

ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱՅԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ

Ափյան Արմեն Բախշիի

ԲԱՐՁՐ ԷՆԵՐԳԻԱՅԻ ՖՈՏՈՆՆԵՐԻ ԻՆՏԵՆՍԻՎ ԲԵՎԵՈՒՑՎԱԾ ՓՆՁԵՐԻ
ՍՏԵՂՈՈՒՄԸ ԵՎ ԲԵՎԵՈՒՑՄԱՆ ՉԱՓՄԱՆ ՍԵՓՈՂՆԵՐԸ

Ա.04.16-« միջուկի, տարրական մասնիկների և տիեզերական ճառագայթների
ֆիզիկա » մասնագիտությամբ ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների
թեկնածուի զիտական ատտիճանի հայցման ատենախոսության

ՍԵՂՄԱԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ-2001

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Апян Армен Бахшиевич

СОЗДАНИЕ ИНТЕНСИВНЫХ ПОЛЯРИЗОВАННЫХ ПУЧКОВ
ФОТОНОВ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ
ПОЛЯРИЗАЦИИ

АВТОРЕФЕРАТ


диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.16. — «Физика ядра, элементарных частиц и космических
лучей»

ЕРЕВАН-2001

Ատենախոսության բեման հաստատվել է երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտում

- Գիտական ղեկավար՝ Ֆիզմաթ. գիտությունների դոկտոր, ՀՀ ԳԱԱ ակադեմիկոս, պրոֆեսոր Ռ.Յ. Ավագյան
- Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝ Ֆիզմաթ. գիտությունների դոկտոր, պրոֆեսոր Ա.Պ. Պոտիլիցին (ԱՖԻ, Տոմսկի պոլիտեխնիկ. համալսարան, ք. Տոմսկ, ՌՖ) և Ֆիզմաթ. գիտությունների դոկտոր Ա.Յ. Ազանյանց (ԵրՖԻ)
- Առնչատար կազմակերպություն՝ ՀՀ ԳԱԱ Ֆիզիկական հետազոտությունների ինստիտուտ (ք. Աշտարակ, ՀՀ)

Պաշտպանությունը կայանալու է "9" հոկտեմբերի 2001թ. ժամը 14.00 -ին երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտի 024 մասնագիտական խորհրդում (Երևան-36, Ալիխանյան եղբայրներ փ. 2):

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ԵրՖԻ-ի գրադարանում:
 Սեղմագիրը առաքված է "7" սեպտեմբերի 2001թ.
 Մասնագիտական խորհրդի գիտական քարտուղար  Ա. Թ. Սարգսյան

Тема диссертации утверждена в Ереванском физическом институте

- Научный руководитель: доктор физико-математических наук, академик НАН РА, профессор Авакян Р.О.
- Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук, профессор Потылицын А.П. (ИЯФ, Томский Политехнический Университет, г. Томск, РФ) и доктор физико-математических наук Аганянц А.О. (ЕрФИ)
- Ведущая организация: Институт Физических Исследований НАН РА (г. Аштарак, РА)

Защита состоится "9" октября 2001 г. в 14.00 часов на заседании специализированного совета 024 Ереванского физического института (Ереван-36, ул. Братьев Алиханян 2)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЕрФИ.

Автореферат разослан "7" сентября 2001г.

Ученый секретарь спец. совета  А.Т. Маргарян

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. За последние десятилетия электромагнитные взаимодействия заряженных частиц и фотонов высоких энергий в кристаллических средах интенсивно изучались как теоретически, так и экспериментально. Этот интерес обусловлен тем, что на электронных пучках крупнейших ускорительных центров (CERN, SLAC) с помощью кристаллов получены поляризованные пучки фотонов с энергиями в десятки и сотни ГэВ, с помощью которых запланированы и ведутся эксперименты как для исследования характера электромагнитных процессов в кристаллических средах при высоких энергиях, так и для проверки фундаментальных проблем теории элементарных частиц, таких как фоторождение чармованных частиц и спиновая структура нуклона.

Когерентное тормозное излучение (КТИ) в кристаллах является удобным инструментом для получения линейно поляризованных фотонных пучков высоких энергий. Оно позволяет получить линейно поляризованные фотонные пучки с высокой степенью поляризации (порядка 40-80%) и монохроматичности. Изменяя начальные углы влета электронов в кристалл можно варьировать энергию фотонов и величину максимумов в спектре КТИ, тем самым изменять выход фотонов различных энергий и поляризацию.

В связи с актуальностью проблемы спиновой структуры нуклона (так называемый "спиновый кризис") возрос интерес к получению циркулярно поляризованных фотонных пучков. В предстоящих экспериментах в SLAC-е (США) циркулярно поляризованные фотонные пучки будут получаться с помощью КТИ в кристалле алмаза продольно поляризованными

электронами. Из-за сохранения спиральности степень циркулярной поляризации высокоэнергетичной части фотонного спектра близка к степени продольной поляризации начальных электронов.

При сверхвысоких энергиях доступны не поляризованные электронные пучки на протонных ускорителях, то перспективен метод предложенный Кабиббо по получению циркулярно поляризованных фотонов. Метод основан на возможности превращения линейной поляризации фотонов в циркулярную, с помощью монокристаллов соответствующей толщины, аналогично оптическим пластинкам в "четверть длины волны".

В экспериментах с поляризованными фотонами необходимо измерить степень поляризации пучка с требуемой точностью за возможно короткое время. При высоких энергиях метод основанный на измерении асимметрии интегрального выхода пар в кристалле представляется наиболее удобным, поскольку этот метод не требует измерения углов испускания частиц пар и обеспечивает точность измерения за разумное время.

Как показывают экспериментальные исследования (NA43; CERN) расчеты по теории КТИ и когерентного образования e^+e^- пар (КОП) при энергиях электронов и фотонов порядка десятки и сотни ГэВ расходятся с данными эксперимента. Экспериментальные исследования коллаборации NA43 обнаружили при таких больших энергиях новые эффекты взаимодействия заряженных частиц и фотонов высоких энергий с сильными полями кристаллических осей и плоскостей, описываемые квазиклассической теорией излучения и образования пар.

Целью диссертационной работы является:

- Монте Карло моделирование процессов прохождения электронов и фотонов через кристаллы, с учетом реальных параметров кристалла и электронного или фотонного пучка.
- Теоретическое исследование возможности создания линейно и циркулярно поляризованных фотонных пучков высоких энергий ~ 100 ГэВ с помощью монокристаллов.
- Усовершенствование метода измерения степени линейной поляризации фотонов высоких энергий, основанного на измерении асимметрии выхода полного числа пар в кристаллах.
- Экспериментальное исследование спектрального распределения и полного числа выхода e^+e^- -пар фотонами высоких энергий в монокристаллах.
- Экспериментальное исследование развития электромагнитного ливня в монокристалле.

Научная новизна.

- Впервые выполнены экспериментальные исследования образования e^+e^- пар при прохождении пучка фотонов с энергией 20-150 ГэВ через монокристалл в направлении сильных полей кристаллографических осей и плоскостей.
- Экспериментально обнаружено усиление выхода полного числа пар по отношению к выходу от аморфной среды. Наблюдена зависимость усиления выхода от энергии фотона при малых углах влета относительно кристаллографических осей и плоскостей.

- Проведены экспериментальные исследования развития электромагнитного ливня, инициированного пучками фотонов с энергиями 20-180 ГэВ, в толстом ориентированном и в неориентированном кристалле Ge.
- Развита метод измерения линейной поляризации фотонных пучков высоких энергий с помощью кристаллов. Показано, что при оптимальном подборе области энергий частиц пары увеличивается асимметрия рождения e^+e^- пар в кристалле, что существенно уменьшает время измерения степени поляризации.
- Исследована возможность получения циркулярно поляризованных фотонных пучков с помощью излучения каналированными продольно поляризованными электронами в кристаллах. Показано, что по сравнению со случаем аморфной мишени можно увеличить интенсивность фотонного пучка в средней области спектра, незначительно изменяя степень циркулярной поляризации.

Практическая ценность работы.

Получены экспериментальные данные по образованию e^+e^- пар фотонами высоких энергий в сильных полях кристаллографических осей и плоскостей. Проведены сравнения предварительных теоретических предсказаний для полного и дифференциального сечений образования e^+e^- пар в разных кристаллических средах и ориентациях кристаллов.

Экспериментальные результаты по развитию электромагнитного ливня в кристалле, инициированного фотонами, могут быть использованы при рассмотрении вопросов

применения кристаллов как детектора фотонов высоких энергий, способного определить местонахождение источника фотонов высоких энергий.

Созданы Монте-Карло (МК) программы моделирования прохождения электронных и фотонных пучков через кристаллические и аморфные среды. Программы оптимизированы и позволяют за разумно короткое время вычислять энергетические и угловые параметры пучков после их прохождения через пластинки конечной толщины. Результаты расчетов, полученные с помощью этих программ, использовались при планировании экспериментов с поляризованными пучками электронов и фотонов (CERN, SLAC).

Расчеты по превращению линейной поляризации фотонов в циркулярную методом Кабиббо дали рекомендации для выбора типа, ориентации и оптимальной толщины кристалла в четверть длины волны для планируемых экспериментов (CERN).

Расчеты по получению циркулярно поляризованных пучков фотонов, при прохождении продольно поляризованных электронов через кристалл в режиме каналирования показали, что в средней части спектра фотонов можно получить циркулярно поляризованный пучок фотонов с интенсивностью в несколько раз превышающей интенсивность в случае аморфной мишени.

Предложен метод измерения линейной поляризации фотонного пучка, который при требуемой точности измерения степени поляризации, уменьшает время измерения, что особенно важно при проведении измерений параллельно с основным экспериментом.

Научные положения выносимые на защиту.

1. Расчетные методики и результаты МК моделирования параметров поляризованных пучков фотонов высоких энергий, получаемых с помощью кристаллических мишеней конечной толщины в экспериментах в FNL (США) и в CERN (Швейцария).

2. Расчетные характеристики для определения типа, ориентации и оптимальной толщины кристалла в четверть длины волны.

3. Усовершенствованная методика измерения линейной поляризации фотонных пучков с помощью кристаллов.

4. Детальные расчеты характеристик циркулярно поляризованных фотонных пучков, получаемых при излучении продольно поляризованных электронов в режиме каналирования.

5. Результаты экспериментальных измерений по образованию e^+e^- -пар в разных кристаллических средах (Ge, W, Ir) при энергиях фотонов 20-150 ГэВ.

6. Результаты экспериментального исследования развития электромагнитного ливня, инициированной фотонами высоких энергий (20-180 ГэВ) в кристалле (Ge).

Апробация работы.

Работы, положенные в основу диссертации, неоднократно докладывались и обсуждались на научных семинарах Ереванского Физического Института, в CERN-е (Швейцария), в ISA (Дания).

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на международной конференции RREPS (Томск, Россия).

Публикации.

По теме диссертационной работы опубликованы 6 научных статей, список которых приводится в конце автореферата.

Структура диссертации.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы включающей 205 ссылок на оригинальные работы, обзоры и доклады на конференциях. Объем работы составляет 110 страниц печатного текста, включая 34 рисунка и 1 таблицу.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, изложены практическая ценность и краткое содержание работы.

В первой главе делается обзор теорий КТИ и КОП, приводятся необходимые формулы, которые использовались при теоретических расчетах и в программах МК моделирования процесса прохождения электронов и фотонов через кристаллы. Производя необходимые математические преобразования удалось привести формулы в удобной форме для компьютерных вычислений.

§1.1 посвящен изложению основных результатов КТИ и КОП. Приведены выражения для дифференциального сечения КТИ с учетом поляризации излученного фотона, усредненного и просуммированного по спидам начального и конечного электронов, соответственно, и проинтегрированного по углам

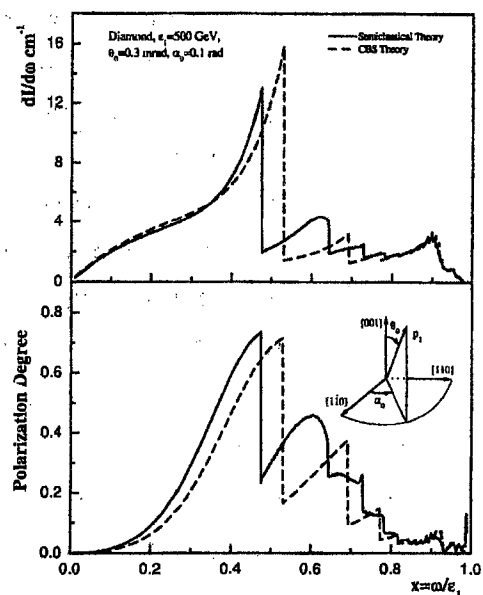
вылета электрона и излученного фотона. Обсуждаются разные ориентации электронного пучка относительно кристаллографических осей и плоскостей. Также приводится дифференциальное сечение КОП с учетом поляризации начального фотона, просуммированное по спидам и проинтегрированное по углам вылета частиц пары. В конце параграфа приведены выражения для различных типов наиболее используемых атомных формфакторов.

В §1.2 обсуждается угловые распределения тормозного излучения и частиц в процессе образования пары в кристаллах. Приведены дифференциальные сечения КТИ и КОП в зависимости от полярных углов вылета излученных фотонов и образованных частиц пары. Отметим, что полярные углы испускания некогерентно излученных фотонов распределены по закону Гаусса с углом раствора m/ϵ_1 , где m — масса покоя электрона, а ϵ_1 — энергия начального электрона. Из выражения дифференциального сечения когерентно излученных фотонов следует, что для каждого определенного вектора обратной решетки кристалла угловое распределение имеет δ -образный характер. Вследствие интерференционных явлений спектр тормозного излучения в кристалле превращается в спектр с четко выраженными фотонными линиями. При этом считается, что распределение по азимутальному углу однородно.

В §1.3 приведены результаты квазиклассической теории излучения и образования e^+e^- пар. При больших энергиях падающих на кристалл электронов и для малых углах влета в кристалл относительно кристаллографических осей и плоскостей, теория КТИ испытывает трудности при описании процесса

излучения и ее предсказания расходятся с результатами экспериментов. При высоких энергиях длина, на которой формируется излучение электрона (когерентная длина), имеет макроскопический размер. В пределах когерентной длины электрон может столкнуться с цепочкой N атомов, расположенных вдоль импульса падающего электрона. При этом условие применимости борновского приближения принимает вид: $NZ\alpha \ll 1$ ($\hbar = c = 1$) и при больших N это условие нарушается. Здесь Z атомный номер, α постоянная тонкой структуры.

Результаты квазиклассической теории излучения и образования e^+e^- пар в области углов влета частиц в кристалл $\theta_0 \gg \theta_b$ совпадают с результатами КТИ и КОП, где θ_0 угол влета частицы относительно кристаллографических осей и плоскостей, $\theta_b = U_0/m$, а U_0 — глубина потенциальной ямы оси или плоскости. При углах $\theta_0 \leq \theta_b$ результаты квазиклассической теории с хорошей точностью совпадают с результатами эксперимента. Интенсивность и поляризация при тормозном излучении электрона с энергией 500 ГэВ в кристалле аклмаза (ось $\langle 001 \rangle$, $\theta_0 = 0.3$ мрад, $\alpha_0 = 0.1$ рад, рассчитанные по квазиклассической (сплошная линия) и КТИ (пуктирная линия) теорий, приведены на нижеследующем рисунке:



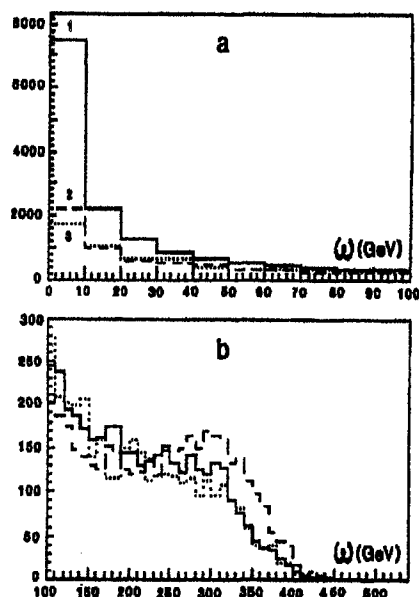
В §1.4 приведены описание основных алгоритмов, которые вошли в программы МК моделирования прохождения электронов и фотонов через кристаллические и аморфные среды. Также дано короткое описание типов случайных чисел, которые играют основную роль в процессе МК моделирования.

Во второй главе приведены результаты теоретических и МК вычислений по созданию поляризованных фотонных пучков высоких энергий, а также теоретические расчеты по превращению линейной поляризации фотонов в циркулярную методом Кабиббо и расчеты по усовершенствованию метода измерения степени линейной поляризации фотонного пучка, основанного на измерении асимметрии выхода пар из кристалла.

§2.1 посвящен МК моделированию для получения интенсивных поляризованных фотонных пучков высоких энергий

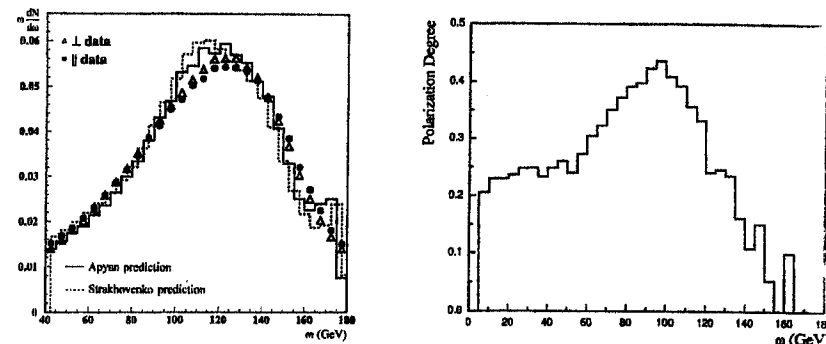
для экспериментов в FNL и в CERN с помощью КТИ в кристаллах. МК программы моделирующие процесс прохождения электронов через ориентированные кристаллы включают также особенности электронных пучков этих ускорителей и реальные параметры кристаллов.

В эксперименте (FNL) по фотообразованию чармованных частиц фотонный пучок получался с помощью тормозного излучения электронов с энергией 350 ГэВ на свинцовой мишени. Идея была в том, чтобы заменить аморфную свинцовую мишень на кристаллическую с определенной ориентировкой для увеличения выхода фотонов с энергиями больше 100 ГэВ. Результаты МК вычислений показали, что при применении кристалла алмаза толщиной 3.5 см, выход высокоэнергетичных фотонов увеличивается до 1.7 раз. На нижеследующем рисунке приведены спектры полученные по МК вычислениям для однофотонного спектра (сплошная линия) и для "pile up" спектра (пунктирная линия). Для сравнения приведен измеренный спектр ("pile up") от свинцовой мишени толщиной 0.27 рад. длины.



Дальнейшие исследования показали, что при улучшении параметров (угловое и энергетическое распределение) электронного пучка можно удвоить выход энергетичных фотонов.

Для планирования эксперимента CERN по получению линейно поляризованного интенсивного фотонного пучка, были проведены МК вычисления для предсказания параметров фотонного пучка. Фотонный пучок получался при КТИ электронов с энергией 180 ГэВ на кристалле кремния толщиной 1.5 см. На нижеследующем рисунке показаны интенсивности излучения полученные на эксперименте (точки) и МК расчеты (сплошная линия), а также степень ожидаемой линейной поляризации рассчитанный с помощью МК моделирования.



§2.2 посвящен получению циркулярно поляризованных фотонных пучков. Одним из способов получения таких пучков является излучение продольно поляризованных электронов в среде, при этом фотон получает определенную циркулярную поляризацию зависящую от энергии фотона. В частности, излучение при каналировании продольно поляризованных электронов в кристалле может служить источником циркулярных фотонов. Так как степень циркулярной поляризации не зависит от типа излучения, то по сравнению с аморфной мишенью можно получить более интенсивный циркулярно поляризованный фотонный пучок в средней части энергетического спектра излучения при каналировании.

С научной точки зрения особенно интересным является метод предложенный Кабиббо по превращению линейной поляризации фотонов в циркулярную с помощью кристаллических пластинок соответствующей толщины, аналогично оптическим пластинкам в четверть длины волны. Для того, чтобы кристаллическая пластинка действовала как пластинка в четверть длины волны, необходимо чтобы создавалась разность фаз между перпендикулярными и

параллельными компонентами поляризации фотонов, равная $\pi/2$, т. е. $\text{Re}(n_{\perp} - n_{\parallel})\omega x = \pi/2$, где n_{\perp} и n_{\parallel} коэффициенты преломления для перпендикулярно и параллельно поляризованных фотонов, ω — энергия фотонов, x — толщина кристалла служащего пластинкой в четверть длины волны.

В нижеследующей таблице приведены результаты теоретического расчета для определения типа кристалла, его ориентации и оптимальной толщины, при которой достигается наибольшая циркулярная поляризация с наименьшим падением интенсивности.

Crystal	ω (GeV)	FOM	θ^{opt} (mrad)	l^{opt} (cm)	$I(l^{\text{opt}})/I(0)$	$\xi_2(l^{\text{opt}})$
C	100	3.38	1.50	5.32	0.21	0.73
	200	3.56	0.75	2.76	0.22	0.75
	300	3.62	0.50	1.86	0.23	0.76
Si	100	2.21	2.29	9.43	0.17	0.54
	200	2.63	1.14	5.50	0.18	0.61
	300	2.79	0.76	3.84	0.19	0.64
Ge (100°K)	100	1.83	2.38	2.25	0.16	0.46
	200	2.18	1.19	1.32	0.17	0.53
	300	2.32	0.79	0.93	0.17	0.56

В таблице приведены результаты расчетов для трех типов кристаллов и для разных энергий линейно поляризованных фотонов. Эти расчеты явились основой для планирования эксперимента (CERN) по превращению линейной поляризации

фотонов с энергией 100 ГэВ в циркулярную с помощью кристалла кремния толщиной 10 см.

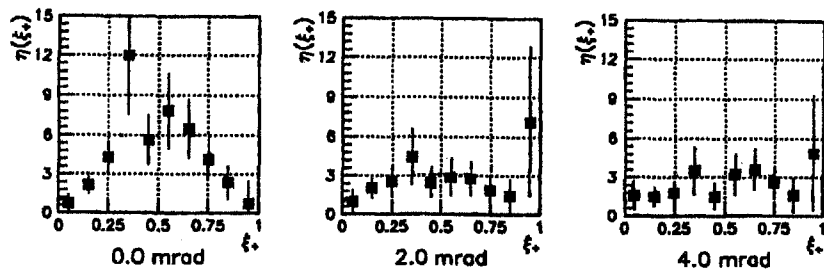
В §2.3 дан краткий обзор существующих методов измерения степени поляризации фотонного пучка. Произведен детальный анализ усовершенствованного метода измерения степени линейной поляризации фотонов с помощью кристаллов, основанный на измерении асимметрии выхода e^+e^- пар. При высоких энергиях сечения КОП возрастают и доминирующим процессом взаимодействия фотонов с полями кристаллических осей и плоскостей является e^+e^- образование пар, что является удобным инструментом для измерения степени линейной поляризации фотонного пучка. Максимальная анализирующая способность процесса КОП соответствует случаю симметричных пар. Предлагается уширить энергетическую область. В эту энергетическую область попадают почти симметричные пары, при этом анализирующая способность уменьшается незначительно, а число частиц пар возрастает, что приводит к уменьшению времени измерения степени линейной поляризации. Также усовершенствованный метод имеет преимущество по сравнению со случаем по измерению полного выхода пар.

В третьей главе приведены результаты экспериментальных измерений по образованию e^+e^- пар фотонами высоких энергий и развитию электромагнитного ливня инициированного фотонами в направлении кристаллических осей и плоскостей. Эксперименты выполнены в рамках коллаборации NA-43 (CERN).

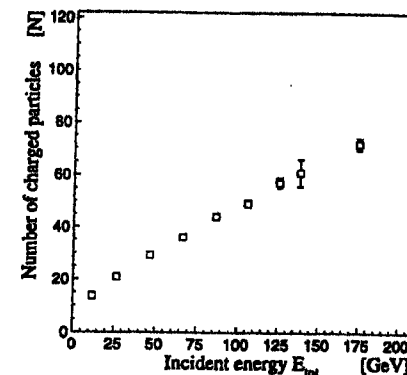
В §3.1 приведены экспериментальные результаты e^+e^- образования пар фотонами с энергией 20-150 ГэВ в кристалле Ge,

охлажденного до температуры 100К. Результаты включают полные и дифференциальные усиления для углов влета фотонов относительно оси $\langle 110 \rangle$ равных 0-4.5 мрад и параллельно плоскости (110).

На нижеследующих рисунках приведены результаты для дифференциального усиления, η , e^+e^- образования пар фотонов с энергией в интервале 80-100 ГэВ, для трех углов относительно оси $\langle 110 \rangle$ в зависимости от $\xi_+ = \varepsilon_+/\omega$, где ε_+ и ω - энергии позитрона и налетающего фотона, соответственно.



В §3.2 приведены результаты экспериментальных измерений развития электромагнитного ливня в направлении оси $\langle 110 \rangle$ кристалла Ge толщиной 10мм и 25мм. На нижеследующем рисунке приведен выход заряженных частиц из кристалла Ge толщиной 25мм.



Результаты показали большое усиление электромагнитного ливня в направлении оси кристалла. Эти результаты вместе с предыдущими экспериментальными данными NA-43 могут быть использованы в исследованиях по применению кристаллов как детекторов высокоэнергетичных фотонов.

В заключении перечислены основные результаты, полученные в диссертационной работе

1. Получены экспериментальные данные для полного и дифференциального сечений образования e^+e^- пар при малых углах влета (0-4.5 мрад) относительно кристаллографической оси $\langle 110 \rangle$ и параллельно плоскости (110) кристалла Ge, а также для кристаллов W $\langle 111 \rangle$ и Ir $\langle 110 \rangle$.
2. Приведены экспериментальные данные по развитию электромагнитного ливня вдоль оси $\langle 110 \rangle$ кристалла Ge инициированного фотонами с энергией 20-180 ГэВ. Было найдено большое усиление ливня в сравнение с неориентированным кристаллом. Эти и предыдущие результаты

коллорабии NA-43 дают полное представление о развитии электромагнитного ливня в кристаллах.

3. Были созданы МК программы для моделирования процесса прохождения электронов высоких энергий через кристаллы, включающие формулы когерентной и квазиклассической теории для излучения e^+e^- пар. С помощью этих программ получены спектры фотонов и найдены оптимальная ориентация и толщина кристалла.
4. Произведены предварительные теоретические вычисления по превращению линейной поляризации фотонов в циркулярную с помощью кристаллических пластинок в четверть длины волны. Рассмотрены кристаллы C, Si и Ge, для которых найдены оптимальные ориентации и толщины при энергиях линейно поляризованных пучков фотонов 100, 200 и 300 ГэВ.
5. Вычислены интенсивность и циркулярная поляризация излученных фотонов при каналировании продольно поляризованных электронов.
6. Проведены вычисления по усовершенствованию метода измерения линейной поляризации с помощью кристаллов. Показано, что асимметрия квази-симметричных пар намного увеличивается по сравнению с асимметрией в случае полного выхода пар, что приводит к уменьшению времени измерения степени поляризации фотонов.

Список основных работ, опубликованных по теме диссертации.

1. **A.B. Apyan, R.O. Avakian, S.M. Darbinian et al.**, " Improved Crystal Method for Photon Beam Linear Polarization Measurement at High Energies " - Nucl. Instr. and Meth., **B 173**, 149 (2001).

2. **A. Baurichter, K. Kirsebom, R. Medenwaldt, ..., A.B. Apyan et al.**, " Enhanced Electromagnetic Showers Initiated by 20 – 180 GeV Gamma Rays on Aligned Thick Germanium Crystals " - Nucl. Instr. and Meth., **B 52**, 472 (1999).
3. **K. Kirsebom, Yu.V. Kononets, U. Mikkelsen, ..., A.B. Apyan et al.**, " Pair Production by 5-150 GeV Photons in the strong Crystalline Fields of Germanium, Tungsten and Iridium " - Nucl. Instr. and Meth., **B 135**, 143 (1998).
4. **A. Apyan, R.O. Avakian, S. Ballestrero et al.**, " Proposal to Study the Use of Crystal as a 'Quarter-Wave Plate' to Produce High Energy Circularly Polarized Photons " - Proposal to the CERN SPS Committee, CERN/SPS 98-17, SPSC/P308, 1998.
5. **A.B. Apyan, R.O. Avakian, P.O. Bosted et al.**, " Circularly Polarized Photon Beams Produced by Channeled Longitudinally Polarized Electrons " - Nucl. Instr. and Meth., **B 145**, 142 (1998).
6. **N.Z. Akopov, A.B. Apyan, R.O. Avakian et al.**, " Monte Carlo Calculation of Characteristics of γ -Beams Produced by Coherent Bremsstrahlung at Fermilab " - Nucl. Instr. and Meth., **B 115**, 372 (1996).

Անփութում

Ատենախոսությունը նվիրված է բարձր էներգիայի բևեռացված փնջերի ստացմանը և բյուրեղների օգնությամբ գծային բևեռացման աստիճանի չափման մեթոդի կատարելագործմանը, ինչպես նաև բյուրեղներում էլեկտրոն-պոզիտրոնային զույգերի առաջացման և էլեկտրամագնիսական հեղեղների զարգացման փորձարարական ուսումնասիրությանը:

▪ Ստացվել են բյուրեղներում 20-150 ԳէՎ էներգիայի ֆոտոնների կողմից e^+e^- զույգերի ծնման պրոցեսի փորձնական արդյունքներ: Փորձնականորեն ուսումնասիրվել է բյուրեղի առանցքների և հարթությունների նկատմամբ բարձր էներգիայի ֆոտոնների փոքր անկյան տակ անկման դեպքում ֆոտոծնման լրիվ և դիֆերենցիալ ելքերը կողմնորոշված և սպակոդմնորոշված գերմանիումի բյուրեղի համար:

▪ Կատարվել են Ge-ի բյուրեղում 20-180 ԳէՎ էներգիայի ֆոտոնների կողմից առաջացրած էլեկտրամագնիսական հեղեղների զարգացման փորձնական հետազոտություններ, որոնց արդյունքներն օգտակար կլինեն բյուրեղները որպես բարձր էներգիայի ֆոտոնների դետեկտորներ օգտագործելու ուսումնասիրությունների համար:

▪ Մշակվել և ստեղծվել են Մոնտե-Կարլո ծրագրեր բյուրեղային միջավայրով էլեկտրոնների և ֆոտոնների անցումը նկարագրելու համար, հաշվի առնելով էլեկտրոնային փնջերի և բյուրեղների ռեալ պարամետրերը: Հաշվարկների արդյունքներն օգտագործվել են բևեռացված ֆոտոնային փնջերով գիտափորձերի պլանավորման համար (CERN, SLAC):

▪ Կատարելագործվել է ֆոտոնային փնջի գծային բևեռացման չափման բյուրեղային մեթոդը: Ցույց է տրվել, որ զույգի մասնիկների էներգիայի տիրույթի օպտիմալ ընտրության դեպքում, e^+e^- զույգի առաջացման ասիմետրիան բյուրեղում աճում է, որը թույլ է տալիս փոքրացնել չափման ժամանակը պահպանելով չափման անհրաժեշտ ճշտությունը:

▪ Ուսումնասիրվել է շրջանային բևեռացված փնջերի ստացման հնարավորությունը բյուրեղներում երկայնական բևեռացված էլեկտրոնային փնջերի կանախցման ճառագայթման դեպքում: Ցույց է տրվել, որ ամորֆ նյութի համեմատությամբ, շրջանային բևեռացման աստիճանը փոխվում է աննշան, սակայն ֆոտոնային փնջի ինտենսիվությունը սպեկտրի միջին մասում աճում է մի քանի անգամ:

▪ Կատարվել են տեսական հաշվարկներ բյուրեղների օգնությամբ ֆոտոնային փնջերի գծային բևեռացումը շրջանայինի վերածելուն՝ նման օպտիկայում հայտնի քառորդ ալիքի երկարության քիթերների կիրառությամբ: Ստացված արդյունքները հիմք են հանդիսացել գիտափորձում բյուրեղի տեսակի, կողմնորոշման և օպտիմալ հաստության ընտրության համար (CERN):