

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА
24.1.029.01 (Д002.034.01) НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТ АНАЛИТИЧЕСКОГО
ПРИБОРОСТРОЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК (ИАП РАН),
Г.САНКТ-ПЕТЕРБУРГ**

ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____

решение Диссертационного совета от «16» июня 2023 г. № 10

о присуждении Балакину Александру Алексеевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Интерфейсы на основе трековых мембран в масс-спектральных исследованиях полевого испарения ионов из полярных растворов» по специальности 1.3.2 (01.04.01) – Приборы и методы экспериментальной физики принята к защите 13.03.2023 г., протокол № 5, Диссертационным советом 24.1.029.01 (Д002.034.01) на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института аналитического приборостроения Российской академии наук (ИАП РАН), 198095, Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, д.31-33, лит.А, приказ от 02.11.2012 № 714/нк.

Соискатель: Балакин Александр Алексеевич, 1950 года рождения, окончил физический факультет Ростовского ордена Трудового Красного Знамени государственного университета в 1972 году по специальности «Радиофизика и электроника» с присуждением квалификации радиопизик, Диплом Ю №603575 выдан 1 июля 1972 г., г. Ростов-на-Дону, регистрационный № 2163.

Балакин Александр Алексеевич защитил кандидатскую диссертацию «Исследование механизма переноса избыточного электрона в жидких углеводородах методом импульсной электропроводности» по специальности 01.04.17 – Химическая физика, в том числе физика горения и взрыва. Решением Совета при Институте химической физики АН СССР от 27 мая 1981 г. (протокол №23-81) ему присуждена ученая степень кандидата физико-математических наук, Диплом ФМ № 015573 выдан 24 марта 1982 г. (Москва).

В настоящее время Балакин Александр Алексеевич работает ведущим научным сотрудником, совмещающим должность заведующего лабораторией ионизационных процессов в плотных средах, в Филиале Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

1) Франкевич Владимир Евгеньевич, доктор физико-математических наук, заместитель директора по научной работе - заведующий отделом системной биологии в репродукции института трансляционной медицины Федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова» Министерства здравоохранения Российской Федерации представил на диссертацию и автореферат **положительный отзыв**, в котором содержатся следующие замечания.

1. В тексте диссертации часто используются понятия «состав ионов», «паровая фаза», «система пиков» и др., что звучит не совсем корректно.
2. Частое использование термина «наноразмерная мембрана» может вызвать у читателя непонимание, так как это понятие подразумевает размер от одного до сотен нм.
3. Предложен очень интересный метод генерации ионов с использованием трековых мембран. Хотелось бы увидеть детальное сравнение разработанного источника с коммерчески используемыми источниками МАЛДИ и ЭРИ, в частности, по чувствительности.
4. Автор говорит о «мягкости метода» и подтверждает это экспериментальными данными. Интересно было бы увидеть прямое сравнение результатов с методом нано ЭРИ. Возможно, такие эксперименты проводились.
5. Одним из основных положений диссертационной работы является утверждение о небольшом количестве используемого образца, необходимого для исследования. Утверждается возможность уверенного детектирования белка с концентрацией $8 \cdot 10^{-5}$ М, однако в современных масс-спектрометрах с источником нано ЭРИ возможно измерение и меньших концентраций. Хотелось бы услышать комментарий по этому вопросу.
6. Автор описывает ситуацию, когда в некоторых случаях происходило вызванное различными причинами протекание исследуемого раствора на вакуумную сторону мембраны, и в этом случае для продолжения нормальной работы требовалась замена мембраны. Отсутствие капелек на вакуумной стороне контролировалось с помощью микроскопа. Означает ли это, что микроскоп должен всегда входить в состав ионного источника для контроля его нормальной работы?
7. Автор утверждает, что при использовании мембранного интерфейса можно работать не только со стандартным растворителем (вода/ацетонитрил/муравьиная кислота), но и в качестве растворителя применять чистую воду, в отличие от традиционного электрораспыления. Однако в настоящее время уже существует такое понятие как “Nativespray”, “nativemassspectrometry”, когда параметры ЭРИ подбираются таким образом, чтобы не разрушить молекулу белка. Чистая вода также используется в экспериментах ЭРИ.

2) Сысоев Алексей Александрович, доктор физико-математических наук, профессор Отделения нанотехнологий в электронике, спинтронике и фотонике офиса образовательных программ, главный научный сотрудник Лаборатории

«Прикладной ионной физики и масс-спектрометрии» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» представил на диссертацию и автореферат **положительный отзыв**, в котором содержатся следующие замечания.

1. Вместо термина «дрейфовая спектроскопия» корректнее использовать термин «спектрометрия ионной подвижности» (стр. 17), вместо «спектроскопия приращенной подвижности» используется термин «спектрометрия приращения ионной подвижности».
2. Метод матрично-активированной лазерной десорбции ионизации рассматривается в разделе 1.3, посвященном методам экстракции ионов из растворов при атмосферном давлении, к которым этот метод не относится. Также спорным является его отнесение к экстракции ионов из конденсированных сред.
3. В работе не проведено прямое экспериментальное сравнение источника ионов с мембранным интерфейсом из раствора в вакуум и источника ионов при атмосферных условиях с использованием образцов характерных для биомедицинских приложений.
4. Тезис о существенной экономической выгоде использования электромембранного источника с полимерной трековой мембраной по сравнению с источником электрораспыления не представляется достаточно обоснованным без данных о сроке службы мембраны и капилляра.
5. Электромембранный источник ионов безусловно представлял бы большой интерес для прямого ввода и ионизации многокомпонентных проб. Однако в работе эта тема практически не рассматривается.
6. В тексте встречаются несогласованные предложения (стр. 8 строка 4 диссертации и другие места текста).

3) Гречников Александр Анатольевич, доктор химических наук, заведующий лабораторией инструментальных методов и органических реагентов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук представил на диссертацию и автореферат **положительный отзыв**, в котором содержатся следующие замечания.

1. Несмотря на продемонстрированную в работе значимость разрабатываемого метода для анализа вещества, в диссертации отсутствуют некоторые важные аналитические характеристики метода. Какова воспроизводимость результатов определения химических соединений? Каковы минимальные определяемые концентрации?
2. Дискуссионным представляется вывод о том, что «чувствительность определения сложных биоорганических ионов ... не уступала чувствительности масс-спектрального анализа при использовании ионного источника с электрораспылением» (стр. 286). Большинство представленных данных получены при одной (достаточно высокой по стандартам масс-спектрометрии) концентрации. Для корректного сравнения необходимо построить концентрационные зависимости и определить пределы

обнаружения при использовании разработанного и стандартных ионных источников.

3. Важным вопросом, особенно для сочетания с ВЭЖХ, является «память прибора». Как влияет на результат анализа предыдущая проба, которая может оставаться в капиллярах мембраны.

Ведущая организация – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» в своем **положительном заключении**, утвержденном Баганом Виталием Анатольевичем кандидатом физико-математических наук, проректором по научной работе Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (Национальный исследовательский университет)», подписанном Разумовым Владимиром Федоровичем, член-корр. РАН, профессором, доктором физ.-мат. наук, главным научным сотрудником - заведующим лабораторией Фотоники квантово-размерных структур и Поповым Игорем Алексеевичем, доцентом, кандидатом физико-математических наук, ведущим научным сотрудником - заведующим лабораторией молекулярной медицинской диагностики, указала, что диссертация Балакина А.А. соответствует всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а соискатель заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.2, и отметила следующие замечания:

1. В диссертации показаны многочисленные преимущества применения ионных источников с интерфейсом на основе полимерных трековых мембран, однако не отмечено широкого использования разработанной технологии в коммерческих масс-спектрометрах или другими авторами в их исследованиях.

2. В диссертации отсутствуют прямые указания на результаты сравнения характеристик используемого в работе метода получения газофазных ионов с другими широко используемыми методами.

3. Обнаруженное в экспериментах по полевому испарению ионов увеличение степени ионизации растворителя можно было обсудить более подробно с точки зрения влияния этого эффекта на зарядовое состояние ионов, получаемых полевыми методами.

4. В тексте диссертации имеются опечатки.

Соискатель имеет **96 (девяносто шесть)** научных публикаций, включая **37 (тридцать семь)** в виде статей в научных журналах, научные отчеты, статьи и тезисы докладов в сборниках трудов научных конференций, а также **2 (два)** изобретения, в том числе по теме диссертации **18 (восемнадцать)** публикаций, из которых **17 (семнадцать)** статей, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК РФ и Международные библиометрические базы Scopus и/или WebofScience, а также **1 (один)** патент на изобретение РФ.

К наиболее значительным работам, отражающим основное содержание диссертации, относятся:

1. **Balakin A.A.**, Gridin V.V., Schechter I. Track membrane mediated electrostatic introduction of cluster ions into mass spectrometer // *Journal of Physical Chemistry A*. – 1998. – V. 102. – Iss. 47. – P. 9470–9475.

2. **Balakin A.A.**, Dodonov A. F., Novikova L. I., Talrose V. L. The solvent shells of cluster ions produced by direct electric field extraction from glycerol/water solutions.// *Rapid Communication in Mass Spectrometry*. – 2001. – V. 15. – Iss. 7. – P. 485–495.

3. **Balakin A.A.**, Dodonov A.F., Markin M.I., Novikova L.I., Soulimenkov I.V., Talroze V.L., Budnik B.A., Haselmann K.F., Zubarev R.A. Polymer track membranes for extraction of ions from aqueous solutions at atmospheric pressure. // *European Journal of Mass Spectrometry*. – 2002. – V. 8. – P. 79–84.

4. **Balakin A.A.**, Buido E.A., Markin M.I., Novikova L.I., Baldwin M.A. Polymer Track Membranes for Atmospheric Pressure Field Extraction of Ions from Liquid Solutions // *Journal of Electrostatics*. – 2010. – V.68. – Iss. 1, – P. 96–100.

5. **Балакин А.А.**, Хидиров С.Г., Новикова Л.И. Ионизация молекул растворителя при полевом испарении ионов из растворов глицерина и этиленгликоля // *Журнал технической физики* – 2011. – Т. 81. – Вып. 8. – С. 121–126.

6. **Балакин А.А.**, Новикова Л.И. О полевом испарении двухзарядных ионов из полярной жидкости // *Журнал технической физики* – 2012. – Т. 82. – Вып. 11. – С. 93–98.

7. **Балакин А.А.**, Буйдо Е.А., Хидиров С.Г. Патент RU 2537961 С2, МПК H01J 49/10 (2006.01), G01N 21/71 (2006.01). Способ транспорта ионов из полярной жидкости в вакуум и устройство для его осуществления : заявка № 2013122051/07 : 15.05.2013 : заявитель ФГБУН ИНЭПХФ РАН // *Бюл.* – 2015. – № 1. – 16 С. – 6 ил..

8. **Балакин А.А.**, Хидиров С.Г., Буйдо Е.А. Генерация ионов в импульсном ионном источнике с интерфейсом на основе полимерной трековой мембраны // *Журнал технической физики*. – 2016. – Т. 86. – Вып. 10. – С. 32–37.

9. **Балакин А.А.**, Хидиров С.Г. Импульсное полевое испарение ионов из полярных растворов // *Приборы и техника эксперимента*. – 2017. – № 3. – С. 74–80.

10. **Балакин А.А.**, Буйдо Е.А. Низковольтный мембранный интерфейс для экстракции ионов из полярных растворов // *Журнал технической физики*. – 2018. – Т. 88. Вып. 8. – С. 1160–1163.

11. **Балакин А.А.**, Хидиров С.Г. Экстракция ионов из полярного раствора с использованием поверхностно-модифицированного мембранного интерфейса // *Журнал технической физики*. – 2019. Т. 89. Вып. 12. – С. 1984–1987.

12. **Балакин А.А.** Обзор по использованию трековых мембран в масс-спектральном анализе растворов // *Масс-спектрометрия*. – 2021. – Т. 18. – №3. – С. 189–196.

На автореферат диссертации поступили следующие отзывы:

1) От Кривенко Александра Георгиевича, доктора физико-математических наук, заведующего лабораторией лазерной электрохимии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра проблем химической физики и медицинской химии Российской академии наук.

Замечания:

1. Вызывает недоумение характерное для автореферата отсутствие количественного определения временных параметров как налагаемого на интерфейс потенциала, так и кинетики полевого испарения ионов из трековой мембраны. Текст изобилует предложениями типа «... через некоторое время...»; «...на короткое время...»; «...некоторое время» и т.д. По мнению автора отзыва в каждом конкретном случае надо было приводить оценку соответствующего временного интервала.

2. Последний абзац описания 6-й главы выпадает из общего контекста содержания данного раздела диссертации, фактически посвященного масс-спектральным исследованиям полевой инжекции сложных высокомолекулярных органических ионов из полярных растворителей. Обнаруженная автором аномально высокая интенсивность регистрируемых на масс-спектрах пиков ионов самих растворителей заслуживает более подробного рассмотрения и, в том числе, оценки влияния этого, судя по всему, мешающего эффекта на аналитические характеристики масс-спектрометра, оборудованного трековой мембраной.

3. Относительно вывода № 3. Обнаруженная автором корневая зависимость тока однозарядных ионов от их концентрации в растворителе, вряд ли является положительной характеристикой в плане использования мембранного интерфейса в аналитических целях. Представляется очевидным, что наилучшим вариантом является линейная зависимость тока ионов от их концентрации.

4. На трёхмерном рисунке 10, изображающем потенциальный рельеф вблизи канала трековой мембраны заполненного раствором исследуемого вещества, приведены обозначения только двух осей.

5. В качестве замечания можно указать и на достаточно большое количество опечаток и неудачных выражений в тексте автореферата, таких как «... Θ -смачивания», «...напряженность... даже большую в приведенной оценке.», «...определены существенно лучше...» и т.д.

6. Кроме этого, вызывает определенное недоумение размерность скорости полевого испарения ионов [сек^{-1}], в формуле (2), хотя по физическому смыслу она должна нормироваться на единицу площади раствора, либо на поверхностную плотность испаряющихся ионов.

7. В добавление к вышечисленному в тексте автореферата не приведена расшифровка многократно упоминаемой аббревиатуры «ЭМИИ»

2) От Морозова Юрия Георгиевича, доктора физико-математических наук, ведущего научного сотрудника лаборатории самораспространяющего высокотемпературного синтеза лазерной электрохимии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мержанова Российской академии наук.

Замечания:

1. Страница 34. Вместо расплывчатого предложения: «Кроме того, обсуждаются вопросы, связанные с возможными механизмами выхода ионов из

жидкости и формирования экстрагирующего электрического поля у границы раздела фаз при действии импульсов разряда.», было бы полезнее хотя бы кратко перечислить эти механизмы.

2. В качестве дополнительных замечаний можно также указать и на некоторое количество жаргонных выражений и опечаток, затрудняющих чтение автореферата неподготовленным читателем, таких как «...за счет автопротолиза...», «...аналит...», «...усиление электростатического расталкивания между зарядами...», «...с кончиков пульсирующих острий...», «...напряженность электрического поля даже большую в приведенной оценке.», «Если полярность заряда на поверхности мембраны совпадает с полярностью ионов, выходящих из раствора, ...а если противоположен...», «Эмиссия зарядов с металлической сетки, находящейся вблизи мембраны и бомбардируемая ионами, выходящими из каналов мембраны...», «Для создания электрического поля ... подается напряжение...», «...дрейф-спектры...», «...протонирующие добавки...», «Ионные источники с мембранным интерфейсом могут использоваться для анализа растворов в масс-спектральными приборами...» и так далее.

3. К сожалению, в тексте автореферата не приводится расшифровка очень часто упоминаемой аббревиатуры «ЭМИИ» [*прим. Электромембранный источник ионов*].

3) От Николаева Евгения Николаевича, руководителя лаборатории масс-спектрометрии Автономной некоммерческой образовательной организации высшего образования Сколковский институт науки и технологий, члена-корреспондента РАН, доктора физико-математических наук, профессора.

Замечания:

1. В тексте диссертации имеются опечатки и некоторые несогласованности в предложениях.

2. Из текста автореферата не ясно, почему при всех достоинствах мембранного интерфейса электромембранные ионные источники не нашли широкого применения в коммерческих приборах.

3. Анализ возможностей применения мембранного интерфейса в тандемных приборах не выглядит полным, поскольку не ясно, будут ли проявляться эффекты памяти при смене раствора, заполняющего каналы мембраны.

4. Не представлены данные об аналитических характеристиках ионных источников с мембранным интерфейсом для широкого круга веществ.

Все отзывы на автореферат диссертации положительные.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их большим опытом работы в областях науки близких к предмету исследований диссертации, в частности, в приборостроении в части разработки и усовершенствовании масс-спектральных приборов, в изучении фундаментальных аспектов генерации ионов в интересах аналитической химии, биохимии и

экологии, что подтверждается публикациями, содержание которых посвящено вопросам, связанным с тематикой диссертационной работы соискателя.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- **установлено**, что трековые мембраны позволяют осуществлять прямой транспорт ионов из полярных растворов в газовую фазу;

- **определены** размеры каналов мембран и их поверхностная плотность, обеспечивающие эффективную эмиссию ионов в электрических полях высокой напряженности без разрушения границы раздела фаз в различных условиях, а также **сформулированы** требования к используемым растворителям;

- **выявлены** механизмы формирования электрического поля у поверхности раствора, заполняющего каналы мембраны, поддерживающие эффективный транспорт ионов из жидкости в газовую фазу;

- **разработаны** ионные источники на основе трековых мембран;

- **установлено**, что под действием сильного электрического поля в газовую фазу переходят кластерные ионы, в состав которых входят несколько молекул растворителя, причем строение кластерной оболочки определяется локализацией заряда на центральном ионе и его размером, а широкое их распределение по энергии поступательного движения связано с распадом части кластерной оболочки после выхода из жидкости;

- **показано**, что полученные результаты экспериментов по изучению выхода ионов из растворов под действием электрического поля являются надежной основой для построения более совершенных моделей полевого испарения ионов;

- **выявлены** причины увеличения на несколько порядков концентрации ионов полярного растворителя на границе раздела фаз по сравнению с их равновесной концентрацией, связанного с ростом константы автопротолиза в приграничном слое;

- **предложена** методика использования интерфейса на основе трековой мембраны для извлечения ионов из полярного раствора в импульсном режиме;

- **создана** методика извлечения из растворов ионов, включая ионы тяжелых биоорганических молекул и белков в атмосферных условиях, которая позволяет проводить неразрушающую генерацию ионов в паровой фазе с последующей их регистрацией масс-спектральным прибором, использующим атмосферную ионизацию, с возможностью сохранения при этом их нативной структуры.

Теоретическая значимость работы заключается в том, что в результате проведенных исследований появилась возможность построения надежных теоретических моделей полевого испарения ионов, опирающихся на данные экспериментов, полученных в условиях стабильной границы раздела фаз при

заданных параметрах процесса. Эти данные включают информацию об энергетическом распределении экстрагированных из раствора ионов, влиянии природы ионов на скорость их перехода в паровую фазу, включая заряд и его локализацию на ионе.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

продемонстрирована возможность создания электромембранных ионных источников (ЭМИИ), которые отличаются от существующих простотой конструкции и управления, использованием малых объемов анализируемого материала, а также низкими потерями ионов при проведении анализа методами масс-спектрометрии.

Научная новизна исследований состоит в том, что:

разработан новый метод полевой экстракции ионов из полярных растворов, в котором стабилизация поверхности жидкости в сильном электрическом поле обеспечивается локализацией раствора в наноразмерных каналах полимерной мембраны;

разработана методика получения экспериментальных данных о полевом испарении ионов из полярных растворов в условиях стабильной границы раздела фаз;

исследован процесс формирования сильного локального электрического поля у поверхности раствора в различных режимах эмиссии ионов;

показано, что при полевом испарении можно получить данные о составе выходящих из раствора кластерных ионов и выявить особенности формирования кластерных оболочек для ионов различной природы;

впервые на основе теоретического анализа и экспериментальных исследований **предложен** низковольтный импульсный интерфейс для экстракции ионов из полярных растворов с использованием поверхностно модифицированных трековых мембран;

впервые **продемонстрирована** возможность получения ионов сложных биоорганических соединений путем их полевой экстракции из водных растворов в атмосферных условиях.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что научные положения, выводы и результаты, содержащиеся в диссертации, подтверждаются использованием общепризнанных, апробированных и обоснованных физических методов, комплексным характером выполненных экспериментов и исследований численными методами с использованием апробированных программных пакетов, а также воспроизводимостью полученных экспериментальных данных. Результаты эксперимента согласуются с аналитическими исследованиями и результатами

моделирования. Достоверность экспериментальных данных обеспечена использованием современного поверенного оборудования.

Основные результаты, изложенные в диссертационной работе, докладывались и обсуждались на следующих конференциях:

1. **Balakin A.A.**, Dodonov A.F., Novikova L.I., Talrose V.L., Yakovlev B.S. Electric evaporation of ions from liquid in channels of polymer film. The 43th Conference on Mass Spectrometry and Allied Topics, Atlanta Georgia, USA, May 21–26, 1995.
2. **Balakin A.A.**, Dodonov A.F., Novikova L.I., Talrose V.L. Physical processes in electromembrane ion source. The 14th International Mass Spectrometry Conference, Tampere, Finland, August 25–29, 1997.
3. **Balakin A.A.**, Balakina E.A., Dodonov A.F., Novikova L.I., Talrose V.L. Electromembrane ion source: basic processes. The 47th ASMS Conference on Mass Spectrometry and Allied Topics, Dallas, Texas, June 13–17, 1999.
4. **Balakin A. A.**, Dodonov A. F., Novikova L. I., Talrose V. L. Cluster shell of ions produced by direct electric field extraction from glycerol/water solutions. The 15th International Mass Spectrometry Conference, Barcelona, Spain, 27 August – 1st September 2000.
5. **Balakin A.**, Balakina E., Novikova L., Talrose V. Field evaporation of ions from glycerol/water solutions with use of polymer track membranes. The 14th International Conference on Dielectric Liquids, Graz, Austria, July 7–12, 2002.
6. **Balakin A.A.**, Dodonov A.F., Markin M.I., Novikova L.I., Talrose V.L. Track Membranes in Mass Spectral Analysis of Solutions. The Workshop-school "Mass spectrometry in Chemical Physics, Biology and Ecology", Moscow/Zvenigorod, Russia, April 24–26, 2002.
7. **Balakin A.A.**, Novikova L.I., Talrose V.L. Could the ions be extracted without a solvent shell directly from liquid? The Workshop-school "Mass spectrometry in Chemical Physics, Biology and Ecology", Moscow/Zvenigorod, Russia, April 24–26, 2002.
8. **Balakin A.A.**, Buido E.A., Golcova E.A., Novikova L.I., Talrose V.L., Baldwin M.A. Extracting ions from liquid solutions and ion beam formation in the electromembrane ion source. The 52nd Conference on Mass Spectrometry and Allied Topics, Nashville, Tennessee, USA, May 23–27, 2004.
9. **Balakin A.A.**, Golcova E.A., Novikova L.I., Talrose V.L., Buido E.A. Field extraction of ions from the liquid solutions with use of track membranes. Based aspects, mechanism and applications. The 5th International Electrohydrodynamic Workshop, Poitiers, France, August 30–31, 2004.
10. **Balakin A.A.**, Golcova E.A., Novikova L.I., Talrose V.L., Buido E.A. Ion beam formation by field extraction of ions from solution in membran ion source. The 2nd International Workshop-school "Mass spectrometry in chemical physics, biophysics and environmental sciences", Moscow/Zvenigorod, Russia, October 4–7, 2004.
11. **Balakin A.A.**, Buido E.A., Markin M.I., Novikova L.I., Baldwin M.A. Polymer track membranes for atmospheric pressure field extraction of ions from liquid solution. 5-ème Conférence de la Société Française d'Électrostatique Conference (SFE 2006),

- Grenoble, France, August 30–31, 2006.
12. **Balakin A.A.**, Buido E.A., Markin M.I., Novikova L.I. Atmospheric extraction of bioorganic ions from solutions with use of membrane interface. The 3^d International Conference-school "Mass spectrometry in chemical physics, biophysics and environmental sciences", Zvenigorod, Russia, April 16-21, 2007.
 13. **Balakin A.A.**, Buido E.A. Energy distribution of ions extracted from solutions in membrane ion source. The 3^d International Conference-school "Mass spectrometry in chemical physics, biophysics and environmental sciences", Zvenigorod, Russia, April 16–21, 2007.
 14. **Balakin A.A.**, Buido E.A., Khidirov S.G., Novikova L.I. Extracting electric field in electromembrane ion source". The 7th Conference of the French Society of Electrostatics (SFE 2010), Montpellier, France, August 30th/September 1st, 2010.
 15. **Балакин А.А.**, Буйдо Е.А., Новикова Л.И., Хидиров С.Г. Напряженность электрического поля при полевой экстракции ионов из растворов. IV Всероссийская конференция «Фундаментальные вопросы масс-спектрометрии и ее аналитические применения» с участием зарубежных ученых (памяти В.Л. Тальрозе), Звенигород, Россия, 10–14 октября 2010 г.
 16. **Balakin A.A.**, Buido E.A. Extracting electric field on the liquid interface in the electromembrane ion source". 8^{ème} Conférence de la Société Française d'Électrostatique (SFE 2012), Cherbourg-Octeville, France, 3–5 juillet 2012.
 17. **Balakin A.A.**, Buido E.A., Khidirov S.G. "Direct barrier-free field evaporation of ions from polar solutions. Innovation in Mass Spectrometry Conference (INN MASS SPEC 2013), Saint Petersburg, Russia, 14-18 July 2013.
 18. **Балакин А.А.**, Буйдо Е.А., Хидиров С.Г. Прямое безбарьерное полевое испарение ионов из полярных растворов". V Международная конференция-школа для молодежи «Фундаментальные вопросы масс-спектрометрии и ее аналитические применения», Санкт-Петербург, Россия 14–18 июля 2013 г.
 19. **Balakin A.A.**, Buido E.A., Khidirov S.G. Extraction of ions from polar solutions by high strength electric field pulses. 9^{ème} Congrès de la Société Française d'Électrostatique (SFE 2014). 27 – 29 août 2014, Toulouse, France.

Личный вклад соискателя заключается в том, что все результаты, представленные в работе, получены при непосредственном личном участии автора. Его вклад был определяющим при:

- постановке задач исследований и выборе методик;
- проведении экспериментов, анализе и интерпретации их результатов;
- постановке модельных расчетов и их сопоставлении с данными экспериментов;
- подготовке публикаций и докладов на конференциях.

Разработка и реализация экспериментальных установок и узлов, а также проведение экспериментов осуществлялась автором с соавторами из числа сотрудников ФИНЭПХФ РАН и ФИЦ ХФ им. Н.Н. Семенова, а также при проведении совместных исследований, в том числе с участием зарубежных ученых.

На заседании 16 июня 2023 года Диссертационный совет принял решение присудить Балакину Александру Алексеевичу ученую степень доктора физико-математических наук.

Для проведения тайного голосования Диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 17 докторов наук, участвовавших в заседании, из 21 человека входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – 17, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
Диссертационного совета
д.т.н., профессор

В.Е. Курочкин

Ученый секретарь
Диссертационного совета
д.ф.-м.н.

А.Л. Буляница

Дата оформления заключения

16 июня 2023 г.

М.П.

