

## ОТЗЫВ

*официального оппонента на диссертацию Портного Александра Юрьевича «Физические процессы формирования сигнала и фона при использовании энергодисперсионных детекторов рентгеновского и гамма-излучения» представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики».*

Исследование физических процессов, происходящих в процессе формирования аналитического сигнала в любом спектральном методе является важнейшим направлением в области современной экспериментальной физики. Изучение данных процессов позволяет значительно улучшить такие характеристики метода разрешающую способность, чувствительность, селективность, предел обнаружения, экспрессность метода и ряд других, важных с практической точки зрения.

Диссертант поставил перед собой очень сложную и важную с фундаментальной точки зрения задачу по разработке моделей, пригодных для адекватного описания формирования сигнала и фона в рентгенофлуоресцентном анализе на основе комплексного рассмотрения процессов взаимодействия излучения с веществом на всех стадиях преобразования излучения в сигнал, регистрируемый аппаратурой, а также разработка новых решений, позволяющих прогнозировать соотношение сигнал/фон в конкретных условиях эксперимента и улучшить это соотношение. Диссертации посвящена решению актуальной проблемы рентгенофлуоресцентного анализа - описанию отклика полупроводниковых детекторов при регистрации рентгеновского и гамма-излучения. **В свете вышесказанного актуальность темы диссертационного исследования сомнений не вызывает.**

В процессе выполнения работы диссертант широко использовал математические методы для описания процесса взаимодействия излучения с веществом детектора и расчета функции отклика детектора. Значительная часть работы посвящена совершенствованию моделей формирования аналитического сигнала и фона. Важно отметить, что диссертант на протяжении всей работы проводил сравнение результатов модельных расчетов с экспериментальными данными, демонстрируя правильность развиваемых моделей.

**Отметим вначале новые научные результаты, полученные соискателем.**

1. 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.

2. Автором показано, что процессы радиационного переноса и поглощения энергии фотона в детекторе могут существенно ограничивать пространственное разрешение координатно-чувствительных детекторов.

3. 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.

4. Созданы теоретические основы для расчетов измеряемого (аналитического) сигнала и фона в энергодисперсионной аппаратуре. 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 условий возбуждения и детектирования, а, следовательно, и выбор оптимальных условий возбуждения и детектирования.

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

6. 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.

**Теоретическая значимость работы** заключается в том, диссертантом что развиты теоретические основы РФА, позволяющие адекватно экспериментальным данным описывать сигнал и фон, прогнозировать предельно возможное отношение

сигнал/фон, определяемое процессами радиационного и электронного переноса. в том числе разработка моделей, пригодных для описания формирования сигнала и фона в рентгенофлуоресцентном анализе на основе комплексного рассмотрения процессов взаимодействия излучения с веществом на всех стадиях преобразования излучения в сигнал, регистрируемый аппаратурой, а также разработка новых решений, позволяющих в конкретных условиях эксперимента улучшить это соотношение, подавляя фоновую составляющую регистрируемого сигнала.

**Практическая значимость работы** в первую очередь определяется тем, что результаты работы являются основой для совершенствования рентгенофлуоресцентной аппаратуры и улучшения ее метрологических параметров. Знание процессов формирования фона в энергодисперсионном флуоресцентном анализе создает условия для эффективного учета и подавления фоновой составляющей. Представленная в работе модель процессов в энергодисперсионном спектрометре является основой для расчета контрастности, позволяет описать форму функции отклика детектора и рассчитывать фон, обусловленный особенностями функции отклика детектора, а также выбирать оптимальные условия для возбуждения флуоресценции и детектирования излучения в конкретной ситуации. Предложенный способ фильтрации амплитудного спектра является основой для улучшения соотношения сигнал/фон при использовании в квантометрах со спектрометрическими каналами по Иоганссону и Соллеру.

**Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.** Все научные положения, выносимые соискателем на защиту, основаны на достоверных теоретических результатах, полученных на основе адекватных математических моделей и подтвержденных экспериментальными данными, а также на корректном использовании современной теории теории взаимодействия рентгеновского и гамма излучений с веществом. Представленные в диссертации закономерности и сделанные на выводы, согласуются как между собой, так и с опубликованными литературными данными. Все это подтверждает обоснованность основных положений диссертационной работы.

**По работе можно сделать следующие замечания:**

1. Так, на рисунке 2.17 при сопоставлении расчетных и экспериментальных данных в последних имеется область с пиками в районе 10-13 кэВ, происхождение которых объясняется неполной режекцией наложенных импульсов. Возможно ли моделирование данного процесса?
2. На рисунке 3.6 в области пика комптоновского рассеяния наблюдается значительное рассогласование данных, рассчитанных по методу Монте-Карло и экспериментальных. Может ли оно в дальнейшем быть устранено.
3. В работе показано, что при использовании тонких Si детекторов фон, обусловленный регистрацией электрона отдачи в случае выхода комптоновски рассеянного фотона из детектора будет уменьшен для источников излучения, содержащих высокоэнергетическую составляющую. Тогда зачем требуется усложнение системы путем использования многослойного детектора.

Сделанные замечания не снижают общего хорошего впечатления о выполненном исследовании. Работа, состоящая из введения, пяти глав (обзор литературы, четырех глав, посвященных развиваемым теоретическим моделям и сравнению их с экспериментальными данными, каждая из глав заканчивается своими выводами, заключением и списка литературы, достаточно хорошо написана, литературный обзор – 485 ссылок – полностью отражает современное состояние исследований, относящихся к тематике рассматриваемой диссертации. Полученные результаты, безусловно, уже в полной мере представлены научному сообществу – опубликовано 40 статей в журналах, рекомендованных ВАК, результаты работы обсуждались и докладывались на российских и международных конференциях. Определяющий личный вклад автора в представленную работу также является несомненным.

**Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней.** Диссертация Портнова А.Ю. «Физические процессы формирования сигнала и фона при использовании энергодисперсионных детекторов рентгеновского и гамма-излучения» полностью соответствует паспорту специальности 01.04.01 "Приборы и методы экспериментальной физики", области знаний физ-мат науки. Тематика

диссертационного исследования относится к пунктам 1,2,5,8 паспорта специальности профилю совета Д 002.034.01, так как она посвящена теоретическим и экспериментальным исследованиям, направленным на совершенствование такого важного с практической точки зрения метода физических измерений как рентгенофлуоресцентный анализ элементного состава вещества. Автореферат и опубликованные статьи полностью отражают основное содержание диссертации. Таким образом, диссертация Портнова А.Ю. является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи, направленной на изучение физических процессов при формировании аналитического сигнала в детектирующих системах РФА, и развитию теоретических основ метода, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики», а её автор Портнов Александр Юрьевич заслуживает присуждения искомой ученой степени.

Официальный оппонент,  
доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры  
аналитической химии Института химии Санкт-Петербургского  
государственного университета, 198504, Россия, Санкт-Петербург. Петергоф.  
Университетский пр., д.26. Институт химии СПбГУ, [val\\_sen@mail.ru](mailto:val_sen@mail.ru).  
[v.g.semenov@spbu.ru](mailto:v.g.semenov@spbu.ru)

Семенов Валентин Георгиевич

« 29 » сентября 2018 г.

Иванов Г.Г. | Начальник Центра МДРОС №2

