

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

ГЮРДЖЯН ВАРДАН АРУТЮНОВИЧ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ И
ИНТЕГРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ
С ЭНЕРГИЕЙ 4.5 ГэВ В УСЛОВИЯХ КАНАЛИРОВАНИЯ В
ТОЛСТЫХ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ

О1.04.16 - 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

Ереван-1991

Работа выполнена в Ереванском физическом институте

Научные руководители: доктор физико-математических наук,
профессор, член-корреспондент
АН РА Р. О. АВАКЯН

кандидат физико-математических
наук, старший научный сотрудник
А. Э. АВЕТИСЯН

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук
А. П. ПОТЫЛИЦЫН (НИИЯФ ТНУ)

доктор физико-математических наук
К. А. ИСПИРЯН

Ведущая организация - ИАЭ им. Курчатова

Защита состоится "___" _____ 1991 г. в
"___" часов на заседании Специализированного совета
Д 034.03.01 при Ереванском физическом институте
(375036, г. Ереван, ул. Бр. Аликханянов, 2).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
Ереванского физического института.

Автореферат разослан "___" _____ 1991 г.

Ученый секретарь Специализированного
совета, кандидат физ.-мат. наук

В. А. Шахбазян

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В последние годы все интенсивнее ведутся экспериментальные и теоретические исследования по изучению нового физического явления - электромагнитного излучения, возникающего в кристаллах при каналировании заряженных частиц, природа которого не объясняется традиционной теорией когерентного тормозного излучения, а связана с принципиально новой динамикой взаимодействия каналированных частиц с периодическим ядерным полем. Большой интерес к проблеме исследования излучения при каналировании объясняется, в первую очередь, с точки зрения практического применения этого излучения. Благодаря таким особенностям излучения при каналировании, как, например, высокая спектральная плотность, высокая направленность излучения, высокая степень поляризации и, что наиболее важно с точки зрения практического применения - в коротковолновом рентгеновском и γ -диапазонах излучения наиболее интенсивно среди всех известных типов излучения, его можно применять в разных областях науки и техники.

Излучение при каналировании возникает при достаточно малых $\theta < \theta_{кр}$ углах влета электронов и позитронов в кристаллы по отношению к кристаллографическим осям и плоскостям, где $\theta_{кр}$ - критический угол каналирования (угол Линдхарда). Величину угла Линдхарда можно получить из выражения $\theta_{кр} = \sqrt{2U_0/E_0}$, где U_0 - максимальная (по модулю) величина усредненного потенциала поля атомной плоскости или цепочки; E_0 - энергия частицы.

На основе классической электродинамики были получены основные свойства излучения при каналировании. Спектр излучения имеет пиковую структуру, и интенсивность излучения вблизи пиковой энергии может превышать интенсивность тормозного излучения в аморфной среде на два порядка. Пиковая энергия в спектре излучения в длинном приближении зависит от энергии электронов как $\gamma^{3/2}$ (γ - Лоренц-фактор частицы), мощность излучения как γ^2 , а направленность излучения - как γ^{-1} .

К настоящему времени спектральные и угловые характеристики излучения при каналировании в монокристаллических сре-

дах (в пластинках толщиной порядка нескольких длин деканалирования) исследованы достаточно подробно. Однако с точки зрения практического использования излучения при каналировании необходимо продолжить экспериментальные поиски возможностей увеличения интенсивности этого излучения. В этом плане, помимо использования кристаллов большой толщины, заслуживает интерес теоретические предсказания о значительном увеличении интенсивности излучения каналированных релятивистских частиц в пьезоэлектрических кристаллах в поле продольных и поперечных акустических стоячих волн.

Таким образом, экспериментальное исследование процессов излучения каналированных частиц в пьезоэлектрических кристаллах может способствовать расширению диапазона практических применений излучения релятивистских частиц в кристаллических средах и дальнейшему прогрессу теории этого явления.

Цель работы:

1. Поиск оптимальных экспериментальных условий для электронного пучка (энергия электронов и их расходимость), радиатора (структура, ориентация кристалла), обеспечивающих максимальную спектрально-угловую яркость излучения.
2. Экспериментальное исследование спектральных и интегральных характеристик излучения электронов с энергией 4.5 ГэВ в режимах осевого и плоскостного каналирования в пьезоэлектрических кристаллах кварца, ниобата лития и сульфида кадмия различных толщин.
3. Сравнение излучательных способностей электронов с энергией 4.5 ГэВ в толстом монокристалле алмаза в пьезоэлектрических кристаллах кварца, ниобата лития, сульфида кадмия в режимах осевого и плоскостного каналирования.
4. Создание автоматизированной экспериментальной установки для изучения спектральных и спектрально-угловых характеристик γ -излучения, а также многократного рассеяния электронов в кристаллических средах в условиях осевого и плоскостного каналирования.

Научная новизна работы. Впервые измерены абсолютные спектральные характеристики излучения электронов с энергией 4.5 ГэВ в пьезоэлектрических кристаллах кварца толщинами 1.0,

2.86, 3.5 и 6.0 мм, ниобата лития толщинами 2.0 и 3.0 мм, сульфида кадмия толщиной 3.5 мм в режимах осевого и плоскостного каналирования.

Впервые дана оценка характеристик излучения от пьезоэлектрических мишеней по сравнению с результатами исследований спектральных и интегральных характеристик излучения электронов с энергией 4.5 ГэВ в монокристаллах алмаза толщинами 1.0 и 10.0 мм в режимах осевого и плоскостного каналирования.

Научная и практическая ценность работы. Полученные экспериментальные данные и их сравнение с теоретическими предсказаниями способствуют развитию теории излучения и динамики прохождения электронов высоких энергий в толстых кристаллических средах. Проведенные эксперименты указывают на возможность получения интенсивных пучков фотонов в процессе каналирования, так как наблюдается линейный рост полной энергии излучения от толщины радиатора.

Из сравнительной оценки результатов экспериментальных исследований процессов каналирования в пьезоэлектрических и алмазных кристаллах следует, что с практической точки зрения для преобразования энергии заряженных частиц в энергию излучения γ -квантов дорогостоящие алмазные кристаллы могут быть успешно заменены дешевыми пьезоэлектрическими кристаллами. Созданная экспериментальная установка с высоким пространственным, угловым и энергетическим разрешениями, а также диалоговая система для автоматизации экспериментальной установки на базе мини-ЭВМ СМ-1407 могут быть использованы для целого ряда экспериментов по взаимодействию электронов высоких энергий с кристаллическими средами.

На защиту выносятся:

1. Проектирование и создание экспериментальной установки на тракте выведенного электронного пучка Ереванского синхротрона для исследования процессов взаимодействия электронов высоких энергий с кристаллическими мишенями.
2. Проектирование и создание автоматизированной диалоговой системы управления параметрами экспериментальной установки, а также регистрации, накопления, обработки и визуализации экспериментальных данных на базе мини-ЭВМ СМ-1407.

3. Экспериментальные результаты исследования спектральных и интегральных характеристик излучения электронов с энергией 4.5 ГэВ в монокристаллах алмаза с толщинами 1.0 и 10 мкм и в пьезоэлектрических кристаллах кварца, ниобата лития, сульфида кадмия различных толщин.

Апробация работы. Основные результаты, включенные в диссертационную работу, доложены на III Всесоюзной конференции по изучению релятивистских частиц в кристаллах (Нальчик, 25-30 мая 1988 г.); XVIII Всесоюзном совещании по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами (Москва, 30 мая-1 июня 1988 г.); XIII Международной конференции по атомным столкновениям в твердых телах (Дания, Овхус, 7-11 августа 1989 г.), Международном рабочем совещании по электромагнитным взаимодействиям адронов и ядер при промежуточных энергиях (Нор-Амберд, 10-14 октября 1990 г.) и на семинарах ЕРФИ.

Публикации. Основной материал диссертационной работы опубликован в семи статьях в журналах "Nuclear Instruments and Methods", "Письма в ЖЭТФ", "Письма в ЖТФ" и в виде препринтов ЕРФИ.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав и заключения. Она изложена на 97 страницах машинописного текста, содержит 4 таблицы и 29 рисунков. Список цитируемой литературы содержит 78 наименований.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приводится краткий обзор литературы, посвященной проблеме излучения электронов и позитронов высоких энергий в кристаллических средах, рассматривается сложившаяся к началу работы экспериментальная ситуация, формулируется цель работы и приводится краткое содержание каждой из глав диссертационной работы.

В первой главе описаны введенный электронный тракт Ереванского синхротрона и экспериментальная установка для исследования процессов излучения и рассеяния электронов в кристаллических средах.

Эксперименты проводились на пучке введенных электронов

с временной растяжкой электронного вывода, равной 0.5-1.0 нс, и частотой следования, равной 25 Гц. Интенсивность пучка при рабочих зазорах коллиматоров изменяется в пределах $10^2 + 10^6$ эл/с. При этом угловая расходимость пучка составляет 10^{-4} рад.

Далее описана экспериментальная методика. Приводится описание основных частей экспериментальной установки, с помощью которых измерены характеристики излучения электронов в монокристалле алмаза и пьезоэлектрических кристаллах SiO_2 , LiNbO_3 , CdS различных толщин в режимах осевого и плоскостного каналирования. Приведены характеристики спектрометра полного поглощения (СПП) на основе кристалла $\text{Na}_3(\text{Te})$. Описано гониометрическое устройство, позволяющее вращать мишень в двух взаимно-перпендикулярных направлениях, устанавливая угол мишени с точностью $\pm 10^{-5}$ рад. Для измерения угловых характеристик излучения электронов использовался комплекс многопроволочных пропорциональных камер (МПК) и газовых пропорциональных счетчиков, позволивших резко уменьшить количество вещества на пути частиц и, таким образом, улучшить угловое и энергетическое разрешения установки.

Далее приводится описание электроники отбора событий.

Во второй главе описываются отдельные узлы систем для автоматизации экспериментальной установки.

Для автоматизации физического эксперимента по исследованию характеристик излучения электронов при прохождении через кристаллические среды в режиме каналирования была создана автоматизированная диалоговая система контроля и управления параметрами экспериментальной установки, регистрации, накопления и обработки экспериментальных данных на базе мини-ЭВМ СМ-1407. Это двухуровневая, многопроцессорная система радиальной структуры. Структурная схема системы представлена на рис. 1.

Часть системы - кластер на базе микро-ЭВМ "Электроника-60-1" берет на себя функцию регистрации и съема информации с МПК экспериментальной установки. На кластер, разработанный на базе микро-ЭВМ "Электроника-60-2", возложены функции контроля и управления электропитаниями магнитных элементов и высоко-

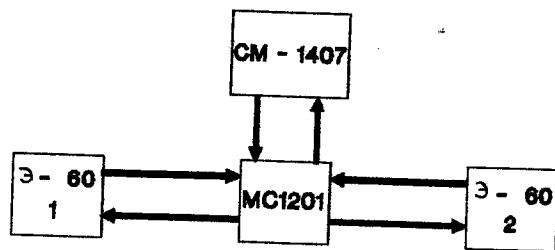


Рис. 1. Структурная схема системы автоматизации экспериментальной установки.

вольного питания ФЭУ. На ЭВМ "Электроника МС-1201" возложен ряд функций:

1. Наладка электроники экспериментальной установки.
2. Ориентировка кристалла.
3. Амплитудный анализ СШ на основе кристалла $\text{Na}_2\text{S}(\text{Te})$.
4. Предварительная обработка и фильтрация информации.
5. Визуализация результатов предварительной обработки поступивших экспериментальных данных.
6. Передача физической информации на верхний уровень - мини-ЭВМ СМ-1407.

Центральная ЭВМ СМ-1407 производит полную физическую обработку - восстановление истинного спектра $E_{\gamma} dN/dE_{\gamma}$ и организует базу данных на дисковых носителях емкостью 2×29 Мбайт.

Таким образом, триггерный сигнал с интенсивностью 25 сек^{-1} запускает модуль опроса значащей информации с МПК, который передает в ОЗУ ЭВМ "Электроника-60-1" номера сработавших проводочек МПК. Затем информация передается в ЭВМ "Электроника МС-1201", где объединяется с информацией об амплитудном анализе СШ. Объем информации об одном событии составлял в среднем 200 байт. "Электроника МС-1201" проводит предварительную обработку полученной информации с выводом результатов этой обработки на графический дисплей. Далее информация передается на ЭВМ верхнего уровня. Результаты окончательной физической обработки визуализируются на удаленном терминале ЭВМ СМ-1407, расположенном в пультовом помещении.

Скорость сквозного обмена данными всей системы составляет около 40 Кбайт/с.

Для управления работой системы создан пакет прикладных программ, позволяющих контролировать и управлять обработкой данных в реальном масштабе времени и получать результаты обработки практически параллельно с процессами регистрации и накопления экспериментальных данных. Программы работают в интерактивном режиме. В ходе эксперимента они позволяют экспериментатору контролировать профиль пучка перед мишенью и его местоположение, измерять расходимость пучка, наблюдать в динамическом режиме результаты предварительной обработки данных, получаемых от СШ или любой интересующей пропорциональной камеры, менять по ходу масштаб и шаг рассматриваемых спектров. Центральная ЭВМ по запросу экспериментатора выводит на терминал результаты окончательной физической обработки данных.

Пакет прикладных программ работает под управлением ТС-монитора ОС РАФОС. Общий объем прикладного программного обеспечения составляет около 300 Кбайт.

В третьей главе приведены результаты экспериментальных исследований излучения электронов с энергией 4.5 ГэВ в монокристаллах алмаза и в пьезоэлектрических кристаллах кварца, ниобата лития, сульфида кадмия разных толщин в условиях осевого и плоскостного каналирования. Дано описание процедуры измерений и методики обработки физических результатов. Обработка результатов проводилась на ЭВМ СМ-1407.

Приведены абсолютные спектры интенсивности излучения электронов в кристалле кварца низкотемпературной модификации четырех толщин (SiO_2 , $t = 1.0, 2.9, 3.5, 6.0$ мм), в кристалле ниобата лития двух толщин (LiNbO_3 , $t = 2.0$ и 3.0 мм), в кристалле сульфида кадмия гексагональной модификации (CdS , $t = 3.5$ мм) и в монокристалле алмаза (C , $t = 1.0, 10.0$ мм).

Результаты измерений приведены на рис. 2-7.

Значения интенсивности $E_{\gamma} dN/dE_{\gamma}$ приведены на один электрон и на один миллиметр толщины. На рис. 2 и 5 приведены также зависимости отношений полных потерь энергии электронов к начальной энергии (в процентах) от толщины кристаллического радиатора. Пунктиром на рисунках обозначены спектры

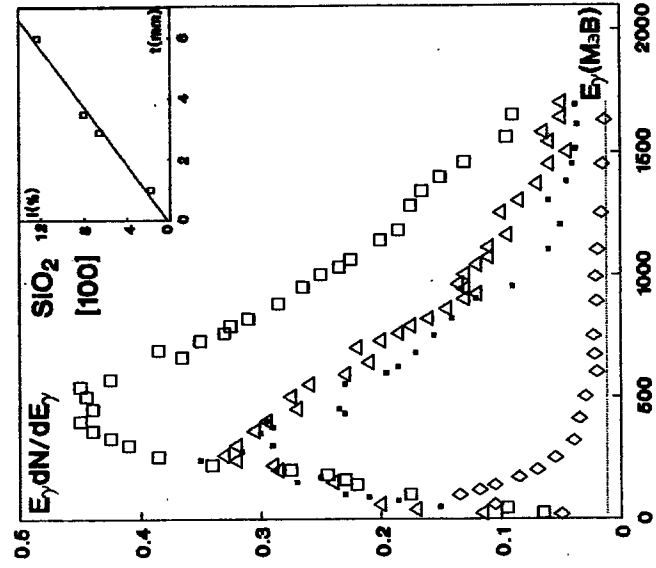


Рис. 2. Спектр излучения электронов в условиях осевого каналирования в кристаллах кварца с толщинами:
 ♦ — $t = 1.0$ мм; ■ — $t = 2.9$ мм;
 ▲ — $t = 3.5$ мм; □ — $t = 6.0$ мм.

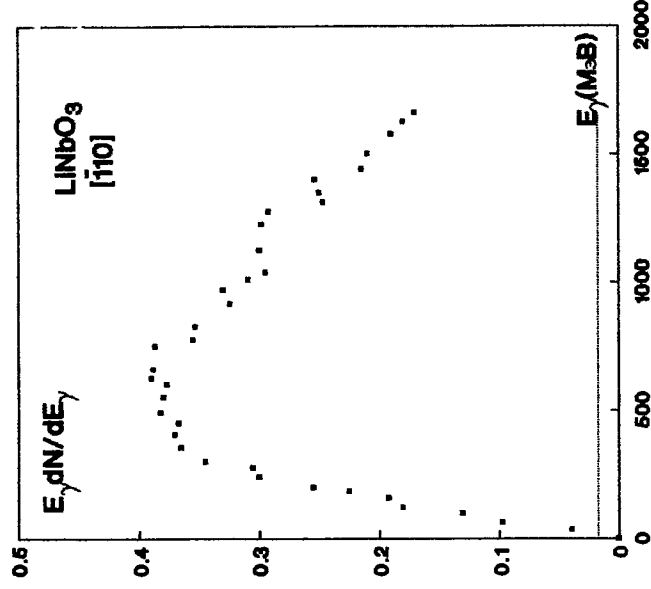


Рис. 3. Спектр излучения электронов в условиях осевого каналирования в кристалле ниобата лития с $t = 2$ мм.

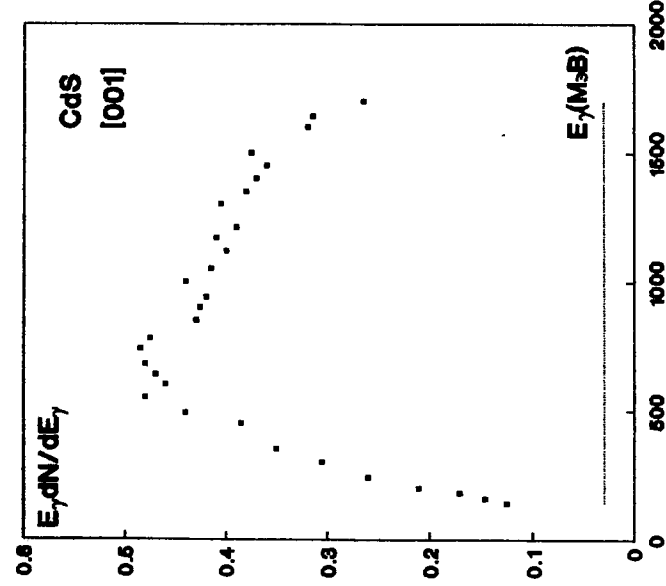


Рис. 4. Спектр излучения электронов в условиях осевого каналирования в кристалле сульфида кадмия с $t = 3.5$ мм.

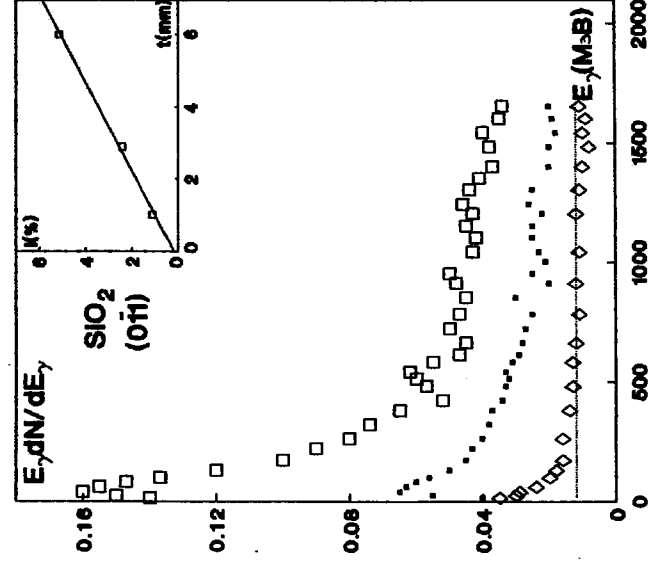


Рис. 5. Спектры излучения электронов в условиях плоскостного каналирования в кристаллах кварца с толщинами:
 ♦ — $t = 1.0$ мм; ■ — $t = 2.9$ мм; □ — $t = 6.0$ мм.

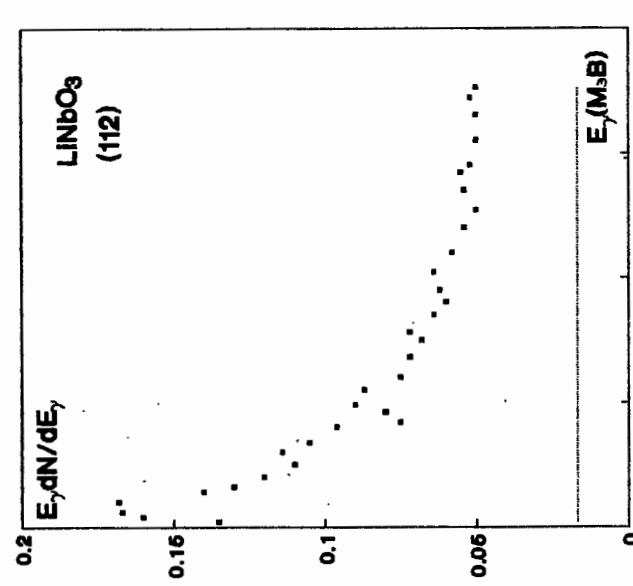


Рис. 6. Спектр излучения электронов в условиях плоскостного каналирования в кристалле ниобата лития с $t = 2.0$ мм.

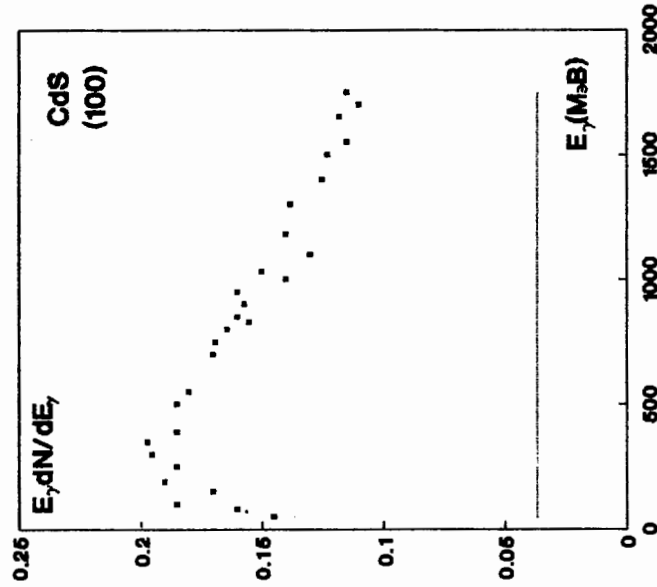


Рис. 7. Спектр излучения электронов в условиях плоскостного каналирования в кристалле сульфида кадмия с $t = 3.5$ мм.

излучения от дезориентированного кристалла (на рис. 2 и 5 они приведены для кристалла с $t = 1.0$ мм). Из представленных результатов следует, что все измеренные спектры имеют пиковую структуру. Для случая плоскостного каналирования в SiO_2 толщиной 1.0 мм (рис. 5) пиковая энергия γ фотонов находится ниже порога регистрации спектрометра). В условиях осевого каналирования максимумы спектров смещены в область более жесткого γ -излучения по сравнению с соответствующими спектрами для плоскостного каналирования. Наблюдается тенденция увеличения пиковой энергии излученных фотонов с ростом толщины кристалла. Уширение спектров и смещение их максимумов в область более жесткого излучения с увеличением толщины радиатора можно объяснить следующим образом:

а). В толстых кристаллах возможно излучение одним электроном нескольких фотонов, которые воспринимаются гамма-спектрометром как один γ -квант суммарной энергии. В связи с этим в нашем случае экспериментально измеренная спектральная плотность излучения в исследуемых образцах является проинтегрированной по нескольким γ -квантам.

б). Вследствие многократного рассеяния каналированный электрон может покинуть канал и перейти в надбарьерное состояние. Надо отметить, что возможен и обратный процесс. Поэтому прохождение электронов через толстый кристалл характеризуется поочередным пребыванием их в каналированном и надбарьерном состоянии. Таким образом, уширение распределений связано с увеличением вклада в экспериментально измеренную спектральную плотность излучения высокоэнергетического когерентного тормозного излучения надбарьерных электронов с одновременным уменьшением вклада от каналированных частиц.

В табл. I приводятся некоторые оценочные характеристики спектральных распределений для пьезоэлектрических кристаллов. Из таблицы видно, что полные потери энергии на излучение растут с увеличением толщины кристалла и среднего порядкового номера атомов; при этом использованы следующие обозначения:

$$I^{\text{пол.}} = \Delta E / E_0 \quad - \text{полные потери энергии электронов на излучение относительно энергии электронов;}$$

Таблица I

	t (мм)	о с б					плоскость				
		$I_{\text{пик}}$ (%)	E_{γ} (МэВ)	ΔE_{γ} (МэВ)	$\frac{I_{\text{пик}}}{I_{\text{пол.}}}$	N_{γ}	$I_{\text{пик}}$ (%)	E_{γ} (МэВ)	ΔE_{γ} (МэВ)	$\frac{I_{\text{пик}}}{I_{\text{пол.}}}$	N_{γ}
SiO ₂	1.0	1.83	60	170	20	0.42	1.11	25	180	5	0.16
	2.9	6.62	240	600	18	0.86	2.41	60	440	4	0.43
	3.5	8.04	240	710	14	0.84	-	-	-	-	-
	6.0	12.30	600	850	11	0.89	5.14	60	280	4	0.61
LiNbO ₃	2.0	14.60	700	1470	14	0.88	6.50	90	550	5.6	0.60
	3.0	16.90	710	1500	10	0.83	-	-	-	-	-
CdS	3.5	20.30	700	1550	5.8	0.95	12.90	360	1900	2.2	0.74

$$\frac{E_{\text{пик}}}{\Delta E_{\gamma}}$$

$$\frac{I_{\text{пик}}}{I_{\text{пол.}}}$$

- пиковое значение энергии излученных фотонов;
- ширина на полувысоте спектральной кривой;
- отношение интенсивности излучения фотонов пиковой энергии к интенсивности излучения от дезориентированного кристалла;

$$N_{\gamma} = N_{e\gamma} / N_e$$

- отношение числа излучивших электронов к числу первичных электронов.

В определении N_{γ} учтены поправки на поглощение γ -квантов в веществе мишени и на зависимость эффективности установки от энергии фотонов.

Существенное влияние толщины кристалла на величину полной потерь энергии электронов на излучение и одновременно на отношение пиковой интенсивности излучения к излучению от дезориентированного кристалла свидетельствует о том, что для каждого кристалла существует оптимальная толщина радиатора, которая наиболее эффективно может быть использована для генерации γ -пучков каналированными электронами.

Важной характеристикой фотонного пучка является величина яркости излучения ($\Delta E / \Delta \Omega$ - полная излученная энергия

в единичный телесный угол). На алмазной мишени толщиной 10 м ориентации <III> в осевом случае измеренная яркость составляла:

$$\Delta E / \Delta \Omega = (0.53 \pm 0.04) \cdot 10^9 \text{ МэВ/ср.}$$

В дезориентированном кристалле, как и в аморфном веществе, взаимодействие частицы с атомами вещества носит хаотичный характер, и угловая расходимость тормозного излучения определяется в основном многократным рассеянием. При каналировании траектория электронов определяет усредненный потенциал цепочки атомов. Угловая расходимость излучения каналированных электронов определяется в основном величиной критического угла влета в кристалл. Однако в толстых кристаллах, вследствие многократного рассеяния, каналированный электрон может покинуть канал и перейти в надбарьерное состояние. В то же время в толстых кристаллических радиаторах возможен и обратный процесс - захват электрона в канал из надбарьерного состояния вследствие уменьшения угла вектора скорости относительно кристаллографической оси до значений $\chi_{\text{кр}}$ из-за многократного рассеяния. Поэтому в толстых кристаллах среднеквадратичный угол многократного рассеяния электронов слабо зависит от ориентации кристаллических радиаторов. Таким образом, для толстых кристаллов можно считать, что угол расходимости излучения при каналированном движении электронов приблизительно равен углу многократного рассеяния электронов. Имея в виду это обстоятельство, можно грубо оценить яркость излучения для пьезоэлектрических кристаллов и сравнить с экспериментально полученной для алмазной мишени толщиной 10.0 мм.

В табл. 2 приводятся яркости излучения для разных толщин пьезоэлектрических кристаллов и монокристаллов алмаза толщинами 1.0 и 10.0 мм.

Приведенные экспериментальные данные подтверждают существование эффекта излучения релятивистских электронов при каналировании в пьезоэлектрических кристаллах SiO₂, LiNbO₃, CdS, по своим характеристикам не намного уступающих алмазным радиаторам. Этот экспериментальный факт дает основание проводить дальнейшие экспериментальные исследования для более

Таблица 2

	t (мм)	ΔE_f (МэВ) (ось. экс.)	ΔQ (рад.) (теор.)	$\Delta E/\Delta Q$ (МэВ/срад.)
SiO ₂	1.0	82.35	$3.24 \cdot 10^{-4}$	$(0.25 \pm 0.05) \cdot 10^9$
SiO ₂	2.86	297.9	$5.66 \cdot 10^{-4}$	$0.29 \cdot 10^9$
SiO ₂	3.5	361.8	$6.28 \cdot 10^{-4}$	$0.292 \cdot 10^9$
SiO ₂	6.0	553.5	$8.35 \cdot 10^{-4}$	$0.25 \cdot 10^9$
LiNbO ₃	2.0	657	$7.27 \cdot 10^{-4}$	$0.39 \cdot 10^9$
LiNbO ₃	3.0	760.5	$8.97 \cdot 10^{-4}$	$0.3 \cdot 10^9$
CdS	3.5	913.5	$1.46 \cdot 10^{-3}$	$0.14 \cdot 10^9$
C	1.0	200	$3.23 \cdot 10^{-4}$	— $0.61 \cdot 10^9$
C	10.0	1710	$1.14 \cdot 10^{-3}$	$(0.53 \pm 0.04) \cdot 10^9$ $0.42 \cdot 10^9$

детального исследования процессов каналирования в разных пьезоэлектрических кристаллах с целью поиска новых эффективных пьезоэлектрических кристаллов с точки зрения спектрально-угловой плотности излучения, радиационной стойкости кристаллов и т.д., а также для выявления оптимальной толщины кристаллов, при которых выход излученных фотонов максимален. Вместе с этим представляет большой интерес проведение экспериментальных работ по изучению излучения электронов в режиме каналирования в пьезоэлектрических кристаллах в поле продольных и поперечных акустических стоячих волн для экспериментальной проверки идеи усиления интенсивности излучения при каналировании в присутствии внешних полей.

В заключении излагаются основные результаты диссертационной работы:

1. Создана и налажена экспериментальная установка для исследования спектральных, спектрально-угловых и интегральных характеристик излучения электронов, а также для исследо-

вания процессов рассеяния в монокристаллах.

2. Создана автоматизированная диалоговая система регистрации, накопления, обработки и визуализации экспериментальных данных на базе мини-ЭВМ СМ-1407.

Создан пакет прикладного математического обеспечения для наладки экспериментальной установки, математического поддержания работы систем контроля и управления электропитаниями магнитных элементов и стабилизации параметров спектрального тракта, а также для управления обработкой данных в реальном масштабе времени и получения результатов обработки практически параллельно с процессом регистрации и накопления экспериментальных данных.

3. Впервые измерены абсолютные спектральные характеристики излучения электронов с энергией 4.5 ГэВ в пьезоэлектрических кристаллах кварца, ниобата лития и сульфида кадмия различных толщин в условиях осевого и плоскостного каналирования.

4. Измерены спектрально-угловые и интегральные характеристики излучения электронов с энергией 4.5 ГэВ в монокристаллах алмаза в режиме осевого и плоскостного каналирования.

5. Впервые дана сравнительная оценка исследований интегральных характеристик и яркости излучения электронов с энергией 4.5 ГэВ в монокристаллах алмаза, кварца, ниобата лития и сульфида кадмия в режимах осевого и плоскостного каналирования и показано, что для преобразования энергии заряженных частиц в энергию излучения γ -квантов дорогостоящие алмазные кристаллы могут быть успешно заменены дешевыми пьезоэлектрическими кристаллами.

Основные результаты, включенные в диссертацию, опубликованы в следующих работах:

1. Авакян Р.О., Авакян Э.О., Аветисян А.Э. и др. Экспериментальная установка для исследования процессов излучения и рассеяния электронов высоких энергий в условиях каналирования в монокристаллах. — Ереван, 1987. — 13 с. Препринт ЕФИ-1018(68)-87.

2. Авакян Р.О., Авакян Э.О., Авдалян Г.А. и др. Угловая зависимость многократного рассеяния электронов в монокристаллах алмаза. - Ереван, 1987. - 12 с. Препринт ЕФИ-1019(69)-87.
3. Авакян Р.О., Авакян Э.О., Авдалян Г.А. и др. Спектральные и угловые характеристики излучения электронов в толстом монокристалле алмаза. - Ереван, 1987. - 13 с. Препринт ЕФИ-1023(73)-87.
4. Авакян Р.О., Аветисян А.Э., Гурджян В.А. и др. Излучение ультрарелятивистских электронов в монокристалле кварца. // Письма в ЖЭТФ. - 1988. - Т.48. - Вып. II. - С. 577-580.
5. Авакян Р.О., Аветисян А.Э., Багдасарян Г.А. и др. Автоматизированная диалоговая система регистрации, накопления, обработки и визуализации экспериментальных данных на базе мини-ЭВМ СМ-1407. - Ереван, 1989. - 10 с. Препринт ЕФИ-1180(57)-89.
6. Мкртчян А.Р., Гаспарян Р.А., Габриелян Р.Т. и др. Излучение электронов энергии 4.5 ГэВ в пьезоэлектрическом кристалле LiNbO_3 // Письма в ЖЭТФ. - 1990. - Т. 16. - Вып. 9. - С. 4-7.
7. Avakyan R.H., Avetissyan A.E., Aharonyan A.V. et al. Radiation from 4.5 GeV electrons in piezoelectric crystals// Nucl. Inst. and Meth. B48 (1990), p. 266-268.

Технический редактор А.С.Абрамян

Подписано в печать 15.05.91 г.

Формат 60x84/16

Офсетная печать.

Тираж 170 экз.

Зак.тип.№ 088

Отпечатано в Ереванском физическом институте
Ереван 36, ул.Братьев Алиханян, 2