

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.

Актуальность выбранного направления диссертационного исследования обоснована, прежде всего, возможностью использования результатов исследований для решения актуальных прикладных задач. К таким задачам относятся: 1) разработка новых источников излучения в областях вакуумного ультрафиолета и рентгеновского излучения; 2) разработка новых методов диагностики атомной и блочной структуры вещества.

Важной особенностью диссертационной работы является проведение ряда экспериментов по изучению возможности диагностики атомной структуры поликристаллов на основе измерения спектра рентгеновского излучения, генерирующегося при взаимодействии релятивистских электронов с исследуемым веществом. Указанный подход имеет преимущества по сравнению с рентгеноструктурным анализом, являющимся в настоящее время основным лабораторным инструментом для изучения структуры вещества.

Приведенные доводы позволяют считать тему диссертационной работы А.С. Кубанкина актуальной.

Общая характеристика диссертации

В диссертационной работе соискателя исследуются новые эффекты, реализующиеся при взаимодействии ускоренных заряженных частиц с конденсированным веществом.

Диссертация состоит из Введения, 6 глав, Заключения и Списка литературы из 180 наименований. Объем работы - 221 страница, включая 73 рисунка и 1 таблицу.

Научные положения диссертационной работы достаточно чётко сформулированы и направлены на решение достаточно крупной комплексной задачи по теме исследования. Учитывая научную и прикладную значимость задач диссертационного исследования можно обоснованно утверждать об обоснованности соответствующих научных положений. Выводы, представленные в диссертационной работе, находятся в соответствии с научными положениями и темой исследований. Представленные в работе рекомендации основаны на полученных результатах и определяют возможное дальнейшее направление исследований по теме проекта.

Достоверность полученных результатов следует из апробированных методов, использовавшихся автором для решения поставленных задач. Так, экспериментальные результаты были получены на прокалиброванном оборудовании с достоверной экспериментальной и статистической ошибкой. Основу всех экспериментов составляют измерения спектра рентгеновского излучения, что было осуществлено сертифицированными полупроводниковыми детекторами. При получении теоретических результатов использовались апробированные методы теоретической физики с согласованием с известными результатами путем предельных переходов.

Научная новизна работы определяется обнаруженными новыми эффектами в области физики излучения заряженных частиц, объединёнными темой диссертационной работы. В качестве главного результата можно выделить достаточно ёмкое экспериментальное исследование поляризационного тормозного излучения (ПТИ) релятивистских электронов в поликристаллах, включающее измерения спектрально-угловых характеристик ПТИ из поликристаллов с различными структурными характеристиками. Решение данной задачи является существенным достижением в области физики заряженных частиц.

В частности, в соответствии с содержанием диссертационной работы можно выделить следующие результаты:

В **первой главе** диссертации приводится подробное описание экспериментальной установки, из которого следует, что автор не только принимал участие в разработке и адаптации данной установки для исследований по обсуждаемой тематике, но и усовершенствовал ее. Стоит отметить, что особое внимание в данном разделе исследований автор уделил борьбе с фоном, в результате чего удалось существенно повысить чувствительность измерений спектрально-угловых характеристик при слабых интенсивностях сигналов в рентгеновской области.

Во **второй главе** диссертации представлено описание экспериментов по исследованию спектрально-угловых характеристик ПТИ электронов из поликристаллических фольг. Результаты измерений спектра ПТИ представлены на рис.2-7. В данной работе удалось впервые убедительно наблюдать одновременный когерентный вклад нескольких кристаллографических плоскостей в общий выход излучения. Дополнительным важным результатом является хорошее количественное соответствие результатов экспериментов и соответствующей теории, разработанной до экспериментов.

В **третьей главе** диссертации приводится описание экспериментального исследования ПТИ, регистрируемого в направлении противоположном направлению движения излучающих электронов. Вначале приводятся результаты исследований излучения поликристаллов меди, представленные на рис.9,10. В этих экспериментах автор обнаружил новый

эффект ПТИ, заключающийся в аномальном сужении спектральных линий. При этом автор четко формулирует условие наблюдения острых пиков (стр.68). Далее автор подробно излагает методику исключения фонового излучения и приводит результаты рассеяния от фольги меди и никеля (рис.11), которые соответствуют обнаруженному новому эффекту. В заключении главы 3 автор приводит результаты обратного излучения для различных мишеней (поликристаллов: Al, Nb, Mo, Ag и W), которые представлены на рис. 13,14,15,16 и 17, которые полностью подтвердили эффект аномального сужения спектральных пиков когерентной составляющей ПТИ в геометрии обратного рассеяния

В четвёртой главе рассматриваются процессы взаимодействия пучков релятивистских электронов и рентгеновского излучения с мозаичными кристаллами. В разделе 4.1 приводятся результаты теоретического анализа возможности измерения анизотропии распределения кластеров кристалла по углам ориентации (мозаичности), основанной на измерении характеристик ПРИ релятивистских электронов. В разделе 4.2 описывается схема экспериментальной рентгеновской установки и приводятся результаты рассеяния рентгеновского излучения высокоориентированного пиролитического графита с мозаичностью 0.4 (мишень 1) и 0.8 (мишень 2). Наиболее важным результатом данной главы является предсказанный эффект уменьшения влияния поперечной составляющей разориентации блоков кристалла на спектрально-угловые характеристики параметрического рентгеновского излучения (ПРИ) в геометрии скользящего взаимодействия пучка излучающих электронов с рабочей кристаллографической плоскостью. Данная особенность позволяет проводить диагностику мозаичности кристаллов по спектрально-угловым характеристикам генерирующегося излучения.

В пятой главе представлены результаты исследований новых эффектов, которые могут быть использованы для разработки источников квазимонохроматического рентгеновского излучения, обладающих возможностью плавного изменения энергии генерируемой линии.

В разделе 5.1 представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований возможности увеличения выхода ПРИ в геометрии скользящего взаимодействия электронов с плоскостью поверхности кристаллической мишени при асимметричной геометрии дифракции. Зафиксировано увеличение выхода ПРИ согласно предсказаниям соответствующей теории. Данный результат имеет прикладную ценность в связи с возможностью увеличения выхода существующих коммерческих источников рентгеновского излучения, основанных на механизме ПРИ.

Во разделе 5.2 осуждается возможность рентгеновского излучения на основе многократного прохождения электронов через тонкую аморфную мишень. Здесь излагается разработанная соискателем математическая модель источника рентгеновского излучения. Монохроматизация излучения осуществляется многослойным рентгеновским зеркалом, установленным вне

кольца ускорителя. В работе рассмотрено несколько механизмов излучения, дающих возможность генерации излучения в различных областях спектра.

Шестая глава наиболее объемная и связана с теоретическими исследованиями процессов излучения быстрых электронов в областях вакуумного ультрафиолета и мягкого рентгена в условиях черенковского рентгеновского излучения. Следует отметить, что теоретические расчеты довольно трудоемкие, так как связаны с 3-х мерностью задачи и сложностью исходных уравнений. В разделе 6.1 на основании известного решения исследуются спектрально-угловое распределение рентгеновского излучения при облучении тонкой пластины релятивистскими электронами. Автор обнаружил эффект трансформации конуса излучения Вавилова-Черенкова в геометрии скользящего взаимодействия релятивистских электронов с плоскостью поверхности аморфной мишени. Здесь же было предсказан эффект увеличения угловой плотности переходного излучения быстрых электронов. В разделе 6.2 изложены теоретические исследования свойств черенковского рентгеновского излучения в многослойных периодических наноструктурах, состоящих из различных веществ. Показано, что таким образом можно создать рентгеновский источник излучения при довольно узкой ширине спектральной линии (около 1 эВ). В разделе 6.3 производится теоретическое исследование переходного излучения (ПИ) в скользящей геометрии взаимодействия быстрых электронов с плоскостью поверхности среды. Изучаются спектрально – угловые характеристики ПИ и возможные усовершенствования экспериментальных установок. В разделе 6.4 исследуется теоретически параметрическое излучение нерелятивистских электронов в слоистых наноструктурах. Автор использует модель, учитывающую три механизма излучения – ПИ, ДПИ и параметрический. Автор показал, что подбором параметров процесса можно повысить уровень излучения в десятки раз.

Замечания

- 1) В работе наблюдается некая сумбурность и непоследовательность. Например, в разделе 1.1 упоминаются два варианта геометрии установки А и В, однако их описание недостаточно полное. Глава 5 посвящена источникам квазимонохроматического рентгеновского излучения, однако основное внимание уделяется интенсивности излучения, а не монохроматичности.
- 2) В работе предполагается возможность использования ПТИ релятивистских электронов для диагностики атомной и блочной структуры поликристаллов, но не делается оценка возможности изменения диагностируемых параметров структуры при нагреве мишени пучком электронов.
- 3) В работе исследуются процессы излучения при скользящем взаимодействии пучка заряженных частиц с плоской мишенью, но при анализе не учитывается размер пучка электронов, что важно в рамках рассматриваемой геометрии взаимодействия, поскольку площадь взаимодействия пучка с поверхностью мишени будет увеличиваться при уменьшении угла взаимодействия.

4) Информация о временной структуре пучка электронов, определяющей режимы работы спектрометрического оборудования, представлена недостаточно полно.

5) При проведении теоретических расчетов слишком схематично обсуждаются основные предположения и ограничения, при которых справедливы расчеты. Например, релятивистские электроны не только инициируют рентгеновское излучение, но и ионизирует среду. Как эти процессы влияют на исследуемые процессы? При заимствовании формул из работ других авторов (например, формулы (52), (53)) не всегда раскрываются условия их применимости, и четко не разъясняется физический смысл параметров.

Указанные замечания не влияют на общую положительную оценку работы и являются, на мой взгляд, распространенной чертой характера талантливых людей.

В работе достигнуты все поставленные цели. Положения, выдвинутые на защиту, представляются обоснованными. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации. Общий объем и ценность представленных результатов достаточны, чтобы классифицироваться в соответствии с уровнем диссертационной работы, выдвигаемой на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния». Материалы работы достаточно полно опубликованы в центральной печати и доложены на международных конференциях.

Исходя из изложенного, считаю, что диссертация Кубанкина Александра Сергеевича «Новые возможности энергодисперсионной рентгенодиагностики атомной структуры вещества на основе пучков быстрых электронов» полностью отвечает требованиям ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание степени доктора наук, а ее автор Кубанкин Александр Сергеевич заслуживает присвоения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент,
Профессор кафедры Общей и Прикладной физики Юго-Западного
государственного университета, доктор физико-математических наук,

Жакин Анатолий Иванович

305040, г.Курск, ул.50 лет Октября, 94
Юго-Западный государственный университет
Тел.: +7 9510723492
e-mail: zhakin@mail.ru



Жакин А.И.

И.И. Держина

**Список публикаций официального оппонента
Жакина Анатолия Ивановича за 2010-2014 гг.**

- 1 Zhakin A.I., Belov P.A. THE EXPERIMENTAL STUDY OF CHARGED MENISCUSES // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2013. V. 49. № 2. P. 141-147.
- 2 Жакин А.И., Луценко А.А. Анализ ионизационных процессов в электроразрядных датчиках низкого давления. Электронная обработка материалов, 2012 № 48(3).- С.88-92.
- 3 Жакин А.И. Электрогидродинамика заряженных поверхностей. Успехи физических наук, 2013, Том 183, №2. - С.153-177.
- 4 Жакин А.И., Кузько А.Е., Белов П.А. Экспериментальные исследования истечения заряженных струй из капилляра. Письма в ЖТФ, 2013, том.39, вып.6.- С.60-63.
- 5 Zhakin A.I., Belov P.A. THE STUDY OF CHARGED JETS: THE CORRELATION BETWEEN THE THEORY AND THE EXPERIMENTS // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2013. V. 49. № 4. P. 290-295.
- 6 Zhakin A.I., Belov P.A. EXPERIMENTAL STUDY OF THE OUTFLOW OF CHARGED DROPS AND JETS // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2013.V. 49. № 3. P. 205-214.
- 7 Zhakin A.I., Bogomazov R.Y. ANALYSIS OF THE IONIZATION PROCESSES IN ULTRALOW-PRESSURE ELECTRODISCHARGE TRANSDUCERS // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2012. V. 48. № 3. P. 264-267.
- 8 Жакин А.И. Электрогидродинамика // Успехи физических наук, 2012, Том 182, №5. - С.495-520.