

ԵՐԵՎԱՆԻ ՏԻՋԻԿԱՅԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ

ՂԱՐԻՔԱՆ ՎԱՃԱԳՆ ԲԱՐՎԵՆԻ

ԷԼԵԿՏՐՈՆՆԵՐԻ ԿԱՌԱՊԱՅՔԱՆ ԱՆՎՅՈՒՆԱՅԻՆ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԸ  
ԿՈՂՄԵՆՈՐԾՎԱԾ ԲՅՈՒՐԵՂՆԵՐՈՒՄ

Ա.ՕԳ.16 - «Միջուկի, արրական մասնիկների և փեպերական  
առաքայրների ֆիզիկա» մասնագիտությամբ

Ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների թեկնածուի  
գիտական ստիճանի հայցման անկախության  
Ս Ե Ղ Մ Ա Գ Ի Ը

ԵՐԵՎԱՆ 1996

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

КАРИБЯН ВААГН БАБКЕНОВИЧ

УГЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ  
В ОРИЕНТИРОВАННЫХ КРИСТАЛЛАХ

А.ՕԳ.16 Բիզիկա յաճա, էլեմենտարնյա խաճիճ  
և կոսմիկեզիկա լուճայ

ԱՓՕՐԵՓԵՐԱՏ  
ճիսորտաճիոն ու ճոիսկաոն ուճոնոյ ճեթեոն  
կաոնճիճաճա ֆիզիկո-մաթեմաճիկեզիկա ուաո

ЕРЕВАН 1996

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Գիտական ղեկավար. Ֆիզ.մաթ. գիտությունների դոկտոր  
Ա.ԱՂԱՆՅԱՆՑ

Գաշտունական ընդդիմախոսներ. Ֆիզ.մաթ. գիտությունների դոկտոր  
Կ.ԽԱՊԻՐՅԱՆ (ԵրՖԻ)  
Ֆիզ.մաթ. գիտությունների դոկտոր  
Հ.ԱԿՆՍԻՅԱՆ (ԵՊՀ)

Առաջադրար կազմակերպության. Երևանի պետական համալսարանի  
Միջուկային ֆիզիկայի ամբիոն

Գաշտունյանը կայանալու է 1996թ. հունիսի -ին ժամը \_\_\_\_\_  
Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտի Երևան, Ալիքանյան եղբայրների փ.24  
024 մասնագիտական խորհրդով:

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ԵրՖԻ-ի գրադարանում  
Սեղմագիրը առաքված է 1996թ. հունիսի \_\_\_\_\_

Մասնագիտական խորհրդի  
գիտական քարտաշար Ա.Մ. Ա.Բ. Մարգարյան

Работа выполнена в Ереванском физическом институте .

Научный руководитель: доктор физико-математических наук  
А. О. Аганьянц

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук  
К. А. Испирян (ЕрФИ)  
доктор физико-математических наук  
Г. Аветисян (ЕГУ)

Ведущая организация: Ереванский государственный университет  
(кафедра ядерной физики)

Защита состоится июля 1996 г. в \_\_\_\_\_ часов на заседании  
Специализированного совета 024 при Ереванском физическом  
институте (375036, Ереван, ул. Братьев Алиханян)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЕрФИ.

Афтореферат разослан \_\_\_\_\_ июня 1996 г.

Ученый секретарь  
Специализированного совета Ա.Մ. А. Т. Маргарян

Актуальность проблемы. В последние десятилетия бурно развивались теоретические и экспериментальные исследования взаимодействий заряженных частиц с кристаллическими структурами, что обусловлено как необходимостью понимания и описания различных процессов протекающих в сильных полях, естественным источником которого являются монокристаллы, так и требованием различных областей науки и техники иметь монохроматичные, поляризованные и интенсивные фотонные пучки. Эти исследования также практически важны напр. для отклонения высокоэнергетичных пучков заряженных частиц при помощи изогнутых монокристаллов, для создания новых, эффективных детекторов элементарных частиц и т.п.

Когерентно тормозное излучение (КИ), которому посвящены большое количество теоретических и экспериментальных работ возникает вследствие увеличения когерентной длины (зоны формирования) излучения

$$l_{coh} = E_0 (E_0 - \omega) / \omega$$

с увеличением энергии  $E_0$  начальных электронов;  $\omega$  - частота излучения. При ультррелятивистских энергиях электронов когерентная длина достигает макроскопических размеров, превышающих расстояние между ядрами соседних атомов, и если среда представляет монокристаллическую решетку, то на этой длине укладывается несколько узлов решетки, что в силу их упорядоченного расположения приводит к увеличению выхода фотонов по сравнению с выходом из аморфной мишени.

Уже при экспериментальных исследованиях КИ наблюдались аномально высокий выход фотонов в низкоэнергетической части спектра при движении электронов вдоль осей и плоскостей монокристаллов. Детальное исследование излучения и характеристик движения электронов (позитронов) вблизи осей и плоскостей монокристаллов начались после обнаружения на Ереванском синхротроне интенсивного низкоэнергетического когерентного излучения.

Экспериментальные и теоретические исследования проведены в ускорительных центрах Еревана, Томска, Харькова, Новосибирска, SLAC, CERN. В основном изучены спектральные и ориентационные характеристики излучения электронов

(позитронов) при движении около кристаллографических осей или плоскостей различных монокристаллов. Кроме этого измерены интегральные угловые распределения и поляризация в Томске и в Харькове при энергиях начальных электронов около 1 ГэВ.

На Ереванском синхротроне после измерения энергетических и ориентационных характеристик по всему спектру на внутреннем и выведенном электронных пучках, возникла необходимость измерения угловых распределений низкоэнергетического когерентного излучения в различных монокристаллах, для более глубокого понимания механизмов излучения. Кроме того угловые характеристики тесно связаны с особенностями движения заряженной частицы и с поляризацией возникающего излучения.

Цель работы. Основная цель диссертационной работы заключается в улучшении установки и методики исследований и измерении с их помощью дифференциальных угловых распределений излучения ультрарелятивистских электронов в монокристаллах алмаза и германия при их движении вблизи кристаллографических осей или плоскостей.

Научная новизна работы. Впервые подробно исследованы угловые распределения  $\gamma$ -квантов с фиксированной энергией, излученных электронами при их движении около плоскостей монокристалла алмаза.

Впервые обнаружено расщепление и расширение  $\gamma$ -пучка в перпендикулярном направлении относительно кристаллографической плоскости, а также азимутальная асимметрия в высокоэнергетической части спектра.

Впервые измерены угловые распределения в области пика спектра излучения электронов при плоскостном каналировании в кристалле алмаза в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Сопоставляя известное направление поляризации при этих энергиях со знаками измеренных азимутальных асимметрий, показано, что поляризация излучения в высокоэнергетической части спектра направлена параллельно плоскости кристалла.

Впервые выполнены измерения ориентационных зависимостей угловых распределений излучения с фиксированной энергией.

Впервые измерены угловые распределения излучения электронов с энергией 1.9 ГэВ в монокристалле алмаза. При этой энергии электрона обнаружено расщепление пучка

$\gamma$ -квантов с энергией 120 МэВ как на плоскости (011), так и на оси [100] кристалла.

Впервые исследованы распределения по углам вылета  $\gamma$ -квантов из монокристалла германия. Впервые показано, что есть смещение области расщепления  $\gamma$ -пучка, по сравнению с кристаллом алмаза, а также, что эффекты расщепления и смещения пучка проявляются слабее, чем на алмазе.

Научная и практическая ценность работы. С целью измерения угловых распределений излучения электронов движущихся вблизи осей и плоскостей кристаллов, усовершенствована установка: созданы и применены прямоугольные щелевые коллиматоры, что позволило расширить угловой диапазон измеряемых распределений с необходимым подавлением фона; созданная дистанционно управляемая, сканирующая мишень, установленная в краевом поле парного магнитного спектрометра позволила измерить угловые распределения  $\gamma$ -квантов фиксированных энергий в области 20-200 МэВ.

Методическими измерениями показано, что эффективность регистрации  $\gamma$ -квантов не зависит от поперечного положения узкого конвертора магнитного спектрометра в пределах углового диапазона установки. Данная усовершенствованная установка может применяться для измерений широких угловых распределений  $\gamma$ -квантов.

На основе обнаруженной азимутальной асимметрии показано, что излучение электронов при их падении под нулевым углом относительно плоскости монокристалла алмаза поляризовано по всему спектру излучения, что открывает возможность использования в поляризационных экспериментах жесткую часть  $\gamma$ -спектра.

На основе измерений ориентационных зависимостей угловых распределений излучения с фиксированной энергией указан способ ориентации кристаллов относительно электронных пучков (или определения направления движения электронов относительно ориентированных кристаллов) с точностью  $\approx 0.1$  угла Линхарда. Этот способ может применяться как для ориентировки кристаллов, так и для диагностики высокоэнергетических электронных пучков (определение точного направления, расходимости и т.п.).

Сопоставление угловых распределений излучения электронов с энергиями 4.4ГэВ и 1.9ГэВ, а также сравнительный анализ для кристаллов алмаза и германия может послужить дальнейшему развитию теоретических представлений о характере движения и взаимодействия заряженной частицы с сильными кристаллическими полями.

На защиту выносятся:

1. Усовершенствование установки на тракте внутреннего пучка Ереванского синхротрона для исследования дифференциальных угловых сечений процессов взаимодействия электронов высоких энергий с монокристаллическими мишенями.
2. Методика экспериментального исследования угловых характеристик излучения электронов с энергией 4.4ГэВ и 1.9ГэВ в монокристаллах.
3. Экспериментальные результаты исследования угловых характеристик излучения электронов с энергией 4.4ГэВ и 1.9ГэВ в монокристаллах алмаза и германия.

Апробация работы: Основные результаты, включенные в диссертацию, доложены на III Всесоюзной конференции по излучению релятивистских частиц в кристаллах (Нальчик, 1988); XIX и XX Всесоюзных совещаниях по физике взаимодействия заряженных частиц кристаллами (Москва, 1989, 1990) и на семинарах ЕРФИ.

Публикации. Основной материал диссертации опубликован в шести статьях в журналах: Письма в ЖЭТФ, ЖЭТФ, в материалах и сборниках тезисов Всесоюзных совещаний и конференций по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами, в препринте ЕРФИ.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав и заключения. Она изложена на 86 страницах машинописного текста, содержит 2 таблицы и 32 рисунка. Список цитируемой литературы содержит 68 наименований.

#### КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении подчеркивается актуальность исследования угловых характеристик излучения электронов высоких энергий при малых углах влета в кристалл, приводится краткий обзор

литературы, посвященной данной тематике, сформулирована основная цель и содержание каждой из глав диссертационной работы.

В первой главе приведены сведения о теоретических спектральных и угловых распределениях низкоэнергетического когерентного излучения, кратко описана модель в рамках которой сделана попытка объяснения экспериментально обнаруженного расщепления  $\gamma$ -пучка.

Расчеты были проведены для объяснения угловых особенностей излучения в кристалле алмаза, при энергии электронов 4.5ГэВ. В модели использовался межплоскостной потенциал, полученный усреднением атомного потенциала в приближении Томаса-Ферми, с функцией экранирования Ливхарда. Разигрыванием начальной точки и угла влета электрона относительно плоскости (110) монокристалла алмаза вычислялась поперечная энергия, что и определяла траекторию электрона в заданном поле. Затем для выбранного направления складывалась излучение с разных участков траектории электрона. Результаты моделирования представлены на рис. I. Распределения симметричны в плоскости сканирования профиля фотонного пучка, относительно среднего направления влета электронов в кристалл, поэтому на рисунках показана только одна половина угловых распределений.

Сравнение экспериментального распределения с расчетным на рис. I показывает что есть механизмы уширения, а также усреднения углов излучения, не учтенные в расчетах, хотя выбранная в модели расходимость электронного пучка превышает соответствующую расходимость в эксперименте в несколько раз. Приведенная модель качественно совпадает с экспериментальными данными только в том, что при некоторой энергии фотонов однопиковое угловое распределение расщепляется на два пика. Однако с увеличением энергии излучения расчетные распределения все больше уширяются и пики раздвигаются, в то время, как экспериментальные данные показывают, что с увеличением энергии фотонов расщепление пропадает и угловые распределения становятся уже.

Во второй главе описана экспериментальная установка и методика исследований излучения каналированных ультрарелятивистских электронов. Приведены характеристики

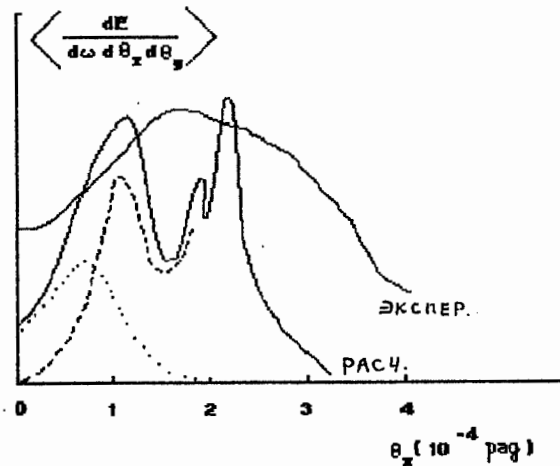


Рис.1 Плотность излучения электронов с энергией 4.5МэВ в зависимости от угла наблюдения в плоскости перпендикулярном плоскостям (110) кристалла алмаза для частоты  $\omega = 315$ МэВ. Расходимость электронного пучка 0.15мрад.

основных узлов экспериментального оборудования, включающих электронный ускоритель, гониометр, тракт вывода  $\gamma$ -пучка, магниты, вакуумную систему, коллиматоры, парный магнитный спектрометр, квантометр Вильсона и счетчики, а также регистрирующую электронику. Описаны используемые гониометрические мишени, конверторы парного магнитного спектрометра, режимы вывода  $\gamma$ -пучка и методика измерений спектральных, угловых и поляризационных характеристик выведенного фотонного пучка.

Схематическое изображение указанной установки представлено на рис.2.

Циркулирующий электронный пучок обрасывался на исследуемую кристаллическую мишень  $M_1$  ориентируемую при помощи гониометрического устройства. Тормозное излучение, образованное в монокристалле, формируется до необходимых угловых размеров двумя коллиматорами  $K_1$  и  $K_2$ , очищается от примеси заряженных частиц магнитами  $H_1$  и  $H_2$ , проходит через мишени  $M_2$  или  $M_3$  парного магнитного спектрометра и затем поглощается в веществе пластин квантометра Вильсона (Кв). Сцинтилляционные счетчики  $C_1, C_2, C_3, C_4$  используются для регистрации пар  $e^+e^-$ ,  $C_5$  служит для поисков нулевой ориентации кристалла, а  $C_6$  для временной селекции  $\gamma$ -пучка с соответствующей тонкой мишенью.

Угловые распределения  $\gamma$ -квантов с фиксированной энергией измерялись при помощи парного магнитного спектрометра с подвижной узкой мишенью, позволяющей сканировать профиль  $\gamma$ -пучка в горизонтальном направлении на расстоянии 30м от радиатора - монокристалла. На такой базе сканирование при помощи мишени с горизонтальными и вертикальными размерами, соответственно, 1.4мм и 5мм производилось с угловым разрешением 0.02мрад. Для указанных измерений были специально изготовлены коллиматоры: широкоугольные в горизонтальном направлении и узкозачорные в вертикальном. В горизонтальном направлении они пропускали практически весь излученный пучок от алмаза толщиной до 100мкм. Хотя установка позволяла сканировать профиль пучка только в горизонтальном направлении, угловые распределения в двух взаимно перпендикулярных направлениях выполнялись при ориентации каждой из двух эквивалентных взаимно перпендикулярных

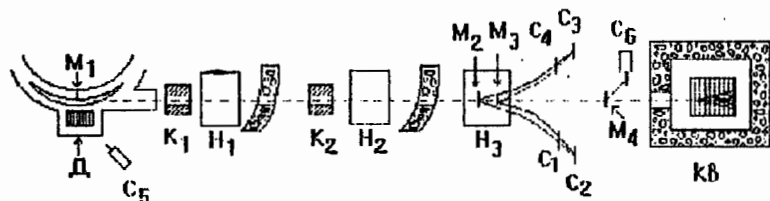


Рис.2 СХЕМАТИЧЕСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ УСТАНОВКИ:

- М<sub>1</sub>+М<sub>4</sub> - МИШЕНИ,
- К<sub>1</sub>+К<sub>2</sub> - КОЛЛИМАТОРЫ,
- Н<sub>1</sub>+Н<sub>2</sub> - МАГНИТЫ,
- С<sub>1</sub>+С<sub>2</sub>-СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЕ СЧЕТЧИКИ,
- Д - ДЕТЕКТОР СИ,
- КВ - КВАНТОМЕТР ВИБЛЬСОНА

плоскостей (OII) и (OII') параллельно направлению движения первичных электронов. Такие условия эксперимента исключали влияние на результаты измерений асимметрии самого пучка электронов и геометрической формы мишени.

В указанном способе измерений мишень ПМС могла перемещаться на базе до 40мм, а сцинтилляционные счетчики ПМС оставались неподвижными. Необходимо было изучить влияние асимметрии расположения мишени спектрометра относительно сцинтилляционных счетчиков ПМС на эффективность регистрации пары  $e^+e^-$  при фиксированной энергии  $\gamma$ -квантов в широком диапазоне энергий.

Измерения эффективности удобно было выполнять при фиксированном положении мишени при перемещении первой пары сцинтилляционных счетчиков ПМС С<sub>1</sub>, С<sub>2</sub> регистрирующих  $e^+e^-$ . Размеры счетчиков в плоскости разлета пары составляют 1см, они обычно располагаются симметрично относительно направления движения  $\gamma$ -пучка на расстоянии 3.3 м от мишени ПМС. Выполненные измерения показали, что в пределах экспериментальных ошибок эффективность регистрации пары не изменяется при перемещении указанных счетчиков на расстояния 0, ±1, ±2 см, т.е. влево и вправо от  $\gamma$ -пучка при неизменном расстоянии между ними рис.3.

Для расширения энергетической области измерений угловых распределений была изготовлена дистанционно-управляемая мишень, которая устанавливалась на расстоянии 35 см от края магнита и при помощи которого сканировалась профили фотонного пучка. Точность определения углов - 0.02 мрад.

Энергия  $\gamma$ -квантов при измерениях угловых распределений определялось только первой парой счетчиков С<sub>1</sub>, С<sub>2</sub>.

В третьей главе приведены измеренные дифференциальные угловые распределения излучения электронов с энергиями 4.4 и 1.9 ГэВ движущихся вблизи осей и плоскостей алмаза и германия.

На рис.4 и рис.5 представлены полученные распределения на алмазе. При энергии 315МэВ видно отчетливое расщепление на 2 пика, а при низких энергиях, как и при более высоких энергиях, рис.4в,г,д оно отсутствует.

Ранее исследованные спектральные зависимости излучения каналированных электронов с энергией  $E_0=4.4$ ГэВ показали, что

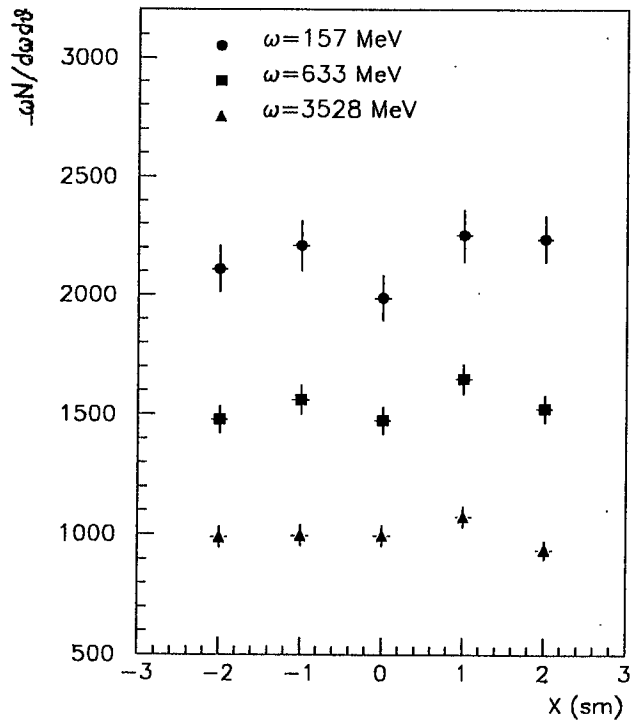


Рис.3. Эффективность регистрации электрон-позитронной пары магнитным спектрометром в зависимости от положения счетчиков.

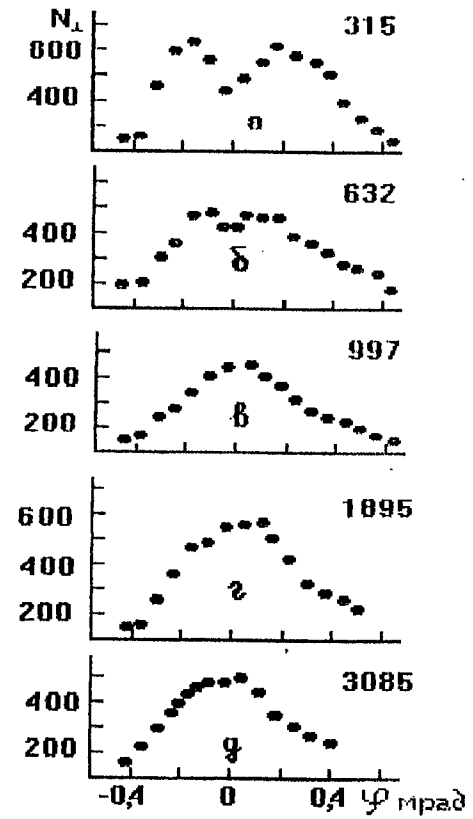


Рис.4. Угловые распределения  $\gamma$ -квантов в направлении перпендикулярном к плоскости (011) алмаза, при нулевом угле влета электронов. В правом углу каждого рисунка указана энергия  $\gamma$ -квантов в МэВ.

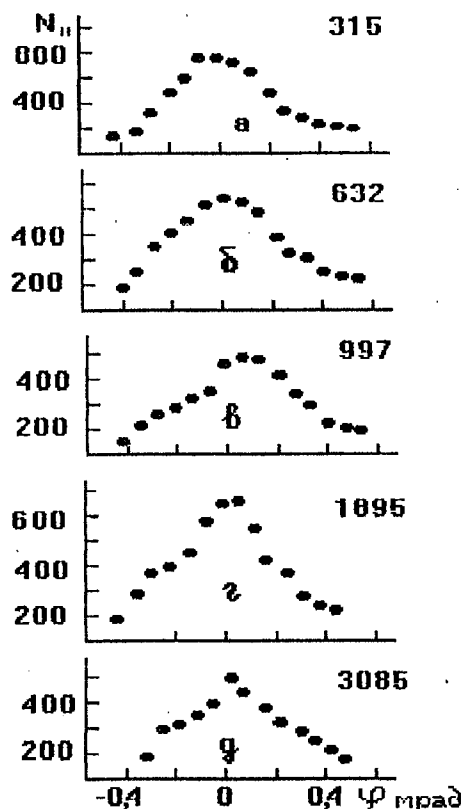


Рис.5. То же, что и на рис.4, но в направлении параллельном плоскости (011) алмаза.

в области  $\omega = 315 \text{ MeV}$  когерентное усиление излучения выражено слабо, так что рис.4а представляет суммарное распределение как когерентно, так и некогерентно рожденных  $\gamma$ -квантов. Нами была выполнена процедура вычитания фона некогерентных  $\gamma$ -квантов на основе распределения рис.5а; тогда расстояние между пиками в полученном распределении оказалось равным  $\Delta\varphi = 5 \cdot 10^{-4} \text{ рад}$ , следовательно, и средний угол вылета  $\gamma$ -квантов относительно первичного электрона  $0.5\Delta\varphi = 2.5 \cdot 10^{-4} \text{ рад}$ , что значительно превышает критический угол каналирования электронов.

Как видно из рис.4 и рис.5 ширины распределений неодинаковы в двух взаимно перпендикулярных направлениях т.е. наблюдается азимутальная асимметрия в угловых распределениях вплоть до измеренной максимальной энергии  $\omega = 3 \text{ GeV}$ .

В таблице I приведены асимметрии

$$A = \frac{S_{\perp} - S_{\parallel}}{S_{\perp} + S_{\parallel}}$$

для трех значений  $\omega$ , где  $S_{\perp|\parallel} = \int N_{\perp|\parallel}(\varphi) d\varphi$  вычислен в угловом интервале, который определяется условием  $N_{\perp|\parallel} \geq 0.5N_{\text{max}}$ .

Таблица I

$\omega$ , ГэВ	I	I.9	3.I
A	$0.09 \pm 0.02$	$0.09 \pm 0.02$	$0.12 \pm 0.03$

Такая азимутальная асимметрия является следствием асимметричности взаимодействия электрона в ориентированном монокристалле и свидетельствует о поляризации излучения по аналогии с когерентно тормозным излучением. КТИ асимметрично только вокруг пиковых энергетических значений, где оно поляризовано, в то время как в нашем случае излучение асимметрично по всему спектру, что ясно прослеживается из таблицы II. Угловые зависимости полученные на алмазе толщиной  $72 \text{ мкм}$ , при энергии электронов  $4.4 \text{ GeV}$ , аппроксимировались гауссовским распределением. В таблице II

Таблица II

Угол влета мрад	$E_{\gamma}$ ГэВ	$\sigma_{\perp} \cdot 300$ мрад	$\sigma_{\parallel} \cdot 300$ мрад	$\sigma_0 \cdot 300$ мрад
0	0.12	$39 \pm 1$	$43 \pm 1.5$	
0	0.17	$47 \pm 1.2$	$42 \pm 1.5$	
0	0.25	$60 \pm 1.5$	$50 \pm 1.5$	
0	0.31	расщепление	$44 \pm 1.5$	$77 \pm 2.5$
0	0.81	$100 \pm 3$	$60 \pm 2$	
0	1.54	$74 \pm 2$	$60 \pm 1.5$	
0	1.9	$75 \pm 2$	$61 \pm 1.5$	
0	3.1	$74 \pm 2$	$62 \pm 1$	
0	3.7	$73 \pm 1$	$63 \pm 1$	
0	3.96	$71 \pm 1.5$	$60 \pm 1.5$	$70 \pm 2$
0.1	3.96	$74 \pm 1.5$	$64 \pm 1$	
0.5	0.63	$50 \pm 1$	$60 \pm 0.8$	

представлены стандартные отклонения угловых распределений излучения  $\sigma_{\perp}$ ,  $\sigma_{\parallel}$  в направлении соответственно перпендикулярном и параллельном плоскости (110). Из таблицы видно, что начиная с энергии 0.26 ГэВ стандартные отклонения  $\sigma_{\perp} > \sigma_{\parallel}$ . Поскольку условия эксперимента исключали влияние асимметрии электронного пучка и формы кристаллической мишени, то указанная асимметрия свидетельствует о поляризации  $\gamma$ -пучка вплоть до измеренной энергии 4.0 ГэВ. Измерения показали также, что  $\sigma_{\parallel} < \sigma_0$ , где  $\sigma_0$  - стандартное отклонение для разориентированного кристалла. Этот результат говорит о существовании механизма подавления многократного рассеяния электрона в ориентированном кристалле.

Измеренная асимметрия в области энергии  $\omega \approx 100$  МаВ, т.е. в когерентной части спектра излучения, где ожидается достаточно высокая степень поляризации, имеет противоположный знак  $\sigma_{\perp} < \sigma_{\parallel}$ . С целью подтверждения этого неравенства при энергиях более близких к пику излучения, а именно при  $\omega = 45$  МаВ, были измерены угловые распределения на двух взаимно перпендикулярных плоскостях алмаза (рис.6). Угловые зависимости КИИ тоже показали: в когерентной части спектра КИИ, с известной высокой степенью линейной поляризации  $\sigma_{\perp} < \sigma_{\parallel}$ .

Сравнение угловых распределений  $\gamma$ -квантов высокоэнергетической части спектра с КИИ, приводит к выводу: излучение электронов при их падении под нулевым углом относительно плоскости монокристалла алмаза поляризовано по всему спектру излучения, причем поляризация меняет знак при энергии  $\omega = \omega_0 \approx 0.03$  и выше этой энергии направлена параллельно плоскости движения.

Для выяснения закономерностей эффекта расщепления  $\gamma$ -пучка были измерены ориентационные зависимости угловых распределений с фиксированными энергиями фотонов  $\omega = 315$  МаВ, при движении электронов с энергией 4.3 ГэВ вблизи плоскости (110) монокристалла алмаза. Полученные распределения представлены на рис.7. Видно, что с увеличением угла влета электронов относительно плоскости, пики в угловых распределениях становятся несимметричными, один из них исчезает, в то время как другой растет постепенно приближаясь к центру.

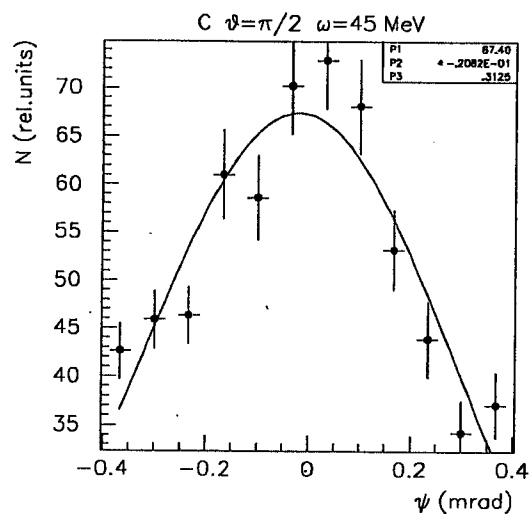
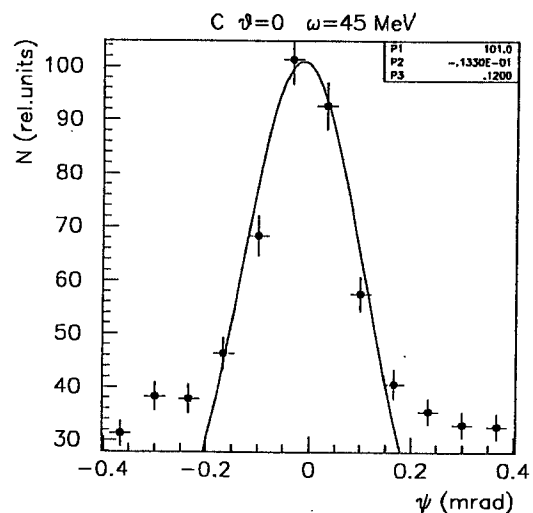


Рис.6. РАСПРЕДЕЛЕНИЯ  $\gamma$ -КВАНТОВ С ЭНЕРГИЕЙ 45 МэВ, ПО УГЛАМ ВЫЛЕТА ИЗ КРИСТАЛЛА В НАПРАВЛЕНИИ ПЕРПЕНДИКУЛЯРНОМ (НАВЕРХУ) И ПАРАЛЛЕЛЬНОМ (ВНИЗУ) К ПЛОСКОСТИ (011) АЛМАЗА.

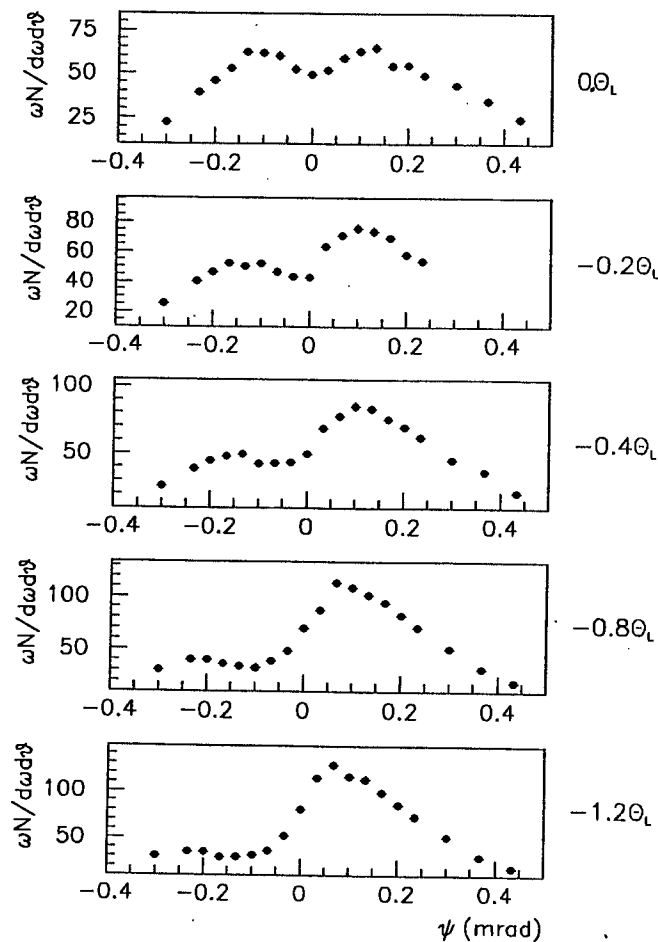


Рис.7. УГЛОВЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ  $\gamma$ -КВАНТОВ С ЭНЕРГИЕЙ 315 МэВ. У КАЖДОГО РИСУНКА УКАЗАН УГОЛ ВЛЕТА ЭЛЕКТРОНОВ В ЕДИНИЦАХ КРИТИЧЕСКОГО УГЛА  $\theta_L$ , ОТНОСИТЕЛЬНО ПЛОСКОСТИ (011).

Ясно, что используя ориентационную зависимость интенсивности низкоэнергетического когерентного излучения, можно ориентировать кристаллы относительно электронного пучка с точностью угла Линхарда  $\theta_L$ . С другой стороны, из рис.7 следует, что форма угловых распределений резко меняется даже при очень малых ( $0.1-0.2\theta_L$ ) изменениях угла ориентации кристалла относительно электронного пучка. Этот эффект позволяет ориентировать кристаллы относительно направления движения электронного пучка (или наоборот, зная ориентацию кристалла, определить направление движения электронов) с точностью на порядок выше, чем при спектроскопических методах.

Измерены также угловые распределения при движении электронов около оси [100] для энергии  $\gamma$ -квантов  $\omega=120$  МэВ (рис.8). Для этих распределений характерен резкий спад при углах  $\approx \pm 0.5$  мрад, что является следствием недостаточных поперечных размеров коллиматоров. Для осевого случая можно отметить наблюдения как расщепления, так и сильного уширения распределения по сравнению с разориентированным кристаллом.

Измерения угловых распределений  $\gamma$ -квантов выполнены также на монокристалле германия толщиной 110 мкм при энергии 4.4 ГэВ (напр. рис.9). Полученные распределения показывают, что эффекты, наблюдаемые на кристалле алмаза, в основном повторяются, но выражены слабее. Хотя межплоскостной потенциал для кристалла германия  $u_a$  больше, чем для алмаза -  $u_a \approx 2.56u_0$ , а Дебаевская температура для германия ниже, чем для алмаза, и можно было ожидать сильного уширения угловых распределений, но из приведенных графиков следует, что этого не происходит.

Основные отличия угловых распределений на монокристалле германия по сравнению с алмазом следующие:

- а) область расщепления  $\gamma$ -пучка на германии смещен в сторону низких энергий на  $\approx 100$  МэВ,
- б) расщепление проявляется слабее - расстояние между пиками на германии 1.5 раза меньше, чем на кристалле алмаза,

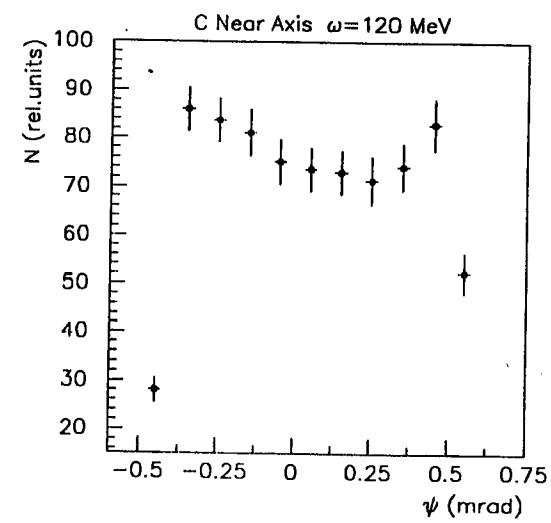
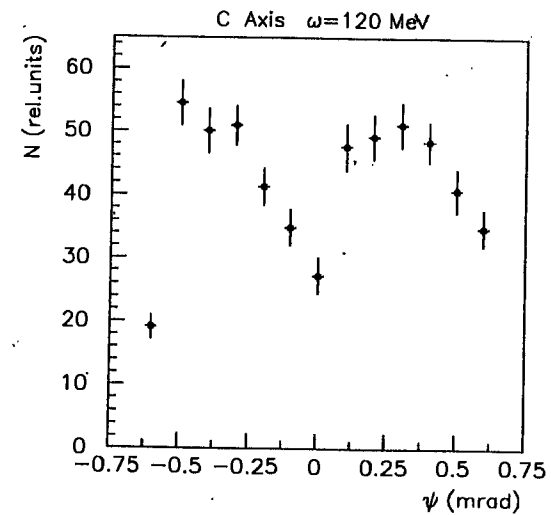


Рис.8. Угловые распределения излучения 120 МэВ-ных электронов при их движении около оси (100) кристалла алмаза

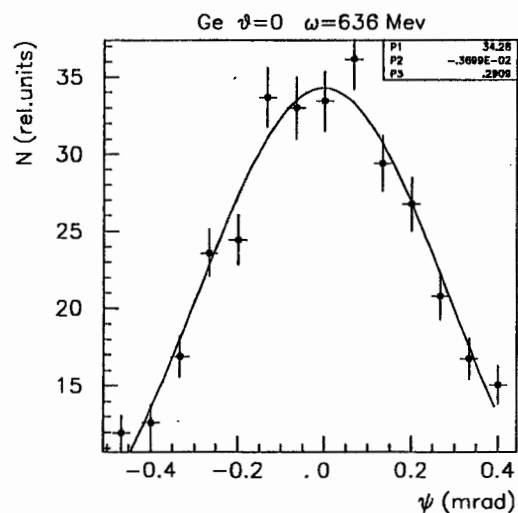
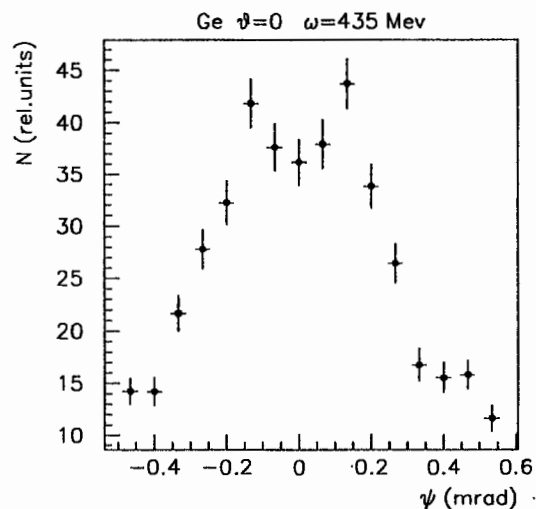


Рис.9. РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПО УГЛАМ ВЫЛЕТА  $\gamma$ -КВАНТОВ С ЭНЕРГИЕЙ 435МэВ (НАВЕРХУ) И 636МэВ (ВНИЗУ), ИЗ КРИСТАЛЛА ГЕРМАНИЯ В НАПРАВЛЕНИИ, ПЕРПЕНДИКУЛЯРНОМ К ПЛОСКОСТИ (011).

глубина расщепления тоже уменьшается, г) поскольку критический угол каналирования для германия больше соответствующего угла для алмаза, то поворот кристаллографических плоскостей относительно направления движения электронов на один и тот же малый угол (в пределах угла Линхарда) приводит к возникновению меньшей асимметрии для кристалла германия. В заключении сформулированы основные результаты диссертации.

1. С целью измерения угловых распределений излучения электронов движущихся вблизи осей и плоскостей кристаллов, усовершенствована установка: а) созданы и применены прямоугольные щелевые коллиматоры, что позволило расширить угловой диапазон измеряемых распределений с необходимым подавлением фона, б) созданная дистанционно управляемая, сканирующая мишень, установленная в краевом поле парного магнитного спектрометра позволило измерить угловые распределения  $\gamma$ -квантов фиксированных энергий в области 20-200МэВ.

Методическими измерениями показана, что эффективность регистрации  $\gamma$ -квантов не зависит от поперечного положения узкого конвертора магнитного спектрометра в пределах углового диапазона установки.

2. Подробно исследованы угловые распределения  $\gamma$ -квантов с фиксированной энергией, излученных электронами при их движении около плоскостей монокристалла алмаза. Впервые обнаружено расщепление и расширение  $\gamma$ -пучка в перпендикулярном направлении относительно кристаллографической плоскости, а также азимутальная асимметрия в высоковолновой части спектра. На основе обнаруженной азимутальной асимметрии показано, что излучение электронов при их падении под нулевым углом относительно плоскости монокристалла алмаза поляризовано по всему спектру излучения.

3. Измерены угловые распределения в области пика спектра излучения электронов при плоскостном каналировании в кристалле алмаза в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Сопоставляя известное направление поляризации при этих энергиях с знаками измеренных азимутальных

асимметрий, показано, что поляризация излучения в высокоэнергетической части спектра направлена параллельно плоскости кристалла.

4. Выполнены измерения ориентационных зависимостей угловых распределений излучения с фиксированной энергией. На их основе указан способ ориентации кристаллов относительно электронных пучков (или определения направления движения электронов относительно ориентированных кристаллов) с точностью  $\approx 0.1$  угла Линхарда.

5. Измерены угловые распределения излучения электронов с энергией 1.9 ГэВ в монокристалле алмаза. При этой энергии электрона обнаружено расщепление пучка  $\gamma$ -квантов с энергией 120 МэВ как на плоскости  $(011)$ , так и на оси  $(100)$  кристалла.

6. Исследованы распределения по углам вылета  $\gamma$ -квантов из монокристалла германия. Угловые зависимости показали, что есть смещение области расщепления  $\gamma$ -пучка, по сравнению с кристаллом алмаза, а также, что эффекты расщепления и смещения пучка проявляются слабее, чем на алмазе.

Основная часть материалов, изложенных в диссертации, опубликована в работах:

1. Аганьянц А.О., Варганов Ю.А., Карибян В.Б. и др., Установка и методика исследования свойств излучения каналированных в монокристаллах ультрарелятивистских электронов, Ереван 1989, 21с., Препринт ЕФН-1127(13)-90.
2. Аганьянц А.О., Варганов Ю.А., Карибян В.Б., Яралов В.Я., Наблюдения аномалий в угловых распределениях излучения каналированных электронов., Письма в ЖЭТФ, 1988, т.48, вып.7, с. 364-366.
3. Аганьянц А.О., Варганов Ю.А., Карибян В.Б. и др., Угловые распределения жестких  $\gamma$ -квантов и режим движения электронов в ориентированном алмазе., Тезисы докладов III Всесоюзной конференции по излучению релятивистских частиц в кристаллах., Нальчик, 1988, Изд.-во К.Б.ГУ, с.32-33.
4. Аганьянц А.О., Варганов Ю.А., Карибян В.Б. и др., Асимметрия угловых распределений жесткого некогерентного излучения электронов в ориентированном кристалле., Материалы XIX Всесоюз. совещания по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами, М.1990, с.34, Изд.-во МГУ, с.III-III2.
5. Аганьянц А.О., Варганов Ю.А., Карибян В.Б., Яралов В.Я.,

Ориентационная зависимость угловых распределений излучения ультрарелятивистских электронов при фиксированных энергиях  $\gamma$ -квантов., Тезисы докладов XX Всесоюз. совещания по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами, М.1990, с.66.

6. Аганьянц А.О., Варганов Ю.А., Вартапетян Г.А., Карибян В.Б., Исследование излучения электронов с энергией 4.4 ГэВ в ориентированных монокристаллах алмаза, кремния и германия., ЖЭТФ, 1988, т.94, вып.8, с.73-78.

ՂԱՐԻԲՅԱՆ ՎԱՀԱԳՆ ԲԱԲԿԵՆԻ

ԷԼԵԿՏՐՈՆՆԵՐԻ ՃԱՌԱԳԱՅՔԵՄԱՆ ԱՆԿՑՈՒՆԱՅԻՆ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԸ  
ԿՈՂՄՆՈՐՈՇՎԱՑ ԲՅՈՒՐԵՂՆԵՐՈՒՄ

Ասենախոսությունը բաղկացած է, ներածությունից, երեք բաժնից և վերջաբանից: Աշխատանքը շարադրված է 86 պարագիր էջի վրա՝ ներառյալ 32 նկար, 2 աղյուսակ և 68 անուն մեջբերված գրականություն:

Ասենախոսությունը նվիրված է կողմնորոշված միաբյուրեղներում ուղարկելի լայնալստիկ էլեկտրոնների ճառագայթման անկյունային բաշխվածության հետազոտմանը: Չափումները կատարվել են ԵրՏԻ ԱՐՈՒՄ արագացուցիչի էլեկտրոնային ֆնջի վրա:

Մանրակրկիտ ուսումնասիրվել են ալմաստի և գերմանիումի բյուրեղային հարթությունների և առանցքների շրջակայքում շարժվող 4.59ԷՎ և 1.94ԷՎ էներգիայով էլեկտրոնների արբեր ֆիքսված հաստիականություններով ճառագայթման արածական բաշխումները:

Հայտնաբերված է  $\gamma$ -ֆնջի լայնացում և արոհում բյուրեղային հարթությանը աղղահայաց աղղությամբ, ինչպես նաև ճառագայթման սպեկտրի վերջում ալիմասային ախիտերիա, որի հիման վրա ցայց է արված, որ ճառագայթումը բեվեռացված է ողջ սպեկտրի երկայնքով:

Ցայց է արված նաև, որ նշված զծային բեվեռացումը սպեկտրի բարձր-էներգետիկ տիրայթամ ֆոնում է իր աղղությունը բյուրեղային հարթությանը աղղահայաց աղղությունից անցնելով վազահեռին:

Ցայց է արված, որ օգտագործելով ճառագայթված ֆնջի արոհման երեկվայթը, կարելի է կողմնորոշել միաբյուրեղը էլեկտրոնային ֆնջի նկատմամբ շկամ, որ նայն է, որոշել էլեկտրոնների շարժման աղղությունը կողմնորոշված բյուրեղի նկատմամբ՝ ճառագայթման բնութագրիչ անկյան 10 տոկոսի ճշտությամբ:

VAHAGN GHARIBYAN

THE ANGULAR CHARACTERISTICS OF ELECTRONS RADIATION  
IN ORIENTED CRYSTALS

The thesis consist of an Introduction, three Chapters and a Conclusion. The thesis is presented in 86 pages which includes 32 figures 2 tables and 68 references.

The object of detailed studies have been the angular distributions of the Yerevan ARUS Synchrotron 4.5GeV and 1.9GeV electron's radiation with different fixed energies, near the diamond and germanium crystalline planes and axes.

Have been observed a gamma-beam large widening and splitting on perpendicular direction relative to crystalline plane, and an azimuthal asymmetry of the radiation that shows to gamma-beam polarization.

Has been also shown that the mentioned linear polarization inverts its sign for the hard part of the spectrum, and thus becomes parallel to crystalline plane.

Has been mentioned that utilizing the gamma-beam splitting phenomena's one can align a single crystal (or, the same, define the moving direction of an electron-beam relative to the oriented crystal) with precision better than 10 percent of the radiation characteristic angle.