

Р-837

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1 - 12984

РУЖИЧКА Ян

СИСТЕМА ДИСПЛЕЙНОГО КОНТРОЛЯ
ПРОЦЕССА АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
ФИЛЬМОВОЙ ИНФОРМАЦИИ
С МАГНИТНОГО ИСКРОВОГО СПЕКТРОМЕТРА ОИЯИ
И
РАСЧЕТЫ НЕКОТОРЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
ОПТИЧЕСКОГО ПЕРЕХОДНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Специальность 01.04.01 - экспериментальная физика
Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1979

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем
Объединенного института ядерных исследований

Научные руководители:

кандидат физико-математических наук

Олег Антонович
Займидорога,

кандидат физико-математических наук

Валентин Петрович
Зрелов.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук
профессор

Борис Михайлович
Болотовский,

кандидат физико-математических наук

Александр Андреевич
Карлов.

Ведущее научно-исследовательское учреждение:
Институт физики высоких энергий, Серпухов.

Автореферат разослан "21" декабря 1979 г.

Защита диссертации состоится " " января 1980 г.
в " " часов на заседании Специализированного совета
Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ, г. Дубна, Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета
кандидат физико-математических
наук

Ю.А. Батусов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

В диссертацию вошли результаты двух законченных научно-исследовательских работ, которые автор выполнял на протяжении последних 6-7 лет. В соответствии с этим она состоит из двух частей:

I. СИСТЕМА ДИСПЛЕЙНОГО КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССА АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ФИЛЬМОВОЙ ИНФОРМАЦИИ С МАГНИТНОГО ИСКРОВОГО СПЕКТРОМЕТРА ОИЯИ.

II. РАСЧЕТЫ НЕКОТОРЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИЧЕСКОГО ПЕРЕХОДНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ.

I ЧАСТЬ РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В 1967-74 гг. в ОИЯИ в Дубне была спроектирована и введена в эксплуатацию крупная базовая установка - пятиметровый магнитный искровой спектрометр (МИС)^{1/}. Установка использовалась при проведении широкого круга исследований на крупнейшем в СССР ускорителе протонов - синхротроне на энергии 70 ГэВ в Серпухове. В течение 1974-77 гг. в рамках пятого совместного эксперимента ОИЯИ-ИФВЗ-ЦЕРН^{2/} на спектрометре МИС были проведены эксперименты для исследования: когерентного образования тяжелых бозонных систем; множественного рождения заряженных частиц; рассеяния назад и других процессов. Общая статистика полученной в этом эксперименте информации составила 1,2 млн стереофотографий.

Относительно малый процент посторонней информации на снимках со спектрометра МИС (что обусловлено высоким качеством селекции при наборе данных) позволил избрать способ измерения и обработки снимков с автоматическим опознаванием изображений. Используемая автоматическая система не предусматривала предварительного просмотра данных.

Обычно на практике применяется другой способ обработки फिल्मовой информации с трековых детекторов, предусматривающий предварительный просмотр данных, измерение масок, вершин событий и т.п. Применение автоматического способа распознавания событий позволяет сильно сократить сроки обработки большого экспериментального материала и приблизить время получения основных физических результатов. Следует отметить, что использование

автоматического способа распознавания образов физических событий на снимках в таких масштабах проведено впервые в практике экспериментов с фильмовым съемом информации, выполненных на ускорителях СССР.

Однако автоматический способ распознавания образов обуславливает высокие требования к качеству измерений, точности и эффективности работы как физического детектора, так и сканирующего автомата. При автоматических измерениях необходимо выбирать оптимальные параметры сканирования с тем, чтобы удовлетворить противоречивым требованиям. С одной стороны, яркость изображения отдельных искр может различаться в десятки раз и сильно зависит от множественности события, что требует низкого уровня дискриминации. Произведенная классификация искр показала, что ~17% искр на снимках с МИС относятся к категории искр со слабой плотностью изображения. С другой стороны, снижение уровня дискриминации приводит к увеличению фоновой загрузки и ухудшению отношения полезной информации к фону. В связи с этим возрастает вероятность образования ложных искр.

Указанные трудности являются главной отличительной чертой измерения снимков с искровых камер и специфической особенностью обработки снимков при автоматическом сканировании и автоматическом распознавании образов.

Эффективным способом измерения снимков с МИС оказалось сканирование на НРД. Однако специфика и сложность снимков потребовали создания необходимого математического обеспечения для управления автоматическим процессом сканирования и проведения первичной обработки.

Ввиду того, что это математическое обеспечение создавалось в предположении минимального участия человека в измерительном процессе, весьма важным являлось установление эффективного контроля как за выполнением отдельных алгоритмов программ, так и за процессом измерения и первичной обработки в целом. Для достижения этой цели был использован графический дисплей.

Введение нового способа контакта человека с ЭВМ с помощью графического дисплея предоставляет нам принципиально новые возможности для решения многих сложных задач прикладной физики. В настоящее время дисплеи нашли свое применение при работе практически на всех этапах физического эксперимента. Их используют при решении таких задач, как проектирование новых установок, моделирова-

ние эксперимента и программ обработки данных, настройка экспериментальной аппаратуры, управление аппаратурой и наблюдение за результатами эксперимента и т.п.^{/3/}. Все более широкое применение получают дисплеи при решении разнообразных задач, связанных с измерением и обработкой снимков, получаемых с трековых детекторов в экспериментах физики высоких энергий^{/4-10/}. Дисплеи используют с целью создания условий для активного вмешательства человека в процесс автоматической обработки, соединения таких качеств ЭВМ, как быстродействие, способность решать сложные задачи, с творческими возможностями человека. Использование дисплея позволяет уменьшить потери информации, повысить эффективность и качество ее обработки. Применение дисплея к решению различных задач автоматической обработки данных в условиях сложного физического эксперимента представляет поэтому весьма актуальную задачу.

Цель работы. Перед автором диссертации была поставлена задача применения дисплея для контроля и анализа отдельных этапов автоматической обработки снимков с МИС – от измерения снимков на автомате НРД до проведения реконструкции событий в пространстве с целью достижения высокой эффективности измерений и обработки, в том числе и многолучевых событий.

Дисплей должен был обеспечить возможность последовательного наблюдения и контроля за результатами отдельных этапов обработки.

Система математического обеспечения обработки снимков с МИС создавалась в предположении проведения измерений без предварительного просмотра фильмовой информации в режиме автоматического опознавания образов. Поэтому перед автором стояла задача разработки и создания такого специализированного математического обеспечения дисплея, которое позволяло бы не только осуществлять контроль за результатами, но и проводить графический анализ разнообразных функций отдельных этапов обработки (проверять правильность работы алгоритмов распознавания образов, фильтрации треков, реперов и т.п.).

Поскольку система математического обеспечения измерений и первичной обработки снимков с МИС создавалась почти одновременно с комплексом дисплейных программ, предполагалось использовать дисплей также в целях ускорения разработки, отладки и внедрения в практику этой системы.

Научная новизна

Научная новизна состоит в создании математического обеспечения системы дисплейного контроля, предназначенной для совместной работы с автоматической системой измерений на сканирующем автомате НРД и обеспечивающей анализ данных, полученных со снимков с большого искрового спектрометра, на всех этапах первичной обработки. Особенностью созданного комплекса программ является возможность вывода на экран дисплея изображений снимков в автоматическом режиме высвечивания, позволившего вести совместную работу дисплея и НРД в реальном масштабе времени.

Практическая ценность

В настоящее время большое количество информации, полученной в сеансах МИС, находится на стадии обработки и анализа в ОИЯИ и в физических центрах Италии^{11/12}. Система дисплейного контроля внедрена в процесс автоматической обработки данных с МИС в ОИЯИ.

Структура созданного математического обеспечения дисплея не привязана жестко к конкретному эксперименту МИС. Математическое обеспечение имеет модульную структуру, что позволяет сравнительно легко перестраиваться на обработку новых данных (в том числе и данных других экспериментов).

Разработанная автором практическая система дисплейного контроля, действующая совместно с автоматической системой измерения на сканирующем автомате НРД, позволила значительно повысить надежность измерений, обеспечила высокую эффективность и качество данных автоматического распознавания образов.

Публикации. Первая часть диссертации написана по материалам шести работ, опубликованных в виде сообщений ОИЯИ/13-18/.

Объем работы. Первая часть работы состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы. Содержание работы изложено на 56 страницах. В эту часть диссертации входят 34 рисунка.

Библиографический список состоит из 27 наименований. Общий объем первой части диссертации составляет 83 страницы.

Содержание работы

Глава I. Примеры использования дисплея в обработке фоновой информации^{14-10/} показывают, что создание дисплейной системы существенным образом зависит от ряда следующих факторов:

1. Вида трекового детектора, применяемого в данном физическом эксперименте (пузырьковая камера, искровой спектрометр и т.п.).

2. Физической задачи, решаемой в эксперименте, и сложности изображений на снимках с трекового детектора.

3. Вида измерительного устройства, применяемого для перевода изображений на фотопленках в цифровую форму, и доли участия человека в измерительном процессе (полуавтоматы, автоматы, работающие с управлением по маске, автоматы с минимальным участием человека в измерительном процессе).

4. Доступных технических средств (дисплея с его базовым математическим обеспечением, ЭВМ).

В главе I дана характеристика исходных данных, определяющих в значительной степени разработку дисплейной системы МИС. Приводится описание установки МИС, способа получения и фотографического съема информации. Сформулирована физическая задача, решаемая на этой установке. Приведен пример типичных снимков события. Описан процесс обмера и первичной обработки. Даны необходимые сведения об использованных технических средствах: ЭВМ, дисплея со световым карандашом и его базового математического обеспечения.

В главе 2 изложены принципы и описаны возможности созданного автором специализированного математического обеспечения дисплея, предназначенного для наблюдения и контроля за обработкой данных с МИС.

На рис. I приведена блок-схема использования дисплея на различных этапах обработки снимков с МИС. Как видно из рисунка, дисплей может применяться на следующих четырех этапах первичной обработки данных: на этапе измерений, проводимых на автомате НРД; на этапе фильтрации данных с НРД; при сборке проекций - перед входом в программу геометрической реконструкции событий (программа РОМЕО); на этапе измерений, проводимых на полуавтоматах ПУОС. Для каждого этапа обработки создавалось отдельное, специализированное обеспечение дисплея. Автором были созданы четыре программных комплекса: "ДИСПЛЕЙ-НРД" (DSP - NPD); "ДИСПЛЕЙ-ФИЛЬТР" (DSP - FLTR); "ДИСПЛЕЙ-РОМЕО" (DSP - RM) и "ДИСПЛЕЙ-ПУОС" (DSP - PS), обеспечивающие вывод численной информации на экран дисплея в процессе вышеуказанных этапов обработки.

Общая структура программного обеспечения представлена на

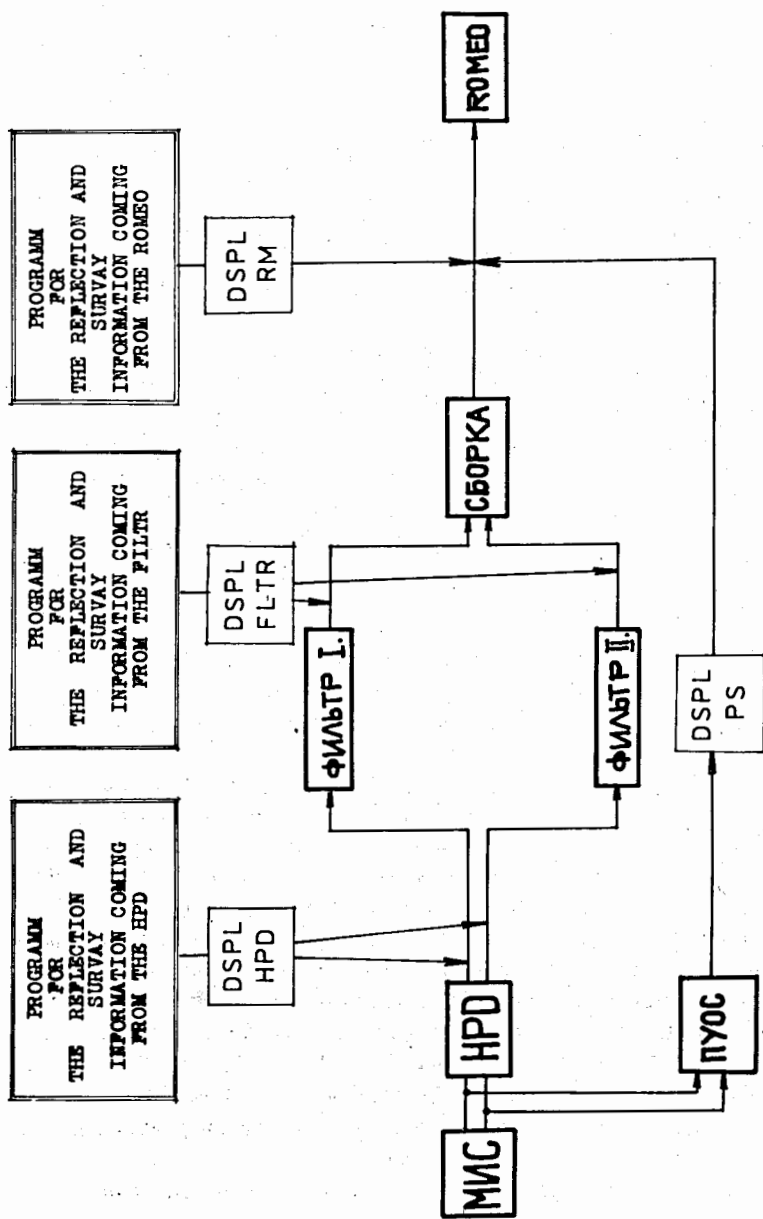


Рис.1. Включение дисплея в процесс автоматической обработки снимков с МИС.

рис.2. На этой блок-схеме можно выделить три основных части: управляющую часть (осуществляет управление работой всего программного комплекса); исполнительную часть (формирование в памяти ЭВМ изображения снимка, различных преобразований над ним, выдача изображения на экран и др.); аппарат настройки на заданные условия работы (работа с таблицей подбора режимов и параметров).

Работа пользователя заключается в выполнении отдельных инструкций или их набора с помощью светового карандаша и клавиатуры пультного телетайпа ЭВМ.

Предоставляемые программами возможности, такие, как: полное управление магнитной лентой, содержащей входные данные; формирование изображения кадра в подходящем виде для проводимого просмотра; использование разных режимов работы (отбор треков по искрам, событий - по заданной системе признаков с последующей записью этой информации на магнитную ленту); сравнение с первоначальной информацией и др., - полностью удовлетворяли всем требованиям, возникающим в процессе контроля и анализа результатов первичной обработки данных с МИС.

В главе 3 демонстрируются результаты работы дисплейной системы МИС на всех четырех этапах первичной обработки данных. Рис.3 а,б,в иллюстрируют работу дисплея на трех разных этапах первичной обработки.

Во время массовых измерений снимков с МИС дисплей привлекался в случаях внезапного ухудшения рабочего режима (таких, как трудности при поиске реперных крестов, постоянное пропадание искр в определенных камерах) или в случаях различных сбоев аппаратуры для быстрого выяснения их причин. Дисплей успешно привлекался для контроля процесса сканирования, контроля качества данных, поступающих из НРД, для быстрого обнаружения и устранения возможных систематических ошибок. На этапе фильтрации данных дисплей позволял проводить быструю настройку программ фильтрации, т.к. результаты и входные данные контролировались одновременно. С помощью дисплея проводился контроль качества фильтрации данных и распознавания образов. Кроме того, на этапе подготовки данных к геометрической реконструкции дисплей был успешно применен для определения точностных характеристик спектрометра.

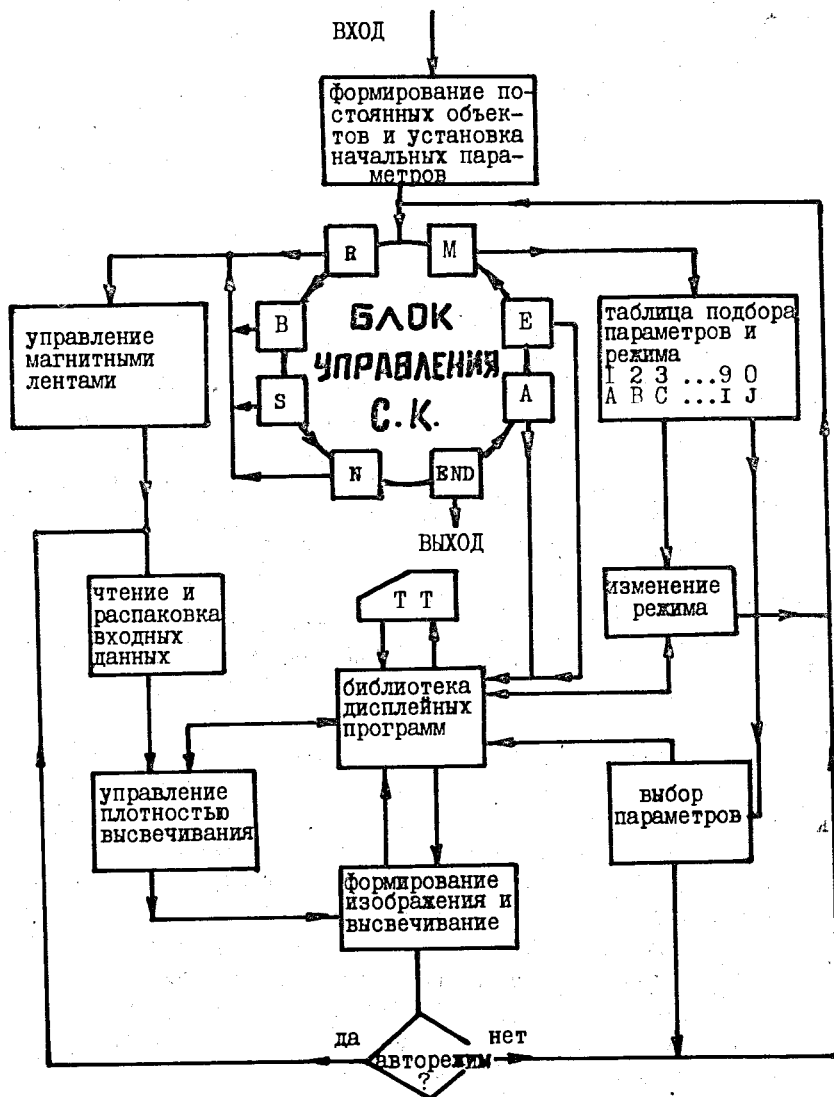
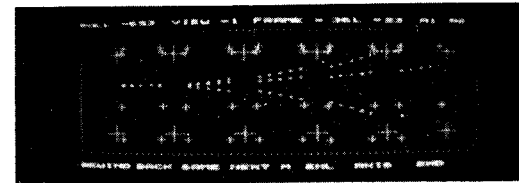


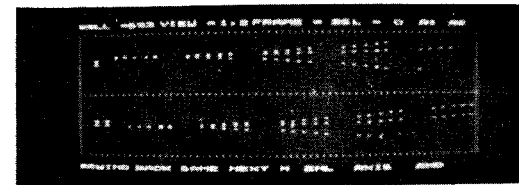
Рис.2. Общая структура программного обеспечения.



а/



б/



в/

Рис.3. а/ Первая проекция кадра № 36 пленки № 693, реконструированного по данным с ММС при помощи программы "ДИСПЛЕЙ-НРД".
 б/ Результат фильтрации. Изображение сформировано программой "ДИСПЛЕЙ-ФИЛЬТР".
 в/ Обе проекции кадра № 36, высвеченные одновременно при помощи программы "ДИСПЛЕЙ-РОМБО".

Созданное математическое обеспечение благодаря его универсальности и блочной структуре легко настраивается и приспособливается к обработке данных не только с установки МИС. В диссертации приведены примеры вывода на экран дисплея информации, полученной при обработке на НРД и полуавтомате ПУОС снимков с пузырьковых камер ЦЕРНа, "Людмила" и 2-метровой пропановой камеры ОИЯИ.

В заключении к первой части диссертации сформулированы основные результаты этой части работы.

Основным результатом первой части диссертации является разработка и создание математического обеспечения системы дисплейного контроля, позволяющей проводить анализ данных автоматического измерения снимков с МИС на всех этапах первичной обработки^{/13,14/}, а также ввод этой системы в эксплуатацию. В процессе проведения этой работы автором был решен ряд следующих проблем, имеющих самостоятельное значение:

- 1) осуществлен режим одновременной работы дисплея и сканирующего автомата НРД при использовании двух ЭВМ^{/15/};
- 2) осуществлен режим активной работы дисплея, использованный для снижения величины фона при определении точностных характеристик спектрометра^{/16,17/};
- 3) осуществлен специальный режим работы ЭВМ, обеспечивающий редактирование текстов программ и программных комплексов с пультового телетайпа ЭВМ^{/18/}.

2 ЧАСТЬ РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Переходное излучение (ПИ), возникающее при пересечении заряженной частицей границы раздела двух сред с различными диэлектрическими свойствами ϵ_1 и ϵ_2 ($\epsilon_1 \neq \epsilon_2$) было предсказано более тридцати лет тому назад Гинзбургом и Франком^{/19/}. Ими было показано, что интенсивность ПИ в оптическом диапазоне частот, испущенного "назад", растет примерно как $\ln \lambda$. В 1959 году Гарибян^{/20/} получил формулы для вычисления интенсивности ПИ, испущенного "вперед", и впервые обратил внимание на то, что ПИ "вперед" содержит в себе также и рентгеновскую часть спектра. Причем интенсивность рентгеновского ПИ растет линейно с энергией.

Сейчас уже планируются ускорители протонов на сверхвысокие энергии (более 1000 ГэВ). Для проведения физических экспериментов на этих ускорителях необходимы детекторы, способные регистрировать и различать частицы таких сверхвысоких энергий. В связи с линейной зависимостью интенсивности излучения от энергии частицы, для этой цели весьма перспективны детекторы, созданные на базе ПИ. На Международном симпозиуме по переходному излучению частиц высоких энергий, который состоялся в Ереване в 1977 г.^{/21/}, уже были доложены результаты первого эксперимента, использующего детекторы ПИ для регистрации продуктов реакции $p + p \rightarrow e^+e^- + \dots$. Этот эксперимент проводился на ускорителе со встречными пучками протонов в ЦЕРНе^{/22/}.

Детекторы ПИ применяются и для исследований в космических лучах. На космической станции Арагац Ереванского физического института на высоте 3200 м собрана установка для исследования адронной компоненты космических лучей и изучения взаимодействий пионов и протонов с различными ядрами при энергиях выше 500 ГэВ^{/23,24/}. Основной частью этой установки является детектор рентгеновского ПИ с общей площадью 9 м².

Оптическое ПИ пока не используется для регистрации отдельных заряженных частиц. Тем не менее, как показано в работах Вардского^{/25,26,27/}, оно может дать ценные сведения о параметрах пучков частиц. Оптическая область частот ПИ представляет в настоящее время большой интерес с физической точки зрения. Недавно впервые экспериментально наблюдалась интерференция ПИ, возникающего при наклонном падении электронов на две границы раздела^{/25/}. Известно, что интерференцию излучения Вавилова-Черенкова, например от двух радиаторов, до сих пор наблюдать не удалось. Интерес к ПИ в последние годы сильно возрос. Есть все основания считать, что счетчики, созданные на базе ПИ, в скором будущем будут широко использоваться в физике частиц высоких энергий как на ускорителях, так и в космических лучах. Поэтому вопросы, связанные со всесторонним изучением свойств ПИ, в настоящее время весьма актуальны.

Цель работ. Основная задача второй части диссертационной работы состояла в исследовании (расчетным путем) характеристик оптического ПИ в случае наклонного падения частиц на границу среда-вакуум. Хотя соответствующие формулы ПИ известны уже

давно^{/28/}, из-за их громоздкости подробный численный анализ проводился только в частном случае для перпендикулярного падения частиц на границу раздела металл-вакуум^{/29/}. Уровень вычислительной техники в настоящее время позволяет провести полный численный анализ формул ПИ. Автор продолжил исследования, проведенные в работе^{/29/}, с целью выявления основных характеристик оптического ПИ, возникающего при наклонном падении частиц на плоскую границу двух полубесконечных сред, чтобы получить представление о свойствах ПИ, предсказываемых теорией в более общем случае.

Научная новизна

Научная новизна работы состоит в следующем:

1. Проведены расчеты основных характеристик оптического ПИ, возникающего при наклонном падении частиц на границу раздела сред металл-вакуум и направленного в вакуум.

2. На основе общих формул ПИ рассмотрены свойства излучения, возникающего при падении заряженных частиц на границу двух сред, из которых ни одна не является вакуумом ($\epsilon_1 \neq \epsilon_2 \neq 1$).

3. Рассчитаны и проанализированы свойства ПИ, возникающего на границе прозрачный диэлектрик - вакуум при пересечении ее частицами с энергией вблизи порога возникновения излучения Вавилова-Черенкова.

4. Рассмотрены основные свойства ПИ "вперед" и "назад", возникающего на границе металл-вакуум и направленного внутрь металла.

Практическая ценность

Расчеты характеристик ПИ проведены в широком диапазоне энергий (от $\gamma = 1,01$ до $\gamma = 5,88 \times 10^4$) для ряда ускорителей, таких, как: синхроциклотрон на 660 МэВ в Дубне; синхротрон на 70 ГэВ в Серпухове; синхротрон на 500 ГэВ в Батавии (ША); микротрон на 13,5 МэВ в Дубне; линейный ускоритель электронов на 2,5 ГэВ в Харькове; электронный синхротрон на 6 ГэВ в Ереване. Результаты проведенных расчетов могут быть применены при планировании и проведении экспериментов на этих, а также будущих ускорителях на высокие энергии, вплоть до энергий протонов 1000 ГэВ и электронов - 30 ГэВ.

Апробация работы

Основные результаты второй части диссертации содержатся в работах^{/30-35/}, опубликованных в виде сообщений и препринтов ОИЯИ, а также в виде статей в журнале Nucl. Instr. and Methods. Вместе с^{/29/} они представляют полный цикл работ, целиком посвященный свойствам оптического ПИ. Цикл состоит из семи работ, в шести из которых автор диссертации принимал непосредственное участие.

Объем работы

Вторая часть диссертации состоит из введения, четырех глав и списка литературы. Каждая глава снабжена кратким заключением, в котором в сжатой форме приведены основные результаты и выводы, вытекающие из материала, представленного в данной главе. Содержание второй части диссертации изложено на 63 страницах. Практически все результаты расчетов представлены в виде рисунков (72 рисунка). Библиографический список содержит 54 наименования. Общий объем этой части диссертации составил 118 страниц.

Содержание работы

В главе I приведены результаты расчетов основных характеристик переходного излучения в видимой части спектра для протонов с энергией 660 МэВ ($\gamma = 1,7$), наклонно падающих на толстую пластинку никеля, находящуюся в вакууме. Угловые распределения ПИ для различных углов наклона частицы ψ даны в трехмерных представлениях (см. рис.4). Получены видоизмененные формулы, упрощающие расчеты различных характеристик ПИ, возникающего при наклонном падении частиц высоких энергий. Для широкого диапазона γ (от $\gamma = 27,5$ до $\gamma = 5,88 \times 10^4$) рассчитаны угловые распределения оптического ПИ при падении частиц под углом $\psi = 45^\circ$ на плоскую границу никель-вакуум. Расчеты подтверждают теоретические предсказания о том, что при больших γ значительная часть ПИ "вперед" сосредоточивается около направления скорости частицы в узком конусе с раствором $2\theta \sim 2/\gamma$. ПИ "назад" собирается в узкий конус с осью, являющейся зеркальным отражением вектора скорости в границе раздела сред. Эта часть ПИ растет с энергией, как $\sim \ln \gamma$. Кроме узконаправленных

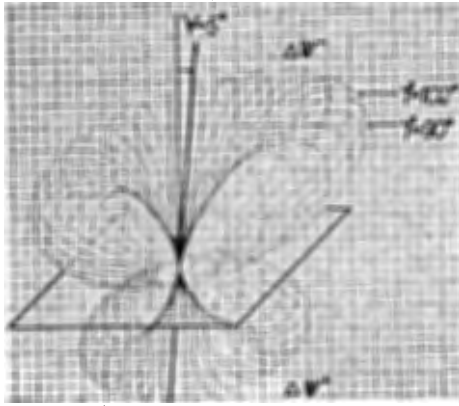


Рис. 4. Угловое распределение интенсивности ПИ, испущенного "вперед" (W) и "назад" (W') при падении протонов с энергией 660 МэВ ($\gamma = 1,7$) на плоскую пластинку никеля под углом $\psi = 5^\circ$.

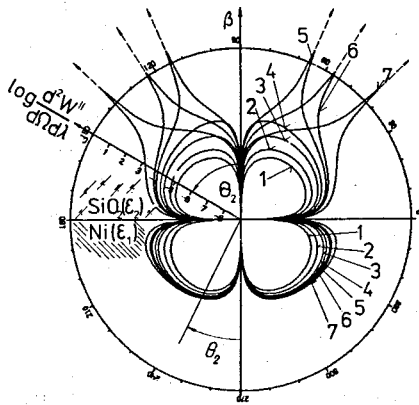


Рис. 5. Вид угловых распределений квантов ПИ и ГИ, испущенных "вперед" и "назад" на плоской границе $N_2 - SiO_2$ при $\psi = 0^\circ$ и различных γ . 1- $\gamma = 1,05$; 2- $\gamma = 1,1$; 3- $\gamma = 1,2$; 4- $\gamma = 1,3$; 5- $\gamma = 1,5$; 6- $\gamma = 1,7$; 7- $\gamma = 27,5$.

конусов "вперед" и "назад", часть ПИ имеет широкое угловое распределение ($\pm 45^\circ$), интенсивность которого практически не зависит от γ . Полное число фотонов ПИ, направленного как "вперед", так и "назад", имеет зависимость $\sim \ln \gamma$ начиная с $\gamma \approx 10^2$.

В главе 2 впервые приведены и проанализированы новые формулы для переходного излучения, возникающего при пролете частиц через плоскую границу раздела сред с отличными от нуля диэлектрическими проницаемостями (никель-кварц). Расчетным путем показано, что излучение, испущенное в прозрачный диэлектрик, обладает свойствами как переходного излучения, так и излучения Вавилова-Черенкова, т.е. оно является смешанным - гибридным излучением (ГИ). ГИ, как и излучение Вавилова-Черенкова, носит пороговый характер и возникает при скоростях, превышающих пороговую скорость $\beta = \sqrt{1 - \text{Re} \epsilon_i / |\epsilon_i|}$. В то же время оно имеет широкое, как и переходное излучение, угловое распределение (см. рис. 5). Максимум интенсивности ГИ смещается по углу в зависимости от скорости частицы β в соответствии с формулой $\cos \theta_{max} = \sqrt{1 - \text{Re} \epsilon_i / |\epsilon_i|} / \beta$. Полная интенсивность ГИ в зависимости от γ также ведет себя подобно черенковскому излучению, т.е. насыщается при высоких γ . Имеет место сильное влияние гибридного излучения, возникающего в одной среде, на свойства ГИ в другой среде.

В главе 3 подробно проанализированы свойства ПИ, возникающего при пересечении заряженной частицей границы прозрачный диэлектрик - вакуум, что позволило выявить интерференционные эффекты между переходным и черенковским излучениями в чистом виде. Выявлен необычный вид углового распределения (ПИ) вблизи порога возникновения излучения Вавилова-Черенкова (распределение с минимумом; см. рис. 6). Ход полной интенсивности ПИ, вследствие наличия минимумов в угловых распределениях ПИ, имеет также особенность в допороговой области (полная интенсивность уменьшается с ростом γ). На основе формул ПИ в амплитудном представлении показано, что суммарное излучение, испущенное в среде частицей с $\beta > n^2$, есть результат интерференции трех видов излучений: переходного от реального заряда, гибридного от реального заряда и переходного (гибридного) от заряда изображения.

В главе 4 приводятся расчеты угловых распределений переходного излучения, возникающего на границе вакуум-металл и на-

равленного внутрь металла (см. рис.7). Подробно рассмотрены свойства излучения Вавилова-Черенкова в сильно поглощающей среде, такие, как: его направленность, пороговый характер и поляризация излучения. Обращается внимание на существенный вклад излучения Вавилова-Черенкова, проявляющийся в экспериментах по оптическому переходному излучению. В частности, дается объяснение совпадению экспериментальных и теоретических характеристик ПИ при систематическом превышении уровней интенсивностей излучения; выдвигается новое объяснение появления перпендикулярной компоненты; обосновывается эмпирическое правило $w'' \sim w'$, применяемое при сравнении теории с экспериментом по оптическому ПИ; дается объяснение разных уровней фона при измерениях интенсивности ПИ "вперед" и "назад". На основании эффекта Вавилова-Черенкова дается новое объяснение аномалии в спектре ПИ, наблюдаемой в случае скользящего падения частиц на поверхность серебра.

Основные результаты, полученные во второй части диссертации

Основным результатом второй части диссертации является то, что в диапазоне от $\gamma = 1,01$ до $\gamma = 5,88 \times 10^4$, достигаемых на современных ускорителях электронов и протонов, проведен широкий круг расчетов по исследованию основных свойств оптического переходного излучения "вперед" и "назад", возникающего при перпендикулярном и наклонном падении частиц на границу раздела сред с различными диэлектрическими свойствами. В частности:

1. Впервые выполнены обширные расчеты основных свойств оптического переходного излучения, возникающего при наклонном падении частиц на поверхность металл-вакуум. Результаты расчетов угловых распределений приведены в трехмерных представлениях, позволяющих наглядно проследить за их пространственным изменением в зависимости от угла наклона частицы ψ .

2. На основе анализа общих формул ПИ, приведенных впервые, выявлено гибридное излучение, возникающее при пересечении частицей плоской границы двух различных сред ($\epsilon_1 \neq \epsilon_2 \neq 1$), включающее в себя черты как ПИ, так и излучения Вавилова-Черенкова.

3. Впервые выявлены интерференционные эффекты в ПИ, проявляющиеся в виде глубоких минимумов в угловых распределениях. Выявленные особенности возникают в узкой области энергий частицы вблизи порога возникновения излучения Вавилова-Черенкова.

4. На основе общих формул ПИ впервые проведены расчеты угловых распределений ПИ, возникающего на границе металл-вакуум и направленного внутрь различных металлов. Подробно рассмотрены свойства излучения Вавилова-Черенкова, возникающего внутри металлов, и обращено внимание на его существенный вклад, проявляющийся в экспериментах по оптическому ПИ.

5. Дается объяснение аномалии в спектре ПИ, наблюдаемой при скользящем падении частиц на поверхность серебра, на основе излучения Вавилова-Черенкова, возникающего в поглощающей среде.

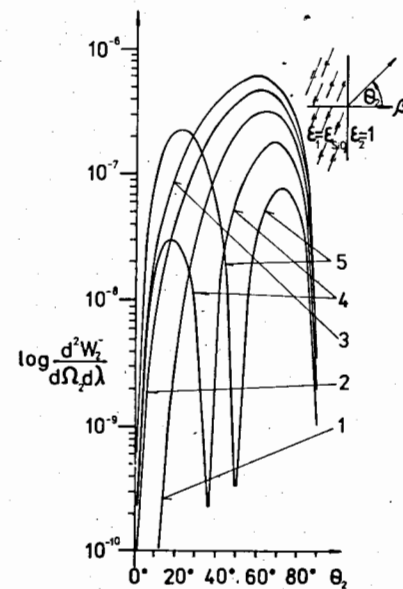


Рис.6 Угловые распределения квантов ПИ в вакууме для границы кварц-вакуум (т.е. испущенных "вперед") при допороговых γ : 1- $\gamma=1,16$; 2- $\gamma=1,14$; 3- $\gamma=1,12$; 4- $\gamma=1,18$; 5- $\gamma=1,20$.

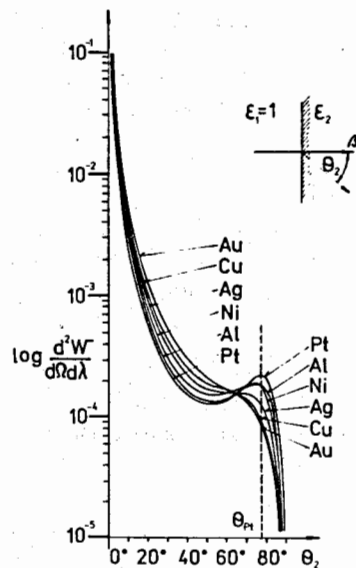


Рис.7 Угловые распределения интенсивности ПИ "вперед", возникающего внутри металлов Au, Cu, Ag, Ni, Al и Pt на границе вакуум-металл, для длины волн $\lambda = 5500 \text{ \AA}$ и $\chi = 27,5$. Пунктирной линией показано положение угла излучения Вавилова-Черенкова, возникающего в Pt при $\chi = 27,5$ и $\lambda = 5500 \text{ \AA}$.

Л и т е р а т у р а (к первой части)

1. Р.Анджеек и др. ОИЯИ, 13-3588, Дубна, 1967.
2. А.А.Туаркин et al. Proposal to study the coherent $3\pi, 5\pi$ and $K\pi\pi$ production on nuclei at Serpukhov accelerator. FN1/Com -73/32, 1973.
3. А.А.Карлов. Графические дисплеи в экспериментальной физике. В кн: "ЭВМ в ядерных исследованиях". Международная школа, Ташкент, 1974, ОИЯИ, Д 10, II-8450, Дубна, 1975, с.165.
4. International Conference on Data Handling Systems in High Energy Physics, Cambridge, 1970.
5. А.И.Ефимова и др. ПТЭ, 4, 1971, с.91-96.

6. В.В.Журкин и др. В кн: "Труды Международного симпозиума по вопросам автоматической обработки данных с пузырьковых и искровых камер". ДИО-6142, Дубна, 1971, с.158.
7. А.А.Воровикov et al. Preprint ИЯЭ, SPK-73/66, Serpukhov, 1973.
8. Г.П.Стук, Э.В.Шафранова. Сообщение ОИЯИ, IO-9679, Дубна, 1976.
9. А.А.Воровикov et al. Preprint ИЯЭ, ОИЯЭ-77/56, Serpukhov, 1977.
10. Б.Нэгруй, Г.А.Ососков. В кн: "Программирование и математические методы решения физических задач", ОИЯИ, ДИО, II-II264, Дубна, 1978, с.460.
11. P. Bacilieri et al. Preprint INSITUTO NATIONALE DI FISICA NUCLEARE, INFN/TC-78/8, 1978.
12. P. Bacilieri, A. Ghiselli and M. Masetti. Nucl. Instr. and Meth., 135, 1976, p.427-433.
Работы, положенные в основу I части диссертации
13. С.Г.Бадалян, Н.Н.Говорун, Н.Д.Дикусар, О.А.Займидорога, Я.Ружичка. Сообщение ОИЯИ, IO-IO338, Дубна, 1976.
14. Н.Д.Дикусар, Я.Ружичка. Сообщение ОИЯИ, IO-II526, Дубна, 1978.
15. Я.Ружичка, М.Р.Харьязов, В.Х.Хоромская. Сообщение ОИЯИ, IO-II214, Дубна, 1978.
16. В.В.Вишняков, А.Г.Гальперин, А.Дирнер, В.Г.Иванов, И.Л.Писарев, Я.Ружичка, Т.А.Стриж. Сообщение ОИЯИ, PI-II321, Дубна, 1978.
17. В.В.Вишняков, А.Г.Гальперин, И.Л.Писарев, Я.Ружичка. Сообщение ОИЯИ, PI-II538, Дубна, 1978.
18. Ф.Которобай, Я.Ружичка, Ю.В.Столярский. Сообщение ОИЯИ, IO-II214, Дубна, 1978.

Л и т е р а т у р а (ко второй части)

19. В.Л.Гинзбург, И.М.Франк. ЖЭТФ, т.16, вып.1, с.15-28, 1946.
20. Г.М.Гарибян. ЖЭТФ, 37, 527, 1959.
21. Труды Международного симпозиума по переходному излучению частиц высоких энергий. Изд. ЕФИ, Ереван, 1977.
22. В.Виллис. В кн: "Труды международного симпозиума по переходному излучению частиц высоких энергий", ЕФИ, Ереван, 1977, с.245.
23. В.В.Авокян и др. Научное сообщение ЕФИ-700, 1974.
24. В.В.Авокян и др. Известия АН СССР, №5, 1058(1976).

25. Л.Вартски. В кн: "Труды международного симпозиума по переходному излучению частиц высоких энергий", ЕФФИ, Ереван, 1977, с.561.
26. L.Wartski et al. Journal of Appl.Phys., v.46, No 8, 1975, p.3644-3653.
27. L.Wartski, J.Marcou and S.Roland. IEEE Transactions on Nuclear Science, vol. NS-20, No 3, 1973.
28. В.Е.Пафомов. Труды ФИАН(Ядерная физика и взаимодействие частиц с веществом), 44, 28, 1969.
29. V.P.Zrelov et al. Nucl. Instr. and Meth., 74, 61-69, 1969. Препринт ОИЯИ, P2-4058, Дубна, 1968.
- Работы, положенные в основу второй части
30. V.P.Zrelov, P.Pavlovič, J.Ružička. Nuclear Instr. and Meth. v.130, 1975, p.513-525.
В.П.Зрелов, П.Павлович, Я.Ружичка. Препринт ОИЯИ, P1-7956, Дубна, 1974.
31. V.P.Zrelov, J.Ružička. Nuclear Instr. and Methods, v.151, 1978, p.395-403.
В.П.Зрелов, Я.Ружичка. Препринт ОИЯИ, P1-10915, Дубна, 1977.
32. V.P.Zrelov, J.Ružička. Nuclear Instr. and Methods, 160, 1979, p.327-336.
В.П.Зрелов, Я.Ружичка. Препринт ОИЯИ, P1-11764, Дубна, 1978.
33. V.P.Zrelov, J.Ružička. Nuclear Instr. and Methods, 165, 1979, p.91-102.
В.П.Зрелов, Я. Ружичка. Препринт ОИЯИ, P2-11962, Дубна, 1978.
34. В.П.Зрелов, Я.Ружичка. Nucl. Instr.& Meth. Сообщение ОИЯИ, P1-12253, Дубна, 1979. 165, № 2, стр.307-316.
35. В.П.Зрелов, Я.Ружичка. Сообщение ОИЯИ, P1-12254, Дубна, 1979.

Рукопись поступила в издательский отдел
5 декабря 1979 года.