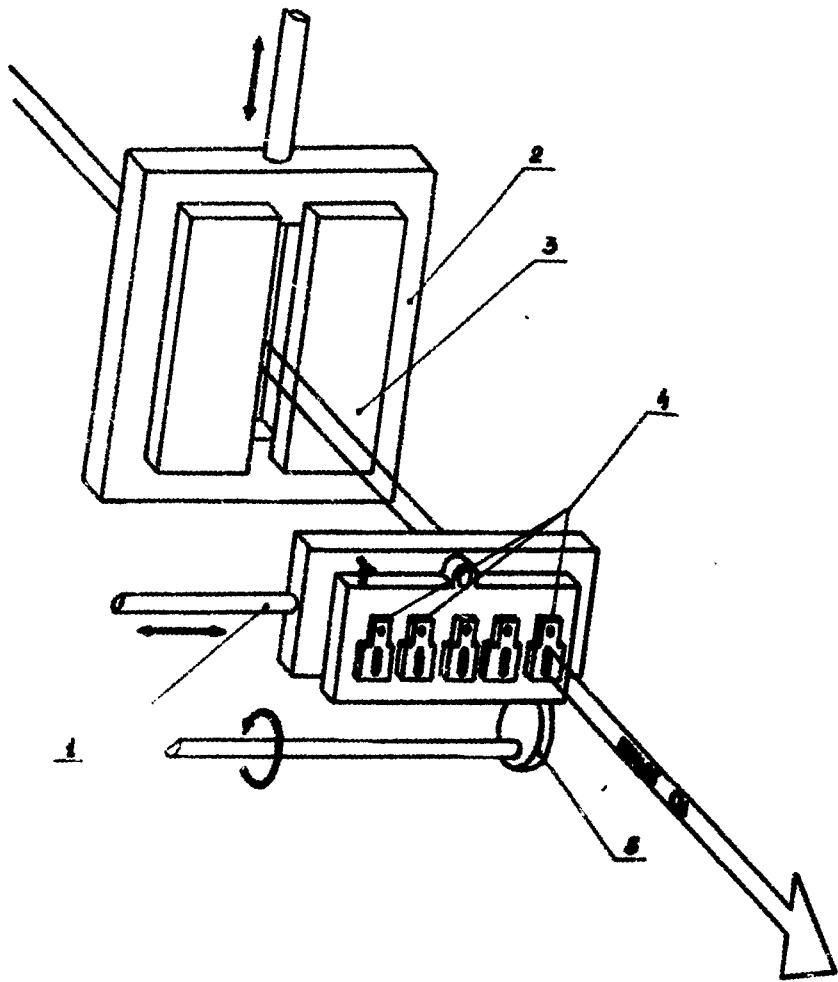


Рис. I

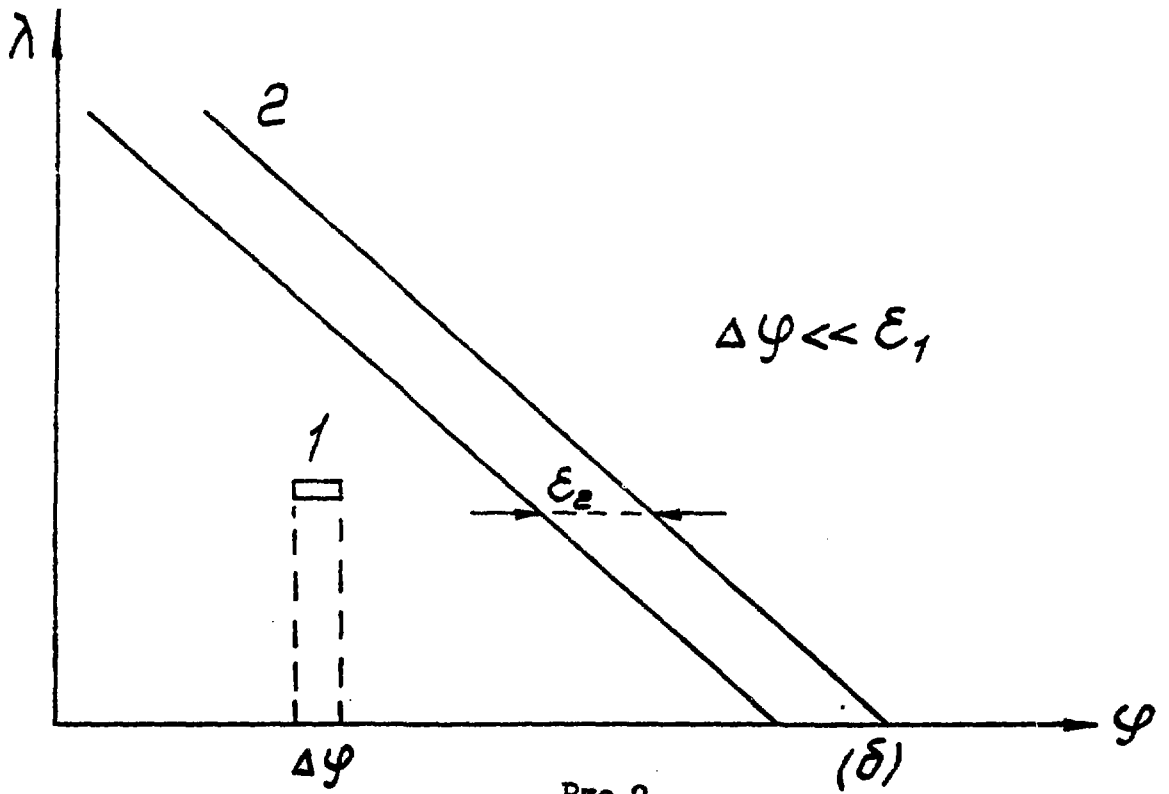
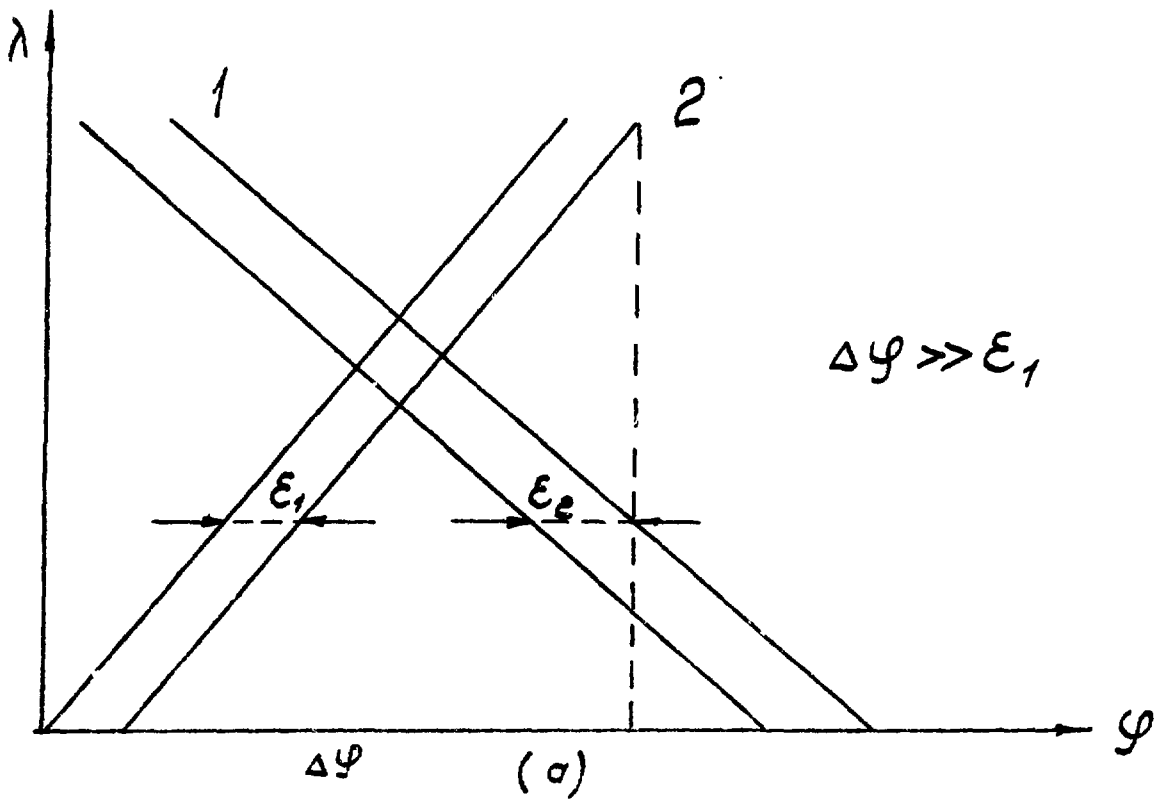


Рис. 2

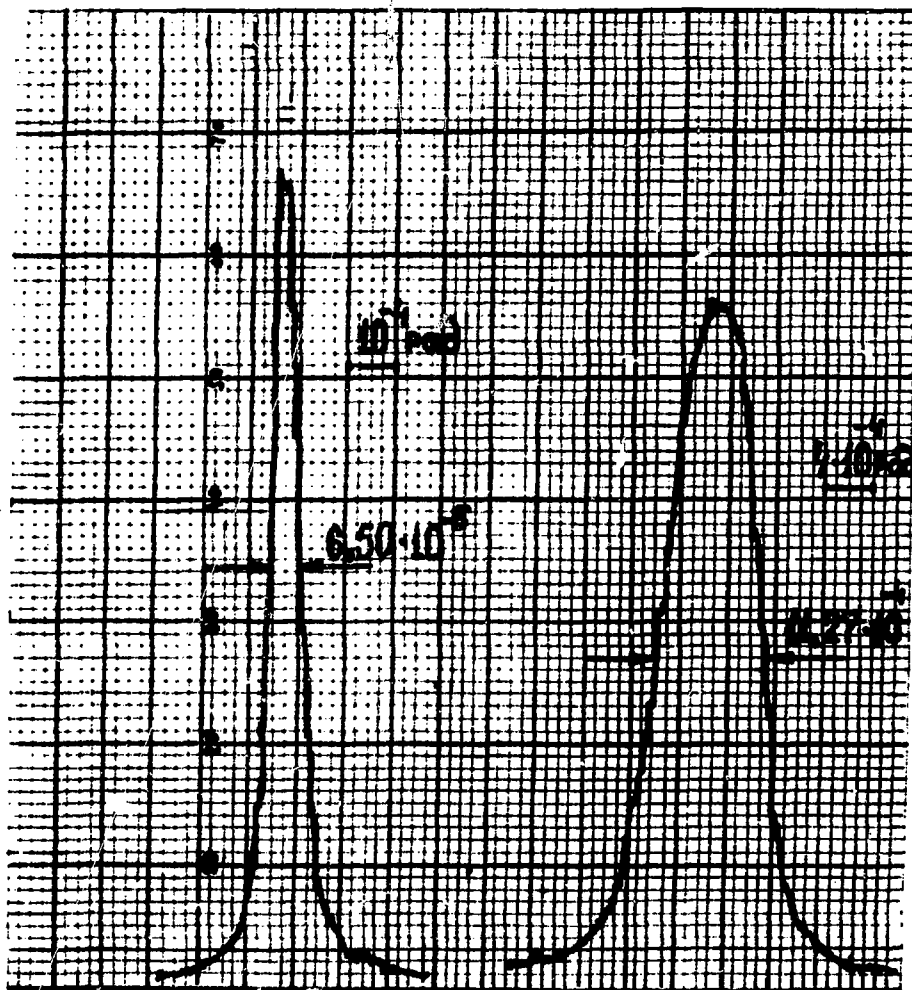


Рис. 3

## ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

Рис. I Эскиз конструкции дистанционно — регулируемого коллиматора.

- 1) Горизонтально перемещаемый шток дистанционно управляемого механизма.
- 2) Вертикально перемещаемый шток дистанционно управляемого механизма.
- 3) Железный экран.
- 4) Набор стандартных коллимирующих щелей.
- 5) Эксцентричный вал.

Рис. 2 Диаграмма Де-Монда двухкристального рентгеновского спектрометра с  $(n, + n)$  расположением кристаллов:

- а) для случая, когда  $\Delta \psi \gg \epsilon$
- б) для случая, когда  $\Delta \psi \ll \epsilon$

Рис. 3 Дифракционные кривые отражения, снятые на  $(n, + n)$  спектрометре при различных комбинациях коллимирующих щелей.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. P.P.Ewald, Phys.Zschr., 26, 29, 1925.
2. N.Kato, Acta Crist., 14, 526, 627, 1967.
3. З.Г.Пинскер "Динамическое рассеяние рентгеновских лучей в идеальных кристаллах" , Наука, Москва, 1974.
4. "Синхротронное излучение в исследовании твердых тел" -  
-сборник статей , Мир, Москва, 1970.
5. А.А.Вазина, В.С.Герамисов и др. "Биофизика", 20, 8а, 1975.
6. А.И.Алиханян, Ц.М.Авакян, П.А.Безирганян, И.П.Карабеков,  
М.А.Мартиросян, А.М.Коцинян, С.С.Овакимян. ПТЭ, 3, 39, 1974.
7. Д.Л.Егикян, И.П.Карабеков, М.А.Мартиросян, Р.А.Микаэлян,  
Препринт ЕФИ-244(37)-77 Ереван, 1977.
8. M.Reppinger, Acta Crist. A28, 537, 1955
9. А.Комптон, С.Алисси "Рентгеновские лучи", М.Л.Гостехиздат,  
1941.
10. J.Du-Mond, Phys.Rev., 52, 872, 1937.

Рукопись поступила 27-го июля 1979 г.

Редактор Л.П.Мукаян  
Тех.редактор А.С.Абрамян

Заказ 338

ВФ-06057

Тираж 299

Препринт ЕФИ

Формат издания 60 x 84/16

Подписано к печати 22/XI-79г. I.0 уч.изд.л. Ц. 7 к

Издано Отделом научно-технической информации  
Ереванского физического института, Ереван-36, пер.Маркарян 2

