

Харьковский государственный университет

На правах рукописи



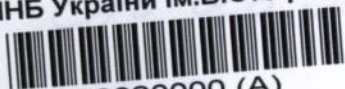
БЛАЖЕВИЧ Сергей Владимирович

УГЛОВАЯ СТРУКТУРА ТОРМОЗНОГО ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ  
И РАССЕЯНИЯ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ  
ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С МОНОКРИСТАЛЛАМИ

01.04.16 - физика ядра и элементарных частиц

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Харьков - 1993



Робота виконана в Харківському фізико-технічному інституті

Научний керівник: доктор фізико-математических наук  
Шульга Николай Федорович

Офіційні опоненти: доктор фізико-математических наук  
Коваленко Григорий Дмитрієвич  
(УНЦ ХФТИ, г.Харьков)

кандидат фізико-математических наук  
Іванов Сергей Іванович  
(ХГУ, г.Харьков)

Ведущая організація: РНЦ "Курчатовський інститут"

Захита состоится "7" маі 1993 г.  
в 5 часов на засіданні Спеціалізованого совета  
Д 053.06.01 при Харківському державному університеті  
(310108, Харків-108, пр.Курчатова, 31, ауд. 301)  
С дисертацією можна ознайомитися в Центральній научній  
бібліотеці ХГУ

Автореферат розослан "1" сер. 1993 г.

Учений секретарь совета  
доктор фізико-математических наук

В.И. Лапшин

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Исследование электромагнитных процессов, сопровождающих прохождение быстрых заряженных частиц через кристаллы представляет одно из актуальных направлений физики взаимодействия частиц и излучения с веществом, поскольку в этом случае проявляются когерентные и интерференционные эффекты, связанные с корреляциями во взаимодействии частиц с атомами цепочек (плоскостей).

Одним из наиболее ярких эффектов во взаимодействии релятивистских заряженных частиц с кристаллами является генерация остронаправленного излучения гамма-квантов более эффективная, чем в других известных источниках излучения. Исследование этого излучения представляет интерес с точки зрения выяснения физических механизмов его генерации и возможных путей оптимизации характеристик такого источника. К настоящему времени в этом направлении проведено большое количество как теоретических, так и экспериментальных работ.

Большое разнообразие экспериментальных условий (расходимость и поперечные размеры пучка частиц, падающих на кристалл, степень коллимации фотонного пучка, параметры кристаллической мишени и т.д.) создавало затруднения при сравнении результатов, полученных разными авторами в их теоретической интерпретации. В этой связи возникла необходимость развития комплексного подхода к исследованию процессов излучения  $\gamma$ -квантов релятивистскими заряженными частицами в кристалле, позволяющего с единых позиций проанализировать характеристики различных процессов, сопровождающих прохождение частиц через кристалл. В этом плане измерения

угловых и спектрально-угловых распределений представляет один из наиболее информативных методов экспериментального исследования процесса излучения, поскольку они весьма чувствительны к проявлению того или иного механизма процесса. Такие измерения однако до настоящего времени были проведены лишь в немногих экспериментах, а их результаты носят отрывочный характер.

Характеристики излучения, сопровождающего прохождение релятивистских заряженных частиц в кристалле, в большой степени определяются динамикой их движения в поле упорядоченно расположенных в кристалле атомов, поэтому исследование процесса прохождения частиц через кристалл также представляет актуальную задачу. Экспериментальные исследования в этом направлении в основном проводились вне зависимости от проблемы излучения.

Большинство работ по исследованию процесса прохождения электронов, позитронов было проведено при энергиях частиц 1-20 МэВ. Однако при энергии частиц превышающей нескольких десятков МэВ существенным является квантовый эффект во взаимодействии с кристаллом, поскольку число уровней поперечного движения при таких энергиях не велико.

Начиная с энергии порядка нескольких сотен МэВ справедливо классическое представление о взаимодействии заряженных частиц с кристаллами. Общее число работ по динамике частиц в кристалле, относящихся к этому диапазону энергий сравнительно не велико.

В первых работах по динамике частиц в кристалле экспериментальные результаты были получены в условиях невысокого пространственно-углового разрешения и с использованием кристаллов средней толщины, при которой велик вклад некогерентного рассеяния в угловое распределение прошедших через кристалл частиц. В силу

этих причин не могли наблюдаться тонкая структура угловых распределений, на которую указывали, например, результаты численного моделирования. Для исследования этой структуры необходимо проведение экспериментов с кристаллами малой толщины в условиях высокого углового разрешения.

Использование электронов с энергией 1 ГэВ в экспериментах по генерации гамма-излучения представляет особый интерес в связи с тем, что максимум интенсивности излучения в этом случае оказывается в области спектра фотонов соответствующей гигантскому резонансу для фотоядерных реакций, а интенсивность излучения в этой области спектра в 20-30 раз превышает интенсивность излучения в аморфной среде. Это открывает перспективы использования такого источника излучения для широкого круга задач в ядерной физике и радиационном материаловедении.

Экспериментальные исследования динамики прохождения релятивистских электронов через кристаллы и характеристик генерируемого ими излучения фотонов в комплексе до настоящего времени не проводились. Особенно это касается экспериментального исследования взаимодействия электронов с энергией  $\sim 1$  ГэВ с тонкими (10 + 50 мкм) кристаллами.

Изучению отмеченных вопросов посвящена данная диссертация.

Целью работы является экспериментальное исследование особенностей угловых распределений релятивистских электронов и их излучения при прохождении через монокристаллы  $Si$ , а также ионизационных потерь энергии электронов в зависимости от ориентации и толщины кристалла,

С этой целью была разработана экспериментальная методика, позволяющая с высоким разрешением регистрировать угловые распределения рассеянных на кристалле частиц и излучаемых ими гамма-

-квантов; проведены эксперименты на пучках электронов с энергией 300-1200 МэВ с использованием мишени из монокристаллов кремния в широком диапазоне толщины.

Неучтенная новизна работы. Проведенные эксперименты позволили впервые наблюдать кольцевую структуру рассеянного пучка ультра-релятивистских электронов при углах ориентации оси кристалла относительно направления падающего пучка значительно меньших, чем угол осевого каналирования, а также измерить ориентационную зависимость некогерентного рассеяния электронов.

Впервые было показано, что наблюдаемые в эксперименте особенности в ориентационной зависимости углового распределения релятивистских электронов, рассеянных на тонком кристалле, могут быть описаны только с одновременным учетом как когерентного азимутального рассеяния, так и рассеяния по полярному углу, связанного с начальным распределением частиц по прицельным параметрам их влёте в поле цепочки и некогерентным рассеянием на отдельных атомах.

В широком диапазоне толщин кристалле экспериментально исследована ориентационная зависимость углового распределения гамма-квантов, излучаемых электронами в кристалле. Показано, что измеренные характеристики излучения хорошо описываются расчётами по теории излучения надбарьерных электронов с учетом многократного рассеяния на атомных цепочках (для кристаллов средней толщины) и учётом некогерентного рассеяния для толстых кристаллов.

Впервые проведены измерения ориентационной зависимости ионизационных потерь энергии релятивистских электронов в кристалле путём регистрации акустического импульса возбуждаемого при их прохождении через кристалл.

Практическая ценность работы. Предложенная в работе методика регистрации электронов, рассеянных на кристалле, а также гамма-квантов, излучаемых ими, с помощью малогабаритной ионизационной твердотельной камеры, может быть использована для ориентирования кристаллов относительно пучка падающих частиц, для измерения угловых распределений пучков электронов и гамма-квантов. Результаты проведенных в работе измерений, а также выводы, полученные при сравнении экспериментальных результатов с расчётами характеристик процессов рассеяния и излучения электронов в ориентированных кристаллах, представляют практический вклад в решение вопросов, связанных с созданием источника гамма-излучения на основе взаимодействия релятивистских заряженных частиц с кристаллами.

На защиту выносятся:

1. Экспериментальная методика исследования структуры угловых распределений электронов и гамма-излучения с использованием миниатюрной полупроводниковой ионизационной камеры (с угловым разрешением  $10^{-5}$  рад).

2. Результаты экспериментального исследования ориентационной зависимости угловых распределений релятивистских электронов с энергией 1 ГэВ в монокристаллах Si различной толщины:

а) Обнаружение кольцевой структуры рассеяния на тонком кристалле кремния ( $L \approx 30$  мкм,  $E_e \sim 1$  ГэВ) при углах ориентации оси кристалла значительно меньших угла Линдхярда ( $< 4 \cdot 10^{-4}$ ).

б) Обнаружение ориентационной зависимости ширины кольца азимутального рассеяния  $\Delta\theta(\varphi)$ .

3. Расчёты некогерентного рассеяния электронов с учетом разброса частиц по параметрам их влёта в поле атомных цепочек, по-

зволювшие объяснить наблюдаемые в эксперименте особенности в ориентационной зависимости прохождения и в угловом распределении рассеянных частиц при углах падения меньших чем критический угол осевого каналирования.

4. Результаты измерения ориентационной зависимости угловых распределений излучения гамма-квантов релятивистскими электронами в монокристаллах кремния в диапазоне толщин кристаллов  $70 \div 15000$  мкм.

5. Расчёты ориентационной зависимости угловых распределений гамма-излучения в рамках теории излучения надбарьерных электронов, показавшие хорошее согласие с экспериментом.

6. Методика экспериментального исследования ориентационной зависимости ионизационных потерь энергии релятивистских электронов в кристалле по акустическому эффекту их взаимодействия.

7. Результаты измерения ионизационных потерь энергии ультрарелятивистских электронов в тонких и толстых кристаллах, показавшие, что в тонких кристаллах ионизационные потери не зависят от ориентации кристалла, в обнаруженная зависимость ионизационных потерь от ориентации кристалла с максимумом при осевой ориентации в толстом ( $\angle \sim \angle_c$ ), обусловлена вкладом в ионизацию вторичных частиц.

Диссертация состоит из Введения, 4-х глав, Заключения и Списка литературы.

#### Содержание работы

Во введении подчеркивается актуальность направления исследования процессов, связанных с прохождением релятивистских частиц через кристаллы и необходимость дальнейшего развития комплексного подхода в экспериментальном изучении динамики движения

и излучения релятивистских электронов в кристалле; формулируется цель и задачи работы.

В I-й главе излагается характеристика экспериментальных методик и аппаратуры для формирования падающего на кристалл пучка электронов и регистрации прошедшего через кристалл пучка электронов, а также излучаемых ими гамма-квантов.

Экспериментальные установки, использованные в данной работе, включали в себя устройства формирования релятивистского пучка электронов на выходе линейного ускорителя ЛУ-2000 (электромагнитная линза и корректоры, поворотные, спектрометрические и очищающие магниты, электронные коллиматоры и диафрагмы, фотонный коллиматор с меняющейся апертурой  $I \pm 30$  мм), гониометр с обоймой кристаллов, экран-флажки, ионизационные камеры газонаполненные широкоапертурные, Гаусс-квантометр, цилиндр Фердея, монитор вторичной эмиссии и другие ядерно-физические приборы. (рис. I).

Кроме названной традиционной аппаратуры для исследования угловых распределений электронов и гамма-квантов была разработана методика, основанная на использовании малогабаритной ( $0,5 \times 0,5$  мм<sup>2</sup>) полупроводниковой ионизационной камеры, позволяющая измерять с высоким пространственно-угловым разрешением распределения рассеянных на кристаллической (или аморфной) мишени электронов и гамма-излучения из кристалла. Камера обладает высокой чувствительностью регистрации электронов ( $10^5$  электр/см<sup>2</sup>) и позволяет также регистрировать мягкую часть гамма-излучения из кристалла.

Для формирования электронных пучков с малыми поперечными размерами, которые были необходимы для измерений углового распределения рассеянных частиц, нами использовались диафрагмы из тя-

железных металлов с апертурой 0,3 мм, 1 мм, 2 мм, 3 мм, а также подвижные щелевые диафрагмы с шириной щели 0,3 мм, позволявшие вырезать любой участок пучка с поперечными размерами  $0,3 \times 0,3 \text{ мм}^2$ , при этом угловое разрешение составляло  $1 \cdot 10^{-5}$  рад.

Для исследования ионизационных потерь энергии релятивистских электронов в кристалле была разработана методика регистрации акустического импульса возбуждаемого в кристалле пучком электронов. Акустический датчик был изготовлен из пьезокерамики ЦТС-19 и закреплён в одном из фокусов, выполненного в виде эллипса звуководе, во втором фокусе которого укреплялся кристалл.

Гониометры, использованные в работе, позволяют устанавливать ориентацию кристалла относительно оси пучка электронов в пределах  $\pm 8^\circ$  (в вертикальной и горизонтальной плоскостях) с точностью  $\pm 5 \cdot 10^{-5}$  рад и размещать в обойме гониометра до трёх кристаллов одновременно, вращением обоймы любой из кристаллов мог устанавливаться под пучок.

В экспериментах, проведенных в данной работе, использовались пучки электронов с энергией 300, 500, 760 и 1200 МэВ. Для исследований были подготовлены мишени из кристаллического кремния идентичного по своим свойствам в широком диапазоне толщин: от 10 мкм до 15 000 мкм.

В экспериментах по исследованию прохождения и рассеяния электронов на кристалле в зависимости от требуемого углового разрешения в качестве детектора рассеянного пучка использовались:

- 1) широкоапертурная ионизационная камера, установленная за коллиматором;
- 2) малогабаритная твердотельная камера (без коллимации рассеянного пучка);
- 3) твердотельный детектор (стеклянная пластинка).

Из трех названных детекторов наилучшим разрешением при измерении распределения рассеянного пучка обладает твердотельный детектор. Поэтому, несмотря на недостаточную оперативность измерения, в случае необходимости получения предельного углового разрешения были использованы стеклянные пластины, которые экспонировались на пучке и затем фотометрировались на микрофотометре ИФ0-45I.

Во второй главе приводятся результаты экспериментального исследования прохождения и рассеяния релятивистских электронов на тонких кристаллах кремния.

Исследования прохождения электронов в малый угол вперед проводились с использованием различных методов. В частности эксперимент по рассеянию электронов с энергией 760 МэВ на кристалле кремния толщиной 80 мкм был проведен с использованием коллимации рассеянного пучка и регистрации его с помощью широкоапертурной ионизационной камеры. Модифицировав этот метод путём применения электромагнитного корректора, отклоняющего прошедший через кристалл пучок, удалось получить семейство кривых ориентационной зависимости прохождения и рассеяния электронов на различные заданные углы  $\theta$  относительно начального направления падающего на кристалл пучка. По этим данным была определена ориентационная зависимость параметров кольцевого рассеяния (азимутального и радиального) и показано, что полуширина рассеяния поперек кольца не зависит от ориентации в диапазоне углов  $\psi = \angle(\vec{n}, \langle III \rangle)$  больших 1,5 мрад.

В продолжение этой работы с использованием сканирующего малогабаритного детектора были проведены измерения параметров кольцевого рассеяния на тонком (10 мкм) кристалле кремния электронов с энергией 1200 МэВ. В этом случае среднеквадратичный угол некогерентного рассеяния электронов  $\theta_s = 0.16 \psi_c$  (где  $\psi_c$  - критичес-

кий угол осевого каналирования), что позволило наблюдать структуру рассеяния при углах ориентации оси кристалла  $\psi \leq \psi_c$ . При этом нами впервые наблюдалось кольцевое рассеяние электронов при  $\psi < \psi_c$ , а также была получена ориентационная зависимость параметра некогерентного рассеяния электронов. Была измерена также зависимость полуширины некогерентного рассеяния для электронов с энергией 500 МэВ. Полученные зависимости показывают резкое возрастание радиального рассеяния пучка при уменьшении угла  $\psi$  ориентации оси кристалла, начиная от значения  $\psi \approx \psi_c$  (рис.2).

Расчёт ориентационной зависимости прохождения релятивистских электронов в малый телесный угол вперед, проведенный в рамках теории многократного рассеяния частиц в поле непрерывных цепочек атомов обнаружил некоторое расхождение с результатами, полученными нами в экспериментах с тонкими кристаллами, причем расхождение возрастало с уменьшением толщины кристалла.

Анализ экспериментальных данных показал, что для объяснения отмеченного выше расхождения необходим учет как многократного некогерентного рассеяния так и разбросе частиц по прицельным параметрам при входе пучка в кристалл. Выполненный в диссертации расчёт ориентационной зависимости прохождения привел к удовлетворительному согласию результатов эксперимента и теории. Кроме того, проведенные расчёты позволили объяснить наблюдаемые в эксперименте особенности в ориентационной зависимости прохождения и в угловом распределении рассеянных электронов (рис.3).

В третьей главе приводятся результаты измерения ориентационной зависимости угловых распределений излучения тормозных гамма-квантов электронами с энергией 300 МэВ в кристаллах кремния различной толщины. Обсуждаются особенности угловых рас-

пределений, в частности, эффект смещения максимума в угловом распределении излучения при изменении ориентации кристалла. Проводится расчёт по теории излучения надбарьерных электронов. При сравнении с экспериментом в расчётах учитывалась спектральная зависимость чувствительности детектора к  $\gamma$ -излучению.

Результаты расчётов хорошо согласуются с экспериментальными результатами, что подтверждает основную роль надбарьерных электронов в излучении из кристаллической мишени средних и больших толщин (рис. 4,5).

Показана корреляция угловых распределений рассеянных в кристалле ультрарелятивистских электронов и излучаемых ими гамма-квантов.

Показано принципиальное отличие механизма наблюдаемого смещения максимума в угловом распределении излучения в зависимости от ориентации кристаллографической оси в случае тонкого и в случае толстого кристаллов (рис.6).

В четвертой главе приведены результаты экспериментального исследования ориентационной зависимости ионизационных потерь энергии релятивистских электронов в кристалле.

Исследование было проведено с использованием известного акустического эффекта, сопровождающего прохождение пучка быстрых заряженных частиц в твердой мишени.

Акустический импульс, возникающий в мишени, имеет термоупругую природу и для тонкой мишени его амплитуда пропорциональна ионизационным потерям энергии падающих частиц. Для регистрации акустического импульса был использован пьезодатчик, изготовленный из керамики ЦТС-19. Звуконвод был выполнен в виде металлической пластины, вырезанной в форме эллипса, в одном из фокусов которого был вклеен пьезодатчик, а в другой - кристалл (рис.7).

Вся конструкция была установлена в гониометре. Измерения проведены с кристаллом кремния толщиной 500 мкм и показали независимость амплитуды акустического импульса от ориентации.

Измерения акустического сигнала из кристалла вольфрама толщиной 1 мм обнаружили ориентационную зависимость (см. рис. 8), которая хорошо согласуется с представлением о вкладе вторичных частиц в энергию, поглощённую кристаллом. В основном этот вклад создают мягкие гамма-кванты, интенсивность излучения которых в кристалле имеет яркую зависимость от ориентации кристалла. Показано, что  $\delta$ -электроны, выбиваемые в близких столкновениях канелирующими релятивистскими электронами не дают заметного вклада в ориентационную зависимость акустического сигнала при толщине мишени  $\lambda_g \ll L \ll L_R$  (где  $\lambda_g$  - длина деканелирования,  $L_R$  - радиационная длина). Заметным их вклад может быть только для мишени толщиной  $L \approx \lambda_g$ .

Ионизация, производимая в кристалле за счёт дальних столкновений (на расстояния больших, чем радиус экранирования  $R_s$ ), не может зависеть от ориентации кристалла, поскольку в результате релятивистской деформации поле падающего электрона в поперечном направлении спадает с расстоянием в  $\sim \gamma$  раз медленнее, чем поле покоящейся частицы. При этом пространственная область, в которой частица способна производить ионизацию, охватывает большое количество цепочек атомов, а это значит, что интенсивность ионизации не может зависеть от траектории частицы.

В Заключении изложены основные выводы диссертации.

I. В работе созданы методики и разработана аппаратура для исследования структуры угловых распределений тормозного излучения и рассеяния релятивистских электронов в ориентированных кристаллах с высоким пространственно-угловым разрешением.

2. Создана методика для исследования ионизационных потерь энергии электронов по акустическому импульсу возбуждаемому пучком частиц в кристалле.

3. Проведены эксперименты по прохождению релятивистских электронов через кристаллы различной толщины, в которых обнаружены особенности рассеяния на тонких кристаллах: кольцевая структура рассеяния при углах ориентации оси кристалла  $\psi$  значительно меньших угла Линдхарда вплоть до осевой ( $\psi = 0$ ) ориентации кристалла, минимум в ориентированной зависимости прохождения в малый телесный угол вперед при угле  $\psi = 0$ , которые не могут быть объяснены только азимутальным рассеянием частиц на цепочках атомов.

4. Проведены сравнения результатов экспериментов по динамике релятивистских электронов в кристалле с расчётами в рамках теоретической модели, учитывающей как азимутальное рассеяние релятивистских электронов на цепочках атомов в кристалле, так и рассеяние по полярному углу, связанное с распределением частиц, падающих на кристалл, по прицельным параметрам влёта. Расчёты показали, что наблюдаемые эффекты в рассеянии могут быть объяснены совместным действием указанных механизмов.

5. Проведены систематические экспериментальные исследования ориентационной зависимости углового распределения тормозного излучения релятивистских электронов в кристаллах кремния различной толщины.

6. Проведены расчёты угловых распределений излучения надбарьерных электронов в тонком и в толстом кристаллах кремния для различных ориентаций оси  $\langle III \rangle$  кристалла, которые показали хорошее согласие с экспериментальными результатами.

7. С использованием акустической методики проведены исследования ориентационных зависимостей ионизационных потерь энергии релятивистских электронов в кристаллических мишенях. Измерения, проведенные на тонком ( $L \ll L_R$ ) кристалле, показали, что ионизационные потери релятивистских электронов не зависят от ориентации кристалла, что согласуется с представлением об особенностях динамики релятивистских электронов в монокристалле.

Обнаружена ориентационная зависимость акустического сигнала возбуждаемого релятивистскими электронами в кристалле вольфрама толщиной  $L \approx L_R$ . Показано, что наблюдаемая зависимость обусловлена вкладом в ионизацию вторичных частиц (в основном галльквантов) и несет информацию об особенностях развития электромагнитного ливня в кристалле. Показано, что  $\delta$ -электроны не дают заметного вклада в ориентационный эффект в ионизационных потерях.

Апробация работы и публикации. Материалы диссертации докладывались на Всесоюзных совещаниях по физике взаимодействия заряженных частиц с монокристаллами (Москва 1988, 1989, 1990, 1991 гг.), на Всесоюзных конференциях по излучению заряженных частиц в кристаллах (Терскол 1988, 1989, 1990 гг.), на Всесоюзной школе по радиационной физике (Алушта, 1990 г.).

Основное содержание диссертации изложено в следующих работах:

1. Адейшвили Д.И., Антипенко А.П., Блажевич С.В., Бочек Г.Л., Витько В.И., Мороховский В.Л., Шраменко Б.И. Экспериментальное исследование рассеяния электронов с энергией 760 МэВ на кристалле кремния // *ЭТФ*. 1987. Т.92, вып.5. С.1574-1577.

2. Блажевич С.В., Мороховский В.Л., Шраменко Б.И. Экспериментальное исследование параметров кольцевого рассеяния электронов с энергией 760 МэВ на кристалле кремния // Тезисы докл. ХУП Всес.совещ. по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами. М.: Изд.МГУ, 1987. С.86.

3. Блажевич С.В., Бочек Г.Л., Маслов Н.И., Шраменко Б.И. Экспериментальное исследование рассеяния ультррелятивистских электронов на тонком кристалле кремния // Тезисы докл. III Всес. конф. по излучению релятивистских частиц в кристалле. Нальчик, 1988. С.34.

4. Блажевич С.В., Маслов Н.И., Шраменко Б.И. Угловые распределения ультррелятивистских электронов рассеянных монокристаллом кремния толщиной 10 мкм // Тезисы докл. ХУШ Всес.совещ. по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами. М.: Изд. МГУ, 1988. С.25.

5. Адейшвили Д.И., Антипенко А.П., Блажевич С.В., Бочек Г.Л., Кулибаба В.И., Маслов Н.И., Мороховский В.Л., Шраменко Б.И. Структура рассеяния ультррелятивистских электронов, падающих на кристалл под углами меньшими критического угла осевого канелирования // Материалы ХУШ Всес.совещ. по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами. М.: Изд.МГУ, 1989. С.9-II.

6. Блажевич С.В., Бочек Г.Л., Кулибаба В.И., Маслов Н.И., Насонов Н.Н., Шраменко Б.И., Трутень В.И. Прохождение релятивистских электронов через тонкие кристаллы кремния // Материалы XXI Всес.совещ. по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами. М.: Изд.МГУ, 1992. С.9-II.

7. Блажевич С.В., Маслов Н.И. Ориентационная зависимость рассеяния ультрарелятивистских электронов на плоскостях (111) кристалле кремния // Материалы XXI Всесоюз. совещ. по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами. М.: Изд. МГУ, 1992. С.12-14.

8. Antipenko A.P., Bocek G.L., Blazhevich S.V., Kulibaba V.I., Maslov N.I., Truten' V.I., Shramenko B.I., Shul'ga N.F. The influence of crystal thickness on scattering and radiation of high-energy electrons in oriented crystals // Nucl. Instr. and Methods, 1990. В48. P.291-295.

9. Блажевич С.В., Бочек Г.Л., Кулибаба В.И., Ливедный Е.А., Маслов Н.И., Насонов Н.Н., Трутень В.И., Фомин С.П., Шраменко Б.И., Шульга Н.Ф. Ориентационная зависимость угловых распределений излучения релятивистских электронов в кристаллах. - Препринт ХФТИ 90-33. Харьков, 1990. С.29.

10. Блажевич С.В., Гришаев И.А., Петренко В.В., Фурсов Г.Л. Исследование акустического эффекта взаимодействия релятивистских электронов с тонкими мишенями // ФТТ. 1975. Т.17, вып.12. С. 3636-3638.

11. Блажевич С.В., Калиниченко А.И., Лазурик-Эльфуцин В.Т. О природе акустического импульса возбуждаемого пучком электронов в пластине // Письма в ЖТФ. 1975. Т.1. С.604-605.

12. Блажевич С.В., Мороховский В.Л. Ориентационно-ионизационный эффект взаимодействия ультрарелятивистских электронов с монокристаллом. // ЖТФ. 1980. Т.1, № 1. С.197-198.

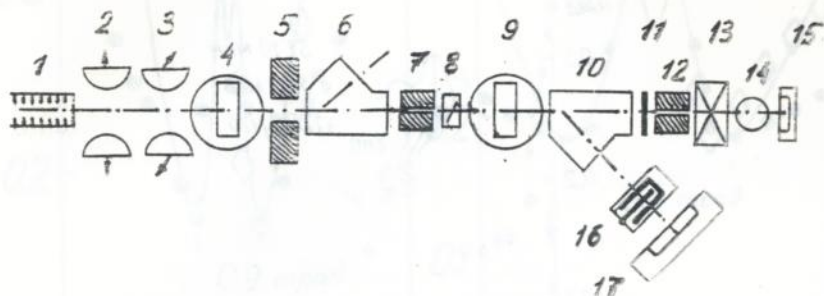


Рис.1. Структурная схема расположения основных элементов экспериментальной установки:

- 1 - ускоритель электронов; 2,3 - корректоры пучка;  
4 - гониометр; 5 - устройство для диффрагмирования пучка;  
6 - отклоняющий магнит; 7 - коллиматор; 8 - датчик положения пучка; 9 - гониометр; 10 - отклоняющий магнит;  
11 - выходная фольга вакуумного канала; 12 - фотонный коллиматор; 13 - очищающий магнит; 14 - ионизационная камера; 15 - квантометр; 16 - монитор вторичной эмиссии; 17 - цилиндр Ферредея

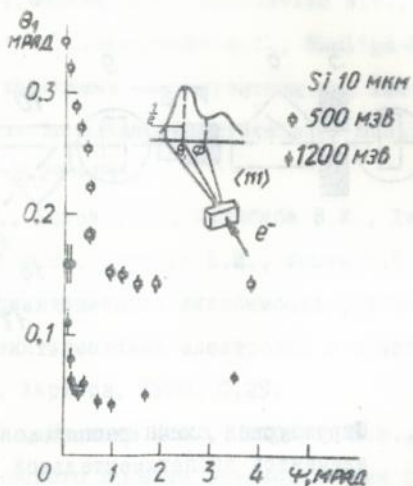


Рис.2. Зависимость ширины кольца рассеяния (параметр  $\theta_1$  на рисунке) электронов с энергией 500 МэВ и 1200 МэВ на кристалле Si толщиной 10 мкм в зависимости от угла  $\psi$  ориентации оси  $\langle 111 \rangle$  кристалла

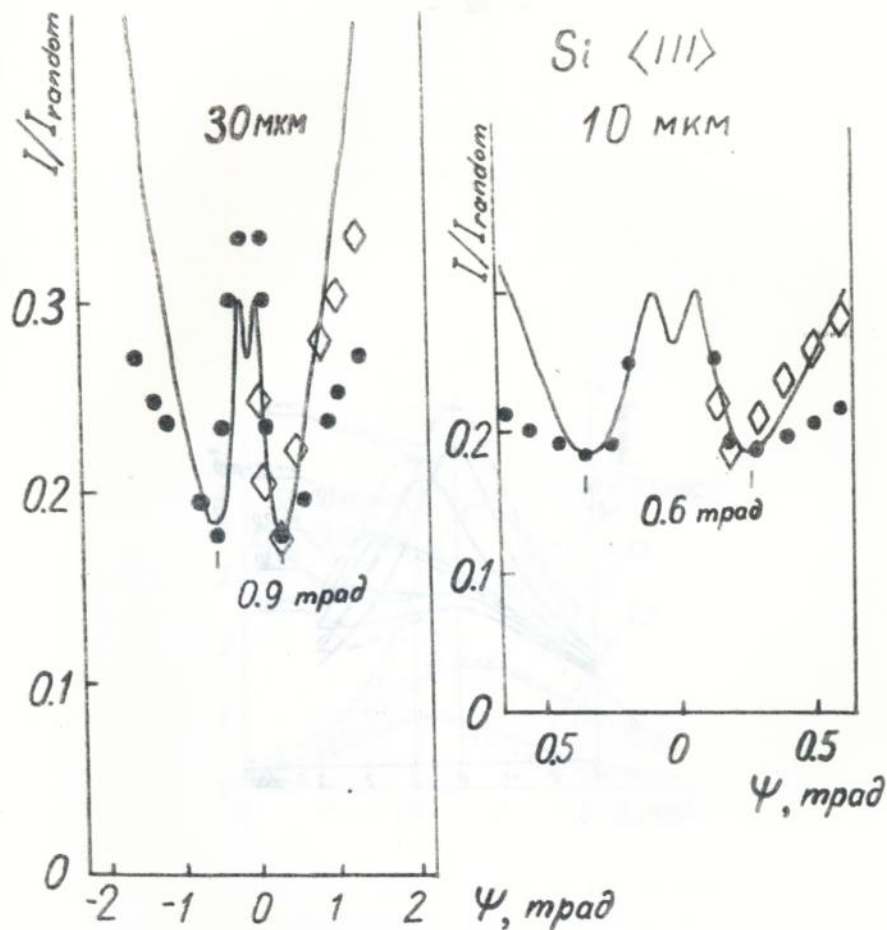


Рис.3. Ориентационная зависимость прохождения электронов 1200 МэВ через кристалл Si толщиной 10 мкм и 30 мкм в малый телесный угол вперед;

●●●● - расчёт азимутального рассеяния / /

— - эксперимент.

◇◇◇

- расчёт /79/ с учетом ориентационной зависимости рассеяния частиц на выходе из кристалла по полярным углам /98/(см.рис.2.II).

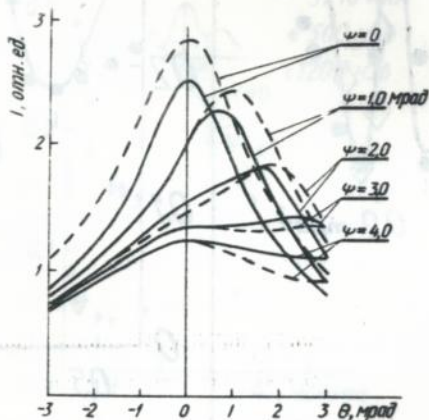


Рис.4. угловое распределение  $\gamma$ -излучение  $I(\theta)$  электронов с энергией 300 МэВ в кристалле Si толщиной 3 мм для различных углов  $\psi$  ориентации оси  $\langle III \rangle$

————— расчет по формуле (3.7)

----- эксперимент

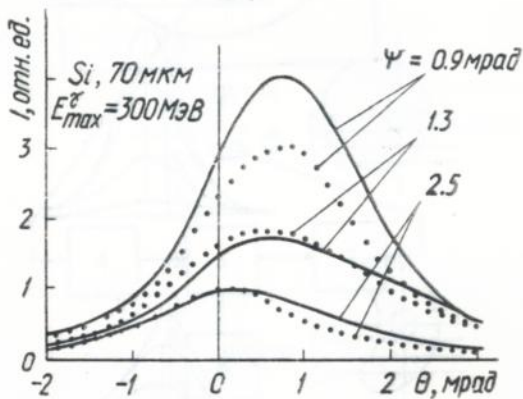


Рис. 5. Угловое распределение  $\gamma$ -излучения  $I(\theta)$  электронов с энергией 300 МэВ в кристалле Si толщиной 70 мкм для различных углов  $\psi$  ориентации кристаллографической оси  $\langle III \rangle$

————— расчет по формуле (3.5)

..... эксперимент

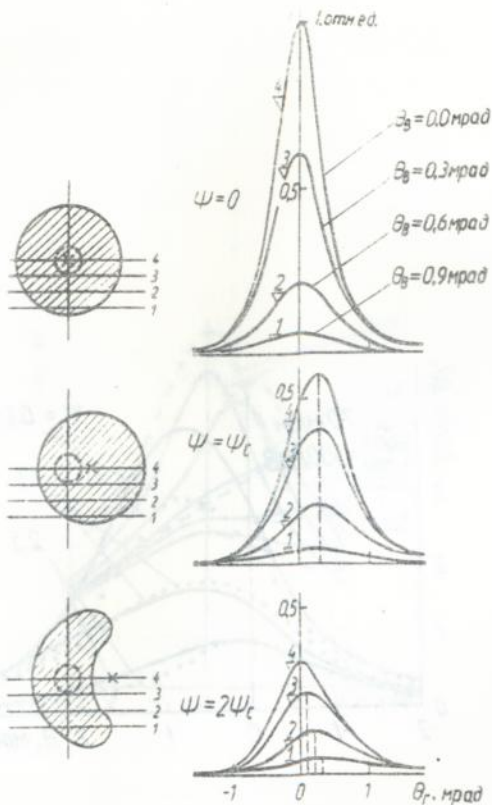


Рис.6. Двумерное угловое распределение излучения электронов с энергией 1200 МэВ в кристалле  $Si$  толщиной 70 мм. Сканирование в горизонтальной плоскости (по углу  $\theta_r$ ) при фиксированных значениях угла в вертикальной плоскости  $\theta_\theta$ .  $\psi_c$  - угол Линдхерда;  $\psi$  - угол ориентации оси  $\langle 111 \rangle$  кристалла;  $\odot$  - пучок падающих электронов;  $\otimes$  - направление оси  $\langle 111 \rangle$  кристалла

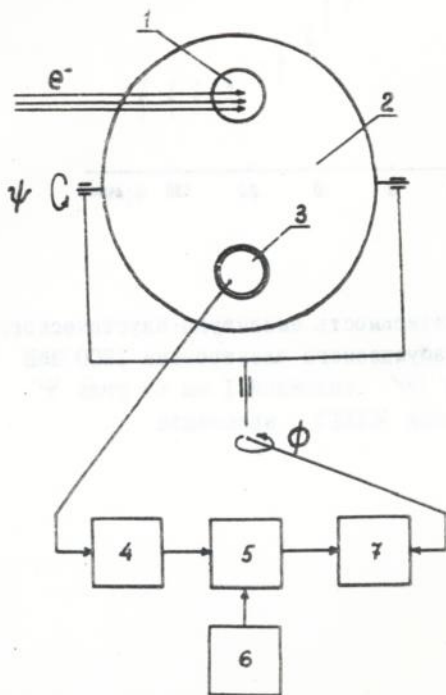


Рис.7. Блок схема эксперимента по исследованию ориентационной зависимости акустического сигнала возбуждаемого в кристалле релятивистскими электронами  
1 - кристалл ; 2 - эллиптический звуковод;  
3 - пьезокерамический датчик; 4 - усилитель - формирователь сигнала датчика; 5 - импульсный интегратор;  
6 - генератор синхроимпульса;  $\psi$  ,  $\phi$  - углы поворота мишени в гониометре

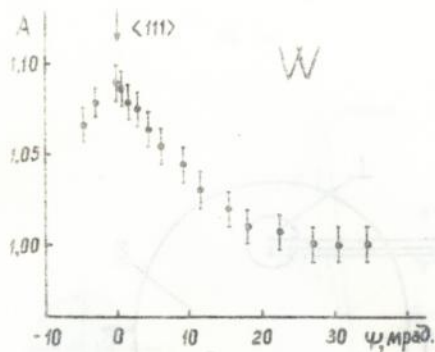


Рис.8. Зависимость амплитуды акустического сигнала, возбуждаемого электронами 1200 МэВ в кристалле  $W$  толщиной 1 мм от угла  $\psi$  ориентации оси  $\langle III \rangle$  кристалла



Av 26.928

**AV 26.928**