

Ученому секретарю диссертационного совета

ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

190005, РФ, Санкт-Петербург,

Московский пр., д. 19

К.В. Чекирде

ОТЗЫВ

официального оппонента

кандидата физико-математических наук Жеребчевского Владимира

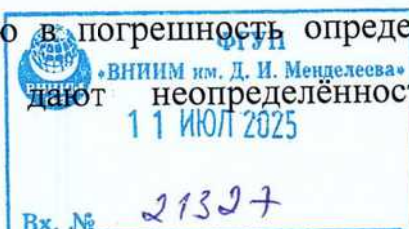
Иосифовича

на диссертационную работу Жукова Григория Васильевича на тему:

«Метрологическое обеспечение измерений активности гамма-излучающих
радионуклидов»,

представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук
по специальности 2.2.10 «Метрология и метрологическое обеспечение»

Диссертационная работа Жукова Григория Васильевича посвящена метрологическому обеспечению измерений активности радионуклидов, которые испускают гамма-кванты. Сегодня, гамма-спектрометрия находит широкое применение в атомной промышленности, ядерной медицине, радиоз экологии, фундаментальных ядерно-физических исследованиях. Поэтому основная задача для оптимальной работы гамма-спектрометров, заключается в повышении точности калибровки, определении энергии, эффективности регистрации гамма-квантов, соответствующих радионуклидов – гамма-эмиттеров. Важное прикладное значение имеют измерения активности таких радионуклидов. В случае с использованием методов спектрометрии, существенную долю в погрешность определения активности исследуемого радионуклида, дают неопределённости в



измерениях активности радионуклидов в эталонном источнике, с помощью которого проводится калибровка гамма-спектрометра. Таким образом, улучшение метрологических процедур, направленных на обеспечение измерений активности радионуклидов, испускающих гамма-кванты, является ключевым фактором для дальнейшего развития ядерно-физических спектрометрических приборов. В этой связи задачи, которые были решены в данной диссертационной работе, с акцентом на совершенствование воспроизведения единицы активности радионуклидов (гамма-эмиттеры) с целью снижения относительной неопределённости измерений их активности и увеличения верхнего диапазона измерений, являются актуальными и, несомненно, востребованными.

Значимость для науки и производства, полученных автором результатов.

В диссертационной работе было предложено решение важной научно-практической задачи, направленное на повышение уровня метрологического обеспечения измерений активности гамма-излучающих радионуклидов, используемых в гамма-спектрометрических и радиометрических измерениях, в атомной энергетике, радиационной экологии, фундаментальных ядерно-физических исследованиях, диагностических комплексах ядерной медицины. Данная задача решается путём воспроизведения активности радионуклидов в точечных источниках гамма-квантов, а также разработкой и исследованием вторичных эталонов нового класса. В результате становится возможным уменьшить относительную неопределённость воспроизведения и передачи единицы активности гамма-излучающих радионуклидов, для таких точечных источников, от Государственного первичного эталона единиц активности радионуклидов, средствам измерений на основе гамма-спектрометров и радиометров. Это в итоге повышает точность гамма-спектрометрических приборов и обеспечивает унификацию при измерениях активности радионуклидов испускающих гамма-кванты. Стоит отметить, что в рамках

диссертационной работы были созданы и внедрены в метрологическую практику вторичные эталоны на основе 8 радионуклидов. Эти эталоны служат для создания вторичных эталонов для источников гамма-излучения государственной поверочной схемы и могут быть применены в метрологических лабораториях и организациях для поверки рабочих эталонов 1-го и 2-го разрядов (радионуклидные источники, испускающие рентгеновское излучение высоких энергий и гамма-излучение), а также радиометрических установок.

Новизна полученных автором выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

К новизне представленной диссертационной работе следует отнести разработку принципов совершенствования воспроизведения и передачи единицы активности гамма-излучающих радионуклидов за счёт совместного применения точечных радионуклидных источников гамма-излучения, метода $4\pi\gamma$ -счёта и метода численного моделирования Монте-Карло, а также учёта мёртвого времени за счёт цифровой обработки сигнала, позволяющего увеличить диапазон воспроизведения единицы активности гамма-излучающих радионуклидов.

Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы с указанием предприятий или учреждений, где их целесообразно внедрять, а также с указанием научных коллективов, которым следует продолжить или развить соответствующие исследования.

В диссертационной работе отмечается, что разработанная методика измерений активности радионуклидов методом $4\pi\gamma$ -счёта, внедрена в отделе измерений ионизирующих излучений ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» в виде методики калибровки: «Методика калибровки радионуклидных

источников фотонного излучения в единице активности радионуклидов методом 4πγ-счёта». Также отмечается, что были разработаны, испытаны (с использованием процедуры измерения активности радионуклидов методом 4πγ-счёта) и внедрены вторичные эталоны на основе 8 радионуклидов: ^{241}Am , ^{228}Th , ^{152}Eu , ^{137}Cs , ^{133}Ba , ^{88}Y , ^{60}Co , ^{54}Mn . Это радионуклиды повсеместно используются для калибровки спектрометрических установок широкого класса, в метрологических лабораториях и метрологических центрах нашей страны, а также научно исследовательских организациях, проводящих ядерно-физические исследования: СПбГУ, ОИЯИ, НИЦ «Курчатовский институт» и другие научно-исследовательские организации и университеты ядерного профиля.

В итоге можно с уверенностью отметить, что данное направление исследований важно не только для решения технических задач в области метрологического обеспечения измерений, но имеет большое значение в решении ряда прикладных задач, связанных с созданием новых детекторных комплексов и технологий в области ядерной физики и ядерной медицины, промышленном получении радионуклидов. Поэтому актуальность темы, её научная новизна не вызывают сомнений и результаты работы представляют большой практический интерес.

Краткая характеристика основного содержания диссертации

Диссертационная работа содержит введение, пять глав, заключение, библиографию, включающую 92 источника. Общий объём работы составляет 131 страницы машинописного текста, включая 43 таблицы и 49 рисунков. Рисунки существенно облегчают чтение диссертации, однако выполнены местами довольно небрежно.

Введение включает в себя обоснование актуальности и новизны работы, а также формулировку целей и решаемых задач, представлена практическая значимость результатов работы и приведены выносимые на защиту научные положения. Представлены также результаты внедрения

работы, методология и методы диссертационного исследования, степень достоверности полученных результатов и личный вклад автора.

В первой главе диссертации приведен анализ состояния метрологического обеспечения измерений активности гамма-излучающих радионуклидов, в том числе способов передачи единицы активности гамма-излучающих радионуклидов от Государственного эталона, рабочим эталонам и средствам измерений. Проведённый анализ позволил сформулировать цели и задачи диссертационного исследования.

Во второй главе диссертации приводится обоснование применимости метода $4\pi\gamma$ -счёта, реализованного на установке с двумя сцинтилляционными детекторами, для воспроизведения активности радионуклидов в точечных источниках гамма-излучения. В главе также описывается разработанный алгоритм обработки аналогового сигнала (формируется со сцинтилляционных детекторов) в цифровой, путём его разбиения на последовательность дискретных точек во времени. Утверждается, что такой алгоритм обработки сигналов, обеспечит определение скорости счёта импульсов с учётом мёртвого времени отдельного импульса, что позволит уменьшить неопределённость измерений активности радионуклидов.

В третьей главе приводится описание созданной методики измерений активности радионуклидов методом $4\pi\gamma$ -счёта и описание разработанных счётных образцов на основе радионуклидов: ^{68}Ga , $^{166\text{m}}\text{Ho}$, ^{241}Am для проведения экспериментальных исследований и верификации основных положений методики измерений активности радионуклидов методом $4\pi\gamma$ -счёта.

В четвёртой главе даётся обоснование и доказательство эквивалентности воспроизведения активности гамма-излучающих радионуклидов с использованием разработанной методики $4\pi\gamma$ -счёта.

В пятой главе представлено описание восьми радионуклидов (^{241}Am , ^{228}Th , ^{152}Eu , ^{137}Cs , ^{133}Ba , ^{88}Y , ^{60}Co , ^{54}Mn), которые используются для вторичных эталонов, радионуклидных источников гамма-излучения. Приводятся результаты испытаний и определение метрологических

характеристик этих радионуклидных источников, с применением разработанной в ходе диссертационного исследования методики измерений активности радионуклидов методом $4\pi\gamma$ -счёта.

В **заключении** сформулированы основные результаты работы, среди которых следует выделить реализацию метода $4\pi\gamma$ -счёта на установке с двумя сцинтилляционными детекторами, для воспроизведения единицы активности гамма-излучающих радионуклидов в точечных радионуклидных источниках гамма-излучения. Данная методика позволит снизить относительную неопределённость измерений за счёт использования абсолютного метода воспроизведения активности радионуклидов, испускающих гамма-кванты.

Результаты диссертационной работы являются достоверными, а выводы обоснованными. Работа прошла апробацию на международных конференциях, проводимых в Российской Федерации и странах СНГ. Результаты опубликованы в 6 печатных работах, из них 5 статей опубликованы в ведущих научных журналах, рекомендованных ВАК.

Работа лишена серьезных недостатков, однако отмечены следующие **недочеты**:

1. В параграфе «1.3.2 Существующие точечные радионуклидные источники фотонного излучения» довольно подробно описывается точечные радионуклидные источники фотонного излучения как отечественного, так и иностранного производства. В контексте последующего изложения материалов, представленных в работе, не совсем понятно для чего нужна такая избыточная информация и особенно по источникам иностранного происхождения, которые практически не используются в Российской Федерации.

2. На стр.43 и далее приводится формулировка «большой детектор», приводятся разные размеры таких детекторов, но нет нигде определения, что является «большим детектором» и не приводятся критерии принадлежности детектора к данного рода определению.

3. В параграфе «2.2 Реализация метода 4π-счёта на установке УЭА-7 в составе ГЭТ 6-2016» довольно скудно описана методика оцифровки сигнала. Также приводится описание и характеристики используемого сцинтиллятора, но не приводится описание ФЭУ, его параметры и характеристики. При описании всего прибора не приводятся его характеристики, например разрешающая способность. Не описано влияние собственного гамма-фона, который дают окружающая установку свинцовая и медная защита, что существенно при измерениях малой активности радионуклидных источников.

4. На странице 50 приводится формула 16, но не совсем понятно, откуда она была получена.

5. На странице 51 приводится рисунок 19, при этом нет полноценного вывода к нему, и становится непонятным, зачем приводится данный рисунок.

6. В главе «2.3.2 Определение чувствительности установки УЭА-7» следовало бы более подробно описать использованный программный комплекс «MCC 3D» (Monte Carlo Calculation 3D) для расчёта взаимодействия различных видов излучения с веществом и дать сравнительный анализ с аналогичными программными продуктами, используемыми в мировых ядерно-физических центрах (например, GEANT 4).

7. На представленной, на стр. 55 визуализации процесса расчёта чувствительности с изображением траекторий гамма-квантов для радионуклидов: ^{60}Co , ^{137}Cs и ^{57}Co и далее в тексте, не совсем понятно, как связана эта визуализация с чувствительностью.

8. В параграфе «3.2 Разработка счётных образцов для проведения экспериментальных исследований (верификации основных положений методики измерений активности радионуклидов методом 4π-счёта)» довольно часто фигурирует скорость счёта импульсов на установке $\approx 5 \cdot 10^4 \text{ c}^{-1}$. Из описания непонятно, почему (из каких соображений) берется данное число, а не больше и не меньше.

9. На стр. 69 приводится следующее утверждение «Относительное энергетическое разрешение для энергии 59,54 кэВ составляло 20,7 % для детектора № 4877 и 19,9 % для детектора № 4878». Возникает вопрос, почему фиксируется такое плохое энергетическое разрешение для кристаллов натрия йодистого, активированного таллием, тогда как обычно разрешение для такого рода сцинтиллятора составляет порядка 8-12%. Возможно это связано с размерами кристаллов, или другими особенностями, тогда это следовало бы прояснить.

10. Начиная со страницы 75, в разделе «Определение нижнего диапазона измерений активности радионуклидов установки УЭА-7», в качестве пожелания, стоит отметить, что необходимо провести серию экспериментальных исследований, для верификации результатов моделирования.

11. В работе отмечается довольно большой объем необоснованных повторов одних и тех же слов и стилистические ошибки.

Указанные замечания не являются принципиальными и не влияют на общее положительное заключение о диссертационной работе, которая заслуживает высокой оценки. Считаю, что данная работа носит исследовательский характер, в ней ясно сформулированы актуальность, цель и проблемы. Детально описаны объект, предмет и методика исследования, отражена научная значимость полученных результатов. В диссертации корректно описаны актуальные проблемы теоретического и практического характера. Список литературы достаточно полно отражают затрагиваемую в главах тематику и современное состояние исследований в этой области.

Диссертационная работа Жукова Григория Васильевича «Метрологическое обеспечение измерений активности гамма-излучающих радионуклидов», представленная на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.10 «Метрология и метрологическое обеспечение» является завершённым исследованием, полностью удовлетворяющим критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней, утвержденным Постановлением

Правительства Российской Федерации № 842 от 24.209.2013. Автор диссертации, Жуков Григорий Васильевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.10 «Метрология и метрологическое обеспечение».

Официальный оппонент,

Жеребчевский Владимир Иосифович

кандидат физико-математических наук,

доцент, ведущий научный сотрудник,

заведующий учебной лабораторией

ядерных процессов, Федеральное

государственное бюджетное

образовательное учреждение

высшего образования «Санкт-

Петербургский государственный

университет»

В.И. Жеребчевский

«10» июля 2025 г.

Почтовый адрес: 199034, г. Санкт-Петербург, Университетская набережная, д. 7/9.

Телефон: +79117699364.

Email: v.zherebchevsky@spbu.ru.

Подпись Жеребчевского Владимира Иосифовича заверяю.

И.о. начальника
отдела кадров № 3
И.И. Константинова

10.07.2025

Документ подготовлен
в порядке исполнения
трудовых обязанностей



Текст документа размещен
в открытом доступе
на сайте СПбГУ по адресу
<http://spbu.ru/science/expert.html>

Сведения об официальном оппоненте

по диссертации Жукова Григория Васильевича на тему:

«Метрологическое обеспечение измерений активности гамма-излучающих радионуклидов»,

представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.10 «Метрология и метрологическое обеспечение»

Фамилия	Жеребчевский
Имя	Владимир
Отчество	Иосифович
Дата рождения	
Гражданство	Российская Федерация
Ученая степень	Кандидат физико-математических наук
Ученое звание	Нет
Шифр и наименование специальности, по которой защищена диссертация	01.04.16 - Физика атомного ядра и элементарных частиц
Полное наименование организации, которая является основным местом работы	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»
Ведомственная принадлежность	Правительство РФ
Должность	Доцент, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией
Структурное подразделение	Кафедра ядерно-физических методов исследования, учебная лаборатория ядерных процессов
Адрес организации	199034, г. Санкт-Петербург, Университетская набережная, д. 7/9.
Телефон рабочий	+79117699364
Телефон мобильный (при наличии)	+79117699364
Email	v.zherebchevsky@spbu.ru

Список основных публикаций

в рецензируемых научных изданиях по теме диссертации
за последние 5 лет (не более 5 публикаций)

1. V.I. Zherebchevsky, V. Kondratiev, N. Maltsev, V. Petrov, Modern detector technologies of D-mesons identification for investigation of Superdense nuclear, International Journal of Modern Physics E, Vol. 33, No. 12 (2024) 2441017 (11 pages), DOI: 10.1142/S0218301324410179.
2. D. Dementev, R. Arteché Diaz, C. Ceballos Sanchez, V. Zherebchevsky et al. In-beam tests of double-sided silicon strip detector modules for the BM@N experiment, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Volume 1075, (2025), 170390, <https://doi.org/10.1016/j.nima.2025.170390>
3. V. Zherebchevsky, Alekseev I. E., Maltsev N. A., Petrov V. V., et al, Modern Technologies for Producing Radionuclides for Nuclear Medicine, Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. vol. 87, iss. 8, 2023, doi.org/10.3103/S1062873823703112
4. V. Zherebchevsky and ALICE collaboration, Direct observation of the dead-cone effect in quantum chromodynamics, Nature, 605, 440–446 (2022). DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04572-w>
5. V. Zherebchevsky and ALICE collaboration, Unveiling the strong interaction among hadrons at the LHC, Nature, 588, 232–238 (2020) DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-020-3001-6>

Жеребчевский Владимир Иосифович

кандидат физико-математических наук,

доцент, ведущий научный сотрудник,

заведующий учебной лабораторией

ядерных процессов, Федеральное

государственное бюджетное

образовательное учреждение

высшего образования «Санкт-

Петербургский государственный

университет»

В.И. Жеребчевский

В.И. Жеребчевский

