

С 344.2

Ш-492

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

А.М.ШЕРЕШЕВСКИЙ

Д О К Л А Д

по совокупности опубликованных работ в области массоспектрометрической и ионной техники на соискание учёной степени кандидата технических наук

(260 - Приборы экспериментальной физики).

г. Дубна

1969 г.

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

А.М. ПЕРЕШЕВСКИЙ

**ДОКЛАД ПО СОВОКУПНОСТИ ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
В ОБЛАСТИ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОЙ И ИОННОЙ
ТЕХНИКИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ**

КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

(260-Приборы экспериментальной физики)

г.Дубна

1969г.

**Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА**

Работа выполнена в ОКБ завода "Светлана" и СКБ
аналитического приборостроения АН СССР.

Официальные оппоненты:

Доктор физико-математических наук, профессор
Г.Я.Щепкин.

Кандидат технических наук, доцент А.А.Жигарев.

Ведущее предприятие :

Институт экспериментальной и теоретической физики

Доклад представлен "24" марта 1969г.

Защита диссертации состоится "25" апреля 1969г.

на заседании Ученого совета Лабораторий ядерных
реакций и нейтронной физики ОИЯИ, Московская область,
г.Дубна.

С докладом можно ознакомиться в библиотеке Объединен-
ного института ядерных исследований.

В доклад включены работы, выполненные автором в 1938-41г.г.
и 1946-50г.г. в ОКБ завода "Светлана" и в 1958-68 г.г. в СКБ аналити-
ческого приборостроения Академии Наук СССР. Результаты работ, включен-
ных в доклад, опубликованы в различных научно-технических журналах,
отражены в отчетах и получили практическое применение в электровакуум-
ном и аналитическом приборостроении.

1. ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ В ОБЛАСТИ ГАЗОРАЗРЯДНЫХ ПРИБОРОВ

Среди всего многообразия применений ионной и вакуумной тех-
ники в электронном приборостроении одним из основных направлений в пе-
риод 1938-50г.г. явилось создание мощных газоразрядных управляемых
вентилей, получивших широкое применение в качестве преобразователей
тока в различных энергетических, промышленных и транспортных устройст-
вах и системах связи. Эти вентили, несмотря на быстрое развитие в по-
следние годы техники полупроводниковых приборов, благодаря своим высо-
ким технико-экономическим показателям сохраняют и в настоящее время
ведущую роль на электрифицированном транспорте, в выпрямительных ус-
тройствах радиостанций, телецентров, ламповых генераторов промышленно-
го назначения и электрохимических предприятий, в машинах контактной
электрической сварки, в системах передачи энергии на большие расстоя-
ния постоянным током и т.д.

В 1938-41г.г. и 1946-50г.г. автором в ОКБ завода "Светлана"
был выполнен ряд исследовательских и инженерных работ по газоразрядным
приборам и их элементам, на основе которых было создано более 15 типов
управляемых вентилей с ртутным и накаленным катодом-игнитроном и тира-
троном.

Одним из основных вопросов при создании газоразрядных приборов
с ртутным катодом является вопрос о зажигании "светлого пятна" на рту-
ти. В игнитронах для этой цели применяется предложенный Людвигом и
Слепяном поджигатель с полупроводниковым стержнем, опущенный в ртуть.
Физические процессы на границе этого стержня и ртути при возникновении
"светлого пятна" весьма сложны и полностью не изучены, в связи с чем
существует несколько различных гипотез, дающих различное объяснение
этим процессам. В частности, по гипотезе Слепяна, развитой Кадзем,
процесс зажигания обусловлен автоэлектронной эмиссией ртути в области
мениска. В противоположность этому,

по гипотезе Мирделя, основную роль в этом процессе играет термический, процесс, обусловленный выделением тепла на границе - стержень-ртуть.

Автором, совместно с И.М.Цинманом в 1947 г. изучалась работа поджигателей в различных температурных условиях [2.1]. В частности было показано, что при изменении теплового режима в широком диапазоне вплоть до температуры кипения азота (-195°C), усредненные значения тока и напряжения зажигания существенно не изменяются. Тем самым была подтверждена ведущая роль автоэлектронной эмиссии при возникновении "светлого пятна". Поэтому решающее значение для надежной работы поджигателя имеет форма мениска ртути, обусловленная величиной поверхностного напряжения ртути и силами молекулярного сцепления ртути и полупроводникового стержня. Наличие примесей в ртути уменьшает поверхностное натяжение и приводит к ухудшению параметров поджигателя.

На основе исследований процесса зажигания "светлого пятна" в игнитронах была предложена и практически осуществлена новая конструкция поджигателя, на которую выдано авторское свидетельство [1.1]. В отличие от обычных, новый поджигатель армирован внутри металлическим стержнем, нижний конец которого находится на малом расстоянии от ртутного мениска. Благодаря этому уменьшено напряжение зажигания "светлого пятна", повышена механическая прочность и улучшено охлаждение полупроводникового стержня поджигателя.

Для обеспечения надежного контроля качества поджигателей в условиях серийного производства в 1949 г. была разработана [2.2] методика и аппаратура для испытания поджигателей, получившая практическое применение на заводе "Светлана".

Наряду с изучением полупроводниковых поджигателей, автором и сотрудниками в 1948 году был исследован диэлектрический поджигатель, состоящий из металлического стержня и изолирующей оболочки, выполненной из материала с большой диэлектрической постоянной [2.3]. При использовании диэлектриков с большим значением ϵ (например титаната бария, для которого $\epsilon \sim 10^3$), напряжение зажигания составляет $300 + 500$ в при мощности зажигания $P_{\text{з}}$ порядка $10^{-2} + 10^{-1}$ вт, что в сотни раз меньше $P_{\text{з}}$ для обычного поджигателя.

Исследования показали, что основной дефект диэлектрического поджигателя - недостаточная надежность, которая может быть повышена путем применения новых материалов с большим значением ϵ и повышенной электрической прочностью.

Одним из основных факторов, определяющих электрические параметры газоразрядных вентилях (вентильную прочность, величину внутреннего падения напряжения, перегрузочную способность) является распределение температуры, а следовательно и плотности рабочего газа (пара), в вентиле. На основе изучения этого вопроса, применительно к вентилям с ртутным катодом, автором в 1939 г. впервые была предложена и практически осуществлена стеклянно-металлическая конструкция игнитронов [1.2, 2.4, 2.6], в которой нижняя часть оболочки выполнена в виде металлического стакана с водяным охлаждением, на дне которого находится ртутный катод, а верхняя, в которой находится анод, изготовлена из стекла и охлаждается за счет естественной конвекции воздуха. В стеклянно-металлических игнитронах имеет место оптимальное распределение температуры и плотности ртутного пара, что, наряду с другими факторами, обеспечило их высокую вентильную прочность. Впервые указанная конструкция была реализована в 1939-40г.г. в игнитронах типов И-30 и И-100/1000 [2.4, 2.5]. Испытания игнитронов И-30, проведенные в Ленинградском политехническом институте (ЛПИ) Б.М.Шляпошниковым при участии автора, показали реальную возможность применения этих вентилях при анодном напряжении порядка 10-12 кв.

Дальнейшее развитие стеклянно-металлическая конструкция получила в созданных автором мощных игнитронах И-100/9000 и 1-100/5000 [2.6, 2.7]. Для улучшения условий деионизации разрядного промежутка, защиты анода от попадания на него ртутных капель и снижения напряжения зажигания разряда на анод, был применен экран из тугоплавкого металла (молибдена). Конструкция игнитрона И-100/9000 представлена на рис. 1.

По результатам лабораторных испытаний этих игнитронов, проведенных автором на заводе "Светлана" и Б.М. Шляпошниковым при

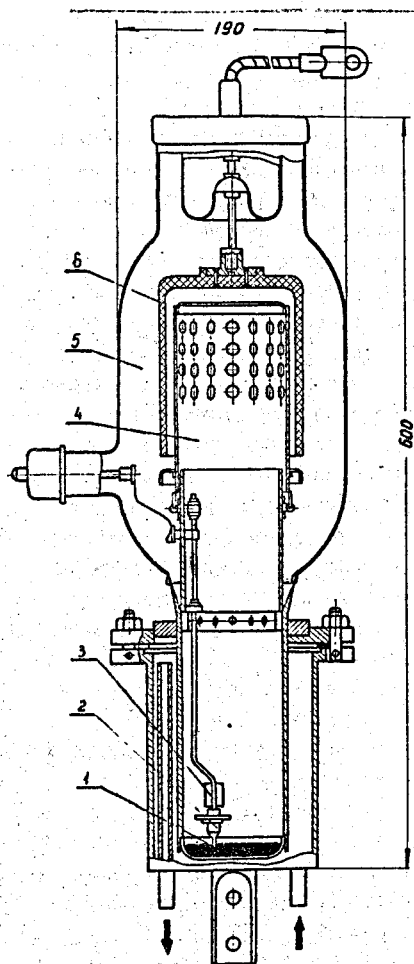


Рис. 1

Стекло-металлический инитрон И-100-9000

- 1-ртутный катод, 2-поджигатели,
- 3-вспомогательный анод, 4-экран,
- 5-анодная камера, 6-анод

участии автора в ЛПИ, была установлена реальная возможность создания на их основе мощных выпрямителей для тяговых подстанций магистральных железных дорог. Эти выпрямители были осуществлены под руководством Б.М. Шляпшニコва и впервые в мировой практике эксплуатировались в послевоенные годы на станциях Всесвятская Пермской ж.д. и Александров Ярославской ж.д. при напряжении в контактной сети 3300 в.

За время опытной эксплуатации, давшей положительные результаты, выпрямителями было переработано более 900 тыс. квч. электроэнергии.

Одной из основных областей применения управляемых газоразрядных вентилей и, в частности, игнитронов является контактная электрическая сварка черных и цветных металлов. При помощи игнитронов осуществляется точная дозировка энергии и длительности времени сварки в мощных сварочных машинах. В связи с широким внедрением контактной сварки в авиационную, судостроительную, приборостроительную и другие отрасли промышленности Советского Союза, в первые послевоенные годы возникла острая потребность в мощных экономичных игнитронах для прерывателей сварочных машин.

В период с 1946 г. по 1949 г. для решения этой актуальной задачи автором была создана серия металлических игнитронов оригинальной конструкции, состоящая из 4 типов, рассчитанных на постоянную составляющую анодного тока от 20а до 200 а при амплитуде анодного напряжения 1,5 кв. [2.8, 2.9]. При разработке игнитронов этой серии были проведены исследования, имевшие целью обоснование конструкторских решений, соответствующих требованиям высокой перегрузочной способности и надежности в импульсном режиме работы.

Разработка и организация крупно-серийного выпуска игнитронов отечественной промышленностью в 1947 г. обеспечили возможность освобождения от их импорта из США.

Быстрое развитие в послевоенные годы техники высоких частот и рост мощности ламповых генераторов для радиосвязи и промышленных целей вызвали необходимость создания высоковольтных газоразрядных вентилей большой мощности.

Сложность решения этой задачи была обусловлена высокими требованиями к вентилям: большая вентиляльная прочность, возможность сеточного регулирования постоянной составляющей сеточной защиты в аварий-

ных режимах, простота обслуживания, большой срок службы и т.д. До 1947 года для питания анодных цепей ламповых генераторов использовались газотроны, которые не удовлетворяли большинству из указанных требований. Применявшиеся в некоторых случаях разборные металлические выпрямители имели большие габариты и вес, высокую стоимость и были сложны в эксплуатации. Оптимальными вентилями для этих целей являются тиратроны.

Для решения указанной актуальной проблемы в 1947-50г.г. был выполнен комплекс исследовательских и инженерных работ, в результате которых была создана серия высоковольтных ртутных тиратронов большой мощности, включающая 4 типа: TP1-6,5/15, TP1-15/15, TP1-40/15 и TP1-85/15, рассчитанных на постоянную составляющую анодного тока от 6,5а до 85 а при анодном напряжении до 15 кв. [2.10], что соответствует мощности на выходе выпрямителя, собранно по трехфазной схеме Ларионова, в пределах от 250 до 3840 квт.

Одним из основных элементов газоразрядного вентиля, определяющих его параметры, включая срок службы, является катод. При создании серии тиратронов были критически рассмотрены конструкции и характеристики существующих подогревных катодов газоразрядных вентилях с наружной активированной поверхностью. Было показано, что эти катоды, применительно к мощным тиратронам, не являются оптимальными. В связи с этим был разработан и изучен подогревный катод с внутренней активированной поверхностью, имеющий ряд преимуществ по сравнению с указанными. Было изучено распределение плотности разрядного тока по образующей катода [2.11]. При этом была применена методика, основанная на измерении токов в цепях отдельных кольцевых секций, имевших независимые выводы. Было установлено, что практически приемлемая однородность распределения обеспечивается при условии $\frac{L}{d} = 1,1 \div 1,3$, где L и d - соответственно длина и диаметр катода.

При изучении вопроса об оптимальной экономичности катода было установлено, что критерием является зависимость температуры катода от величины разрядного тока. Улучшение теплоизоляции катода путем увеличения числа экранов ведет к увеличению этой зави-

симости, допустимые пределы которой определяются диапазоном рабочей температуры катода.

При разработке серии тиратронов были также проведены исследования распределения температуры по поверхности баллона, распределения плотности тока в отверстиях сетки, длительность процесса установления теплового равновесия.

Промышленное производство тиратронов осуществлялось на заводе "Светлана", начиная с 1949 года. Им оснащена значительная часть радиостанций, телецентров и крупных ламповых генераторов промышленного назначения. В качестве примера на рис. 2 изображен тиратрон типа TP1-40/15.

Кроме указанных исследований и разработок газоразрядных вентилях, автором в 1949-50 г.г. были проведены работы по созданию высоковольтного тиратрона TP1-2,5/10 с ксеноновым наполнением для подвижных радиостанций, работающих в широком диапазоне температур окружающей среды [2.12], мощных тиратронов с газовым наполнением для судовых инверторов [2.13] и тиратрона типа TP1-5/2 для релейных схем и ионно-электронных регуляторов цепей возбуждения генераторов электростанций. Тиратроны TP1-2,5/10 и TP1-5/2 серийно выпускались промышленностью.

КРАТКИЕ ВЫВОДЫ

1. Проведены исследования процессов, связанных с поджиганием "светлого пятна" на ртутном катоде при помощи полупроводникового поджигателя. Установлена преобладающая роль автоэлектронной эмиссии в процессе поджигания. Предложена и осуществлена новая конструкция поджигателя.

2. Проведены исследования диэлектрического поджигателя. Выявлены факторы, ограничивающие возможность его практического применения.

3. Разработана практическая методика и аппаратура промышленного контроля поджигателей.

4. На основе изучения температурного режима вентилях предложена и осуществлена стеклянно-металлическая конструкция игнитронов.

5. Разработано и исследовано 4 типа вентилях этой группы, два из которых получили практическое применение на тяговых подстанциях электрофицированного железнодорожного транспорта.

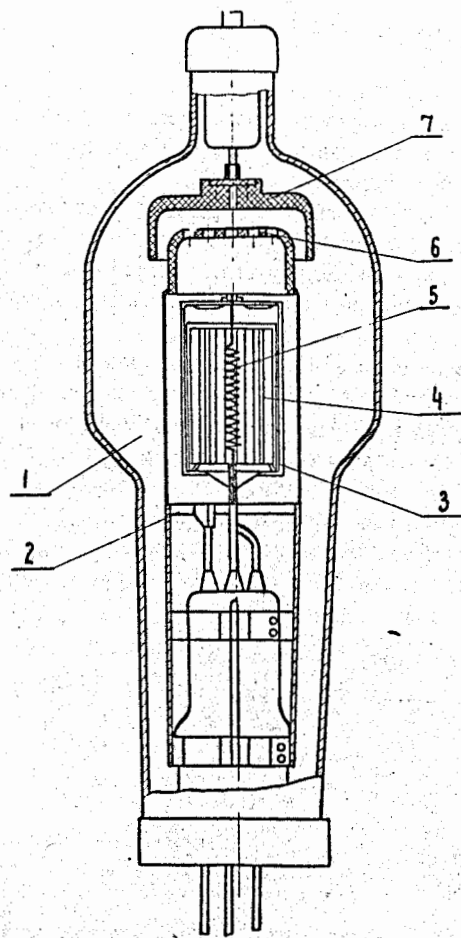


Рис. 2

Тиратрон ТР1-40/15

1-баллон, 2-держатель экрана, сетки, 3-Тепловые экраны катода, 4-катод с внутренней активированной поверхностью, 5-подогреватель, 6-многодырчатая сетка, 7-анод

6. Разработана и исследована серия металлических игнитронов с водяным охлаждением для машин контактной электрической сварки. Игнитроны выпускались серийно и получили широкое применение в промышленности.

7. Разработан и исследован подогревный катод с внутренней активированной поверхностью для мощных тиратронов. Изучено распределение плотности разрядного тока в зависимости температуры катода от разрядного тока. Определены оптимальные значения экономичности.

8. Создана серия мощных высоковольтных тиратронов для питания анодных цепей ламповых генераторов радиостанций, телецентров и промышленных установок. Тиратроны выпускались серийно и получили широкое применение.

9. Создан высоковольтный тиратрон с газовым наполнением для работы в широком диапазоне температур окружающего воздуха. Тиратроны выпускались серийно промышленностью и практически использовались на подвижных радиостанциях, работающих в полевых условиях.

10. Созданы 2 типа тиратронов для судовых инверторов.

11. Разработан тиратрон для релейных схем и цепей возбуждения генераторов на электростанциях. Тиратроны выпускались серийно промышленностью и получили широкое практическое применение.

12. Разработанные газоразрядные вентили внесены в официальные каталоги и справочники по электровакуумным приборам.

П. РАБОТЫ В ОБЛАСТИ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Масс-спектрометрия занимает одно из ведущих мест среди современных методов анализа состава веществ, исследования их физико-химических свойств, изучения строения молекул, исследования элементарных процессов и т.д. Одним из решающих факторов развития масс-спектрометрии является совершенствование аппаратуры и создание новых типов приборов. Основным видом аппаратуры для решения аналитических и исследовательских задач в современной масс-спектрометрии, как в СССР,

так и за рубежом являются приборы с разделением и фокусировкой ионных пучков по направлению в масс-анализаторах с поперечным аксиально-симметричным магнитным полем.

В период с 1956 года по 1968 год автором и сотрудниками был выполнен комплекс исследовательских и инженерных работ по созданию масс-спектрометрических приборов с магнитными анализаторами для анализа изотопного и молекулярного состава веществ и исследовательских целей. Этот комплекс включает разработку методики практического инженерного расчёта ионно-оптических систем, экспериментальные работы по прикладной ионной оптике и конструированию источников ионов, разработку вакуумных систем масс-спектрометров и элементов этих систем, создание аппаратуры для измерения весьма малых ионных токов в масс-спектрометрах, разработку масс-спектрометрических приборов различного назначения и работы по классификации и стандартизации масс-спектрометров и их основных параметров.

Практическая методика расчёта ионно-оптических систем с секторным аксиально-симметричным магнитным полем разработана автором совместно с Д.Н.Галль и изложена в работе [1.3]. Методика базируется на общей теории ионно-оптических систем с магнитными и электростатическими аксиально симметричными полями, созданной советским физиком А.Ф.Маловым. Теория А.Ф.Малова исходит из безразмерного уравнения движения заряженных частиц в магнитном и электрических полях и рассмотрения малых изменений радиуса $\Delta r = r - r_0$ траектории этих частиц относительно центральной траектории с радиусом r_0 .

На основе указанной теории определены следующие соотношения и величины:

1. Условия фокусировки ионного пучка в "горизонтальной" и "вертикальной" плоскостях для симметричных и несимметричных систем.

2. Длины "плеч" системы l_1 и l_2

3. Длина центральной траектории ионного пучка B

4. Величина относительной дисперсии d .

5. Коэффициент неоднородности аксиально симметричного магнитного поля A_1 .

6. Угол сектора магнитного поля Φ .

В зависимости от конкретных условий, из числа расчётных величин $\zeta, l_1, l_2, B, d, A_1$, в качестве исходных могут быть приняты любые четыре параметра. В работе [1.3] даны таблицы и графики численных значений параметров, при помощи которых расчёт масс-анализатора может быть выполнен в кратчайшее время. В этой же работе дан практический метод расчёта профиля полюсных наконечников магнитов анализатора с неоднородным полем, также базирующийся на теории А.Ф.Малова. Разработанная практическая методика расчёта масс-анализаторов была применена при разработке ряда типов масс-анализаторов автором и сотрудниками предложен масс-спектрометр с электромагнитным призмным анализатором. На масс-спектрометр выдано авторское свидетельство [1.26].

При создании масс-спектрометрических приборов одной из основных задач является разработка ионно- и электронно-оптических систем источников ионов и устройств с задерживающим потенциалом для отсеивания ионов с уменьшенной энергией. Указанные оптические системы, как правило, не поддаются аналитическому расчёту. Поэтому их исследование и отработка как правило, производится на различного рода моделирующих устройствах. Автором и сотрудниками разработана и практически используется двухстадийная методика исследований систем, рассмотренная в работе [1.4]. На первой стадии модель изучаемой системы, выполненная в крупном масштабе, исследуется на автоматическом траектографе в плоскости XY, как двумерная система, бесконечно протяжённая на оси Z. По результатам первой стадии моделирования изготавливается "объёмная модель", которая на второй стадии исследуется в "глубокой" ванне траектографа, с учётом ограниченной протяжённости размеров по оси Z.

При этом варьируются соотношения геометрических размеров элементов модели, расстояния между ними и соотношения потенциалов. Окончательная отработка систем производится на действующем макете источника в масс-спектрометре.

На основе экспериментальных исследований были разработаны различные варианты систем с задерживающим потенциалом. Оптимальный вариант системы применен в масс-спектрометрах единой серии.

Испытания системы показали ее высокую эффективность. Непосредственным практическим результатам применения системы задержки является улучшение разрешающей способности масс-спектрометров за счёт снижения интенсивности "хвостов" линий масс-спектров, что в свою очередь, повышает чувствительность приборов при определении малых примесей, близких по массам к основным линиям масс-спектра.

По методу моделирования на траектографе была разработана ионно-оптическая система с большой "светосилой". Величина "светосилы" определяется, как отношение числа ионов, проходящих через поперечное сечение сформированного ионного пучка на выходе источника к общему числу ионов, возникших за этот же период времени. В отличие от общепринятой системы типа НИРА, имеющей "светосилу" порядка $0,2 \pm 0,5\%$, в которой ионный пучок формируется при помощи плоских коллимирующих щелей, в новой системе ионный пучок фокусируется в электрическом поле, создаваемом взаимно-перпендикулярными электродами (рис. 3). Применительно к источнику с поверхностной ионизацией "светосила" системы достигает $20 \pm 25\%$ при ширине щели источника $0,1$ мм.

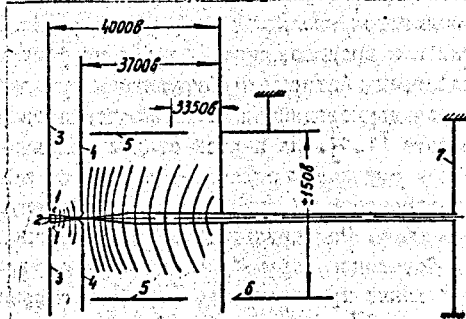


Рис. 3

Схема ионно-оптической системы трехленточного источника ионов

- 1 -испаритель, 2-ионизатор, 3-выравниватель электрического поля, 4-вытягивающий электрод, 5-фокусирующий электрод, 6-корректирующий электрод, 7-выходная щель ускоряющего электрода.

На основе указанных исследований созданы трехленточный источник ионов с поверхностной ионизацией [1.5] и единая серия источ-

ников с ионизацией электронным ударом для изотопного анализа [1.6]. Единая серия включает четыре типа источников со сменными узлами для работы с газообразными и твердыми веществами. Трехленточный источник ионов входит в комплект типовых узлов масс-спектрометров единой серии.

При разработке сложных ионно-оптических устройств, включая источники ионов, в которых используется вспомогательное магнитное поле, необходимо изучать траектории заряженных частиц в системах, в которых магнитное поле имеет явно выраженную неоднородность и значительные краевые эффекты. Такое поле практически не поддается программированию. Поэтому моделирование таких систем не может быть с достаточной точностью выполнено на типовых траектографах МИФИ, в которых действие магнитного поля учитывается путем ввода в решающую систему электрического напряжения программируемого в соответствии с предварительно изученной топографией магнитного поля. Автором, совместно с А.А.Жигаревым, предложен новый тип траектографа [1.7], в котором автоматически и непрерывно осуществляются измерение напряженности H магнитного поля и ввод в решающую систему электрического напряжения, пропорционального величине H . Непрерывное измерение H производится при помощи устройства, действие которого основано на гальваномангнитном эффекте Холла в полупроводнике. Траектограф может быть применен для решения многих задач электронной и ионной оптики, в которых используются скрещенные неоднородные электрические и магнитные поля сложной конфигурации.

Одной из основных задач в масс-спектрометрическом приборостроении является разработка высоковакуумных систем и их элементов. К вакуумным системам масс-спектрометров предъявляются высокие требования, подчас более жесткие, чем к большинству систем другой аппаратуры в отношении предельного вакуума, герметичности в широком диапазоне температур, состава и парциального давления остаточных газов и паров, процессов сорбции и десорбции исследуемых веществ, стабильности газовых потоков.

При разработке масс-спектрометрических приборов были проведены исследовательские и инженерные работы по созданию разборных цельнометаллических вакуумных систем и их элементов. Разработаны экономичные высоковакуумные охлаждаемые ловушки высокой надежности для ртутных насосов с быстротой откачки от 10 до 1500 л/сек, обеспечивающие получение остаточного давления порядка $1 \cdot 10^{-8}$ мм рт.ст. и менее. Создан малогабаритный магнитно-ионизационный насос типа Холла с быстротой откачки 5-7 л/сек. для поддержания высокого вакуума в вакуумных системах при отключенном сетевом питании. Работа насосов в течение длительного времени обеспечивается при его питании от сухих батарей малой емкости. Мощность, потребляемая насосом при остаточном давлении 10^{-7} мм рт.ст., не превышает 0,05 вт.

Для прецизионных измерений изотопного состава газов при компенсационном двухлучевом методе измерений создана двухканальная система ввода проб с электромагнитным клапаным устройством для попеременного напуска эталонного и анализируемого газов в источник ионов. Эта система обеспечивает возможность определения с высокой точностью малых вариаций изотопного состава аргона, серы, углерода, азота и других элементов при геохронологических и геохимических исследованиях.

Для решения задач молекулярного анализа тяжелых органических соединений (жидкостей и твердых веществ) созданы системы напуска, в которых анализируемая проба, вводимая в систему через вакуумный шланг, полностью испаряется в замкнутом объеме и затем поступает в зону ионизации источника ионов. При этом обеспечивается молекулярный режим натекания, которому соответствует линейная зависимость интенсивности потока для каждого компонента газовой смеси от парциального давления этого компонента в системе напуска, независимо от парциальных давлений остальных компонентов.

В разработанных разборных металлических вакуумных системах, благодаря применению высококачественных конструкционных материалов, тщательной отделке поверхностей, эффективных охлаждаемых ловушек и откачивающих насосов, обеспечена возможность получения в условиях

эксплуатации масс-спектрометрических приборов остаточного давления 10^{-8} мм рт.ст. при комнатной температуре и $P \sim 10^{-7}$ мм рт.ст. при нагреве до 250°C. Созданные вакуумные системы и их элементы применены в серийных масс-спектрометрах.

Основные результаты работ автора по вакуумной технике в масс-спектрометрии были им доложены на Всесоюзной конференции по вакуумному аппарату- и приборостроению в 1963 г. [1.8]

К числу работ автора в области вакуумной техники относятся также создание манометра с магнитно-ионизационным электроразрядным датчиком нового типа. Отличительная особенность конструкции датчика-многоячейковый анод, выполненный в виде решетки из тонкой проволоки, и плоская форма корпуса. Были проведены исследования датчиков этого типа с целью определения характеристик и обоснования оптимальных конструктивных данных и режимов работы. Были изучены зависимости разрядного тока и быстроты откачки от величины давления и рода газа, напряженности магнитного поля, анодного напряжения, размера ячеек анода и т.д.

Результаты исследований, наложенные в работах [1.9, 1.10], были практически реализованы в устройствах, применяемых с 1961г. для контроля вакуума во всех новых типах масс-спектрометров, а также в манометрах МИМ-01 и МИМ-02. Прибор МИМ-02 прошел государственные испытания в 1967г. и передан в серийное производство в промышленность.

Основные параметры манометров:

1. Диапазон измерений - $1 \cdot 10^{-8} + 1 \cdot 10^{-1}$ мм. рт.ст.
2. Чувствительность магнитно-ионизационного датчика - $4 + 8$ а/мм рт.ст.
3. Погрешность манометра в диапазоне давлений - $1 \cdot 10^{-8} + 1 \cdot 10^{-4}$ мм рт.ст. $\pm 20\%$
4. Напряжение питания датчика - 3000 в.

При анализе микропримесей и микроколичеств веществ на масс-спектрометрах порог чувствительности приборов в значительной мере определяется параметрами аппаратуры усилителя и регистрации ионного тока. Измерения ионных токов $\sim 10^{-16}$ а в масс-спектрометрах, как

правило, производится при помощи электрометрических усилителей со 100% обратной связью.

В то же время при работе с микроколичествами и микропримесями веществ в ряде случаев необходимо измерять ионные токи значительно меньшие, чем 10^{-15} а - вплоть до регистрации отдельных ионов.

Для решения этой актуальной задачи была создана высокочувствительная аппаратура счётчиков ионов типа СИ-01 и СИ-02, в которых предварительное усиление ионных токов производится при помощи электронного умножителя с открытым входом, диноды которого изготовлены из бириллиевой бронзы, коэффициент вторичной эмиссии β которой остается практически неизменным при периодическом соприкосновении умножителя с атмосферным воздухом. В счётчиках ионов, наряду с измерением интегрального значения ионного тока, обеспечена возможность импульсных измерений, при которых определяется средняя скорость следования ионов, бомбардирующих первичную диноду умножителя. Измерение средней скорости производится при помощи электронного частотомера (интенсиметра), подключенного к выходу умножителя. При этой методике измерений в отличие от измерения интегральной величины ионного тока, отпадает необходимость калибровки прибора по всем измеряемым компонентам исследуемого вещества, так как различие значений β практически сказывается только на величине амплитуды импульсов. Результаты работ по созданию счётчиков ионов изложены в работах [1.11, 1.12, 1.13].

На основе рассмотренных выше исследовательских и инженерных работ по ионной и вакуумной технике в период с 1957 по 1965г. создано 14 типов магнитных масс-спектрометров для изотопного и молекулярного анализа и исследования газов, жидкостей и твердых веществ. Основные результаты работ по созданию масс-спектрометрических приборов приведены в работах [1.5, 1.13 - 1.19, 2.14, 2.15].

В работе [1.13] дано детальное описание унифицированного масс-спектрометра МИ1305, разработанного под руководством автора в 1957 году. Прибор заменил ранее выпускавшиеся специализированные масс-спектрометры МС-1, МС-2, МС-3, МС-4 и МИ1301, аналогичные ему по ионно-оптической системе и некоторым электронным

устройствам. Масс-спектрометр МИ1305 является универсальным лабораторным прибором для изотопного анализа газов, твердых веществ и паров жидкостей с молекулярным весом от 2 до 400 м.е. Масс-спектрометр серийно выпускался промышленностью с 1958 года по 1967 год и получил широкое применение в СССР и других странах в качестве основного прибора для изотопного анализа при решении многих задач ядерной физики, геохимии, геохронологии, биохимии, физической химии и др. областей науки.

На основе исследовательских работ по применению масс-спектрометрии для анализа молекулярного состава сложных смесей тяжелых органических соединений, выполненных под руководством В.Л.Тальrove в Институте химической физики АН СССР, автором, совместно с Г.В.Фридрихским, в 1959 году был создан масс-спектрометр МХ1303 [1.14, 1.16, 1.18]. Специфическими особенностями прибора являются обогреваемая система напуска с вакуумным шлюзом для ввода анализируемых проб, источник ионов с точной стабилизацией температуры ионизационной камеры,

большой диапазон измерений по массовым числам. Прибор серийно выпускается промышленностью и получил широкое применение при решении аналитических и исследовательских задач в СССР в странах народной демократии.*

* Примечание? В приборах МИ1305 и МХ1303 применены ионно-оптическая система типа Кервина. В последующих разработках системы Кервина не применялась. Одной из актуальных аналитических задач в ядерной физике и технике является определение изотопного состава продуктов ядерных реакций, получаемых обычно в весьма малых количествах, изотопный анализ которых представляет в ряде случаев большие трудности, так как требует применения масс-спектрометрических приборов особо высокой чувствительности.

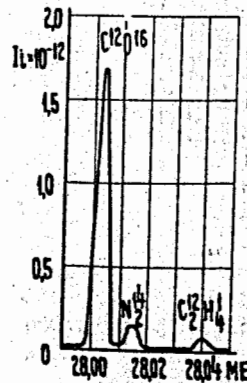


Рис. 4
Масс-спектр триплетта
 $C^{12}O^{16}$ - N^{14} - $C^{12}H_4$

Для решения этой задачи автором совместно с Р.Н.Галды и В.А. Павленко в 1960г. был создан прибор типа МИ1306 [1.17].*

* Примечание: В МИ1306 и последующих масс-спектрометрах применена ионно-оптическая система с 90° отклонением ионного пучка и круглыми границами магнитного поля более совершенная, чем система типа Кервина.

Для получения высокой чувствительности прибора и высокого коэффициента использования пробы в нем применен упомянутый выше трехленточный источник ионов. Регистрация ионных пучков производится счётчиком ионов СИ-01. Для экспресс-анализов используется катодный осциллоскоп с длительным послесвечением. Метрологические данные прибора иллюстрируются изображенным на рис. 5 масс-спектром изотопов урана естественного состава, который получен при анализе пробы, содержащей 10^{-5} г азотно-кислого урана, содержащей $3 \cdot 10^{-10}$ г изотопа U^{234} . При этом была обеспечена возможность непрерывной регистрации масс-спектров в течение двух часов. Порог чувствительности прибора (по урану) - $5 \cdot 10^{-12}$ г.

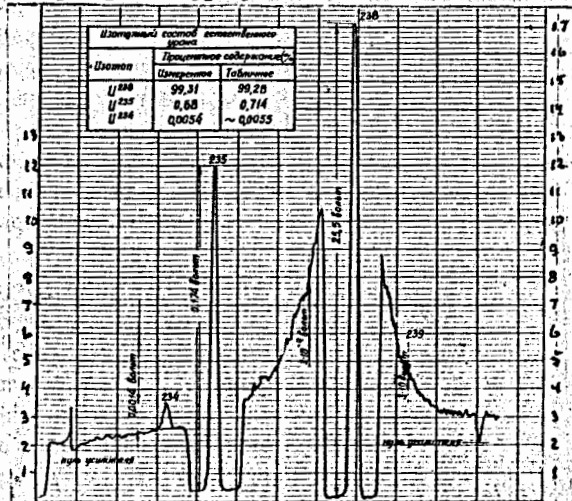


Рис. 5
Масс-спектр изотопов естественного урана

Дальнейшим этапом в развитии прецизионных магнитных масс-спектрометров явилась единая серия масс-спектрометров для изотопного и молекулярного анализа, созданная в 1959-61г.г. [1.18, 2.14] Единая серия включает 6 типов приборов, состоящих из унифицированных узлов и электронных блоков, подбираемых в различных вариантах и комбинациях, в зависимости от характера решаемых задач. Основные параметры приборов единой серии даны в таблице 1.

Таблица 1.

№ п/п	Наименование	Ед. изм.	Типы приборов					
			МИ 1308	МИ 1300	МИ 1310	МИ 1311	МИ 1304	МИ 1306
1	Диапазон измерения по массам	ме	2-900			1-150 (2-900)		
2	Разрешающая способность по пробы 3% интенсивности пиков	-	600-1000			200-600-300-1000		
3	Чувствительность по атомам	%	$4 \cdot 10^{-4}$		$5 \cdot 10^{-5}$		$1 \cdot 10^{-4}$ - $4 \cdot 10^{-4}$	
4	Чувствительность по ионам	г/г	$1 \cdot 10^{-8}$		$5 \cdot 10^{-12}$		-	
5	Вспомогательная чувствительность по образцам	%	1			2 2		
6	Вспомогательная чувствительность по образцам	%	0,2	0,1	0,2	0,1	-	
7	Рабочее напряжение пробоотборника ионов	кВ	300			100 300		
8	Остаточное давление	мм рт.ст.	$\leq 5 \cdot 10^{-6}$					
9	Система накачки	-	Вакуумная		Вакуумная			

Масс-спектрометры получили практическое применение в ряде областей науки. С 1967 года приборы единой серии серийно выпускаются промышленностью.

Исследования, проведенные автором и сотрудниками в 1968 году на приборах единой серии, показали реальную возможность существенного повышения их разрешающей способности. На рис. 6 представлена часть масс-спектра пентациклического тритерпена, снятая на масс-спектрометре МИ1806 в режиме максимальной разрешающей способности.

$$R_{50\%} = \frac{466,5 \cdot 1,5}{1,3} = 5300$$

$$R_{10\%} = \frac{466,5 \cdot 1,5}{2,5} = 2800$$

$$R_{5\%} = \frac{466,5 \cdot 1,5}{3} = 2330$$

Выходная щель
источника ионов - 20 мк

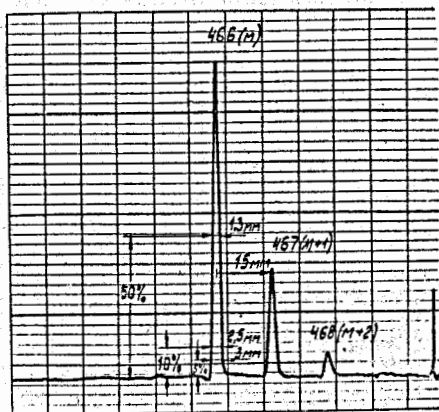


Рис. 6

Часть масс-спектра пентациклического три-терпена

В последние годы методы масс-спектрометрии эффективно используются при исследованиях процессов испарения, молекулярного состава и структуры молекул паров труднолетучих веществ. Для этих целей в 1963-65г.г. на основе исследований НИИХ ЛГУ и МГУ в области термодинамики труднолетучих веществ, разработан масс-спектрометр МХ 1308. Специфическая способность этого прибора состоит в том, что испарение исследуемой пробы производится при помощи термостабилизированного испарителя типа Кнудсена, в котором обеспечено термодинамическое равновесие между твердой и парообразной фазами пробы исследуемого вещества.

Из испарителя молекулярный поток пара направляется в ионизационную камеру, где подвергается ионизации электронным ударом. В этих условиях ионный ток на коллектор пропорционален давлению пара в испарителе и однозначно определяется температурой пробы. Для уменьшения уровня "фона", в конечном счете определяющем порог чувствительности прибора и обусловленном десорбцией газов и паров со стенок прибора, применен модулятор (васлонка), периодически перекрывающий молекулярный пучок из испарителя. Таким методом осуществляется, в конечном счете, модуляция только рабочей составляющей ионного тока, измеряемой резонансным усилителем на частоте модуляции. В масс-спектрометре для ионизации используется квазиомонохроматизированный электронный пучок, что обеспечивает возможность измерения потенциалов ионизации и появления с погрешностью $\pm 0,2$ эв.

В приборе обеспечена возможность работы при температуре испарителя до 3000°К. Порог чувствительности прибора для паров неодима $\sim 10^{-6}$ мг рт.ст. Масс-спектрометр практически используется для изучения термодинамических свойств различных трудноиспаряемых веществ.

В 1968 году создан модернизированный прибор для термодинамических исследований типа МС 1801.

Одним из перспективных направлений современной масс-спектрометрической техники является применение фотоионизации монохроматизированным ультрафиолетовым излучением для изучения тонкого энергетического строения сложных молекул, точного измерения потенциалов ионизации и появления, изучения фотохимических реакций в газах и парах. Широкими возможностями при решении этих задач обладает созданный в 1963-1965г.г. масс-спектрометр типа МХ1311 [1.18], [2.15] на основе комплекса исследований по фотоионизации, выполненных в НИИХ ЛГУ под руководством Ф.И.Вилесова.

Принцип действия прибора иллюстрируется рис. 7. Источником У.Ф. излучения является охлаждаемая водой кварцевая газоразрядная лампа, с открытым выходом (без окна). Световой пучок из лампы проходит в монохроматор, где разделяется на составляющие при помощи

металлической дифракционной решетки. Далее монохроматизированный световой пучок проходит через ионизационную камеру, образуя ионы исследуемого газа (пара), которые затем ускоряются и формируются в ионный пучок. Последующее разделение ионного пучка происходит в магнитном масс-анализаторе.

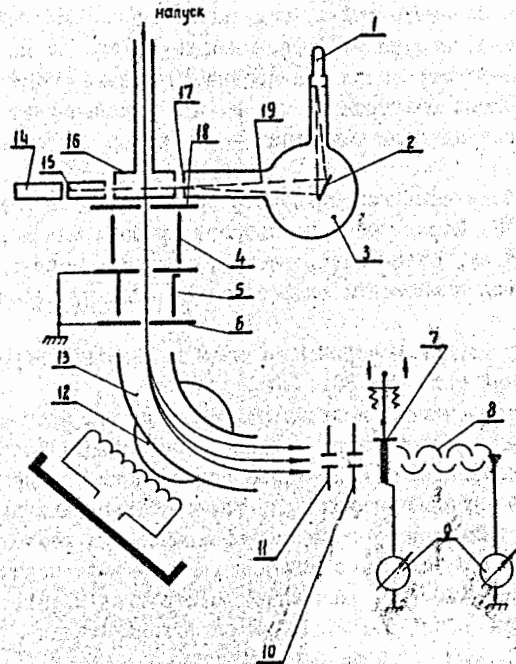


Рис. 7

Схема масс-спектрометра типа MX1311

1 - газоразрядная лампа, 2 - дифракционная решетка, 3 - камера монохроматора, 4 - фокусирующий электрод, 5 - отклоняющий электрод, 6 - ускоряющий электрод, 7 - подвижной коллектор, 8 - электронный умножитель, 9 - усилитель ионного тока, 10 - антидинатронный электрод, 11 - входная щель приемника ионов, 12 - электромагнит, 13 - камера анализатора, 14 - фотоумножитель, 15 - экран с люминофором, 16 - ионизационная камера, 17 - выходная щель монохроматора, 18 - выдвигающий электрод, 19 - монохроматизированный световой пучок.

В отличие от зарубежных масс-спектрометров с фотоионизацией, в приборе MX 1311, на основе исследований системы автоматического регулирования работы разрядной лампы, осуществлена обратная связь по монохроматизированному пучку, обеспечивающая его стабильность при сканировании по длине волны путем автоматического регулирования тока в цепи питания разрядной лампы.

Отличительной особенностью вакуумной схемы прибора является система вакуумных шлюзов, создающая перепад давления рабочего газа разрядной лампы от 1-2 мм. рт.ст. (в лампе) до 10^{-7} мм рт.ст. (в источнике ионов), что обеспечивает возможность работы прибора без герметизирующих окон в диапазоне длин волн вплоть до 700 \AA , т.е. в области далекого вакуумного ультрафиолета. Благодаря высокой разрешающей способности монохроматора ($0,8 + 1,5 \text{ \AA}$) масс-спектрометр обеспечивает возможность измерения потенциалов появления с погрешностью в пределах $0,01 \pm 0,02 \text{ эв}$. Приборы MX1311 используются при изучении строения молекул сложных органических соединений.

В Советском Союзе и за рубежом опубликовано большое число работ по масс-спектрометрической технике. Вместе с тем, как в отечественной, так и зарубежной литературе практически отсутствуют работы по вопросам классификации приборов, нет единой терминологии по масс-спектрометрии, отсутствуют узаконенные определения параметров аппаратуры. В литературе бытует большое число вариантов определений и терминов, зачастую противоречащих друг другу, что создает неопределенность, а подчас и путаницу понятий.

С целью решения указанного вопроса автором был разработан проект ГОСТа "Масс-спектрометры. Классификация. Основные параметры" в котором установлена единая система определения основных параметров приборов. Эти определения обеспечивают возможность объективной сравнительной оценки различных масс-спектрометров по основным метрологическим показателям.

Проект ГОСТа утвержден Госкомитетом стандартов, мер и измерительных приборов в декабре 1967 года ГОСТ введен с 1 января 1968 года [1.22]. В настоящее время ГОСТ пересматривается с целью уточнения параметров приборов и методики их определения.

Автором, совместно с В.А.Павленко и А.Э.Рафальсоном, в 1958 году разработана и практически внедрена система условных

обновлений масс-спектрометрических приборов, общепринятая в СССР [1.15].

КРАТКИЕ ВЫВОДЫ

1. Разработана практическая инженерная методика расчёта магнитных масс-анализаторов с однородным и неоднородным полем. Методика использована при разработке масс-спектрометрических приборов.

2. Проведены экспериментальные работы по исследованию ионно- и электроннооптическим систем источников ионов. В результате исследований созданы новые оптические системы, получившие практическое применение.

3. На основе исследований создана единая серия источников ионов с магнитной и электростатической фокусировкой электронного пучка. Создан трехленточный источник с высокой "светосилой". Для молекулярного анализа тяжелых соединений разработаны источники ионов со стабилизацией температуры ионизационной камеры и трубки напуска. Источники ионов применены в серийных масс-спектрометрических приборах.

4. Создан автоматический траектограф для моделирования ионно- и электроннооптических систем с электрическими и магнитными неоднородными полями.

5. Разработаны разборные прогреваемые металлические вакуумные системы с остаточным давлением 10^{-8} мм рт.ст. Созданы эффективные охлаждаемые ловушки для ртутных насосов и высоковакуумные прогреваемые вентили, применяемые в промышленных масс-спектрометрах.

6. Разработан и исследован новый магнитно-ионизационный датчик манометра. Определен оптимальный вариант конструкции. Созданы высокочувствительные манометры для контроля высокого вакуума. Манометры применены в серийных масс-спектрометрах и других вакуумных устройствах.

7. Разработана и исследована аппаратура счётчика ионов для измерения особо малых ионных токов на основе применения электронных умножителей с открытым входом. Счётчики обеспечивают измерение интегрального значения ионного тока и счёта отдельных ионов. Счётчики выпускаются серийно промышленностью.

8. На основе исследований и инженерных работ создано 14 типов магнитных масс-спектрометров для иотопного и молекулярного анализа и исследовательских целей. Разработанные приборы выпускаются серийно и получили широкое применение в практике научных исследований в СССР и других странах.

9. Разработан проект ГОСТа на классификацию и основные параметры масс-спектрометрических приборов. ГОСТ введен в действие Госкомитетом стандартов, мер и измерительных приборов с 1968 года. Создана и внедрена общепринятая практическая система обозначений приборов.

10. Разработанные приборы внесены в официальные каталоги. Работы автора использованы в научной литературе.

СПИСОК НАУЧНЫХ ТРУДОВ АВТОРА

№ пп	Наименование	Год опубликования	Где опубликовано	Совавторы
1	2	3	4	5
1.1	Авторское свидетельство № 87406 "Полупроводниковый поджигатель для игнитронов"	1949	Бюллетень Госкомитета по изобретениям и открытиям.	Блох А.А. Корнак Д.А.
1.2	Статья "Новые конструкции игнитронов"		Журнал "Известия электропромышленности слабого тока" №12	-
1.3	Статья "Основы практической методики расчёта ионно-оптических систем"	1962	Сборник "Некоторые вопросы инженерной физики" Изд. МИФИ.	Галль Л.Н.
1.4	Статья "Опыт эксплуатации автоматического траектографа при разработке ионных источников и фокусирующих систем масс-спектрометров"	1962	- " -	Галль Л.Н.
1.5	Статья "Масс-спектрометр с высокой разрешающей способностью"	1961	Сборник "Приборы и средства автоматизации".	Вершевский В.Б. Галль Р.Н.
1.6	Статья "Единая серия источников ионов"	1965	Журнал "Приборы и техника эксперимента" № 1	Олейник ЕК Рутгайзер Д.С.
1.7	Статья "Траекто-граф для построения траекторий в неоднородных скрещенных электрических и магнитных полях"	1962	Сборник "Некоторые вопросы инженерной физики" Изд. МИФИ.	Жигарев А.А.
1.8	Тезисы доклада. Вакуумные системы масс-спектрометров		- " -	Лепехин АТ
1.9	Тезисы доклада "Магнитно-ионизационный манометр"	1963	Литограф. издание Всесоюзной конференции по вакуумному аппарату- и приборостроению в Ленинграде.	Комаров М.С. Лепехин А.Т.

1	2	3	4	5
1.10	Статья "Магнитно-ионизационный манометр высокой чувствительности"	1964	Журнал "Приборы и техника эксперимента" № 1	Лепехин А.Т.
1.11	Статья "Повышение чувствительности систем измерения ионного тока в масс-спектрометрах"	1962	Сб. Некоторые вопросы инженерной физики", Изд. МИФИ	Галль Р.Н.
1.12	Статья "Счётчик ионов"	1963	Сборник "Новые машины и приборы для испытания металлов". Металлургиздат	Галль Р.Н.
1.13	Брошюра "Масс-спектрометр МИ1305"	1960	Издание ЦЕТИ Харьковского совнархоза	-
1.14	Статья "Масс-спектральные газоанализаторы"	1961	Труды Всесоюзной конференции по автоматическим газоанализаторам Изд. ЦИТИ Электропром	-
1.15	Статья "Промышленные масс-спектрометры"	1958	Журнал "Приборы и техника эксперимента", № 3	Павленко В.А. Рафальсон А.Э.
1.16	Тезисы доклада "Отечественные химико-аналитические масс-спектрометры"	1961	Литограф. издание Всесоюзного совещания по органическому анализу в Москве.	Фридлянский Г.В.
1.17	Статья "Масс-спектрометр для анализа микроколичеств твердых веществ"	1962	Сборник "Приборы и средства автоматизации" № 4. Изд. ЦИТИ Электропром	Галль Р.Н.
1.18	Книга "Масс-спектрометрические приборы"	1968	Атомиздат	Рафальсон А.Э.

1	2	3	4	5
1.19	Статья "Масс-спектрометр МХ 1308 для изучения процессов испарения труднотлетучих веществ"	1967	В печати Сборник Ганичев трудов Всесоюзной конференции по теплофизическим свойствам веществ при высоких температурах	А.А. Ильина Г.Г. Рутгайзер Д.С.
1.20	Статья "Трехленточный источник ионов"	1962	Журнал техн. физики XXXII, 2	Галль Л.Н и др.
1.21	Брошюра "Отечественные масс-спектрометры"	1959	Издание Лен. дома научно-технической пропаганды	-
1.22	"Масс-спектрометры. Типы. Основные параметры"	1967	ГОСТ 12862-67	-
1.23	Статья "О возможности использования масс-спектрометра МХ 1304 для изотопного анализа радиоактивного азота"	1967	Ежлетень комиссии по определению абсолютного возраста Вып. УШ, Изд-во "Наука"	Шанин Л.Л. и др.
1.24	Статья "Использование масс-спектрометра МИ1309 для измерения малых вариаций изотопного состава серы"	1967	Сборник "Изотопы серы и вольфрам в рудообразовании. Изд-во "Наука"	Шанин Л.Л. Виноградов В.И.
1.25	Тезисы доклада "Масс-спектрометрические приборы для анализа органических соединений"	1967	Литографир. издание Всесоюзной конференции по применению масс-спектрометрии в органической химии	-

1	2	3	4	5
	П. Научные работы и др.		работы	
2.1.	Отчёт "Исследование процесса зажигания светлого пятна в игнитронах"	1947	ОКБ завода "Светлана"	Цинман И.М.
2.2	Отчёт "Разработка методики испытания поджигателей для игнитронов"	1949	ОКБ завода "Светлана"	Корнак Д.А.
2.3	Отчёт "Исследование диэлектрического поджигателя"	1947	-	Корнак Д.А.
2.4	Отчёт "Разработка стеклянно-металлического игнитрона И-30"	1939	ОБЛ завода "Светлана"	-
2.5	Отчёт "Разработка стеклянно-металлического игнитрона И-100/1000"	1939	- " -	-
2.6	Отчёт "Разработка игнитрона И-100/9000 для электрофицированного ж.д. транспорта"	1940	ОБЛ завода "Светлана"	-
2.7	Отчёт "Игнитрон для системы защиты радиостанций и электрифицированного ж.д. транспорта"	1948	- " -	-
2.8	Отчёт "Серия металлических игнитронов с водяным охлаждением"	1949	ОКБ завода "Светлана"	Кириченко Н.А.
2.9	Аннотация "Мощный металлический игнитрон с водяным охлаждением типа И-200/1500"	1950	-	-
2.10	Отчёт "Серия мощных высоковольтных тиратронов для питания анодных цепей"	1948	ОКБ завода "Светлана"	-
2.11	Исследование подогревного катода тиратронов" отчёт	1948	-	Михаленко Б.М.
2.12	Отчёт "Высоковольтный тиратрон с ксеноновым наполнением для питания анодных цепей подвижных подовых радиостанций"	1949	ОКБ завода "Светлана"	Кириченко Н.А.

1	2	3	4	5
2.13	Отчёт "Низковольтные тиратроны для инверторов"	1948	ОКБ завода "Светлана"	Кириченко Н.А.
2.14	Технорабочий проект "Масс-спектрометры единой серии"	1961	СКБ аналитического приборостроения	Вершевский В.В.
2.15	Технорабочий проект "Масс-спектрометр МХ 1311 с фотоионизацией для физикохимических исследований"	1967	СКБ аналитического приборостроения	Комаров М.С.
2.16	Отчёт "Проект технико-технических требований на разработку серии тиратронов"	1952	ЦНИИ им. Крылова	-

По ряду вопросов, рассмотренных в опубликованных работах, автором были прочитаны доклады на Научно-техническом совете Министерства промышленности средств связи (1949г), заседаниях Комиссии по масс-спектрометрии АН СССР (1957-1968г.г.), Всесоюзной конференции по автоматическим газоанализаторам (1961г), всесоюзном совещании по органическому анализу (1961г.), курсах повышения квалификации специалистов, работающих в области масс-спектрометрии (1963г), конференции по масс-спектрометрии ГКИАЭ (1965г), конференции по физике и технологии высокого вакуума (1966г.), Всесоюзной конференции по применению масс-спектрометрии в органической химии (1967г.) совещаниях специалистов стран-участниц С.В.В по исследованиям в области масс-спектрометров с высокой разрешающей способностью (1966-1968г.г.), Совете по научному приборостроению при АН СССР (1968-1969г.г.).