

## ОТЗЫВ

научного консультанта на диссертацию докторанта PhD  
Актюбинского регионального университета им. К. Жубанова  
Шугаевой Тилектес Жалгасовны

на тему: «Моделирование динамики пучков заряженных частиц в статических и времяпролетных масс-спектрометрах», представленной на соискание ученой степени доктора философии (PhD) по специальности «6D060400 – Физика»

Важнейшей сферой применения ионно-оптических систем является масс-спектрометрия, которая к настоящему времени стала основным, а во многих случаях единственным методом анализа сложных веществ в любом агрегатном состоянии: газообразном, жидком и твёрдом. Масс-спектрометрический анализ используется во многих областях науки и промышленности, когда требуется получить данные о физико-химических свойствах отдельных веществ, элементном составе исследуемых образцов, а также для контроля сложных технологических процессов. Разработка новых высокоэффективных схем статических и времяпролетных масс-анализаторов и методов расчета их приборных характеристик является актуальной задачей научного приборостроения.

Полученные в диссертационной работе Шугаевой Т.Ж. новые результаты направлены на решение актуальных задач в области разработки новых статических и времяпролетных масс-анализаторов и методов расчета их приборных характеристик. Практическая значимость результатов исследования заключается в том, что в работе проведен расчет приборных характеристик новых схем статических и времяпролетных масс-анализаторов заряженных частиц с высоким разрешением и чувствительностью.

В диссертации на основе анализа полученных результатов сформулированы три основных положения, вынесенные на защиту.

### **Положения, выносимые на защиту:**

1. Численные решения точных безразмерных дифференциальных уравнений движения заряженных частиц в электрических и магнитных полях, исследуемых корпускулярно-оптических систем, аналитические выражения для потенциалов которых были найдены в работе, позволяют учитывать распределение ионов в источнике по координатам и углам вылета, а также по энергиям и массам и содержат в себе поправки на абберрации.

2. В статическом призмном масс-спектрометре с конусовидной ахроматичной призмой и трансаксиальными линзами моделирование массового дуплета с  $\gamma=0$  и  $\gamma=1/20000$  показало, что достигается разрешение по массе 20000, а на полувысоте пиков 40000, что больше в 8 раз в сравнении

с разрешением масс-спектрометра Матсуда при почти одинаковых размерах прибора и параметрах ионного источника.

3. В результате отражения заряженных частиц, вылетающих из точечного источника, расположенного в средней плоскости трехэлектродного трансаксиального зеркала, достигается энергетическая и пространственная времяпролетная фокусировка ионного пучка, а в времяпролетном масс-спектрометре на основе осесимметричного цилиндрического зеркала для массового дуплета с относительной разницей в массах  $\gamma=1/4000$  достигается разрешение 4000 на уровне 50% от высоты пиков.

Диссертация содержит новые, научно обоснованные теоретические результаты, являющиеся итогом достижения основной цели исследования и решения поставленных задач.

Шугаева Т.Ж. участвовала в разработке программ и проведении расчетов приборных характеристик статических и времяпролетных масс-анализаторов на основе двумерных и осесимметричных электростатических систем с помощью алгоритмов и пакетов прикладных программ, созданных с использованием метода Монте-Карло.

По основным результатам диссертации опубликовано 12 работ, в том числе 4 публикации в рейтинговых научных журналах, индексируемых в базе Scopus и Web of Science, 1 публикация в научном издании, входящем в перечень рекомендованный Комитетом по обеспечению качества в сфере высшего образования и науки МНВО РК для публикации основных научных результатов научной деятельности, 7 публикаций в других научных журналах и материалах международных конференций.

В целях проведения теоретических и экспериментальных исследований по теме диссертации докторант прошла зарубежную научную стажировку в Рязанском Государственном Радиотехническом Университете им. В.Ф. Уткина (г. Рязань, РФ) с 1 февраля по 31 марта 2021 года. За время стажировки Шугаева Т.Ж. освоила программное обеспечение численного моделирования статических и динамических систем электронной и ионной оптики с произвольной конфигурацией электродов. В ходе исследований ею разработана и рассчитана электронно-оптическая схема микрофокусной рентгеновской трубки, обеспечивающей ускорение электронного потока до 100 кэВ и его транспортировку из области эмиссии в точку фокуса с 10-кратным сжатием диаметра сечения. По результатам моделирования опубликована наша совместная статья в журнале «Eurasian Physical Technical Journal», индексируемого в базах данных Wos и Scopus.