

## **ОТЗЫВ**

**Официального оппонента на диссертационную работу  
Кубанкина Александра Сергеевича  
«НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЭНЕРГОДИСПЕРСИОННОЙ  
РЕНТГЕНОДИАГНОСТИКИ АТОМНОЙ СТРУКТУРЫ ВЕЩЕСТВА НА  
ОСНОВЕ ПУЧКОВ БЫСТРЫХ ЭЛЕКТРОНОВ»,  
представленную на соискание ученой степени  
доктора физико-математических наук по специальности  
01.04.07 – физика конденсированного состояния.**

Диссертационная работа посвящена экспериментальному и теоретическому исследованию процессов излучения, возникающих при взаимодействии ускоренных заряженных частиц с конденсированным веществом. В диссертации затрагиваются две актуальные проблемы: проблема разработки новых методов диагностики атомной структуры вещества и проблема разработки новых источников электромагнитного излучения в диапазоне от вакуумного ультрафиолета до рентгеновского.

Автором выносятся на защиту шесть положений, находящиеся в соответствии с тематикой исследований и поставленными задачами. Эти положения отражают основные результаты диссертационной работы, которые в совокупности представляют значимое научное исследование и по объёму и ценности соответствует диссертации на соискание учёной степени доктора физико-математических наук.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, представленных в диссертационной работе, не вызывает сомнений.

Достоверность экспериментально полученных в работе результатов обосновывается сертифицированным и откалиброванным оборудованием, достаточно малой ошибкой, обусловленной условиями проведения экспериментальных исследований. Достоверность результатов теоретической части работы, в первую

очередь, определяется аналитической формой полученных на основе апробированных методов теоретической физики результатов, что позволило совершить предельные переходы к уже известным результатам, полученным другими авторами.

Новыми являются все основные результаты, полученные в каждой из глав диссертации за исключением первой главы, в которой представлено описание экспериментальной установки, на которой были выполнены исследования. К наиболее значимым новым результатам можно отнести следующие:

Выполнено комплексное экспериментальное исследование малоизученного механизма формирования рентгеновского излучения – поляризационного тормозного излучения (ПТИ), включая измерения спектра поляризационного тормозного излучения (ПТИ) релятивистских электронов под различными углами наблюдения; показано хорошее количественное согласие измерений с теорией;

выполнены измерения спектра ПТИ в геометрии обратного рассеяния из поликристаллов, зафиксировано аномальное сужение спектральных линий когерентной составляющей ПТИ;

экспериментально исследована возможность увеличения выхода параметрического рентгеновского излучения (ПРИ) релятивистских электронов в режиме скользящего взаимодействия электронов с поверхностью кристаллической мишени в асимметричной геометрии дифракции;

предсказана и теоретически исследована возможность измерения анизотропии распределения мозаичности кристаллов на основе ПРИ релятивистских электронов в скользящей геометрии взаимодействия электронов с кристаллографической плоскостью;

предсказана и теоретически исследована возможность увеличения угловой плотности излучения Вавилова-Черенкова в режиме скользящего

взаимодействия излучающих электронов с поверхностью плоской аморфной мишени;

предсказана и теоретически исследована возможность увеличения угловой плотности переходного излучения слаборелятивистских электронов в скользящей геометрии взаимодействия электронов с плоскостью поверхности аморфной мишени.

Таким образом, диссертация содержит несколько разноплановых задач, имеющих отношение к развитию возможностей исследования атомной структуры вещества. Постановка каждой задачи, описание механизма физического процесса, методы и результаты исследования изложены в отдельных главах, содержание которых кратко представлено ниже.

Экспериментальные работы были выполнены на ускорительном комплексе «Пахра» Отдела физики высоких энергий ФИАН в Троицке. Диссертант внес основной вклад в создание современной, многофункциональной экспериментальной установки «Рентген 1», основу которой составляет микротрон с энергией ускоренных электронов 7 МэВ.

Первая глава диссертации посвящена описанию установки, ее аппаратуры и методов измерения характеристик исследуемых процессов. К заслугам соискателя следует отнести разработку методов измерения исследуемого сигнала в условиях интенсивного фона, обусловленного электромагнитными наводками, зарядовой компонентой, рентгеновским и гамма-излучением.

Экспериментальная проверка имевшейся на момент исследований теории образования ПТИ релятивистскими электронами в поликристаллах описана во второй главе. Здесь представлены абсолютные измерения спектров ПТИ из алюминия, меди и никеля, выполненные под углами 75, 83 и 90 градусов к импульсу электронов. Получено хорошее согласие экспериментальных данных и теоретических кривых, рассчитанных по созданной теории. Следует подчеркнуть,

что представленные в диссертации экспериментальные работы выполнены при ведущем участии диссертанта на всех их этапах.

В процессе исследования ПТИ был обнаружен новый эффект, который может иметь интересные приложения в диагностике атомной структуры вещества. Эффект состоит в аномальном уменьшении спектральной ширины когерентных пиков ПТИ в геометрии обратного рассеяния, когда ПТИ регистрируется в направлении противоположном направлению распространения излучающих электронов. Экспериментальному исследованию данного эффекта посвящена третья глава. Данное излучение не только было впервые зафиксировано в диссертационной работе, но и достаточно детально исследовано. В этой связи, к основным результатам можно отнести ряд впервые наблюдавшихся эффектов, на основе которых показана возможность создания принципиально нового метода исследования атомной и блочной структуры поликристаллов, имеющего потенциальные преимущества перед методами рентгеноструктурного анализа и электронной микроскопии.

Четвёртая глава посвящена исследованию возможности диагностики мозаичности кристаллов – характеристики, определяющей степень разориентации блоков кристалла относительно идеального положения. В главе представлены результаты исследования двух энергодисперсионных методов измерения мозаичности. В первом разделе главы представлены результаты экспериментальной проверки теории, предсказывающей возможность измерения двумерной функции распределения блоков мозаичного кристалла по углам ориентации. Во втором разделе теоретически исследуется возможность измерения анизотропии распределения мозаичности. В работе предложен оригинальный подход, основанный на измерении спектрально-угловых характеристик ПРИ релятивистских электронов, взаимодействующих с кристаллом.

Оба исследованных метода открывают новые возможности в диагностике качества структуры кристаллов.

В пятой главе представлены результаты исследования процессов, на основе которых возможно создать эффективные источники квазимонохроматического рентгеновского излучения с плавно перестраиваемой линией. Глава состоит из двух частей.

Первая часть посвящена экспериментальному исследованию возможности увеличения выхода ПРИ в условиях скользящего падения излучающих электронов на поверхность кристалла при асимметричной геометрии дифракции. Данная задача представляет несомненный интерес, поскольку ПРИ имеет узкий спектр и может плавно менять длину волны. При кажущейся простоте идеи увеличения выхода, которая обсуждалась давно, эксперимент довольно сложен и был выполнен впервые. В выполненном эксперименте убедительно зафиксирован эффект увеличения выхода, соответствующий коэффициенту 2.8. Следует подчеркнуть, что на микронных по сечению пучках современных ускорителей эффект увеличения может составить один — два порядка. Это открывает перспективу более широкого практического использования ПРИ.

Во второй части главы разработана модель источника рентгеновского излучения, основанного на многократном прохождении электронов через тонкую мишень, установленную внутри циклического ускорителя. Модель учитывает выбывание электронов из пучка по мере их прохождения через мишень и рассматривает три вида излучения — тормозное, когерентное тормозное и переходное (ПИ). Монохроматизация и плавность изменения энергии излучения достигается дифракционным фильтром.

Результаты исследования данной главы могут быть использованы для создания эффективных источников рентгеновского излучения.

В шестой главе представлены результаты теоретического исследования новых эффектов, на основе которых возможно создать эффективные источники

вакуумного ультрафиолета и мягкого рентгена. В главе рассматриваются четыре задачи.

- Теоретическое исследование эффекта Вавилова-Черенкова в области вакуумного ультрафиолета и мягкого рентгена в геометрии скользящих углов взаимодействия релятивистских электронов с плоскостью поверхности аморфной мишени. Предсказан эффект трансформации конуса излучения Вавилова-Черенкова, в рамках которого угловая плотность излучения возрастает в десятки раз. Показана возможность создания эффективного источника квазимонохроматического излучения в обсуждаемой области спектра.

- Теоретическое исследование ПИ слабoreлятивистских электронов в области вакуумного ультрафиолета вблизи углов полного внутреннего отражения излучения от плоскости поверхности аморфной мишени. В работе предсказан эффект увеличения угловой плотности ПИ, проявляющийся вблизи углов полного внешнего отражения. Эффект составляет величину порядка 10 при энергии электронов порядка 100 кэВ. Показана возможность создания эффективного широкополосного источника излучения в области вакуумного ультрафиолета.

- Теоретическое исследование параметрического механизма образования излучения в области вакуумного ультрафиолета и мягкого рентгена при взаимодействии нерелятивистских электронов с периодической многослойной структурой. Выполнен анализ вклада ПИ и дифрагированного ПИ в общий выход излучения. Показана возможность создания эффективного источника квазимонохроматического излучения с плавно перестраиваемой линией в обсуждаемой области спектра.

- Теоретическое исследование параметрического механизма образования излучения в области вакуумного ультрафиолета и мягкого рентгена в условиях реализации эффекта Вавилова-Черенкова с учётом вклада дифрагированного ПИ. Рассматриваются характеристики излучения при взаимодействии релятивистских

электронов с периодической многослойной структурой. Показано, что при реализации эффекта Вавилова-Черенкова выход параметрического механизма возрастает более чем на порядок, что открывает возможности создания эффективного источника в обсуждаемой области.

Во всех решённых задачах шестой главы выполнен анализ спектрально-угловых характеристик генерирующегося излучения и определены оптимальные условия экспериментального исследования обсуждаемых эффектов. Широкий спектр рассматриваемых задач позволяет рассчитывать на возможность создания эффективных источников вакуумного и мягкого рентгена для лабораторного использования.

В целом представленные в диссертации результаты безусловно является важным научным достижением. К достоинствам работы относятся: новизна полученных результатов; актуальность решаемых задач; возможность применения полученных результатов для решения прикладных задач.

Диссертант показал себя высококвалифицированным специалистом на всех этапах работы, от постановки задачи до написания статей и диссертации. Результаты диссертационной работы опубликованы в 28 научных статьях, доложены на 21 международной конференции, поддержаны 15 грантами различных научных фондов и программ.

Тем не менее, в работе встречаются недостатки. Так, автор иногда использует специфическую терминологию, которая может запутать или исказить смысл содержания, например: характеристика “нанодисперсность” для различных областей физики может содержать различный смысл; в работе говорится о возможном практическом применении некоторых результатов и их потенциальных преимуществах в сравнении с известными методами и устройствами, при этом отсутствует обзор современных достижений в обсуждаемых областях.

Однако сделанные замечания не являются принципиальными. Учитывая содержание работы, можно утверждать, что диссертация удовлетворяет требованиям, предъявляемым ВАК к докторским диссертациям, а ее автор А.С. Кубанкин заслуживает присуждения ему учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.07 - физика конденсированного состояния.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,

профессор

( Гришин Владислав Константинович )

Физический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова, Адрес:

119991, ГПС 1, Москва, Ленинские Горы, д 1, стр.2, Физический факультет МГУ.

Т. 939 56 35

e-mail: [vkgris@mail.ru](mailto:vkgris@mail.ru)

Подпись Гришина В.К. заверяю:

Декан Физического факультета МГУ

Профессор



( Сысоев Н.Н.)

05.03.2015



**Список публикаций официального оппонента  
Гришина Владислава Константиновича за 2010-2014 гг.**

1	Гришин В.К., Никитин Д.П. АТОМНЫЙ АНАЛОГ ФОТО-ЯДЕРНОГО КОНФИГУРАЦИОННОГО РАСЩЕПЛЕНИЯ // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2012. № 3. С. 20.
2	Гришин В.К., Никитин Д.П. ДИАГНОСТИКА ИНКАПСУЛИРОВАННЫХ В ФУЛЛЕРЕН АТОМОВ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ УСКОРЕННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ // Вестник Московского университета. Серия 3: Физика. Астрономия. 2012. № 3. С. 3-7.
3	Гришин В.К., Никитин Д.П. ПИКОВАЯ СТРУКТУРА ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СВЯЗАННЫХ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОНАХ // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2011. № 4. С. 90-93.
4	Grishin V.K., Nikitin D.P. POLARIZATION BREMSSTRAHLUNG BY FAST CHARGE ON ATOMIC BOUND ELECTRONS - ANALOG OF NUCLEAR MÖSSBAUER'S EFFECT // Nuovo Cimento della Societa Italiana di Fisica C. 2011. V. 34. № 4. P. 335-340.
5.	ПРЕДЛОЖЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ПОИСКУ И ИССЛЕДОВАНИЮ ДИФРАГИРОВАННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ КАНАЛИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ Бакланов Д.А., Внуков И.Е., Гришин В.К., Ермаков А.Н., Жандармов Ю.В., Шатохин Р.А. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2010. № 3. С. 26-36.