

ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱՅԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ

Իսպիրյան Ռուբեն Կարոյի

ՈՐՈՇ ՊԱՐԲԵՐԱԿԱՆ ԱՏՐՈՒԿՏՈՒՄՆԵՐՈՒՄ ՄԱՍՆԻԿՆԵՐԻ  
ՃԱՌԱԳԱՅԹՈՒՄԸ ԵՎ ՆՐԱ ՓՈՐՁՆԱԿԱՆ ՀԵՏԱՁՈՏՄԱՆ  
ՈՒ ԿԻՐԱՌՈՒԹՅԱՆ ՀՆԱՐԱԿՈՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Ա.04.16 «Միջուկի, տարրական մասնիկների և տիեզերական ճառագայթման  
ֆիզիկա» մասնագիտությամբ ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների  
թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության

ՍԵՂԱՍԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ 2000թ.

---

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Испирян Рубен Кароевич

ИЗЛУЧЕНИЕ ЧАСТИЦ В НЕКОТОРЫХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ  
СРЕДАХ И ВОЗМОЖНОСТИ ЕГО  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-  
математических наук по специальности 01.04.16 – физика ядра,  
элементарных частиц и космического излучения

ЕРЕВАН 2000

Ատենախոսության բեման հաստատված է Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտում  
Գիտական ղեկավարներ. Ֆիզմաթ. գ. դոկտոր, պրոֆ., ՀՀ ԳԱԱ ակադեմիկոս  
Ռ. Ավագյան  
Ֆիզմաթ. գ. բեկնածու, առաջատար գիտաշխատող  
Լ. Գևորգյան

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ. Ֆիզմաթ. գ. դոկտոր Պ. Պողոսյան / ԵՊՀ /  
Ֆիզմաթ. գ. բեկնածու Ս. Էլբակյան / ԵրՖԻ /

Առաջատար կազմակերպություն  
ՀՀ ԳԱԱ ֆիզիկական հետազոտությունների ինստիտուտ

Պաշտպանությունը կայանալու է '18' հունիսի 2000թ. ժամը 14.00-ին Երևանի  
ֆիզիկայի ինստիտուտի 024 մասնագիտական խորհրդում (Երևան-36,  
Ալիխանյան եղբայների փող. 2) :

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ԵրՖԻ-ի գրադարանում :

Սեղմագիրը առաքված է '18' հունիսի 2000թ.

Մասնագիտական խորհրդի գիտական քարտուղար *Ա.Թ. Մարգարյան*

Тема диссертации утверждена в Ереванском Физическом Институте

Научные руководители: Д.ф.-м.н., профессор, академик НАН РА  
Р.О. Авакян  
к.ф.-м.н., ведущий н.с.  
Л.А. Геворгян

Официальные оппоненты: доктор физ.-мат. наук П. Погосян / ЕГУ /  
кандидат физ.-мат. наук С. Элбакян / ЕрФИ /

Ведущая организация: Институт физических исследований НАН РА

Защита состоится '18' июля 2000г. в 14.00 часов на заседании  
специализированного совета 024 Ереванского физического института  
(Ереван-36, ул. Бр. Аликханян 2)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан '18' июня 2000г.

Ученый секретарь спец. совета *А. Маргарян* А.Т. Маргарян

Актуальность темы

Излучение частиц высоких энергий в периодических средах широко применяется в науке, промышленности и медицине. Многочисленные конференции и совещания, имевшие место в последние годы, свидетельствуют о научном интересе к проблемам излучения. Многие источники синхротронного излучения на основе электронных накопителей с энергиями несколько ГэВ и, особенно синхротронные источники третьего поколения, имеют каналы монохроматических фотонных пучков от УФ до рентгеновской области. Эти источники излучения и их эксплуатация весьма дорогостоящие. В промышленности и медицине используются также более дешевые рентгеновские пучки, полученные при помощи линейных и кольцевых электронных ускорителей с энергиями 10 - 100 МэВ. Создание рентгеновских и  $\gamma$ -лазеров сегодня пока не осуществимо, и в этой связи задача увеличения интенсивности применяемых фотонных пучков, исследованию которого посвящена диссертация, приобретает практическую значимость.

Рентгеновское переходное излучение (РПИ) является одним из часто применяемых типов излучений. РПИ генерируется при прохождении заряженной частицы через границу между двумя средами с различными диэлектрическими постоянными, или через стопку пластин. После теоретического и экспериментального исследования [1,2] РПИ применяется для идентификации частиц [3] почти во всех ускорителях и установках для космических лучей. В настоящее время применение детекторов РПИ ограничено максимальным значением порогового Лоренц фактора  $\gamma_{thr} = E/mc^2 = 10^2 - 10^3$ , где E и m энергия и масса частицы соответственно. С увеличением значения Лоренц факторов исследуемых частиц актуальной становится задача увеличения энергетического интервала идентификации частиц. В данной работе предлагается новый тип детектора РПИ. Приведенные Монте Карло расчеты показывают, что предлагаемый детектор РПИ действует при значениях  $\gamma_{thr} = 10^4 - 10^5$ .

Другой важной проблемой в области переходного излучения является задача увеличения выхода фотонов. Известно, что в настоящее время электронные пучки с энергиями 5-100 МэВ небольших линейных ускорителях обеспечивают высокоинтенсивные пучки РПИ с энергиями 1-5 кэВ, которые применяется в литографии. Для получения пучков рентгеновского излучения более высокой яркости, чем это достигается существующими синхротронными источниками, разрабатываются два проекта — в Германии, DESY и в США, SLAC. Эти источники будут

генерировать интенсивные электронные бунчи уже с энергией 1-25 ГэВ с модулированной электронной плотностью. Как показано в диссертации такие модулированные бунчи могут генерировать когерентное РПИ. Приведенные численные расчеты показывают, что когерентное РПИ, интенсивность которого пропорциональна квадрату числа электронов в бунче, в свою очередь можно использовать для определения параметров электронного пучка.

В настоящее время широко применяется излучение, возникающее при плоскостном и осевом каналировании частиц высоких энергий. Хотя после теоретического и экспериментального обнаружения излучения каналированных частиц [4] многие экспериментальные результаты, посвященные исследованию спектров излучения находились в хорошем согласии с теоретическими предсказаниями, тем не менее единственные экспериментальные данные о поляризации этого излучения показали, что степень поляризации ниже ожидаемого значения 100%. В диссертацию включена работа, посвященная первым расчетам поляризации, а также экспериментальному методу измерения поляризации  $\gamma$ -квантов излучения плоскостного каналирования частиц с энергией больше, чем 4 ГэВ.

Экспериментальные работы, проведенные в различных лабораториях, показывают, что излучение каналированных электронов с энергией 50-100 МэВ в монокристаллах является эффективным механизмом получения квазимонохроматических пучков фотонов с энергией 5-30 кэВ. Известно, что явление многократного рассеяния (в основном на электронах) приводит к уменьшению числа каналированных частиц и интенсивности излучения. Недавно открытые и исследованные [5] одностенные нанотубы (ОСНТ) углерода типа (10,10) имеют диаметр  $\sim 1.4$  нм, что значительно больше междоузельного расстояния монокристаллов, 0.2 – 0.4 нм. Следовательно, в "каналах" нанотубов электронная плотность значительно меньше. Тем самым обеспечивается большая длина деканалирования по сравнению с каналированием в кристаллах. Таким образом, ОСНТ представляют интерес для каналирования и генерации излучения. Одна из задач данной работы состоит в расчете потенциала в ОСНТ и траектории каналированных частиц.

Спонтанное и стимулированное излучение электронных пучков в ондуляторах является мощным источником излучения квазимонохроматических фотонных пучков. Для уменьшения длины волны излучения лазеров на свободных электронах необходимо или увеличить энергию электронных пучков, или же уменьшить период ондуляторов, т.е. создать микроондуляторы с периодом 10-1000 мкм. В последние годы было показано, что такие микроондуляторы можно

получить высокотехнологичным способом роста сверхрешеток. Исследования спонтанного излучения позитронов в сверхрешетках и периодически деформированных ОСНТ-ах составляет другую задачу диссертации. Численные расчеты спектров такого излучения позитронных пучков, которые могут быть получены на Ереванском Синхротроне, показывают, что экспериментальное исследование такого излучения возможно также провести в ЕрФИ. Актуальной задачей является также исследование стимулированного излучения в сверхрешетках и периодически деформированных нанотубах, генерируемого плотными пучками SLAC и DESY. Расчеты усиления такого стимулированного излучения с учетом параметров пучков частиц составляют одну из задач диссертации.

### Цели работы

Основная задача диссертации состоит в исследовании возможностей экспериментального изучения и применения рассмотренных типов излучений с учетом доступности оборудования и параметров пучков частиц путем численных расчетов и Монте Карло симуляций. В работе изучены следующие задачи: 1) вычисления поляризации излучения плоскостного каналирования в монокристаллах и измерения линейной поляризации; 2) каналирование частиц высокой энергии в ОСНТ-ах; 3) создание нового типа детекторов РПИ для  $e/\pi$  и  $\pi/k/p$  идентификации; 4) исследование когерентного РПИ и его применение для измерения параметров модулированных пучков в источниках рентгеновского излучения четвертого поколения; 5) экспериментальное исследование свойств рентгеновского излучения в периодически деформированных ОСНТ и монокристаллах.

### Научная новизна

1. Впервые рассмотрено применение ОСНТ в физике высоких энергий. Анализ траекторий положительно заряженных частиц показывает, что ОСНТ имеют преимущество для получения рентгеновского излучения и ускорения частиц.
2. Впервые вычислена степень линейной поляризации при плоскостном каналировании. Показано, что поляризация меньше ожидаемого значения 100%.

3. Разработана программа для Монте Карло симуляции процессов и расчетов параметров детекторов РПИ работающих в режиме характеристического излучения.
4. Получены формы для угловой и спектральной распределений когерентного РПИ коротких бунчей с модулированной плотностью. Анализ показывает, что когерентное РПИ можно применять для измерения параметров микробунчируемых пучков.
5. Изучено влияние поляризации среды на спонтанное рентгеновское излучение каналированных частиц в периодически деформированных монокристаллах и нанотубах.
6. Расчитано усиление вынужденного излучения позитронного бунча в деформированных монокристаллах и нанотубах с учетом энергетического разброса позитронов в бунче.

#### Прикладное и научное значение диссертации

Результаты диссертации по движению и ускорению частиц высоких энергий в ОСНТ получили дальнейшее развитие и подтверждение в работах опубликованных позже другими авторами. В частности, французские физики исследовали генерацию циркулярно поляризованных фотонов в скрученных ОСНТ.

Как было отмечено, исследования излучения частиц в периодических структурах имеют практическое значение для получения интенсивных фотонных пучков. С этой целью развиваются и изучаются новые методы получения микроондуляторов с помощью монокристаллов и ОСНТ. В ЕрФИ предполагается получить позитронный пучок с энергиями 0.2-2.0 ГэВ, который можно использовать для исследования вышеуказанных типов излучений. Отметим, что в других странах также планируется проведение подобной работы.

Недавно в CERN сотрудничеством NA59 проведен эксперимент по измерению линейной поляризации  $\gamma$ -квантов с энергиями 50-100 ГэВ с использованием экспериментальной установки похожей на установку предложенной в нашей работе.

Можно ожидать, что предлагаемый детектор РПИ будет применяться для идентификации частиц в пучках и в спектрометрах с большими телесными углами, когда энергии пучков или вторичных частиц возрастут.

#### Основные результаты представленные на защиту

1. Расчитаны потенциалы в ОСНТ (10,10), используя модель Мольера и координаты атомов углерода. Аналитически исследованы траектории, и рассмотрено ускорение положительно заряженных частиц.
2. Исследовано спектральная зависимость поляризации излучения при различных энергиях падающей частицы при плоскостном каналировании. Показано, что степень поляризации меньше ожидаемого значения 100%.
3. Предложен и исследован детектор РПИ, работающий в режиме характеристического излучения. Детектор может быть применен для идентификации частиц со значением Лоренц фактора  $\gamma = 10^4 - 10^5$ .
4. Аналитически и численно исследовано когерентное РПИ электронных пучков с модулированной плотностью. Показано, что когерентное РПИ можно использовать для измерения модуляционных параметров пучков, которые будут получаться на будущих ускорителях.
5. Изучено влияние поляризации среды на спонтанное излучение каналированных частиц в кристаллических и нанотубных ондуляторах.
6. Исследовано вынужденное излучение каналированных частиц в кристаллических и нанотубных ондуляторах без учета многократного рассеяния. Получены формулы для усиления с учетом поляризации среды и энергетического распределения пучка частиц.

#### Апробация работы

Результаты диссертации опубликованы в журналах Письма в ЖЭТФ (четыре статьи), Nucl. Instr. and Meth. (четыре статьи). Работы представлены и обсуждены на симпозиумах:

- Работа, посвященная детекторам РПИ, доложена на семинаре CERN.
  - Результаты изучения каналирования в ОСНТ представлены на конференции "International Symposium on Radiation of Relativistic Electrons in Periodic Structures", RREPS-97, Томск, Россия, сентябрь 1997г.
  - Работа по излучению в микроондуляторах на основе монокристаллов и нанотубов представлена на RREPS-99, Байкал, Россия, сентябрь 1999г.
- Все работы обсуждены на семинарах ЕрФИ.

#### Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы. Объем диссертации — 80 страниц, включая 26 рисунков и 4 таблицы.

## Содержание работы

В введении представлены постановка задачи, актуальность темы, научное и прикладное значение рассмотренных задач.

Первая глава посвящена изучению двух задач по каналированию. В первой части главы рассмотрено движение положительно заряженной частицы в углеродных одностенных нанотрубках (ОСНТ), которые недавно были изобретены и исследованы [5]. ОСНТ (10,10) представляет собой скрученную "трубку" из кристаллографической плоскости графита с диаметром 1.38 нм. При синтезе нанотубов образуются "веревки", состоящие из нескольких сот ОСНТ, сечение которых имеет гексагональную симметрию с расстоянием между соседними ОСНТ равным 1.7 нм (см. рис. 1).

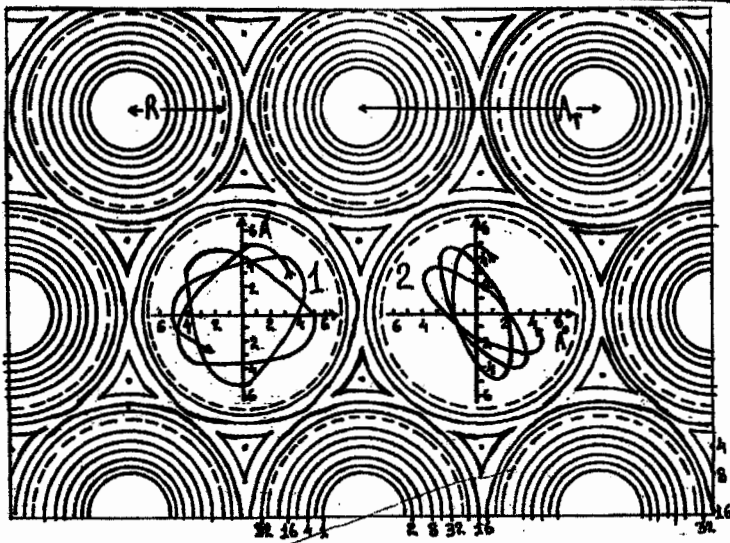


Рис. 1. Сечение веревки из ОСНТ. Стены ОСНТ показаны пунктиром, эквипотенциальные поверхности показаны сплошными кривыми с интервалом 1 эВ (см. числа внизу рисунка), числами 1, 2 показаны траектории протонов входящих в ОСНТ при различных начальных координат и углов.

В начале с помощью известных методов расчета вычисляется потенциал в ОСНТ, с использованием Мольеровской модели атома. Эквипотенциальные поверхности показаны на рис. 1. Внутри ОСНТ потенциал можно аппроксимировать выражением  $U(r) = U_0 r^6$ , где  $U_0$  —

константа,  $r$  — расстояние точки от оси ОСНТ. При данном потенциале поперечное нерелятивистическое движение релятивистической частицы описывается уравнением четвертого порядка (продольное движение — равномерно). Решение уравнения дает траекторию, период и амплитуду. В зависимости от начальной координаты и угла вхождения частица движется либо по траектории, похожей на раскрытую пружину, в редком случае по синусоиде, либо, чаще всего, по траектории, похожей на кеплеровское движение планет. Аналитически траектории выражаются формулами, содержащими эллиптические интегралы первого и третьего порядков. Период движения пропорционален  $1/3$  степени энергии частицы,  $T \sim E^{1/3}$ .

Приближенный расчет показывает, что когда углы вхождения частицы меньше Линдхардского критического угла, 90% падающих частиц каналируются. При каналировании в монокристаллах длина деканалирования дается формулой  $L_0 \sim \Lambda E$ , где  $\Lambda \sim d_p^2$ ,  $d_p = 1-3 \text{ \AA}$  — расстояние между кристаллографическими плоскостями. Для кристаллов  $\Lambda \approx (1-10) \cdot 10^{-10} \text{ см/В}$ . Для ОСНТ (10,10) при  $E > 100 \text{ ГэВ}$  получается значение длины деканалирования  $L_0 > 100 \text{ см}$ , что обусловлено малой электронной плотностью в канале нанотуба.

Во второй части главы для излучения плоскостного каналирования частиц в монокристаллах рассчитана линейная поляризация с использованием приближения "постоянного поля" и поляризационных формул синхротронного излучения [6]. Принимается, что потенциал в монокристалле имеет вид параболы. Полученные зависимости степени линейной поляризации фотонов от  $x = \omega/E$  для частиц с различными энергиями сначала растут с  $x$ , достигая максимального значения при  $x \approx 0.2$ . В согласии с единственными экспериментальными данными вычисленное значение поляризации меньше ожидаемого 100%. Для измерения поляризации  $\gamma$ -квантов с энергией больше 4 ГэВ предложена схема экспериментальной установки.

Вторая глава посвящена РПИ частиц высоких энергий. Предлагается построить детектор РПИ с использованием явления характеристического излучения [3]. Предлагаемый детектор имеет более высокое пороговое значение Лоренц фактора  $\gamma_{\text{thr}}$  чем детекторы, использующие методы выделения энергии и счета кластеров, что позволит применить его для идентификации частиц более высоких энергий. Схема детектора РПИ с использованием характеристического излучения показана на рис. 2. Анализ свойств детектора проведен при помощи разработанных Монте Карло программ. Сначала, симулируется процесс генерации РПИ в слоистой среде, используя формулы РПИ [1]. Далее с учетом поглощения получается спектр фотонов РПИ на выходе

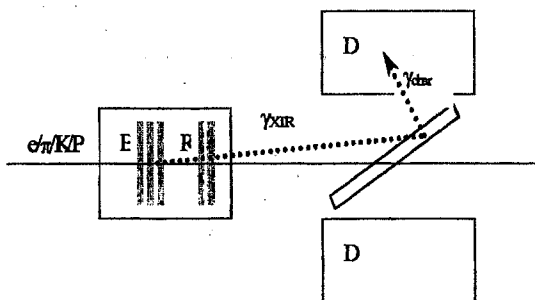


Рис. 2. Схема детектора РПИ на основе характеристического излучения.

помощи программы рассчитывается число фотонов характеристического излучения, регистрируемых детекторами фотонов D (см. рис. 2). Таким образом, можно различить относительно легкие частицы с большим значением Лоренц фактора  $\gamma$  от частиц с меньшими  $\gamma$ . Так, если радиатор из майяра с  $N=300$ ,  $l_1=0.01$  см,  $l_2=1$  см, поглотитель из лантана толщиной 1.3 см, то детектор будет иметь пороговое значение  $\gamma_{\text{thr}}=5 \cdot 10^4$ . Регистрируя характеристические фотоны с энергией 39 кэВ, можно идентифицировать в падающем пучке электроны с энергиями  $E \geq 25$  ГэВ и отличая их от частиц с меньшими значениями  $\gamma$ , например, от пионов с энергиями до несколько сот ГэВ. Тем самым, осуществляются  $e/\pi$  идентификация в области энергий десятков ГэВ, в то время как применяемые в настоящее время детекторы работают при энергиях электронов порядка 0.5 ГэВ. Отметим, что предлагаемый детектор еще не апробован экспериментально.

Вторая часть второй главы посвящена изучению когерентного РПИ и возможностей его применения. Известно, что когда длина волны излучения больше длины бунча, частицы в бунче излучают когерентно, и интенсивность излучения пропорциональна квадрату числа электронов в бунче. В случае, если плотность электронов в бунче модулирована, то когерентное излучение может возникнуть, если период модуляции бунча равен длине волны фотона РПИ,  $\lambda \approx \lambda_{\text{XTR}} < 10 \text{ \AA}$ . В настоящее время бунчи с таким коротким периодом модуляции не существуют, однако в Германии, DESY, и США, SLAC, спроектированы синхротронные источники четвертого поколения, на которых через 2-4 года такие модулированные бунчи будут получены. Для расчетов мы принимаем следующее: плотность бунча с числом электронов  $N_b$  имеет синусоидальную модуляцию глубиной  $b_1$  и периодом  $\lambda$ . При помощи

слоистой среды (радиатора), для различных параметров радиатора (материал, толщина пластины  $l_1$ , расстояние между пластинами  $l_2$ , число слоев  $N$ ). Фотоны РПИ затем попадают на поглощающую пластину, в котором образуются характеристические фотоны с изотропным угловым распределением. При

формул, описывающих явления когерентного излучения пучка с определенным форм фактором и РПИ одной частицы на границе двух сред [2], вычислено частотно-угловое распределение фотонов когерентного РПИ. Интегрируя по частотам и углам получаем угловое распределение  $dN_{\text{CXTR}}/d\theta$  и спектральное распределение  $dN_{\text{CXTR}}/d\omega$ , а также зависимость полного числа фотонов  $N_{\text{CXTR}}$  от энергии электронов, от  $N_b$  и от  $b_1$ . Проведен численный и аналитический анализ этих распределений. Показано, что угловое распределение  $dN_{\text{CXTR}}/d\theta$  значительно уже, чем при некогерентном РПИ. Для когерентного РПИ получается узкое спектральное распределение  $dN_{\text{CXTR}}/d\omega$  вокруг длины волны, равной периоду модуляции пучка  $\lambda$ . Ширина распределения в основном определяется шириной энергетического разброса электронного пучка. Значения  $dN_{\text{CXTR}}/d\theta$  и  $dN_{\text{CXTR}}/d\omega$  пропорциональны произведению  $N_b^2 b_1^2$ . Это свойство когерентного РПИ позволяет применить его для определения параметров модуляции бунча, что важно для развития будущих методов ускорения.

В третьей главе изучается излучение каналированных частиц с положительным электрическим зарядом в кристаллических и нанотрубных ондуляторах без учета многократного рассеяния и обычного каналирования. Отметим, что микроондуляторы с амплитудой  $A=2-20 \text{ \AA}$  и периодом  $l=1-100$  мкм получают деформированием кристаллографических плоскостей и ОСНТ. Для кристаллов перспективным методом создания микроондуляторов является высокотехнологичный метод роста "сверхрешеток" из двух материалов, например,  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ , где  $x$  доля содержания германия. Так как интенсивность излучения пропорциональна  $A^2$ , а длина волны излучения

пропорциональна  $l$ , то можно ожидать, что интенсивность в рентгеновской области будет больше, чем в случае каналированного излучения, а длина волны намного меньше, чем в ондуляторах с периодом порядка 1 см. Отметим, что в расчетах мы учитываем поляризацию среды, что важно, особенно, в рентгеновской области, где диэлектрическая проницаемость дается формулой  $\epsilon = 1 - \omega_p^2 / \omega^2$  ( $\omega_p$  — плазменная частота). Для частоты излучения

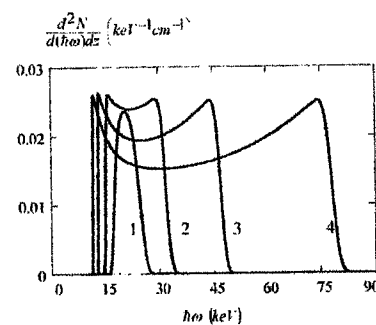


Рис. 3.

в рентгеновской области имеем  $\omega = 2\Omega / (\gamma_z^{-2} + \omega_p^2/\omega^2 + \theta^2)$ , где  $\Omega = 2\pi l/c$ ,  $\gamma_z = \gamma/(1+K^2/2)$ ,  $\theta$  - угол излучения,  $K$  - константа ондулятора  $K = 2\pi A\gamma/l$ . Получено спектральное распределение излучения электронного пучка с гауссовским распределением энергии шириной  $\sigma$ . На рис. 3 приведены спектральные распределения излучения электронного пучка с энергиями  $E = 330, 350, 400$  и  $500$  МэВ (соответственно кривые 1, 2, 3 и 4) в микроондуляторе с параметрами  $A = 2$  нм,  $l = 23.2$  мкм,  $\omega_p = 33$  эВ. Эти численные результаты показывают, что при помощи малоинтенсивного позитронного пучка с энергиями больше 200 МэВ, который будет получен в ЕрФИ, можно будет наблюдать микроондуляторное излучение и исследовать эти распределения.

В конце третьей главы получены формулы для вынужденного излучения интенсивных пучков в рентгеновской области. В отличие от предыдущих работ, нами учтена поляризация среды и энергетический разброс электронного пучка.

#### Список использованной литературы

1. М.Л. Тер-Микаелян, Влияние среды на электромагнитные процессы при высоких энергиях, Изд. А.Н. Арм. ССР, Ереван 1969.
2. Г.М. Гарибян, Ян Ши, Рентгеновское переходное излучение, Изд. А.Н. Арм. ССР, Ереван 1983.
3. А.И. Алиханян, Ф.Р. Арутюнян, К.А. Испириян, М.Л. Тер-Микаелян, ЖЭТФ 41, 2002 (1961).
4. M.A. Kumakhov and R. Wedell, Radiation of Relativistic Light Particles During Interaction with Single Crystals, Publ. Spectrum, Heidelberg, 1991.
5. A. Thess et al., Science 273, 483 (1996).
6. В.Н. Байер, В.М. Катков, В.М. Страховенко, Электромагнитные процессы при высоких энергиях в ориентированных монокристаллах, Наука, Сибирское отделение, 1989.

#### Список опубликованных работ по теме диссертации

1. Р.О. Авакян, С.М. Дарбинян, К.А. Испириян, Р.К. Испириян, "Поляризация излучения при плоскостном каналировании электронов и методы ее измерения", Письма в ЖЭТФ, 54, 263 (1991).
2. К.А. Испириян, А.Т. Маргарян, Р.К. Испириян, "X-Ray Transition Radiation Detectors (XTRD) for  $e/\pi$  and  $\pi/K/P$  Identification in TeV Energy Region", Nucl. Instr. & Meth. A336, 533 (1993).

3. Л.А. Геворгян, К.А. Испириян, Р.К. Испириян, "Каналирование в одностенных нанотубах: Возможные применения", Письма в ЖЭТФ, 66, 304 (1997).
4. L.A. Gevorgian, R.K. Ispirian, K.A. Ispirian, "High Energy Particle Channeling in Nanotubes", Nucl. Instr. and Meth., B145, 155 (1998).
5. Р.О. Авакян, Л.А. Геворгян, К.А. Испириян, Р.К. Испириян, "Излучение частиц в кристаллических ондуляторах с учетом поляризации среды", Письма в ЖЭТФ, 68, 437 (1998).
6. R.O. Avakian, L.A. Gevorgian, K.A. Ispirian and R.K. Ispirian, "Spontaneous and Stimulated Radiation of Particles in Crystalline Undulators", Report to Intern. Symp on Radiation of Relativistic Electrons in Periodic Structures, RREPS-99, Baikal, Russia, Sept. 1999; to be published in Nucl. Instr and Meth., B in 2000.
7. E.D. Gazazian, K.A. Ispirian, R.K. Ispirian, M.I. Ivanian, "Subattosecond ( $<10^{-18}$  s) Time Measurement using Coherent X-Ray Transition Radiation", Pisma Zh. Eksp. Teor. Fiz., 70, 664 (1999).
8. E.D. Gazazian, K.A. Ispirian, R.K. Ispirian, M.I. Ivanian, "Measurement of Very Short Time  $-10^{-19} \div 10^{-17}$  Structures with the help of X-Ray Transition Radiation", Report to Intern. Symp on Radiation of Relativistic Electrons in Periodic Structures, RREPS-99, Baikal, Russia, Sept. 1999; to be published in Nucl. Instr and Meth., B in 2000.

## Ամփոփում

Ատենախոսության ներածական մասում տրված են թեմայի արդիականությունը, աշխատանքի նպատակը, գիտական նորությունը, գիտական ու կիրառական նշանակությունը և աշխատանքի ներկայացումը ու հրապարակումները:

Առաջին գլխում ուսումնասիրված է դրական լիցքավորված մասնիկների շարժումը միապատ նանախողովակներում (ՄՊՆԽ) կանալավորման դեպքում: Հաշվարկված է ՄՊՆԽ-ի պոտենցիալը միջինացված ըստ առանցքի երկարության և ազիմութի: Օգտագործելով պոտենցիալը ստացված են մասնիկների հետազոտող տարբեր սկզբնական պայմանների դեպքում: Դիտարկված են ՄՊՆԽ-ների այլ կիրառությունները բարձր էներգիաներով մասնիկների ֆիզիկայում: Այս գլխում հաշվված է նաև մասնիկների բյուրեղներում հարթ կանալավորման ժամանակ առաջացող ճառագայթման գծային բեռնացումը "հաստատուն դաշտի" մոտավորությամբ, օգտվելով սինխրոտրոն ճառագայթման բանաձևերից: Թվային հաշվարկները համապատասխանում են փորձնական տվյալներին: Առաջադրված է փորձնական սարքավորում, որը կարող է կիրառվել 10-200 ԳԷՎ էներգիայով գծային բեռնացմամբ  $\gamma$ -քվանտների ստացման և չափման համար:

Մոնթե Զառլո հաշվարկների միջոցով երկրորդ գլխում ուսումնասիրված են նոր տիպի ռենտգենյան անցումային ճառագայթման (ՌԱԾ) դետեկտորները: Ցույց է տրված, որ դրանք կարելի կիրառել ավելի մեծ էներգիայով մասնիկների նույնացման համար, քան դա արվում է ներկայիս ՌԱԾ դետեկտորների օգնությամբ: Այս գլխում ստացված են նաև մոդուլացված էլեկտրոնային փնջերի կոհերենտ ՌԱԾ-ման սպեկտրալ բաշխումները: Ցույց է տրված, որ կոհերենտ ՌԱԾ-ը, իրեն հերթին, կարելի է կիրառել մոդուլացված փնջերի պարամետրերի որոշման համար, որը անհրաժեշտ է ասպագա մասնիկների արագացման ու ռենտգենյան ֆոտոնների փնջերի ստացման համար:

Երրորդ գլխում ուսումնասիրված են բյուրեղային և նանախողովակային օնդուլատորներում լիցքավորված մասնիկների սպոնտան և հարկադրական ճառագայթումը: Հաշվի են առնված միջավայրի բեռնացումը և մասնիկների փնջի ու օնդուլատորի տարբեր պարամետրերը: Հաշվարկները ցույց են տալիս, որ այսպիսի ճառագայթման ինտենսիվությունը գերազանցում է սովորական օնդուլատորներում ճառագայթման և կանալավորման ճառագայթման ինտենսիվությունները ռենտգենյան տիրույթում: Ցույց է տրված, որ այս ճառագայթումը հնարավոր կլինի փորձնականորեն հետազոտել Երևանի սինխրոտրոնի օգնությամբ ստացվելիք պոզիտրոնային փնջերի միջոցով:

Ruben Ispiryan

**Radiation of Particles in Some Periodic Structures and Possibilities of its Experimental Investigation and Applications**

Resume

In the Introduction the actuality of the problem, objective of the work, scientific novelty, scientific and practical applications of the results as well as the presentation of the results are given briefly.

The first chapter is devoted to the study of motion of positive particles channeled inside carbon single wall nanotubes (SWNT) after calculation the potentials in the SWNT ropes averaged along the axes and azimuth. Some other applications of SWNT in high energy particle physics are discussed. In this chapter it is also calculated the linear polarization of the channeling radiation of particles in case of planar channeling in the constant field approximation using the formulae for the synchrotron radiation. The numerical results are in agreement with the experimental results. An experimental arrangement is proposed for obtaining and monitoring linearly polarized  $\gamma$ -quanta beams with energies 10-200 GeV.

With the help of Monte Carlo simulations in the second chapter it is shown that the x-ray transition radiation (XTR) detectors working in the mode of characteristic radiation can be used for particle identification in energy region higher then the region available at present to the XTR detectors. In the last part of this chapter the spectral and angular distributions of the coherent XTR produced by modulated electron beams are calculated and it is shown that one can use such coherent XTR for the measurement of the microbunching parameters necessary for advanced particle acceleration and x-ray beam production methods.

In the third chapter the spontaneous and stimulated radiation of particles produced in crystalline and nanotube undulators is investigated taking into account the influence of the medium polarization as well as the parameters of the particle beam and undulators. As the numerical calculations show the intensity of such radiation exceeds the intensity of usual undulator and channeling radiation in x-ray region. This radiation can be studied with the help of low intensity positron beams with energies higher than 200 MeV which will be obtained at Yerevan synchrotron.

