



GLOBAL JOURNAL OF RESEARCHES IN ENGINEERING: F
ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING
Volume 18 Issue 5 Version 1.0 Year 2018
Type: Double Blind Peer Reviewed International Research Journal
Publisher: Global Journals
Online ISSN: 2249-4596 & Print ISSN: 0975-5861

New Scientific and Technical Developments in the Areas of Electronic Systems Based on Mass Spectrometry

By Aldan Sapargaliyev

Abstract- TOFMS and EEFE-MS (EEFE-MS - DSSSO and KUTP electronic systems based on TO mass and mass spectrometry) are now widely used in many fields of human activity. TOF MS made a decisive contribution to many breakthrough achievements of science, in particular, thanks to the use of mass analyzers of this type, the human genome and the genomes of other organisms were deciphered.

GJRE-F Classification: FOR Code: 290901p



Strictly as per the compliance and regulations of:



© 2018. Aldan Sapargaliyev. This is a research/review paper, distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 3.0 Unported License <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>, permitting all non commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Новые научно-технические разработки в направлениях электронных систем, основанных на масс-спектрометрии

Aldan Sapargaliyev

Принятие обозначения и сокращения:

ДСССО – диагностики структуры, состава, состояния объектов (веществ и живых организмов);

КУТП – контроля, управления технологическими процессами;

СГС – обобщенно-потенциальное поле;

СО – корпускулярная оптика;

ОСТТ СО – общая пространственно-временная теория корпускулярной оптики;

ТОFMS – времяпролетный масс-спектрометр;

R – Отражательный;

MR – многоотражательный;

nD – *n*- мерный, где $n=2,3$;

ТОFMS и EEFЕ-MS (EEFE- MS – электронные системы ДСССО и КУТП, основанные на ТОFмасс-спектрометрии) в настоящее время начали широко использоваться во многих сферах человеческой деятельности.

ТОF MS внесли решающий вклад во многие прорывные достижения науки, в частности, именно благодаря использованию масс-анализаторов такого типа была выполнена расшифровка генома человека и геномов других организмов.

Предлагаемые нами принципиально новые концепции, технологии, теоретические и экспериментальные работы создают основу для быстрого продвижения по пути:

- создания нового поколения сверхвысокоскоростных, светосильных, компактных и с новыми функциональными возможностями различного назначения ТОF MS и EEFЕ-MS и широкому использованию их во многих новых сферах, в частности в быту;
- контроля и управления любого технологического процесса, в частности для создания новых видов веществ и материалов с заданными свойствами и т. п.;
- контроля и диагностики состояния любого объекта, включая неживого и живого, в частности для медицинской диагностики, биологических исследований и т. п.;
- новых научных открытий в областях биологии и медицины, основные законы которых малоизвестны человечеству.

1. Актуальные Проблемы Научно-Технического Развития Направлений ТОFMS и EEFЕ-MS

В настоящее время показатели функциональных характеристик ТОFMS и EEFЕ-MS весьма слабые, чем требуемые, связанные с проблемами биологии, медицины, контроля безопасности (качества и состава) пищевых продуктов, контроля и управления технологическими процессами при наличии органических веществ.

Во-первых, известный на рынке “PegasusGC-HRT”(LECO Corporation, США, 2005 г.), один из видов MR ТОFMS, выполненный на основе, предложенной в 1992 году казахстанскими учеными концепции «2D MRмасс-спектрометрии», имеет рекордное, среди ТОFMS, для настоящего времени разрешение – около 45000 (для 300а.е.м.).

Для анализа органических веществ необходим ТОF MS, с разрешением 100 тыс. и более. Вследствие ограниченных возможностей инструментариев СО, до настоящего времени они в торглись с основным – неживую природу, причем, только в области неорганических веществ. Для широкого вторжения в области исследования органических веществ и живой природы – важнейшей составляющей планеты Земля, необходимо разработать революционно новое поколение инструментариев СО, одним из которых является ТОF MS.

Во-вторых, весьма ограничены возможности одно-временного многокоординатного анализа по объему. Все процессы развиваются в зависимости от времени, а также в объеме изучаемого объекта с изменениями в пространстве (следствие процесса распространяется в пространстве). В частности, чтобы корректно контролировать и управлять процессами в веществах и живых объектах, особенно быстропротекающими процессами, необходимо одновременно контролировать (определять ход процесса) в различных точках.

В настоящее время, все известные MS, кроме их параллельно-многоканальных квадрупольных видов, являются одноканальными канално-однотрактными и выполнены с обеспечением возможности одновременного анализа только однотрактного ионного потока. Многоканальная, канално-однотрактная система квадрупольных MS, как и все известные одноканальные MS

с квадрупольной ионной ловушкой обладает: малым диапазоном регистрируемых масс; невысокой точностью определения массы – < 20 ppm, низкой величиной соотношения разрешение/себестоимость.

В-третьих, у TOF MS относительно невысокие светосила и трансмиссия.

II. Предпосылки К Нашим Новым RESEARCH. AND INNOVATION Работам В Направлениях CO, И Времяпролетноймасс-Спектрометрии

Известные основы концепции теории механики CGCS (CGCS – обобщенно потенциальные поля), а также один из его важных разделов CO (CO – corpuscularoptics) содержащиеся современных учебниках технических ВУЗов всего мира, построены более чем 100 лет назад^[1].

Казахстанские ученые, начиная с восьмидесятых годов 20-го века, внесли и вносят большой вклад в развитие теории CO.

- ✓ В восьмидесятых годах 20-го века, разработали новый математический метод – метод центральной частицы (автор основных идей и руководитель работ Якушев Е.М.), решив математическую проблему описания физических процессов в области с особыми точками при движении частиц в них, и создали современную общую пространственно-временную теорию корпускулярной оптики (OSTT CO). Основные результаты этих работ изложены Сапаргалиевым А.А в 1987 г. в его диссертации^[11] на соискание степени доктора физ.-мат. наук и в обзорных статьях^{[9]-[10]} Якушева Е.М., написанные по предложению и при поддержке редакции международного журнала «Advances in Electronics and Electron Physics».
- ✓ На основе OSTT CO, в 1985 г. Сапаргалиевым А. А. предложен и в 1987 г. под его руководством был создан опытно лабораторный образец оригинального TOF MS-FTA с фокусировкой кольцо-кольцо и впервые в мире была экспериментально осуществлена пространственно-временная фокусировка ионного пакета с помощью неоднородного (безсеточного) электростатического отражающего поля (ионного зеркала). TOF MS-FTA был усовершенствован в 1990 году. Результаты этих работ изложены в докторской диссертации^[11] и в отчете по научно-исследовательской работе^[12].
- ✓ Эти работы впервые экспериментально подтвердили выводы OSTT CO и открыли перспективу дальнейшего развития инструментария в CO. Отметим также, что сегодня, практически все инструменты CO создаются неоднородными полями (без сеток).
- ✓ В 1992 году Л.М. Назаренко, Л.М. Секунова и Е.М. Якушев предложили (SU1725289 A1, A.C.) высоко разрешающий 2DMRTOF (2DMRTOF – двумерный многоотражательный времяпролетный масс-спектрометр) с время-пространственной

фокусировкой, где особые точки расположены в одной плоскости (в 2-мерном пространстве). В настоящее время наиболее высокое разрешение, около 45 000, среди известных на мировом рынке TOF MS, имеет «Pegasus GC-HRT» (LECO Corporation, США), техническое решение и теория которого, созданы казахстанскими специалистами в SU1725289 A1, A.C..

- ✓ В 2010 г. на основе OSTT CO предложена (Сапаргалиев А. А. US 8,598,516 B2 и др.) концепция «3D Mass-спектрометрии», в том числе (а) 3D-5R R (Multi-Reflector); (б) концепцию Multipath масс-спектрометрии; (с) новые виды корпускулярно-оптические элементы устройств для реализации предложенных концепций. Концепция «3D масс-спектрометрии» предоставляет принципиально новые возможности для развития масс-спектрометрии, по сравнению с другими известными концепциями. На основе математического и компьютерного моделирования показано, что системы 3D масс-спектрометрии могут одновременно обладать многократно превосходящим разрешением (несколько сот тысяч) и чувствительностью, и быть более компактным, чем лучшие известные аналоги. Упомянутая концепция Multipath (многоканального) MS многократно повышает производительность работы MS, достоверность полученной информации и приводит к новым функциональным возможностям масс-спектрометрии.
- ✓ Теоретические исследования под руководством Якушева Е.М., проведенные в 2005-2013 г.г. на основе OSTT CO, (например^[10]), определили принципиальные пути создания нового вида теневого CO микроскопа и увеличения разрешения электронных микроскопов на два порядка (100 раз), по сравнению с известными в мире аналогами.

В настоящее время «метод центральной частицы», OSTT CO и их значимость приобрели общее мировое признание. На их основе в мире построены множество уникальных CO систем, которые внесли значительный вклад в прогресс человечества.

III. Предлагаемые Нами Новые Концепции/Технологий и Их Научно-Технические Решения

Для повышения разрешения, светосилы и функциональных характеристик масс-спектрометрии нами предложены ряд новых концепций/технологий^{[15]-[18]} и разработаны научно-технические решения их практической реализации:

- nD5RTOF (nD – n-мерная, 5 – петлевая, R – отражательная) масс-спектрометрия, в том числе 3D 25MRTOF (25 – двухпетлевая, MR – многоотражательная) высоко разрешающая и сверхвысоко разрешающая масс-спектрометрия, где $n=2, 3$;
- Pj(Pj – многоотражательная или многокоординатная) масс-спектрометрия, где $j > 1$ – количество трактов

- Fk (Fk – светосильная многосвязно-кроссоверная масс-спектрометрия, в том числе энерго-фильтровая, где $k > 1$ количество связи многосвязного сечения ионного тракта, выполненная с обеспечением возможности отбора потока ионов на время-пролетное детектирование с заданной или регулируемой областью (выбора энергетической шириной и положения этой ширины) энергетического распределения ионов в потоке. При этом, по меньшей мере, один MS-канал выполнен энерго-фильтровым:

- (a) с предварительной энергофильтрацией (энерго-фильтрация при выходе из предварительного формирующего блока перед анализаторным каналом)
- (b) с после дисперсионной энергофильтрацией (энерго-фильтрация после дисперсионного канала и перед детектором).

- 3DS/TOF-F (S/TOF-F – ступенчатая времяпролетная масс-спектрометрия (поэтапно времяпролетной фокусировки), выполненные с одной или более поверхностями эффективного отражения и одним или более отклоняющими и фокусирующими элементами.

В зависимости от состава отражателей, отклоняющих и фокусирующих элементов и их расположения, представители, 3DS/TOF-F делятся на несколько семейства.

3D5RTOFMS, выполненные на основе концепции 3D5RTOF масс-спектрометрии, по принципу работы делятся на три подтипа.

- 1) однопроекционно-двухпетлевидные 3D5RTOF, (в виде 3D5rRTOFMS), выполненные с двумя или более поверхностями эффективного отражения (двумя или более линейными ионными зеркалами);
- 2) многопроекционно-двухпетлевидные 3D5RTOF, (в виде 3D5rRTOFMS), выполненные с одним или более криволинейными поверхностями эффективного многоотражения (с одним или более кольцевидными отражательными ионными зеркалами). Представители 3D5rRTOFMS делятся на два рода – круглой или многоугольной поверхностями эффективного многоотражения;
- 3) ступенчато-времяпролетные 3D5RTOF (в виде 3D5S/TOF-FMS) выполненные с двумя или более поверхностями эффективного отражения и с одним или более отклоняющими и фокусирующими элементами.

IV. Основные Технические И Коммерческие Преимущества Новых Концепции/Технологий И Их Научно-Технических Решений перед Известными Аналогами

Недостатком 2DMRTOF-концепции является то, что усреднённая траектория потока ионов лежит в одной плоскости, при этом в этой плоскости линейное

ионное зеркало не оказывает фокусирующее воздействие на поток ионов. Это приводит к тому, что для разделения, падающего в ионное зеркало и отраженного от него потока ионов, необходим значительный угол отражения α (рис. 1). При этом, как следует из рис. 1, после каждого отражения поперечная энергетическая дисперсия расширяет ширину (эффект “хроматического размытия”) ионного потока и после N отражений величину суммарного расширения Δh_N ионного потока можно представить в следующем виде:

$$\Delta h_N \approx N(\Delta s_\zeta) \sin \alpha \quad (1)$$

где:

- стрелки показывают направлений движения ионного потока.
- h_ζ – расстояние между двумя плоскостями $S_{\zeta 1}$ и $S_{\zeta 2}$ эффективных отражений ионов с различными начальными энергиями,
- Δs_ζ – эффективная ширина потока ионов с различными начальными энергиями в области его отражении в ионном зеркале.
- N – количество отражения.

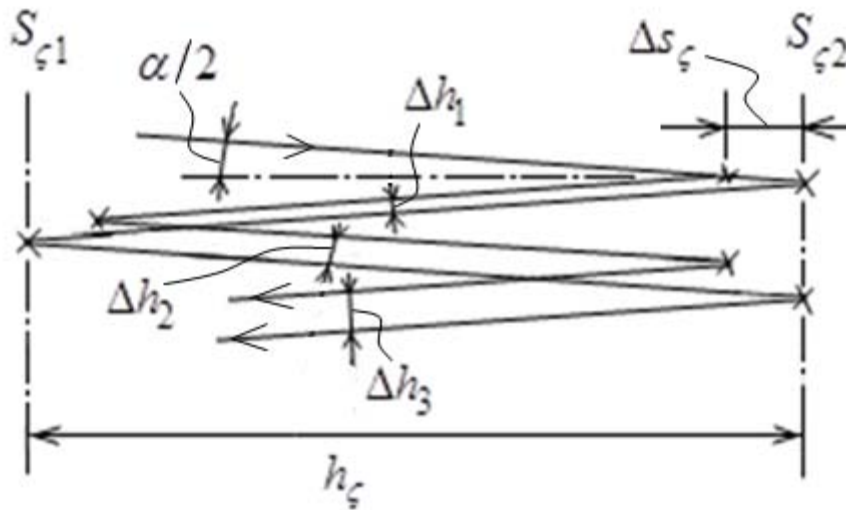


Рисунок 1: Эффект "хроматического размытия", характерный для 2D MR TOF-концепции, в частности для "Pegasus GC-HRT"

Как показывает выражение (1), после нескольких отражений ширина размытия потока ионов Δh_N возрастет настолько, что дальнейшее удлинение траектории ионов не имеет смысла. Это ограничивает разрешение TOFMS, построенных на основе 2DMR-концепции. К тому же, при значительном количестве отражений, высота анализатора по вертикальной плоскости будет весьма большой.

В настоящее время 2DMRTOFMS создаются компанией Лесо, США, под названием "Pegasus" по 2DMRTOF-концепции и имеет ограниченное разрешение, около 45 000.

Фокусировка потока ионов с помощью ионно-оптических линз после каждого отражения потока ионов, предложенная US No. 7,385,187 В2, не привели к улучшению разрешающей способности PegasusGC-HRT. Промежуточные ионно-оптические линзы порождают хаотические и, в принципе, неустраняемые времяпролетные aberrации.

На рис. 2 показана замкнутая двухпетлевидная проекционная характерная форма траектории потока ионов в 3D ∇^2 RTOFMS.

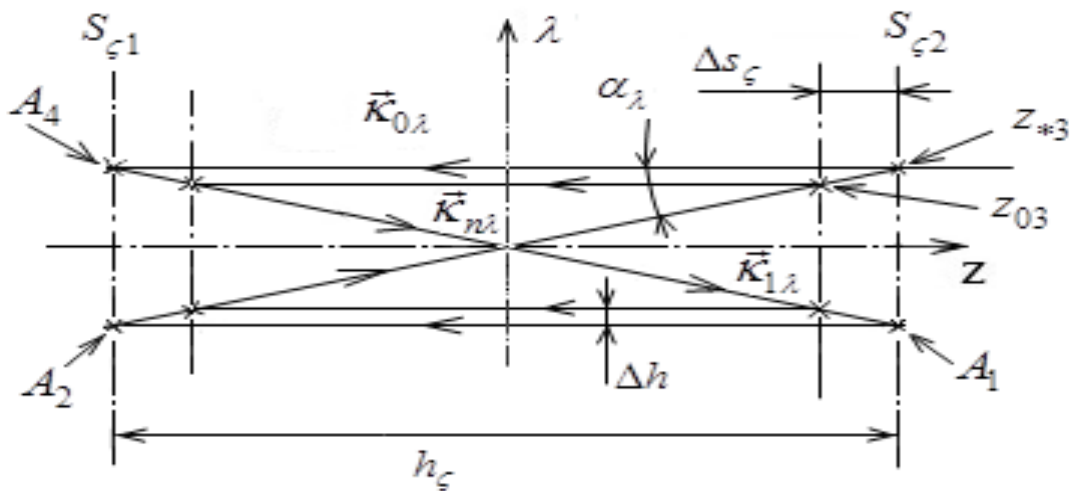


Рис.2: двухпетлевидная проекционная характерная форма траектории потока ионов

На рисунке 2 введены обозначения параметров: λZ – плоскость двухпетлевидности проекционной характерной формы траектории потока ионов; A_j – вершины эффективного отражения, где $j = 1, 2, 3, 4$

$K_{1\lambda}$ и $K_{n\lambda}$ – единичные векторы, показывают направления движения потока ионов; Δs_{ζ} – эффективная ширина потока ионов с различными начальными энергиями в области его отражения в зеркале.

Главным достоинством nD5RTOF-концепции являются то, что, по меньшей мере, в одной из плоскости проекционная характерная форма траектории потока ионов является однопетлевым или двухпетлевым и в этой проекционной плоскости отсутствует эффект "хроматического размытия" потока ионов. Это связано тем, что после каждой пары антисимметричных отражений потока ионов, происходит взаимная компенсация ширины "хроматического размытия" потока ионов Δh , образуемых при каждом из этих отражений. Это свойство nD5RTOF-концепции дают ей уникальные свойства, включая компактность и высокое разрешения по сравнению с другими концепциями.

Чтобы представить некоторые сведения об отдельных технических решениях вышеизложенных концепций рассмотрим только некоторые представителей TOFMS.

a) 3D 25r MRTOFMS сверхвысокого разрешения (3D 25r UHR MRTOFMS)

Концепция основанная на 3-х мерном многоотражении ионных пакетов и обеспечивают увеличения разрешения, за счет большой времяпролетной дисперсии по массе ионов в сочетании с высокого порядка времяпролетной фокусировкой по разбросу энергии ионов. Увеличение времяпролетной дисперсии по массе ионов реализуется на основе увеличения длины пути и времени прохождения ионов в анализаторе 3D 25MRTOFMS. Представители 3D 25 UHR MRTOFMS-будут иметь малые габариты и высокие разрешения, чем известные TOFMS.

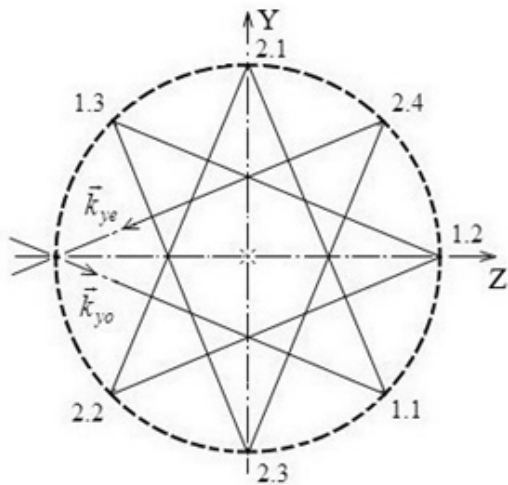


Рис. 3

Сверхвысокого разрешения 3D 25rUHR MRTOFMS является одним из типов сверхвысокоразрешающих 3D25TOFMS, который по виду отражателей и по принципам работ делится на три подтипа.

- 1) 3D 25r UHR MRTOFMS – однопроекционно-двухпетлевые, выполненные четырьмя линейными ионными зеркалами, расположенные на вершинах правильного четырехугольника;
- 2) 3D 25rUHR MRTOFMS – многопроекционно-двухпетлевые, выполненные с двумя симметрично расположенными кольцевидными многоотражательными ионными зеркалами; Представители 3Dm5rMRTOFMS делятся на два рода – круглой и многоугольной поверхностями эффективного многоотражения;
- 3) 3D UHR/TOF-F– однопроекционно-двухпетлевые, выполненные четырьмя линейными ионными зеркалами и восемью цилиндрическими конденсаторами.

Чтобы представить некоторые сведения об отдельных технических решениях 3D 25 UHR MRTOFMS, на рис.3-5 схематический показаны 3D25rHRT MRTOFMS в проекции на горизонтальную (рис. 3 и 5) и на вертикальную плоскость (рис. 4):

- кругло-граничный 3D25r HRT MRTOFMS (рис. 3);
- n-гранено/секторно-граничный (многоугольный) 3D25r HRT MRTOFMS, секторные эффективные поверхности, отражения которых расположены вокруг одного центра (рис. 4).

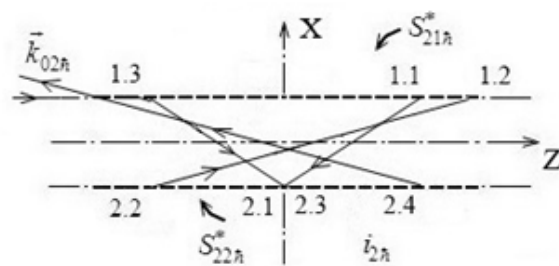


Рис. 4

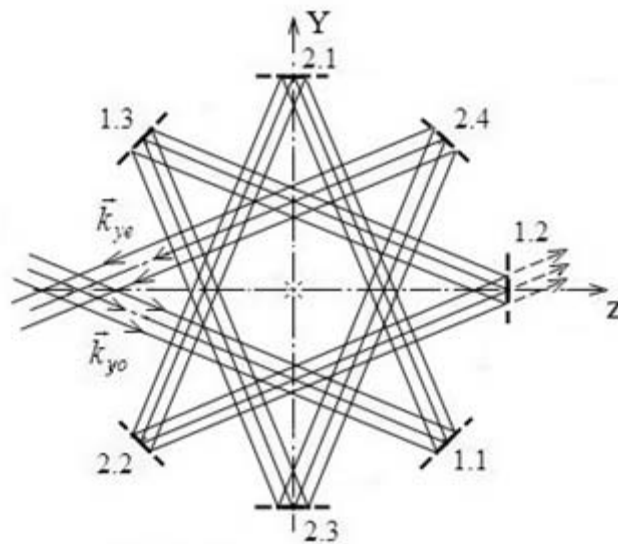


Рис. 5

На рис. 5 показана семиугольная отражающая поверхность. Конечно, на количество углов многоугольника нет ограничения. Многоугольная отражающая поверхность позволяет пропускать широкие ионные потоки.

Результаты математического и компьютерного моделирования 3D 25 lR UHR MRMS доложены на международной конференции^[14] и опубликованы на нескольких научных журналах. Они показали, что 3D 25 lR UHR MS может одновременно обладать многократно превосходящим разрешением (внесколько сот тысяч) и чувствительностью, и быть более компактным (2 и более раз), чем лучшие известные аналоги, например, PegasusGC-HRT.

Создан опытно лабораторный образец, который подтвердил исходные теоретические расчеты и перспективность выбранного нового научно-технического направления. (www.OiArna.com; <https://drive.google.com/file/d/0B47EiWNeAC2qMzlhSINuNndCTU0/view?usp=sharing>).

V. Высокора разрешающие MULTIPATH Или Канально-Много трактные (Несколько Ионных Трактов В Одном Канале) MS (MS-Pj)

Упомянутая концепция Multipath (много трактного) масс-спектрометрии многократно повышает производительность работы MS, достоверность полученной с ее помощью информации и приводит к новым функциональным возможностям масс-спектрометрии.

Например, одним из перспективных приложений упомянутой концепции с новыми функциональными возможностями, является iKnife (Intelligent Knife, <http://en.wikipedia.org/wiki/Iknife>), разрабатываемый Waters Corp. iKnife – это инструмент, способный анализировать человеческую ткань в реальном времени во время медицинской операции. На основе масс-спектрометрии быстрой испарительной

ионизации (REIMS, <http://www.chemport.ru/datenews.php?news=3584>), iKnife, будучи интегрирован со стандартным электрохирургическим инструментом, на основе собранного и проанализированного образца, способен мгновенно определить статус вырезанной ткани.

На рис. 6-8 показаны некоторые примеры возможных видов, на поверхности сечений, много трактного ионного потока, где, соответственно $j = 4$, $j = 6$ и $j = 2$, где j – количество трактов.

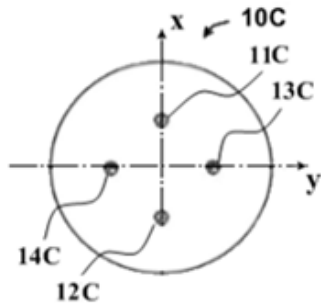


Рис. 6

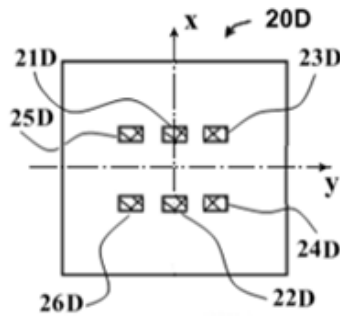


Рис. 7

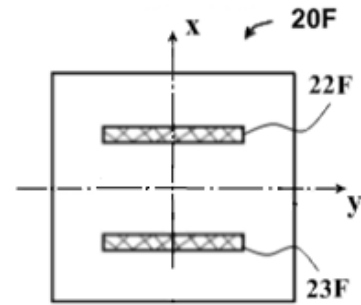


Рис. 8

Наиболее простыми видами выполнения канально-многоотрактныхотражательныхRMS-jP, предложенных нами, могут бытьодноотражательныйRMS-Pjс одним линейным зеркалом и двуотражательный петлевой MS с двумя линейными зеркалами.

Предложенные нами многоотрактныеRTOFMSPj обладают: с широким диапазоном регистрируемых масс;высокой точностью определения массы – < 3 ppm; высокой величиной соотношения разрешения/себестоимость (например, более чем четыре раза по сравнению с тремя параллельными квадрупольными масс-спектрометрами).

b) Светосильная многосвязно-кроссовернаяMS(MSFk) с энергофильтрацией, где $k > 1$

Основные достоинства MSFk, выполненные с обеспечением возможности пропускания потока ионов на времяпролетное детектирование с заданной или регулируемой областью (выбора энергетической ширины и положения этой ширины) энергетического распределения ионов в потоке (энергофильтрно-, MS-канал):

MSFkобладает до 3-х раз большей светосилой, чем его аналоги с ионным потоком центрально йодносвязаннойповерхностью сечения круглой формы, при его диаметре равный ширине многосвязной поверхностью сечения ионного потока.

MSFkс энергофильтрацией (с энерго-фильтровой диафрагмой в области кроссовера ионного потока) позволяет существенно повысить его разрешение.

Наибольший интерес для схемы TOF MSFkпредоставляет зависимости его разрешающей силы и трансмиссии/светосилы от ширины энергетического распределения (распределения количества ионов в зависимости от энергии ионов, см. рис.9) проходящей части ионного пакета (заштрихованная область под кривой распределения при температуре 20° C) из источника, через диафрагму.

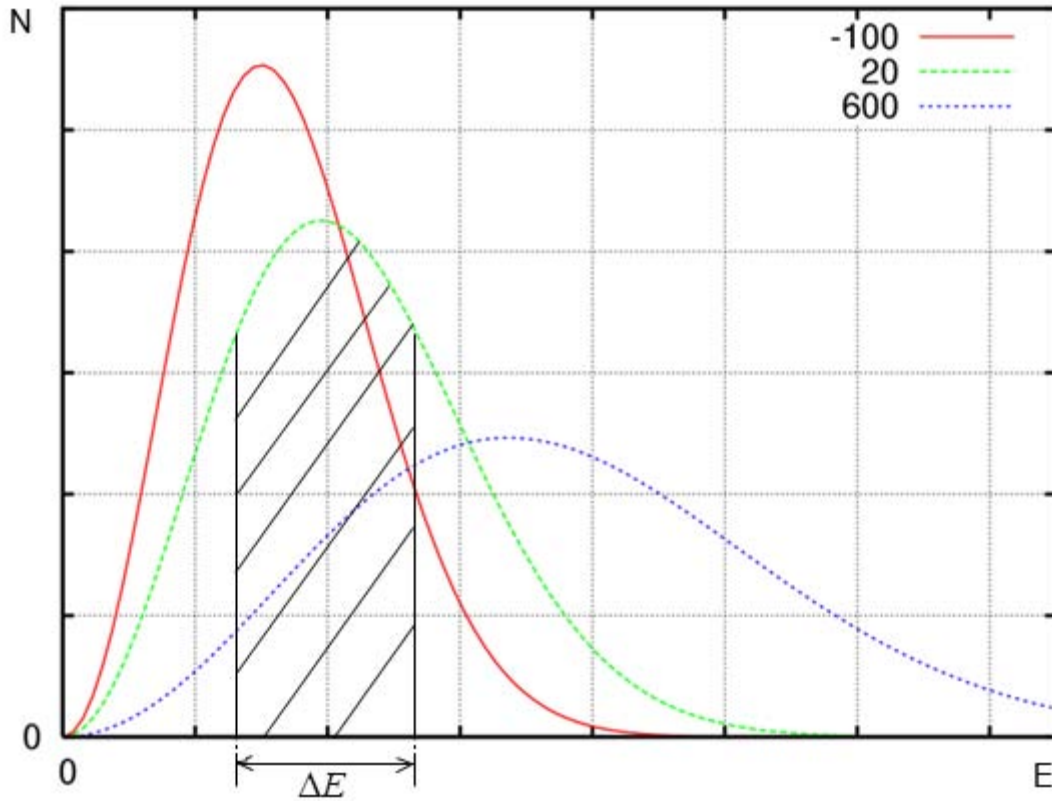


Рис. 9

На рис. 10, 11 и 13 показаны некоторые примеры возможных видов, двухсвязанных, на поверхности сечения, ионного потока. Они могут быть использованы в TOF MSFk, соответственно: на фиг. 10–

сдвумерной симметрией распределения поля; на фиг. 10 и 11 – с любым из трансаксиальной и двумерной симметрии распределения поля; на фиг. 12 – с вращательной симметрией распределения поля.

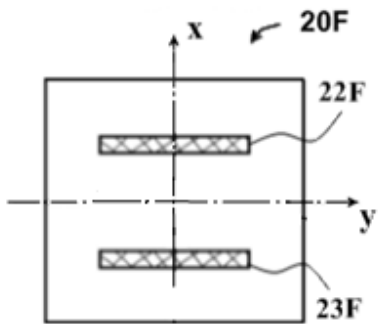


Рис. 10

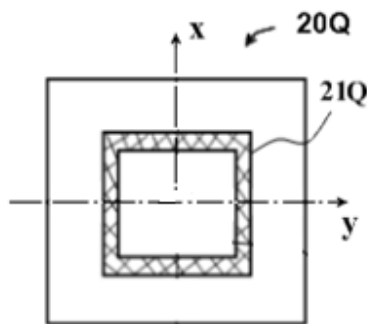


Рис. 11

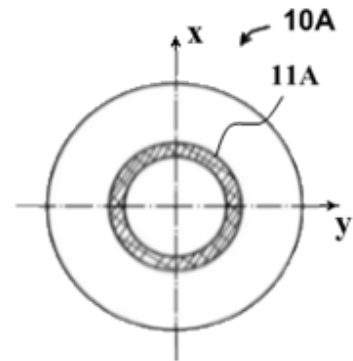
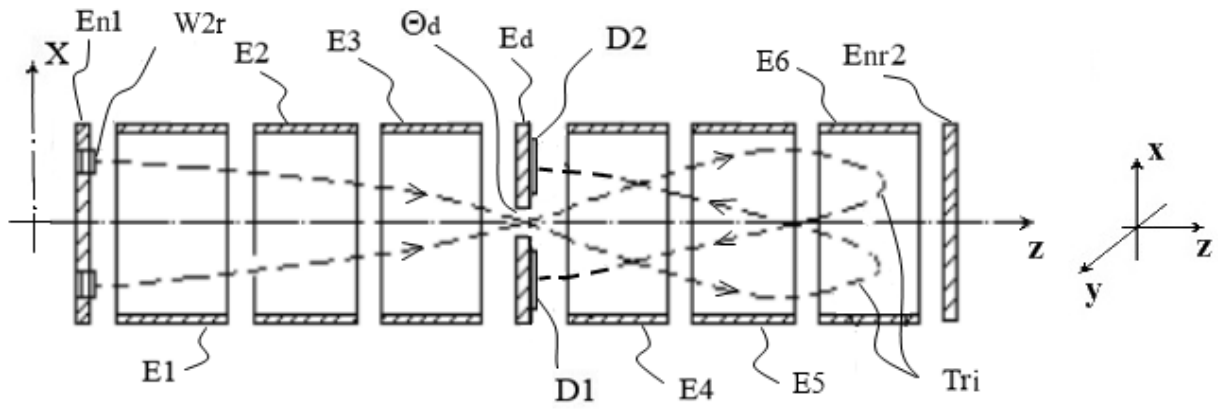
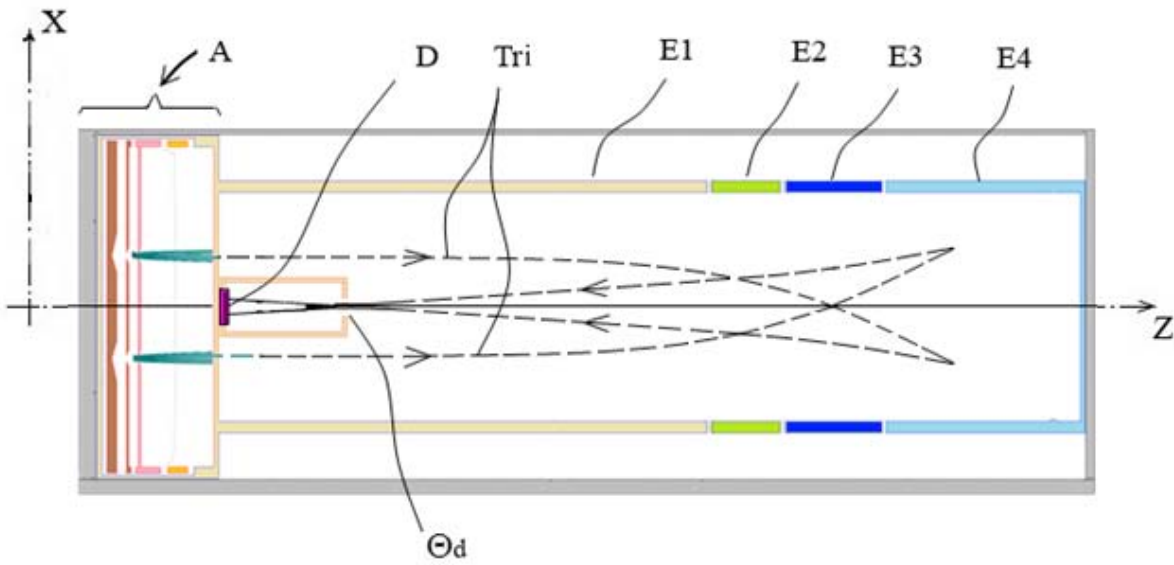


Рис. 12

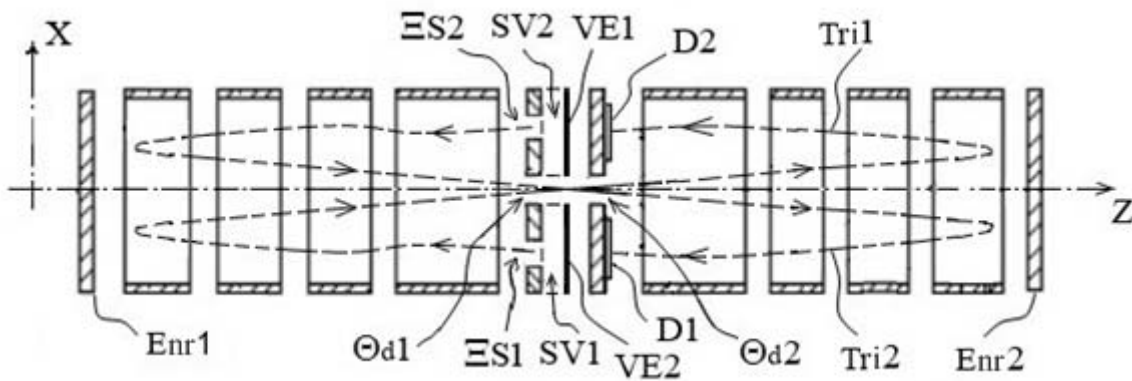
На рис. 13-15 схематически представлены некоторые примеры выполнения TOF MSFk, где пунктирными линиями показаны траектории ионов в анализаторе, стрелки на них показывают усредненные направления движений ионов.



Фиг. 13



Фиг. 14



Фиг. 15

Все технологические решения защищены.

VI. Маркетинг. Рынок Ежегодного Потребления Продукции MS

Согласно исследованию конкурентной среды, в 2010 году рынок ежегодного потребления мировой промышленности аналитических электронных систем составил около \$40 млрд. с регистрируемым за прошлые годы ростом на 7%^[19].

По сведениям крупнейшей исследовательской компании рынка MarketsandMarkets, рынок масс-спектрометрии оценивается в \$4,9 млрд. в 2015 году и достигнет \$7,3 млрд. к 2020 году со среднегодовым темпом роста в 8,1%^[20].

С ростом требований общества к безопасности, улучшением потребительских качеств товаров и пищевых продуктов, спрос на аналогичные приборы и оборудование будет интенсивно расти.

REFERENCES RÉFÉRENCES REFERENCIAS

1. Kelman V.M., Yavor S. Ya. Electron beam optics. - L.: Nauka, 1968.-p.487
2. Дауменов Т.Д., Сапаргалиев А.А., Якушев Е.М. Новый метод определения точечной характеристической функции для заряженных частиц, движущихся в электроннооптических системах с прямой осью. – ЖТФ, 1978, т. 48, №12, с. 2447-2454.
3. Сапаргалиев А.А., Якушев Е.М. Основы общего метода теории фокусировки заряженных частиц. – Изв. АН КазССР, серия физ.- мат. 1980, №2, с. 22-26.
4. Дауменов Т.Д., Сапаргалиев А.А., Секунова Л.М., Якушев Е.М. Пространственно-временная фокусировка заряженных частиц в полях с вращательной симметрией. – ЖТФ, 1981, т. 51, №6, с.1137-1145
5. Асанов Ж., Сапаргалиев А.А. Временная структура потока частиц, движущихся в стационарном электромагнитном поле. – В кн. Физика атомного ядра и космических лучей.- Алма-Ата, 1985, с.74-84.
6. Дауменов Т.Д., Сапаргалиев А.А., Якушев Е.М. Время пролета заряженных частиц в электронных зеркалах с прямой осью. Изв. АН КазССР, серия физ.- мат. 1985 №2, с.66-73.
7. Якушев Е.М., Сапаргалиев А.А., Еленгеев А.К. Общая теория пространственной и времяпролетной фокусировки заряженных частиц, в стационарных электромагнитных полях. ЖТФ, 1985, т.55, №7, с.1291-1299.
8. Сапаргалиев А.А. Пространственная фокусировка и время пролета заряженных частиц в эмиссионных системах. – В сб.: Современные методы расчета электронно-оптических систем.- Л.: ЛПИ, 1986, с.49.
9. Yakushev E.M., Sekunova L.M. (1986)/ Theory of electron mirrors and cathode lenses. "Advances in Electronics and Electron Physics", 68. 337-416.
10. Yakushev Evgeniy/ Theory and Computation of electron mirrors. The Central Particle Method. "Advances in Imaging and Electron Physics", V. 178, p.147-247 (2013)
11. Сапаргалиев А.А. Общая теория пространственной и время-пролетной фокусировки потоков заряженных частиц в стационарных электромагнитных полях. – Диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. На правах рукописи, Алма-Ата, 1987, с.327. (<https://drive.google.com/file/d/0B47EiWNeAC2qQzZuVjFlbGRGOXM/view?usp=sharing>)
12. Отчет по научно-исследовательской работе/Расчет и изготовление ионопровода для безмагнитного времяпролетного масс-спектрометра» (заключительный). Научный рук.Сапаргалиев А.А., Казахский гос. университет, Алма-Ата, 1990 г. № ГР 01900024867, Инв.№02910040374,38с.<http://www.oiana.com/>
13. Сапаргалиев А.А. Общая теория пространственной и временной фокусировки потоков заряженных частиц в стационарных электромагнитных полях. – Актюбинск, изд. Литра-А,2011, с.327
14. Sapargaliyev A.A., Spivak-Lavrov I.F., Sapargaliyev Y.A.MS with 3D-reflective IO Subsystem MP16 326, 61st ASMS Conference on Mass Spectrometry and Allied Topics June 9 - 13, 2013. Minneapolis, Minnesota.
15. Sapargaliyev Y.A., Sapargaliyev A. A. US 8,598,516 B2; Sapargaliyev A. A., WO 2014/126449 A1 21.08.2014;
16. Sapargaliyev A. A., Miet A. Q. WO 2015/012671 A1;
17. Sapargaliyev A. A., WO 2015/057042 A2.
18. Global Analytical Instruments Market: A Competitive Landscape Study. PRLog: Oct. 11, 2011
19. Mass spectrometry Market by Platform (Hybrid mass spectrometry (Triple Quadrupole, QTOF, & FTMS), Single mass spectrometry (Quadrupole, TOF, & Ion trap)) & by Application (Pharmaceuticals, Biotechnology) - Analysis & Global Forecast to 2020. Available online <http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/mass-spectrometry-market-437.html> (accessed on 12.10.2016)