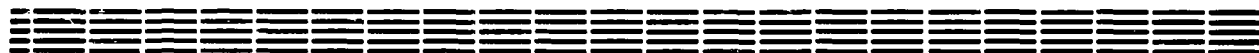


ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱԶԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
YEREVAN PHYSICS INSTITUTE



Р.О.АВАКЯН,Э.О.АВАКЯН,Г.А.АВДАЛЯН,А.Э.АВETИСЯН
А.В.АГАРОНЯН,Р.Б.АЙВАЗЯН,А.А.АРМАГАНЯН,
Р.А.АСАТРЯН,Р.Р.БАХШЕЦЯН,Е.М.БОЯХЧЯН,
Г.А.ВАРТАПЕТЯН,В.Г.ГАВАЛЯН,В.А.ГЮРДЖЯН,
К.Р.ДАДЛАКЯН,С.С.ДАНАГУЛЯН,В.С.ЕГАНОВ,
О.С.КИЗОГЯН,Э.М.МАТЕВОСЯН,Р.М.МИРЗСЯН,
М.А.ОГАНЕСЯН,Р.Ц.САРКИСЯН,Ю.З.СУКЦАСЯН,
С.П.ТАРОЯН,Г.М.ЭЛБАКЯН

**СПЕКТРАЛЬНЫЕ И УГЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ИЗЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ В ТОЛСТОМ
МОНОКРИСТАЛЛЕ АЛМАЗА**

Ա.Վ. ԱՀԱՐՈՆՅԱՆ, Ռ.Ա. ԱՍԱՏՐՅԱՆ, Է.Հ. ԱՎԱԳՅԱՆ, Ռ.Հ. ԱՎԱԳՅԱՆ,
Գ.Ա. ԱՎԴԱԼՅԱՆ, Ա.Է. ԱՎԵՏԻՍՅԱՆ, Ռ.Բ. ԱՅՎԱԶՅԱՆ, Ա.Ա. ԱՐՄԱՂԱՆՅԱՆ,
Ռ.Ռ. ԲԱՅՇԵՑՅԱՆ, Ե.Մ. ԲՈՅԱԽՉՅԱՆ, Վ.Ա. ԳՅՈՒՐՉՅԱՆ,
Կ.Ռ. ԳԱԼԼԱԲՅԱՆ, Ս.Ս. ԳՐԱՄԳՈՒԼՅԱՆ, Վ.Ս. ԵԳԱՆՈՎ,
Գ.Մ. ԷԼԲԱԿՅԱՆ, Ս.Պ. ԹԱՐՈՅԱՆ, Հ.Ս. ԿԻՋՈԳՅԱՆ,
Մ.Ա. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ, Վ.Գ. ՂԱՎԱԼՅԱՆ, Է.Մ. ՄԱԹԵՎՈՍՅԱՆ,
Ռ.Մ. ՄԻՐՋՈՅԱՆ, Ռ.Ց. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, ՅՈԼ.Զ. ՍՈՒՔԻԱՍՅԱՆ,
Հ.Հ. ՎԱՐԴԱՊԵՏՅԱՆ

ԱԼՄԱՍՏԻ ՀԱՍՏ ՄԻԱԲՅՈՒՐՆՂՈՒՄ ԷԼԵԿՏՐՈՆՆԵՐԻ ՃԱՌԱԳԱՅՅՄԱՆ
ՄՊԵԿՏՐԱԿ ԵՎ ԱՆԿՅՈՒՆԱՅԻՆ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԸ

Հայտնաբերված է 4,5 ԳԷՎ էներգիայով էլեկտրոնների ճառագայթման սպեկտրալ-անկյունային խտությունների նկատելի ամ առանցքային և հարթ կանալացման դեպքերի հետքերը՝ կախված ավազաթի միարյունըրելի հաստություններից:

Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտ

Երևան 1987



Центральный научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по атомной науке и технике (ЦНИИатоминформ) 1987 г.

Preprint EDM-IO23(73)-87

R.O.AVAKIAN, E.C.AVAKIAN, G.A.AVDALIAN, A.E.AVETISSIAN,
A.V.AHARONIAN, R.B.AIVAZIAN, A.A.ARMAGHANIAN,
R.A. ASATRIAN, R.R.BAKHSHETSIAN, E.M.BOYAKHTCHIAN,
K.R.DALLAKIAN, S.S.DANAGULIAN, G.M.ELBAKIAN, V.G.GAVALIAN,
V.A.GYURDJIAN, O.S.KIZOZYAN, E.M.MATEVOSSIAN,
R.M.MIRZOYAN, M.O.OGANESSIAN, R.Ts.SARKISSIAN,
Yu.Z.SUKIASSIAN, S.P.TAROYAN, G.A.VARTAPETIAN, V.S.YEGANOV

SPECTRUM AND ANGULAR CHARACTERISTICS OF ELECTRON
RADIATION IN A THICK DIAMOND CRYSTAL.

An increase of the spectro-angular density of 4.5 GeV
electron radiation at axial and planar channeling depending
on the thickness of the diamond crystal is revealed.

Yerevan Physics Institute

Yerevan 1987

УДК 539.12.17

Р.О.АВАКЯН, Э.О.АВАКЯН, Г.А.ЛВДАЛЯН, А.Э.АВЕТМСЯН,
А.В.АГАРОНЯН, Р.Б.АЙВАЗЯН, А.А.АРМАГАНЯН, Р.А.АСАТРЯН,
Р.Р.БАХШЕЦЯН, Е.М.БОЯХЧЯН, Г.А.ВАРТАШЕЦЯН, В.Г.ГАВАЛЯН,
В.А.ГЮРДЖЯН, К.Р.ДАЛЛАКЯН, С.С.ДАНАГУЛЯН, В.С.ЕГАНОВ,
О.С.КИЗОГЯН, Э.М.МАТЕВОСЯН, Р.М.МИРЗОЯН, М.А.ОГАНЕСЯН,
Р.Ц.САРКИСЯН, Ю.З.СУКИАСЯН, С.П.ТАРОЯН, Г.М.ЭЛБАКЯН

СПЕКТРАЛЬНЫЕ И УГЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ
ЭЛЕКТРОНОВ В ТОЛСТОМ МОНОКРИСТАЛЛЕ АЛМАЗА

Обнаружен заметный рост спектрально-угловой плотности
излучения электронов с энергией 4,5 ГэВ в условиях осевого
и плоскостного каналирования в зависимости от толщины моно-
кристалла алмаза.

Ереванский физический институт

Ереван 1987

Большой интерес к излучению при каналировании частиц прежде всего обусловлен его уникальными характеристиками, такими, как: высокая спектрально-угловая плотность излучения, большая степень поляризации фотонного пучка, квазимонохроматичность и т.д.

При создании высокоинтенсивных и узконаправленных пучков фотонов для прикладных задач важное место занимают исследования излучения в толстых кристаллах. Уже первые результаты в этом направлении [1-3] показали интересные особенности в процессе излучения электронов при увеличении толщины кристаллического радиатора. Был обнаружен заметный рост спектрально-угловой плотности излучения при толщинах, значения которых в 20 и более раз превышают расчетные длины деканалирования. С другой стороны очевидно, что с увеличением толщины на спектрально-угловые характеристики излучения существенно могут влиять процессы многократного рассеяния частиц и их радиационные потери. Теоретические исследования влияния многократного рассеяния и радиационных потерь на динамику и характеристики

излучения каналированных электронов показали существование оптимальной толщины кристалла L_0 , при которой энергетический выход излучения в заданный телесный угол является максимальным [4], а также привели к новому пониманию явления, связанного с объемным захватом и существованием аномально большой доли частиц, пробег которых в режиме каналирования значительно превышает расчетную длину деканалирования [5].

В настоящей работе проведены экспериментальные исследования спектрально-угловых характеристик излучения электронов с энергией 4,5 ГэВ в монокристалле алмаза толщиной 10 мм в условиях осевого и плоскостного каналирования.

Эксперимент проведен на выведенном пучке электронов Ереванского синхротрона [6]. Схема экспериментальной установки приведена на рис.1. Сформированный электронный пучок с угловой расходимостью $\pm 5 \cdot 10^{-5}$ рад и энергией частиц $(4,50 \pm 0,02)$ ГэВ попадал в вакуумную камеру гониометрической установки, где расположен кристаллический радиатор из алмаза. Точность ориентации мишени была равна $4,4 \cdot 10^{-5}$ рад. Размеры поперечного сечения пучка на мишени были равны 2×2 мм.

Газовый пропорциональный счетчик ГИСИ служит для регистрации падающих на мишень электронов. Пропорциональная камера МПК-1 с шагом намотки сигнальных проволочек 1 мм служит для регистрации координаты первичной частицы до попадания на мишень М. Гониометрическое устройство ГУ служит для смены ориентации мишеней под пучком. Дистанционное управление позволяет менять углы вращения мишени относительно горизонтальной и вертикальной осей с точностью $4 \cdot 10^{-5}$ рад, а также двигать ми-

шень по горизонтали перпендикулярно пучку с точностью 0,2 мм.

Отклоняющий магнит (ОМ) мониторингового спектрометра разделяет электроны от фотонов для их дальнейшей регистрации.

Сцинтилляционный телескоп $C_1 C_2$ служит для регистрации электронов после взаимодействия с мишенью и состоит из двух сцинтилляционных детекторов длиной 1 м, осматриваемых двумя ФЭУ с торцов. Фотонное плечо установки состоит из газового счетчика ГИС-2 для отсекаания заряженного фона, съемного конвертора для преобразования части γ -квантов в электрон-позитронные пары, пропорциональной камеры МКК-2 с шагом намотки сигнальных проволок 1 мм для измерения углов вылета частиц из мишени, газового счетчика ГИС-3 для регистрации электрон-позитронной пары, двух пропорциональных камер МКК-3 и МКК-4 с шагом намотки 2 мм для восстановления траекторий e^+e^- пар, образованных в конверторе, а также спектрометра полного поглощения (СПП) на основе кристалла $NaI(Tl)$ для измерения энергии γ -квантов.

В установке применялись многопроволочные газовые детекторы различных функциональных назначений. Для пространственных измерений были использованы как "стандартные" камеры с шагом намотки сигнальных проволочек 2 мм, так и специально созданные с шагом 1 мм.

Применение газовых счетчиков позволило регистрировать первичные электроны и конверсионные e^+e^- - пары без существенного увеличения углового разброса частиц из-за многократного рассеяния и включить их в систему отбора событий.

МКК-3 и МКК-4 (рис.1) представляют собой "стандартные камеры" с пространственным разрешением ± 1 мм. Камеры имеют высо-

кую эффективность регистрации, рабочее плато напряжения 400-500 В и количество вещества на пути частиц 0,04 г/см².

Для измерения углов $\sim 10^{-4}$ рад созданы специальные камеры МК-1 и МК-2 с точностью измерения $\pm 0,5$ мм (шаг намотки 1 мм). В качестве катодных плоскостей использована алюминиевая фольга толщиной 10 мкм, а анодные плоскости намотаны ортогонально золоченой вольфрамовой проволокой диаметром 15 мкм. Для увеличения точности измерения угловых распределений γ -квантов в камере с конвертором МК-2 очень важно, чтобы e^+e^- - пара регистрировалась как можно ближе к месту своего возникновения, для чего расстояние анод-катод уменьшено до 3 мм, а конвертор совмещен с катодом. Камеры продувались газовой смесью Хе + СН₄ + метилаль.

Мастерный сигнал М получается совпадением мастерных сигналов электронного (Me) и фотонного (M γ) плеч установки

$$M = Me \times M\gamma$$

Мастерный сигнал Me получается совпадением сигналов от ГС1 и от сцинтилляционного телескопа С₁ С₂, который в свою очередь формируется как

$$(C_{11} + C_{12}) \times (C_{21} + C_{22}),$$

т.е.

$$Me = (ГС_1) \times [(C_{11} + C_{12}) \times (C_{21} + C_{22})],$$

где С₁₁ и С₁₂ - сигнал с левого и правого ФДУ сцинтилляционного детектора С₁, С₂₁ и С₂₂ - соответственно для С₂.

Мастерный сигнал фотонного плеча M γ формируется совпадением сигналов от ГС3 и NaJ(ТЭ) и антисовпадением с ГС2, т.е.

$M\gamma = (ГС_3) \times (\overline{ГС_2}) \times (NaJ(ТЭ))$. Газовый счетчик ГС2 служит для регистрации заряженного фона, исключая их, будучи включен в схе-

му антисовпадений.

Информация с экспериментальной установки, включающая в себя координаты взаимодействия электронов с мишенью и рождения электрон-позитронной пары, а также энергию фотона, через автоматизированную систему съема и накопления информации в стандарте КАМАК, управляемой ЭВМ "Э-60", передавалась на ЭЦМ ЭО-1002 для накопления и предварительной обработки.

В эксперименте измерены спектральные распределения и интегральные выходы излучения электронов в заданный телесный угол в условиях осевого (ось $\langle III \rangle$) и плоскостного (плоскость $(II0)$) каналирования. На рис. 1 и 2 представлены энергетические спектры излучения электронов в условиях осевого и плоскостного каналирования. По оси ординат отложена интенсивность излучения $d^2W/dE\gamma d\Omega$, приведенная на единицу длины (см) и на один электрон. Пунктирной линией обозначен уровень интенсивности для дезориентированного кристалла.

В измеренных спектрах наблюдаются пики, интенсивность которых значительно превышает интенсивность излучения в аморфной среде. Здесь так же, как и в наших предыдущих измерениях с меньшими толщинами радиаторов [2], ширины пиков излучения в режиме плоскостного каналирования меньше, чем в случае осевого каналирования. С увеличением толщины кристалла наблюдается уширение пиков, падение интенсивности в пике и смещение пиковой энергии в стороны жестких энергий. Трансформации спектров как при осевом, так и при плоскостном каналировании с увеличением толщины, по-видимому, связаны с многократным рассеянием электронов в кристалле, выходом электронов из режима

каналирования и спецификой спектрометра NaJ(Te) , регистрирующего два или несколько одновременно испущенных фотонов как один фотон суммарной энергии.

Наиболее интересными являются данные об интегральных потерях энергии электронов в заданный телесный угол

$$\eta(\theta) = \frac{1}{E_0} \int_0^{E_0} (dW(\theta)/dE_\gamma) dE_\gamma = \Delta E/E_0 ,$$

где ΔE - полная излученная энергия, E_0 - начальная энергия электронов, $dW(\theta)/dE_\gamma$ - интенсивность излучения в телесный угол с плоскими углами, равными $\pm \theta$. На рис.3 приведены кривые угловых зависимостей полного сброса энергии электрона $\eta(\theta)$ (в процентах) для дезориентированной мишени (черные кружки), в условиях плоскостного каналирования (треугольники) и в условиях осевого каналирования (светлые кружки). Экспериментальные ошибки , приведенные на рисунке, являются статистическими.

Из рис.3 можно сделать следующие заключения:

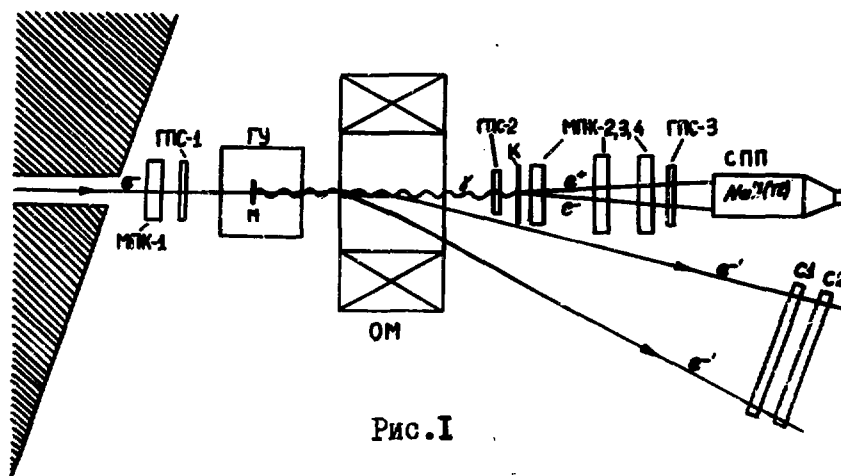
1. В условиях каналирования в плоскости (110) кристалла алмаза интегральный выход излучения растет практически линейно в зависимости от толщины (см. работу [3]).

2. Наблюдаемая высокая угловая плотность интегрального выхода излучения в условиях осевого каналирования указывает на перспективность использования ориентации кристалла $\langle 111 \rangle$ для получения интенсивных и узконаправленных пучков фотонов.

3. Основная доля излучения испускается в меньшем угловом конусе, чем это следует из расчета среднеквадратичного угла многократного рассеяния электронов в аморфном теле.

Важной характеристикой фотонного пучка является величина яркости излучения $\Delta E/\Delta\Omega$ - полная излученная энергия в единичный телесный угол, которая достигает своего максимального значения на длине L_0 [5]. Для энергии электронов $E_0 = 4,5$ ГэВ расчетное значение $L_0 \approx 10$ мм. В осевом случае измеренная яркость излучения $\Delta E/\Delta\Omega = (0,53 \pm 0,04) \cdot 10^9$ МэВ/ср, что примерно вдвое меньше, чем в работе [4]. Возможно, это несогласие связано со специфическими особенностями характера многократного рассеяния электронов, пролетающих вблизи кристаллографических осей, которые не учтены в теоретической работе.

Из наших данных следует, что вопрос определения оптимальной толщины L_0 как при плоскостном, так и при осевом каналировании электронов для энергии 4,5 ГэВ остается открытым. Необходимы дальнейшие исследования зависимости излучения от толщины в условиях каналирования частиц в различных монокристаллах.



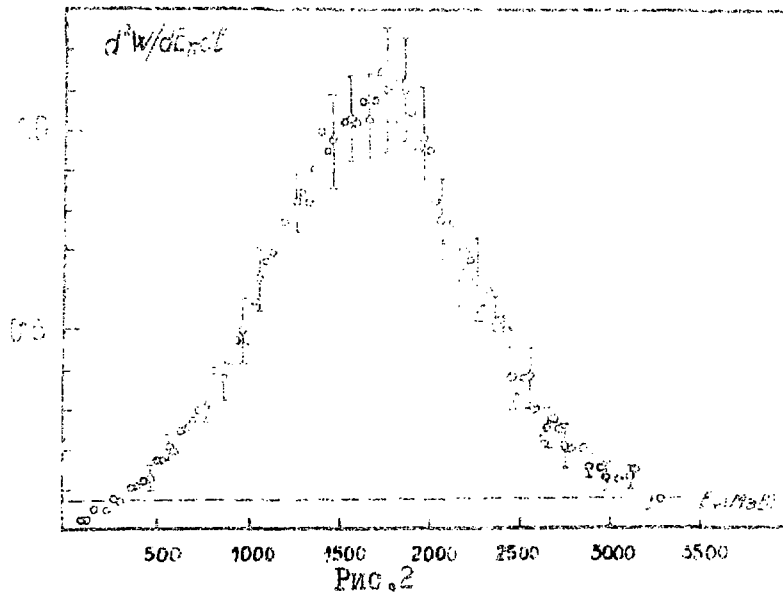


Рис. 2

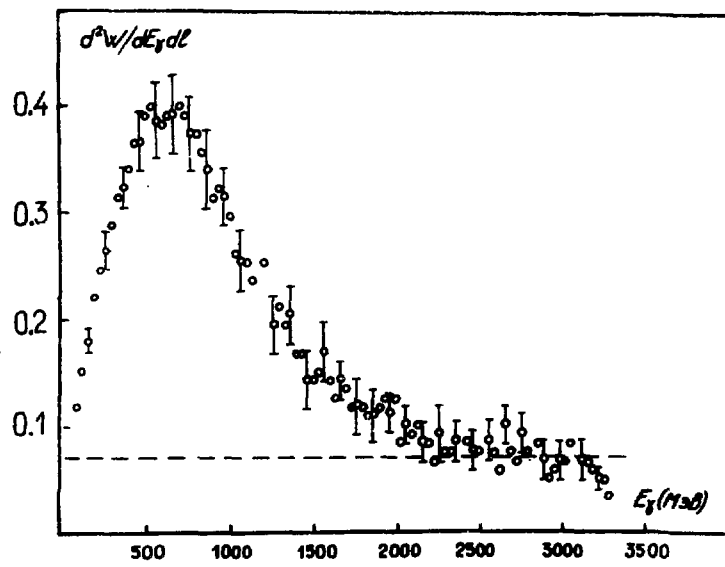


Рис. 3

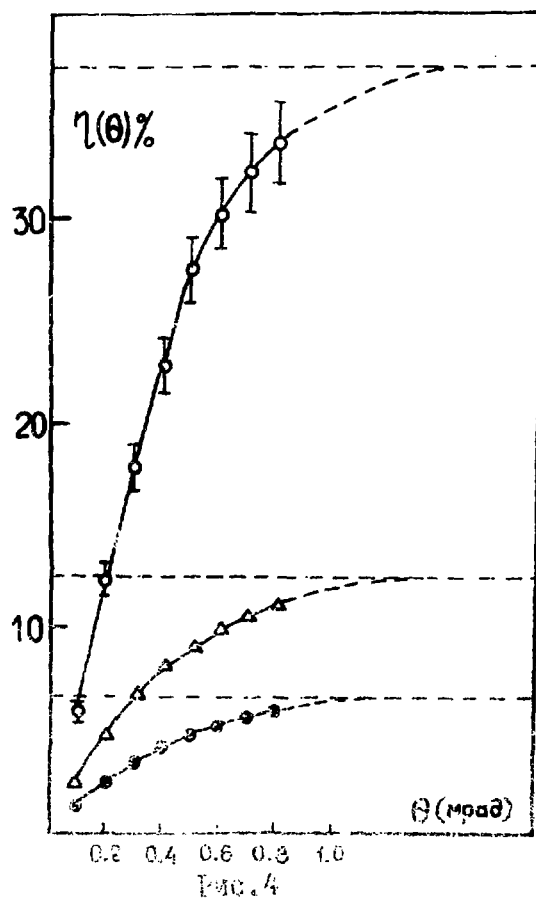


Рис. 4

ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

Рис.1 Схема экспериментальной установки.

Рис.2 Энергетический спектр излучения электронов в условиях осевого каналирования.

Рис.3 Энергетический спектр излучения электронов в условиях плоскостного каналирования.

Рис.4 Зависимость интегрального выхода излучения от угла вылета фотонов.

Горизонтальная пунктирная кривая показывает уровень выхода излучения по всем углам вылета фотонов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булгаков Н.К., Водопьянов А.С., Головатик В.М. и др. Излучение электронов с энергией 10 ГэВ в монокристалле кремния в процессе осевого каналирования. Препринт ОИЯИ-1-83-640, Дубна, 1983.
2. Авакян Р.О., Авакян Э.О., Аветисян А.Э. и др. Излучение электронов высоких энергий вблизи кристаллографических осей и плоскостей кристалла алмаза. Препринт ВФИ-704(19)-84, Ереван, 1984.
3. Авакян Р.О., Аветисян А.Э., Армаганян А.А. и др. Угловые характеристики излучения ультрарелятивистских электронов в толстых монокристаллах алмаза. Письма в ЖТФ, 1985, т. II, вып. 22, с. 1393.
4. Байер В.И., Катков В.М., Страховенко В.М. Выход излучения электронов большой энергии в толстых монокристаллах. Препринт ИЯФ 84-II, Новосибирск, 1984.
5. Телегин В.И., Хоконов М.Х. ЖЭТФ, 1982, т. 83, с. 260.
6. Авакян Р.О., Аветисян А.Э., Агаронян А.В. и др. Электронный тракт Ереванского ускорителя с малой угловой расходимостью пучка. Препринт ВФИ-776(3)-85, Ереван, 1985.

Рукопись поступила 14 сентября 1987 г.

Р.О.АВАКЯН, Э.О.АВАКЯН, Г.А.АВДАЛЯН, А.Э.АВЕТИСЯН,
А.В.АГАРОНЯН, Р.Б.АЙВАЗЯН, А.А.АРМАГАНЯН, Р.А.АСАТРЯН,
Р.Р.БАХШЕЦЯН, Е.М.БОЯХЧЯН, Г.А.ВАРТАПЕЦЯН, В.Г.ГАВАЛЯН,
В.А.ГОРДЖЯН, К.Р.ДАЛЛАКЯН, С.С.ДАНАГУЛЯН, В.С.ЕГАНОВ,
О.С.КИЗОГЯН, Э.М.МАТЕВОСЯН, Р.М.МИРЗОЯН, М.А.ОГАНЕСЯН,
Р.Ц.САРКИСЯН, Ю.З.СУКИАСЯН, С.П.ТАРОЯН, Г.М.ЭЛБАКЯН

СПЕКТРАЛЬНЫЕ И УГЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ
ЭЛЕКТРОНОВ В ТОЛСТОМ МОНОКРИСТАЛЛЕ АЛМАЗА

Редактор Л.П.Мукаян

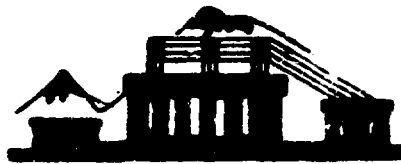
Технический редактор А.С.Абрамян

Подписано в печать 12/ХІ-87 ВФ-09519 Формат 60x84/16
Офсетная печать. Уч. изд. л. 1.0 Тираж 299 экз. Ц. 15 к.
Зак. тип. № 691 Индекс 3624

Отпечатано в Ереванском физическом институте
Ереван, 36, Маркаряна 2

**The address for requests:
Information Department
Yerevan Physics Institute
Markaryan St., 2
Yerevan, 375036
Armenia, USSR**

индекс 3624



ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ