

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

ТАРОЯН САРКИС ПЕТРОСОВИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ ВЫСОКИХ  
ЭНЕРГИЙ ПРИ МАЛЫХ УГЛАХ ВЛЕТА В МОНОКРИСТАЛЛ  
АЛМАЗА

(01.04.16 - физика атомного ядра и элементарных частиц)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на основании ученой степени кандидата  
физико-математических наук

Ереван 1982

Работа выполнена в Ереванском физическом институте

Научный руководитель – доктор физико-математических наук  
Р.О.АВАКЯН

Официальные оппоненты – доктор физико-математических наук  
К.А.ИСПИРЯН

кандидат физико-математических наук  
А.П.ПОТЫЛИЦЫН

Ведущая организация – Харьковский физико-технический институт  
АН УССР

Защита диссертации состоится "29" октября 1982 г. в  
14<sup>00</sup> часов на заседании специализированного совета Д 034.03.01  
при Ереванском физическом институте (37503ф, г.Ереван, ул.Марка-  
ряна 2).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Ереванского  
физического института.

Автореферат разослан "9" сентября 1982 г.

Ученый секретарь специализированного  
совета, кандидат физико-математических

наук

*В.Л. Шахбазян*  
В.Л.Шахбазян

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Большой интерес к исследованиям процессов взаимодействия заряженных частиц с монокристаллами прежде всего обусловлен уникальными свойствами последних. Периодическая структура и анизотропность кристаллов приводят к ориентационным эффектам в целом ряде физических явлений (тормозное излучение, черенковское излучение, ядерные реакции, рассеяние частиц и т.п.). Благодаря интерференционным и когерентным эффектам электромагнитное излучение заряженных частиц при высоких энергиях в монокристаллах существенно отличается от излучения на изолированном атоме.

Теория когерентного тормозного излучения (КТИ), полученная в борновском приближении теории возмущений, нашла свое экспериментальное подтверждение во многих работах. С другой стороны теория КТИ имеет определенные трудности. Прежде всего это связано с бесконечным ростом сечения при увеличении начальной энергии электрона и с уменьшением энергии излученного кванта при очень малых углах влета в кристалл. Интенсивность излучения в первом борновском приближении не зависит от знака заряда налетающей частицы, что противоречит экспериментальным данным. Наконец, в последнее время был обнаружен эффект каналирования быстрых частиц в кристалле, который, однако, не содержится в теории КТИ.

Явление каналирования существенно образом изменяет динамику движения заряженной частицы, когда последняя влетает в кристалл под малым углом  $\theta \leq \theta_{кр}$  ( $\theta_{кр}$  – критический угол каналирования). Если частица движется в канале, образованном

атомами кристаллографических осей или плоскостей, ее поперечная энергия принимает различные дискретные значения. При переходах между этими уровнями частицы могут излучать фотоны в рентгеновском и  $\gamma$  - диапазонах.

Совокупность теоретических и экспериментальных работ, выполненных в последние годы, указывают на сложный характер взаимодействия заряженных частиц с монокристаллами при малых углах влета относительно кристаллографических осей и плоскостей. Используя различные теоретические подходы, проведен большой объем исследований в области изучения особенностей рассеяния электронов в кристаллах, когерентного тормозного излучения, излучения каналированных частиц и т.д. Разработанные теоретические интерпретации этих явлений требуют тщательной экспериментальной проверки. Вопросы всестороннего изучения природы излучения заряженных частиц в кристаллах занимают важное место, так как от их успешного решения зависят возможности практического применения этого явления.

Цель работы. Основная цель настоящей работы заключалась в исследовании дифференциальных и интегральных характеристик излучения электронов высоких энергий при малых углах влета относительно кристаллографических осей и плоскостей монокристалла алмаза.

Новизна работы заключается в следующем:

Впервые предложен и осуществлен метод временной селекции электронов для улучшения основных параметров энергетических спектров КТИ.

Впервые проведены сравнения экспериментальных результатов по ориентационным зависимостям полной интенсивности излучения

электронов в монокристалле алмаза с расчетами по теории КТИ с учетом экспериментальных факторов.

Впервые обнаружена тонкая структура в ориентационной зависимости полной интенсивности излучения электронов с энергией 4,7 ГэВ при малых углах влета относительно оси [100] кристалла алмаза.

Впервые обнаружено подавление когерентных максимумов интенсивности излучения электронов при малых углах влета относительно кристаллографической плоскости (011) монокристалла алмаза.

Научная и практическая ценность работы. Полученные результаты по исследованию излучения электронов высоких энергий могут быть использованы для дальнейшего развития представлений о характере взаимодействий заряженных частиц при малых углах влета относительно кристаллографических осей и плоскостей.

Предложенный метод временной селекции электронов может иметь практическое применение в области фоторождения элементарных частиц, в исследованиях энергетических и угловых характеристик ускоренных электронов, в экспериментах по исследованию излучения электронов в режиме каналирования.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на XI и XII Всесоюзных совещаниях по физике взаимодействия заряженных частиц с монокристаллами (Москва, 1981 и 1982 г.г.), на сессии Отделения ядерной физики АН СССР (1981 г.), на семинарах Ереванского физического института.

Публикации. Основное содержание диссертации опубликовано в десяти статьях в журналах "Ядерная физика", "Известия АН Арм. ССР" и в виде препринтов ЕФИ.

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, трех глав и заключения. Текст содержит 96 страниц, включая одну таблицу, 40 рисунков и списка литературы из 87 наименований.

На защиту выносятся:

1. Создание экспериментальной установки для исследования характеристик излучения электронов высоких энергий в монокристаллах.

2. Методика улучшения основных параметров энергетических спектров КТИ.

3. Теоретическая обработка экспериментальных результатов по ориентационным зависимостям полной интенсивности излучения электронов в монокристалле алмаза.

4. Результаты исследований по ориентационным зависимостям полной интенсивности излучения электронов при малых углах влета относительно кристаллографической оси [100] кристалла алмаза.

5. Результаты исследований по ориентационным зависимостям энергетических спектров излучения электронов при малых углах влета относительно кристаллографической плоскости (011) и оси [100] монокристалла алмаза.

#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении отмечается актуальность исследования излучения электронов высоких энергий при малых углах влета в кристалл, приводится краткий обзор экспериментальных работ в этой области, сформулирована основная цель диссертации.

В первой главе рассматриваются теоретические вопросы когерентного тормозного излучения и излучения каналированных элект-

тронов. Обсуждаются вопросы применимости формул КТИ в области малых углов влета электронов в кристалл.

Исследовано влияние экспериментальных факторов на форму расчетных энергетических спектров КТИ. Результаты расчетов показывают сильную зависимость формы спектров излучения от угловой расходимости электронов. В частности, при определенной ориентации кристалла алмаза и при коллимационном угле

$\Theta_k = 0.3$  мрад изменение угловой расходимости от 0.01 до 0.3 мрад приводит к уменьшению пиковой энергии фотонов от 980 до 790 эВ, к уменьшению интенсивности в когерентном максимуме на 39% и степени поляризации на 20%. При дальнейшем увеличении угловой расходимости электронов форма спектра и пиковая энергия фотонов практически не меняются.

Отмеченные закономерности хорошо проявляются в случаях, когда измеренные спектры сравниваются с теоретическими расчетами. Пиковые значения энергии фотонов в идеальных (без учета экспериментальных факторов) спектрах всегда получаются больше, чем в экспериментально измеренном. В расчетах учет экспериментальных факторов приводит к смещению когерентных максимумов в сторону меньших энергий и к более хорошему согласию теории с экспериментом.

Во второй главе описывается экспериментальное оборудование и методика исследования процесса излучения электронов высоких энергий в монокристалле алмаза.

При создании методики исследования характеристик излучения электронов в монокристаллах необходимо учитывать особенности электронных синхротронов. Последние в связи с возможностью медленного сброса электронного пучка на кристаллическую мишень

(время сброса  $\sim 2-3$  мсек) позволяют использовать методику парного  $\gamma$ -спектрометра для точной ориентации кристаллического радиатора, для измерения энергетических спектров и поляризации фотонного пучка, для исследования ориентационных зависимостей выходов  $\gamma$ -квантов определенной энергии.

В прямой секции синхротрона между электромагнитами помещена гониометрическая установка с мишенями. Для вывода  $\gamma$ -пучков, в основном, применялся метод локального возмущения равновесной орбиты, так называемый метод "beam-bump".

Пучок  $\gamma$ -квантов, возникающий в кристаллическом радиаторе, выходил из вакуумной камеры ускорителя и попадал на первый коллиматор, установленный на расстоянии 10,5 м от мишени. Затем фотонный пучок очищался от заряженных частиц очищающим магнитом и проходил через окно бетонной защиты кольцевого зала ускорителя в промежуточный отсек между кольцевым и экспериментальными залами. Здесь пучок коллимировался и очищался вторично и через  $\gamma$ -провод выходил в экспериментальный зал. Очищенный и коллимированный пучок попадал на конвертор парного  $\gamma$ -спектрометра. В качестве конверторов использовались алюминиевые фольги различных толщин (110 и 18 мкм).

Рожденные в конверторе электронно-позитронные пары отклонялись магнитным полем и регистрировались сцинтилляционными счетчиками включенными на совпадение. Затем фотоны попадали в квантометр Вильсона, с помощью которого измерялась интегральная интенсивность пучка. Почти вся трасса  $\gamma$ -пучка от гониометра до квантометра проходила в вакууме.

Приведены характеристики основных узлов экспериментальной установки.

Рассмотрены вопросы, связанные с ориентацией кристаллического радиатора под электронным пучком.

Описан новый метод улучшения основных параметров (монохроматичность, степень линейной поляризации) энергетических спектров КТИ, учитывающий специфику системы вывода Ереванского синхротрона.

Существующие методы по улучшению основных параметров энергетических спектров КТИ в конечном счете основаны на уменьшении начального углового разброса электронов, дающих вклад в детектируемую область углов излучения. Совокупность всех ускоренных электронов, обрасываемых на мишень и дающих вклад в измеряемые спектры тормозного излучения, характеризуются некоторыми усредненными по времени вывода параметрами углового и энергетического разброса. Отличие этих параметров в разные моменты времени вывода должны были найти свое отражение в измеряемых спектрах КТИ.

Проведены исследования влияния различных моментов времени вывода (временная селекция электронов) на энергетические спектры КТИ. Для выделения из цикла сброса ускорителя определенной части использовалась схема с применением двух генераторов вольт, которые представляют собой сложные одновибраторы с высокой точностью и стабильностью установки длительности.

На рис. I представлены измеренные спектры относительной интенсивности излучения электронов  $I/I_{\text{нек}}$  (где  $I_{\text{нек}}$  - некогерентная часть спектра) для трех разных временных положений стробирующего импульса (начало, середина и конец вывода). При этом длительность последнего составляла 0.4 мсек, а длительность полного вывода -  $\tau = 3$  мсек.

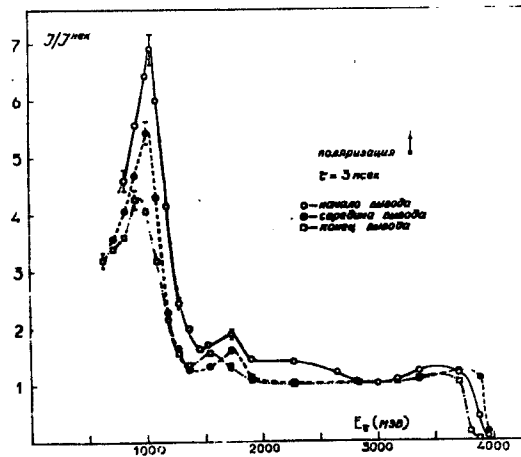


Рис.1 Энергетические спектры излучения при трех положениях стробирующего импульса в случае, когда  $\tau = 3$  мсек

Как видно из рисунка наблюдается заметное изменение когерентного эффекта (т.е. отношение интенсивности в максимуме к интенсивности некогерентной части спектра), при смещении стробирующего сигнала от начала до конца вывода. Когерентный эффект максимален в начале вывода и минимален в конце. Такие же характерные особенности проявляются и в измерениях с полной длительностью вывода  $\tau = 2$  мсек. В этом случае максимальный когерентный эффект увеличивается до значения  $8.83 \pm 0.14$  и степень линейной поляризации фотонов в максимуме возрастает до 85%.

Анализ экспериментальных результатов показывает, что обнаруженные изменения когерентных эффектов в спектрах КТИ в основном обусловлены разными значениями углового разброса электронов, падающих на мишень в разные моменты времени вывода  $\gamma$ -пучка.

В третьей главе приводятся результаты исследований дифференциальных и интегральных характеристик излучения электронов при малых углах влета относительно кристаллографических осей и плоскостей монокристалла алмаза.

Проведены сравнения экспериментальных результатов по ориентационным зависимостям полной интенсивности излучения электронов с энергией 4,7 ГэВ в монокристалле алмаза. Показано, что в случае "эффекта точки" вплоть до угла влета электронов относительно кристаллографической плоскости равного 0.1 мрад., теория хорошо описывает экспериментальные данные (рис.2). В случае

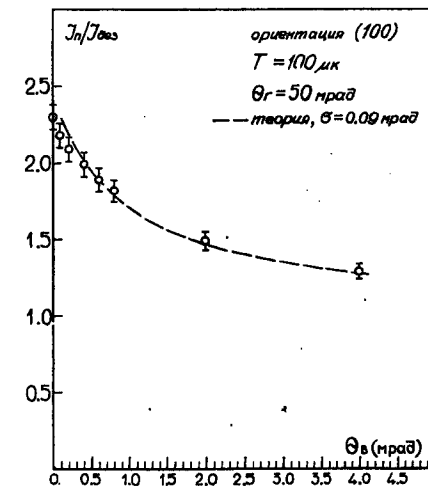


Рис.2 Ориентационная зависимость полного выхода тормозных фотонов для случая "эффекта точки" (ориентация (100)). Пунктирная кривая - теоретическая

"эффекта ряда" наблюдается заметное расхождение между теорией и экспериментом при малых углах влета относительно кристаллогра-

фических осей (рис.3).

Рассмотрен возможный механизм (ориентационная зависимость углов многократного рассеяния электронов в кристалле), объясняющий отклонение теоретической кривой от экспериментальных точек в ориентационной зависимости полной интенсивности излучения электронов. С помощью сравнения экспериментальных данных с теоретическими расчетами получена зависимость изменения параметра  $\zeta$  ( $\zeta$  - результирующая угловая расходимость электронов, состоящая из начальной расходимости и расходимости, связанной с многократным рассеянием) от ориентации кристалла относительно электронного пучка, имеющую пиковую структуру (рис.3). Увеличение толщины кристалла приводит к смещению максимумов в ориентационных кривых в сторону больших углов. В случае относительно толстых кристаллов ( $T = 470$  мкм и  $610$  мкм) максимумы рассеяния получаются при углах влета электронов относительно осей

$$\theta \approx 2\theta_{кр}, \text{ где } \theta_{кр} - \text{критический угол осевого каналирования.}$$

Экспериментально исследованы ориентационные зависимости полного выхода излучения электронов в области малых углов влета в кристалл. При изменении угла влета электронов относительно оси  $[100]$  (при этом импульс электрона  $\vec{P}_0 \parallel (011)$ ) в области малых углов влета  $\theta < \theta_{кр}$  наблюдается двойной максимум с центральным минимумом.

Полуширина центрального минимума на половине глубины, которая составляет примерно  $0.03-0.04$  мрад., удовлетворительно согла-

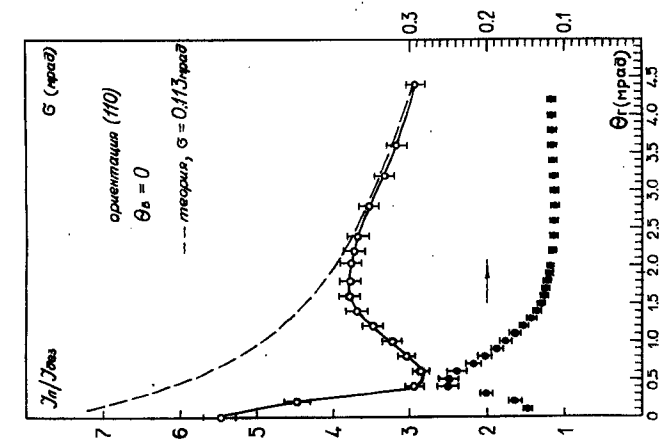


Рис.3 Ориентационная зависимость полного выхода тормозных фотонов для случая "эффекта ряда". Ориентация  $(110)$ . Черные кружки - значения  $\zeta$ . Пунктирная кривая - теоретическая

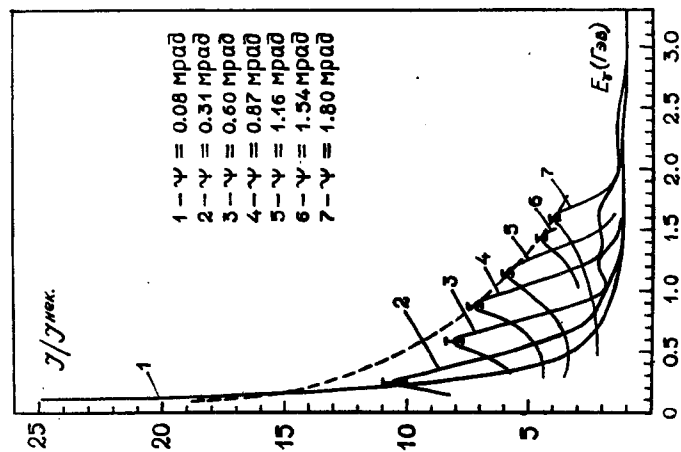


Рис.4 Энергетические спектры излучения электронов при разных углах влета относительно плоскости  $(011)$ . Сплошные кривые проведены по экспериментальным точкам. Пунктирная кривая - теоретические значения отношения  $J/J_0$ .

суется с минимальным углом захвата частиц в связанное движение:

$$\theta^{min} \approx \theta_{кр}(R/\zeta_0) = 0.04 \text{ мрад,}$$

где  $R$  - радиус экранирования Томаса-Ферми,  $\zeta_0$  - радиус ячейки Вигнера-Зейтца.

Проведены исследования спектральных характеристик излучения электронов с энергиями  $E_0 = 4,5$  ГэВ и  $4,7$  ГэВ при различных углах влета  $\psi$  относительно плоскости (OII). На рис.4 приведены измеренные энергетические спектры при  $\psi = 0,08; 0,31; 0,60; 0,87; 1,16; 1,54; 1,80$  мрад. Сплошные кривые проведены по экспериментальным точкам.

Для сравнения полученных спектров с теорией КТИ был осуществлен расчет с учетом экспериментальных факторов (расходимость электронного пучка, коллимация фотонного пучка и т.д.) для энергетического спектра при  $E_{\gamma}^{пик} = 1,6$  ГэВ, когда углы влета электронов относительно оси [100] и плоскости (OII) достаточно велики и не проявляются эффекты, связанные с каналированным движением частиц. Из сравнения были найдены экспериментальные параметры, с помощью которых рассчитывались величины когерентных эффектов для других пиковых энергий фотонов (пунктирная кривая на рис.4).

Сравнение экспериментальных значений когерентных эффектов при разных пиковых энергиях фотонов с теорией КТИ показывает (см.таблицу), что начиная с угла  $\psi < 0,87$  мрад наступает уменьшение отношения  $\gamma_{max}/\gamma_{нек}$  по сравнению с теоретическим значением.

Таблица

$E_{\gamma}^{пик}$ (ГэВ)	$\psi$ (мрад)	$\gamma_{max}/\gamma_{нек}$	
		эксперимент	теория
$\leq 0,11$	0,08	$24,90 \pm 4,69$	16,80
0,25	0,31	$10,51 \pm 0,46$	13,28
0,59	0,60	$8,03 \pm 0,34$	9,32
0,88	0,87	$7,18 \pm 0,28$	7,30
1,15	1,16	$5,89 \pm 0,23$	5,82
1,44	1,54	$4,45 \pm 0,21$	4,53
1,60	1,80	$4,00 \pm 0,20$	3,97

Такое подавление интенсивности возможно связано с тем, что при приближении к малым углам по отношению к плоскости под действием плоскостного потенциала прямолинейное движение частицы нарушается, что приводит к некоторому подавлению интенсивности когерентно излученных фотонов по сравнению с предсказаниями теории КТИ.

Иная картина наблюдается при угле влета электронов  $\psi = 0,08$  мрад. В районе  $E_{\gamma} = 100$  МэВ измеренная величина  $\gamma/\gamma_{нек}$  заметно больше, чем это дает теория. Такое увеличение отношений может быть обусловлено либо излучением, связанным с каналированным движением электронов, либо с подавлением высокоэнергетической части спектра, как это имеет место для осевого случая.

На рис.5 приведен измеренный низкоэнергетический спектр излучения при  $\psi = 0$ . По оси ординат отложено значение относительной интенсивности  $\gamma/\gamma_{дез}$  ( $\gamma_{дез}$  - интенсивность из-

лученных фотонов при дезориентированном кристалле). Для сравнения приведены расчеты по теории КТИ (сплошная кривая) и по теории излучения каналированных частиц (пунктирная и штрих-пунктирная кривые). Из рисунка видно, что имеется заметное расхождение между экспериментальными данными и теорией КТИ в области очень малых энергий.

Проведено экспериментальное изучение энергетических спектров излучения электронов с энергией  $E_0 = 4.5$  ГэВ в монокристалле алмаза при различных углах влета  $\theta$  относительно кристаллографической оси [100]. Угол  $\theta$  изменялся так, чтобы импульс электрона  $\vec{P}_0$  все время находился в плоскости (011).

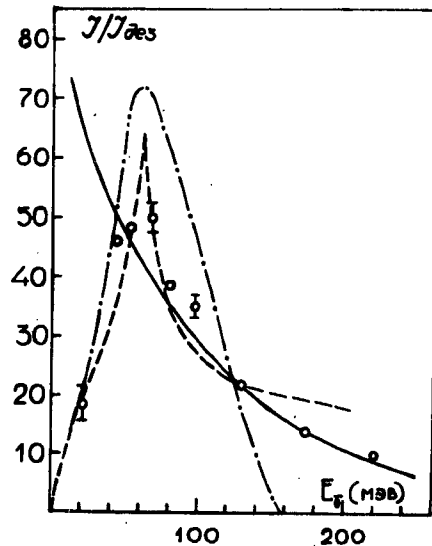


Рис.5 Измеренный низкоэнергетический спектр излучения электронов при  $\psi = 0$ . Сплошная кривая - расчет по теории КТИ. Пунктирная и штрих-пунктирная кривые - расчеты по теории излучения каналированных электронов

На рис.6 представлены результаты измерения энергетической

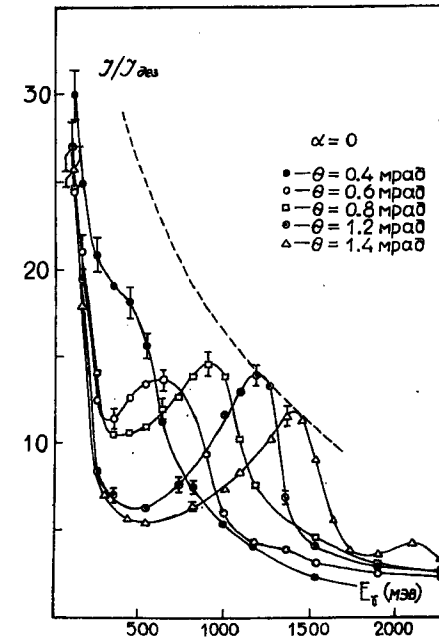


Рис.6 Спектры излучения электронов при различных углах влета в кристалл. Пунктирная кривая - теоретические значения

зависимости относительной интенсивности  $J/J_0$  при различных ориентациях кристалла ( $\theta = 0.4; 0.6; 0.8; 1.2; 1.4$  мрад). Сплошные кривые проведены по экспериментальным точкам. Для энергетических спектров при  $\theta = 1.2$  и  $1.4$  мрад были рассчитаны теоретические спектры КТИ с учетом экспериментальных факторов. В этом случае, при  $\sigma = 0.1$  мрад теория хорошо описывает эксперимент. Используя это значение  $\sigma$ , рассчитаны от-

15

ношения максимальной интенсивности к интенсивности излучения электронов при дезориентированном кристалле  $\gamma_{max}/\gamma_{dez}$  для различных пиковых энергий фотонов (пунктирная кривая на рис.6). При  $\theta \leq 0.8$  мрад наблюдается заметное подавление когерентных максимумов интенсивности. Пиковые части в спектрах значительно уширяются. Величина подавления в максимуме для спектра с пиковой энергией  $E_{\gamma}^{пик} = 650$  МэВ составляет  $\gamma_{экс.}/\gamma_{теор.} = 0.61$ . При  $\sigma = 0.125$  мрад теория в общем описывает экспериментальный спектр, кроме области когерентного максимума (рис.7). Отно-

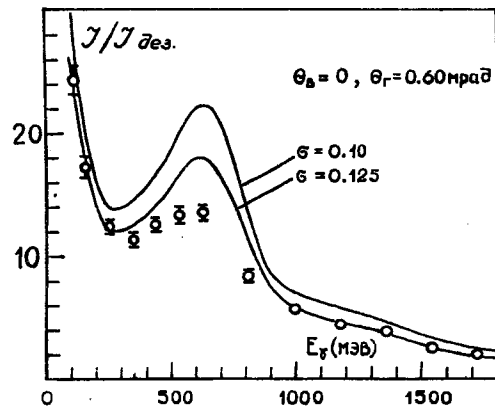


Рис.7 Энергетический спектр излучения для  $\theta = 0.6$  мрад. Сплошные кривые - теоретические для  $\sigma = 0.1$  и  $0.125$  мрад

шение экспериментальной и теоретической значений интенсивностей в максимумах в этом случае составляет  $0.76 \pm 0.04$ . Такая картина наблюдается также для энергетического спектра при  $\theta = 0.4$  мрад. В этом случае теоретический расчет при  $\sigma = 0.14$  мрад хорошо описывает экспериментальные данные, кроме

области когерентного максимума (рис.8).

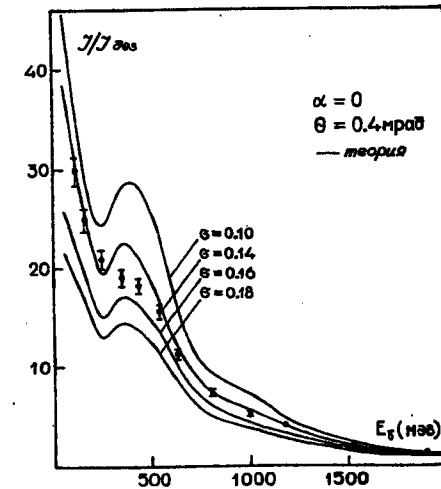


Рис.8. Энергетический спектр излучения электронов для  $\theta = 0.4$  мрад. Сплошные кривые - теоретические для  $\sigma = 0.1; 0.14; 0.16; 0.18$  мрад.

Другой характерной особенностью энергетических спектров является рост интенсивности низкоэнергетических ( $E_{\gamma} < 300$  МэВ) фотонов. Поведение низкоэнергетической части спектров слабо зависит от ориентации кристалла и при увеличении угла  $\theta$ , начиная с  $\theta = 1.0 - 1.2$  мрад, практически не меняется. На рис.9 представлены теоретические спектры КТИ при  $\sigma = 0.1$  мрад и  $\alpha = 0$  для углов влета электронов  $\theta = 0.4; 0.6; 0.8; 1.0; 1.2; 50$  мрад.

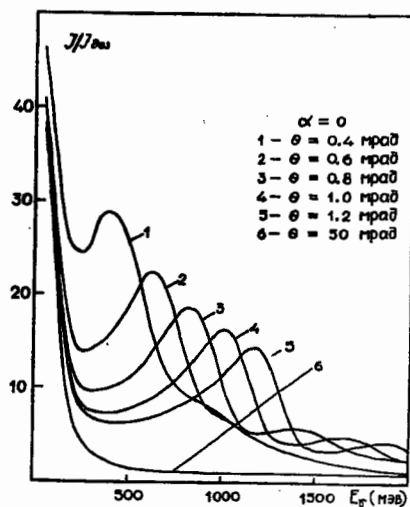


Рис.9 Теоретические спектры излучения электронов при углах влета относительно оси равных  $\theta = 0.4; 0.6; 0.8; 1.0; 1.2; 50$  град.

На рис.10 приведены измеренные энергетические спектры при углах влета электронов относительно оси кристалла равных  $\theta = 0; 0.12; 0.2; 0.6$  град. Для этих же углов влета приведены рассчитанные кривые по теории КТИ при  $\theta = 0.1$  град. Уже при  $\theta \leq \theta_{кр}$  расхождение между теорией и экспериментом становится значительным.

Заметное расхождение между теоретическими предсказаниями КТИ и экспериментальными данными начинаются с углов влета электронов относительно оси  $[100]$   $\theta < \theta_{кр}$ . Расхождение теории с экспериментом в интервале углов  $\theta_{кр} < \theta < \theta_{кр}$  можно объяснить наличием ориентационной зависимости углов многократ-

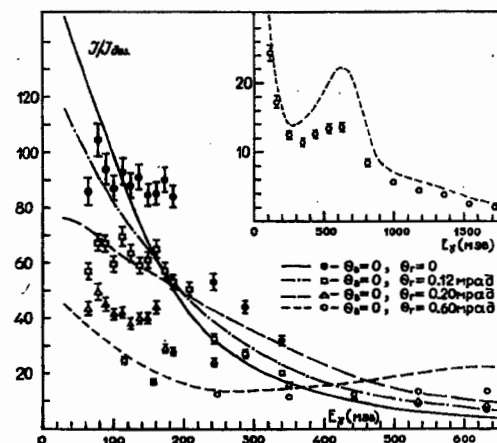


Рис.10 Низкоэнергетические спектры излучения электронов при углах влета относительно оси  $[100]$  равных  $\theta = 0; 0.12; 0.20; 0.60$  град. Кривые - расчеты по теории КТИ

ного рассеяния и динамическим подавлением когерентных максимумов интенсивности. При малых углах влета  $\theta \leq \theta_{кр}$  характер движения электронов существенным образом меняется и это приводит к заметному видоизменению спектров.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы:

1. Создана и налажена экспериментальная установка для исследований спектральных и интегральных характеристик излучения электронов высоких энергий в монокристаллах.
2. Предложен и осуществлен новый метод улучшения параметров (монохроматичность, степень линейной поляризации) энергетических спектров когерентного тормозного излучения, учитывающий спе-

цифику системы вывода Ереванского синхротрона.

3. Созданы математические программы на языке "ФОРТРАН" для расчетов дифференциальных и интегральных характеристик КТИ с учетом экспериментальных факторов.

4. Проведены сравнения экспериментальных результатов по ориентационным зависимостям полной интенсивности излучения электронов в монокристалле алмаза с расчетами по теории КТИ с учетом экспериментальных факторов.

5. Рассмотрен возможный механизм (ориентационная зависимость углов многократного рассеяния электронов в кристалле), объясняющий отклонение теоретической кривой от экспериментальных точек в ориентационной зависимости полной интенсивности излучения электронов.

6. Обнаружена тонкая структура в ориентационной зависимости полной интенсивности излучения электронов с энергией 4.7 ГэВ при малых углах влета относительно оси  $[100]$  кристалла алмаза.

7. Обнаружено подавление когерентных максимумов интенсивности излучения электронов при малых углах влета относительно кристаллографической плоскости  $(011)$  монокристалла алмаза.

8. Проведены экспериментальные исследования ориентационных зависимостей энергетических спектров излучения электронов в области малых углов влета электронов относительно оси  $[100]$  кристалла алмаза. Наблюдены эффекты подавления и уширения когерентных максимумов интенсивности излучения при уменьшении угла влета электронов в кристалл. Обнаружен заметный рост низкоэнергетической части спектров, который очень слабо зависит от ориентационного угла  $\theta$ . Приведена теоретическая интерпретация экспериментальных результатов.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Р. О. Авакян, А. А. Армаганян, Л. Г. Арутюнян, Г. А. Вартапетян, Л. Я. Колесников, Р. Л. Мирзоян, С. П. Тароян. Исследование когерентного тормозного излучения на кристалле алмаза. - Изв. АН Арм ССР, Физика, 1971, 6, с. 138-141.
2. Р. О. Авакян, А. А. Армаганян, Л. Г. Арутюнян, Г. А. Вартапетян, Р. М. Мирзоян, Р. Ц. Саркисян, С. П. Тароян, Г. М. Элбакян. Получение фотонных пучков со взаимно-перпендикулярными векторами поляризации одинаковой интенсивности и с одинаковой степенью поляризации. - Изв. АН Арм. ССР, Физика, 1975, 10, с. 61-63.
3. Р. О. Авакян, С. С. Овакимян, С. П. Тароян. Влияние экспериментальных факторов на стабильность спектра когерентного тормозного излучения. - Ереван, 1981, 23 с. (Препринт ЕФИ-459(1)-81).
4. Р. О. Авакян, А. А. Армаганян, Л. Г. Арутюнян, А. Г. Искандарян, С. П. Тароян. Исследование особенностей интегральной интенсивности тормозного излучения релятивистских электронов в кристалле алмаза. Ереван, 1981, 16 с. (Препринт ЕФИ-504(47)-81).
5. Р. О. Авакян, А. Э. Аветисян, А. А. Армаганян, Л. Г. Арутюнян, С. С. Данагулян, А. Г. Искандарян, С. П. Тароян. Подавление когерентных максимумов интенсивности излучения электронов при малых углах влета в кристалл. - Ереван, 1982, 7 с. (Препринт ЕФИ-546(33)-82).

6. Р.О.Авакян, А.О.Аганьянц, Н.Э.Акопов, Ю.А.Вартанов, Г.А.Вартапетян, А.Н.Лебедев, Р.М.Мирзоян, С.П.Тароян, С.С.Данагулян. Спектры излучения электронов высоких энергий в монокристаллах различной толщины и ориентации. - Ядерная физика, 1982, т.35, вып.2, с.387-389.
7. Р.О.Авакян, А.Э.Аветисян, А.А.Армаганян, Л.Г.Арутюнян, Г.А.Вартапетян, С.Г.Гиндоян, С.С.Данагулян, А.Н.Лебедев, Р.М.Мирзоян, Р.Ц.Саркисян, С.П.Тароян. Экспериментальное оборудование и методика для создания и исследования параметров квазимонохроматических и поляризованных пучков фотонов Ереванского синхротрона. - Ереван, 1982, 25 с. (Препринт ЕФИ-523(10)-82).
8. Р.О.Авакян, А.А.Армаганян, Л.Г.Арутюнян, С.П.Тароян. Тонкая структура в ориентационной зависимости полного выхода излучения сверхбыстрых электронов на кристалле алмаза. Ереван, 1982, 7с. (Препринт ЕФИ-528(15)-82).
9. Р.О.Авакян, А.Э.Аветисян, М.А.Запольский, Р.М.Мирзоян, Х.А.Симонян, С.П.Тароян, А.Р.Туманян. Монохроматизация спектров когерентного тормозного излучения методом временной селекции. Ереван, 1982, 15 с. (Препринт ЕФИ-566(53)-82).
10. Р.О.Авакян, А.О.Аганьянц, А.А.Армаганян, Л.Г.Арутюнян, Ю.А.Вартанов, Г.А.Вартапетян, С.С.Данагулян, А.Г.Искандарян, С.П.Тароян. Ориентационные зависимости энергетических спектров излучения электронов на монокристалле алмаза. - Ереван, 1982, 16 с (Препринт ЕФИ-568(55)-82).

*Шап*

Тех. редактор А.С.Абрамян

Заказ 408

Вф - 05338

Тираж 170

Формат издания 60x84/16

Подписано к печати 27.07.82г.

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