МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ АНАЛИТИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ИАП РАН
ул. Ивана Черных, 31-33, лит. А, Санкт-Петербург, 198095, а/я 140, тел.: (812) 363-07-19, факс: (812) 363-07-20
ОКПО 04699534, ОГРН 1027810289980, ИНН 7809003600, КПП 780501001, e-mail: iap@ianin.spb.su, www.iairas.ru

26.09.2025 № 10341-484/101

УТВЕРЖДАЮ
Директор ИАП РАН
Доктор технических наук
_____ А.А. Евстрапов
«26» сентября 2025 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт аналитического приборостроения Российской академии наук» (ИАП РАН)

Диссертация Кравцова Дениса Вадимовича «Разработка методов прямого высокочувствительного анализа газовой фазы на основе времяпролетной масс-спектрометрии с импульсным тлеющим разрядом», представляемая на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности ВАК 1.3.2 «Приборы и методы экспериментальной физики», выполнена в ИАП РАН и ООО «Люмэкс».

Соискатель Кравцов Д.В. в 2021 году окончил магистратуру ФГБУ ВО СПбГУ по направлению «Фундаментальные и прикладные аспекты наноматериалов и нанотехнологий». С 2021 по 2025 год проходил обучение в очной аспирантуре ИАП РАН по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия» (направленность на начало обучения — специальность ВАК 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики», на настоящий момент — специальность ВАК 1.3.2 «Приборы и методы экспериментальной физики»).

В период подготовки диссертации Кравцов Д.В. проходил обучение в очной аспирантуре ФГБУН ИАП РАН и работал в отделе спектрометрии ООО «Люмэкс». В настоящее время работает в отделе спектрометрии ООО «Люмэкс» в должности руководителя производственной группы.

Научные руководители – Бердников Александр Сергеевич, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией №223 «Экологической масс-спектрометрии» в Отделе масс-спектрометрии ИАП РАН, Губаль Анна Романовна, кандидат химических наук, руководитель отдела спектрометрии ООО «Люмэкс».

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ:

Структура диссертации включает следующие разделы:

введение, обзор литературных данных (глава 1), используемые методы исследования и приборы (глава 2), разработка метода анализа ЛОС (летучих органических соединений) в воздухе с использованием ИТР-МС (масс-спектрометрии импульсного тлеющего разряда) (глава 3), разработка метода анализа высокочистых газов (глава 4), заключение.

Цель и задачи диссертационного исследования.

Цель:

Разработка приборной и методической базы для определения летучих органических и неорганических соединений с использованием времяпролетной масс-спектрометрии с ионизацией в импульсном тлеющем разряде (ИТР-ВП-МС).

Задачи:

1. Исследование особенностей процессов ионизации в импульсном тлеющем разряде (ИТР) и оптимизация параметров процессов ионизации с учётом полученных данных для последующей модернизации разрядной ячейки;
2. Определение оптимальных условий проведения анализа летучих органических и неорганических соединений (ЛОС и ЛНС), включающее улучшение параметров ионизации, методов пробоотбора и пробоподготовки;
3. Разработка инструментальных и методических подходов для определения летучих органических соединений в воздухе и газовыделениях человека с

использованием времяпролётной масс-спектрометрии с ионизацией в импульсном тлеющем разряде (ИТР-ВП-МС);

4. Разработка инструментальных и методических подходов для анализа высокочистых инертных газов с использованием времяпролётной масс-спектрометрии с ионизацией в импульсном тлеющем разряде (ИТР-ВП-МС).

Положения, выносимые на защиту:

1. Оптимальные условия ионизации ЛОС (летучих органических соединений) в воздухе и других газах, позволяющие достичь пределов обнаружения на уровне единиц ppb_v при существенно более низкой степени фрагментации в сравнении с электронной ионизацией;
2. Метод прямого высокочувствительного определения летучих органических и неорганических соединений в воздухе и газовыделениях человека с использованием ИТР-ВП-МС (времяпролётной масс-спектрометрии с ионизацией в импульсном тлеющем разряде));
3. Метод прямого высокочувствительного анализа высокочистых инертных газов с использованием времяпролётной масс-спектрометрии с ионизацией в импульсном тлеющем разряде.

Основные научно-теоретические результаты работы:

1. В результате анализа существующих подходов к пробоподготовке и определению летучих органических и неорганических соединений (ЛОС и ЛНС) выявлены и обоснованы наиболее перспективные подходы для решения задачи по определению ЛОС и ЛНС масс-спектрометрическими методами.
2. Определены оптимальные условия ионизации ЛОС в импульсном тлеющем разряде в воздухе, позволяющие достичь высокой чувствительности, универсальности и низкой степени фрагментации соединений;
3. Проведено исследование процессов ионизации ЛОС в воздухе и других газовых смесях. Показаны различия механизмов ионизации ЛОС в воздухе, азоте и аргоне. Обнаружены процессы образования ассоциатов с N_2 и NO. Показа-

но значительное снижение степени фрагментации в импульсном тлеющем разряде по сравнению с электронной ионизацией;

4. Разработан метод прямого определения ЛОС в воздушных смесях с оценочными пределами обнаружения на уровне 1-10 ppb_v;
5. Показана возможность применения комбинированной ионизации (Пеннинговская ионизация и электронная ионизация) для анализа газовых смесей на основе высокочистого ксенона;
6. Разработан метод прямого высокочувствительного анализа высокочистых благородных газов с оценочными пределами обнаружения примесей 1-500 ppt_v.

Основные практические и научно-технические результаты работы:

1. Проведена модернизация разрядной ячейки для определения ЛОС в воздухе, показано снижение степени фрагментации тяжелых молекул в импульсном тлеющем разряде при коаксиальном вводе пробы;
2. Разработанный метод прямого определения ЛОС в воздушных смесях был применен для анализа реальных образцов на примере выдыхаемого воздуха и воздушной смеси, полученной при проведении операции по резекции мочевого пузыря. Обнаружено порядка 70 компонент в выдыхаемом воздухе, для которых определены брутто-формулы. В операционном воздухе обнаружено порядка 30 соединений, часть из которых известны в литературных источниках как возможные маркеры рака и канцерогены;
3. Разработаны разрядная ячейка с повышенной герметичностью и термостабильностью и многоканальная система напуска газов для прямого высокочувствительного анализа высокочистых благородных газов.
4. Получены метрологические характеристики разработанного метода прямого высокочувствительного анализа высокочистых благородных газов для определения примесей в высокочистом гелии с использованием аттестованных газовых смесей.

Научная новизна:

1. Разработан новый метод определения летучих органических и неорганических соединений в воздухе и других газах с использованием ИТР-ВП-МС
2. Выявлены условия определения летучих органических соединений в воздухе и других газах со степенью фрагментации значительно сниженной относительно электронной ионизации
3. Показана возможность применения комбинированной ионизации (ионизация Пеннинга и электронная ионизация) для анализа высокочистых газов.

Практическая значимость:

1. Разработана приборная и методическая база для анализа летучих органических и неорганических соединений в воздухе и других газах с использованием масс-спектрометров ЛЮМАС-30 и ЛЮМАС ИТР-301;
2. Разработан метод анализа инертных газов и получены пределы обнаружения примесей на уровне ppb_v и ниже, что позволяет использовать метод для анализа высокочистых газов;
3. Проведена модернизация разрядной ячейки для анализа летучих органических соединений в воздухе, разработаны новая разрядная ячейка и многоканальная система напуска для анализа высокочистых газов;
4. Разработанный приборный комплекс и рабочие методики могут быть использованы для контроля чистоты высокочистых инертных газов. (Приборный комплекс поставлен в МГТУ им. Баумана и используется для контроля степени чистоты гелия при его очистке).

Соответствие паспорту специальности:

Полученные в диссертационной работе Д.В.Кравцова ««Разработка методов прямого высокочувствительного анализа газовой фазы на основе времяпролетной масс-спектрометрии с импульсным тлеющим разрядом»» научные результаты

соответствуют паспорту научной специальности ВАК «Приборы и методы экспериментальной физики» (отрасль науки – технические) — а именно, пунктам 1 (изучение физических явлений и процессов, которые могут быть использованы для создания принципиально новых приборов и методов экспериментальной физики), 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), 3 (разработка и создание научной аппаратуры и приборов для экспериментальных исследований в различных областях физики) и 4 (разработка и создание экспериментальных установок для проведения экспериментальных исследований в различных областях физики).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ СЕМИНАРА

Диссертация Кравцова Дениса Вадимовича «Разработка методов прямого высокочувствительного анализа газовой фазы на основе времяпролетной масс-спектрометрии с импульсным тлеющим разрядом» полностью соответствует критериям, определенным пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. (с учетом изменений и дополнений) и Паспорту специальности ВАК 1.3.2 «Приборы и методы экспериментальной физики» (область знаний – технические науки), а именно, пп. «Изучение физических явлений и процессов, которые могут быть использованы для создания принципиально новых приборов и методов экспериментальной физики», «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», «Разработка и создание научной аппаратуры и приборов для экспериментальных исследований в различных областях физики», «Разработка и создание экспериментальных установок для проведения экспериментальных исследований в различных областях физики».

Заключение подготовлено на заседании Объединенного научного семинара лабораторий ИАП РАН с участием научных сотрудников Отдела масс-спектрометрии ИАП РАН из лаборатории №221 «Оптики заряженных частиц и

математического моделирования», лаборатории №222 «Биомедицинской масс-спектрометрии» и лаборатории №223 «Экологической масс-спектрометрии», а также научных сотрудников Отдела методов и приборов биотехнологии и медицины из лаборатории №232 «Информационно-измерительных био- и хемосенсорных микросистем» (протокол №9 от 17 сентября 2025 г.).

Диссертация Кравцова Дениса Вадимовича «Разработка методов прямого высокочувствительного анализа газовой фазы на основе времяпролетной масс-спектрометрии с импульсным тлеющим разрядом» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.2 «Приборы и методы экспериментальной физики» рекомендуется к защите в диссертационном совете 24.1.029.01 на базе ИАП РАН.

Председатель семинара
Главный научный сотрудник, д.ф.-м.н. _____ М.И. Явор

Секретарь
Ведущий научный сотрудник, д.ф.-м.н. _____ А.Л. Буляница

Подписи Явора Михаила Игоревича и Буляницы Антона Леонидовича удостоверяю.

Начальник отдела кадров _____ Е.Ю. Шванова