



# История 1-2016

## науки и техники

ISSN 1813-100X

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

### СО Д Е Р Ж А Н И Е

#### НАУЧНЫЕ ШКОЛЫ В ИСТОРИИ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ФИЗИКИ

*Визгин В.П., Кессених А.В.*

Научно-школьный подход к истории отечественной физики ..... 3

#### ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ НАУЧНЫЕ ШКОЛЫ ПО РАДИОФИЗИКЕ

*Кудрявцев В.В.*

Научные школы в области радиотехники и радиоэлектроники ..... 24

*Кудрявцев В.В., Ильин В.А.*

Научные школы в области теории нелинейных колебаний ..... 46

*Сабирова Ф.М.*

Казанская научная школа магнитной радиоспектроскопии ..... 69

*Гольцман Г.Н., Чулкова Г.М.*

Научная радиофизическая школа Московского государственного педагогического университета ..... 80

#### ИСТОРИЯ ФИЗИКИ. ВОПРОСЫ ПРЕПОДАВАНИЯ

*Князев В.П., Ильин В.А., Кудрявцев В.В.*

Философско-методологические вопросы в вузовском курсе истории физики. Часть I ..... 90

*Князев В.П., Ильин В.А., Кудрявцев В.В.*

Философско-методологические вопросы в вузовском курсе истории физики. Часть II ..... 98

Правила рассмотрения, публикации

и рецензирования статей ..... 107

Учредитель и издатель:

ООО Издательство «Научтехлитиздат»  
Журнал зарегистрирован в Министерстве РФ по  
делам печати, телерадиовещания  
и средств массовых коммуникаций  
Свидетельство о регистрации СМИ ПИ №77-9353

Подписные индексы: ОАО «Роспечать» 80678  
«Пресса России» 45165

Главный редактор:  
доктор технических наук, профессор  
Т.Г. САМХАРАДЗЕ

Редакция: Е.А. Боброва, В.А. Бузаповский,  
В.Б. Гончарова, С.В. Мазурова, Ю.С. Палиева,  
В.С. Сердюк, И.Ю. Шабловская

Редакционная коллегия:

*Бурдин Е.А., д-р ист. наук, проф. (Россия)*  
*Верещанин А.С., д-р ист. наук, проф. (Россия)*  
*Дзмихов К.Ф., д-р ист. наук, проф. (Россия)*  
*Ламин В.А., д-р ист. наук, проф., чл.-корр. РАН (Россия)*  
*Лубков А.В., д-р ист. наук, проф. (Россия)*  
*Метрели Р.В., д-р ист. наук, проф., акад. НАН (Грузия)*  
*Шелегина О.П., д-р ист. наук (Россия)*  
*Гучева А.В., канд. ист. наук (Россия)*  
*Куперштох Н.А., канд. ист. наук (Россия)*  
*Акопян А.З., д-р философ. наук, проф. (США)*  
*Вавилина И.Д., д-р соц. наук, проф. (Россия)*  
*Испатушина И.В., канд. физ.-мат. наук, доц. (Россия)*  
*Ильин В.А., д-р физ.-мат. наук, проф. (Россия)*  
*Карась И.В., д-р физ.-мат. наук, проф. (Украина)*  
*Малых А.Е., д-р физ.-мат. наук, проф. (Россия)*  
*Посов Ю.Р., д-р техн. наук, проф. (Россия)*  
*Орлов С.Б., д-р соц. наук, проф. (Россия)*  
*Рыбин В.М., д-р техн. наук, проф. (Россия)*  
*Темботова Ф.А., д-р биол. наук, чл.-корр. РАН (Россия)*  
*Удалова Е.А., д-р техн. наук, проф. (Россия)*  
*Шербаква И.С., д-р техн. наук, проф. (Россия)*  
*Шкабардия М.С., д-р техн. наук, проф. (Россия)*

Дизайн и верстка

Ю.С. Палиева

Адрес редакции:

107258, Москва, Алымов пер., д. 17, корп. 2

Тел.: (499) 168-04-95

Факс (499) 168-23-58

E-mail: [intstg@mail.ru](mailto:intstg@mail.ru); [intstg@rambler.ru](mailto:intstg@rambler.ru)

Подписано в печать 21.12.2015 г.

Формат 60x88 1/8. Бумага кн.-журн.

Печать офсетная. Усл.-печ. л. 14,1.

Уч.-изд. л. 14,3. Заказ № 865. Тираж 4800 экз.

Публикации статей бесплатны.

Поступающие в редакцию статьи рецензируются.  
Статьи соискателей ученых степеней (аспирантов и докторантов любой формы обучения) при поступлении в редакцию по заявительной рецепции, публикуются вне очереди.  
Материалы, опубликованные в настоящем журнале, не могут быть полностью или частично воспроизведены, тиражированы и распространены без письменного согласия редакции.

При цитировании и перепечатке отдельных частей статей ссылка на номер, год, название статьи и ее автора (ов), опубликованной в журнале обязательна.

Права авторов защищены действующими в России законодательными нормами.

Издатель: ООО Издательство «Научтехлитиздат»,

107258, Москва, Алымов пер., д. 17, корп. 2

Оригинал-макет и электронная версия подготовлены

ООО Издательство «Научтехлитиздат»

Отпечатано в типографии

ООО Издательства «Научтехлитиздат», 107258, Москва,

Алымов пер., д. 17, корп. 2

**Ф.М. Сабирова**

канд. физ.-мат. наук, зав. кафедрой физики  
и информационных технологий, доцент  
кафедры физики и информационных  
технологий Елабужского института  
Казанский (Приволжский)  
федеральный университет  
Елабуга, Татарстан  
E-mail: fmsabir@mail.ru

## КАЗАНСКАЯ НАУЧНАЯ ШКОЛА МАГНИТНОЙ РАДИОСПЕКТРОСКОПИИ

Научные школы оказали серьезное влияние на развитие физической науки. Особое место в истории возникновения научных школ в нашей стране занимает Казанская научная школа магнитной радиоспектроскопии, которая сформировалась в середине XX в. в Казанском университете. Она связана с именами выпускников этого вуза начала 1930-х гг.: экспериментатором Е.К. Завойским, теоретиком С.А. Альтигулером, физико-химиком Б.М. Козыревым. В 1944 г. Е.К. Завойский сделал физическое открытие мирового значения – явление электронного парамагнитного резонанса (ЭПР). Благодаря этому открытию Е.К. Завойского можно считать основателем Казанской научной школы магнитной радиоспектроскопии. Дальнейшее развитие исследований, проводимое им в сотрудничестве с С.А. Альтигулером и Б.М. Козыревым, привело к становлению нового направления в физике – магнитной радиоспектроскопии. Все это положило начало созданию школы казанских физиков, которая в настоящее время сосредоточена в Казанском федеральном университете, Казанском физико-техническом институте им. Е.К. Завойского и Институте органической и физической химии им. А.Е. Арбузова.

**Ключевые слова:** научная школа; магнитная радиоспектроскопия; метод сеточного тока; электронный парамагнитный резонанс; ядерный магнитный резонанс; акустический парамагнитный резонанс; Казанская школа магнитной радиоспектроскопии; Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского; парамагнитный резонанс в свободных радикалах.

**F.M. Sabirova**

Candidate of Physical and Mathematical  
Sciences, head of the Department of Physics  
and Information Technology, Associate  
Professor of the Department of Physics and  
Information Technology of Yelabuga Institute  
Kazan (Volga) Federal University  
Yelabuga, Tatarstan  
E-mail: fmsabir@mail.ru

## KAZAN SCIENTIFIC SCHOOL IN MAGNETIC RADIOSPECTROSCOPY

Scientific schools have had a serious impact on the development of physical science. A special place in the history of scientific schools in our country takes the Kazan scientific school in magnetic radiospectroscopy which was formed in the mid-twentieth century in Kazan University. It is connected with names of graduates of this higher education institution in the beginning of the 1930th: experimenter E.K. Zavoisky, theorist S.A. Al'tshuler, physical chemist B.M. Kozyrev. In 1944 E.K. Zavoisky made physical discovery of the world significance – the phenomenon of the electronic paramagnetic resonance (EPR). Thanks to this opening by E.K. Zavoisky it is possible to consider him as the founder of the Kazan scientific school in magnetic radiospectroscopy. The further development of investigations which were carried out by E.K. Zavoisky in cooperation with S.A. Al'tshuler and B.M. Kozyrev led to formation of the new direction in physics – magnetic radiospectroscopy. All this facilitated the foundation of school of the Kazan physicists which in the present times is concentrated at the Kazan federal university, at the Kazan physics and technology institute of E.K. Zavoisky and Institute of organic and physical chemistry of A.E. Arbuzov.

**Keywords:** scientific school; magnetic radiospectroscopy; method of the grid current; electronic paramagnetic resonance; nuclear magnetic resonance; acoustic paramagnetic resonance; Kazan scientific school in magnetic radiospectroscopy; Zavoisky Physical-Technical Institute; paramagnetic resonance in free radicals.

Научные школы оказали серьезное влияние на развитие физической науки [1]. Научные школы, как форма передачи знаний от поколения к поколению через учеников, зародились еще в античной Греции (школы Пифагора, Гиппократ, Платона, Аристотеля и т.д.)

и само понятие научной школы возникло едва ли не со времен возникновения самой науки [2, с. 7]. Научная школа воплощает в себе переход от индивидуальных форм научной деятельности к коллективным. Для возникновения школ в определенной области науки, например,



Е.К. Завойский

физики, необходимо, чтобы развитие научных знаний достигло такого уровня, когда для их дальнейшего развития с необходимостью требуются совместные усилия, коллективный творческий труд, а потребности в координированном научном труде не удовлетворяются существующими формальными или неформальными объединениями ученых [3, 4, с. 73].

История научных физических школ – это дополнительный метод исследования движения идей в процессе реализации научных программ школ. В настоящее время понятие «научная школа» применяется к самым разнообразным структурам, существует несколько вариантов его толкования. Эти структуры различаются по масштабам и характеру деятельности. Несмотря на то, что к середине XX в. наряду с неофициально сложившимися коллективами формировались различные учреждения: лаборатории, институты, которые работали под руководством одного или ряда лидеров (школы А.Ф. Иоффе, Д.С. Рождественского, И.В. Курчатова [3], С.А. Альтшулера и Е.К. Завойского), тем не менее, в них сохранялись основные признаки научных школ [5, с. 4–6].

Особое место в истории возникновения научных школ в нашей стране занимает Казанская

научная школа магнитной радиоспектроскопии [4, с. 162–175]. В середине XX в. в Казанском университете сформировалось крупнейшее физическое направление – *магнитная спектроскопия конденсированных сред*. Оно связано с именами выпускников этого вуза начала 1930-х гг. – экспериментатором Е.К. Завойским, теоретиком С.А. Альтшулером [7], физико-химиком Б.М. Козыревым. В основе этого события лежит физическое открытие мирового значения, сделанное в стенах КГУ в 1944 г. доцентом, впоследствии академиком АН СССР Е.К. Завойским, – явление *электронного парамагнитного резонанса* (ЭПР) [8].

Имя Евгения Константиновича Завойского (1907–1976) вошло в историю науки не только из-за открытия им ЭПР и выполнения ряда блестящих работ по ядерной физике, управляемому термоядерному синтезу и физической электронике [9–13]. Именно благодаря открытию ЭПР его можно считать основателем Казанской научной школы магнитной радиоспектроскопии [14].

Е.К. Завойский поступил в Казанский государственный университет в 1926 г. В годы учебы на физико-математическом факультете у него зародилась идея о применении электромагнитного излучения радиоволнового диапазона для исследования вещества подобно тому, как это делается в оптике. В начале 1930-х гг. в нашей стране и за рубежом стало интенсивно изучаться воздействие электрического поля на вещество [8, с. 69]. Е.К. Завойский заинтересовался этими работами, посвятил свою дальнейшую деятельность делу обнаружения и изучения взаимодействия вещества с электрической составляющей высокочастотного радиоизлучения.

Е.К. Завойский был учеником В.А. Ульянина, являвшимся крупной фигурой в истории Казанского университета. Автор многих научных статей, участник почти всех съездов русских физиков, он был создателем ряда геофизических приборов. В.А. Ульянов был также инициатором создания в Казани физического института. Он старался всемерно поощрять творческую инициативу способного студента, поддержав его кандидатуру при поступлении в аспирантуру. Е.К. Завойский уехал

в Ленинград, где в течение восьми месяцев вел исследования в Центральной радиолоборатории у Г.А. Остроумова и Н.Н. Циклинского, работая над исследованием супергенератора, а также над созданием синфазного генератора ультракоротких волн (УКВ). В 1933 г. на основе этих разработок Е.К. Завойский успешно защищает кандидатскую диссертацию. В будущем указанные исследования привели его к созданию метода сеточного тока, сыгравшего ключевую роль в установках по обнаружению ядерного магнитного и электронного парамагнитного резонансов.

Возглавив в 1933 г. кафедру физики Казанского университета, Е.К. Завойский много сил отдал созданию новых экспериментальных учебных и научных лабораторий. Кроме того, он ознакомился с методикой преподавания физики в передовых вузах Москвы и Ленинграда. В течение семи лет были созданы современные лаборатории и другие вспомогательные структуры. Помимо курсов общей физики Е.К. Завойский читал спецкурсы по радиофизике, теории колебаний, радиотехническим измерениям [8, с. 73].

В ходе своей преподавательской деятельности Е.К. Завойский активно привлекал студентов к научным исследованиям, выполнению курсовых работ экспериментального характера, а также договорных научных работ. Например, перед войной он заключил договор с Волжским пароходством: университет должен был разработать установку для обнаружения и подъема затонувших цепей, якорей и других металлических предметов. По воспоминаниям учеников, Е.К. Завойский отличался исключительной добротой, благожелательностью, уважением к личности студента. Он был чудесным воспитателем молодого поколения, привлекал молодых преподавателей к научной работе, которые ранее, как правило, ограничивались только учебной работой. «Он был прирожденным педагогом-самородком, — говорил один из учеников Е.К. Завойского М.М. Зарипов, — его глубоко любили и уважали, и благодаря его усилиям в Казанском университете появились хорошие, глубоко продуманные традиции. Не только благодаря открытию им электронного парамагнитного резонанса, но и благодаря



*Б.М. Козырев*

педагогическому таланту ему удалось создать впервые в истории Казани научную школу физики — школу магнитной радиоспектроскопии, прославившую Казань и Казанский университет на весь мир» [8, с. 76]. При этом Е.К. Завойский продолжал научные исследования. 1 мая 1934 г. при поддержке ректора Н.-Б.З. Векслина в университете была открыта специальная лаборатория УКВ, заведовать которой было поручено Е.К. Завойскому. Его научные интересы сосредоточились на изучении физических и химических воздействий УКВ на вещество, в частности, на электролиты и газы. Эту новую работу в лаборатории УКВ он решил провести совместно с физиком-теоретиком А.В. Несмеловым, с которым вместе учился в университете, а также защищал кандидатскую диссертацию в один день. В качестве физико-химика был приглашен Борис Михайлович Козырев (1905–1979), знакомство с которым переросло в многолетнюю дружбу.

В 1936 г. исследователи установили, что скорость нагревания электролитов в полях высокой частоты значительно возрастает, если вещество поместить в постоянное магнитное поле. При этом Е.К. Завойскому удалось экспериментально показать, что полученные результаты отражают определенные внутримолекулярные процессы и позволяют установить некоторые параметры, касающиеся структуры молекул. В дальнейшем это позволило



существенно усовершенствовать методику исследований магнитных резонансов.

В 1939 г. Е.К. Завойский познакомился с исследованиями американского физика И. Раби и голландского физика К. Гортера. И. Раби в 1937 г. разработал метод магнитного резонанса в молекулярных пучках для определения ядерных магнитных моментов. Однако его опыты не позволяли говорить о возможности радиоспектроскопии конденсированных сред, где атомы находились гораздо ближе, чем в молекулярных пучках. К. Гортер изучал поведение твердых парамагнитных веществ в радиочастотном поле и не смог обнаружить резонансного поглощения энергии атомов. Более того, по оценкам физиков-теоретиков В. Гайтлера и Э. Теллера, время ядерной релаксации для твердых парамагнитных диэлектриков очень велико – порядка миллиона лет. Из этих исследований следовало, что наблюдать резонансное поглощение невозможно.

Однако Е.К. Завойский решил продолжать исследования. У него была сильно развитая интуиция, крайне обостренная способность ощущать логику природы. Кроме того, он выяснил, что К. Гортер проводил свои опыты на очень низких радиочастотах, а при измерении энергии, поглощенной телом, пользовался калориметрическим методом. В распоряжении же Е.К. Завойского был генератор, дающий значительно более высокую частоту, и очень точный *метод сеточного тока*. Это был чрезвычайно чувствительный косвенный метод измерения поглощенной энергии высокочастотного поля по реакции генератора при изменении его нагрузки. Более того, позднее было выяснено, что расчеты В. Гайтлера и Э. Теллера оказались неверными. Для продолжения исследований Е.К. Завойский пригласил, как и прежде, Б.М. Козырева, а также Семена Александровича Альтшулера (1911–1983), который до этого, окончив Казанский университет, обучался в аспирантуре в Московском университете под руководством И.Е. Тамма, занимаясь теорией магнитных свойств атомных ядер и элементарных частиц [15]. Это в значительной мере определило то, что в 1940 г. Е.К. Завойский вместе с Б.М. Козыревым и С.А. Альтшулером предпринял попытку обнаружить резонансное



С.А. Альтшулер

магнитное поглощение электромагнитного поля на протонах в жидкости. И хотя результат исследований был отрицательным, данная работа сыграла важную роль в развитии радиоспектроскопии. Это, во-первых, был очень смелый шаг, поскольку к тому времени были известны аргументы крупных авторитетов, которые, казалось, не оставляли надежды на успех эксперимента. Во-вторых, Е.К. Завойский применил принципиально новую методику эксперимента, которая составляет основу радиоспектроскопии до сих пор: вместо калориметрических измерений он использовал свой метод *сеточного тока*, чувствительность которого на несколько порядков выше; впервые была применена *модуляция магнитного поля переменным полем звуковой частоты* [16, с. 189]. Первым результатом данного сотрудничества стало наблюдение Е.К. Завойским, С.А. Альтшулером и Б.М. Козыревым сигналов *ядерного (протонного) магнитного резонанса* в мае–июне 1941 г. Однако проведению тщательных экспериментов по исследованию этого явления помешала война, полученные результаты не были опубликованы. «Только наша провинциальная скромность или, скорее нерешительность, – говорил Б.М. Козырев, – не позволяла нам тогда опубликовать наблюдаемые тогда явления» [8, с. 83]. Е.К. Завойский с сотрудниками был вынужден демонтировать установку,

лишив тем самым Казанский университет приоритета в открытии ядерного магнитного резонанса – одного из крупнейших открытий XX в. ЯМР был открыт в 1946 г. американскими физиками Ф. Блохом и Э. Перселлом (независимо друг от друга), за что они были отмечены Нобелевской премией по физике 1952 г.

В середине 1943 г. у Е.К. Завойского появилась возможность возобновить свои научные исследования. Существенную помощь ему оказал член-корреспондент АН СССР, профессор Я.И. Френкель, заведовавший кафедрой теоретической физики КГУ в 1941–1944 гг. Я.И. Френкель не только оказывал моральную поддержку исследователю, но и создавал теоретическое обоснование полученным экспериментальным результатам [17, с. 745]. Е.К. Завойский не стал продолжать поиски ЯМР, начатые им перед войной совместно с С.А. Альтшулером и Б.М. Козыревым, а решил сначала реконструировать эксперименты К. Гортера по исследованию поглощения энергии переменного магнитного поля и релаксации в различных кристаллических веществах. С переходом в конце 1943 г. к области более высоких частот порядка 100 МГц (первоначальные эксперименты проводились на частоте 10 МГц) Е.К. Завойскому удалось наблюдать пики резонансного поглощения в хлоридах хрома и меди, в карбонате марганца и в ряде других парамагнитных солей, характеризующимся сильным обменным сужением линии ЭПР. Смещение пиков поглощения в область более сильных магнитных полей с ростом частоты переменного поля являлось прямым доказательством резонансной природы поглощения электромагнитных волн парамагнитными центрами вещества.

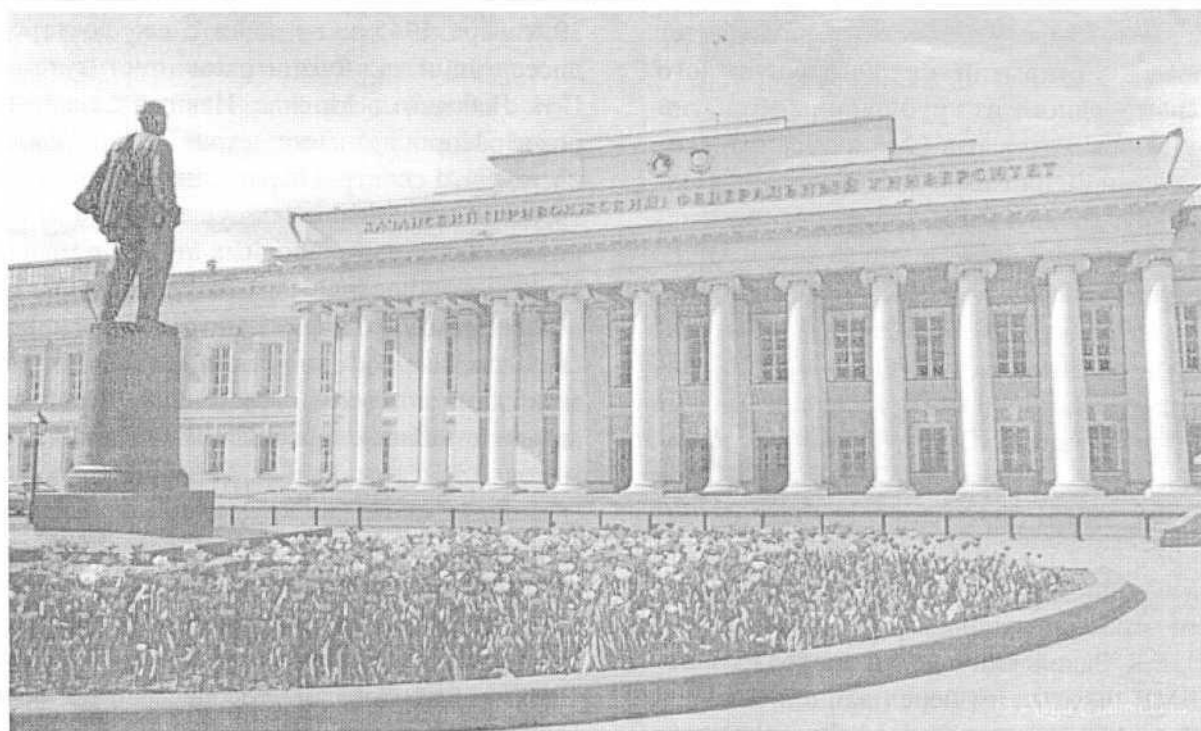
Так состоялось открытие электронного парамагнитного резонанса – одного из крупнейших открытий современной физики, давшего один из наиболее глубоких по своей физической природе и наиболее широких по диапазону применений методов изучения микроструктуры вещества на электронном уровне, который используется в настоящее время буквально во всех областях естествознания.

Первое публичное выступление Е.К. Завойского, посвященное ЭПР, состоялось

30 января 1945 г. на защите его докторской диссертации в Физическом институте им. П.Н. Лебедева в Москве. Исключительно широкое распространение метода ЭПР обусловлено тем, что спектры парамагнитных центров в твердых и жидких телах существенно отличаются от спектров свободных атомов и молекул. Информативность метода ЭПР в реальном теле обязана тому, что парамагнитный атом или ион связан в нем электрическими или магнитными силами со своим окружением. По мнению авторитетнейших российских ученых академиком И.Е. Тамма и В.Л. Гинзбурга, открытие ЭПР было одним из крупнейших физических открытий мирового значения, сделанных в нашей стране. Известно, что с 1958 по 1963 гг. Е.К. Завойский восемь раз номинировался на Нобелевскую премию по физике, а в 1958 и 1960 гг. – на Нобелевскую премию по химии. По мнению И.Е. Тамма, «большой ошибкой Нобелевского комитета было то, что комитет обошел своим вниманием эти выдающиеся исследования» [18, 19].

В 1945–1947 гг. Е.К. Завойский продолжил исследование открытого явления, наметив основные пути развития магнитной радиоспектроскопии. От измерений в области метровых волн он перешел к дециметровому диапазону. Ему принадлежит первое исследование резонанса в монокристаллах парамагнитных солей. Кроме того, впервые были проведены наблюдения и исследования ЭПР при низких температурах (водородных и гелиевых) благодаря возможности, предоставленной академиком П.Л. Капицей во время краткого, но продуктивного визита Е.К. Завойского в Институт физических проблем. Наряду с поглощением он впервые наблюдал резонансную парамагнитную дисперсию, применив независимо от Ф. Блоха, известный ныне *метод скрещенных катушек*. Наконец, Е.К. Завойский обнаружил слабые резонансные линии, соответствующие так называемым «запрещенным» переходам с изменением магнитного квантового числа на  $\Delta m > 1$  [16, с. 189].

Отличительной особенностью Е.К. Завойского была способность быстро и очень эффективно осваивать новые области физики и техники. Этому способствовали как обостренное



Казанский Федеральный (Приволжский) университет, где расположен музей Е.К. Завойского

чувство нового, блестящая эрудиция и великолепная память, так и редкое мастерство физика-экспериментатора. Для его научного творчества было характерно сознательное стремление к решению таких фундаментальных проблем, которые сулили бы в будущем важное практическое применение. В 1947 г. Е.К. Завойский по приглашению И.В. Курчатова переехал в Москву и начал работать в лаборатории измерительных приборов АН СССР (ЛИПАН), ныне называемой Российский научный центр «Курчатовский институт». С августа 1947 г. он участвовал в работах по созданию атомной бомбы в КБ-11 (Арзамас-16). Позже Е.К. Завойским и его сотрудниками были созданы приборы, позволяющие производить измерения с рекордным временным и пространственным разрешением.

В конце 1950-х годов в нашей стране развернулись исследования в области управляемого термоядерного синтеза (УТС). Огромный опыт работы, приобретенный в казанский период научной деятельности, помог Е.К. Завойскому обнаружить аномальное поглощение плазмой энергии переменных электромагнитных полей большой амплитуды. Новый механизм создания высокотемпературной плазмы для УТС получил название «*турбулентный нагрев*».

Открытие ЭПР было одним из важнейших событий в физике XX столетия. Уже вскоре после опубликования первых работ Е.К. Завойского началось интенсивное развитие исследований в этой области. У нас в стране, в Англии, Франции, США и других странах мира на основе использования метода ЭПР возникли и выросли многие научные центры. Вслед за ЭПР были открыты ядерный магнитный резонанс, ферромагнитный резонанс, антиферромагнитный резонанс, ядерный квадрупольный резонанс, магнитный акустический резонанс, многие виды двойных резонансов. Возникла и выросла в крупную самостоятельную область науки магнитная радиоспектроскопия. В промышленно развитых государствах образовалась целая индустрия, выпускающая радиоспектроскопическое оборудование.

После отъезда в 1947 г. Е.К. Завойского из Казани созданное им научное направление продолжало развиваться. Сообщество ученых Казани, использующее различные методы магнитного резонанса, образовало *Казанскую школу магнитной радиоспектроскопии*, которая воспитала десятки докторов и сотни кандидатов наук. В первое время работы велись в Казанском университете



и в Физико-техническом институте Казанского филиала АН СССР.

В университете эти исследования велись под руководством С.А. Альтшулера, к тому времени вернувшегося из армии после войны. Многие работы в области парамагнитного резонанса и релаксации были выполнены совместно с сотрудниками физической лаборатории Казанского филиала АН СССР под руководством Б.М. Козырева. Необходимо отметить, что в этот же период явление электронного парамагнитного резонанса стало глубоко и многосторонне изучаться во многих лабораториях мира.

По инициативе С.А. Альтшулера было предпринято изучение влияния ядерного спина на спектр парамагнитного резонанса. Учеными Казанского университета в 1948 г. была открыта *сверхтонкая структура спектра парамагнитного резонанса*, обусловленная ядерным спином (С.А. Альтшулер, Б.М. Козырев, С.Г. Салихов). Развивая теорию спин-решеточного взаимодействия и релаксации в парамагнитных кристаллах, С.А. Альтшулер в 1952 г. предсказал новое физическое явление – *акустический парамагнитный резонанс* – передачу энергии звука системе магнитных частиц, происходящую тогда, когда квант энергии упругих колебаний равен разности энергий магнитных уровней. Данной работой ученый заложил основы квантовой акустики. С.А. Альтшулер был автором и инициатором целого ряда фундаментальных пионерских работ в области электронного и ядерного резонансов, физики конденсированных сред.

В 1954 г. он возглавил кафедру теоретической и экспериментальной физики, в исследованиях включилась большая группа молодых физиков, что сыграло большую роль не только в развитии теоретических и экспериментальных работ в области парамагнитного резонанса, но и вообще физики в университете. Среди работ этого времени, посвященных исследованию парамагнитного резонанса в кристаллах, отметим расшифровку спектра ЭПР в рубине (М.М. Зарипов, Ю.Я. Шамонин, 1956 г.). Этот кристалл сыграл впоследствии важную роль в квантовой электронике в качестве рабочего вещества мазеров и лазеров.

Экспериментальные исследования резонансного парамагнитного вращения плоскости поляризации позволили на основе дисперсионных соотношений установить связь этого явления с резонансным поглощением и дисперсией (Н.Н. Непримеров, Л.Я. Шекун, 1954–1955 гг.). Кроме того, была построена первая теория магнитного резонанса в ван-Флековских парамагнетиках (М.М. Зарипов, 1956 г.), предложен механизм парамагнитной релаксации в жидкости на основе идеи о ее квазикристаллической структуре (К.А. Валиев, 1958 г.), выяснена природа анизотропии времени спин-решеточной релаксации в кристаллах (Ш.Ш. Башкиров, 1958 г.), исследовано влияние кристаллического поля на форму линии ЭПР вследствие спин-спиновых взаимодействий (У.Х. Копвиллем, 1958–1960 гг.), показано, что эффективность спин-решеточной релаксации в твердом теле существенно определяется микроструктурой кристалла (Б.И. Кочелаев, 1959–1960 гг.).

С.А. Альтшулер обладал глубокой интуицией физика, ценя в любой работе, прежде всего, физическую идею. Его теоретические труды всегда были тесно связаны с экспериментом. Он быстро замечал новые плодотворные направления в физике твердого тела, создал мощную школу физиков-теоретиков и экспериментаторов – специалистов в области магнитной радиоспектроскопии. С.А. Альтшулер занимался большой научно-организационной работой. В 1957 г. в КГУ для проведения широких экспериментальных исследований спектров ЭПР и релаксации в ионных кристаллах была открыта Проблемная лаборатория магнитной радиоспектроскопии (МРС), научным руководителем которой был назначен С.А. Альтшулер. По существу, он возглавлял единый коллектив, состоящий из кафедр теоретической физики, квантовой электроники и радиоспектроскопии и лаборатории МРС.

С.А. Альтшулер был не только выдающимся физиком, но и яркой, обаятельной личностью, человеком требовательным, но великодушным, с тонким и мягким юмором, притягивающим к себе людей, нуждающихся в самых разнообразных научных, житейских советах и помощи. Он увлекал своей душевной молодостью и оптимизмом. С.А. Альтшулер был



прекрасным педагогом, его лекции отличались большой глубиной, и относился он к ним очень ответственно. В его лекциях, по воспоминаниям М.М. Зарипова, не было лишнего блеска, но они подкупали слушателей ясностью, доходчивостью объяснения сути физических явлений и убеждали, что понять физику можно, только изучив теоретическую физику [20]. Его отличало заботливое отношение к ученикам и сотрудникам, терпение и самообладание. «Он учил личным примером: бескорыстной преданностью науке, порядочностью, обязательным отношением к делу и данному слову» [8, с. 131]. Он притягивал к себе молодых людей, увлеченных наукой.

Всего С.А. Альтшулером подготовлено 47 кандидатов наук, 13 из которых стали докторами наук и сами имеют учеников. Это академик К.А. Валиев, профессора Л.К. Аминов, Ш.Ш. Башкиров, М.М. Зарипов, А.Р. Кессель, У.Х. Копвиллем, Б.И. Кочелаев, Б.З. Малкин, Н.Н. Непримеров, И.В. Овчинников, Ю.Е. Польский, М.А. Теплов, А.Х. Хасанов и др. Они возглавляли и возглавляют целый ряд кафедр, лабораторий и научных институтов Казани и других городов нашей страны [21, с. 39].

С.А. Альтшулер вместе с Б.М. Козыревым написал ставшую настольной для специалистов по магнитной радиоспектроскопии книгу «Электронный парамагнитный резонанс» (1961 г.) [22], в которой впервые был дан полный обзор теоретических и экспериментальных исследований ЭПР примесных парамагнитных кристаллов, стекол и растворов. Второе издание книги, существенно переработанное и дополненное, было опубликовано в 1972 г. [23]. В книге были детально изложены основы физики магнитного резонанса, обобщены результаты экспериментальных исследований ЭПР. Монография сыграла существенную роль в распространении методов магнитной радиоспектроскопии не только в СССР, но и во всем мире, поскольку была переведена и издана в США, Англии, ГДР и Польше.

В 1945 г. был создан Казанский филиал АН СССР (ныне Казанский научный центр РАН). В августе 1945 г. при филиале был организован Казанский физико-технический институт,

становление и развитие физических исследований в котором связано с открытием в 1944 г. Е.К. Завойским явления электронного парамагнитного резонанса. Одним из основателей школы по радиоспектроскопии в КФТИ стал Б.М. Козырев [24–29].

Это был высоко эрудированный человек, увлекавшийся поэзией, искусством, философией, по молодости собираясь посвятить этому свою дальнейшую жизнь, читал зарубежных классиков на языке оригинала, овладев немецким, английским и французским языками, занимался исследованиями творчества русских поэтов. После окончания естественного отделения физико-математического факультета он был приглашен лаборантом на кафедру физической химии. Под руководством профессора А.Ф. Герасимова Б.М. Козырев начал вести научные исследования, которые постепенно его увлекли. А настоящее же увлечение наукой пришло после встречи с Е.К. Завойским, когда радиоспектроскопия стала делом всей его жизни. Большая часть работ Б.М. Козырева была посвящена изучению широкого круга вопросов магнитной радиоспектроскопии.

Вскоре после организации в Казани филиала Академии наук СССР Б.М. Козырев поступил на работу в сектор физики Казанского физико-технического института. Сектором тогда заведовал Е.К. Завойский, а после его отъезда Б.М. Козырев был назначен руководителем сектора и впоследствии превратил его в большой отдел радиоспектроскопии со многими лабораториями. Б.М. Козыреву принадлежит заслуга открытия *парамагнитного резонанса в свободных радикалах*. Он открыл влияние ядерного спина на ЭПР, исследовал со своими сотрудниками ЭПР и парамагнитную релаксацию в растворах и электролитах. В его лаборатории была детально разработана методика исследования комплексообразования, приведшая к широкому использованию радиоспектроскопии для целей неорганической химии.

Для многих сотрудников Казанского физико-технического института Б.М. Козырев был руководителем, учителем и вместе с тем другом. «Как руководителю мы благодарны ему за исключительно широкий научный кругозор и удивительную демократичность, – вспоминает

его ученик И.В. Овчинников. – Как учителю мы благодарны ему за предоставление максимума творческой свободы и в то же время готовность в любую минуту помочь. Он завещал нам сохранять и развивать основанные им направления, внося в них дух нового. Как другу мы обязаны ему тем, что он не оставлял нас в беде» [8, с. 106].

Б.М. Козырев не только внес огромный вклад в науку, в радиоспектроскопию, оказав существенное влияние на ее развитие. Под его руководством были открыты практически все новые физические подразделения Казанского физико-технического института, действующие и в настоящее время. Еще один важный шаг – это основанная им школа магнитного резонанса. Это – не просто семь докторов и двадцать три кандидата наук, которых подготовил непосредственно сам, среди которых Н.С. Гарифьянов, Г.П. Вишневская, И.А. Сафин, П.Г. Тишков, Ю.Я. Шамошин, Ю.В. Яблоков и др. Это и многие неофициальные ученики, кто воспринял его любовь и преданность науке, считая главной целью постижение истины. Кроме того, Б.М. Козырев оказывал прямую поддержку развитию радиоспектроскопических исследований во многих научных центрах страны.

Учеными Казанской научной школы радиоспектроскопии получены основополагающие результаты в таких направлениях как: парамагнитная релаксация, ЭПР в диэлектрических кристаллах, магнитный резонанс в вап-флековских парамагнетиках, ЭПР и ЯМР металлов и сверхпроводников, ЭПР свободных радикалов и др. Значительными событиями научной жизни стали международные юбилейные конференции в честь 25-, 50- и 60-летия открытия ЭПР. С 1990 г. издается международный журнал «Applied magnetic resonance» (на английском языке).

Можно сделать вывод, что результатом научного открытия, сделанного Е.К. Завойским, и дальнейшее развитие исследований, проводимое в сотрудничестве с С.А. Альтшулером и Б.М. Козыревым, было становление нового направления в физике – магнитной радиоспектроскопии. Эти научные открытия и неформальные объединения исследователей положили начало созданию крупной научной школы казанских

физиков со всеми ее ключевыми признаками: научным лидером, общей темой и методами исследований, системой подготовки кадров, преемственностью поколений, установившимися традициями. Эта научная школа сосредоточена сегодня в Казанском федеральном университете, в Казанском физико-техническом институте им. Е.К. Завойского и Институте органической и физической химии им. А.Е. Арбузова.

#### Список литературы

1. Будников Г.К. Колонка редактора // *Ученые записки Казанского государственного университета*. 2005. Т. 147. Серия Естественные науки. Книга 3. С. 4.
2. Грезнева О.Ю. *Научные школы (педагогический аспект)*. М.: Институт теории образования и педагогики РАО. 2003. 69 с.
3. Храмов Ю.А. *Научные школы в физике* / Под ред. В.Г. Барьяхтара. Киев: Наукова думка, 1987. 400 с.
4. Сабирова Ф.М. *Развитие организационных форм физической науки (от античности до середины XX века)*. Казань: Изд-во МОиН РТ, 2010. 192 с.
5. *Ведущие научные школы России. Справочник*. М.: Янус-К, 1998. 624 с.
6. Сабирова Ф.М. Физические научные школы в зеркале нобелевских премий // *История науки и техники*. 2014. № 3. С. 28–33.
7. Альтшулер Н.С., Ларионов А.Л., Монахова Н.И. *Физические исследования в Казанском университете в послевоенные 1940–1970-е гг.* / Научное сообщество физиков СССР. 1950–1960-е и другие годы: документы, воспоминания, исследования. Вып. 2. СПб.: РХГА, 2007. С. 155–196.
8. Завойский В.К. *Академик Е.К. Завойский*. Казань: Таткнигоиздат, 1986. 175 с.
9. *Евгений Константинович Завойский (1907–1976)*. М.: Наука, 1988. 63 с.
10. *Евгений Константинович Завойский (1907–1976): Материалы к биографии*. Казань: УНИПРЕСС, 1998. 95 с.
11. Гинзбург В.Л. *Памяти Евгения Константиновича Завойского / О физике и астрофизике: Статьи и вступления*. М.: Наука, 1992. 528 с.
12. Силкин И.И. *Евгений Константинович Завойский: документальная хроника научной и педагогической деятельности в Казанском университете*. Казань: Изд-во Казанского государственного университета, 2005. 239 с.
13. *Чародей эксперимента: Сборник воспоминаний об академике Е.К. Завойском*. М.: Наука, 1993. 256 с.
14. *Парамагнитный резонанс: Казанская школа радиоспектроскопии. 1944–1971: Сб. статей* / Митин А.В., ред. М.: Атомиздат, 1974. 296 с.
15. Альтшулер Н.С., Ларионов А.Л. Из истории исследования магнитных свойств атомных ядер. Письма И.Е. Тамма к С.А. Альтшулеру // *Исследования по истории физики и механики*. М.: Наука, 2000. С. 71–91.

16. *Казанский университет. 1804–1979. (Очерки истории)* / Отв. ред. М.Т. Нужин. Казань: Изд-во Казанского университета, 1979. 304 с.

17. Кессених А.В. Открытие, исследование и применение магнитного резонанса // *УФН*. 2009. Т. 179. № 7. С. 737–763.

18. Блюх М.А. «Нобелиана» В.И. Векслера и Е.К. Завойского // *Природа*. 2002. № 8. С. 74–80.

19. Nomination Database. Е.К. Zavoisky. [http://www.nobelprize.org/nomination/archive/show\\_people.php?id=10860](http://www.nobelprize.org/nomination/archive/show_people.php?id=10860) (дата обращения 10.10.2015).

20. Альтшулер Н.С., Тузова Л.Л. Казанская физическая школа: у истоков (вторая половина 1920-х — 1930-е годы XX века) // *Научный Татарстан*. 2002. № 2. С. 30–39.

21. Альтшулер Н.С., Ларионов А.Л. Казанская физическая школа: выпускники КГУ тридцатых годов XX века создатели новых научных направлений // *Научный Татарстан*. 2002. № 3/4. С. 36–44.

22. Альтшулер С.А., Козырев Б.М. *Электронный парамагнитный резонанс*. М.: Физматгиз, 1961. 368 с.

23. Альтшулер С.А., Козырев Б.М. *Электронный парамагнитный резонанс соединений элементов промежуточных групп. 2-е изд.* М.: Наука, 1972. 672 с.

24. *Борис Михайлович Козырев, 1905–1979*. Казань: Изд-во Каз. ун-та, 2004. 23 с.

25. Б.М. Козырев. *Жизнь и творчество: Сб. восп.* / Сост. Е.Б. Козырева. Казань, 2005. 207 с.

26. Борис Михайлович Козырев (К 70-летию со дня рождения) // *УФН*. 1975. Т. 116. Вып. 3. С. 550–552.

27. Хайруллин И. *Учитель и наставник*. Казань. 2001. № 12. С. 102, 103.

28. D.I.E. Ingram. Free Radicals as Studied by Electron Spin Resonance, London, Butterworths Sci. Publ., 1958. 274 p.

29. Kopfermann H *Kernmomente 2te Aufl.* Frankfurt am Main: Akademische Verl.-Ges., 1956.

#### References

1. Budnikov G.K. Kolonka redaktora [Editor's column]. *Uchenye zapiski Kazanskogo gosudarstvennogo universiteta* [Scientific notes of the Kazan state university]. 2005. Vol. 147. Seriya Yestestvennye nauki. Kniga 3. P. 4.

2. Grezneva O.Yu. *Nauchnye shkoly (pedagogicheskiy aspekt)* [Scientific schools (pedagogical aspect)]. М.: Institut teorii obrazovaniya i pedagogiki RAO [Moscow: Institute of educational theory and pedagogy RAE]. 2003. 69 p.

3. Khramov Yu.A. *Nauchnye shkoly v fizike*. Pod red. V.G. Baryakhtara [Scientific schools in physics. Ed. V.G. Bar'yakhtar]. Kiev: Naukova dumka [Kiev: Naukova dumka], 1987. 400 p.

4. Sabirova F.M. *Razvitie organizatsionnykh form fizicheskoy nauki (ot antichnosti do serediny XX veka)* [Development of organizational forms of physical science (from antiquity to the middle of the XX century)]. Kazan: Izd-vo MOiN RT [Kazan: Publishing house of MOIN RT]. 2010. 192 p.

5. *Vedushchie nauchnye shkoly Rossii. Spravochnik* [Leading Scientific Schools of Russia. Directory]. М.: Yanus-K [Moscow: Yanus-K]. 1998. 624 p.

6. Sabirova F.M. *Fizicheskie nauchnye shkoly v zerkale nobelevskikh premiy* [Physical science schools in the mirror nobel prize]. *Istoriya nauki i tekhniki* [History of science and Engineering]. 2014. № 3. Pp. 28–33.

7. Altshuler N.S., Larionov A.L., Monakhova N.I. *Fizicheskie issledovaniya v Kazanskom universitete v poslevoennye 1940–1970-e gg.* Nauchnoe soobshchestvo fizikov SSSR. 1950–1960-ies i drugie gody: dokumenty, vospominaniya, issledovaniya. [Physical researches at the Kazan university in post-war 1940–1970th. Scientific community of physicists of the USSR. 1950–1960th and other years: documents, memoirs, researches.] Rel. 2. SPb.: RGHA [St. Petersburg: RHGA]. 2007. Pp. 155–196.

8. Zavoyskiy V.K. *Akademik Ye.K. Zavoyskiy* [Akademik E.K. Zavoyskiy]. Kazan: Tatknigoizdat [Kazan: Tatknigoizdat]. 1986, 175 p.

9. *Yevgeniy Konstantinovich Zavoyskiy (1907–1976)* [Evgeny Konstantinovich Zavoyskiy (1907–1976)]. М.: Nauka [Moscow: Science]. 1988, 63 p.

10. *Yevgeniy Konstantinovich Zavoyskiy (1907–1976): Materialy k biografii* [Evgeny Konstantinovich Zavoyskiy (1907–1976): Materials to the biography]. Kazan: UNIPRESS [Kazan: UNIPRES]. 1998, 95 p.

11. Ginzburg V.L. *Pamyati Yevgeniya Konstantinovicha Zavoyskogo. O fizike i astrofizike: Stati i vstupleniya* [Evgeny Konstantinovich Zavoyskiy's memories. About physics and astrophysics: Articles and introductions]. М.: Nauka [Moscow: Science]. 1992. 528 p.

12. Silkin I.I. *Yevgeniy Konstantinovich Zavoyskiy: dokumentalnaya khronika nauchnoy i pedagogicheskoy deyatel'nosti v Kazanskom universitete* [Evgeny Konstantinovich Zavoyskiy: the documentary chronicle of scientific and pedagogical activity at the Kazan university]. Kazan: Izd-vo Kazanskogo gosudarstvennogo universiteta [Kazan: Publishing house of the Kazan state university]. 2005. 239 p.

13. Charodey eksperimenta: *Sbornik vospominaniy ob akademike Ye.K. Zavoyskom* [Magician experiment: Memoirs of Academician E.K. Zavoiskii]. М.: Nauka [Moscow: Science]. 1993. 256 p.

14. *Paramagnitnyy rezonans: Kazanskaya shkola radiospektroskopii. 1944–1971: Sb. statey*. Mitin A.V., red. [Paramagnetic Resonance: Kazan School radiospectroscopy. 1944–1971: Proc. AV Mitin, ed.]. М.: Atomizdat [Moscow: Atomizdat]. 1974. 296 p.

15. Altshuler N.S., A.L. Larionov. *Iz istorii issledovaniya magnitnykh svoystv atomnykh yader. Pisma I.Ye. Tamma k S.A. Altshuleru* [From the history of the study of the magnetic properties of atomic nuclei. Letters to the Tamm SA Altshuler]. *Issledovaniya po istorii fiziki i mekhaniki* [Studies in the history of physics and mechanics]. М.: Nauka [Moscow: Science]. 2000. Pp. 71–91.

16. *Kazanskiy universitet. 1804–1979. (Ocherki istorii)*. Отв. ред. М.Т. Нужин [Kazan University. 1804–1979 (Studies in the History). Ed. M.T. Nuzhin.]. Kazan: Izd-vo

Kazanskogo universiteta [Kazan: Publishing House of Kazan University]. 1979. 304 p.

17. Kessenikh A.V. Otkrytie, issledovanie i primenenie magnitnogo rezonansa [The discovery, investigation and application of magnetic resonance]. *UFN*. 2009. Vol. 179. № 7. Pp. 737–763.

18. Blokh M.A. «Nobeliana» V.I. Vekslera i Ye.K. Zavoysskogo [V.I. Wexler and E.K. Zavoyssky's «Nobeliana»]. *Priroda* [Nature]. 2002. № 8. Pp. 74–80.

19. Nomination Database. E.K. Zavoisky. [Nomination Database. E.K. Zavoisky] [http://www.nobelprize.org/nomination/archive/show\\_people.php?id=10860](http://www.nobelprize.org/nomination/archive/show_people.php?id=10860) (data obrashcheniya 10.10.2015). [date of treatment 10.10.2015].

20. Altshuler N.S., Tuzova L.L. Kazanskaya fizicheskaya shkola: u istokov (vtoraya polovina 1920-kh–1930-e gody XX veka) [Kazan school of physics: from the origins (the second half of the 1920s–1930s of the XX century)]. *Nauchnyy Tatarstan* [Science of Tatarstan]. 2002. № 2. Pp. 30–39.

21. Altshuler N.S., Larionov A.L. Kazanskaya fizicheskaya shkola: vypusniki KGU tridsyatykh godov XX veka sozdateli novykh nauchnykh napravleniy [Kazan school of physics: KSU graduates of the thirties of the XX century creators of new research directions]. *Nauchnyy Tatarstan* [Science of Tatarstan]. 2002. № 3, 4. Pp. 36–44.

22. Altshuler S.A., Kozyrev B.M. *Elektronnyy paramagnitnyy rezonans* [Electron paramagnetic resonance]. M.: Fizmatgiz [Moscow: Fizmatgiz]. 1961. 368 p.

23. Altshuler S.A., Kozyrev B.M. *Elektronnyy paramagnitnyy rezonans soedineniy elementov promezhutochnykh grupp. 2nd izd.* [Electron paramagnetic resonance of compounds of elements of intermediate groups. 2nd ed.]. M.: Nauka [Moscow: Science]. 1972. 672 p.

24. Boris Mikhaylovich Kozyrev, 1905–1979 [Boris Mikhailovich Kozyrev 1905–1979]. Kazan: Izd-vo Kaz. un-ta [Kazan: Publ Kaz. University Press]. 2004. 23 p.

25. B.M. Kozyrev. *Zhizn i tvorchestvo: Sb. vosp.* Sost. Ye.B. Kozyreva [B.M. Kozyrev. Life and work: Coll. Playback. Comp. E.B. Kozyreva]. Kazan. 2005. 207 p.

26. Boris Mikhaylovich Kozyrev (K 70-letiyu so dnya rozhdeniya) [Boris Mikhailovich Kozyrev (to the 70th anniversary of the birthday)]. *UFN*. 1975. Vol. 116. № 3. Pp. 550–552.

27. Khayrullin I. *Uchitel i nastavnik* [Teacher and mentor]. Kazan [Kazan]. 2001. № 12. Pp. 102–103.

28. D.I.E. Ingram. Free Radicals as Studied by Electron Spin Resonance, London, Butterworths Sci. Publ., 1958. 274 p.

29. Kopfermann H *Kernmomente* 2te Aufl. Frankfurt am Main: Akademische Verl.-Ges., 1956.



#### Информация об авторе

Сабирова Файруза Мусовна, канд. физ.-мат. наук, зав. кафедрой физики и информационных технологий, доцент кафедры физики и информационных технологий Елабужского института Казанский федеральный университет  
423600, Республика Татарстан, г. Елабуга, ул. Казанская, 89  
E-mail: fmsabir@mail.ru

#### Information about author

Sabirova Fayruza Musovna, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, head of the Department of Physics and Information Technology of Yelabuga Institute, Associate Professor at the Department of Physics and Information Technology  
Kazan (Volga) Federal University  
23600, Republic of Tatarstan, Elabuga Street. Kazan, 89  
E-mail: fmsabir@mail.ru