

ЗАКЛЮЧЕНИЯ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ФТИ 34.01.03 НА БАЗЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук
по диссертации

НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 15.04.2021 № 4

О присуждении Антонову Андрею Сергеевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук

Диссертация «Разработка методов увеличения пропускания и разрешающей способности малогабаритных статических масс-анализаторов» в виде рукописи по специальности 01.04.04 – «Физическая электроника» принята к защите 28 января 2021 г., протокол № 1 п. 1, диссертационным советом ФТИ 34.01.03 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физико-технический институт А.Ф. Иоффе Российской академии наук, расположенном по адресу: 194021, Санкт Петербург, Политехническая ул., д. 26. Диссертационный совет утверждён приказом ФТИ им. А.Ф. Иоффе №75 прил. 3 от 12 июля 2019 г.

Соискатель Антонов Андрей Сергеевич, 1987 г.р., в 2010 году окончил магистратуру Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» по направлению «Техническая физика» и поступил в аспирантуру ФТИ им. А.Ф. Иоффе, год окончания – 2013, в настоящее время работает в должности исполняющего обязанности младшего научного сотрудника в лаборатории масс-спектрометрии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук.

Диссертация выполнена в лаборатории масс-спектрометрии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук и в лаборатории оптики заряженных частиц и математического моделирования Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт аналитического приборостроения Российской академии наук».

Научный руководитель — Саченко Вячеслав Данилович, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории оптики заряженных частиц и математического моделирования Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт аналитического приборостроения Российской академии наук».

Научный консультант — Аруев Николай Николаевич, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией масс-спектрометрии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

1. Цыбин Олег Юрьевич, доктор физико-математических наук, профессор Института физики, нанотехнологий и телекоммуникаций федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

2. Ганеев Александр Ахатович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий химико-аналитическим отделом института токсикологии Федерального медико-биологического агентства России

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Трудового Красного Знамени Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова Российской академии наук (ИХС РАН) в своём положительном заключении, подписанном главным научным сотрудником, исполняющим обязанности заведующего лабораторией Высокотемпературной химии гетерогенных процессов, членом-корреспондентом Российской академии наук, профессором, доктором химических наук В.Л. Столяровой, утверждённом директором Федерального государственного бюджетного учреждения науки Ордена Трудового Красного Знамени Института химии силикатов им. И.В. Гребенщикова Российской академии наук (ИХС РАН) доктором технических наук И.Ю. Кручининой, указала, что содержание диссертации А.С. Антонова соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 01.04.04 – «Физическая электроника», а диссертант А.С. Антонов заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что они оба имеют учёную степень доктора физико-математических наук, они работают в различных организациях, не имеют других ограничений, накладываемых п. 3.7 действующего Положения о присуждении учёных степеней. Выбранные оппоненты являются широко известными специалистами в области оптики заряженных частиц и масс-спектрометрии и обладают высоким уровнем компетентности в научной области, в которой выполнена диссертационная работа, что подтверждается их публикациями в рецензируемых научных журналах.

Выбор ведущей организации обосновывается тем, что ФГБУН Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова Российской академии наук широко известен своими работами по исследованию высокотемпературных гетерогенных процессов с помощью масс-спектрометрических методик. В частности, в этом институте уже в течение многих лет используются и модернизируются статические магнитные масс-спектрометры.

Основное содержание диссертации опубликовано в 12 научных статьях в научных журналах, входящих в рекомендованный перечень ВАК, в том числе, в 6-ти статьях, опубликованных в журналах, индексируемых в базе данных Web of Science (в скобках указан личный вклад соискателя):

1. Gall L. N., Antonov A. S., Gall N. R., Yakushev E. M., Nazarenko L. M., Semenov A. A. A prism mass-spectrometer for isotope analysis of hydrogen–helium mixtures // *Technical physics letters*. 2018. Vol. 44, no 7. P. 646-649. (Исследования, численное моделирование и оптимизация симметричной ионно-оптической системы трёхкаскадного призмного масс-анализатора с двумя цилиндрическими конденсаторами)
2. Antonov A. S., Berdnikov A. S., Gall L. N., Sachenko V. D. Controlling the resolution of static mass spectrometers using intermediate slit diaphragms // *Journal of Analytical Chemistry*. 2019. Vol.74, no 14. P. 1405-1411. (Численные исследования вертикального аксептанса в зависимости от величины аксиальной абберации в статических масс-анализаторах секторного типа)
3. Sachenko V. D., Antonov A. S., Gall L. N., Berdnikov A. S. Optimization of vertical acceptance of the static mass analyzer // *Journal of Analytical Chemistry*. 2020. Vol. 75, no. 13. P. 1660–1664. (Оптимизация вертикального аксептанса с целью максимизации пропускания статических масс-анализаторов секторного типа, обладающих аксиальной абберацией 2-го порядка)
4. Sachenko V. D., Yakushev E. M., Nazarenko L. M., Antonov A. S., Gall L. N., Gall N. R., Berdnikov A. S. An ion-optical circuit of a small-sized mass-spectrometer for the isotope analysis of hydrogen–helium mixtures // *Journal of Analytical Chemistry*. 2020. Vol. 75, no. 13. P. 1693–1699. (Разработка физически обоснованного критерия точности численного расчета компонентов аксиальных аббераций в краевом поле магнитной призмы в условиях уменьшенных габаритов магнитной призмы. Исследования и численное моделирование формы пика масс-спектра всей ионно-оптической системы масс-анализатора)
5. Sachenko V. D., Antonov A. S., Gall L. N., Berdnikov A. S. Geometric aspects of optimizing the acceptance of a static mass analyzer // *Journal of Analytical Chemistry*. 2020. Vol. 75, no.14. P. 1781–1789 (Обобщение алгоритма оптимизации вертикального аксептанса масс-анализатора в условиях фиксированной разрешающей способности)
6. Kogan V. T., Chichagov Yu. V., Bogdanov A. A., Antonov A. S., Tubol'tsev Yu. V., Aruev N. N., Lebedev D. S. Interfacing of a Coordinate-Sensitive Detector

Based on Charge-Coupled Devices for Recording Ions with a Portable Static Mass Spectrograph // Technical Physics Letters. 2018. Vol 44, no 7. P. 599–601. (Исследования, оптимизация ионно-оптической системы и численное моделирование пиков масс-спектра малогабаритного масс-спектрографа типа Маттауха-Герцога)

На автореферат поступило 6 отзывов.

1. Отзыв от Явора Михаила Игоревича, доктора физико-математических наук, главного научного сотрудника ФГБУН «Институт аналитического приборостроения Российской Академии наук» (ИАП РАН), положительный и содержит 3 замечания:

В представлении результатов четвертой главы диссертации в автореферате указана разработка алгоритма оптимизации формирования вертикального аксептанса масс-анализатора на основе подбора коллимирующих диафрагм. Однако принцип этого подбора в автореферате не описан.

На протяжении всего автореферата автор употребляет термин «аксиальная абберация», не являющийся стандартным в ионной оптике (в оптике заряженных частиц существует термин «аксиальная хроматическая абберация второго порядка», однако автор, очевидно, имеет в виду что-то другое, поскольку упоминает о нескольких компонентах такой абберации). Указанный термин автором никак не поясняется и создает трудности в понимании описания результатов.

В автореферате встречается термин «сферическая абберация второго порядка», являющийся некорректным. В оптике (в том числе в оптике заряженных частиц) существует только одна сферическая абберация – это абберация третьего порядка по угловому разбросу в пучке.

2. Отзыв от Барановой Любви Александровны, кандидата физико-математических наук, старшего научного сотрудника ФТИ им. А.Ф.Иоффе, положителен и содержит 2 замечания:

Насколько справедливо утверждение автора о том, что изотопическая чувствительность статических магнитных масс-спектрометров значительно выше, чем у динамических приборов?

Из автореферата непонятно, какими геометрическими параметрами должен обладать прибор, чтобы его можно было рассматривать как портативный?

3. Отзыв от Иванова Валентина Яковлевича, доктора физико-математических наук, сотрудника Института ядерной физики СО РАН, положителен и содержит 1 замечание:

К сожалению, диссертационная работа не лишена и недостатков, главный из которых заключается в отсутствии прототипа исследованных соискателем систем и сравнения полученных им результатов с экспериментальными данными.

4. Отзыв от Спивака-Лаврова Игоря Феликсовича, доктора физико-математических наук, профессора кафедры физики Актюбинского регионального университета им. К. Жубанова, положителен и содержит 2 замечания:

Не совсем понятно каким образом рассчитывались краевые поля магнита.

В автореферате мне не удалось найти рис. 5 (стр. 19), не показан также ход пучка в анализаторе в вертикальном направлении.

5. Отзыв от Красновой Надежды Константиновны, доктора физико-математических наук, профессора Высшей инженерно-физической школы ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» и Соловьёва Константина Вячеславовича, кандидата физико-математических наук, доцента Высшей инженерно-физической школы ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», положителен и содержит 2 замечания:

Поскольку проблема правильного учета влияния краевых полей при моделировании ионно-оптических систем чрезвычайно важна, логично было бы видеть в работе проверку на удовлетворение найденному автором критерию точности помимо программы ISIOS также и других использованных в диссертации программных средств, в частности, пакета COSY Infinity

В автореферате (стр. 17) говорится о моделировании ионно-оптической системы прибора, включающего магнитную призму, в программе SIMION. Если речь идет о сквозном моделировании всей системы, желательно было бы оценить корректность использования данной программы при моделировании элементов магнитостатики с учетом того, что предполагается движение ионов пучка в непосредственной близости от полюсных наконечников.

6. Отзыв от Кузьмина Алексея Георгиевича, кандидата физико-математических наук, старшего научного сотрудника Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт аналитического приборостроения Российской академии наук (ИАП РАН), положителен и содержит 1 замечание:

Отсутствие объективных сравнений параметров предлагаемого малогабаритного статического масс-анализатора с другими масс-анализаторами, в частности, с современными квадрупольными.

Диссертационный совет отмечает, что в рамках выполненных соискателем исследований получен ряд важных результатов, а именно:

- Впервые найдены аналитические тождества, связывающие угловые и линейные компоненты абберационных коэффициентов, служащие критериями точности расчета абберационных элементов матриц переноса 2-го порядка в краевых полях магнитного элемента ионно-оптических систем.
- Обнаружено, что в ионно-оптических системах с двойной фокусировкой, включающих двумерную магнитную призму и цилиндрический конденсатор, имеется возможность обеспечить полную коррекцию всех слагаемых аксиальной абберации 2-го порядка.
- Обнаружено, что в симметричной трехкаскадной двухканальной ионно-оптических систем с двойной фокусировкой, содержащей магнитную призму и секторные цилиндрические конденсаторы, все компоненты аксиальной абберации 2-го порядка тождественно равны нулю для двух ионно-оптических каналов.
- Разработана оригинальная методика оптимизации вертикального аксептанса статического масс-анализатора, имеющего ненулевую аксиальную абберацию 2-го порядка, позволяющая значительно увеличить его пропускание без ухудшения разрешающей способности.
- Для ионно-оптических систем типа Маттауха-Герцога показано, что оптимизация вертикального аксептанса по разработанной методике позволяет максимизировать пропускание ионного пучка по всем его мономассовым компонентам в рабочем диапазоне регистрируемых массовых чисел.

Научная и практическая значимость исследования заключается в том, что в результате проведенных в рамках поставленных задач исследований найдены эффективные решения, позволяющие значительно улучшить основные параметры статических масс-анализаторов - их пропускание и разрешающую способность, при малых габаритах магнитного элемента.

Достоверность полученных данных и выводов, сделанных на их основе, обусловлена математической корректностью использованных методов и формул и подтверждена сравнением данных, полученных аналитическим путем, с результатами численного моделирования для нескольких тестовых примеров, а также согласием с результатами, опубликованными другими авторами.

Личный вклад соискателя состоял в участии и в решении всех поставленных задач, анализе полученных данных, формулировке выводов и подготовке публикаций.

Диссертация Антонова А. С. является законченным научным исследованием, вносящим существенный вклад в развитие теории расчёта ионно-оптических систем и моделирования конкретных схем магнитных статических малогабаритных масс-анализаторов на основе магнитных призм и секторов.

На заседании 15 апреля 2021 диссертационный совет принял решение присудить Антонову А. С. учёную степень кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.04 «Физическая электроника». При проведении открытого голосования диссертационный совет в количестве 21 человек, из них 6 докторов по специальности 01.04.04 «Физическая электроника», участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 20, против – 0, воздержавшихся – 1.

Председатель
диссертационного совета
докт. физ.-мат. наук

О.С. Васютинский

Ученый секретарь
диссертационного совета
канд. физ.-мат. наук

А.В. Белашов

Дата: 15 апреля 2021 года.