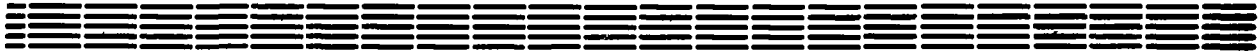


ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱԶԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
YEREVAN PHYSICS INSTITUTE



Р.О.АВАКЯН, Э.О.АВАКЯН, Г.А.АВДАЛЯН, А.Э.АВETИСЯН
А.В.АГАРОНЯН, А.А.АРМАГАНЯН, Р.А.АСАТРЯН,
Р.Р.БАХШЕЦЯН, Е.М.БОЯХЧЯН, Г.А.ВАРТАПЕТЯН,
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

УГЛОВАЯ ЗАВИСИМОСТЬ МНОГОКРАТНОГО
РАСSEЯНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ В МОНОКРИСТАЛЛАХ
АЛМАЗА

Ա.Վ. ԱՀԱՐՈՆՅԱՆ, Ռ.Ա. ԱՍՍՏՐՅԱՆ, Է.Հ. ԱՎԱԳՅԱՆ, Ռ.Հ. ԱՎԱԳՅԱՆ,
Գ.Ա. ԱՎԴԱԼՅԱՆ, Ա.Է. ԱՎԵՏԻՍՅԱՆ, Ա.Ա. ԱՐՄԱՂԱՆՅԱՆ, Ռ.Ռ. ԲԱԿՇԵՆՅԱՆ,
Ե.Մ. ԲՈՅԱԽՉՅԱՆ, Վ.Ա. ԳՅՈՒՐՋՅԱՆ, Կ.Ռ. ԴԱԼԼԱՔՅԱՆ,
Ս.Ս. ԴԱՆԱԳՈՒԼՅԱՆ, Վ.Ա. ԵԳԱՆՈՎ, Գ.Մ. ԷԼԲԱԿՅԱՆ, Ս.Գ. ԹԱՐՈՅԱՆ,
Հ.Ս. ԿԻՋՈԳՅԱՆ, Մ.Ա. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ, Վ.Գ. ԿԱՎԱԼՅԱՆ,
Է.Մ. ՄԱԹԵՎՈՍՅԱՆ, Ռ.Մ. ՄԻՐՋՈՅԱՆ, Ռ.Յ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ,
ՅՈՒ.Զ. ՍՈՒԿԻԱՍՅԱՆ, Հ.Հ. ՎԱՐԴԱՊԵՏՅԱՆ

ԷԼԵԿՏՐՈՆՆԵՐԻ ԲԱԶՄԱԿԻ ՑՐՄԱՆ ԱՆԿՑՈՒՆԱՅԻՆ ՎԱՍՈՒՄԸ
ԱԼՄԱՍՏԻ ՄԻԱԲՅՈՒՐԵՂՆԵՐՈՒՄ

Չափված է 4,5 ԳէՎ էներգիայով էլեկտրոնների ըզզմակի ցրման անկ-
յան մեծության կախումը 0,2 ; 1,0 և 10 մմ հաստությամբ ալմաստի
խաբյուրեղների բյուրեղացանցի առանցքների և հարթությունների
վաստմամբ ունեցած մուտքային անկյուննից:

Արևանի Ֆիզիկայի ինստիտուտ

Արևան 1987



Preprint EDM-IOI9(69)-87

B.O.AVAKIAN, R.O.AVAKIAN, G.A.AVDALIAN, A.E.AVETISSIAN,
A.V.AHARONIAN, A.A.ARMACHANIAN, R.A.ASATRIAN,
B.R.BAKHSHETSIAN, E.M.BOSHTITCHIAN, K.P.DALLAKIAN,
S.S.DANAGULIAN, G.M.ELBAKIAN, V.G.GAVALIAN, V.A.GYURDJIAN,
O.S.KIZOGIAN, E.M.MATEVOSSIAN, H.H.MIRZOYAN, M.A.OGANESSIAN,
R.Ts.SARKISSIAN, Yu.Z.SUKIASSIAN, S.P.TAROYAN,
G.A.VARTAPETIAN, V.S.YEGANOV

ANGULAR DEPENDENCE OF ELECTRONS MULTIPLE SCATTERING
IN DIAMOND MONOCRYSTALS

The dependence of 4.5 GeV electrons multiple scattering angle on that of ^{incidence} ~~escape~~ to the crystallographic axes and planes of 0.2 , 1.0 and 10.0 mm thick diamond crystals is measured.

Yerevan Physics Institute

Yerevan 1987

УДК 539.124.17

Р.О.АВАКЯН, Э.О.АВАКЯН, Г.А.АВДАЛЯН, А.Э.АВETИСЯН,
А.В.АГАРОНЯН, А.А.АРМАГАНЯН, Р.А.АСАТРЯН, Р.Р.БАХШЕЦЯН,
Е.М.БОЯХЧЯН, Г.А.ВАРТАПЕТЯН, 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

УГЛОВАЯ ЗАВИСИМОСТЬ МНОГОКРАТНОГО РАССЕЯНИЯ
ЭЛЕКТРОНОВ В МОНОКРИСТАЛЛАХ АЛМАЗА

Измерена зависимость угла многократного рассеяния электронов с энергией 4,5 ГэВ от угла влета относительно кристаллографических осей и плоскостей монокристалла алмаза толщиной 0,2; 1,0 и 10,0 мм.

Ереванский физический институт

Ереван 1987

В последние годы появился ряд теоретических и экспериментальных работ, указывающих на наличие ориентационных эффектов в рассеянии электронов высоких энергий, пролетающих через кристаллы [1-3]. Полученные результаты показывают сильную ориентационную зависимость рассеяния при малых углах влета электронов относительно кристаллографических осей и плоскостей. Известно, что именно в этих угловых областях и разыгрываются процессы когерентного тормозного излучения и излучения электронов в режиме каналирования. Поскольку в этих двух явлениях предполагается различный характер движения частиц при пролете вблизи кристаллографических осей и плоскостей, то исследование закономерности рассеяния электронов дает возможность проследить за изменением динамики их движения и тем самым сделать определенные выводы относительно механизмов излучения.

В настоящей работе приведены экспериментальные результаты исследования ориентационной зависимости среднеквадратичного угла многократного рассеяния электронов с энергией 4,5 ГэВ в монокристаллах алмаза с толщинами 0,2; 1,0 и 10,0 мм.

Ориентация кристалла осуществлялась методом, описанным в работе [4]. Гониометрическое устройство, где были установлены кристаллические радиаторы, позволяло с точностью $4,4 \cdot 10^{-5}$ рад изменять угол вокруг горизонтальной θ_{Γ} и вертикальной $\theta_{\text{В}}$ осей вращения гониометрической системы. Измерения осуществлялись для трех разных ориентаций кристаллического радиатора. В первом случае угол влета электронов изменялся относительно плоскости достаточно далеко от оси ("эффект точки"). Во втором случае угол влета электрона изменялся относительно кристаллографической оси таким образом, что импульс электрона \vec{P}_0 все время находился в плоскости ($\theta_{\Gamma} = 0$, "эффект ряда"). В третьем случае полярный угол влета электрона θ_{Π} изменялся относительно кристаллографической оси таким образом, что направление импульса электрона \vec{P}_0 было достаточно далеко от всех плоскостей.

Экспериментальная установка [5] для исследования ориентационной зависимости угла многократного рассеяния в монокристаллах алмаза приведена на рис. I. В режиме измерения угла многократного рассеяния отклоняющий магнит OM отключался, триггерный сигнал формировался совпадением сигналов от газовых пропорциональных счетчиков ГПС-1 и ГПС-3, а координаты частиц регистрировались с помощью пропорциональных камер МПК-1 - МПК-5. При этом МПК-1 фактически регистрировала координату взаимодействия электрона с мишенью, а траектория электрона после взаимодействия с мишенью, восстановленная с помощью МПК-2 - МПК-5, использовалась для определения угла рассеяния.

Измеренное угловое распределение электронов после взаимо-

действия с мишенью является сверткой двух нормальных распределений, описывающих начальную угловую расходимость пучка и многократное рассеяние частиц в кристалле, с суммарной дисперсией, равной

$$\sigma_{\text{из.}} = \sqrt{\sigma_0^2 + \sigma_{\text{мн.}}^2},$$

где σ_0 - дисперсия углового распределения первичного пучка, $\sigma_{\text{мн.}}$ - среднеквадратичное значение угла многократного рассеяния. Отсюда

$$\sigma_{\text{мн.}} = \sqrt{\sigma_{\text{из.}}^2 - \sigma_0^2}.$$

Для измерения параметра расходимости первичного пучка σ_0 мишень периодически выводилась из-под пучка. Значение для величины $\sigma_{\text{из.}}$ извлекалось из экспериментальных данных углового распределения пучка после рассеяния в мишени как среднеквадратичное значение углового разброса.

Экспериментальная информация накапливалась в памяти ЭВМ ЕС-1022 и затем обрабатывалась комплексом программ, по которым определялась траектория каждого электрона после взаимодействия, затем строилось распределение числа частиц в зависимости от угла вылета из мишени и вычислялось среднеквадратичное значение угла рассеяния.

На рис.2 приведена ориентационная зависимость угла многократного рассеяния, нормированного на величину среднеквадратичного рассеяния в дезориентированном кристалле, при изменении угла влета электрона относительно кристаллографической плоскости. Из графика видно, что для алмаза толщиной 0,2 мм наблюдается значительное уменьшение рассеяния (относительно уровня рассеяния в дезориентированной мишени) при углах влета (3-3) θ кр.

Этот эффект исчезает при толщине 1,0 мм и выше. Для этих толщин наблюдается незначительное увеличение угла многократного рассеяния с приближением к плоскости. Интересно отметить, что похожая ориентационная зависимость наблюдается для углов вылета фотонов из мишени толщиной 0,1 мм в эксперименте на внутреннем пучке ускорителя [6] .

На рис.3 приведены результаты измерения угла многократного рассеяния в зависимости от угла влета электрона относительно оси, причем угол влета менялся таким образом, что импульс электрона \vec{P}_0 все время находился в плоскости. Измерения проведены для трех толщин - 0,2 мм; 1,0 мм и 10,0 мм. Из графиков видно, что максимальное отношение наибольшего рассеяния к наименьшему наблюдается для минимальной толщины 0,2 мм и быстро уменьшается с увеличением толщины. В то же время для толщины 0,2 мм угол влета, при котором наблюдается максимальное рассеяние, примерно равно θ кр., а с увеличением толщины значение этого угла растет. Смещение максимума в этих распределениях может указывать на то, что с увеличением толщины в процесс каналирования вовлекается некоторая доля надбарьерных частиц. Наличие подобного эффекта, по-видимому, объясняется тем, что вследствие многократного рассеяния угол между направлением оси и импульсом частицы на определенной глубине в кристалле может стать меньше критического, а в этом случае возможен захват в процесс каналирования деканализированных и надбарьерных частиц (так называемый "объемный захват") [7] .

Поведение угла многократного рассеяния в этом режиме также подобно поведению угла рождения фотонов в аналогичных услови-

ях [6]. Необходимо отметить, что ориентационная зависимость угла многократного рассеяния в двух описанных режимах изменения угла влета - "эффект точки" и "эффект ряда" - была предсказана в работе [2], где при исследовании особенностей интегральной интенсивности тормозного излучения релятивистских электронов в кристалле алмаза было обнаружено несоответствие ориентационной зависимости интенсивности излучения с теоретическими предсказаниями. Авторами было выдвинуто предположение, что различие между теорией и экспериментальными данными возникает из-за того, что в теории не учитывается ориентационная зависимость многократного рассеяния. Предсказанное ими путем косвенных измерений поведение ориентационной зависимости угла многократного рассеяния хорошо совпадает с приведенными выше результатами прямых измерений.

На рис.4 приведены результаты измерения угла многократного рассеяния в зависимости от угла влета электронов относительно оси, когда исходное состояние ориентации кристалла - дезориентированное (третий случай). Измерения проведены для двух толщин - 1,0 мм и 10,0 мм. По сравнению с рис.3 видно, что для толщины 1,0 мм угол влета электронов, при котором наблюдается максимальное рассеяние, несколько больше при прохождении состояний "плоскость-ось", чем при прохождении состояний "дезориентированно-ось".

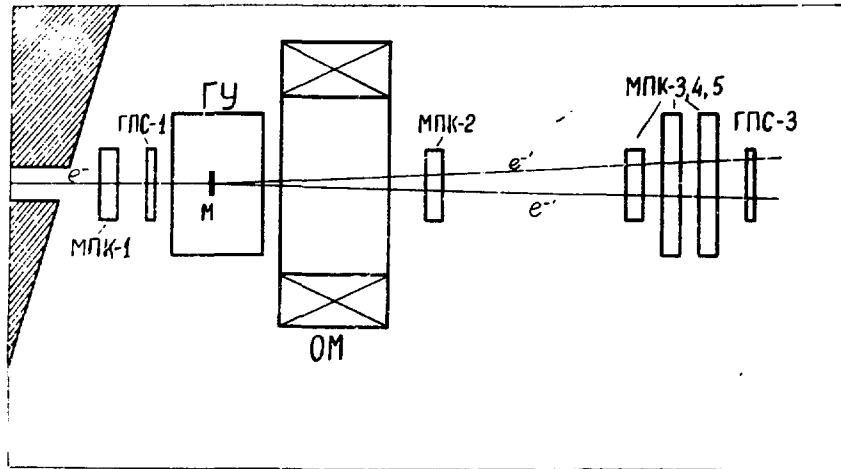


Рис. 1

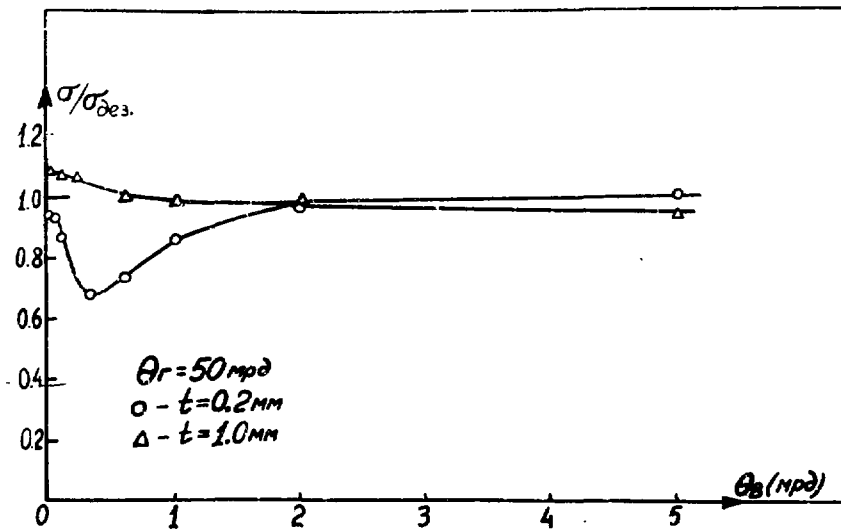


Рис. 2

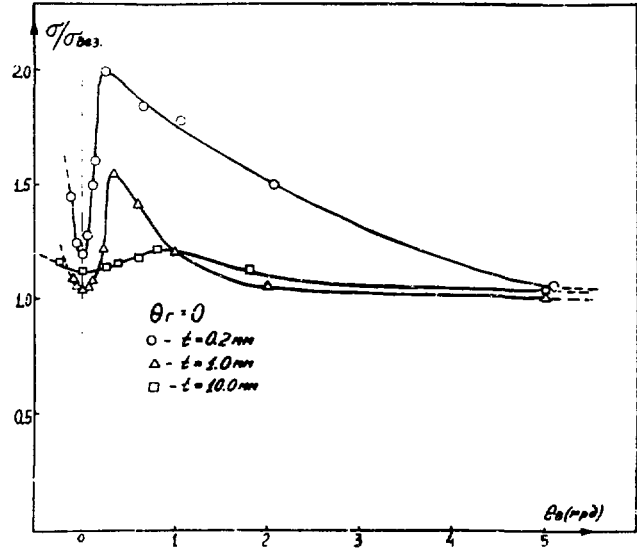


Рис. 3

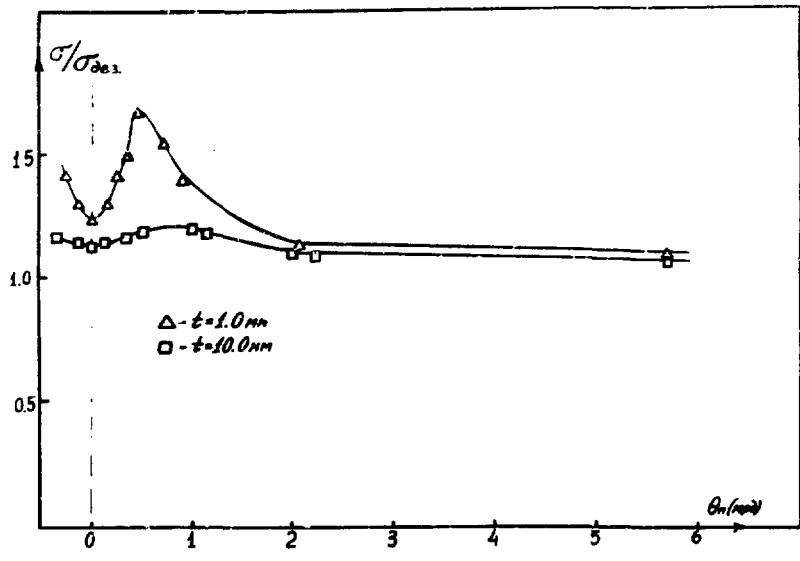


Рис. 4

ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

Рис.1 Схема экспериментальной установки.

Рис.2 Ориентационная зависимость среднеквадратичного угла многократного рассеяния электронов в алмазах толщиной 0,2 мм и 1,0 мм от угла влета θ_B электронов относительно кристаллографической плоскости ($\theta_\Gamma = 50$ мрад).

Рис.3 Ориентационная зависимость среднеквадратичного угла многократного рассеяния электронов в алмазах толщиной 0,2 мм; 1,0 мм и 10,0 мм от угла влета θ_B электронов относительно кристаллографической оси ($\theta_\Gamma = 0$).

Рис.4 Ориентационная зависимость среднеквадратичного угла многократного рассеяния электронов в алмазах толщиной 1,0 мм и 10,0 мм от полного угла θ_Π электронов относительно кристаллографической оси.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трутень В.И., Фомин С.П., Шульга Н.Д. Ориентационные эффекты в рассеянии релятивистских частиц в монокристаллах. Препринт ХФТИ - 82 - II. Харьков, 1982.
2. Авакян Р.О., Армаганян А.А., Арутюнян Л.Г. и др. Исследование особенностей интегральной интенсивности тормозного излучения релятивистских электронов в кристалле алмаза. Препринт ЕФИ-504(47)-81, Ереван, 1981.
3. Гришаев И.А., Мороховский В.Л., Шраменко Б.И. Рассеяние электронов и позитронов с энергией 1 ГэВ цепочками атомов в монокристалле кремния. Труды У Всесоюзного совещания по физике взаимодействия заряженных частиц с монокристаллами. Изд-во МГУ, 1974, с.282.
4. Luckey D., Schwitters R.F. Methods of crystal alignment for the production of coherent bremsstrahlung.- Nucl.Instr. and Methods, 1970, vol.80, p.164-172.
5. Авакян Р.О., Авакян Э.О., Аветисян А.Э. и др. Экспериментальная установка для исследования процессов излучения и рассеяния электронов высоких энергий в условиях каналирования в монокристаллах. Препринт ЕФИ-1018(68)-87, Ереван, 1987.
6. Авакян Р.О., Армаганян А.А., Запольский Н.А. и др. Исследование профиля пучка тормозных фотонов при малых углах влета электронов в кристалл. Препринт ЕФИ-657(47)-83, Ереван, 1983.

7. Булгаков Н.К., Водопьянов А.С., Войтковска И. и др. Исследование особенностей прохождения релятивистских электронов через толстые монокристаллы под малыми углами к направлению кристаллографической оси Ш. Препринт ОЯИЯ-I-84-639, Дубна, 1984.

Рукопись поступила 14 сентября 1987 г.

Р.О.АВАКЯН, Э.О.АВАКЯН, Г.А.АВДАЛЯН, А.Э.АВЕТИСЯН,
А.В.АГАРОНЯН, А.А.АРМАГАНЯН, Р.А.АСАТРЯН, Р.Р.БАХШЕЦЯН,
Е.М.БОЯХЧЯН, Г.А.ВАРТАПЕТЯН, 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

УГЛОВАЯ ЗАВИСИМОСТЬ МНОГОКРАТНОГО РАССЕЯНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ
В МОНОКРИСТАЛЛАХ АЛМАЗА

Редактор Л.П.Мукаян

Технический редактор А.С.Абрамян

Подписано в печать 12/ХІ-87 ВФ-095ІІ Формат 60x84/16
Офсетная печать. Уч. изд. л. 1,0 Тираж 299 экз. Ц. 15 к.
Зак. тип. № 690 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