

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Иркутский государственный университет путей сообщения»
ФГБОУ ВО ИргУПС

Чернышевского ул., 15, Иркутск, 664074

Тел.: (3952) 63-83-11, факс (3952) 38-77-46. E-mail: mail@irgups.ru,
<http://www.irgups.ru>

УТВЕРЖДАЮ

Ректор,

д.т.н., профессор

Боргапольцев Сергей Константинович



_____ 2018 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**Федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования**

«Иркутский государственный университет путей сообщения»

Диссертация Портного Александра Юрьевича «Физические процессы формирования сигнала и фона при использовании энергодисперсионных детекторов рентгеновского и гамма излучения» выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего

образования «Иркутский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО ИрГУПС) Федерального агентства железнодорожного транспорта Министерства транспорта Российской Федерации на кафедре «Физика, механика и приборостроение».

В период подготовки диссертации с 01.09.2005 г. по настоящее время Портной Александр Юрьевич является доцентом ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения».

В 2005 г. Портной А.Ю. защитил кандидатскую диссертацию «Взаимодействие излучения с веществом при формировании сигнала и фона в рентгенофлуоресцентной аппаратуре» в совете Д 212.074.04 при Иркутском государственном университете по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Научный руководитель (консультант) представленной на рассмотрение работы – доктор физико-математических наук, профессор Павлинский Гелий Вениаминович, профессор ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет».

Диссертация заслушана и обсуждена на расширенном заседании кафедры «Физика, механика и приборостроение» ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения» 26.04.2017 г., протокол №10/1.

Присутствовали:

Зав. кафедрой к.ф.-м.н., доц. Горева О.В., д.т.н., проф. Лукьянов А.В., д.т.н., проф. Пыхалов А.А., д.т.н., проф. Китов Б.И., д.т.н., проф. Артюнин А.И, д.ф.-м.н. проф. Бырашников, д.х.н., доцент Тупицин А.А., д.т.н. Ревенко А.Г., д.т.н. Финкельштейн А.Л., д.ф.-м.н., проф. Павлинский Г.В., д.т.н., проф. Цвик Л.Б., к.ф.-м.н. Колесникова Т.А., к.ф.-м.н. Никонович О.Л., к.т.н. Ермошенко Ю.В.

По результатам обсуждения принято следующее заключение:

1. Диссертационное исследование характеризовать как работу, совокупность положений которой можно рассматривать как крупное научное достижение в области моделирования физических явлений и процессов в рентгеноспектральной аппаратуре, разработке методов математической обработки экспериментальных результатов, позволяющих существенно увеличить точность, чувствительность измерений.

2. Соискатель лично получил следующие результаты:

- при постановке задачи и моделировании процессов переноса энергии в детекторах;
- при совершенствовании моделей формирования измеряемого сигнала и фона;
- при математическом моделировании двухслойных комбинированных детекторов и спектрометров на их основе;
- при разработке способов использования цифровой фильтрации амплитудных спектров при наличии априорной информации о функции отклика детектора.

2. Достоверность результатов исследования подтверждается результатами, полученными при математическом моделировании и сопоставлением с доступными данными экспериментов.

3. Научная новизна работы заключается в следующем:

- Предложена и обоснована комплексная математическая модель детектора, учитывающая процессы как переноса излучения (включая поглощение и рассеяние), так и электронов высоких энергий, а также сбора заряда электронов низких энергий. Адекватность расчетов подтверждена сопоставлением с имеющимися экспериментальными данными.

– Предложенная модель детектора использована для расчетов вероятностей регистрации в различных частях функции отклика детектора для Si и Ge детекторов различной толщины чувствительного и мертвого слоя. Процессы радиационного переноса и поглощения энергии фотона в детекторе могут существенно ограничивать пространственное разрешение координатно-чувствительных детекторов.

– Созданы теоретические основы двухслойного комбинированного детектора, с первым достаточно тонким слоем Si и вторым слоем Ge, AsGa либо CdTe, а одновременные события, связанные с двухкратными событиями рассеяния и (или) поглощения в разных детекторах регистрируются схемой антисовпадений. Вероятности регистрации в пиках потерь второго детектора существенно уменьшаются по сравнению с пиком потерь одиночного аналогичного детектора второго слоя, а вероятность регистрации в «горбе потерь», связанном с комптоновским рассеянием излучения в детекторе существенно ниже, чем для одиночного толстого Si детектора. Оценена оптимальная толщина Si слоя такого детектора.

– Созданы теоретические основы для расчетов измеряемого сигнала и фона в энергодисперсионной аппаратуре. Расчеты могут быть выполнены на основе модели, включающей взаимодействие излучения с веществом образца и последующего взаимодействия излучения с веществом детектора. Впервые показано, что при введении геометрического фактора спектрометра для учета углов рассеяния в энергодисперсионном спектрометре и использовании указанной модели переноса в детекторе возможен расчет контрастности для различных условиях возбуждения и детектирования, а, следовательно, и выбор оптимальных условий возбуждения и детектирования.

– Впервые показано, что при использовании в энергодисперсионном рентгенофлуоресцентном анализе с радиоизотопным возбуждением комбинированного двухслойного детектора возможно улучшение соотношения сигнал/фон.

– Установлено на базе экспериментальных данных существенное различие состава фонового излучения, попадающего в детектор в спектрометрических каналах по Соллеру и Йоганссону. Впервые предложен способ фильтрации амплитудного спектра импульсов детектора, позволяющий при использовании Na канала по Йоганссону примерно в три раза увеличить контрастность при сохранении уровня сигнала. На основе данного способа предложен способ учета наложения линий при использовании псевдокристаллов для разложения излучения в спектр.

4. Практическая значимость работы

Результаты работы являются основой для совершенствования рентгенофлуоресцентных спектрометров в целях улучшения их метрологических параметров. Знание процессов формирования фона в энергодисперсионном флуоресцентном анализе создает условия для эффективного учета и подавления фоновой составляющей.

Представленная в работе модель процессов, происходящих в энергодисперсионном спектрометре и детекторе является основой для расчета контрастности, позволяет описать форму функции отклика детектора и рассчитывать фон, обусловленный неидеальностями функции отклика детектора, а также выбирать оптимальный детектор для детектирования излучения в конкретной ситуации и оптимизировать условия возбуждения сигнала.

Предложенный двухслойный комбинированный Si-Ge или Si-AsGa детектор в силу своих лучших характеристик может быть применен при прецизионных радиационных измерениях в широком диапазоне энергий.

Предложенный способ фильтрации амплитудного спектра является основой для улучшения соотношения сигнал/фон при использовании в квантометрах со спектрометрическими каналами по Йоганссону и Соллеру.

5. Специальность, которой соответствует диссертация

Диссертация соответствует специальности 01.04.01 – "Приборы и методы экспериментальной физики":

- пункт 2: «Разработка новых принципов и методов измерений физических величин, основанных на современных достижениях в различных областях физики и позволяющих существенно увеличить точность, чувствительность и быстродействие измерений»;

- пункт 4: «Исследование фундаментальных ограничений на точность измерений»;

- пункт 8: «Разработка методов математической обработки экспериментальных результатов. Моделирование физических явлений и процессов» (методы математической обработки экспериментальных результатов, моделирование физических явлений и процессов, исследование фундаментальных ограничений на точность измерений).

6. Отличие полученных в работе результатов от результатов, полученных в работах других авторов

Выполненные ранее исследования основывались на приближенных формулах, основанных на значительных упрощениях, как в области многократных взаимодействий излучения с веществом образца, так и детектора.

В 1990-е годы с развитием вычислительной техники появилась возможность исследования процессов методом Монте-Карло.

Результаты, приведенные в работе, можно рассматривать, с одной стороны, как показывающие возможность моделирования, с другой стороны

– погрешности моделирования, связанные с ограниченной точностью применяемых сечений взаимодействия.

7. Полнота изложения материалов диссертации

Основные положения диссертации изложены в 40 научных работах, 19 из которых опубликованы в журналах, входящих в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий Российской Федерации. Получено 2 патента на изобретение.

Основные публикации в рецензируемых научных журналах и изданиях по теме диссертации:

1. Pavlinsky G.V., Portnoy A.Yu. Calculating the spectral distribution of radiation from X-ray tube with grounded cathode // Radiation Physics and Chemistry. – 2001. – v.62, N.2-3. – pp. 207-213.

2. Pavlinsky G.V., Portnoy A.Yu. Formation features of radiation from X-ray tube with grounded cathode // X-Ray Spectrometry. – 2002. – v.31, no.3. – pp. 247-251.

3. Духанин А.Ю., Павлинский Г.В., Портной А.Ю. Кюн А.В. Вклад фото- и Оже электронов в формирование интенсивности углерода при первичном излучении тонкооконных рентгеновских трубок // Аналитика и контроль. – 2002. – т.6, №4. – С.383-389

4. Портной А.Ю. Павлинский Г.В., Духанин А.Ю., Зузаан П., Эрдемчимег Б. Расчет тормозного спектра электронов отдачи, возникающего при возбуждении рентгеновской флуоресценции излучением радиоактивных источников // Аналитика и контроль. – 2002. – т.6, №4. – С. 390-394.

5. Портной А.Ю. Павлинский Г.В., Духанин А.Ю., Зузаан П., Эрдемчимег Б. Формирование аналитического сигнала и фона в

флуоресцентном рентгенорадиометрическом анализе при использовании радиоактивного источника ^{241}Am и Si(Li) детектора // ЖАХ. – 2004. – № 11. – С. 1171-1180.

6. Pavlinsky G.V., Dukhanin A.Yu., Portnoy A.Yu., Kjun A.V. Excitation of low-Z fluorescence by radiation from thin-window x-ray tubes // Radiation Physics and Chemistry. – 2005. – v.72, N 4. – pp. 429-435.

7. Dukhanin A.Yu., Pavlinsky G.V., Baranov E.O., Portnoy A.Yu., Kjun A.V. Influence of photo and Auger electrons of the elements with high numbers on carbon x-ray fluorescence intensity // X-ray spectrometry. – 2006. v.35 pp.34-39

8. Портной А.Ю. Павлинский Г.В. Использование фильтрации амплитудного распределения для уменьшения фона в рентгенофлуоресцентном анализе // ЖАХ. -2005. т.60, № 9, С.944-951.

9. Павлинский Г.В., Духанин А.Ю., Портной А.Ю. Баранов Е.О. Теоретические основы применения способа фундаментальных параметров при рентгенофлуоресцентном определении элементов с малыми атомными номерами // ЖАХ. – 2006. т.61, № 7, С.710-717

10. Портной А.Ю. Павлинский Г.В., Горбунов М.С., Баранов Е.О., Зузаан П. Об оптимизации соотношения сигнал/фон в энергодисперсионном рентгенофлуоресцентном анализе // ЖАХ. – 2009. т.64, № 5, С.511-520.

11. Portnoy A.Yu., Pavlinsky G.V., Gorbunov M.S. An estimation of the signal to background ratio limited by photon and electron transport in EDXRF // X-ray spectrometry, 2010, v. 39, N1, pp. 41-51

12. Портной А.Ю. Метод оценки энергетических и пространственных параметров рентгеновских и гамма детекторов // Научное приборостроение, 2009 т. 19, № 4, 13-23

13. Портной А.Ю. Павлинский Г.В., Горбунов М.С. Об оценке свойств комбинированного двухслойного рентгеновского детектора // Научное приборостроение, 2010, т.20, с. 39-45

14. Павлинский Г.В., Горбунов М.С. Портной А.Ю. Тормозное излучение свободных электронов, возникающих в облучаемом образце // Известия высших учебных заведений. Физика., 2009, №7 с. 25-32

15. Портной А.Ю. Павлинский Г.В., Горбунов М.С. Сидорова Ю.И. Оценка свойств рентгеновского флуоресцентного энергодисперсионного спектрометра на основе двухслойного комбинированного детектора. // ЖАХ, 2012, т. 67, № 3, с. 274-281.

16. Портной А.Ю. Павлинский Г.В., Горбунов М.С. Сидорова Ю.И. Об особенностях фона, обусловленных переносом и сбором электронов в Si детекторе // Научное приборостроение, 2011, т.21, №4, с. 145-150.

17. Портной А.Ю. Павлинский Г.В., Горбунов М.С. Сидорова Ю.И. Свойства двухслойных комбинированных детекторов и рентгеновских флуоресцентных энергодисперсионных спектрометров на их основе // Научное приборостроение, 2012, т.22, №1, с.25-35.

18. Portnoy A.Yu, Pavlinsky G.V., Gorbunov M.S., Sidorova Yu.I. An estimation of EDXRF spectrometer properties, based on a two-layer composite Si-Ge detector // X-ray spectrometry, 2012, v. 41, pp. 298-303.

19. Горбунов М.С., Портной А.Ю. Павлинский Г.В. Оценка влияния геометрии энергодисперсионного рентгеновского спектрометра на форму спектра при учете многократного рассеяния // Научное приборостроение, 2014, т.24, №3, с.16-21.

Остальные публикации по теме диссертации

1. Павлинский Г.В., Паньков Л.В., Портной А.Ю. Экспериментальная установка для неразрушающего контроля толщины и состава тонкослойных объектов. Тезисы конференции "Неразрушающий контроль в науке и индустрии – 94". – Москва, 1994. –С. 186.

2. Павлинский Г.В., Портной А.Ю. Аналитические параметры экспериментальной установки для рентгенофлуоресцентного неразрушающего контроля состава и толщины тонкослойных объектов Тезисы «Национальной конференции по применению рентгеновского, синхротронного излучений, нейтронов и электронов для исследования материалов», Дубна, 1997, - С. 613.

3. Pavlinsky G.V., Portnoy A.Yu. Calculating the spectral distribution of radiation from X-ray tube with grounded cathode. International Symposium on Radiation Physic (Abstract booklet). – Prague, 2000. – p.258.

4. Павлинский Г.В., Портной А.Ю. Спектральный состав излучения рентгеновских трубок с заземленным катодом. Тезисы VI Конференции «Аналитика Сибири и Дальнего Востока». – Новосибирск, 2000. – С. 99-100.

5. Павлинский Г.В., Портной А.Ю. Влияние полярности подключения рентгеновской трубки на интенсивность рентгеновской флуоресценции Тезисы докладов XV Уральской конференции по спектроскопии. – г. Заречный, 2001. – С.80-81.

6. Павлинский Г.В., Духанин А.Ю., Портной А.Ю. Кюн А.В. Роль фото- и Оже электронов при возбуждении рентгеновской флуоресценции углерода излучением рентгеновской трубки 3GM Тезисы докладов XV Уральской конференции по спектроскопии. – г. Заречный, 2001. – С. 77-79

7. Портной А.Ю. Павлинский Г.В., Зузаан П., Эрдемчимег Б.О. формировании фона в длинноволновой области рентгеновского спектра при возбуждении флуоресценции излучением радиоизотопных источников

Тезисы докладов IV Всероссийской конференции по рентгеноспектральному анализу. – г. Иркутск, 2002. – С. 40.

8. Портной А.Ю. Павлинский Г.В. Исследование функции отклика детекторов рентгеновского излучения методом Монте-Карло. Тезисы VII конференции «Аналитика Сибири и Дальнего Востока». – Новосибирск, 2004, т.2, с.58

9. Портной А.Ю. Павлинский Г.В. Использование сведений об амплитудном спектре регистрируемого сигнала для уменьшения фона в каналах Йоганссона рентгеновских спектрометров. Тезисы VII конференции «Аналитика Сибири и Дальнего Востока». – Новосибирск, 2004, - т.2, С.59.

10. Портной А.Ю. Павлинский Г.В. Формирование аналитического сигнала и фона в EXDRF при использовании радиоизотопов ^{241}Am ^{109}Cd и Si(Li) детектора. Тезисы VII конференции «Аналитика Сибири и Дальнего Востока». – Новосибирск, 2004, - т.1, С.77.

11. Портной А.Ю. Павлинский Г.В. Исследование процессов переноса и поглощения энергии в твердотельных детекторах рентгеновского и гамма излучения. Тезисы 9 международной школы – семинара по люминесценции и лазерной физике. – Иркутск, 2004. – С.102-103.

12. Портной А.Ю. Павлинский Г.В., Горбунов М.С., Баранов Е.О. Оценка возможности оптимизации соотношения сигнал/фон в энергодисперсионном рентгенофлуоресцентном анализе. Тезисы докладов V Всероссийской конференции по рентгеноспектральному анализу. – г. Иркутск, 2006. – С. 72.

13. Павлинский Г.В., Горбунов М.С., Портной А.Ю. Соотношение интенсивностей тормозного излучения фото-, Оже- и комптоновских электронов, возникающих в облучаемом материале. Тезисы докладов V Всероссийской конференции по рентгеноспектральному анализу. – г. Иркутск, 2006. – С. 90.

14. Китов Б.И., Портной А.Ю. Чуринова О.В., Мышков В.Г., Пашков Н.Н., Петрушин В.И., Ляхов Н.Н. Перспективы применения рентгеновских

методов исследования на железнодорожном транспорте. Тезисы докладов V Всероссийской конференции по рентгеноспектральному анализу. – г. Иркутск, 2006. – С. 91.

15. Павлинский Г.В., Горбунов М.Ю., Баранов Е.О. Об оптимизации соотношения сигнал/фон в энергодисперсионном рентгенофлуоресцентном анализе Тезисы докладов VI Всероссийской конференции по рентгеноспектральному анализу. – г. Краснодар, 2008. – С.102

16. Портной А.Ю., Павлинский Г.В., Горбунов М.С. Метод оценки энергетических и пространственных параметров рентгеновских и гамма детекторов в области энергий до 1 МэВ. Тезисы докладов конференции Неразрушающий контроль и диагностика, Томск, 2008 С.110.

17. Портной А.Ю. Павлинский Г.В., Горбунов М.С. Комбинированный полупроводниковый детектор рентгеновского излучения. Патент на изобретение, 2011 № RU 2413244

18. Портной А.Ю. Павлинский Г.В., Горбунов М.С. О параметрах двухслойных комбинированных детекторов рентгеновского излучения. Тезисы докладов VI Всероссийской конференции по рентгеноспектральному анализу. – г. Новосибирск, 2011. – С.19.

19. Портной А.Ю. Павлинский Г.В., Горбунов М.С. Сидорова Ю.И. Об оценке свойств энергодисперсионного спектрометра на базе многослойных комбинированных детекторов. Тезисы докладов VI Всероссийской конференции по рентгеноспектральному анализу. – г. Новосибирск, 2011. – С.20.

20. Портной А.Ю., Карпукова О.М., Сидорова Ю.И. О рентгеноспектральном определении состава загрязнений изоляции электровозов. Тезисы докладов VI Всероссийской конференции по рентгеноспектральному анализу. – г. Новосибирск, 2011. – С.108

21. Портной А.Ю., Павлинский Г.В., Горбунов М.С., Сидорова Ю.И. Способ гамма спектрометрии. Патент на изобретение. 2014, № RU 2523081.

8. Соответствие диссертации и документов требованиям ВАК

Диссертация и документы оформлены в соответствии с требованиями п. 9 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842.

Содержание диссертации соответствует требованиям норм Закона РФ «О средствах массовой информации» (Закон о СМИ) от 27.12.1991 № 2124-1 в части, касающейся отсутствия призывов к экстремизму, терроризму и ненормативной лексики.

В содержании диссертации отсутствует государственная и иная охраняемая законом тайна.

9. Выводы

Диссертационное исследование на тему «Физические процессы формирования сигнала и фона при использовании энергодисперсионных детекторов рентгеновского и гамма излучения» можно характеризовать как работу, совокупность положений которой можно рассматривать как крупное научное достижение в области моделирования физических явлений и процессов в рентгеноспектральной аппаратуре, разработке методов математической обработки экспериментальных результатов, позволяющих существенно увеличить точность, чувствительность измерений, а именно:

- при изменении толщины детектора;

- при изменении структуры детектора с однослойного на многослойный;

- при изменении системы регистрации каналов с волновой дисперсией и газовым пропорциональным счетчиком.

Диссертационная работа Портного Александра Юрьевича «Физические процессы формирования сигнала и фона при использовании энергодисперсионных детекторов рентгеновского и гамма излучения» рекомендуется к защите на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.01 – "Приборы и методы экспериментальной физики".

Заключение принято на расширенном заседании кафедры «Физика, механика и приборостроение» ФГБОУ ВО ИрГУПС, 26.04.2017 г., протокол № 10/1. Присутствовало 14 человек.

Результаты голосования: «за» – 14 чел., «против» – нет, «воздержалось» – нет.

Заведующий кафедрой

«Физика, механика и приборостроение»

ФГБОУ ВО ИрГУПС

к.ф.-м.н., доцент Горева Ольга Валерьевна

Секретарь

«Физика, механика и приборостроение»

ФГБОУ ВО ИрГУПС Лукьянова Валентина Алексеевна

