

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Зиновьева Владимира Георгиевича
«Развитие нейтронных и радиохимических методик определения редких,
рассеянных элементов в геологических образцах, исследования состава и его
влияния на свойства высокочистых материалов», представленную на соискание
ученой степени доктора технических наук по специальности 01.04.01 – Приборы и
методы экспериментальной физики

Диссертационная работа Владимира Георгиевича Зиновьева посвящена развитию методических и прикладных аспектов нейтронно-активационного анализа. Данная аналитическая методика является на сегодняшний день одной из наиболее чувствительных и универсальных. Автором диссертации проведена колоссальная по объему экспериментальная работа по оптимизации всех этапов проведения нейтронно-активационного анализа, включая предварительное радиохимическое концентрирование или выделение анализируемого элемента с использованием селективных абсорбционных или экстракционных систем (в тех случаях когда это необходимо), облучение на источнике нейтронов, гамма-спектрометрическое исследование активированного образца и последующий количественный анализ экспериментальных результатов с предельно скрупулезным учетом всех возможных поправок и источников ошибок. Проведена тщательная метрологическая аттестация разработанных подходов. Развитый инструментарий применен для решения многочисленных и, на первый взгляд, слабо связанных между собой научных задач, включающих в себя определение концентрации широкого набора элементов, присутствующих в исследуемом образце в предельно низких концентрациях, как ключевой этап, общий для всех задач.

В частности, проведена экспериментальная проверка теоретических моделей, предсказывающих угловое распределение плотности потоков нейтронов разных диапазонов кинетических энергий в нескольких каналах исследовательских станций реактора ВВР-М с использованием специально подобранных мониторов из фольг металлов, эффективно активируемых потоком нейтронов.

Проработаны различные факторы, повышающие эффективность экспериментов по детектированию электронного антинейтрино. В том числе, разработана система пассивной радиационной защиты нейтринного детектора. Проведен детальный анализ причин возникновения паразитного фона в

спектрометрах детектирования нейтрино из-за присутствия примесей радионуклидов в используемых конструкционных и строительных материалах. Оптимизирована методика изготовления Gd-содержащей мишени для нейтринного детектора.

Разработана оригинальная методика реконструкции распределения концентрации легких элементов (H, C, N, O) для систем дистанционного детектирования взрывчатых веществ в багаже авиапассажиров с использованием техники «меченых» нейтронов.

Исследованы обширные серии образцов сырой нефти, донных отложений, почв, геологических проб, горных пород, астроблем, метеоритов, отвалов горно-обогатительных комбинатов, химически чистого урана, молибдена (предшественника радиофармпрепаратов на основе ^{99m}Tc), технического кобальта, функциональных полупроводниковых монокристаллов $\text{Mn}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ и $\text{ZnSe}(\text{Te})$, сцинтилляторов $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S}: \text{Pr},\text{Ce}$ и др. Во всех случаях расширен диапазон анализируемых элементов-примесей, понижены пределы их обнаружения.

Аккуратность метрологической проработки аналитических методик на базе нейтронно-активационного анализа и обширность решаемых прикладных задач определяют высокую актуальность и практическую значимость работы.

Диссертация В.Г. Зиновьева построена не совсем традиционным образом. Она состоит из Введения, частично дублирующего автореферат, пяти глав, раздела с выводами и списка литературы, насчитывающего 193 наименования. В диссертации отсутствуют Литературный обзор и Экспериментальная часть как независимые разделы. Каждая из пяти основных глав предваряется собственным мини-литературным обзором с постановкой решаемой научной задачи, а также описанием используемого оборудования, методики проведения измерений и анализа экспериментальных результатов. Более того, каждая глава заканчивается подведением промежуточных итогов и формулированием выводов.

В первой главе излагаются результаты оптимизации **расчетных** подходов для повышения эффективности нейтронно-активационного анализа для неточечных («больших») образцов сырой нефти, а также реализации абсолютной методики определения концентрации примесных элементов в донных отложениях и почвах по методике «одного монитора» ^{58}Fe .

Вторая глава посвящена **спектрометрическим** аспектам проведения нейтронно-активационного анализа на двух примерах: определения спектрально-

углового распределения потока нейтронов в каналах реактора ВВР-М и проекта нейтронно-спектрометрической системы детектирования взрывчатых веществ.

Третья глава рассматривает ряд примеров дополнения стандартного инструментального нейтронно-активационного анализа стадией радиохимического выделения или концентрирования для образцов **геологического происхождения**, содержащих ценные элементы (платиноиды, Ag/Au, рений) в очень низких концентрациях.

В следующей, четвертой, главе продолжено изложение примеров использования комбинации инструментального и радиохимического нейтронно-активационного анализа в приложении к химически чистым матрицам технологического происхождения. Методическим вызовом для всех объектов, включенных в данную главу, была **сильная активация матрицы** потоком нейтронов. А научная значимость получаемых результатов обусловлена ярко выраженной зависимостью функциональных характеристик исследуемых материалов от наличия и концентрации специфических примесей. Так, например, медицинские применения радиофармпрепаратов, содержащих ^{99m}Tc , накладывают крайне жесткие ограничения на присутствие элементов, имеющих долгоживущие радиоактивные изотопы, излучающие на энергиях выше 200 кэВ, в соединениях молибдена, выступающего в роли предшественника целевого ядерного изомера технеция.

В пятой главе разработанный автором инструментарий нейтронно-активационного анализа, относящийся к арсеналу аналитической химии, использован для решения технологических задач из области **физики нейтрино**. Сверхвысокая чувствительность детекторных систем, необходимая для наблюдения редких событий типа нейтриновых осцилляций, требует глубокой оптимизации конструкции детектора с предельной минимизацией любых посторонних или, скорее, паразитных сигналов, способных исказить результаты. К таким искажениям могут приводить примеси в конструкционных/строительных материалах в составе детектора, недостаточное экранирование от космического излучения и даже кажущееся изменение периода полураспада изотопов активной среды мишени (^{161}Dy) из-за эффектов резонансного ядерного перерассеяния.

Диссертационная работа написана хорошим научно-литературным языком. Грамотно подобран иллюстративный материал, последовательно используется научная терминология, относительно мало опечаток, синтаксических и

пунктуационных ошибок. Основные выводы исчерпывающим образом обоснованы приведенными экспериментальными данными. Сомнений в их корректности нет.

Несмотря на общий высокий уровень работы, к ней имеется ряд замечаний.

1) Выбранные автором структура диссертации (в частности, отсутствие Литературного обзора) и стиль изложения результатов (предельно сухой и лаконичный) не позволяют в полной мере оценить степень новизны и потенциал практической реализации полученных результатов. По каким элементам и благодаря каким оригинальным методическим приемам понижены пределы обнаружения? В автографе диссертации (стр. 7) упоминается, что диссертационные результаты по главе 1 были использованы ВСЕГЕИ для оценки рентабельности месторождений нефти. Текст самой диссертации не содержит более развернутого описания практической пользы: какие элементы оказались релевантными маркерами, в каких диапазонах находятся их концентрации, целесообразна ли дальнейшая работа по расширению номенклатуры определяемых элементов и понижение пределов их обнаружения? Позволила ли установка фольг-мониторов в каналы реактора ВВР-М (глава 2) просто подтвердить результаты расчетов, либо дала дополнительную информацию для оптимизации геометрии каналов? Удалось ли разработать технологию извлечения золота и серебра из низкопроцентных «хвостов» горно-обогатительных комбинатов (глава 3)? Дошли ли до производителей устройств на базе монокристаллов теллурида марганца-рутти, селенида цинка, окисульфида гадолиния (глава 4) информация о микропримесном составе; оказалась ли она полезной для развития технологий этих изделий? Что из наработок доктора диссертанта оказалось востребованным в проекте поиска нейтринных осцилляций (глава 5)?

2) Отсутствие общей методической части привело к появлению в тексте диссертации продублированных фрагментов. Так, например, схема ядерного распада ^{199}Pt появляется на Рисунках 3.2 (стр. 61), 3.7 (стр. 66) и 3.17 (стр. 84), чего можно было бы избежать.

3) С учетом того, что диссертация представлена на соискание ученой степени доктора **технических** наук по специальности 01.04.01 – **Приборы** и методы экспериментальной физики в тексте диссертации недостаточное внимание уделено конструкции использованных приборов. Практически отсутствуют эскизы, оптические и электрические схемы приборов, фотографии узлов установок. Например, в ряде глав упоминаются быстрые схемы совпадений с ис-

синхронизацией. На какой компонентной базе реализованы такие схемы? Потребовало ли выполнение работы внесение усовершенствований в них?

4) На стр. 80 диссертации аномалия в гравитационном аккумулировании в расплаве тагамита Карской астроблемы для брома объяснена летучестью последнего, хотя наиболее вероятная форма нахождения брома в минерале – бромид летучестью не обладает.

5) Не совсем корректной представляется фраза «анионные комплексы золота, платины и палладия в растворе легко восстанавливаются и выпадают в осадок в виде металла из-за местного перегрева раствора». Восстановление невозможно без присутствия химического восстановителя (в их качестве могут выступать следы органических веществ, катионы металлов в низших степенях окисления и пр.).

6) В тексте диссертации встречаются опечатки, терминологические неточности и оформительские погрешности. Так, Аргонская (Argonne) национальная лаборатория названа в нескольких местах диссертации и автореферата Арагонской. Из-за несоответствия содержания таблиц 2.12, 2.13, Рис. 2.28 и текста на стр. 56-57 непонятно, о каком химическом веществе меланине или меламине идет речь. Тетраэдрическое окружение названо тетрагональным. В нескольких местах порядковый номер элемента приводится как верхний индекс после символа элемента, хотя номенклатура требует нижнего левого индекса ($^{24}_{11}Na$ вместо $^{24}Na^{11}$). В подписях к осям на многих Рисунках в качестве десятичного разделителя используется «,» вместо «.».

Высказанные замечания не затрагивают сути и основных выводов и ни в коей мере не снижают высокую оценку диссертационной работы В.Г. Зиновьева. Диссидентом выполнена огромная по объему экспериментальная работа, получены полностью оригинальные и достоверные экспериментальные результаты, значимые для практических приложений. Содержание автореферата полностью соответствует диссертации. Опубликованные статьи и конференционные доклады в достаточной степени отражают суть и основные результаты работы.

Диссертация соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., и “Изменениям, которые вносятся в Положение о присуждении ученых степеней”, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 335 от 21 апреля 2016 г. Представленная диссертация является крупным законченным научным трудом, выводящим

нейтронно-активационный анализ на совершенно новый методологический уровень. Полученные автором результаты вносят существенный вклад в постановку эксперимента и обработку экспериментальных данных, расширяют информативность и границы применимости нейтронно-активационного анализа. Автор диссертации Зиновьев Владимир Георгиевич, безусловно, заслуживает присуждения искомой ученой степени доктора технических наук по специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики.

Официальный оппонент,
доктор физико-математических наук,
главный научный сотрудник Отдела физико-химических методов исследования
Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный
исследовательский центр «Институт катализа им. Г.К. Борескова Сибирского
отделения Российской академии наук» (ИК СО РАН)

Я. Зубаль
(подпись)

Я. В. Зубавичус

29.09.2021

Адрес: 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, д. 5.
Тел.: +7 909 6592282
E-mail: yvz@catalysis.ru

Подпись Я.В. Зубавичуса заверяю:

Зам. директора по научной работе ИК СО РАН, д.х.н.

О.И. Мартынов

