

Шульгин Б.В.
Черепанов А.Н.
Шульгин Д.Б.

Новые детекторные материалы и устройства



МОСКВА
ФИЗМАТЛИТ ®

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие редактора	6
Историческая справка	10
Глава 1. Новые материалы детекторной техники	38
Патент 2065614 РФ. Кристаллический сцинтиллятор ЛИЯ-1	40
Патент 2066464 РФ. Кристаллический сцинтиллятор ЛИЯ-2	44
Патент 2094823 РФ. Неорганический сцинтиллятор	49
Патент 2148837 РФ. Неорганический сцинтиллятор	53
Патент 2154290 РФ. Сцинтилляционный световод	56
Патент 2244320 РФ. Сцинтиллятор для регистрации нейтронов	60
Патент 2264634 РФ. Шихта для получения термолюминофора	67
Патент 2270463 РФ. Сцинтиллятор для регистрации тепловых нейтронов	74
Патент 2276387 РФ. Сцинтиллятор для регистрации нейтронов	82
Патент 2282212 РФ. Рабочее вещество для термоэкзоэлектронной дозиметрии гамма- и электронного излучения	89
Патент 2284044 РФ. Кристаллический сцинтиллятор ЛИЯ-3	94
Глава 2. Новые конструкции детекторных устройств и их элементов	99
Патент 2088952 РФ. Детектор для регистрации ионизирующего излучения	101
Патент 2142147 РФ. Сцинтилляционный детектор	105
Патент 2143711 РФ. Детектор для регистрации ионизирующих излучений	109
Патент 2158011 РФ. Детектор для регистрации нейтронов и гамма-излучения	116
Патент 2189057 РФ. Сцинтилляционный детектор нейтронного и гамма-излучения	122
Патент 2190240 РФ. Сцинтилляционный детектор	133
Патент 2231809 РФ. Детектор нейтронного и гамма-излучений	140
Патент 2242025 РФ. Сцинтиллятор для визуализации рентгеновского излучения	147
Патент 2248011 РФ. Световолоконный сцинтилляционный детектор рентгеновского излучения	151

Патент 2248588 РФ. Сцинтилляционный детектор	158
Патент 2251124 РФ. Спектрометрический датчик электронного и бета-излучения	165
Патент 2259573 РФ. Сцинтилляционный детектор быстрых и тепловых нейтронов	170
Патент 2261459 РФ. Сцинтиллятор для визуализации рентгеновского излучения	178
Патент 2262722 РФ. Световолоконный сцинтилляционный детектор .	182
Патент 2270462 РФ. Термолюминесцентный дозиметрический комплекс	186
Патент 2272301 РФ. Сцинтилляционный детектор нейтронов	193
Патент 2277234 РФ. Радиолюминесцентный излучатель ВУФ-диапазона	200
Патент 2297015 РФ. Сцинтилляционный детектор	205
Патент 2300782 РФ. Сцинтилляционный детектор нейтронов	211
Патент 2303278 РФ. Сцинтилляционный детектор	219
Патент 2303798 РФ. Сцинтилляционный детектор	226
Патент 2308056 РФ. Сцинтилляционный детектор	231
Патент по заявке 2006138947 РФ. Световолоконный сцинтилляционный детектор	236
Глава 3. Новые способы получения и контроля материалов и элементов детекторной техники	243
Патент 2081950 РФ. Способ окрашивания кристаллов природного берилла и изделий из них	244
Патент 2107279 РФ. Способ определения пористости ядерных мембран	248
Патент 2243573 РФ. Способ изготовления сцинтилляционных экранов для визуализации рентгеновского излучения	253
Патент 2269802 РФ. Способ изготовления инфракрасного светофильтра	262
Патент 2282214 РФ. Способ изготовления гетероструктур	268
Патент 2297648 РФ. Способ получения сцинтиллирующего состава для регистрации нейтрино	276
Патент 2303276 РФ. Способ термохимической обработки рабочего вещества термолюминесцентного детектора на основе кристаллов оксида бериллия	284
Патент 2312061 РФ. Способ получения нитевидного нитрида алюминия	290
Патент 2315231 РФ. Способ изготовления инфракрасного светофильтра	295
Глава 4. Новые решения в области ядерной электроники и регистрации ионизирующих излучений	301
Патент 2085967 РФ. Стабилизатор базовой линии спектрометра	302
Патент 2092872 РФ. Процессор спектрометрических импульсов	311

Патент 2098842 РФ. Устройство таймирования спектрометрических импульсов	324
Патент 2140660 РФ. Способ обнаружения слабых потоков ионизирующих излучений	333
Патент 2242024 РФ. Способ поиска и обнаружения источников ионизирующих излучений	341
Патент 2309457 РФ. Модель нейронной сети	351
Авторский указатель	356

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА

Высшей целью развития человека является полное господство сознания над материальным миром, использование сил природы для удовлетворения человеческих потребностей. В этом и состоит нелегкая задача изобретателя, труд которого порой остается не до конца понятен и оценен.

Никола Тесла

Разработка детекторных материалов и устройств, необходимых для регистрации ядерных и космических излучений, решения проблем радиометрии и дозиметрии, обеспечения экспериментов в области физики высоких энергий, создания устройств и систем неразрушающего контроля, решения целого ряда медико-биологических проблем, создания систем контроля за делящимися и радиоактивными материалами и ядерными боеприпасами, создания комплексов радиационного мониторинга территорий и акваторий остается актуальной задачей на протяжении многих десятилетий. Десятки отечественных и зарубежных центров занимаются ее решением.

В технике детектирования излучений широко используются люминесцентные материалы. С их помощью регистрация ионизирующих излучений производится или в режиме реального времени с помощью сцинтилляционных датчиков, или в режиме запоминания с помощью термо- или фотостимулированных люминесцентных датчиков. Устройства сцинтилляционного типа используются для регистрации практически всех видов корпускулярного и электромагнитного излучений в широком диапазоне энергий (эВ–ГэВ диапазон) и получили широкое распространение. Исследования и разработки в этой области широко отражены в научной и технической литературе. Не случайно начиная с 1992 г. каждые два года проводятся международные конференции «Неорганические сцинтилляторы и их применение в науке и промышленности» (последние были проведены во Франции, Испании и на Украине). Профессор *Б. В. Шульгин*, один из авторов настоящего издания, являлся членом оргкомитета этих международных конференций и хорошо знаком с их проблематикой.

Сотни технических решений, изобретений, связанных со сцинтилляционными детекторными материалами и сцинтилляционной техникой, запатентованы во всех развитых странах. Среди отечественных

и зарубежных изобретений в области люминесцентных, сцинтилляционных материалов и детекторов определенное место занимают патенты разработчиков из Уральского государственного технического университета–УПИ (УГТУ–УПИ). В УГТУ–УПИ исследования в области люминесцентных материалов и разработки детекторных устройств были систематически начаты на кафедре экспериментальной физики под руководством профессора *Ф. Ф. Гаврилова* с начала 60-х годов прошлого века и продолжаются в настоящее время. Профессор *Ф. Ф. Гаврилов*, выпускник Томского университета, выполнял дипломную работу по люминесцентной тематике в тревожном 1941 г. в Ленинграде в Государственном оптическом институте в лаборатории *Сергея Ивановича Вавилова* и навсегда остался верен традициям Томской научной школы и традициям научной школы *С. И. Вавилова*. Эти традиции были перенесены им на уральскую почву. С тех пор исследования в области люминесценции и люминесцентной техники проводятся в УГТУ–УПИ в рамках тесных контактов и сотрудничества с ведущими российскими научными центрами и с рядом зарубежных центров. К исследованиям в области детекторных материалов и устройств, а также в области элементов ядерной электроники для детекторной техники в УГТУ–УПИ активно привлекались и привлекаются студенты и аспиранты. Совместно со студентами сделано более 60 изобретений.

Шесть патентных разработок были выполнены совместно с Лионским университетом (Франция), руководитель работ — член Европейской академии наук, профессор *Кристиан Педрини* (патенты №2261459, 2202722, 2270462, 2282214, 2303798 и патент по заявке №2006138947 от 03.11.2006 (решение о выдаче патента на изобретение от 16.11.2007)). Эти работы по созданию планарных и волоконных сцинтиллирующих гетероструктур на центрах окраски были поддержаны грантом НАТО №PST.EAP.CLG 980674 (2004–2005 гг.), в рамках которого авторы настоящей книги *Б. В. Шульгин* и *А. Н. Черепанов* выезжали в Лионский университет для выращивания волоконных кристаллов с использованием оборудования фирмы FIBERCRYST.

Работы по созданию новых детекторных материалов и устройств в настоящее время активно ведутся не только совместно с французской, но и с японской стороной. В Японии они были поддержаны КЕК — национальным ядерным ускорительным центром Японии (г. Цукуба), приславшим образцы силикатов лантаноидов для разработки нового класса эмиссионных детекторов; руководитель работ с японской стороны *Масааки Кобаяши* (совместная заявка на изобретение №2007113282 от 09.04.2007 — проходит экспертизу в Роспатенте).

Работы по созданию детекторных материалов и устройств поддержаны также НИТИОМ ВНИЦ ГОИ им. *С. И. Вавилова* — совместный патент №2300782 от 2007 г. на объемно-волоконный детектор и патент по заявке №2006138947 от 03.11.2006 (решение о выдаче патента на изобретение от 16.11.2007) совместно с профессорами *В. И. Арбузовым* и *К. В. Дукельским*.

Более 16 патентных разработок выполнены совместно с Институтом физики НАН Кыргызстана под руководством члена-корреспондента НАН Кыргызстана *М. М. Кидибаева*. Часть из этих патентных разработок была опубликована в книге «Люминесценция объемных, волоконных и наноразмерных кристаллов LiF и NaF» (*А. Н. Черепанов, В. Ю. Иванов, Т. С. Королева, Б. В. Шульгин*. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2006. 304 с.), изданной при поддержке гранта РФФИ №06-08-06034. Ряд патентов был использован при выполнении международного инновационного проекта МНТЦ №KR-994 «Создание аналитической информационной базы для радиоэкологического импактного мониторинга селитебной зоны озера Иссык-Куль» в 2005–2007 гг. (менеджер проекта — *М. М. Кидибаев*, субменеджер — *Б. В. Шульгин*).

Важную роль в организации и создании патентных разработок играл и играет автор настоящей книги профессор *Б. В. Шульгин* — неоднократный победитель конкурса изобретателей Екатеринбурга и пятикратный лауреат премии имени *Ивана Ползунова*. *Б. В. Шульгин* привлек к изобретательскому труду многих представителей молодых поколений. В соавторах с ним всегда выступают либо студенты (он имеет 57 изобретений совместно со студентами), либо аспиранты, либо молодые ученые, либо все вместе. Их совместные разработки успешно проходят экспертизу у такого строгого и непредвзятого арбитра, которым является Федеральный институт промышленной собственности Российской Федерации. Один из учеников и коллег *Б. В. Шульгина* доцент *А. Н. Черепанов* (автор настоящей книги) в свои 27 лет имеет 26 патентов. Фамилия *Черепановы* известна в России — именно *Черепановы* изобрели и изготовили в свое время первый в России паровоз. Не случайно и *А. Н. Черепанов* получил весьма высокую поддержку своим разработкам в виде гранта Президента России №МК-5271.2007.2.

В 2007 г. исполняется 40 лет со дня организации патентной службы в УГТУ–УПИ (руководителем которой сегодня является один из авторов книги *Д. Б. Шульгин*). За это время в УГТУ–УПИ объем патентных разработок в области детекторных материалов и устройств достиг такого уровня, когда уже возможно его обобщение и издание в виде отдельной книги. Такая работа была выполнена. В книге даны описания действующих, поддерживаемых патентов, патентообладателем которых является УГТУ–УПИ. Описания разбиты на четыре группы: новые материалы детекторной техники, новые конструкции детекторных устройств и их элементов, новые способы получения и контроля материалов и элементов детекторной техники, новые решения в области ядерной электроники и регистрации ионизирующих излучений. Поскольку в описании каждого патента, включенного в книгу, приводятся сведения об аналогах и прототипах, в качестве которых используются известные разработки США, Японии, Германии, Англии, Франции и ряда других стран, книга дает весьма полную и полезную информацию о мировом уровне патентных разработок в этом направлении.

Важно также отметить, что в книге приведены примеры действующих реальных детекторных устройств и комплексов специального технического контроля наземного и вертолетного базирования (находящихся на снабжении в воинских подразделениях Министерства обороны РФ), созданных на базе оригинальных запатентованных разработок авторов — сотрудников кафедры экспериментальной физики УГТУ–УПИ.

Научный редактор,
заведующий кафедрой экспериментальной физики УГТУ–УПИ,
Заслуженный деятель науки Российской Федерации,
доктор физико-математических наук, профессор

А. В. Кружалов

ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА

*Б. В. Шульгин, Д. Б. Шульгин, А. В. Кружалов, В. Л. Петров,
О. В. Игнатьев, В. Ю. Иванов, В. А. Семенкин, Ф. Г. Нешов,
Л. В. Викторов, Д. В. Райков, А. С. Шейн, А. Н. Черепанов*

Страна без бюро патентов и без твердых законов, защищающих права изобретателей, подобна раку, который может двигаться только вбок или назад.

Марк Твен
«Янки при дворе короля Артура»

Относительно новый для России термин «Интеллектуальная собственность» уверенно входит в обиход не только университетских ученых, но и студентов. Для будущих и настоящих инженеров, менеджеров, предпринимателей, бизнесменов интеллектуальная собственность становится важнейшим инструментом повышения конкурентоспособности продукции, залогом успешных продаж и собственно предметом продаж. Интеллектуальная собственность является одним из важнейших факторов государственного регулирования экономики, одним из рычагов государственной поддержки инновационных планов и научно-технических разработок.

Согласно разрабатываемой в Уральском государственном техническом университете—УПИ концепции «инновационной инженерии», выпускник технического университета должен уметь не только создавать новые знания и технологии, но и обеспечивать их правовую охрану и коммерциализацию. Одним из шагов в подготовке этой относительно новой для вузов, но очень важной компетенции является активное вовлечение студентов и аспирантов в изобретательскую деятельность.

Авторами рассматриваемых в издании патентов являются в основном преподаватели, сотрудники и студенты кафедры экспериментальной физики (ЭФ) физико-технического факультета УГТУ—УПИ. Приведены описания далеко не всех изобретений (на кафедре сделано более 250 изобретений), а в основном тех из них, на которые выданы патенты Российской Федерации. До 1992 г. патенты на изобретения в России не выдавались, а документами о признании технических решений изобретениями были авторские свидетельства СССР (А. с. СССР). Практически патенты РФ стали выдаваться после принятия патентного закона Российской Федерации №3517 от 23 сентября 1992 г.

Выпуск настоящего издания в 2007 г. приурочен к следующим событиям:

- 40 лет назад в УГТУ–УПИ был организован патентный отдел;
- в 2007 г. покидает стены УГТУ–УПИ 200-тысячный выпускник.

Поскольку основной профиль подготовки специалистов на кафедре ЭФ был и остается связанным с электронными приборами (ядерной электроникой, ядерной медициной и приборами неразрушающего контроля), с радиационной безопасностью, системами дозиметрического радиоэкологического контроля, то и тематика изобретений отвечает именно этому профилю. Условно можно выделить три основные направления научно-технических разработок кафедры ЭФ:

1. Детекторные материалы и устройства для регистрации ядерных излучений и радиационного мониторинга (*Б. В. Шульгин, А. В. Кружало, В. Л. Петров*).

2. Электроника для рентгеновских приборов, анализаторы состава веществ (*О. В. Игнатьев, А. И. Коссе*).

3. Мессбауэровская спектрометрия (*В. А. Семенкин*).

В издание вошли описания ряда изобретений, связанных со всеми этими научно-техническими направлениями.

Хотя кафедра ЭФ была организована в 1951 г., первое изобретение — люминофор-сцинтиллятор — было сделано только 15 лет спустя. Речь идет об авторском свидетельстве 238058 СССР с приоритетом от 11.10.1966 (авторы *В. Г. Чухланцев*, аспирант *Б. В. Шульгин*, *Ф. Ф. Гаврилов*). Начиная с 1966 г. за последующие 40 лет кафедрой ЭФ было представлено более 250 изобретений, в том числе более 200 изобретений по детекторным материалам и устройствам. Отметим, что почти четверть из последних сделана совместно со студентами. Это высокий показатель научно-технического творчества одного из крупнейших подразделений вуза, которым является кафедра ЭФ.

Главным спонсором работ по радиационной физике и детекторным устройствам было и остается Российское агентство по образованию. Нашими партнерами по исследованию и созданию новых детекторных материалов и устройств был целый ряд кафедр УГТУ–УПИ: кафедра физических методов и приборов контроля качества, кафедра редких металлов и наноматериалов, кафедра радиохимии, кафедра органической химии, кафедра физической и коллоидной химии, кафедра промышленной теплоэнергетики. В совместных разработках принимали участие также ученые ряда академических институтов и предприятий России: Физический институт РАН (Москва), Институт общей физики РАН (Москва), Институт кристаллографии РАН (Москва) — имеется даже изобретение, совместное с нобелевским лауреатом академиком *А. М. Прохоровым* (А. с. 1259831 СССР (1985)), Институт общей и неорганической химии РАН (Москва), Институт аналитического приборостроения (С.-Петербург), Институт физики твердого тела РАН (Черноголовка), ВНИИ геофизических исследований (Уфа), ВНИЦ «Государственный оптический институт им. *С. И. Вавилова*» (С.-Петербург),

Научно-исследовательский и технологический институт оптического материаловедения (НИТИОМ) ВНЦ «ГОИ им. С. И. Вавилова», Ангарский электролизный химический комбинат; Пышминский опытный завод «Гиредмет» (ныне «Редмет»), Красноярский завод цветных металлов, Научно-исследовательский институт химических технологий (Москва), Институт химии твердого тела УрО РАН, Институт электрофизики УрО РАН, Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН, Институт органического синтеза УрО РАН, Институт физики металлов УрО РАН, Институт геохимии и геологии УрО РАН (Екатеринбург), Институт промышленной экологии УрО РАН (Екатеринбург), Томский политехнический университет, Российский федеральный ядерный центр ВНИИТФ (Снежинск), Институт реакторных материалов, Уральский государственный университет (Екатеринбург), Челябинский государственный университет, Малышевское рудоуправление, Институт атомной энергии им. И. В. Курчатова (Москва), Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Научно-исследовательский институт ядерной физики (НИИЯФ) Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова (Москва), Объединенный институт ядерных исследований (Дубна), Институт неорганической химии и Институт ядерной физики СО РАН (Новосибирск), Институт геохимии СО РАН (Иркутск), Технологический институт (С.-Петербург), Кубанский государственный университет (Краснодар), ВНИИ Проктасбест (Асбест), НПО «Системотехника» (Н. Новгород), Институт испытания металлов (Н. Тагил), Московский энергетический институт, Институт тонкой химической технологии им. Д. И. Менделеева (Москва), МосНПО «Радон» (Москва).

Ряд совместных исследований и публикаций по детекторным материалам выполнен в содружестве с зарубежными учеными из Даремского (Англия) университета (*Кен Тейлор, Ричард Хант, Алан Хоакси*), Алабамского и Мемфисского университетов и Лос-Аламосской национальной лаборатории США (*Честер Александер, Вайн Кук*), Университета штата Нью-Мехико США (*Давид Вульф, Стив Брюек*), Mission Support Inc. Potodevices Devision, (*Ж. В. Сцирр*), Факультета физики и астрономии Brigham Young University (*М. Беррондо*), Института физики НАН Эстонии (*Марко Кирм*), Фраунгоферовского института неразрушающего контроля (*Михаэль Кренинг, Тило Баумбах, Отто Хириш*). На уровне патентов выполнены разработки с учеными Лионского университета Франции (*Кристиан Педрини, Оливье Тиллемон, Кристоф Дюжарден, Бенуа Отефей, Киреддин Леббу*), фирмы FIBERCRYST (*Жан-Мари Формиге*), Университета города Курукшетра, Индия (*Д. Вий*), а также Института физики НАН Кыргызской республики (*Аскарбек Алыбаков, Мустафа Кидибаев, Татьяна Королева*).

Значительная часть изобретений, выполненных на кафедре ЭФ до 90-х годов, была связана с разработкой новых детекторных материалов

и способов их получения. Инициатором работ был профессор *Ф. Ф. Гаврилов* (1918–1997). В дальнейшем работами руководили профессора *Б. В. Шульгин* и *А. В. Кружалов*. Краткий перечень изобретений по этой тематике, сделанных в «допатентный» период, приведен ниже с указанием номеров авторских свидетельств и года приоритета.

Гидрид и дейтерид лития

Состав LiH : Bi, Mg	А. с. 318302 СССР	(1971)
Состав LiH : CeF ₃	А. с. 430736 СССР	(1974)
Состав ⁶ LiH · ⁷ LiH : Eu, Gd, CeF ₃	А. с. 743407 СССР	(1980)
Состав Li(H,D) : Mg	А. с. 826765 СССР	(1981)
Состав LiH и LiD	А. с. 1075756 СССР	(1983)
Состав LiD	А. с. 1317995 СССР	(1987)

Фториды и оксифториды

Состав YOF : Tb	А. с. 577804 СССР	(1977)
Состав SrF ₂ · CeF ₃ · EuF ₃ (CdF ₃ , DyF ₃ , TbF ₃)	А. с. 738453 СССР	(1980)
Состав LiF : UO ₂ (NO ₃) ₂	А. с. 1304584 СССР	(1986)

Силикаты

Состав Na ₂ ZrSiO ₅ : Ln	А. с. 238058 СССР	(1968)
Состав Na ₂ HfSiO ₅ : Ln	А. с. 238058 СССР	(1968)
Состав Ba ₂ ZrSi ₃ O ₉ : Ln	А. с. 245252 СССР	(1969)
Состав Ba ₂ HfSi ₃ O ₉ : Ln	А. с. 245252 СССР	(1969)
Состав Ba ₂ Zr ₂ Si ₃ O ₁₂ : Ln	А. с. 320520 СССР	(1971)
Состав Ba ₂ Hf ₂ Si ₃ O ₁₂ : Ln	А. с. 320520 СССР	(1971)
Состав Ba ₂ Zr ₂ Si ₃ O ₁₂ : Ln	А. с. 353578 СССР	(1972)
Состав Ba ₂ Hf ₂ Si ₃ O ₁₂ : Ln	А. с. 353578 СССР	(1972)
Состав ZrSiO ₄ : Ln	А. с. 403317 СССР	(1973)
Состав ZrSiO ₄ : Ln	А. с. 436609 СССР	(1974)
Состав Ca ₃ ZrSi ₂ O ₉ : La, Ti, Pb	А. с. 488496 СССР	(1975)
Состав Na ₁₄ ZrSi ₁₀ O ₃₁ : Ln	А. с. 490355 СССР	(1975)
Состав Na ₁₄ HfSi ₁₀ O ₃₁ : Ln	А. с. 490355 СССР	(1975)
Состав Na ₄ Zr ₂ Si ₃ O ₁₂ : Ti	А. с. 664366 СССР	(1979)
Состав Na ₂ ZrSiO ₅ : Eu, Sm	А. с. 671502 СССР	(1979)
Состав ZrO ₂ · SiO ₂ · Na ₂ O	А. с. 722417 СССР	(1979)
Состав Sc ₂ SiO ₅ : Gd	А. с. 1382207 СССР	(1987)
Состав Y ₂ SiO ₅ : Ce, Tb	А. с. 1517573 СССР	(1989)

Алюминаты

Состав BeO · Al ₂ O ₃ · SiO ₂	А. с. 785824 СССР	(1980)
Состав Y ₃ Al ₅ O ₁₂ : Ni, Cu	А. с. 900706 СССР	(1981)
Состав Y ₂ O ₃ · Al ₂ O ₃ · Pr ₂ O ₃	А. с. 1059882 СССР	(1983)
Состав LiAlO ₂	А. с. 1136627 СССР	(1984)
Состав Lu ₃ Al ₅ O ₁₂	А. с. 1259831 СССР	(1986)
Состав CaAl ₄ O ₇	А. с. 1289224 СССР	(1986)
Состав CeMgAl ₁₁ O ₁₉	А. с. 1322830 СССР	(1987)

Оксиды и оксидные кристаллы

Состав EuTiNbO_6	А. с. 321893 СССР	(1971)
Состав $\text{Y}_{0,5}\text{Eu}_{0,5}\text{TiNbO}_6$	А. с. 323429 СССР	(1971)
Состав CsCaVO_4	А. с. 403315 СССР	(1973)
Состав EuTiTaO_6	А. с. 403316 СССР	(1973)
Состав $\text{Zn}_3\text{Mo}_2\text{O}_9 : \text{Ln}$	А. с. 439215 СССР	(1974)
Состав $\text{BeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$	А. с. 702857 СССР	(1979)
Состав $\text{Ca}_3(\text{VO}_4)_2$	А. с. 723470 СССР	(1979)
Состав $\text{ZnO} : \text{Li}$	А. с. 809972 СССР	(1980)
Состав $\text{La}_2\text{Be}_2\text{O}_5 : \text{Ce}$	А. с. 921328 СССР	(1981)
Состав Y_2O_3	А. с. 1064776 СССР	(1982)
Состав Sc_2O_3	А. с. 1090140 СССР	(1984)
Состав $\text{Gd}_3\text{Sc}_2\text{Al}_3\text{O}_{12}$	А. с. 1106281 СССР	(1984)
Состав $\text{La}_2\text{Be}_2\text{O}_5$	А. с. 1132609 СССР	(1984)
Состав YPO_4	А. с. 1172252 СССР	(1985)
Состав $\text{PbMo}_{1-x}\text{W}_x\text{O}_4$	А. с. 1304585 СССР	(1986)
Состав $\text{Sr}_3\text{Y}_{1-x}\text{Gd}_x(\text{PO}_4)_3$	А. с. 1380465 СССР	(1987)
Состав $\text{NaF} : \text{UO}_2(\text{NO}_3)_2, \text{CuF}_2$	А. с. 1382206 СССР	(1987)
Состав (термообработка) $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$	А. с. 1482254 СССР	(1989)
Состав (термообработка) $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$	А. с. 1582850 СССР	(1990)
Состав $\text{BeO} \cdot \text{ZnO} \cdot \text{MgO} \cdot \text{Na}_2\text{WO}_4$	А. с. 1668377 СССР	(1991)
Состав $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12} : \text{Li}$	А. с. 1745779 СССР	(1992)

Стекла

Состав $\text{SiO}_2 \cdot \text{ZrO}_2 \cdot \text{Na}_2\text{O} : \text{Ln}$	А. с. 336290 СССР	(1972)
Состав $\text{SiO}_2 \cdot \text{BeO} \cdot \text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Eu}_2\text{O}_3$	А. с. 436032 СССР	(1974)
Состав $\text{SiO}_2 \cdot \text{BeO} \cdot \text{CaF}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Eu}_2\text{O}_3$	А. с. 453912 СССР	(1974)
Состав $\text{P}_2\text{O}_5 \cdot \text{K}_2\text{O} \cdot \text{Ce}_2\text{O}_3 \cdot \text{Y}_2\text{O}_3$	А. с. 769945 СССР	(1980)
Состав $\text{P}_2\text{O}_5 \cdot \text{BeO} \cdot \text{BaO} \cdot \text{Gd}_2\text{O}_3$	А. с. 828642 СССР	(1981)
Состав $\text{P}_2\text{O}_5 \cdot \text{K}_2\text{O} \cdot \text{Y}_2\text{O}_3 \cdot \text{Ce}_2\text{O}_3$	А. с. 833653 СССР	(1981)
Состав $\text{P}_2\text{O}_5 \cdot \text{Cs}_2\text{O} \cdot \text{Y}_2\text{O}_3 \cdot \text{Ce}_2\text{O}_3$	А. с. 833653 СССР	(1981)
Состав $\text{P}_2\text{O}_5 \cdot \text{Ce}_2\text{O}_3 \cdot \text{R}_2\text{O} \cdot \text{R}_2\text{O}_3$	А. с. 860432 СССР	(1981)
Состав $\text{P}_2\text{O}_5 \cdot \text{K}_2\text{O} \cdot \text{Tb}_2\text{O}_3$	А. с. 1005405 СССР	(1982)

Керамика

Состав (керамика) ZnO	А. с. 1088501 СССР	(1983)
Состав (керамика) Sc_2O_3	А. с. 1119464 СССР	(1984)

Рекордный для своего времени быстрый тяжелый сцинтиллятор на основе $\text{Lu}_2\text{SiO}_5 : \text{Ce}$ был впервые описан в работе *Шульгина Б. В., Петрова В. Л.* и др. / УПИ. Свердловск, 1990. Деп. ВИНТИ, №3570. Эта работа с указанием приоритета УГТУ–УПИ была включена в обзор национальной лаборатории США Lawrence Berkeley Laboratory (*Derenzo S. E., Moses W. W.* // Proc. of «CRYSTAL 2000» Int. Workshop. 2000. P. 125–135).

Начиная с 90-х годов акцент в исследованиях научных групп профессоров *Б. В. Шульгина* и *А. В. Кружалова* смещается на разработку

детекторных устройств и систем радиационного мониторинга. Ими были запатентованы новые технические решения в области радиационной техники (48 изобретений). Полные описания полученных патентов по данной тематике приведены в настоящей книге.

Особое внимание проводимым на кафедре разработкам в области радиационных детекторов было уделено со стороны Министерства обороны Российской Федерации, которое стало финансировать их начиная с 1991 г. Они касались новых детекторных устройств для контактной и дистанционной регистрации источников ионизирующих излучений и с разработкой детектирующих комплексов наземного, морского и вертолетного базирования, предназначенных для контроля делящихся материалов и радиоактивных веществ на гражданских и военных объектах. При разработке этих комплексов использовались оригинальные запатентованные технические решения, в том числе приведенные в настоящей книге.

В результате выполнения тем по заказу Министерства обороны РФ были разработаны комплексы радиационного контроля, часть из которых уже поставлена на снабжение Министерства обороны и выпускается серийно. Научное руководство по темам осуществлялось со стороны УГТУ–УПИ (руководители *Б. В. Шульгин, В. Л. Петров*). Изготовление комплексов выполнялось на заводе точной механики (*М. В. Благовецкий, А. Ф. Василиади, В. Г. Зуев, Д. И. Кудашов, Ю. Р. Сафин, В. В. Соколкин*). На базе патентов были созданы как сами устройства, так и их алгоритмы управления и программное обеспечение. Особо следует отметить разработанные в УГТУ–УПИ универсальные способы регистрации слабых потоков ионизирующих излучений (пат. 2140660 РФ и пат. 2242024 РФ, главные разработчики *А. С. Шешин и Л. В. Викторов*). Их внедрение позволило снизить минимальный обнаруживаемый сигнал до уровня, близкого к теоретическому пределу.

Фотографии ряда разработок, связанных с изобретениями, приведены на рис. ИС.1–ИС.11. На рис. ИС.1 представлена копия диплома (золотая медаль) Всемирной выставки в Брюсселе (2001), выданная разработчикам из УГТУ–УПИ (*Л. В. Жукова, Б. В. Шульгин* и др.), создавшим уникальный сцинтилляционный световод из кристалловолокон (Пат. 2154290 РФ. Сцинтилляционный световод / *Л. В. Жукова, В. В. Жуков, Б. В. Шульгин, Ю. Н. Макурин*. Заявл. 11.05.1999; опубл. 10.08.2000. Бюл. №22), весьма перспективную разработку XXI века.

После создания на кафедре ЭФ студенческой научно-исследовательской лаборатории приборов в 1973–1974 гг., получившей в 1979 г. статус отраслевой научно-исследовательской лаборатории электроники рентгеновских приборов (руководители *Б. С. Новисов, В. Н. Махов, О. В. Игнатьев, А. И. Коссе*), был разработан ряд новых устройств в области ядерной электроники, защищенных авторскими свидетельствами:



Рис. ИС.1. Диплом (слева) Брюссельской выставки (2001 г.), полученный за синтиллиационный световод (патент справа)



Рис. ИС.2. Демонстрация разработок зарубежным гостям: профессор Б. В. Шульгин показывает гамма-спектрометр «Пегас»



Рис. ИС.3. Мобильный комплекс «Советник СК-АМ», вид снаружи

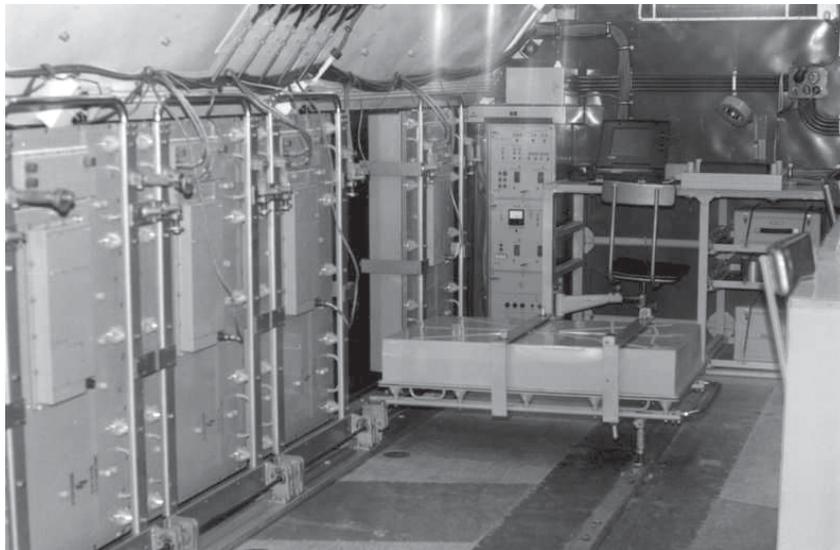


Рис. ИС.4. Мобильный комплекс «Советник СК-АМ», вид изнутри

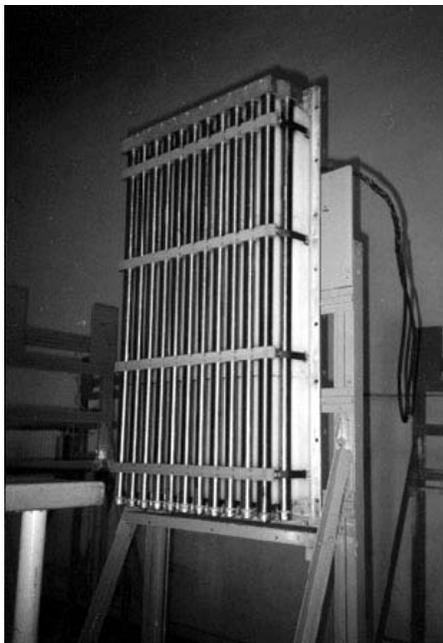


Рис. ИС.5. Детектор нейтронного излучения на базе газоразрядных трубок с гелием-3



Рис. ИС.6. Лабораторный комплекс «Советник СК-АМ»

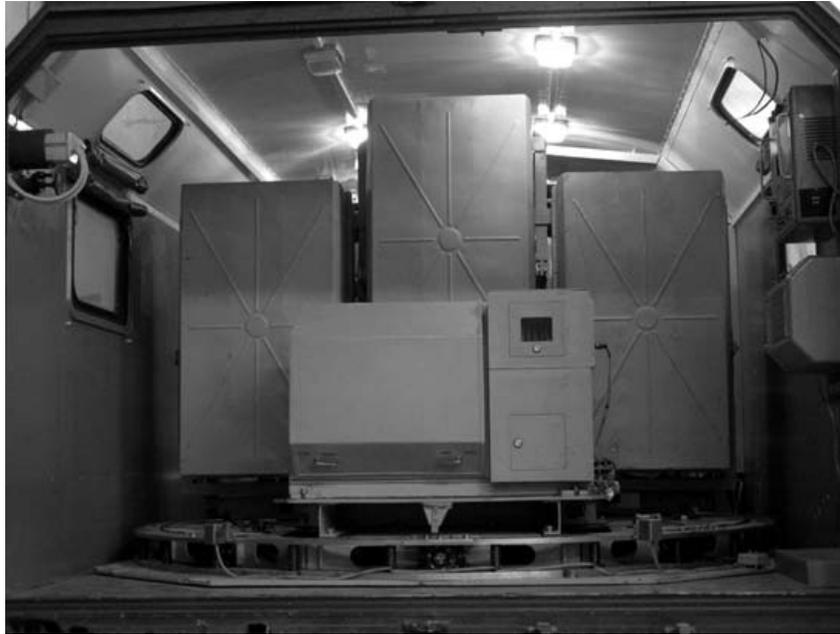


Рис. ИС.7. Модернизированный измерительный комплекс автомобильного базирования

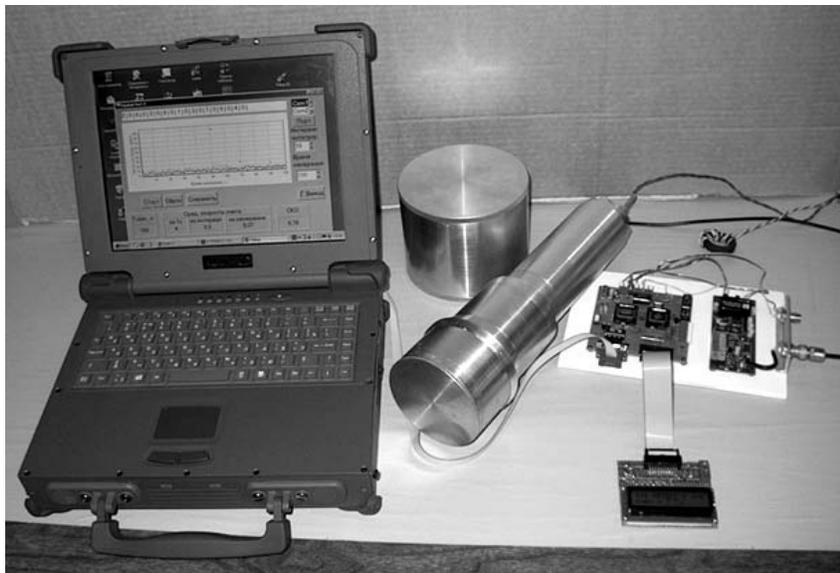


Рис. ИС.8. Экспериментальный образец гамма-нейтронного детектора



Рис. ИС.9. Вертолетный комплекс специального технического контроля «Соратник-03»



Рис. ИС.10. Гамма-спектрометр «Пегас»

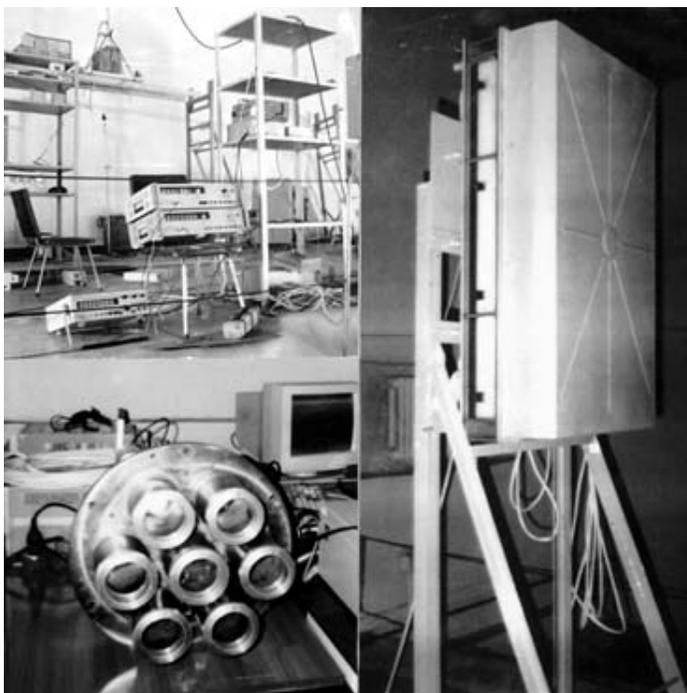


Рис. ИС.11. Метрологическое оборудование кафедры ЭФ, необходимое для проведения лабораторных испытаний гамма-детектора (слева внизу) и детектора нейтронов (справа)

1. А. с. 272445 СССР. Спектрометрический формирователь / Б. С. Новисов, Д. А. Пулин. Заявл. 27.05.1973. Оpubл. 07.07.1973.
2. А. с. 336624 СССР. Спектрометрический формирователь / В. И. Власов, Б. С. Новисов, Е. Н. Панков. Заявл. 27.05.1974. Оpubл. 07.07.1974.
3. А. с. 534131 СССР. Спектрометрический формирователь / Б. С. Новисов, А. С. Максименко, О. В. Игнатъев, Н. Ф. Школа. Заявл. 27.05.1975. Оpubл. 07.07.1976.
4. А. с. 701299 СССР. Спектрометрический формирователь / А. С. Максименко, Б. С. Новисов, Н. Ф. Школа, О. В. Игнатъев. Заявл. 17.03.1978. Оpubл. 06.08.1979.
5. А. с. 705881 СССР. Устройство для анализа формы спектрометрических импульсов / Б. С. Новисов, А. Д. Пулин, Е. М. Сулимов, А. С. Максименко. Заявл. 23.01.1979. Оpubл. 28.08.1979.
6. А. с. 743420 СССР. Спектрометрический усилитель / Н. Ф. Школа, О. В. Игнатъев, Б. С. Новисов, Ю. А. Шевченко. Заявл. 26.12.1978. Оpubл. 28.02.1980.
7. А. с. 752210 СССР. Линейный спектрометрический усилитель / О. В. Игнатъев, Н. Ф. Школа, В. П. Гиманов, Б. С. Новисов. Заявл. 17.03.1978. Оpubл. 07.04.1980.

8. А. с. 776328 СССР. Голографическое устройство хранения и вывода информации / *В. Н. Махов*. Заявл. 04.11.1978. Оpubл. 07.07.1980.
9. А. с. 790191 СССР. Импульсный усилитель / *А. И. Коссе, В. П. Гиманов, О. В. Игнатъев, Н. Ф. Школа, Б. С. Новисов*. Заявл. 31.01.1979. Оpubл. 21.08.80.
10. А. с. 801242 СССР. Аналого-цифровой преобразователь / *В. Н. Махов*. Заявл. 11.03.1979. Оpubл. 01.01.1981.
11. А. с. 803674 СССР. Спектрометрический усилитель / *Н. Ф. Школа, О. В. Игнатъев, Б. С. Новисов, Ю. А. Шевченко, А. И. Коссе*. Заявл. 12.10.1979. Оpubл. 08.10.1980.
12. А. с. 805487 СССР. Аналого-цифровой преобразователь / *В. Н. Махов, А. В. Жуков, О. В. Игнатъев, Н. Ф. Школа, Н. Н. Мельник, Б. С. Новисов*. Заявл. 05.02.1979. Оpubл. 14.10.1980.
13. А. с. 805488 СССР. Аналого-цифровой преобразователь / *В. Н. Махов, А. В. Жуков, О. В. Игнатъев, Н. Ф. Школа, Н. Н. Мельник, Б. С. Новисов*. Заявл. 05.02.1979. Оpubл. 14.10.1980.
14. А. с. 837208 СССР. Спектрометрический формирователь / *А. И. Сергеев, Б. С. Новисов, А. С. Максименко, А. Н. Ковшов, В. Н. Махов*. Заявл. 11.02.1980. Оpubл. 06.02.1981.
15. А. с. 894860 СССР. Аналого-цифровой преобразователь / *А. В. Жуков, В. Н. Махов, Н. Н. Мельник*. Заявл. 08.05.1980. Оpubл. 01.09.1981.
16. А. с. 1082148 СССР. Спектрометрический усилитель / *Н. Ф. Школа, О. В. Игнатъев, Ю. А. Шевченко, Г. А. Волков*. Заявл. 30.07.1982. Оpubл. 22.11.1983.
17. А. с. 1014124 СССР. Устройство стабилизации исходного уровня / *О. В. Игнатъев, Н. Ф. Школа, А. И. Коссе, А. С. Максименко*. Заявл. 01.09.1978. Оpubл. 21.12.1982.
18. А. с. 1173522 СССР. Устройство стабилизации исходного уровня / *О. В. Игнатъев, А. Д. Пулин, Ю. А. Шевченко, Н. Ф. Школа*. Заявл. 27.10.1982. Оpubл. 16.04.1985.
19. А. с. 1290996 СССР. Устройство автоматической установки порогового уровня напряжения / *О. В. Игнатъев, А. Д. Пулин, Ю. А. Шевченко, Н. Ф. Школа*. Заявл. 03.01.1985. Оpubл. 16.10.1986.

В 90-е — 2000-е годы в лаборатории *О. В. Игнатъева, А. И. Коссе* был разработан ряд спектрометров ионизирующего излучения и рентгенофлюоресцентных микроанализаторов, нашедших широкое практическое применение. Большинство этих разработок было выполнено с использованием оригинальных авторских свидетельств (см. выше) и патентов (описаны в основной части справочника). Краткая информация о приборах, разработанных в лаборатории *О. В. Игнатъева, А. И. Коссе*, приведена ниже.

1. Прибор МАРФ — переносной портативный прибор для определения химического состава сплавов (стали нержавеющей, бронзы, алюминиевые сплавы и т. д.). Предлагаются три разновидности портативных рентгенофлюоресцентных микроанализаторов, отличающихся друг от друга источниками первичного излучения, возбуждающего флуоресценцию пробы, и соответственно конструкцией датчика (рис. ИС.12).

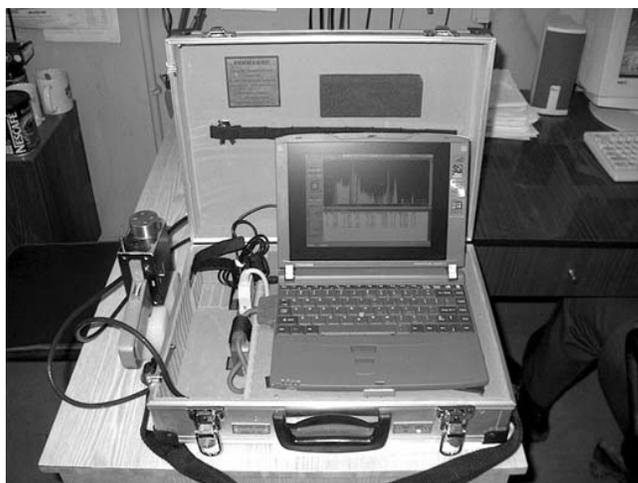


Рис. ИС.12. Переносной портативный прибор МАРФ для определения химического состава сплавов

Первый вариант содержит радиоактивный источник Am^{241} в качестве возбудителя флуоресценции. Во втором варианте в датчике установлены два радиоактивных источника — Am^{241} и Pu^{238} . В третьем варианте вместо радиоактивных источников применен портативный рентгеновский излучатель с набором фильтров (излучатель также управляется от переносного компьютера). Прибор сертифицирован Госстандартом РФ как «средство измерения» во всех вариантах.

2. Стационарный прибор для определения химического состава растворов редких земель (рис. ИС.13). Назначение прибора — измерять в растворах массовые доли лантанидов, скандия и иттрия при концентрациях от 1 мг/л до 20 г/л. Прибор позволяет определять до 28 элементов с большой точностью.

Стационарный микроанализатор содержит в своем составе:

— охлаждаемый жидким азотом высокоразрешающий блок детектирования рентгеновского излучения с $\text{Si}(\text{Li})$ -детектором (энергетическое разрешение по линии излучения 5,9 кэВ составляет 140–150 эВ);

— устройство возбуждения характеристического излучения пробы, содержащее либо радиоактивные источники Am^{241} , Pu^{238} , либо малогабаритный рентгеновский излучатель;

— встроенный в IBM PC и управляемый от него процессор спектрометрических импульсов от $\text{Si}(\text{Li})$ -блока детектирования.

3. Портативный полупроводниковый спектрометр энергии гамма-излучения (для точного определения содержания радионуклидов). Спектрометр включает в себя охлаждаемый жидким азотом высокоразрешающий портативный блок детектирования γ -излучения с HrGe -детектором (энергетическое разрешение по линии излучения 5,9 кэВ 270–280 эВ), встроенные в кейс портативный IBM PC типа Notebook,



Рис. ИС.13. Стационарный прибор для определения химического состава растворов редких земель

управляемый от него процессор спектрометрических импульсов от H_pGe-блока детектирования и источники сетевого и автономного питания.

4. Спектрометр «ПЕГАС» — портативный сцинтилляционный спектрометр энергии гамма-излучения. Прибор разработан по заказу ВМФ РФ совместно с группой *Б. В. Шульгина, В. Л. Петрова*. Возможна версия прибора, выполняющая функции спектрометра гамма-излучения и всеволнового радиометра нейтронного излучения. Базовая версия прибора сертифицирована Госстандартом РФ как «средство измерения». Прибор предназначен для обнаружения источников гамма-излучения, определения их местоположения и создаваемой ими мощности дозы; идентификации обнаруженных источников гамма-излучения путем измерения спектра испускаемого гамма-излучения; для оценки активности (количества) гамма-излучающих радионуклидов или делящихся материалов при одновременном контроле радиационной обстановки в зоне или на объекте контроля.

Основные технические характеристики прибора ПЕГАС

Относительное энергетическое разрешение спектрометра по линии
гамма-излучения с энергией: 661,66 кэВ (¹³⁷Cs), % 8

Диапазон регистрируемых спектрометром энергий, кэВ	50–3000
Интегральная нелинейность спектрометра в диапазоне измеряемых энергий, %	± 1
Максимальная входная статистическая загрузка спектрометра, имп/с, не менее	30 000
Время непрерывной работы спектрометра:	
— при питании от сети ~ 220 В, ч	24
— при питании от встроенных аккумуляторов, ч	3
Масса спектрометра, кг	10
Мощность, потребляемая спектрометром от сети, Вт	60
Время установления рабочего режима, мин	15

5. Специальные устройства ядерной электроники

5.1. *Сверхбыстродействующий спектрометр заряженных частиц* с детектором из природного алмаза (исполнения: а — САМАС; б — портативный, в виде кейса со встроенным ноутбуком).

Важнейшие параметры и особенности:

— $n_{o \max} \geq 5,6 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$;

— «мертвое» время $DT = T_{\text{width}} = 700 \text{ нс}$;

— разрешающее время инспектора наложений $T_{\text{res}} \leq 30 \text{ нс}$;

— эффективный корректор просчетов по модифицированному методу Хармса (Патент РФ на корректор находится в стадии оформления).

5.2. *Процессор спектрометрических импульсов* с автоматической адаптацией времени формирования к индивидуальным интервалам времени между детекторными сигналами.

Важнейшие параметры и особенности:

— эффективное «мертвое» время $DT_{\text{eff}} \leq T_{\text{width}}/2$;

— $n_{\text{in.max}} \geq 2,50/T_{\text{sh}}$, диапазон времен формирования $T_{\text{sh}} = 4\text{--}32 \text{ мкс}$;

— эффективный корректор просчетов по модифицированному методу Хармса;

— встроенный АЦП с временем преобразования $T_{\text{conv}} \leq 1,6 \text{ мкс}$.

5.3. *Генератор статистических сигналов* (иммитатор различных блоков детектирования ионизирующих излучений) для исследования, тестирования и настройки электронных трактов спектрометров.

Важнейшие параметры и особенности:

— диапазон частот следования экспоненциальных импульсов (регулярных и статистически распределенных во времени) — 100 Гц—1,0 МГц;

— диапазон изменения амплитуд экспоненциальных импульсов — 1,0 В—10 мВ;

— постоянная времени спада $\tau_d = 5\text{--}50 \text{ мкс}$ при постоянном времени нарастания $T_{\text{rise}} = 40 \text{ нс}$;

— режим генерации равномерно распределенных по амплитудам импульсов («белый» спектр амплитуд);

— режим фиксированного (и регулируемого) «мертвого» времени.

Третье направление научно-технических разработок кафедры неразрывно связано с научной группой В. А. Семенкина. Начиная с 1980 г.

В. А. Семенкин, будучи научным консультантом мессбауэровских исследований на кафедре ЭФ, начинает цикл работ по новому научному направлению — многомерная параметрическая мессбауэровская спектрометрия — в тесном сотрудничестве и соавторстве с известными учеными в области эффекта *Мессбауэра С. М. Иркаевым* и *М. М. Соколовым* (Институт аналитического приборостроения АН СССР, Ленинград). На рис. ИС.14 приведен титульный лист их совместного проекта с личным автографом *Рудольфа Мессбауэра*, который рецензировал этот проект и активно поддержал его.

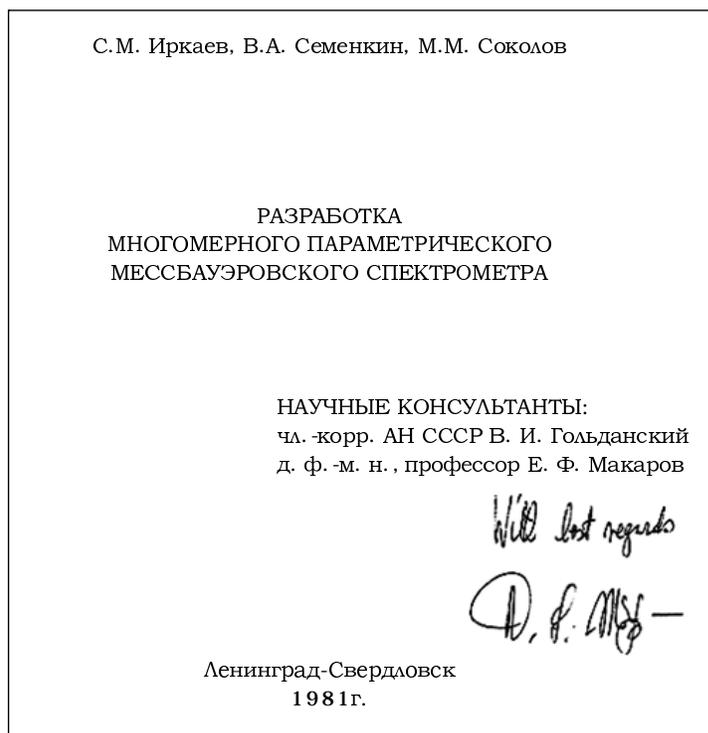


Рис. ИС.14. Титульный лист совместного проекта с автографом *Р. Мессбауэра*

В 1982 г. в отраслевой лаборатории электроники для рентгеновских приборов, организованной при кафедре экспериментальной физики по инициативе *Д. А. Пулина*, *Б. С. Новисова*, *В. Н. Махова*, *Ю. А. Шевченко* и *О. В. Игнатьева*, образуется группа по разработке уникального мессбауэровского спектрометра. Руководителем этой группы назначается *В. А. Семенкин*. На заседании Совета по научному приборостроению при Президиуме АН СССР 16 февраля 1983 г. утверждаются техническое задание, исполнители, заказчики и финансирование по проекту «Спектрометр *Мессбауэра* базовый», который вносится в титульный

список уникальных научных приборов нашей страны. Одновременно работы кафедры экспериментальной физики по этому проекту входят в межвузовскую целевую программу работ на 1982–1985 гг. «Когерентные процессы и взаимодействие мессбауэровского излучения с веществом» (шифр «Кристалл»). Руководитель группы *В. А. Семенкин* избирается членом секции «Аппаратура и методика мессбауэровской спектроскопии» в этой крупной координационной программе всех мессбауэровских работ в СССР.

В 1985 г. группа выполняет три крупных НИР: «Секвента» — разработка системы доплеровской модуляции для аттестации радионуклидной продукции методом эффекта *Мессбауэра* (по заказу Госкомитета по атомной энергии СССР и Радиевого института), «Малахит» и «Малахит-МУ» — разработка микропроцессорного накопителя для спектрометров ионизирующих излучений (по заказу Министерств общего и среднего машиностроения, Московского авиационного института и Радиевого института). Результаты испытания разработанной аппаратуры на различных полигонах подтвердили высокое качество и надежность разработок. Был получен акт внедрения НИР с редкой формулировкой — «подъем престижа страны».

Выполняющиеся в это время дипломные проекты, как правило, выливаются в конкретную работу вышеназванных тематик. Можно назвать выпускников кафедры экспериментальной физики, которые выполнили наиболее значимые дипломные работы: *В. Манженко, Б. Широков, В. Вайнштейн, В. Скотников, А. Г. Голиков, А. В. Тюков, А. Р. Кулесский, Р. Р. Гельманов*. Совместно с *С. М. Иркаевым* выполняются пионерские работы по использованию многомерной доплеровской модуляции в резонансном детектировании эффекта *Мессбауэра*. Результаты публикуются в журналах «Приборы и техника эксперимента» и «Письма в журнал технической физики». На эти работы обращают внимание зарубежные ученые. Они цитируются в списке фундаментальных достижений 1984 г. (рис. ИС.15).

С 1985 г. по 90-е годы выполняется НИР «Разработка основ многомерной мессбауэровской спектрометрии» по заказу Института аналитического приборостроения и Института химической физики. Работа заканчивается государственными испытаниями нового уникального научного прибора многомерного мессбауэровского параметрического спектрометра СМ-2201 (рис. ИС.16).

На опытном производстве АН СССР было выпущено 40 аналогичных приборов, которыми укомплектованы сегодня все ведущие мессбауэровские лаборатории академических и отраслевых институтов и многих вузов России. За это время был проведен физический анализ эффекта *Доплера* и эффекта *Мессбауэра* в многомерных схемах резонансного детектирования, фильтрации, поляризации, селективно-индуцированного резонансного эффекта, рассчитаны гамма-оптические схемы и разработаны математические и электронные схемы на базе теории графов, схемы доплеровской модуляции с физической

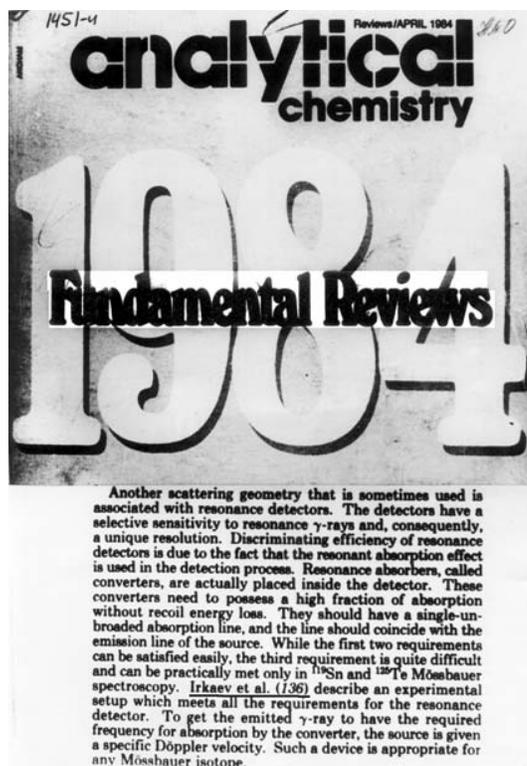


Рис. ИС.15. Титульный лист журнала «Фундаментальные достижения»



Рис. ИС.16. Общий вид мессбауэровского спектрометра СМ-2201 совместной разработки УПИ (УГТУ-УПИ) и ИАП АН СССР (РАН)

реализацией секвенты 11-го порядка путем синтеза знакопеременных функций *Уолша*.

Предложенные решения позволили исключить в многомерном эксперименте искажающие факторы квантовых биений и фазовых искажений в функции свертки спектральных линий источника, поглотителя и промежуточных резонансно рассеивающих сред. Предложенный метод позволил радикально увеличить разрешающую способность мессбаэровской спектрометрии на основных резонансных нуклидах: железо-57, олово-119, тантал-181, европий-151, никель-61, золото-197, рутений-99. В эксперименте резонансной фильтрации с резонансным детектированием была зарегистрирована спектральная линия меньше естественной ширины 14,4 кэВ гамма-излучения ядра железа-57 («эффект псевдонарушения принципа *Гейзенберга*»). По результатам работы группы в период с 1985 по 1992 гг. получено 17 зарубежных патентов (в том числе патенты Великобритании, Франции, Японии, Чехии, Болгарии) и 9 авторских свидетельств СССР.

7 мая 1987 г. *В. А. Семенкин* в соавторстве с сотрудниками ИАП АН СССР *С. М. Иркаевым*, *В. В. Куприяновым* и *М. М. Соколовым* получили патент Великобритании «Метод резонансной гамма-спектроскопии». Это второй патент в мире, после патента *Р. Мессбауэра*, с подобной формулировкой. На рис. ИС.17 приведена копия первого листа этого патента.

В эти же годы различные методические и схмотехнические решения спектрометра СМ-2201 были использованы в разработке специализированной техники эффекта *Мессбауэра*. Так, по планам координационной программы «Кристалл» были выполнены совместно с кафедрой ядерной физики Белорусского госуниверситета проект (руководитель *А. Л. Холмецкий*) передвижной геологоразведочной мессбаэровской лаборатории и совместно с НИИ физики Ростовского госуниверситета разработка мессбаэровского спектрометра для экспрессных анализов МС-1010 (руководители *В. Н. Лосев* и *Д. А. Сарычев*). Общий вид этого спектрометра приведен на рис. ИС.18. Этот спектрометр выпущен малой серией на опытном производстве НИИ физики РГУ.

С сентября 1989 г. мессбаэровская группа кафедры экспериментальной физики получает доступ к международному центру данных по эффекту *Мессбауэра* (университет штата Северная Каролина, США), что позволило на порядок поднять эффективность библиографического анализа при подготовке собственных публикаций.

Высокие показатели, которые были получены при ведомственных испытаниях спектрометра СМ-1010, в значительной степени были обусловлены новой конструкцией доплеровского модулятора на редкоземельных магнитах (совместная разработка *В. А. Семенкина* и *С. Дедкова*, КБ Уральского электромеханического завода). В 1989 г. система доплеровской модуляции с этим модулятором была использована в уникальном эксперименте совместно с *В. Н. Белогуровым* на Саласпилском атомном реакторе Института физики АН Латвийской

PATENTS ACT 1977 **7 MAY 1987**
 PATENTS FORM No. 7/77 (Revised 1982)
 (Rules 15, 82)
 The Comptroller
 The Patent Office
 25 Southampton Buildings
 London, WC2A 1AY

1987
10745

STATEMENT OF INVENTORSHIP AND OF RIGHT TO THE GRANT OF A PATENT

I Application No.

II Title METHOD OF GAMMA-RAY RESONANCE SPECTROSCOPY

III We НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ
 АКАДЕМИИ НАУК СССР

the applicant(s) in respect of the above mentioned application for a patent declare as follows:-

i) We believe the person(s) whose name(s) and address(es) are stated on the reverse side of this form (and supplementary sheet if necessary) is/are the inventor(s) of the invention in respect of which the above mentioned application is made;

ii) The derivation of my/our right to be granted a patent upon the said application is as follows:-
 By virtue of the said inventors employment by the
 said Applicants

iii) We consent to the publication of the details contained herein to each of the inventors named on the reverse side of this form.

IV Signature
 (see Note 3)

MATHISEN, MACARA & CO.
 Agents for the Applicants

PLEASE SEE OVERLEAF.

V4922

Рис. ИС.17. Первый лист патента Великобритании «Метод резонансной гамма-спектроскопии»

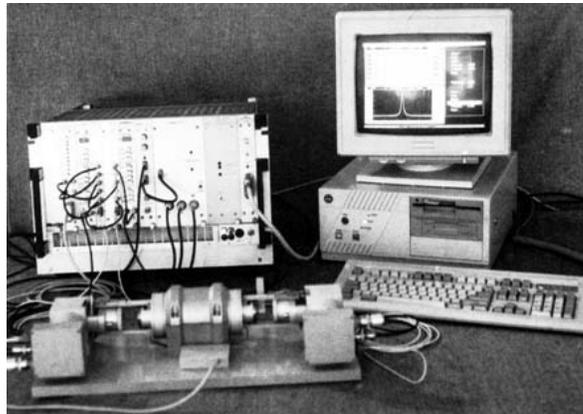


Рис. ИС.18. Общий вид спектрометра SM-1010

ССР — был измерен мессбауэровский спектр гадолиния-155 в нейтронном пучке реактора. Общая масса исследуемого вещества в гелиевом криостате, двигающаяся с частотой 10 Гц, составляла почти 10 кг. При этом относительная ошибка доплеровской модуляции была не более 0,1%, в то время как на других известных спектрометрах (ЯГРС-4М, фирм Франции, Германии, США, Великобритании) такая ошибка достигалась с подвижными массами не более 10 г. К этому времени группа располагает мощным программным пакетом по обработке результатов измерений. Он был создан в сотрудничестве с Институтом электроники АН Узбекской ССР (разработчик *С. В. Шевелев*, впоследствии программа MOSREF в составе СМ-2201) и НИИ физики Ростовского госуниверситета (разработчик *С. Брюгеман*, программа UNIVEM-4). Модернизированный вариант этого пакета эксплуатируется в лаборатории мессбауэровской спектроскопии по настоящее время.

В 1990–1995 гг. выполняется НИР по госбюджетному финансированию «Развитие метода доплеровской модуляции для повышения разрешающей способности мессбауэровской спектроскопии». На этом этапе исследований совместно с *Ю. Н. Секисовым* продолжают работы по измерению эффекта *Мессбауэра* с одновременным пропусканием электрического тока и при воздействии внешнего электрического поля в метастабильных инварных сплавах. Уточняется и развивается молекулярная кластерная модель металлического состояния, ранее предложенная *Ю. Н. Секисовым*. В сотрудничестве с лабораторией пучковых воздействий Института электрофизики УрО РАН (руководитель профессор *В. В. Овчинников*, старший научный сотрудник *Б. Ю. Голобородский*) в 1995 г. впервые в мире проводится эксперимент по измерению эффекта *Мессбауэра* непосредственно под пучком аргонной пушки. Также совместно выполняется цикл исследований радиационного упорядочения в сплавах железо–хром, железо–никель и железо–палладий–золото. Профессором *В. В. Овчинниковым* высказывается гипотеза о новом механизме превращения — «радиационной детонации». В соавторстве с *В. А. Семенкиным* эти результаты докладываются и публикуются в трудах нескольких международных совещаний «Радиационная физика твердого тела». Одновременно силами группы осуществляется инженерное обеспечение в работе многомерных спектрометров в институтах физики металлов, электрофизики и минералогии УрО РАН. В том же 1995 г. группа выходит из состава отраслевой лаборатории электроники для рентгеновских приборов и образует самостоятельное научное подразделение кафедры экспериментальной физики — лабораторию мессбауэровской спектроскопии (научный руководитель *В. А. Семенкин*).

В настоящее время по результатам всех совместных с УГТУ–УПИ работ в Институте аналитического приборостроения РАН выпускается следующий комплекс многомерных параметрических мессбауэровских приборов.

1. Мессбауэровские спектрометры СМ-2201 и СМ-3201. Спектрометры СМ-2201 и СМ-3201 (рис. ИС.19) являются многофункциональными приборами широкого назначения и предоставляют возможность проводить автоматическое накопление и последующую обработку спектров. Спектрометры удовлетворяют требованиям многомерной параметрической мессбауэровской спектроскопии, использующей многократную систему доплеровской модуляции и различного рода резонансные преобразователи спектральной линии.



Рис. ИС.19. Мессбауэровский спектрометр СМ-2201

Введение в схему эксперимента многократной доплеровской модуляции (2-кратной для СМ-2201 и 3-кратной для СМ-3201) и резонансных преобразователей (резонансных детекторов, фильтров, поляризаторов, затворов) расширяет информационный потенциал метода мессбауэровской спектроскопии, приводит к увеличению разрешающей способности и чувствительности метода. Спектрометр обеспечивает автоматическое накопление спектров в следующих схемах мессбауэровской гамма-оптики: пропускания, эмиссии, прямого, малоуглового и обратного рассеяния, релеевского рассеяния мессбауэровского излучения, селективно-индуцированного двойного эффекта *Мессбауэра*, любых комбинаций вышеупомянутых схем.

2. Мессбауэровский спектрометр СМ-2201DR (рис. ИС.20). Спектрометр предназначен для исследования динамических процессов в конденсированных средах, как содержащих (режим селективно-индуцированного эффекта *Мессбауэра*), так и не содержащих (режим релеевского рассеяния мессбауэровского излучения) в своем составе ядра резонансного изотопа, в условиях высокого разрешения и чувствительности. Это достигается введением в состав спектрометра резонансных детекторов, применением специальных законов изменения типа доплеровской модуляции и оптимизации гамма-оптической схемы измерения.

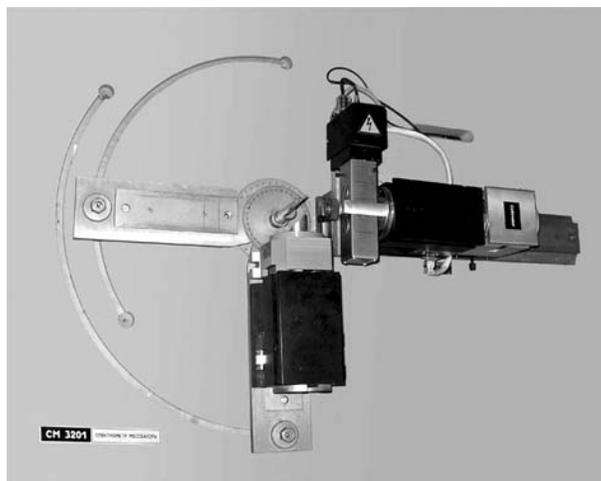


Рис. ИС.20. Мессбауэровский спектрометр CM-2201DR

3. Мессбауэровский спектрометр CM-1101TER (рис. ИС.21). Спектрометр предназначен для селективных по глубине исследований поверхности твердого тела при скользящих углах падения, включая диапазон углов полного внешнего отражения резонансного излучения. Спектрометр позволяет проводить исследования ультратонких слоев поверхности в области 0–100 нм, 0–300 нм, 0–600 нм. Например, эффективная глубина исследуемой поверхности для длины волны 0,086 нм (излучение 14,4 кэВ) составляет 2 нм.



Рис. ИС.21. Мессбауэровский спектрометр CM-1101TER

Отличительной особенностью спектрометра является то, что он позволяет проводить измерения спектров одновременно по четырем независимым каналам реакции среды на падающее на ее поверхность излучение:

- гамма-излучению, зеркально отраженному ядрами и электронами атомов;
- электронам конверсии и Оже-электронам, переизлученным атомами;
- характеристическому рентгеновскому излучению;
- гамма-излучению, резонансно рассеянному атомами.

4. Мессбауэровские спектрометры СМ-1101 и СМ-2101Turbo.

Компактный спектрометр СМ-1101 (рис. ИС.22) предназначен для технологических применений в лабораториях и заводских условиях, а также в геологических партиях при проведении поисковых работ. В приборе осуществлена традиционная схема мессбауэровского спектрометра. Реализация основных принципов спектроскопии и простота технического исполнения, вместе с небольшой стоимостью, позволяют рекомендовать прибор для учебных целей. В спектрометре СМ-2101Turbo, предназначенном для проведения экспрессных исследований веществ, содержащих широкий круг изотопов с высоким разрешением и чувствительностью, введена вторая, синхронизированная с первой, система доплеровской модуляции.

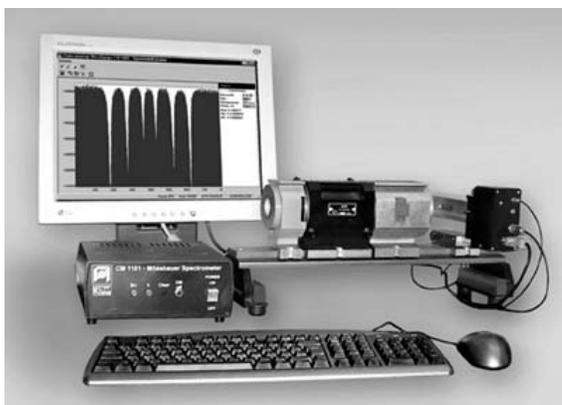


Рис. ИС.22. Мессбауэровский спектрометр СМ-1101

Рекордная чувствительность достигается в эмиссионной геометрии. При проведении экспериментов на соединениях железа получена величина эффекта 1200%. В геометрии пропускания спектрометр позволяет увеличить спектральное разрешение линий (вплоть до 27%), чувствительность (на порядок) и значительно сократить время измерений.

5. Многофункциональный приборный комплекс СМ-4201TERLAB.

Комплекс (рис. ИС.23) предназначен для селективных по глубине комплексных исследований фазового и элементного составов, физико-химического состояния поверхности и объема конденсированных сред (твердые тела, многослойные синтетические структуры, наноструктуры и наноматериалы). Многофункциональность спектрометра заключается в том, что в нем реализованы возможности мессбауэровской и рентгенофлуоресцентной спектроскопии, рентгеновской дифракции при нормальных и скользящих по отношению к поверхности углах падения излучения, позволяющие получать взаимодополняющую информацию об исследуемом объекте. Спектрометр позволяет также проводить измерения в режимах рентгеновской рефлектометрии и рентгеновских и мессбауэровских стоячих волн.



Рис. ИС.23. Многофункциональный приборный комплекс СМ-4201TERLAB

С участием сотрудников группы *В. А. Семенкина* были подготовлены следующие авторские свидетельства СССР и зарубежные патенты (Болгарии, Великобритании, Германии, Франции, Чехословакии и Японии):

1. А. с. 1014379 СССР. Резонансный детектор / *С. М. Иркаев, В. А. Семенкин, В. В. Куприянов*. Оpubл. 21.12.1982.
2. А. с. 1014381 СССР. Мессбауэровский спектрометр / *М. Е. Вахонин, С. М. Иркаев, В. В. Куприянов, В. А. Семенкин*. Оpubл. 05.04.1982.
3. А. с. 1012677 СССР. Мессбауэровский спектрометр с резонансным детектором / *М. Е. Вахонин, С. М. Иркаев, В. А. Семенкин, В. В. Куприянов*. Оpubл. 14.12.1982.
4. А. с. 1014381 СССР. Устройство управления доплеровским модулятором мессбауэровского спектрометра / *М. Е. Вахонин, С. М. Иркаев, В. А. Семенкин, В. В. Куприянов*. Оpubл. 21.12.1982.
5. А. с. 1124714 СССР. Способ гамма-резонансной спектроскопии / *С. М. Иркаев, В. В. Куприянов, В. А. Семенкин, М. М. Соколов*. Оpubл. 05.04.1982.
6. А. с. 1073718 СССР. Мессбауэровский спектрометр с регистрацией электронов / *О. А. Гордеев, С. М. Иркаев, В. В. Куприянов, В. А. Семенкин, М. М. Соколов*. Оpubл. 15.10.1983.
7. А. с. 1119468 СССР. Мессбауэровский спектрометр / *М. Е. Вахонин, С. М. Иркаев, В. В. Куприянов, В. А. Семенкин*. Оpubл. 15.06.1984.
8. А. с. 1144509 СССР. Мессбауэровский спектрометр / *М. Е. Вахонин, С. М. Иркаев, В. В. Куприянов, В. А. Семенкин*. Оpubл. 08.11.1984.
9. А. с. 1190759 СССР. Способ регулирования диапазонов скорости в мессбауэровском спектрометре / *М. Е. Вахонин, С. М. Иркаев, В. В. Куприянов, В. А. Семенкин*. Оpubл. 08.07.1985.
10. А. с. PV 7264-86 ЧССР. Мессбауэровский спектрометр / *М. Е. Вахонин, С. М. Иркаев, В. В. Куприянов, В. А. Семенкин*. Оpubл. 1986.
11. А. с. PV 7341-86 ЧССР. Способ гамма-резонансной спектроскопии / *С. М. Иркаев, В. В. Куприянов, В. А. Семенкин, М. М. Соколов*. Оpubл. 1986.

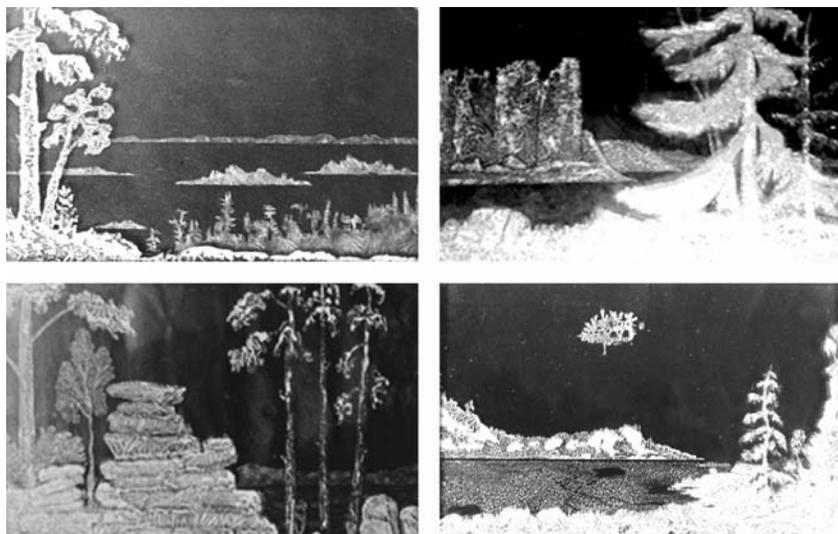


Рис. ИС.24. Кристаллограммы, полученные по А. с. 1211273 СССР (авторы В. Н. Шульгин, Б. В. Шульгин)

12. А. с. 76746 НРБ. Мессбауэровский спектрометр / М. Е. Вахонин, С. М. Иркаев, В. В. Куприянов, В. А. Семенкин. Оpubл. 1986.
13. А. с. 73671 НРБ. Способ гамма-резонансной спектроскопии / С. М. Иркаев, В. В. Куприянов, В. А. Семенкин, М. М. Соколов. Оpubл. 1986.
14. А. с. WPG 01T/295 238-4-1986 ГДР. Способ гамма-резонансной спектроскопии / С. М. Иркаев, В. В. Куприянов, В. А. Семенкин, М. М. Соколов. Оpubл. 1986.
15. Пат. 10745-1987 Великобритании. Method of gamma-ray resonance spectroscopy / S. M. Irkaev, V. V. Kupriyanov, V. A. Semionkin, M. M. Sokolov. Оpubл. Patents Act, 1977.
16. Пат. Fr 2616539-B1, 8708228 Франции. Spectrometere de mossbauer / М. Е. Vahonin, S. М. Irkaev, V. V. Kupriyanov, V. A. Semionkin. Оpubл. 1988.
17. Выложенный пат. Offenlegungsschrift, DE 3719348 A1 ФРГ. Mossbauer-Spectrometer / М. Е. Vahonin, S. М. Irkaev, V. V. Kupriyanov, V. A. Semionkin. Оpubл. 1988.
18. Выложенный пат. Offenlegungsschrift, DE 3715851 A1 ФРГ. Verfahren ZVR gamma-resnanzpectroscopie Mossbauer / М. Е. Vahonin, S. М. Irkaev, V. V. Kupriyanov, V. A. Semionkin. Оpubл. 1988.
19. Выложенный пат. 871294 Великобритании. Mossbauer spectrometer / М. Е. Vahonin, S. М. Irkaev, V. V. Kupriyanov, V. A. Semionkin. Оpubл. 1988.
20. Выложенный пат. Brit. UK Pat. Appl. GB 2204395 A1 Великобритании. Method of gamma-ray resonance spectroscopy with synchronous movement of source, filter and sample / S. М. Irkaev, V. V. Kupriyanov, V. A. Semionkin, М. М. Sokolov. Оpubл. Brit. UK Pat. Appl. GB 2204395 A1. 9 Nov. 1988, 18 pp.