

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М. В. ЛОМОНОСОВА

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ имени Д. В. СКОБЕЛЬЦЫНА

ПРОФЕССОР ВЛАДИМИР СЕМЕНОВИЧ ШПИНЕЛЬ

ФИЗИК-ЭКСПЕРИМЕНТАТОР,
ИЗОБРЕТАТЕЛЬ, ПЕДАГОГ

Сборник статей

К 100-летию со дня рождения

Сборник подготовлен

редакционным советом в составе:

Л. Д. Блохинцев, А. Н. Грум-Гржимайло,

М. И. Панасюк, Е. А. Романовский

МОСКВА
«Университетская книга»
2011

УДК 016:53+53(470+571)(092)Шпинель В. С.
ББК 22.3д(2) Шпинель В. С.+22.3я434 Шпинель В. С.
Ш83

Сборник подготовлен редакционным советом в составе:
Л. Д. Блохинцев, А. Н. Грум-Гржимайло, М. И. Панасюк, Е. А. Романовский

Ш83 Профессор Владимир Семенович Шпинель. Физик-экспериментатор, изобретатель, педагог. К 100-летию со дня рождения : сборник статей / [Под редакцией Л. Д. Блохинцева, А. Н. Грум-Гржимайло, М. И. Панасюка, Е. А. Романовского]. — М. : Университетская книга, 2011. — 116 с. : табл., ил., цв. ил.

ISBN 978-5-91304-211-8

Сборник посвящен 100-летию со дня рождения профессора Владимира Семеновича Шпинеля (1911–2011) — видного специалиста в области экспериментальной ядерной физики и применения ядерно-физических методов исследования конденсированных сред. В сборнике представлена научная биография В. С. Шпинеля, воспоминания его учеников и его собственные воспоминания о работе в Харьковском физико-техническом институте и в НИИЯФ МГУ. Отмечается выдающаяся роль В. С. Шпинеля как инициатора и организатора исследования сверхтонких взаимодействий ядерно-спектроскопическими методами.

Владимир Семенович не дожил совсем немного до своего 100-летнего юбилея, и книга была полностью подготовлена при его жизни. Редакционный совет счел возможным по просьбе родственников Владимира Семеновича издать сборник целиком в том виде, в каком он был подготовлен, включая поздравления Владимиру Семеновичу по случаю его юбилея.

УДК 016:53+53(470+571)(092)Шпинель В. С.
ББК 22.3д(2) Шпинель В. С.+22.3я434 Шпинель В. С.

ISBN 978-5-91304-211-8

© Научно-исследовательский институт
ядерной физики МГУ, 2011
© Обложка. Издательство «КДУ», 2011

Авторы и редакторы сборника выражают глубокую благодарность Владимиру Семеновичу Шниелю и его дочери Ирине Владимировне за материалы из семейного архива. Мы очень признательны Анатолию Семеновичу Кучме и Николаю Ивановичу Рохлову за ценные фотографии.

Оглавление

<i>Л.Д. Блохинцев, А.Н. Грум-Гржимайло</i> Краткая биография Владимира Семеновича Шпинеля	7
<i>В.А. Андрианов, Ю. Н. Ранюк</i> Начало. Харьковский физико-технический институт. Заявка на изобретение «Атомная бомба, или иной боеприпас»	14
Два интервью с Владимиром Семеновичем Шпинелем	22
Воспоминания В.С. Шпинеля	28
<i>В.С. Шпинель</i> Из воспоминаний об Н.Е. Алексеевском	33
<i>Н.Н. Делягин, В.П. Парфенова, А.А. Сорокин</i> Владимир Семенович Шпинель – создатель центра исследований сверхтонких взаимодействий ядерно-спектроскопическими методами	38
<i>В.С. Шпинель</i> Краткая история Лаборатории ядерной спектроскопии НИИЯФ МГУ	44
<i>H. Frauenfelder. To the centenary of Professor V.S. Shpinel</i>	80
К 100-летию профессора В.С. Шпинеля от физиков-мессбауэрщиков	81
<i>М.Г. Козин</i> Еще один поворот на пути к абсолютному нулю. Сверхпроводящие туннельные детекторы	83
<i>V.S. Shpinel</i> Inertial currents in rotating superconductor and γ -quanta detector with rotating superconducting absorber	92
Кандидаты наук, подготовленные В.С. Шпинелем	99
Научные труды В.С. Шпинеля	102

КРАТКАЯ БИОГРАФИЯ ВЛАДИМИРА СЕМЕНОВИЧА ШПИНЕЛЯ

Л.Д. Блохинцев, А.Н. Грум-Гржимайло

Эта краткая биография составлена по материалам официальных и опубликованных материалов, по материалам архива отдела ядерно-спектроскопических методов НИИЯФ МГУ, а также по материалам семейного архива и автобиографическим заметкам Владимира Семеновича Шпинеля.

Владимир Семенович Шпинель родился 4 октября 1911 г. (по старому стилю) в г. Белая Церковь Киевской области в семье банковского служащего. После Гражданской войны, в 1922 г., он вместе с семьей переехал в г. Киев. Отец – Шпинель



*В юности. Из семейного
архива В.С. Шпинеля*

Симон Соломонович, скончавшийся в 1928 г., работал бухгалтером в типографии в г. Киеве. Мать – Шпинель Хана Пейсаховна прожила в Москве до 1964 г.

В 1927 г. В.С. Шпинель окончил трудовую школу и поступил в Киевскую гидромелиоративную профессиональную школу, которую окончил в 1930 г. Свою трудовую биографию В.С. Шпинель начал в июне 1929 г. десятником в Киевском мелиоративном союзе. Затем работал нивелировщиком в Геологическом Комитете (1930 г.), гидротехником Украинского мелиоративного треста (Наркомзем, 1930-31 г.г.). В 1931 г. был командирован в г. Луганск в мелиоративную партию, где занимался проектированием и строительством оросительной системы в станице Луганской. В том же году поступил на физико-математический факультет Киевского государственного университета, который окончил в 1936 г. с присвоением квалификации физика-экспериментатора. Будучи студентом, В.С. Шпинель совмещал учебу с работой гидрологом в Государственном гидрометеорологическом институте (Гидрометеослужба, 1931-34 г.г.). В 1936-1939 г.г. продолжил учебу в аспирантуре Украинского физико-технического института (УФТИ) в г. Харькове, которую прошел под руководством проф. Ф.Ф. Ланге. В 1937 г. в соавторстве с Ф.Ф. Ланге и Г. Кон-Петерсом он создал оригинальный импульсный ускоритель электронов на 5 МэВ и впервые получил мощный импульсный источник тормозного излучения и источник

фотонейтронов из бериллия с интенсивностью в импульсе, соответствующей 1 г радий-бериллиевого источника нейтронов. На этом ускорителе были начаты исследования искусственной радиоактивности, поиск короткоживущих изомерных состояний ядер, возбуждение ядер гамма-квантами и электронами. Отрабатывались радиохимические методы выделения радиоактивных изотопов. В.С. Шпинель одним из первых наблюдал возбуждение ядерной изомерии тормозным излучением, важное для понимания электромагнитных свойств ядер (1940). В 1940 г. В.С. Шпинель защитил диссертацию на ученую степень кандидата физико-математических наук по теме «Импульсный генератор на 5 МВ и разрядная трубка на 4 МВ». С 1939 г. В.С. Шпинель был зачислен старшим научным сотрудником в Лабораторию ударных напряжений (ЛУН) АН СССР, имевшую тогда статус самостоятельного института, впоследствии вошедшего в состав УФТИ АН СССР

После открытия явления деления ядер урана возник вопрос о возможности практического использования ядерной энергии путем осуществления цепной ядерной реакции. Несмотря на исключительно большие трудности и скептическое отношение ведущих ученых, В.С. Шпинель совместно с В.А. Масловым предложили, как осуществить цепную реакцию взрывного характера, и совместно с Ф.Ф. Ланге предложили необходимый для этого метод разделения изотопов урана в требуемых больших количествах (1937 г.). Авторские свидетельства на изобретения атомной бомбы и метода разделения изотопов урана с помощью газовой центрифуги (1940 г.) имели приоритетное для СССР значение: за два года до начала работ в этой области в СССР авторы предложили конструкцию ядерного боеприпаса (т.е. атомной бомбы) и описали последствия ядерного взрыва. В.С. Шпинель, совместно с В.А. Масловым, предложил (1940 г.) Наркомату Обороны срочно начать работу по созданию атомного оружия. Авторские свидетельства были зарегистрированы в Бюро изобретений при Госплане СССР и не подлежали опубликованию. Они были выданы авторам лишь в 1946 г. Более подробно история этих изобретений изложена в последующих материалах настоящего сборника.

В годы Великой Отечественной войны В.С. Шпинель был эвакуирован с УФТИ в г. Алма-Ата (1941-44 г.г.). Там он выполнил ряд практических работ для цветной металлургии Казахстана и по совместительству работал доцентом Казахского ГУ им. С.М. Кирова, читая лекции по физике ядра. Сохранился любопытный отзыв главного инженера Балхашского медеплавильного завода от 10.12.1943, свидетельствующий о разносторонних навыках и способностях В.С. Шпинеля:



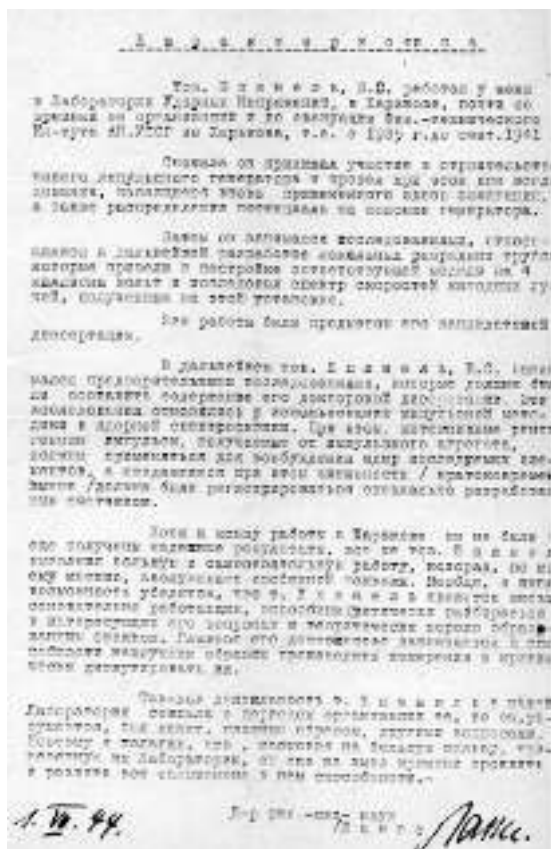
Отзыв главного инженера Балхашского медеплавильного завода о работе В.С. Шпинеля (1943 г.). Из семейного архива В.С. Шпинеля.

«... По всем вопросам ... были получены исчерпывающие данные, позволившие преодолеть многие трудности в работе завода. Тов. Шпинель принял самое активное участие в организации обследования газового хозяйства завода и внесенные им и реализованные впоследствии советы и предложения по конструкции электрофильтра обеспечили надежность их работы. Оказана была помощь в организации контроля запыленности газов, а также установки по регенерации электроламп».

В апреле 1944 г. В.С. Шпинель был переведен старшим научным сотрудником в Институт теоретической геофизики АН СССР в Москве. По приглашению Д.В.

Скобелыцина он работал на кафедре атомного ядра физического факультета МГУ, вначале по совместительству, а с июня 1945 г. по ходатайству Наркомпроса РСФСР на полной ставке в должности доцента. Проф. Ф.Ф. Ланге, первый научный руководитель В.С. Шпинеля, в характеристике от 1.07.1944, в частности, пишет: «...я имел возможность убедиться, что т. Шпинель является весьма основательно работающим, способным критически разбираться в интересующих его вопросах и теоретически хорошо образованным физиком. Главное его достоинство заключается в способности наилучшим образом производить измерения и критически дискутировать их...».

С организацией в 1946 г. 2-го научно-исследовательского физического института при физическом факультете МГУ (впоследствии НИИЯФ МГУ) В.С. Шпинель был переведен на должность старшего научного сотрудника этого института. С 1945 по 1950 г. он работал по совместительству в Лаборатории №4 Первого Главного Управления (впоследствии НИИ-9 Министерства среднего



Характеристика на В.С. Шпинеля, данная его научным руководителем Ф.Ф. Ланге, 1944 г. Из семейного архива В.С. Шпинеля.

связи с 50-летием НИИЯФ МГУ (1997 г.), вошла в настоящий сборник.

В 1952 г. В.С. Шпинель и руководимый им коллектив был удостоен премии Президиума АН СССР I степени за спектроскопические исследования ядер, образующих серию последовательных радиоактивных переходов. В 1958 г. защитил докторскую диссертацию «Исследования в области бета- и гамма-спектроскопии» (степень присуждена 27 июня 1959 г.). В 1961 г. В.С. Шпинелю присвоено звание профессора. Им читались спецкурсы на физическом факультете МГУ, в Московском институте цветных металлов и золота (1954-55 г.г.), в МИФИ (1955-1956 г.г.), Воронежском государственном университете, в Пекинском (1956-1957 г.г.) и Софийском (1963-1964 г.г.) университетах. В Пекинском университете он организовал лабораторию ядерной спектроскопии, на кафедре атомного ядра Софийского

машиностроения), где участвовал в работе по разделению изотопов урана на центрифуге.

Вместе с Л.В. Грошевым В.С. Шпинелем в НИИЯФ МГУ была создана лаборатория ядерной спектроскопии, начальником которой вначале был Л.В. Грошев, а затем, с 1952 г., В.С. Шпинель. В этой должности он работал до 1986 г. С ноября 1986 г. и по настоящее время В.С. Шпинель – главный научный сотрудник в Отделе ядерно-спектроскопических методов НИИЯФ МГУ, организованном в 1991 г. на основе лаборатории ядерной спектроскопии. История создания и развития лаборатории ядерной спектроскопии и отдела

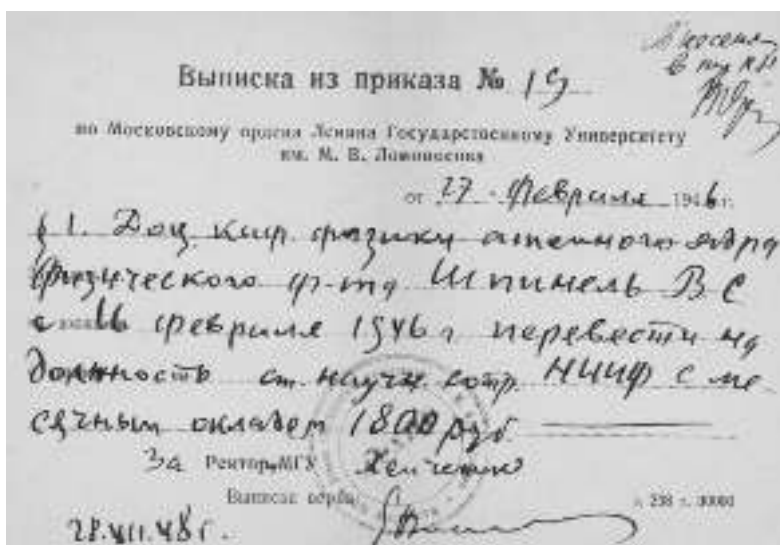
ядерно-спектроскопических методов НИИЯФ МГУ, написанная В.С. Шпинелем в



Согласие Президиума АН СССР на перевод В.С. Шпинеля на постоянную работу в МГУ, 1945 г. Из семейного архива В.С. Шпинеля.



В.С. Шпинель, 1946 г. Из семейного архива В.С. Шпинеля.



Выписка из приказа от 27.02.1946 о переводе В.С. Шпинеля в НИИФ (впоследствии НИИЯФ МГУ). Из семейного архива В.С. Шпинеля.

университета поставил исследования в области гамма-резонансной спектроскопии. По инициативе В.С. Шпинеля и при его непосредственном участии было организовано многолетнее плодотворное сотрудничество с Объединенным институтом ядерных исследований (г. Дубна) и с кафедрами атомного ядра и физики низких температур Карлова университета (г. Прага, Чехословакия).

В.С. Шпинель является инициатором исследований методом гамма-резонансной спектроскопии (эффект Мессбауэра) в нашей стране и может считаться одним из основоположников этой области науки. В.С. Шпинелем и его сотрудниками выполнены фундаментальные исследования методом резонанса гамма-лучей, позволившие получить важные результаты. Этот метод был им применен для изучения физики и химии твердого тела, а также были найдены некоторые практические применения. Эти исследования получили широкую известность и были удостоены Ломоносовской премии МГУ в 1963 г. «За экспериментальные исследования гамма-резонанса». В последующие годы они были существенно развиты.

Под руководством В.С. Шпинеля в лаборатории ядерной спектроскопии окончили аспирантуру и прошли стажировку большое количество аспирантов и стажеров МГУ и других вузов нашей страны и из-за рубежа. Многие из них заняли затем руководящие посты в науке. Под руководством В.С. Шпинеля выполнено большое число студенческих дипломных работ и защищено 25 кандидатских диссертаций, 12 его учеников защитили докторские диссертации и стали известными учеными.

В.С. Шпинель входил в состав ряда проблемных Научных советов АН СССР: по применению ядерных методов, ядерной спектроскопии, физике ядра, физике низких температур, проблемам электрических измерений и измерительных информационных систем, а также членом Научного Совета при Минвузе СССР «Физика ядра».

В.С. Шпинель организовал ядерный практикум на кафедре физики атомного ядра (1945 г.) и был председателем общества «Знание» НИИЯФ МГУ.

В.С. Шпинель – активный участник ежегодных Всесоюзных совещаний по ядерной спектроскопии, членом Оргкомитета этого совещания. В 1985 г. по его инициативе было создано Всесоюзное (ставшее впоследствии международным) совещание по сверхтонким взаимодействиям, Оргкомитет которого он возглавлял в течение ряда лет.

В.С. Шпинель награжден медалями «За трудовую доблесть» (1951), «За доблестный труд в Великой Отечественной Войне 1941-1945 гг.» (1990), «Ветеран труда» (1985), правительственной наградой КНР – медалью «Советско-Китайская дружба» (1957), имеет звание "Заслуженный деятель науки и техники РСФСР" (присвоено 31 декабря 1992 г.). В 1994-96 г.г. он получал Государственную научную стипендию для выдающихся ученых России.

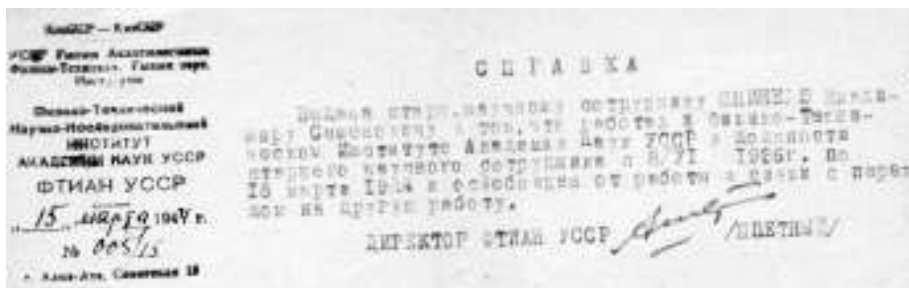
Область научных интересов В.С. Шпинеля очень широка. Она охватывает экспериментальную ядерную физику, в том числе ядерную бета-спектроскопию, развитие и применение ядерно-физических методов исследования конденсированных сред, разработку сверхпроводящих детекторов ионизирующих излучений низких энергий. В.С. Шпинель создал импульсный ускоритель электронов высокой энергии и мощный источник фотонейтронов; выдвинул идею осуществления цепной ядерной реакции взрывного характера; предложил метод разделения изотопов урана на центрифуге; впервые наблюдал доплеровский сдвиг гамма-линий; открыл новый метод наблюдения эффекта Мессбауэра по конверсионным электронам. Он создал магнитные спектрометры различного типа, на которых были проведены многочисленные исследования схем распада радиоактивных ядер; провел пионерские исследования резонансного рассеяния и поглощения гамма-квантов; открыл явление изомерных химических сдвигов и сверхтонкой структуры спектров резонансного поглощения гамма-лучей олова-119 (независимо от аналогичных зарубежных работ с железом-57); развил метод угловых распределений гамма-излучений ядер, ориентированных при сверхнизких температурах. Методом гамма-резонансной спектроскопии В.С. Шпинель провел исследования в области динамики кристаллических решеток, физики магнитных явлений и физики сверхнизких температур, а также использовал этот метод для бесконтактного анализа химического состава в геологической разведке, горнорудной и металлообрабатывающей промышленности. Он руководил единственной в России группой, занимающейся созданием принципиально новых сверхпроводящих детекторов частиц и квантов с большой разрешающей способностью и низким энергетическим порогом регистрации, необходимых для решения ряда фундаментальных проблем ядерной физики, астрофизики, физики сверхпроводников.

В.С. Шпинель является автором более 200 научных статей, список которых приведен в этом сборнике, монографий «Резонанс гамма-лучей в кристаллах» (1969), «Ядерно-спектроскопические исследования сверхтонких взаимодействий для примесей в металлах» (1987). Он автор 15 изобретений.

**НАЧАЛО. ХАРЬКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ.
ЗАЯВКА НА ИЗОБРЕТЕНИЕ «АТОМНАЯ БОМБА ИЛИ ИНОЙ
БОЕПРИПАС»**

В.А. Андрианов, Ю. Н. Ранюк

Владимир Семенович Шпинель начал свою научную работу в Харьковском физико-техническом институте. В 1936 г он пришел на диплом к Л.Д. Ландау и сдал 4 экзамена по теорминимуму. Однако затем он перешел в экспериментальный отдел проф. Ф.Ф. Ланге и начал работать в области ядерной физики. В 1940 году В.С. Шпинель защитил кандидатскую диссертацию на тему: "Импульсный генератор и разрядная трубка на 4 МэВ". На созданном импульсном генераторе были проведены исследования ядерной изомерии In , т.е. начаты работы в области ядерной спектроскопии, которая стала одним из основных направлений научной деятельности Владимира Семеновича.



Справка о работе В.С. Шпинеля в Физико-Техническом Институте АН УССР. Из семейного архива В.С. Шпинеля.

Примерно с 1940 г. В.С. Шпинель совместно с Ф.Ф. Ланге и В.А. Масловым активно включились в работы по созданию атомного оружия. Ими были направлены несколько писем в советские и научные органы и поданы авторские заявки на конструкцию атомной бомбы и методы разделения изотопов урана. Основная идея состояла в предложении срочно начать практические работы по созданию атомного оружия.

Если оставить в стороне политическую обстановку того времени, а именно, агрессивность фашистской Германии и уже начавшуюся Вторую мировую войну, можно задать вопрос, каковы научные предпосылки этих работ.

Во-вторых, непосредственно перед войной многим физикам-ядерщикам становится ясной необходимость развертывания научных исследований, направленных на создание атомной бомбы. В частности, в 29 августа 1940 г. И.В. Курчатов, Л.И. Русинов, Г.Н. Флеров и Ю.Б. Харитон направляют письмо в Президиум АН СССР «Об использовании энергии урана в цепной реакции». До войны в СССР принимается несколько организационных решений, направленных на подготовку работ в этой области: создается Комиссия по проблеме урана, утверждается первая программа работ по урановому проекту, создается Государственный фонд по урану, дается указание внешней разведке о разработке данных вопросов.

Вместе с тем целый ряд ведущих физиков относились к использованию цепной ядерной реакции весьма скептически. Так, академик П.Л. Капица писал [1,с.93]: «...сейчас с большой долей вероятности можно сказать, что атомной энергией, как энергией движения, мы не воспользуемся с большой легкостью? а по всей вероятности не воспользуемся и совсем!... Конечно, наверняка сказать нельзя, но есть все объективные данные для утверждения, что в земных условиях ядерная энергия не будет использована. Так считал и Резерфорд». Такого же мнения придерживался и академик А.Ф. Иоффе. В те годы он писал: «если овладение ракетной технологией является делом будущих 50 лет, то использование внутриатомной энергии – дело будущего века» [2].

Другого мнения придерживались ученые Харьковского ФТИ Ф.Ф. Ланге, В.С. Шпинель и В.А. Маслов. Все они непосредственно работали в ядерной физике. Самый молодой из них, Виктор Алексеевич Маслов, только что защитил кандидатскую диссертацию на тему: "О характере деления урана под действием медленных нейтронов". И они считали, что работы по созданию атомной бомбы необходимо срочно перевести в практическую плоскость. В 1940 г. в своей статье В.А. Маслов писал, что «использование внутриатомной энергии уже перестало быть мечтой, а стало технической проблемой» [3].

Конечно, этих проблем было много, но главные из них две: как наработать необходимое количество изотопа урана-235, из которого можно было сделать бомбу, и какой должна быть конструкция бомбы, позволяющая быстро собрать сверхкритическую массу.



Авторы заявки на изобретение «Об использовании урана как взрывчатого или ядовитого вещества» В.А. Маслов и В.С. Шпинель (справа)

Маслов пишет письмо в Академию наук СССР [1,с.132]:

Записка работника ЛУН УФТИ АН УССР Маслова от 22 августа 1940 г в Академию наук СССР о мерах, необходимых для организации работ по проблеме урана

«Главным вопросом урановой проблемы, решению которой должно быть уделено максимальное внимание, является в настоящее время разделение изотопов урана. Для решения этой проблемы надо немедленно сделать следующее:

- Поручить одному или нескольким институтам (в зависимости от того, насколько химикам эта задача кажется трудной) заняться получением жидких и газообразных соединений урана, что требуется для многих методов разделения изотопов.

- Предложить одному из институтов заняться разработкой центрифужного метода с целью применения его для разделения изотопов урана.

- Предложить УФТИ создать (немедленно) условия тт. Ланге и Маслову для проверки и разработки циклотронного метода разделения изотопов. Отпустить УФТИ для этой работы 50 тыс. руб. Наряду с этим выяснить возможность для Ланге проверить его метод на циклотроне Радиевого института АН в Ленинграде. Для этого на этом циклотроне понадобится только на время изменить частоту электрического поля...

- Поручить лаборатории И.В. Курчатова вести работы по окончательному выяснению возможности возбуждения цепной реакции в природной смеси изотопов урана.

- По примеру заграницы засекретить работы, связанные с разделением изотопов урана.

- Создать при АН СССР оперативную группу по урановой проблеме...».

Параллельно подается заявка на изобретение нового метода обогащения урана изотопом U-235 [1,с.196]:

Заявка на изобретение Ф. Ланге, В.А. Маслова, В.С. Шпинеля «Способ приготовления урановой смеси, обогащенной ураном с массовым числом 235. Многокамерная центрифуга». (Не ранее 17 октября и не позднее 31 декабря 1940) Авторы предложили многокамерную центрифугу, способную вырабатывать в сутки 12 граммов смеси с содержанием изотопа урана-235 в количестве 15%.

Далее подается еще одна заявка в Народный Комиссариат обороны. Заявка на конструкцию атомной бомбы [1,с.193], [5]:

Заявка на изобретение В.А. Маслова и В.С. Шпинеля «Об использовании урана как взрывчатого и отравляющего вещества». 17 октября 1940. Секретно.

«Формула изобретения: "Авиабомба или иной боеприпас, взрыв которой основывается на использовании цепной реакции деления ядра изотопа урана-235 при сверхкритической массе последнего, образующийся сочетанием нескольких субкритических масс, отличающийся тем, что с целью образования в нужный момент времени сверхкритической массы изотопа урана -235 заряд последнего в бомбе разделен на несколько частей рядом непроницаемых для нейтронов перегородок из взрывчатого вещества, например ацетил-серебра, которые уничтожаются путем взрыва в нужный момент ".

«Как известно, согласно последним данным физики, в достаточно больших количествах урана (а именно в том случае, когда размеры уранового блока значительно превосходят длину свободного пробега в нем нейтронов) может произойти взрыв колоссальной разрушительной силы. Это связано с чрезвычайно большой скоростью развития в уране цепной реакции распада его ядер и с громадным количеством энергии, выделяющейся при этом (она в миллион раз больше энергии, выделяющейся при химических реакциях обычных взрывов)...

В отношении уранового взрыва, то помимо его колоссальной разрушительной силы (построение урановой бомбы, достаточной для разрушения таких городов как Лондон или Берлин, очевидно, не явится проблемой), необходимо отметить еще одну важную особенность. Продуктами взрыва урановой бомбы являются радиоактивные вещества. Последние обладают отравляющими свойствами в тысячи раз более

сильной степени, чем самые сильные яды (а потому – и обычные ОВ). Поэтому, принимая во внимание, что они некоторое время после взрыва существуют в газообразном состоянии и разлетятся на колоссальную площадь, сохраняя свои свойства в течение сравнительно длительного времени (порядка часов, а некоторые из них даже и дней, и недель), трудно сказать, какая из особенностей (колоссальная разрушающая сила или же отравляющие свойства) урановых взрывов наиболее привлекательна в военном отношении.

*Кандидат физико-математических наук В. Маслов
Кандидат физико-математических наук В. Шпинель*

Подается еще одна авторская заявка о разделении изотопов урана:

Заявка на изобретение Ф. Ланге и В.А Маслова «Термоциркуляционная центрифуга». (Не ранее 1 января и не позднее 3 февраля 1941 г.) [1. с.213].

К сожалению, авторы заявок не получили в то время каких-либо ответов. Как выяснилось впоследствии, маститые ученые, и в частности, академик В.Г. Хлопин, отнеслись к этим предложениям, как преждевременным и, даже, фантастическим...

Вскоре началась Великая отечественная война. В.С. Шпинель был эвакуирован вместе с ХФТИ в Казахстан, где до 1944 г. принимал участие в работах в области цветной металлургии. В.А. Маслов был призван в армию, был ранен и умер в



Справка об изобретении В.С. Шпинеля, В.А. Маслова и Ф.Ф. Ланге (авторское свидетельство №6359с) многокамерной центрифуги для обогащения урана. Из семейного архива В.С. Шпинеля.

госпитале в декабре 1942. Лишь Ф. Ланге продолжал разрабатывать метод термоцентрифугирования в эвакуации. Перед самой войной он был кооптирован в состав урановой комиссии, и ему была поручена разработка центрифуги для разделения изотопов урана.

Лишь много позже, когда мир узнал об американской атомной бомбе, когда в газетах появились слова "Хиросима" и "Нагасаки", Отдел изобретательства Министерства вооруженных сил СССР принял решение о выдаче авторских свидетельств. В 1946 г. на имя В.А. Маслова и В.С. Шпинеля было выдано свидетельство об изобретении атомной бомбы под названием "Атомная бомба, или иной боеприпас", а другие предложения регистрировали как изобретения - "Центрифуга для разделения изотопов" и "Способ разделения изотопов центрифугированием".



Просьба И.В. Курчатова направить на работу к нему в Лабораторию №2 В.С. Шпинеля (1944 г.). Из семейного архива В.С. Шпинеля.

В 1945 г. В.С. Шпинель вновь начал работать над проблемой разделения изотопов. Он вошел в состав Лаборатории № 4 при ПГУ (Первое главное управление), которой руководил Ф. Ланге. Следует отметить, что отношение руководства атомным проектом к центрифуге со временем менялось. Примерно до середины 1943 года считалось, что путь к бомбе лежит исключительно через центрифугу. В дальнейшем на основе разведывательных материалов был сделан вывод о том, что более перспективным для промышленной наработки урана-235 является метод газовой диффузии. Интерес к методу Ланге начал падать. Отчет Смита [4] решительно и бесспорно подкрепил позицию тех, кто настаивал на выборе газодиффузионного



*Ф.Ф. Ланге с супругой, 1959.
Из семейного архива В.С. Шпинеля*



*В.С. Шпинель с супругой Леонорой
Григорьевной, 1952 г. Из семейного
архива В.С. Шпинеля*

метода как основного. Уран-235 для первых советских атомных бомб был получен диффузионным методом.

Вопросы разделения изотопов имели важнейшее значение для атомного проекта. В их решении принимало участие несколько организаций, в том числе с привлечением немецких физиков. Под руководством М. фон Арденне в помещении санатория «Синоп» (Сухуми) создается институт "А" для разработки методов сепарации изотопов. В помещении санатория «Агудзеры» (близ Сухуми) расположился институт "Г", возглавляемый лауреатом Нобелевской премии Г. Герцем. Этот институт также занялся сепарацией изотопов. Для немецких специалистов в 1946-1947 годах в Калужской области (г. Обнинск) была создана лаборатория "В", в которой под научным руководством немецкого ученого Г. Позе и А.И. Лейпунского разрабатывались основы создания ядерного реактора на слабо обогащенном уране. И, наконец, Лаборатория "Б" для немецких и частично реабилитированных советских специалистов была организована в санатории «Сунгуль» в Челябинской области. Она занималась проблемами изотопов, радиационной медицины и биологии.

В начале 50-х годов участие немецких специалистов в атомном проекте было сокращено. Была закрыта и Лаборатория № 4 Ланге. Материалы исследований и оборудование были переданы И.К. Кикоину в Лабораторию № 2.

Первая плутониевая бомба была взорвана на Семипалатинском полигоне 29.08.1949. Первая урановая бомба из обогащенного урана-235 была взорвана 18.10.1951.

Метод разделения изотопов центрифугированием был окончательно разработан под руководством И.К. Кикоина. Первый в мире промышленный завод, оборудованный газовыми центрифугами, сдан в эксплуатацию примерно в 1966 г. Со временем все диффузионные установки были полностью заменены центрифужными.

ДВА ИНТЕРВЬЮ С ВЛАДИМИРОМ СЕМЕНОВИЧЕМ ШПИНЕЛЕМ

Интервью 1 (г. Москва, август 1996 г.)

Ранюк: Владимир Семенович, для своего времени Ваши идеи были весьма смелыми, на которые, конечно, решаются молодые ученые. Сколько было лет Вам и Вашим коллегам?

Шпинель: Самым молодым среди нас был аспирант Маслов - в 1939 году ему исполнилось, кажется, 26 лет. Старейшим – Ланге. Ему было лет 37-38, он руководил лабораторией. Мне было 28 лет, я работал старшим научным сотрудником.

Р.: Случайно ли, на Ваш взгляд, «колыбелью» этих проектов стал Харьковский физико-технический институт?

Ш.: Да, пожалуй, случайности здесь нет, особенно, если вспомнить, каким ХФТИ был в те годы. Огромное значение имел общий уровень научных исследований в институте. Планка держалась очень высоко, никакие поиски не запрещались. Кстати, старшие коллеги довольно равнодушно восприняли наши идеи относительно атомной бомбы, но не мешали нам работать. А еще в ХФТИ была очень хорошая научная обстановка, свободная, демократическая. Царил некий особый дух, который способствовал научному творчеству, работе. Он был во всем: в отношениях между нами, в том, что мы жили здесь же, на территории института. Здесь были цветники, разбитые самими физиками, теннисные корты, где можно было «разрядиться». Или

вот такая деталь: у многих были свои ключи от институтской библиотеки – в любое время, если приходила в голову хорошая идея, мы могли прийти в нее и поработать. Институт имел и отличную техническую базу. Например, уже в 1937 году был создан уникальный импульсный источник нейтронов, которого, вероятно, не имел тогда никто в мире.

Р.: Вы представляли, к чему может привести создание атомной бомбы?

Ш.: Вообще-то мы, конечно, понимали, что это за оружие. В пояснительной записке, которую мы отправили в Москву вместе со своими трудами, говорилось о разрушительной силе и о радиационном излучении, и о других факторах. Но о глобальных последствиях появления атомной бомбы мы, наверное, не думали. Главной, все же, была мысль о том, что наша страна стоит на пороге неизбежной войны и надо дать ей самое надежное оружие. И нам тогда казалось, что оно будет направлено, прежде всего, против военных объектов, а не людей.

Р.: Хиросима изменила ваши представления?

Ш.: Когда пришло известие о ней, первым было профессиональное понимание: нас опередили. Понимание масштабов, человеческие жертвы – все это пришло позже.

Р.: А как в 1946 году Вы «встретились» со своими предложениями шестилетней давности?

Ш.: Это было довольно неожиданно. Меня вызвал заместитель Берии Мешик и вынул из сейфа нашу пояснительную записку. Поговорили с ним о том, что идеи наши весьма актуальны ... Позже мне вручили авторские свидетельства на изобретения. Помню, что тогда же показали переписку по этому поводу: положительные в целом отзывы Я.Б. Зельдовича и Ю.Б. Харитона и сдержанный – директора УФИ Шпетного, который писал о том, что наши предложения «преждевременны».

Р.: Если бы эти предложения сразу, в 1939-1940 годах, были по достоинству оценены на правительственном уровне, и вам оказали поддержку, когда бы СССР мог иметь атомное оружие?

Ш.: Думаю, что при таких возможностях, которые позднее имел И.В. Курчатов, мы бы получили его в 1945 году.

Интервью 2

Ранюк: Мой первый к Вам вопрос, Владимир Семенович. Получено авторское свидетельство или документ о том, что оно у Вас есть. Все же секрет атомной бомбы был огромной государственной тайной. Не повлияло ли на Вашу жизнь, не беспокоило Вас то обстоятельство, что именно Вы формально является изобретателем атомной бомбы? Вы помните 40, 50-е годы. Тогда можно было пострадать ни за что ни про что. Не отразилось ли отрицательно, или положительно на Вашей жизни то обстоятельство, что Вы есть изобретатель атомной бомбы?

Шпинель: Это никак не повлияло на мою жизнь. Никаких неудобств я не испытывал.

Р.: Хорошо, спасибо. Другой вопрос. Имели ли Вы какое-либо отношение к созданию атомной бомбы? Казалось бы, что Вас должны были пригласить, в первую очередь, конечно, в том случае, если те, кто приглашал, знали о Вашей заявке.

Ш.: У меня был разговор с Курчатовым в 1944 году. Мы поговорили о том, что меня можно перевести в Лабораторию № 2. Я был формально переведен и числился там на работе. Но у меня были симпатии к университету, и я перешел работать на кафедру атомного ядра, профессором которой был Игорь Васильевич. Кафедра готовила кадры для будущей ядерной промышленности. Он мне всячески способствовал. Эту квартиру мне фактически дал он. Но я не уверен, что он знал о моей заявке. Этого я просто не знаю. Ведь авторское свидетельство мне выдали 1946 году.



*Направление В.С. Шпинеля на
работу к В.И. Курчатову, 1944 г.
Из семейного архива В.С. Шпинеля.*

Р.: А скажите, встречались ли Вы с Ф. Ланге после получения авторского свидетельства и обсудили ли Вы поворот в вашей жизни?

Ш.: Представьте себе, мы встречались, продолжали работать. Но мне кажется, что об этом и речи не было, потому что мы не придавали этому особого значения в те годы. Тогда разворачивались большие работы, и у нас были другие заботы – лучше центрифугировать. Я даже не уверен, знал ли он о том, что я получил свидетельство. Я также не знал, получил ли он на руки справку о выдаче авторского свидетельства на изобретение центрифуги. Мы подавали заявку не для того, чтобы стать авторами какого-либо изобретения, а для того, чтобы нам дали возможность работать. Это была единственная цель, потому что заявки в то время у нас в институте ничего не давали. Но не было ответа, и Маслов написал письмо в ЦК. Он был членом партии. Ставился вопрос о непосредственном развертывании работ. Теперь я хотел бы обратить Ваше внимание на то, что говорить об изобретении атомной бомбы нужно осторожно, потому что в те времена разговоров о возможности осуществления цепной реакции было много. Почему нам пришлось в голову подать заявку на изобретение? Да потому, что нам казалось, что мы нашли путь, как осуществить разделение изотопов урана в больших количествах. До этого я сам обращался с предложением об электромагнитной сепарации к академику Хлопину, а он меня переадресовал к будущему академику Виноградову.

Р.: Я надеюсь ознакомиться с текстом Вашей заявки. Но все же, видите ли Вы, с точки зрения сегодняшнего дня, какие-либо Ваши находки, плюсы, или минусы вашей заявки? Возможно ли указать, что Вы тогда не понимали, а в чем-то, возможно, опередили свое время? Мне кажется, что с центрифугой Вы опередили всех. Пожалуйста, ответьте.

Ш.: Я думаю, что такая конструкция качественно не сработала бы. Но что было важно, и об этом мне потом сказал Ю.Б. Харитон, генеральный конструктор атомной бомбы, – что атомную бомбу можно взорвать только с помощью стороннего взрыва. Это важный момент.

Р.: У Вас он был или нет?

Ш.: Был. В заявке написано, что перегородка изымается с помощью взрыва. Посторонний взрыв – это важно.

Р.: Возможно Вы скажете еще что-нибудь о центрифуге?

Ш.: Я в 1939 году просмотрел все методы сепарации изотопов. Их было много, и я решил, что центрифугирование имеет преимущество для разделения тяжелых изотопов. Этот вопрос мы обсуждали с Ланге. Со своей стороны мы выдвинули электромагнитный резонансный метод. Но впоследствии также стали заниматься центрифугированием. Следующим этапом была идея термоцентрифугирования. Это очень важная идея. Она практически решала проблему. Во время войны Ланге был единственным в нашей стране человеком, который занимался этой проблемой. Все остальные этого способа не признавали. Мне сам Ланге рассказывал о том, как он был на каком-то совещании в Москве, в котором принимал участие Капица, и шла речь о программе. Так вот Капица сказал Ланге, что здесь никто ничего не сделал, кроме Вас. Ланге, не будучи теоретиком, сделал расчеты. Он в Уфе сделал центрифугу, которая потом работала и здесь. Это его заслуга. Но до конца он ее не доделал, у него не было таких возможностей. Это уже потом вся его аппаратура была передана в Лабораторию № 2 Миллионщикова. Он был ответственным. Их большая заслуга, что они довели эту центрифугу до кондиции. Это была очень сложная работа. Они получили награды.

Р.: Где Вы защитили диссертацию?

Ш.: В Харьковском университете.

Р.: Кто был руководителем, и как она называлась?

Ш.: Руководителем был Ланге. А называлась она "Импульсный генератор и разрядная трубка на 4 млн вольт". Оппонентами были Вальтер и Синельников.

Р.: У нас кто-то говорил, что первая центрифуга была сделана Ланге в нашем институте, в УФТИ и передана на Урал. Что бы Вы могли по этому поводу сказать?

Ш.: Думаю, что она разрабатывалась у нас в конструкторском бюро. У нас было много служб, и мы были на положении самостоятельного института. И там еще в 1941 году были разработаны принципиальные основы и конструкция. А относительно того, что центрифуга была сделана в УФТИ, мне ничего не известно.

... Что я хотел бы добавить о Харькове. Тогда Харьков был на подъеме, и молодой теоретик Евгений Михайлович Лифшиц в первый день моего приезда сказал: "До сих пор был Кембриджский период в развитии физики, а сейчас наступает Харьковский". И это развитие прервали, подружили. Там были такие ученые, как Лейпунский, Ланге, Гоутерманс. Это он придумал плутониевую бомбу! И такого человека оставили без работы!

Р.: И такого человека два года продержали в тюрьме!

Владимир Семенович! Вернемся к Вашей заявке. Можно ли было обсуждать ее на семинарах? Как все сложилось, писалось и виделось?

Ш.: Ни в каких семинарах заявку мы не обсуждали. Но предварительно обсудили приватно с разными людьми. Я и Маслов – независимо, а Ланге – я не знаю. Обсуждали с ядерщиками возможность цепной реакции. Какой должна быть критическая масса. Эти вопросы обсуждались. А относительно заявки мы ни с кем не советовались.

Р.: То есть заявка тогда пошла не от института, как в наши времена, когда там должны стоять подписи руководства? Вы послали ее частным способом или все же от института?

Ш.: Я и сам сейчас не помню, как это получилось. Формально секретности не было. После того как я пришел к выводу, что из комиссии Хлопина толку не будет – люди не очень энергично действовали в Академии Наук, я решил обратиться к военным в РККА. Вместе с Масловым. Я сейчас не помню, почему не было Ланге. Никто из крупных наших ученых ничего подобного не предлагал. Возможно, было рискованно ... Но мы были молодые ...

Р.: Пошлешь заявку, а там скажут: сделайте бомбу к такому-то празднику!

Ш.: Ведь речь шла о бомбе! Мы мечтали о том, что в военном ведомстве может всплыть решение об организации такой лаборатории. Первую заявку мы, вероятно, послали по почте. Ну а следующую я повез сам. Повез ее в Генеральный штаб. Там сейчас ГУМ. Там мне и показали отзывы. Там я получил и свидетельство об изобретении. Вручил его мне Мешик.

ИЗ ВОСПОМИНАНИЙ В.С. ШПИНЕЛЯ

В 1935 году на физический факультет Киевского государственного университета поступила заявка на одно место для выполнения дипломной работы под руководством Л. Ландау, подписанная директором УФТИ А.И. Лейпунским. Когда мне предложили это место, я с радостью согласился, поскольку уже в то время Ландау был известен студентам как яркая звезда в теоретической физике. В Харьков я приехал в ноябре 1935 года и с вокзала направился в УФТИ. В помещение института часовой меня не пропустил. Вызвали Ландау, и мы с ним поднялись по лестнице на третий этаж в его кабинет. Ландау сразу же устроил мне экзамен по математике, с которым я справился, и он сказал, что может принять меня на дипломную работу, но спешно надо сдать экзамены по программе теоретического минимума. Затем он добавил, что на подготовку у меня может уйти более полугода, если работать по 12 часов ежедневно. За такой срок теорминимум смогли сдать его сотрудники Е.М. Лифшиц и А.И. Ахиезер. И только одному его коллеге, только что прибывшему из Ленинграда, И.Я. Померанчуку, от способностей которого Ландау был в восторге, удалось справиться с экзаменами всего за два месяца. Я решил попробовать свои силы. По окончании разговора мы вышли в коридор. На стене висела табличка с надписью Rue de Dau (улица Ландау). Здесь Ландау познакомил меня с И.Я. Померанчуком и другими сотрудниками.

К тому времени УФТИ снимал на окраине города в районе, который назывался Рашкина дача, одноэтажные домики, куда селили молодежь, которая приезжала на дипломные работы и на практику. Там меня и приютили.

Ежедневно с утра и до позднего вечера я работал в институтской библиотеке и прекращал занятия только на обед. После занятий шел домой пешком, трамваем не пользовался, чтобы немного размяться и подышать свежим воздухом. Примерно месяц ушел у меня на сдачу экзаменов по механике и статистической физике. На электродинамику я потратил больше времени и понял, что сдавать все экзамены и выполнить теоретическую дипломную работу я не успею. Поэтому я решил начать работу над дипломом в экспериментальной лаборатории и перешел в Лабораторию ударного напряжения (ЛУН), которой руководил профессор Ф.Ф. Ланге. Здесь меня зачислили на должность лаборанта, и я принял участие в создании импульсного ускорителя электронов для исследования ядерных реакций и получения искусственной радиоактивности. Потом меня приняли в аспирантуру УФТИ (1936).

Наша лаборатория находилась в высоковольтном корпусе, в котором находились еще две лаборатории, одной руководили А.К. Вальтер и К.Д. Синельников, второй – А.А. Слуцкий. В ЛУН был создан ряд вспомогательных служб: конструкторское бюро, механическая мастерская, конденсаторная мастерская, небольшая химическая лаборатория. Работа велась очень интенсивно с большим увлечением и энтузиазмом. Например, при монтаже ускорителя я и старший инженер Г. Кон-Петерс в течение месяца работали круглосуточно. Но, кажется, рекорд выносливости в работе установили И.К. Кикоин и его сотрудник Губарев, приехавшие из Свердловска в длительную командировку. Они проводили свои исследования в криогенной лаборатории в исключительно напряженном непрерывном режиме.

В 1937 году импульсный ускоритель электронов был запущен, и мы получили мощный пучок тормозного излучения с высокой, для того времени, энергией и создали интенсивный импульсный источник нейтронов, эквивалентный 1 грамму радий-бериллиевого источника.

Большое влияние на уровень экспериментальных исследований оказывал теоретический отдел УФТИ, которым руководил Л.Д. Ландау. Особенно тесное сотрудничество было у Ландау с Л.В. Шубниковым, в лаборатории которого был выполнен ряд исследований, ставших классическими. Под руководством Ландау регулярно работал институтский научный семинар, который собирался в помещении институтского клуба. Участников семинара всегда угощали чаем и конфетами. Для повышения теоретического уровня экспериментаторов им рекомендовалось сдавать экзамены по программе теоретического минимума, причем за каждый сданный раздел программы работник получал добавку к заработной плате в 20 рублей. За четыре сданных мной экзамена я получал добавку почти в половину моей стипендии.

Большинство работников института жили в институтских домах на территории института. Впоследствии я и другие молодые специалисты получили здесь квартиры. Было много зелени, росли прекрасные розы, было два теннисных корта. Многие работники увлекались теннисом, занимались в конно-спортивной школе, по выходным дням выезжали с ночевкой купаться на реку Донец. Зимой совершали лыжные походы. В институтском клубе устраивали праздничные вечера, вечера молодежи. Некоторое время устраивались вечера прослушивания симфонической музыки, записанной на пластинках, которые привез с собой из Германии Ф. Ланге. В этом же клубе в торжественной обстановке поздравляли Ф. Ланге по случаю присвоения ему советского гражданства.

Еще в первые дни моего приезда Е.М. Лифшиц высказал мне свое убеждение, что ранее был Кембриджский период развития физики, а теперь наступает Харьковский. Было ощущение, что это действительно может случиться. Институт был на подъеме, атмосфера в институте была дружеской. В первые годы работы и жизни в УФТИ я чувствовал счастливым человеком. Летом 1937 года в составе группы аспирантов и сотрудников института, среди которых были профессор Слуцкий и заместитель директора Манов, я выехал на специально обустроенном институтском грузовике в поездку на Кавказ. По возвращении из отпуска мы узнали, что многие ведущие ученые были арестованы и объявлены врагами народа. Среди них были Л.В. Шубников, И.В. Обреимов, Ф. Гоутерманс, В.С. Горский, Л.В. Розенкевич и др., а впоследствии были арестованы А.И. Лейпунский и Л.Д. Ландау, который успел перебраться в Москву.

После этих событий директором института стал А.И. Шпетный. Счастливый период в УФТИ прошел, но работа продолжалась. В 1938 году ЛУН, имевшая к тому времени статус самостоятельного института, подчиненного Академии Наук СССР, была переведена в УФТИ.

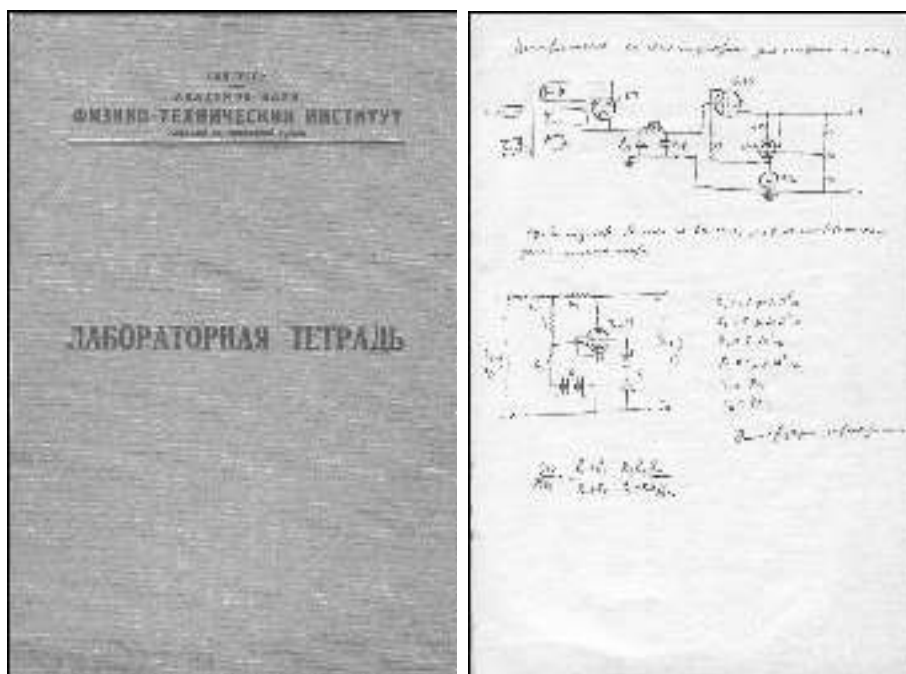
После открытия явления деления урана и первых исследований этого процесса в ряде лабораторий мира, в том числе и в Лаборатории Лейпунского в УФТИ, открылась перспектива использования огромной энергии ядерной цепной реакции для создания ядерного оружия. Это было понятно многим. Но большинству наших ядерщиков, а возможно и всем, реализовать такой процесс казалось нереальным, прежде всего из-за огромных трудностей, связанных с необходимостью разделения изотопов урана.

В 1940 году я предложил два варианта магнитного разделения изотопов сравнительно небольших количеств урана. С этими предложениями я поехал в Москву в Президиум АН СССР к академику Хлопину, возглавлявшему созданную тогда урановую комиссию. Он предложил мне передать эти предложения секретарю урановой комиссии А.П. Виноградову (будущему академику), что я и сделал.

После совершенного мной анализа существующих методов разделения изотопов и обсуждения с Ланге был сделан вывод, что разделение изотопов урана в больших количествах может быть осуществлено методом центрифугирования и создание ядерного оружия является совершенно реальным делом. В 1940 г. в ЛУН перешел работать В.А. Маслов, который до этого занимался вопросами деления урана под руководством Лейпунского. В октябре этого же года я снова поехал в Москву и передал в отдел изобретательства Народного Комиссариата обороны заявку "Об

использовании урана как взрывчатого и ядовитого вещества" (Маслов, Шпинель), в которой излагался принцип конструкции авиабомбы или иного боеприпаса. Впоследствии были отправлены еще две заявки, касавшиеся наработки изотопа урана-235: "О центрифугировании" и "О термоцентрифугировании" (Ланге, Маслов, Шпинель). Далее Маслов обратился с письмом к Наркому обороны, в котором просил организовать специальную лабораторию для проведения экспериментальных работ по использованию атомной энергии в военных целях. Ответы на наши предложения мы тогда не получили.

В начале войны Маслов был мобилизован в армию и отправлен на Кавказ. Впоследствии он попал в госпиталь, где и умер. Ф. Ланге вместе с работниками АН УССР и их семьями выехал в Уфу товарным вагоном.



Лабораторная тетрадь В.С. Шпинеля с одной из ее страниц за 1947 г

В Уфе Ланге продолжал разрабатывать метод термоцентрифугирования. Я приехал к нему в командировку зимой 1943 года. В это время он был, пожалуй, единственным человеком в нашей стране, который работал над урановой проблемой. После принятия постановления Правительства о развитии работ по урановому проекту, Ф. Ланге переехал в Свердловск в лабораторию И.К. Кикоина, и там на

одном из заводов была изготовлена центрифуга. В 1945 году Ланге вместе со своим оборудованием переехал в Москву, где была организована лаборатория N4, которой он руководил. В этой лаборатории была сконструирована новая, более совершенная центрифуга и проводились ее испытания. В работе Лаборатории N4 принимали участие и бывшие работники УФТИ И.Е. Нахутин, А.С. Компанец, Б.Ф. Петров, В.С. Шпинель. Строгая теория процесса центрифугирования была создана А.С. Компанецем. В 50-х годах, точно не помню, когда именно, центрифуги были переданы в лабораторию N2, и работы по совершенствованию метода термоцентрифугирования и созданию промышленного образца центрифуги были завершены под руководством И.К. Кикоина. Этот метод был признан наиболее эффективным, и сейчас работает завод, на котором с помощью большого каскада центрифуг осуществляется разделение изотопов урана.

В 1959 году Ланге вернулся на свою первую родину – в Берлин, где возглавил Институт биофизики АН ГДР.

В заключение этих заметок еще раз поздравим Владимира Семеновича со славным юбилеем и пожелаем ему здоровья!

Литература

- [1]. Атомный проект СССР. Документы и материалы. Под общ. ред. Л. Д. Рябева.. Т. I. 1938-1945. — Ч. 1. М., 1998.
- [2]. Воспоминание об А. Ф. Иоффе. — Л., 1973. — С. 47.
- [3]. Маслов В. А. Деление тяжелых ядер нейтронами и перспективы использования энергии ядерных превращений // Советская наука. — 1940. — № 7.
- [4]. Смит Г. Д. Атомная энергия для военных целей: Официальный отчет о разработке атомной бомбы под наблюдением правительства США. — М., 1946.
- [5]. Ранюк Ю.Н. Лаборатория №1. (Исторический очерк об ядерно-физических исследованиях на Украине), Харьков: Акта, 2001.- 600 с

ИЗ ВОСПОМИНАНИЙ О Н.Е. АЛЕКСЕЕВСКОМ

В.С. Шпинель

Эти воспоминания, написанные Владимиром Семеновичем Шпинелем, вошли в книгу «Портрет экспериментатора: Николай Евгеньевич Алексеевский. Воспоминания. Статьи, Документы» (Москва, “Academia”, 1997), посвященную жизни и деятельности члена-корреспондента АН СССР Н.Е. Алексеевского (1912-1993), крупнейшего специалиста в области сверхпроводимости и физики металлов. Мы воспроизводим этот текст, в котором передается атмосфера, в которой работал Владимир Семенович в 1930-е и 1940-е годы, и содержатся интересные детали его биографии.

С Н.Е. Алексеевским я познакомился еще в студенческие годы в Ленинграде на заводе «Светлана», где студенты Ленинградского политехнического института и наша группа физического факультета Киевского государственного университета проходили производственную практику. Осенью 1935 г. я приехал в Харьков на дипломную работу в Украинский физико-технический институт (УФТИ). Там я встретил уже знакомых мне студентов Н.Е. Алексеевского и его сокурсников А.К. Кикоина и С.С. Шалыта, которые приехали на дипломную работу в криогенную лабораторию профессора Л.В. Шубникова. Жили они вместе с еще одним своим сокурсником И.Я. Померанчуком в тесной комнатке одноэтажного домика на окраине города в районе «Рашкиной дачи». Здесь дирекция института снимала комнаты для иногородних студентов, приехавших на дипломную работу или на практику. Меня поселили там же в соседнем домике. Утром до института мы добирались трамваем минут 40, а возвращались поздно вечером, иногда пешком, чтобы размяться после продолжительного трудового дня. В то время я с утра до позднего вечера работал в институтской библиотеке, готовясь к сдаче теоретического минимума Л.Д. Ландау, а мои товарищи в криогенной лаборатории сразу начали работать над своими дипломами.

После защиты дипломной работы Николай Евгеньевич был зачислен в штат криогенной лаборатории и получил жилплощадь в одном из домов на территории института, где проживало большинство сотрудников. Через некоторое время туда же переселились и другие иногородние дипломники, оставленные в аспирантуре или принятые на работу в институт.

Украинский физико-технический институт был организован в 1929 г. по инициативе А.Ф. Иоффе. За короткое время он стал одним из ведущих институтов в ряде областей физики. В нем работали крупные ученые: Л.Д. Ландау, А.И. Лейпунский, И.В. Обреимов, А.А. Слуцкий, Л.В. Шубников, А.К. Вальтер, К.Д. Синельников, эмигрировавшие из Германии Ф.Ф. Ланге, Г. Гаутерманс и ряд

других высококвалифицированных физиков. В институт часто приезжали выдающиеся ученые — Н. Бор, Фредерик и Ирен Жолио-Кюри, де Гааз, Я.И. Френкель, П.Л. Капица, В.А. Фок, С.И. Вавилов, Д.В. Скобельцын.

К середине 30-х годов в институте были созданы крупные по тому времени установки: первые в стране ускорители, машина для ожижения гелия, радар и другое сложное оборудование. Все это создавалось самими экспериментаторами с помощью инженеров-конструкторов и изготавливалось в институтских мастерских, в которых можно было сделать, кажется, все, что требовалось экспериментаторам. Прекрасная научная библиотека института была единственной в нашей стране со свободным доступом к литературе. Один раз в две недели собирались институтский научный семинар, которым руководил Л.Д. Ландау, и ученый совет института. На совете докладывались выполненные в институте работы, направленные в печать. Институт был очень демократичным, организация работы очень хорошо продумана и все способствовало созданию благоприятных условий для творчества. Сюда приезжали поработать ученые из других городов (И.В. Курчатов, И.К. Кикоин, Б.Г. Лазарев и др.). Достижения института всех вдохновляли, и мы чувствовали, что занимаемся важным делом. Помню, когда я познакомился с молодым теоретиком Е.М. Лифшицем, он с энтузиазмом высказал мысль, что в истории развития физики был Геттингенский период, потом Кембриджский, а теперь наступает Харьковский.

В такой атмосфере творческих надежд, существовавшей в институте, Николай Евгеньевич целиком ушел в работу. Почти весь день он проводил в лаборатории, иногда появлялся в библиотеке. Институт занимал довольно большую площадь, в тихом районе между улицами Юмовский тупик и Чайковского. Тут находились два лабораторных корпуса, жилые здания и еще Институт математики АН УССР. Это место нам казалось самым красивым уголком Харькова. Здесь было много зелени, вдоль дорожек росли прекрасные розы — детище И.В. Обреимова, было два теннисных корта. Часть жилого дома занимала институтская столовая и небольшой клуб, где проводились семинары и заседания Ученого совета, иногда читались лекции сотрудникам по теоретической физике и по теории групп. В праздничные дни в клубе устраивались вечера с интересной программой. Сотрудники ставили спектакли на темы из институтской жизни, была музыкальная самодеятельность и, конечно, танцы. Иногда устраивались вечера прослушивания симфонической музыки в записи на пластинках. Жизнь на одной территории сближала сотрудников. Мы общались не только в стенах института, но и в домашней обстановке. Собирались на дни рождения. Зимой совершались лыжные походы в лесопарк, инициатором которых

был обычно А.К. Вальтер. Иногда в зимние вечера мы с Николаем Евгеньевичем, в небольшой компании, любили бродить по безлюдному городскому парку. Летом выезжали на институтской грузовой машине купаться довольно далеко на р. Северский Донец в район г. Змиева с ночевкой. Многие занимались в конно-спортивной школе. Во время летних каникул для сотрудников и аспирантов устраивались поездки в Крым и на Кавказ на оборудованной для этих целей институтской грузовой машине. Возвратившись в институт после такого путешествия на Кавказ в 1937 г., я узнал о трагических событиях. Были арестованы и объявлены «врагами народа» некоторые наши руководители и сотрудники, в том числе Л.В. Шубников. Все это мы очень тяжело переживали, особенно сочувствовали жене Льва Васильевича Ольге Николаевне Трапезниковой, которая тогда была беременна и в скором времени родила сына. Об этом она успела сообщить мужу во время свидания в тюрьме. Пренебрегая смертельной опасностью, эта замечательная женщина смогла выжить и воспитать сына. Николай Евгеньевич был очень предан семье Л.В. Шубникова на протяжении всей своей жизни. На одной из конференций по физике низких температур, проходившей в г. Харькове, он познакомил меня с сыном учителя. Ему было тогда почти столько же лет, сколько отцу в 1937 г., и он был очень похож на Льва Васильевича.

В течение 1936-1937 годов Николай Евгеньевич совместно с Л.В. Шубниковым успел провести исследования некоторых сверхпроводящих сплавов, заложившие новое важное направление в области сверхпроводимости.

В начале войны, когда немецкая армия быстро продвигалась по территории Украины, УФТИ направил группу своих сотрудников, в том числе Николая Евгеньевича и меня, в колхоз — помочь убрать и вывезти урожай. Поехали мы поездом и прибыли на пересадочную станцию вечером. Оказалось, что поезд, на который нам нужно пересесть, будет только утром. Чтобы не ждать целую ночь, мы решили пойти пешком. У каждого был рюкзак, а также имелся еще один общий, довольно увесистый чемодан, который решили нести по очереди, но нес всю ночь только Николай Евгеньевич, который никому не хотел его отдавать. Утром мы пришли к месту назначения на хутор Крапивницкий. Здесь я смог убедиться в исключительной физической выносливости Николая Евгеньевича. Ему и мне поручили работать грузчиками при автомашине. Мы загружали полуторку мешками с зерном, ехали на станцию, там каждый брал мешок на спину и относил в пакуз. Старались работать быстро, чтобы успеть сделать, кажется, ездов 6 в день. После такой работы первые три дня болели все мускулы, но потом мы привыкли. Во

время уборки наша молотилка должна была работать круглосуточно, но она часто останавливалась из-за неисправности двигателя. Отремонтировать ее было некому, и за эту работу взялся Николай Евгеньевич, который после тяжелой работы в течение всего дня часто занимался ремонтом двигателя ночью.

В конце войны многие физики УФТИ, и я в том числе, переехали работать в Москву. В это время я встречался с Николаем Евгеньевичем чаще всего на известных Капицынских семинарах в Институте физических проблем, где он работал с 1942 г.

Летом 1948 г. мы с Николаем Евгеньевичем поехали отдыхать в Геленджик в дом отдыха МГУ. Там мы решили как-то раз выяснить максимальное расстояние, которое мы способны проплыть. В сопровождении шлюпки поплыли, пересекая бухту по направлению к открытому морю. Николай Евгеньевич плыл быстрее, расстояние между нами все время увеличивалось и появившиеся на воде волны с «барашками» затруднили наблюдения за нами с лодки, державшейся посередине. Поэтому меня взяли в лодку, чтобы страховать только его одного. Пока я перебирался в шлюпку, мы потеряли его из виду и очень долго искали, но тщетно. Наконец мы обнаружили очень далеко на мысе мостки и сидящего на них человека, которым оказался Николай Евгеньевич.

В Институте физических проблем Николай Евгеньевич организовал лабораторию сверхпроводимости металлов и сплавов, которой бессменно руководил на протяжении многих лет. Созданная им школа физиков заслуженно считается ведущей в своей области. Полученные им совместно с сотрудниками и учениками результаты внесли большой вклад в понимание электронных свойств металлов. Некоторые его ученики сами стали выдающимися учеными.

Наряду с основными исследованиями Николай Евгеньевич внес большой вклад в развитие нового метода, представляющего большой интерес для физики ядра и для применений в физике твердого тела, основанного на измерении угловых распределений гамма-лучей ядер, ориентированных при сверхнизких температурах. Таким методом он в совместной работе с нашей лабораторией ядерной спектроскопии НИИЯФ МГУ провел исследования разбавленных сплавов CoPd, обладающих уникальными магнитными свойствами (1966). Таким же методом было сделано важное открытие бывшим аспирантом Николая Евгеньевича Б.Н. Самойловым совместно с В.В. Складчиковым и Е.П. Степановым. Они обнаружили возникновение магнитного поля на ядрах немагнитных примесей в ферромагнитных сплавах. Это

открытие, положившее начало новому направлению исследований, является заслугой школы Н.Е. Алексеевского.

Николай Евгеньевич на протяжении многих лет был профессором кафедры низких температур физического факультета МГУ. Когда университет переехал в новое здание на Воробьевых горах (1954), Николай Евгеньевич иногда заходил в гости в нашу лабораторию. В те годы у нас возникла необходимость работать в области низких температур ядерными методами, и мне неоднократно приходилось пользоваться советами Николая Евгеньевича, который обладал уникальным экспериментальным опытом в этой области. Он очень интересовался вопросами применения эффекта Мессбауэра к физике твердого тела и выполнил ряд работ в этой области. В частности, в работе, проведенной им совместно с нашей лабораторией, была обнаружена анизотропия эффекта Мессбауэра на монокристаллах белого олова, которая, как оказалось, играет важную роль в гамма-резонансной спектроскопии (1962).

Николай Евгеньевич любил непосредственно участвовать в эксперименте и много делал собственными руками. Он был человеком эмоциональным, иногда реагировал резко и казался очень сердитым, но, в действительности, был добрым и исключительно честным человеком. Славные традиции своего учителя Л.В. Шубникова он пронес через всю свою жизнь.

ВЛАДИМИР СЕМЕНОВИЧ ШПИНЕЛЬ – СОЗДАТЕЛЬ ЦЕНТРА ИССЛЕДОВАНИЙ СВЕРХТОНКИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ЯДЕРНО-СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Н.Н. Десягин, В.П. Парфенова, А.А. Сорокин

Владимир Семенович Шпинель возглавил Лабораторию № 6 НИФИ-2 (позже Лаборатория ядерной спектроскопии НИИЯФ) в 1952 году. Лаборатория помещалась в школьном здании недалеко от станции метро ‘Сокол’. Это была небольшая лаборатория: три научных сотрудника (включая самого В.С.), два лаборанта и механик. Значительную часть экспериментальных исследований выполняли студенты (практиканты и дипломники), число которых обычно превосходило число штатных сотрудников лаборатории.

Новые возможности открылись после переезда в 1954 г. в новое здание на Воробьевых горах. В течение короткого времени были приобретены и запущены новые установки (в том числе уникальный Большой электромагнит, позволявший получать в большом объеме сильные однородные магнитные поля), что дало возможность существенно расширить ядерно-спектроскопические исследования. Важную роль в этих исследованиях играло широкое использование методик, основанных на применении техники совпадений. Были организованы хорошо оснащенная механическая мастерская, группа электроники и помещение для радиохимических работ. Лаборатория В. С. Шпинеля являлась одним из ведущих ядерно-спектроскопических центров страны. Наличие широкого арсенала магнитной спектрометрии бета- и конверсионных электронов и сцинтилляционных (а несколько позднее и германиевых полупроводниковых) спектрометров гамма-излучения и спектрометров бета-гамма и гамма-гамма совпадений позволило принять участие в программе исследования схем распада нейтронодефицитных изотопов, получаемых в реакции глубокого расщепления ядер Та под действием протонов высокой энергии на синхроциклотроне ОИЯИ в Дубне. Был выполнен большой цикл работ, в которые, в частности, большой вклад внесли измерения спектров конверсионных электронов на высокодисперсионном спектрометре на постоянных магнитах, построенном по инициативе В.С. в лаборатории ядерной спектроскопии, и установленном затем в ОИЯИ.

В 1956 г. в рамках постановления о развитии работ в области ядерной спектроскопии Лаборатория получила дополнительное финансирование и штаты. Возникла благоприятная ситуация для реализации проекта модернизации лаборатории, и В.С. с максимальной эффективностью использовал эту возможность.

Целью проекта являлось создание в Лаборатории новых современных методик, которые позволили бы выйти за пределы классической ядерной спектроскопии, акцентировав внимание на исследовании электромагнитных свойств ядер (магнитные и электрические моменты, вероятности переходов и др.). Эти методики должны были быть основаны на изучении сверхтонких взаимодействий в конденсированных средах с использованием ядерно-спектроскопических методов детектирования. 1950-е годы явились началом развития двух таких методик: возмущенная угловая корреляция (ВУК) ядерных излучений и ядерная ориентация (ЯО) в магнитных полях при сверхнизких температурах. В 1958 г. появился третий весьма эффективный метод – мессбауэровская гамма-спектроскопия (МГС). По замыслу В.С. все эти три методики должны были быть реализованы и эффективно применены для ядерно-спектроскопических исследований в Лаборатории.

Реализация проекта представляла собой весьма сложную задачу, прежде всего потому, что работы по каждому из трех направлений должны были начаться практически с нуля. В нашей стране не существовало действующих ВУК и ЯО установок, а работы в области МГС начались немедленно после открытия эффекта Мессбауэра. Требовалось создание приборов и установок нового типа, новой современной электроники; реализация ЯО экспериментов предполагала освоение сложной методики получения сверхнизких температур. Первоочередным являлся кадровый вопрос. В кратчайшие сроки было необходимо создать эффективно работающий коллектив сотрудников, способный решать сложные проблемы в совершенно новых (для всех сотрудников Лаборатории) направлениях. В.С. решил эту задачу быстро и эффективно. В штат Лаборатории были зачислены новые сотрудники (А.А. Сорокин, Н.Н. Делягин, К.П. Митрофанов, В.П. Парфенова, А.Л. Ерзинкян), которым предстояло стать основными исполнителями трех направлений проекта. Важную роль в реализации проекта играли высококвалифицированные мастера-механики В.А. Карнышев и А.С. Могилев. Разработка и реализация новых оригинальных систем электроники была быстро и эффективно реализована замечательным специалистом С.А. Сергеевым. Существенный вклад внесли также аспиранты и студенты, энтузиазм которых не уступал энтузиазму штатных сотрудников.

В.С. внимательно следил за ходом работ, оперативно принимая необходимые меры при возникновении каких-либо принципиальных проблем и трудностей. В то же время, сотрудникам была предоставлена полная самостоятельность в решении конкретных проблем реализации проекта. Такой стиль руководства, основанный на

доверии руководителя к сотрудникам и на ответственности сотрудников за результаты работы, оказался оптимальным и эффективным. Реализация проекта происходила быстро и без пауз; время, прошедшее от начала работ до получения первых научных результатов, оказалось предельно коротким.

Особенно быстро развивались работы в области мессбауэровской спектроскопии. В.С. предложил оригинальный и эффективный принцип мессбауэровской спектрометрии: работа спектрометра в режиме постоянного ускорения в сочетании с регистрацией спектра многоканальным анализатором. Такой принцип работы позволил существенно повысить эффективность спектрометра и надежность получаемых результатов. (В настоящее время этот принцип – в электродинамическом варианте – используется в мессбауэровской спектроскопии как стандартный.)

Первые эксперименты проводились с 23.9 кэВ гамма-излучением изотопа ^{119}Sn . Уже на раннем этапе экспериментов были получены два важных результата, определивших развитие мессбауэровской спектроскопии ^{119}Sn в лабораториях разных стран на ближайшие десятилетия. Было обнаружено, что в мессбауэровских спектрах соединений олова наблюдаются большие изомерные сдвиги и квадрупольные расщепления. Этот результат означал высокую перспективность метода для применений в химии, материаловедении, геологии и других областях. Под руководством В.С. были организованы обширные и плодотворные исследования оловоорганических соединений и полимеров (совместно с Институтом химической физики и Институтом нефтехимического синтеза АН), а также сегнетоэлектрических материалов (совместно с Институтом физической химии). Большое значение имели результаты исследований вероятности эффекта Мессбауэра в различных материалах. Было найдено, в частности, что в оксидных соединениях олова эта вероятность очень велика при комнатной температуре. Этот факт означал возможность приготовления источников мессбауэровского излучения, не требующих охлаждения. Вскоре была разработана технология приготовления таких источников на основе станнидов щелочноземельных металлов. Позже эта технология была передана в промышленность; в настоящее время она является общепринятой. К особо важным результатам следует отнести также первое наблюдение эффекта Мессбауэра с регистрацией электронов внутренней конверсии, что явилось началом развития эффективной методики изучения поверхностных слоев твердых тел. Новый принцип детектирования был применен для создания резонансных детекторов мессбауэровского излучения. Был создан и испытан в полевых условиях портативный

прибор для геологоразведки оловосодержащих минералов. На автозаводе ЗИЛ запущена установка для бесконтактного контроля качества поверхностных слоев стальных деталей. За исследования в области резонансной гамма-спектроскопии группа сотрудников Лаборатории и аспирантов во главе с Владимиром Семеновичем была удостоена Ломоносовской премии МГУ за 1963 г.

В 1960 г. были завершены работы по созданию и запуску установки для ядерной ориентации при сверхнизких температурах, получаемых методом адиабатического размагничивания парамагнитной соли. Созданная установка позволяла охлаждать исследуемые радиоактивные источники до температур 10-13 мК, что обеспечило высокую степень ядерной ориентации и соответственно получение больших значений угловой анизотропии гамма-излучения. Низкотемпературный блок установки разрабатывался совместно с сотрудниками Института физических проблем под руководством чл.корр. АН СССР Н.Е. Алексеевского. Комплекс аппаратуры, установленный на установке ЯО, позволял получать разнообразную информацию о свойствах атомных ядер (магнитные моменты, мультипольности ядерных переходов и др.), а также о параметрах магнитного сверхтонкого взаимодействия. Для эффективного выполнения обширной программы этих исследований требовались детекторы гамма-излучения высокого разрешения. Германиевые детекторы, которые наиболее соответствовали этой цели, в то время в нашей стране были недоступны. В.С. принял смелое решение наладить производство таких детекторов своими силами в лаборатории. Реализация этого решения требовала преодоления серьезных технологических проблем, однако для В.С. и его сотрудников и эти проблемы оказались преодолимыми. Технология производства Ge детекторов была разработана и на протяжении ряда лет детекторы, изготовленные в Лаборатории, успешно использовались в различных экспериментах. В последующие годы на установке ЯО была осуществлена обширная программа исследований магнитного сверхтонкого взаимодействия для Fe, Co, Mn в сплавах на основе палладия и платины (в том числе явление ‘примесного ферромагнетизма’ в этих металлах).

Работа по развитию метода ВУК каскадных гамма-переходов первоначально была связана с задачей измерения магнитных моментов возбужденных ядерных состояний. Однако уже первые такие работы конца 70-х – начала 80-х годов выявили необходимость исследования и учета влияния на исследуемое ядро его электронного окружения в данной среде за счет взаимодействия магнитного дипольного или/и электрического квадрупольного момента ядра с его электронным окружением (сверхтонкого взаимодействия). Дальнейшее развитие метода ВУК для исследования

сверхтонкого взаимодействия потребовало большой методической работы по подбору детекторов с высоким энергетическим и временным разрешением, соответствующей быстродействующей электроники и разработке методов обработки экспериментальных спектров ВУК для различных типов сверхтонких взаимодействий, в том числе комбинированных. В результате был разработан и запущен автоматический спектрометр ВУК с временным разрешением порядка 1 – 2 нсек, позволяющий проводить измерения во внешнем магнитном поле и в широком диапазоне температур.

Наличие комплекса методик, с помощью которых можно было проводить разнообразные фундаментальные и прикладные исследования, привлекало к сотрудничеству с Лабораторией многие академические и отраслевые научно-исследовательские организации. В частности, работы по исследованию сверхтонких взаимодействий методом ВУК инициировали широкое сотрудничество с Отделом ядерной спектроскопии ЛЯП ОИЯИ, Институтом кристаллографии АН и Институтом физики высоких давлений АН; многие работы выполнялись по совместному плану на установках в Москве и в Дубне. В сотрудничестве с ИФВД был разработан метод синтеза образцов под высоким давлением, а также сконструирована камера для исследования зависимости параметров сверхтонкого взаимодействия от давления (до 80 кбар). Был выполнен большой цикл работ по исследованию магнитного сверхтонкого взаимодействия в интерметаллических соединениях железа с редкоземельными металлами. В результате были получены данные о взаимодействии 3d-электронов железа и 4f-электронов редкоземельных элементов при формировании магнитных полей на ядрах и их зависимости от температуры. Важными оказались результаты исследований электрического квадрупольного взаимодействия в немагнитных интерметаллидах редкоземельных элементов с промежуточной валентностью (Ce и Yb). В частности, в CeRu_2 было обнаружено формирование метастабильной изоструктурной фазы высокого давления с измененным электрическим СТВ на ядрах-зондах. В интерметаллидах Yb-Al была измерена зависимость градиента электрического поля от давления. Обнаруженная линейная зависимость градиента валентности иона Yb позволила выявить вклад 4f-электронов Yb в формирование градиента электрического поля на ядрах-зондах. Создание автоматического спектрометра для исследования ВУК завершило реализацию проекта создания уникального комплекса, включающего все три основные методики изучения сверхтонких взаимодействий ядерно-спектроскопическими методами. В дальнейшем

комплекс был эффективно дополнен запуском лабораторной установки для получения жидкого гелия и рефрижератора растворения $^3\text{He}/^4\text{He}$.

Оглядываясь назад и вспоминая все эти годы работы под постоянным, хотя и не всегда непосредственно ощущаемым, руководством и влиянием В.С., понимаешь, что В.С. не только большой ученый с чрезвычайно развитой научной интуицией, но и прекрасный педагог, который своим примером умел привить главное – любовь к науке и честное отношение к работе. И недаром так много аспирантов и стажеров со всей страны и из-за рубежа стремились работать в созданной им лаборатории.

И мы, проработавшие в ЛЯС и ОЯСМ практически всю свою сознательную жизнь, во всяком случае, всю ее активную часть, не можем не выразить благодарность судьбе, предоставившей нам возможность научно расти, а затем работать самостоятельно в содружестве исследователей, в создании которого главная заслуга принадлежит Владимиру Семеновичу Шпинелю.



В кабинете с улыбкой

КРАТКАЯ ИСТОРИЯ ЛАБОРАТОРИИ ЯДЕРНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ НИИЯФ МГУ

В.С. Шпинель

Статья написана заслуженным деятелем науки и техники России профессором В.С. Шпинелем в 1996 г. к 50-летию основания Научно-исследовательского института ядерной физики им. Д.В. Скобельцына и отделения ядерной физики физического факультета МГУ. В ней содержится краткая история созданной проф. Л.В. Грошевым и автором статьи лаборатории ядерной спектроскопии НИИЯФ и анализ достигнутых результатов в области ядерной и γ -резонансной спектроскопии за 1946-1996 г.г.

В 1945 г. на кафедре атомного ядра (зав. кафедрой чл.-корр. АН СССР Д.В. Скобельцын) впервые в СССР были начаты работы по изучению структуры атомного ядра. О структуре ядра тогда сведений было явно недостаточно. Для решения этой проблемы представлялось естественным, прежде всего, изучить спектры распада возбужденных уровней ядра, определить их квантовые характеристики и свойства. С этой целью были запланированы исследования β - и γ -спектров на магнитных β -спектрометрах, которые в то время были единственным известным средством для таких исследований, и построены магнитные спектрометры разных типов, в том числе оригинальный "спиральный" β -спектрометр с большой (0,1%) разрешающей способностью (В.С. Шпинель, 1946 г.). Разработан метод измерений γ -спектров на спектрометре по фотоэлектронам.



В Пекине, 1956-57 г.г. Из семейного архива В.С. Шпинеля

Эти работы были начаты в подвальном помещении старого здания физического факультета. Потом, когда кафедра атомного ядра получила дополнительную площадь в здании биологического факультета на Моховой улице, ее перевели туда. Там же организовали и специальный ядерный практикум для студентов. На базе работ, начатых на кафедре, была создана Лаборатория ядерной спектроскопии, вошедшая в состав организованного в 1946 г. НИФИ-2. Заведующим лаборатории был назначен проф. Л.В. Грошев (по совместительству), его заместителем – В.С. Шпинель. В 1947 г. лаборатория переехала в новое здание института вблизи станции метро "Сокол".

Первые исследования были проведены с излучением естественно-радиоактивных ядер. Затем начались работы с радиоактивными источниками, получаемыми в основном на реакторе и на циклотроне Института теоретической и экспериментальной физики АН СССР (ИТЭФ). В 1951 г. начальником лаборатории ядерной спектроскопии назначен В.С. Шпинель. В то время в лаборатории работали мл. научный сотрудник Н.В. Форафонов, два лаборанта, радиотехник и большое число студентов-дипломников, некоторые из них потом остались на научную работу в лаборатории (В.В. Муравьева, А.А. Сорокин, Н.Н. Делягин, К.П. Митрофанов).

В 1954 г. лаборатория переехала в новое здание НИИЯФ на Ленинских горах (Южное крыло физического факультета). Был запущен ряд новых установок: магнитный β -спектрометр с двойной фокусировкой и двухлинзовый β -спектрометр, изготовленные по техническому заданию лаборатории на заводе "Физприбор", люминесцентные γ -спектрометры, спектрометры γ - γ , β - γ и e - γ совпадений. Магнитные спектрометры, изготовленные на заводе "Физприбор", поставлялись затем в другие научные учреждения и шли на экспорт. В новом помещении была организована лабораторная механическая мастерская, группа радиоэлектроники, препаратурская и оборудовано помещение для радиохимических работ.

В 1956 г. вышло постановление Правительства о развитии работ в области ядерной спектроскопии, по которому лаборатория получила дополнительные штаты и финансирование. В этом же году лаборатории была предоставлена возможность проводить работы в Объединенном институте ядерных исследований (ОИЯИ, г. Дубна). В сотрудничестве с отделом ядерной спектроскопии и радиохимии Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ были начаты исследования нейтронодефицитных ядер, получаемых при облучении различных мишеней протонами с энергией 660 МэВ на синхроциклотроне.

В 1958 г. в состав лаборатории ядерной спектроскопии вошла лаборатория ядерных излучений, основанная проф. И.М. Франком (в то время начальником

лаборатории был проф. И.С. Шапиро), в которой работала группа теоретиков под руководством проф. И.С. Шапиро и группа экспериментаторов под руководством И.В. Эстулина.

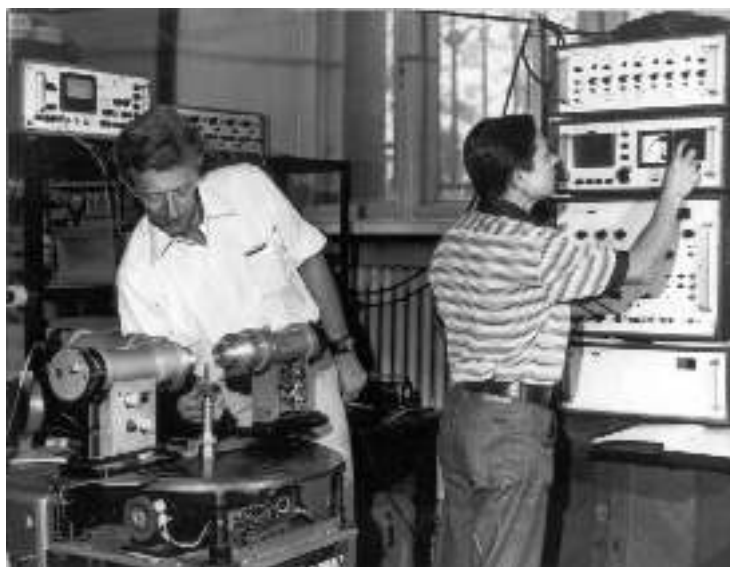
В 1959 г. завершены исследования резонансного поглощения и рассеяния γ -лучей с источниками в газовой фазе и начато изучение открытого в 1958 г. Р. Мессбауэром эффекта резонансного поглощения и рассеяния γ -лучей в твердом теле без потери энергии на отдачу. В этих работах были обнаружены новые явления, важные для физики ядра и в еще большей степени для различных применений в физике твердого тела, в химии и в других областях. Они сыграли фундаментальную роль в становлении нового направления в науке – γ -резонансная (мессбауэровская) спектроскопия. Результаты исследований эффекта Мессбауэра (ЭМ), достигнутые в лаборатории, докладывались на совещании в ОИЯИ (г. Дубна) в 1962 г. и затем в 1963 г. – на Объединенной сессии трех отделений АН СССР (ядерной физики, химии, механики и средств управления), созванной для обсуждения этого нового направления исследований.

Группа И.В. Эстулина продолжала начатые в 1954 г. исследования γ -излучения, испускаемого ядрами при захвате тепловых нейтронов. На реакторе ИТЭФ в этих исследованиях применялась разработанная люминесцентная методика для измерений в условиях работы вблизи ядерного реактора при большом фоновом излучении.

В 1960 г. была завершена работа по созданию установки для ориентирования ядер при сверхнизких температурах (~ 15 мК), получаемых методом адиабатического размагничивания парамагнитной соли, на которой проводились измерения угловых распределений γ -излучения. Таким методом определялись как ядерные характеристики (мультипольности γ -переходов, магнитные моменты ядер), так и магнитные поля, действующие на ядра. Для регистрации γ -излучения сначала применялись люминесцентные детекторы, а с 1978 г. детектирование осуществлялось германиевыми спектрометрами, изготовленными в лаборатории. С 1984 г. исследования угловых распределений γ -излучения ориентированных ядер проводятся в ОИЯИ (г. Дубна) на более совершенной установке с рефрижератором растворения ^3He в ^4He . Эти работы ведутся по договору о научном сотрудничестве с ОИЯИ и с Карловым университетом (г. Прага); в них принимают участие также сотрудники ЛЯП ОИЯИ и ИЯИ АН СССР. На протяжении многих лет лаборатория имела тесные научные контакты с рядом институтов и университетов в нашей стране и за рубежом.



*В.П. Парфенова у установки
для ориентирования атомных
ядер*



*А.А. Сорокин и Г.К. Рясный у установки для измерения
возмущенных угловых γ - γ корреляций*

Для измерения магнитных моментов возбужденных состояний ядер и для изучения квадрупольных взаимодействий в этих состояниях была применена методика возмущенных угловых γ - γ -корреляций (интегральных и дифференциальных).

В 1963 г. в лаборатории начаты систематические исследования сверхтонких (СТ) взаимодействий в твердом теле методами ядерной спектроскопии (γ -резонансная спектроскопия, ориентированные ядра, возмущенные дифференциальные угловые γ - γ корреляции). Эти исследования, находящиеся на стыке ядерной физики и физики твердого тела, велись в следующих основных направлениях:

- 1) Применение γ -резонансной (ГР) спектроскопии для изучения природы химической связи и электронной структуры соединений.
- 2) Изучение механизма формирования СТ магнитных полей на ядрах в магнитоупорядоченных металлах. Получение дополнительных сведений о магнитных структурах редкоземельных (РЗ) металлов и других магнитных систем. Исследование явления примесного ферромагнетизма.
- 3) Изучение сегнетоэлектриков и диэлектрических магнитоупорядоченных систем.
- 4) Изучение квадрупольного и магнитного СТ взаимодействий ^{181}Ta и ^{111}Cd методом возмущенных корреляций в широком круге объектов: интерметаллических соединениях редкоземельных и переходных элементов, сверхпроводящих керамиках, растворах комплексов ^{111}In , применяемых в радиофармакологии и др.

Для изучения СТ взаимодействий в широком интервале температур и во внешних магнитных полях созданы гелиевые криостаты различных конструкций, в том числе со сверхпроводящими соленоидами. Смонтирована система централизованной сборки газообразного гелия. В 1980 г. пущена в эксплуатацию установка с рефрижератором растворения ^3He в ^4He , с которой были достигнуты предельные температуры до 25 мК и магнитные поля до 60 кЭ, позволившая проводить γ -резонансные эксперименты, в том числе на ориентированных ядрах. В 1980 г. пущена в эксплуатацию установка для получения жидкого гелия и экспериментальная база лаборатории уже позволяла проводить работы и в области физики низких температур.

Проведены исследования эмиссионных мессбауэровских спектров с источником ^{57}Co , внедренным в высокотемпературные сверхпроводящие керамики и монокристаллы (1988-1992 гг.).

В 1990 г. начаты работы по созданию принципиально новых детекторов ядерного излучения с низким энергетическим порогом регистрации и большой

разрешающей способностью, в которых в качестве поглотителя служит сверхпроводник или изолятор. С этой целью проводятся исследования сверхпроводящих туннельных переходов на основе Nb. Разработка принципиально новых детекторов ядерного излучения в настоящее время интенсивно ведется за рубежом.

В теоретической группе лаборатории в 1954-1961 гг. под руководством проф. И.С. Шапиро проведены теоретические исследования, посвященные актуальным вопросам теории ядра и элементарных частиц, слабым взаимодействиям элементарных частиц, ядерному μ -захвату, β -распаду и сопутствующим ему явлениям. С 1961 г. основным направлением в работе теоретической группы становятся исследования в области ядерных реакций и теории малочастичных систем.

В лаборатории велись также научно-исследовательские работы прикладного характера и некоторые результаты имели выход в народное хозяйство.

Опыт, накопленный в лаборатории в области γ -резонансной спектроскопии, начиная с 1960 г., передавался в ряд институтов и учебных заведений страны. Для овладения этим тогда новым методом в лаборатории проходили стажировку сотрудники других институтов, с которыми был выполнен ряд совместных работ (институты АН СССР: Нефтехимического синтеза, Химической физики, Кристаллографии, Автоматики и телемеханики; Физический институт АН Каз.ССР и ряд других институтов, а также сотрудники кафедр физического и химического факультетов МГУ). Большой цикл работ выполнен совместно с Институтом физической химии им. Л.Я. Карпова.

Наряду с научно-исследовательской работой лаборатория проводит большую педагогическую работу. Начиная с 1946 г. в лаборатории ежегодно проходят преддипломную практику и выполняют дипломные работы студенты физического факультета МГУ и других вузов. Ежегодно в лаборатории работает несколько аспирантов и приезжают на стажировку и для прохождения аспирантуры из других университетов страны, а также из-за рубежа. Многие из них заняли руководящую роль в науке:

Фам Зуй Хиен (Вьетнам) – директор Института физики;

Гириш Чандра (Индия) – профессор в Институте Тата (Бомбей);

Цветан Бончев Василев (Болгария) – зав. кафедрой, декан физического факультета Софийского университета;

Дж.Ф. Альбанезе (Италия) – директор Института физики в г. Пиза;

А.К. Жетбаев (Казахстан) – директор Института ядерной физики Казахской АН;
Д. Берени – академик Венгерской АН;
И.Ф. Щеголев – действительный член Российской АН;
Кестхели – академик Венгерской АН и др.

Педагогическую работу на факультете вели сотрудники лаборатории И.С. Шапиро, И.В. Эстулин, Л.Д. Блохинцев, А.А. Сорокин. Отдельные спецкурсы были прочитаны В.С. Шпинелем.

Первый студенческий практикум по ядерной физике был организован В.С. Шпинелем (1945 г.), и ведущие сотрудники (И.С. Шапиро, И.В. Эстулин) разработали и собрали в нем первые студенческие задачи. В последующие годы некоторые сотрудники лаборатории помогли поставить новые студенческие задачи и проводили занятия со студентами в ядерном практикуме. Лаборатория имела тесный контакт с кафедрой ядерной физики. Ассистенты этой кафедры вели научную работу в лаборатории. Активное участие в этой работе принимала ст. преподаватель Л.Н. Крюкова.

В 1981 г. лаборатория ядерной спектроскопии была включена в отдел физики атомного ядра НИИЯФ (начальник отдела проф. А.Ф. Тулинов). В 1986 г. заведующим лабораторией ядерной спектроскопии назначен д.ф.м.н. Л.Д. Блохинцев, а в 1991 г. лаборатория снова стала самостоятельной и названа отделом ядерно-спектроскопических методов.

ДОСТИГНУТЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

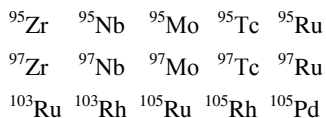
Схемы радиоактивного распада и квантовые характеристики возбужденных состояний ядер

В 1948-1950 гг. проведены прецизионные исследования формы конверсионных линий RaC на спиральном β -спектрометре с целью проверки данных о существовании сложной структуры этих линий, которая связывалась с предположением о наличии ротационных уровней ядра. Результаты измерений показали отсутствие такой структуры (В.С. Шпинель, Н.В. Форафонов, студ. В.И. Серебрянская, 1950).

Выполнены прецизионные измерения спектра конверсионных электронов ThB и обоснован метод определения характера и мультипольности γ -перехода по отношениям коэффициентов конверсии на подгруппах L -оболочки (В.С. Шпинель, Н.В. Форафонов, 1950).

Начаты исследования схем радиоактивного распада ядер, получаемых с помощью ядерного реактора и циклотрона ИТЭФ.

Проведены исследования β - и γ -спектров, изучены схемы распада и квантовые характеристики возбужденных состояний для семейств изобарных ядер



Установлены возбужденные состояния с одинаковыми квантовыми характеристиками (названные соответственными) в нечетных ядрах у изотопов, отличающихся на пару нейтронов, и в изобарах при замене двух нейтронов двумя протонами. Наличие соответственных состояний показало, что в спектре возбужденных состояний имеются одночастичные возбуждения, которые являются проявлением оболочечной модели (Гепперт-Майер, 1950; Хансен, Иенсен, Сьюисе, 1949), предложенной, в основном, исходя из данных для основных состояний ядер. Исследования изобарных ядер с $A=95$ были удостоены премии Президиума АН СССР (1950).

На спиральном β -спектрометре по фотоэлектронам получены сложные γ -спектры для ${}^{192}\text{Ir}$, ${}^{110}\text{Ag}$, ${}^{114}\text{In}$ (В.С. Шпинель, Н.В. Форафонов, 1951).

Впервые наблюдалось доплеровское уширение линий электронов конверсии, обусловленное движением ядра отдачи при α -распаде (В.С. Шпинель, Р.И. Мошкина, 1951 г.). Измерен доплеровский сдвиг γ -линии 478 кэВ ${}^7\text{Li}$, возбуждаемой при неупругом рассеянии α -частиц ${}^{210}\text{Po}$. Таким методом для времени жизни первого возбужденного состояния ядра ${}^7\text{Li}$ получено $t < 1,3 \cdot 10^{-13}$ с. (В.С. Шпинель, 1954 г.). В дальнейшем метод доплеровского сдвига γ -линий получил широкое применение.

Исследования в области β - и γ -спектроскопии, проведенные в лаборатории в период 1946-1956 гг., вошли в докторскую диссертацию В.С. Шпинеля (1957 г.).

На линзовом β -спектрометре идентифицированы переходы в радиоактивных распадах ${}^{118}\text{Te} \rightarrow {}^{118}\text{Sb} \rightarrow {}^{118}\text{Sn}$. С помощью линзового и люминесцентного спектрометров получены β - и γ -спектры, спектры β - γ и γ - γ совпадений для ядер ${}^{119}\text{Te} \rightarrow {}^{119}\text{Sb}$, ${}^{131}\text{Te} \rightarrow {}^{131}\text{I}$, позволившие построить схемы распада. На основе систематики и анализа экспериментальных данных, относящихся к возбужденным состояниям нечетных ядер, расположенных вблизи замкнутых оболочек, построены кривые смещений соответственных уровней, показавшие характер заполнения

оболочки нейтронными парами в изотопах $^{125}_{53}\text{I}_{72}$, $^{127}_{53}\text{I}_{74}$, $^{129}_{53}\text{I}_{76}$, $^{131}_{53}\text{I}_{78}$ (А. Бэдэску, К.П. Митрофанов, А.А. Сорокин, М.В. Климентовская, Л.Н. Крюкова, О.М. Калинкина, В.В. Муравьева, В.Н. Рыбаков, Г. Чандра, В.С. Шпинель, 1959-1961 гг.). По этим работам защищены кандидатские диссертации аспиранта из Румынии А. Бэдэску (1960) и А.А. Сорокина (1962). Уточнена сложная схема распада ^{144}Ce путем измерений β -е, е-е, е- γ совпадений (Ц.Б. Василев, Н.В. Форафонов, В.П. Парфенова, В.С. Шпинель, 1957-1962).

В 1958 г. начат большой цикл исследований нейтронно-дефицитных изотопов, получаемых при облучении различных мишеней протонами с энергией 660 МэВ на синхроциклотроне Объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ в г.Дубна). В этих работах измерения проводились на β -спектрометре с постоянными магнитами, на β -спектрометре с двойной фокусировкой на угол $\pi\sqrt{2}$, на двухлинзовом β -спектрометре, на люминесцентном γ -спектрометре и спектрометре γ - γ совпадений.

Изучена сложная фракция изотопов тербия, получаемая при облучении танталовой мишени на синхроциклотроне ЛЯП ОИЯИ и следующего затем разделения фракции редких земель на хроматографической колонке. Получены более точные данные для ядер ^{149}Tb , ^{151}Tb , ^{152}Tb и построена схема распада ^{151}Tb (А.Т.Стригачев, А.А. Сорокин, Л.С. Новиков, В.С. Шпинель, 1961-1962 г.г.). Эти исследования изложены в кандидатской диссертации аспиранта из Болгарии А.Т.Стригачева (1962 г.).

Построена схема распада нейтроно-дефицитных ядер $^{167}\text{Lu} \rightarrow ^{167}\text{Yb} \rightarrow ^{167}\text{Tm}$, получены квантовые характеристики возбужденных состояний, времена жизни ротационных уровней К-запрещенных переходов и исследованы другие свойства. Идентифицирован распад $^{176\text{m}}\text{Lu}$, измерено время жизни первого возбужденного состояния ^{139}Pr . Открыт новый изотоп ^{139}Nd , и предложена схема распада $^{138}\text{Nd} \rightarrow ^{138}\text{Pr} \rightarrow ^{138}\text{Ce}$ и схема уровней ^{149}Gd (К.Я. Громов, А.С. Данагулян, Л.Н. Никитюк, В.В. Муравьева, А.А. Сорокин, М.З. Шталь, В.С. Шпинель, 1964 г.). По этим результатам защищена диссертация аспиранткой А.С. Данагулян, 1966 г.).

Начиная с 1967 г. в спектроскопических исследованиях лаборатории была применена новая техника, основанная на детектировании излучения с помощью полупроводниковых детекторов ($\text{Ge}(\text{Li})$ и $\text{Si}(\text{Li})$). Эти детекторы и люминесцентный спектрометр могли включаться в схему совпадений в различных комбинациях для выделения е- γ и γ - γ совпадений. Измерения времен жизни проводились с помощью совпадений с преобразованием времени в амплитуду. В измерениях использовалась

методика угловых γ - γ корреляций для определения мультипольностей γ -переходов и методика возмущенной угловой γ - γ корреляции как интегральной, так и дифференциальной, для определения магнитных моментов возбужденных состояний. Основные результаты этих исследований следующие:

Получены новые данные, касающиеся схем распада редкоземельных нейтроно-дефицитных изотопов $^{147,149}\text{Gd}$, $^{166,168}\text{Tm}$ и ^{169}Yb , получаемых в реакции глубокого расщепления с танталовой мишенью. Исследования этих ядер вошли в кандидатскую диссертацию аспиранта З.Н. Миминошвили (1969 г.).

В 1967 г. было завершено комплексное исследование схем радиоактивного распада ядер ^{186}Pt , ^{188}Pt , ^{189}Pt и ^{189}Ir , полученных на синхроциклотроне ОИЯИ при облучении золотой мишени. Измерения были проведены в основном на магнитных спектрометрах (спиральном и линзовом) с использованием люминесцентной техники и совпадательной методики. Методом задержанных совпадений были измерены времена жизни некоторых возбужденных состояний (Л.Н. Крюкова, А.А. Сорокин, В.В. Муравьева). Результаты этих работ вошли в диссертацию Л.Н. Крюковой (1967 г.). Выполнение упомянутой работы потребовало разработки химических методов выделения платины и иридия без носителей из облученной золотой мишени. Эта часть работы была выполнена радиохимической лабораторией НИИЯФ и лабораторией радиохимии ГеоХИ АН СССР.

В последующие годы с помощью полупроводниковых детекторов, включенных в схему совпадений, были получены дополнительные данные, касающиеся перечисленных изотопов Pt и Ir и изотопов Os, расположенных в этой же переходной области ядер.

Исследования перечисленных выше деформированных ядер и ядер, расположенных в переходной области, составляют часть общей программы по изучению нейтроно-дефицитных изотопов, проводимой в ОИЯИ.

Кроме того, с помощью новой методики исследованы и другие ядра. Получено большое количество новых данных о ранее плохо изученной схеме распада ^{97}Zr . Проведено исследование схемы уровней ядра ^{130}Xe , возбуждаемых при распаде ^{130}I , $^{130\text{m}}\text{I}$ и ^{130}Cs . Эти изотопы были получены при облучении протонами на циклотроне НИИЯФ. Результаты этих исследований вошли в диссертацию аспиранта С. Бакиева (1973 г.).

Были проведены измерения угловых корреляций γ - γ каскадов, идущих через изомерные состояния 11/2 в ядрах ^{147}Eu и ^{149}Eu . Методом дифференциальных угловых корреляций во внешнем магнитном поле измерены g-факторы двух возбужденных

состояний в этих ядрах (А.А. Сорокин, М.В. Климентовская, 1970 г.). Теоретически и экспериментально исследован вопрос о парамагнитных поправках, вводимых при измерениях g-факторов ядер РЗЭ. В измерениях ВУК в ^{152}Sm с источником ^{152}Eu продемонстрировано влияние перестройки электронной оболочки после β -распада, что приводит к отклонению поправок от расчетных. Создана программа для обработки результатов измерений возмущенных угловых корреляций (ВУК).

В связи с открытием явления несохранения четности в слабых взаимодействиях измерена степень циркулярной поляризации внутреннего тормозного излучения ^{55}Fe . Это позволило оценить возможную примесь тензорного взаимодействия в исследуемом переходе ($3/2 - 5/2$) как $C_T^2/C_A^2 \leq 6\%$ (В.П. Парфенова, 1958 г.). Проведены измерения β - γ -корреляции с регистрацией циркулярной поляризации γ -квантов для разрешенных β -переходов в ^{22}Na (β^+ -распад) и ^{60}Co (β^- -распад) и однократно запрещенных β -переходов в ^{147}Nd и ^{140}La . В опытах с разрешенными β -переходами эффект совпал с предсказаниями двухкомпонентной теории нейтрино, причем знак эффекта для β^- и β^+ -переходов различен в соответствии с различной поляризацией лептонов в этих переходах (И.В. Эстулин, А.А. Петушков, 1958-1962 г.г.). По этим работам защищена кандидатская диссертация А.А. Петушкова (1962 г.).



Дискуссия. Кембридж, 1967 г. Из семейного архива В.С. Шпинеля.

Спектры γ -лучей захвата нейтронов реакции (n, γ)

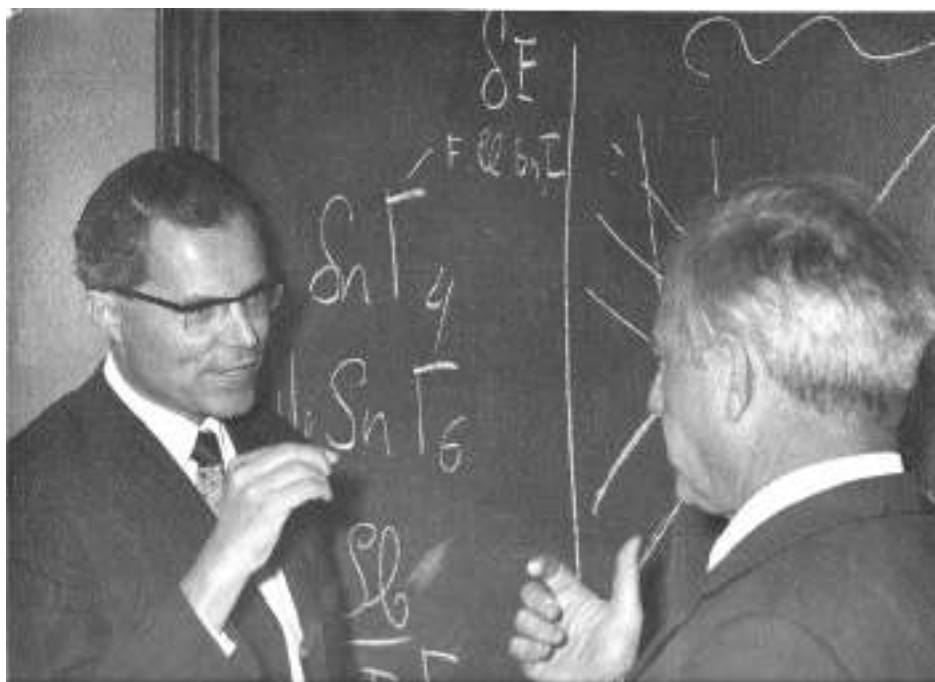
В 1954-1958 г.г. с помощью люминесцентного γ -спектрометра изучены спектры γ -лучей, испускаемых ядрами при захвате тепловых нейтронов. Опыты выполнены с 16 ядрами среднего и тяжелого веса. Найдено более 120 γ -линий. Обнаружено существенное различие между спектрами мягкого γ -излучения четно-четных и нечетно-нечетных ядер, образующихся при захвате нейтронов. Для четно-четных ядер (^{96}Mo , ^{124}Te , ^{144}Nd , ^{150}Sn , ^{200}Hg) характерен относительно жесткий спектр (1-3 линии в интервале энергий 350-1200 кэВ с интенсивностью более 17% от числа захваченных нейтронов). Спектр низкоэнергетического γ -излучения ядер, исследованных в работе (^{56}Mn , ^{60}Co , ^{104}Pd , ^{108}Ag , ^{110}Ag , ^{128}I , ^{134}Cs , ^{166}Ho , ^{198}Au), содержит большое число линий весьма малой энергии, которые, как было установлено, испускаются в переходах между нижними энергетическими уровнями соответствующих ядер. Эти работы вошли в кандидатскую диссертацию Л.Ф. Калинкина.

Для изучения спектров γ -лучей, возникающих в реакции (n, γ), в 1959-1964 г.г. была применена методика измерения спектров γ - γ совпадений с помощью двух люминесцентных спектрометров с кристаллами NaI(Tl) . Таким методом получена богатая информация о низкорасположенных возбужденных состояниях нечетно-нечетных ядер ^{56}Mn , ^{104}Rh , ^{108}Ag , ^{134}Cs , ^{166}Ho . Для сферических нечетно-нечетных ядер ^{104}Rh , ^{108}Ag и ^{134}Cs обнаружена мультиплетная структура уровней. Наряду с ядерными мультиплетами в нечетно-нечетных ядрах обнаружены возбужденные состояния, имеющие коллективную природу. Эти исследования спектров γ - γ совпадений вошли в кандидатскую диссертацию А.С. Мелиоранского.

В 1964-1965 г.г. проведены измерения спектров запаздывающих совпадений в реакции (n, γ) на установке, позволяющей определять времена жизни возбужденных состояний ($\tau \sim 2$ -100 нс). Таким методом в нечетно-нечетных ядрах ^{108}Ag , ^{134}Cs , ^{160}Tb обнаружено по несколько новых состояний и измерены их времена жизни. Эти исследования вошли в кандидатскую диссертацию И.Н. Розанцева (1971 г.).

Резонансное рассеяние γ -лучей. Изучение эффекта Мессбауэра

В 1957 г. наблюдалось резонансное поглощение γ -лучей ^{24}Na с источником в виде парообразного натрия при высоких температурах. Таким методом было измерено время жизни первого возбужденного состояния ядра ^{24}Mg (Н.Н. Делягин, В.С. Шпинель, 1958 г.), затем были измерены времена жизни первых возбужденных состояний других ядер.



Профессор В.С. Шпинель и профессор, Нобелевский лауреат, Р. Мессбауэр

В 1959 г. после открытия эффекта Мессбауэра (1958) начато изучение резонансного рассеяния (поглощения) γ -квантов, испускаемых ядрами в твердом теле без потери энергии на отдачу.

Разработан оригинальный спектрометр для получения резонансных спектров γ -лучей, в котором источник (поглотитель) совершает равномерно ускоренное прямолинейное движение с автоматической регистрацией спектров на многоканальном амплитудном анализаторе. Предложенный принцип работы спектрометра был затем положен в основу всех γ -спектрометров, применяемых в других лабораториях и изготовленных разными фирмами.

При изучении эффекта Мессбауэра с γ -лучами 23,8 кэВ ^{119}Sn получены следующие основные результаты:



*С аспиранткой Котхекар
Видья из Индии. Из семейного
архива В.С. Шпинеля.*

Открыта дублетная структура спектров поглощения, обусловленная сверхтонким взаимодействием квадрупольного момента возбужденного состояния ^{119}Sn с градиентом электрического поля. Благодаря этому стало возможным изучать квадрупольное взаимодействие для олова в различных кристаллах, что невозможно сделать методом квадрупольного резонанса из-за спина основного состояния олова, равного $1/2$.

Обнаружен изомерный химический сдвиг (ИС) энергии резонансной γ -линии 23,8 кэВ ^{119}Sn , обусловленный изменением электронной плотности на ядре и изменением зарядового радиуса ядра при гамма-переходе (1962 г.).

Впервые наблюдалось сверхтонкое магнитное расщепление γ -линии 23,8 кэВ ^{119}Sn во внешнем магнитном поле (ядерный Зееман-эффект). Из спектров магнитного расщепления в более сильном внутреннем магнитном поле, действующим на ядро олова в сплаве с железом, получено значение магнитного момента первого возбужденного уровня ^{119}Sn , близкое к величине, полученной в том же году за рубежом.

Изучение спектров резонансного поглощения для различных химических соединений олова позволило обнаружить зависимость величины квадрупольного расщепления и изомерного сдвига от валентного состояния атома олова и от характера химических связей олова с окружающими атомами.

Получены зависимости изомерного сдвига от электроотрицательности атомов лигандов, определяющей степень ионности связи, и обнаружены другие важные корреляции (В.А. Брюханов, Н.Н. Делягин, Б. Звенглинский, В.С. Шпинель, 1960-1961 г.г.). Эти результаты послужили основанием для многочисленных применений, в том числе в различных областях химии (В.С. Шпинель, 1962 г.). Многие из отмеченных выше результатов вошли в кандидатскую диссертацию Н.Н. Делягина (1962 г.).

Получены общие формулы для расчета параметров экспериментального спектра одиночных и расщепленных γ -линий с учетом самопоглощения в источнике, которыми широко пользуются в экспериментальных работах (Г.А. Быков, Фам Зуи Хиен, 1962 г.).

Впервые наблюдался эффект Мессбауэра по конверсионным электронам (К.П. Митрофанов, В.С. Шпинель, 1961 г.). Такой процесс был использован в созданных в лаборатории счетчиках с избирательной эффективностью для регистрации испускаемых без отдачи γ -лучей (К.П. Митрофанов, В.С. Шпинель, Н.В. Илларионова, 1962 г.). Этот принцип детектирования был использован потом во

многих лабораториях у нас в стране и за рубежом. Наблюдение эффекта Мессбауэра по конверсионным электронам привело к развитию нового направления – мессбауэровской электронной спектроскопии, важного при исследованиях тонких приповерхностных слоев металлов. Эта работа вошла в кандидатскую диссертацию К.П. Митрофанова, 1965 г.).

Обнаружена интерференция фотоэффекта и внутренней конверсии при резонансном поглощении γ -квантов ^{119}Sn (К.П. Митрофанов, М.В. Плотникова, Н.И. Рохлов, В.С. Шпинель, 1970 г.).



Работа лаборатории проходила не без трудностей. (Из тетради распоряжений по лаборатории ядерной спектроскопии за 1950-е годы).

Результаты, относящиеся к динамическим свойствам кристаллических решеток

Проведены измерения вероятности эффекта Мессбауэра (фактора Дебая-Валлера f') для γ -линии 23,8 кэВ ^{119}Sn и её температурной зависимости для большого числа неорганических и органических соединений и для примеси ^{119}Sn и ^{125}Te в одноатомных металлах и в бинарных твердых растворах. Обнаружены большие значения f' и удивительно слабая зависимость этой величины от температуры в ряде случаев (например, SnO_2 , CaSnO_3 , SrSnO_3 , BaSO_3). Возможное объяснение слабой температурной зависимости f' было предложено Ю.М. Каганом, который обратил внимание на особую роль в эффекте Мессбауэра оптических ветвей фононного спектра кристаллов. Установлены корреляции величины f' с тепловыми свойствами

кристаллов и линейная связь величины f' и изомерного сдвига с электроотрицательностью матрицы (В.А. Брюханов, Н.Н. Делягин, В.С. Шпинель, 1964 г.). Такие же корреляции получены для примеси Те в измерениях с γ -линией 35.6 кэВ ^{125}Te (Р.Н. Кузьмин, А.А. Опаленко, В.С. Шпинель, 1968 г.).

Показано, что величина f' на примесных ядрах ^{119}Sn в одноатомных металлических матрицах с удовлетворительной точностью (10-20%) в широком интервале температур может быть рассчитана в дебаевском приближении с эффективной дебаевской температурой

$$\theta_{\text{эфф}} = \theta_0 \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$$

где θ_0 и m_0 – соответственно дебаевская температура и масса атомов матрицы, m – масса атомов примеси. Измерения показали, что в бинарных твердых растворах (SnAg , SnSb , SnTe и SnPd) зависимость f' (T) от температуры не может быть описана в дебаевском приближении с одной температурой Дебая. Результаты, полученные при изучении вероятности ЭМ для излучения 23,8 кэВ ^{119}Sn , вошли в кандидатскую диссертацию В.А. Брюханова (1965 г.).

Проведены измерения температурных сдвигов резонансной линии, обусловленных доплеровским сдвигом второго порядка. Показано, что в классическом пределе сдвиг линии пропорционален температуре и коэффициент пропорциональности зависит только от массы излучающего ядра. Для поглотителя SnO_2 при $T < 300$ К имеет место отступление от линейности, что является проявлением известного эффекта "замораживания" степеней свободы при низких температурах. Изучению температурных эффектов в γ -резонансных экспериментах посвящена кандидатская диссертация Фам Зуй Хиена (1963 г.).

Открыто явление анизотропии эффекта Мессбауэра, обусловленное динамической анизотропией кристалла (Н.Е. Алексеевский, Фам Зуй Хиен, В.Г. Шапиро, В.С. Шпинель, 1962 г.). Измерения, проведенные для монокристалла металлического белого олова ($\beta\text{-Sn}$) при разных температурах, показали убывание величины анизотропии с понижением температуры в согласии с теоретическими вычислениями, сделанными по нашей просьбе Ю.М. Каганом. Исследована анизотропия эффекта Мессбауэра в монокристаллах SnO_2 (В.Г. Шапиро, В.С. Шпинель, 1964 г.) и в монокристаллах Те (Р.Н. Кузьмин, А.А. Опаленко, В.С. Шпинель, И.А. Авенариус, 1969 г.).

За работы, посвященные изучению эффекта Мессбауэра, коллектив в составе В.С. Шпинеля (руководитель), Н.Н. Делягина, В.А. Брюханова, К.П. Митрофанова и

аспирантов Фам Зуй Хиена и В.Г. Шапиро был удостоен Ломоносовской премии (1963 г.).

В некоторых оловоорганических соединениях обнаружено различие в интенсивности компонент квадрупольного расщепления с поглотителем в виде поликристалла. Как было показано в теоретической работе С.В. Карягина, асимметрия спектра квадрупольного дублета с поликристаллическим поглотителем может возникнуть из-за упомянутой динамической анизотропии колебаний атомов кристалла. Методом резонансного рассеяния для отдельных компонент квадрупольного дублета с рассеивателем из $(\text{C}_4\text{H}_9)_2\text{SnO}$ экспериментально доказано, что наблюдаемая асимметрия квадрупольного дублета действительно обусловлена динамической анизотропией кристалла. Показано, что измерения углового распределения резонансного рассеяния для отдельных компонент сверхтонкой структуры могут быть использованы для изучения динамических свойств кристаллов и определения знака квадрупольного взаимодействия без использования монокристаллических образцов (Б.А. Комиссарова, А.А. Сорокин, В.С. Шпинель, 1966 г.). По этим работам защищена кандидатская диссертация Б.А. Комиссаровой (1969 г.).



На заседании оргкомитета Совещания по ядерной спектроскопии и структуре ядра: Б.С. Джелепов, И.Б. Теплов, В.С. Шпинель и др.

Применения эффекта Мессбауэра в химии. Исследования изомерных сдвигов и квадрупольных взаимодействий в соединениях Sn, Sb и Te

Органические и комплексные соединения

В работах, посвященных применению эффекта Мессбауэра в химии и в физике твердого тела, была впервые установлена возможность наблюдать этот эффект в большом разнообразии химических соединений, в мономерах и полимерах, в аморфных средах, содержащих олово. Были продемонстрированы возможности метода в области структурной химии, химической кинетики, физико-химии полимеров, растворов, радиационной и каталитической химии, в исследованиях адсорбционных процессов и коррозии.

Изучены спектры резонансного поглощения γ -квантов 23,8 кэВ ^{119}Sn во всех типах оловоорганических соединений. Получены данные о роли ближайших соседей Sn и влиянии различных групп атомов на изомерные сдвиги и квадрупольные расщепления. Эти исследования вошли в кандидатскую диссертацию аспиранта А.Ю. Александрова (1964 г.).

Проведен анализ наблюдаемых изомерных сдвигов (ИС) и квадрупольных взаимодействий на основе метода атомных орбиталей. Полученные результаты позволили сделать вывод, что большинство рассмотренных соединений имеют структуру тригональной бипирамиды, а наблюдаемые большие квадрупольные расщепления могут быть объяснены влиянием d-электронов (В. Котхекар, В.С. Шпинель, 1969).

Измерены изомерные сдвиги и квадрупольное взаимодействие с γ -линией 37,2 кэВ ^{121}Sb в органических комплексных соединениях сурьмы. Проведен анализ sp^3d гибридных орбиталей, получены данные о структуре соединений и о градиенте электрического поля, создаваемого несбалансированными p-электронами, измерена величина квадрупольного момента состояния 37,2 кэВ ^{121}Sb (С.Е. Гукасян, В.С. Шпинель, 1968 г.). Программа для машинной обработки сложных γ -резонансных спектров ^{121}Sb создана совместно с вычислительным центром МГУ. Эти исследования вошли в диссертацию аспирантки С.Е. Гукасян.

Методом эффекта Мессбауэра изучены фторидные и смешанные комплексные соединения сурьмы (В.П. Горьков, Р.Л. Давидович, Г.В. Зимина, Л.А. Садохина, Ф.Х. Чибирова, В.С. Шпинель, 1974 г.).

Предложен новый метод определения валентных конфигураций, основанный на сочетании γ -резонансной и рентгеноэлектронной спектроскопии. Для демонстрации возможностей метода выбраны простые и хорошо изученные в

структурном отношении соединения Sn(II), в которых неподеленная пара электронов олова является стереохимически активной (В.Н. Герасимов, В.М. Кулаков, Ф.Х. Чибирова, В.С. Шпинель, В.И. Бурлаков, 1975 г.).



С участниками Совещания по ядерно-спектроскопическим исследованиям сверхтонких взаимодействий

Результаты измерений соединений Sn(II) и Sb(III) вошли в кандидатскую диссертацию аспирантки Ф.Х. Чибировой (1975 г.).

Изомерные сдвиги и квадрупольные взаимодействия в соединениях атомов с $5s5p$ валентными электронами (^{119}Sn , ^{121}Sb , ^{125}Te , ^{127}I , ^{129}I , ^{129}Xe , ^{131}Xe)

Возможность измерения изомерных сдвигов сделала доступным определение изменения эффективного зарядового радиуса ядра $\Delta r/r$ при γ -переходе. Нахождение этой уникальной ядерной характеристики связано с вычислением электронной плотности на ядре. Поэтому полученные нами значения ($\Delta r/r$) для перехода 23,8 кэВ ^{119}Sn и появившиеся затем результаты других авторов существенно отличались друг от друга. Для получения более надежных данных нами предложен метод определения относительных значений $\Delta r/r$ для различных ядер, не требующий электронных вычислений, основанный на сравнении ИС для различных ядер, находящихся в изоэлектронных соединениях.

С этой целью проведены измерения изомерных сдвигов мессбауэровских γ -линий 23,8 кэВ ^{119}Sn , 37,2 кэВ ^{121}Sb и 35,6 кэВ ^{125}Te в комплексных соединениях

MeSnHal_6^{-2} , MeSbHal_6^{-1} , MeTeHal_6^{-2} ($\text{Hal}=\text{F}, \text{Cl}, \text{Br}, \text{I}$; Me – один из следующих катионов: H^+ , Na^+ , $(\text{NH}_4)^+$, K^+ , Pb^+ , Cs^+) и дополнительно в соединениях $\text{Me}_2\text{Sn}(\text{OH})_6$, $\text{MeSb}(\text{OH})_6$ и некоторых других соединениях. Полученные значения ИС для этих соединений линейно зависят от разности электроотрицательностей мессбауэровского атома и лиганда, также как и в случае изоэлектронных соединений SnGaI_4 , исследованных нами ранее. Таким путем были получены относительные значения $(\Delta r/r)\text{Sn}:(\Delta r/r)\text{Sb}:(\Delta r/r)\text{Te}$ для γ -переходов в перечисленных выше ядрах Sn, Sb и Te. Знак величины $(\Delta r/r)$ для ядер ^{119}Sn и ^{125}Te – положительный, а для ^{121}Sb он оказался отрицательным, что означает расширение ядра при возбуждении в первом случае и сжатие – во втором.

Полученные данные позволили сделать выводы о структуре некоторых соединений и о характере координационных связей. Так, было показано, что структура комплекса TeF_6^{-2} отличается от структуры комплексов, когда вместо F стоят другие галогены - I, Br или Cl. Для соединений Sb и Te обнаружены характерные особенности в поведении ИС, обусловленные существованием неподеленной пары электронов, влияние которой зависит от того, является ли такая пара электронов инертной или стереохимически активной. Проведенные измерения позволяют надежно проверить теоретические расчеты электронной плотности на ядрах.

Результаты этих исследований были доложены на Фарадеевском симпозиуме в Лондоне в 1967 г. (В.С. Шпинель, В.А. Брюханов, В. Котхекер, Б.З. Иофа, С.И. Семенов). Более полный анализ ИС, включающий данные для ядер остальных атомов 5s5p оболочки (^{127}I , ^{129}I , ^{129}Xe и ^{131}Xe), полученные в зарубежных работах, и данные для квадрупольного взаимодействия ^{119}Sn в соединениях с неэквивалентными связями доложен на Международной конференции в Тихани (Венгрия, 1969 г.).

Ядерно-спектроскопические исследования сверхтонких взаимодействий

Исследование магнитного сверхтонкого взаимодействия в металлических ферромагнетиках методом γ -резонансной спектроскопии

Изучение сверхтонкой структуры спектров резонансного поглощения (испускания) γ -лучей привело к возникновению нового направления исследований, часто называемого γ -резонансной (мессбауэровской) спектроскопией.

Методом γ -резонансной спектроскопии изучался механизм возникновения сверхтонкого (СТ) поля на ядрах магнитных атомов ^{57}Fe и немагнитных атомов ^{119}Sn , введенных в качестве примеси в 3d и 4f металлы и сплавы. Показано, что СТ поле формируется в результате взаимодействия примесного атома с поляризованными

электронами проводимости матрицы и является суммой двух сравнимых по величине и противоположных по знаку вкладов, каждый из которых в конечном счете определяется поляризацией ионного остова примесного атома.

Найдена функциональная зависимость вкладов в сверхтонкое поле от распределения атомных магнитных моментов по координационным сферам в упорядоченных сплавах и интерметаллидах. В результате удалось объяснить экспериментальные данные о сверхтонком магнитном взаимодействии для атомов Sn в металлических ферро- и антиферромагнетиках.

Измерено изменение электронной плотности в области ядра примесного атома Sn при переходе системы из ферромагнитного в парамагнитное состояние. Результат был объяснен изменением зонной структуры сплавов.

Обнаружено отклонение температурного хода сверхтонкого поля на примесных ядрах Sn в матрице Fe от кривой спонтанной намагниченности матрицы (температурная аномалия СТ поля) (Н.Н. Делягин, А.Б. Балабанов). Изучению этого нового явления был посвящен ряд работ в нашей лаборатории и за рубежом.

Измерены критические показатели β для магнитного СТ поля в Rh_2CoSn и в сплавах Ni-Sn. Величины β в Rh_2CoSn хорошо согласуются с его теоретическим значением для трехмерных ферромагнетиков. В сплавах Ni-Sn величины β – аномально велики. Для этого сплава наблюдаются и другие аномалии. Предполагается, что они могут быть объяснены сильным возмущением примесными атомами Sn магнитных моментов соседних атомов матрицы Ni.

Показано, что в металлических магнетиках на основе редких земель магнитное СТ взаимодействие для примесных атомов имеет локальный характер и определяется взаимодействием с ближайшими соседними магнитными атомами.

Обнаружена анизотропия мессбауэровского сверхтонкого взаимодействия (MCB) для Sn в соединениях RAI_2 и $TmFe_2$. Предложен анализ анизотропии MCB, основанный на рассмотрении несферичности распределения 4f-электронов ионов и несферичности распределения валентных электронов немагнитного атома.

Результаты исследований СТ взаимодействий для примесей в 3d и 4d металлах и сплавах и в металлических магнетиках на основе редких земель, выполненные под руководством ст.н.с. Н.Н. Делягина, изложены в кандидатских диссертациях В.И. Крылова, Э.Н. Корниенко, В.И. Нестерова, Г.Т. Муджири.

Исследования магнитных СТ взаимодействий для немагнитной примеси ^{119}Sn в редкоземельных металлах Nd, Sm, Gd и в различных интерметаллических

соединениях RAI_2 , R_3Al_2 , RCu , RZn , RGe изложены в кандидатской диссертации Ф.Д. Хамдамова (1989 г.).

Проведены исследования СТ полей на немагнитной примеси Sn в тяжелых редкоземельных металлах (РЗМ). Получена линейная зависимость СТ поля при $T=K(H_{ст}(0))$ от проекции спина редкоземельного иона на полный момент $(g-l)J$. Однако в различных матрицах наблюдаются отклонения от такой зависимости. Аналогичные отклонения наблюдались позже для других немагнитных примесей в РЗМ и для интерметаллических соединений РЗ в работах других авторов. Это говорит в пользу того, что гамильтониан обменного взаимодействия имеет не чисто спиновый характер, а содержит еще и другие взаимодействия, учитывающие орбитальное движение и спин-дипольный вклад.

Обнаружена большая температурная аномалия СТ поля на немагнитной примеси Sn во всех РЗ металлах, за исключением Gd, где аномалия не велика (А.С. Кучма, В.С. Шпинель, 1971 г.).

В последующих работах эти первые измерения были повторены более детально и при более низких температурах до $\sim 4,2$ К. Полученные результаты показывают, что измерения магнитных сверхтонких полей на немагнитной примеси в РЗМ являются методом, позволяющим получить дополнительные сведения о магнитной структуре в этих матрицах, представляющих большой интерес для физики магнетизма. Таким методом, например, было открыто явление гистерезиса СТ поля, обусловленное изменением магнитной структуры (локальной), вызванным внешним полем, которая после снятия поля не возвращается в исходное состояние из-за существования потенциального барьера (П.В. Богданов, М.Г. Козин, С.К. Годовиков, В.С. Шпинель, 1976 г.). Результаты первого этапа этих исследований вошли в кандидатскую диссертацию А.С. Кучмы (1974 г.). Продолжение этих работ отражено в кандидатской диссертации М.Г. Козина (1978 г.).

Теоретически показано, что поляризация электронов проводимости не пропорциональна намагниченности из-за сложного характера функции плотности состояний и этим можно объяснить возникновение температурной аномалии СТ поля для немагнитной примеси в 3d и 4f металлах (В.С. Шпинель, 1987 г.).

В исследованиях СТ взаимодействия на немагнитной примеси (Sn) в тяжелых РЗМ во внешних магнитных полях было обнаружено, что вокруг примеси возникает область возмущенной магнитной структуры. Эта примесная магнитная структура ведет себя как самостоятельный магнитный кластер и характеризуется эффектами разориентации магнитных моментов, магнитного гистерезиса магнитной структуры и



На семинаре

метастабильности. Кроме того, для такого магнитного кластера характерны собственная магнитная анизотропия, локальная магнитострикция и фрустрация моментов. Решен также ряд задач физики магнетизма РЗМ. В их числе доказательство неоднородного регулярного устройства спиральной магнитной структуры (подтверждение модели "спин-флип") и измерение двухионной анизотропии обменного взаимодействия. Ряд экспериментов выполнен с монокристаллами. В работе принимали участие сотрудники различных внешних организаций - Ю.П. Ирхин (Институт физики металлов УРО РАН, Екатеринбург), С.А. Никитин (физфак МГУ), А.И. Фиров (ИМЕТ РАН), Н.И. Морева (Гиредмет), А.А. Садовский (ИТЭФ). По результатам проведенных исследований С.К. Годовиковым защищена докторская диссертация (1994 г.).

Из измерений сверхтонкой структуры уровней ядра ^{155}Gd в металлическом гадолинии и интерметаллических соединениях GdAl_2 получен спин и магнитный момент уровня 86,5 кэВ ^{155}Gd и сверхтонкое поле на Gd в этих металлах (Н.Н. Десягин, Хуссейн Эль Саис, В.С. Шпинель, 1966 г.). Эти исследования вошли в кандидатскую диссертацию аспиранта из Египта Хуссейн Эль Саис (1967 г.).

^{119}Sn в матрице Gd, наблюдаемой при сверхнизких температурах, получен магнитный момент материнского изомерного ядра $^{119\text{m}}\text{Sn}$ (М.Г. Козин, С. Ласкович, В.С. Шпинель, 1982 г.).

Исследования угловых распределений γ -лучей ориентированных ядер

Методом ориентированных ядер (ОЯ) определены спины ряда возбужденных состояний ^{160}Dy , а также измерена зависимость эффективного поля на ядрах ^{160}Tb в матрице Tb от внешнего поля (В.П. Парфенова, В.Н. Анищенко, В.С. Шпинель, 1964 г.). В исследованиях ОЯ ^{160}Tb в матрице Gd по температурной зависимости угловой анизотропии γ -квантов 299 кэВ (в интервале температур $18\text{ мК} < T < 88\text{ мК}$) определены магнитное СТ поле и электрическое квадрупольное взаимодействие для примесных атомов ^{160}Tb в Gd. Измерения анизотропии ОЯ ^{147}Eu в Gd позволили определить магнитный момент ^{147}Eu , а также коэффициенты смеси мультиполей для ряда переходов в ^{147}Eu (А.Л. Ерзинкян, В.В. Муравьева, В.П. Парфенова, М. Фингер, В.С. Шпинель, 1977-1979 гг.).



На защите кандидатской диссертации А.С. Кучмы, 1974 г.
Из архива А.С. Кучмы.

С помощью предложенной авторами методики одновременной ориентации двух изотопов одного и того же элемента в одной матрице (^{56}Co , ^{58}Co) была определена доля примеси фермиевского взаимодействия в $2^+ \rightarrow 2^+\beta^+$ -переходе в ^{58}Co . Аналогичная методика сравнительных измерений ядерной ориентации двух изотопов ^{96}Nb и ^{92}Nb в матрице ZrFe_2 была использована для определения магнитного момента ядра ^{96}Nb . В той же матрице ZrFe_2 было измерено магнитное СТ поле на Y и Nb и время ядерной спин-решеточной релаксации $^{89\text{m}}\text{Y}$. Таким же методом в измерениях с ^{58}Co и ^{60}Co , ориентированных в матрице PdCo , получен верхний предел доли примеси электрического квадрупольного взаимодействия к магнитному дипольному. Исследована роль радиационных дефектов, возникающих при облучении ZrFe_2 γ -квантами высоких энергий. Проведены исследования динамики поведения радиационных дефектов, возникающих при облучении протонами интерметаллида ZrFe_2 по ядерной ориентации изомера ^{92}Nb (М.Д. Бондарьков, А.Л. Ерзинкян, В.В. Муравьева, В.П. Парфенова, Е.М. Дубонос, В.В. Туровцев, В.Н. Пономарев, 1980-1985 гг.).

Изучение магнитного поведения примесных атомов Fe и Co в матрице Pd методом γ -резонансной спектроскопии и ядерной ориентации

Изучение СТВ в сплавах 3d элементов с Pd представляют особый интерес в связи с уникальными магнитными свойствами Pd. Результаты измерений СТ полей на ядрах ^{60}Co в Pd в зависимости от концентрации Co в широком интервале концентраций, проведенные методом ориентированных ядер, показали, что сплав становится магнитным даже при предельно малых концентрациях 0,03 ат.% Co. Обнаружена резкая зависимость магнитного сверхтонкого взаимодействия от концентрации 3d-атомов (Н.Е. Алексеевский, В.Н. Анищенко, А.Л. Ерзинкян, В.П. Парфенова, В.С. Шпинель, 1966-1967 г.г.). По результатам этих работ защищена кандидатская диссертация В.П. Парфеновой (1968 г.). Результаты измерений показали, что существуют два противоположных по знаку вклада в СТ поле на ядрах атомов Co: положительный, создаваемый самим атомом Co, преобладающий при малых концентрациях Co, и отрицательный, создаваемый электронами проводимости, абсолютная величина которого растет с увеличением концентрации Co и становится больше положительного при концентрации больше 30%. Непонятное в то время падение СТ поля, наблюдаемого при концентрациях 0,03 ат.%, как показали

последующие γ -резонансные эксперименты, обусловлено переходом системы в состояние спинового стекла.

Методом эмиссионной γ -резонансной спектроскопии с источником ^{57}Co , введенным в разбавленные сплавы PdFe (0,01 ат.%Fe), в слабых магнитных полях ($H_0 < 500$ Э) при $T \approx 40$ мК открыто явление разориентации спинов Fe относительно внешнего поля, обусловленное знакопеременным обменным взаимодействием (взаимодействие РККИ) между примесными спинами, которое при более низкой температуре приводит к состоянию типа спинового стекла. В этих экспериментах в разбавленных сплавах (0,01 ат.%Fe–0,06 ат.%Fe) наблюдалась необычная для металлов медленная электронная релаксация, в результате чего на ядре Fe возникает отличное от нуля СТ поле. Обработка релаксационных спектров показала существование широкого набора частот релаксации, что является следствием распределения обменных взаимодействий в неупорядоченных сплавах (В.А. Андрианов, Е.П. Каминская, М.Г. Козин, А.Ю. Пентин, В.В. Туровцев, В.С. Шпинель, 1981-1983 гг.).

Измерения показали, что примесь Co в исследованных сплавах находится в состоянии Кондо с $T_K = 0,14 \pm 0,04$ К в согласии с результатами зарубежной работы. Наблюдавшаяся асимметрия спектров в области температур ниже 52 мК при $H_0 = 0$ объясняется возникновением молекулярного поля и появлением $H_{\text{ст}}$ на ядре Co. Это также говорит в пользу возникновения упорядоченного состояния типа "спиновое стекло", в спектре частот релаксации которого присутствуют частоты порядка или меньше частоты ядерной спин-решеточной релаксации для Co $\lambda_{\text{ср}} \sim 10^2$ рад/с. Эта частота релаксации в таком сплаве при сверхнизких температурах была измерена совместно с чехословацкой группой исследователей методом термоциклирования ориентированных ядер на установке с рефрижератором растворения ^3He в ^4He ЛЯП ОИЯИ (г. Дубна) (В.А. Андрианов, М.Г. Козин, А.Ю. Пентин, В.С. Шпинель, И. Энглич, Л. Лестак, М. Роттер, В.М. Фингер, В.Н. Павлов, 1984 г.). Результаты исследований магнитных свойств разбавленных сплавов Pd(Fe,Co) и ориентированных ядер методом гамма-резонанса вошли в диссертации В.А. Андрианова (1984 г.) и А.Ю. Пентина (1987 г.),

В последующих работах проведены систематические измерения ядерной спин-решеточной релаксации (СРР) ^{60}Co при сверхнизких температурах в сплавах PdCo, PdFe, PtFe и СРР ^{54}Mn в сплавах PdFe и PtFe (А.Л. Ерзинкян, В.П. Парфенова (НИИЯФ МГУ), Г.М. Гуревич, С.В. Топалов (ИЯИ РАН), П. Малинский, В.Н. Павлов,

М. Фингер, П. Чижек (ОИЯИ), М. Бартош, Л. Лештак, М. Роттер, Б. Седлак, М. Трхлик (Карлов университет, Прага) 1987-1990 г.г.).

Для ферромагнитного сплава с концентрацией примеси 0,15 ат.%Fe получены функции распределения молекулярных полей при различных температурах, показавшие, что спонтанная намагниченность сплава хорошо описывается перколяционной моделью. Такие функции распределения, определяющие основные свойства, получены также для сплавов в парамагнитной фазе во внешних полях. В этой фазе при уменьшении температуры до 0,55 К обнаружено плавное уменьшение "гигантского момента" на Fe с 10 μ B до 8 μ B, предсказанное теоретически.

Сплавы Co с элементами групп Pd и Pt

Проведены измерения СТ полей для ОЯ ^{60}Co в сплавах Co с элементами групп палладия и платины в широком интервале составов: PtCo, PtRh, PdPt и PdAu. Была предложена феноменологическая модель, хорошо описывающая концентрационные зависимости магнитного СТ поля на ядре Co (А.Л. Ерзинкян, В.П. Парфенова, Ю.Н. Соханенков, В.В. Муравьева, В.В. Туровцев, 1970-1979 г.г.). По результатам этих работ защищена кандидатская диссертация А.Л. Ерзинкяном (1975 г.).

Системы с конкурирующим или знакопеременным взаимодействием

Большой цикл работ посвящен изучению неколлинеарного (относительно направления макроскопической намагниченности образца) выстраивания атомных магнитных моментов примесного Mn в системах с конкурирующими или знакопеременными взаимодействиями. Для разбавленных сплавов PtFe и PdFeCo (<1 ат.%Fe) получены данные о зависимости степени неколлинеарности атомных магнитных моментов Mn от концентрации Fe и от внешнего магнитного поля. В ферромагнитной матрице PtFe (5 и 10 ат.%Fe) моменты примесного Mn сохраняют неколлинеарность в полях до 8,5 Т, в то время как моменты Fe полностью выстраиваются во внешнем поле >0,5 Т. Для описания эксперимента предложена модель и определена величина антиферромагнитного взаимодействия Mn-Fe (А.Л. Ерзинкян, В.П. Парфенова, С.И. Рейман (НИИЯФ МГУ), Г.М. Гуревич, С.В. Топалов, Д.Л. Шишкин (ИЯИ РАН), С. Капуста, В.Н. Павлов, Я. Словак, М. Фингер (ОИЯИ), Б. Седлак, М. Трхлик (Карлов университет, Прага), П. де Моор, П. Шуурманс, Н. Северийнс, Ц. Вандерпуртен, Л. Ваннесте, Дж. Вутерс (Католический университет, Левен, Бельгия) (1988-1993 г.г.)

Исследованы особенности локального магнитного поведения атомов ^{57}Fe (метод ЭМ) и примесных атомов ^{60}Co и ^{54}Mn (метод ОЯ) в системе с конкурирующими обменными взаимодействиями AuFe. Получено, что для образца AuFe (14 ат.%Fe) ориентация спинов Mn и Co соответствует представлению о состоянии спинового стекла. Гамма-резонансные спектры ^{57}Fe , полученные в диапазоне температур 5-300° К и во внешних магнитных полях 0,2-4 Т, позволили рассчитать функции распределения сверхтонких и обменных полей, действующих на Fe. Особенности этих функций указывают на сильную пространственную неоднородность обменного взаимодействия, которая является результатом конкуренции сильного прямого обмена Fe-Fe на малых расстояниях и более слабого знакопеременного обменного взаимодействия с большим эффективным радиусом (А.Л. Ерзинкян, В.П. Парфенова, С.И. Рейман (НИИЯФ МГУ), Г.М. Гуревич, С.В. Топалов (ИЯИ РАН), В.Н. Павлов, Я. Словак, М. Фингер (ОИЯИ), М. Трхлик (Карлов университет, Прага), П. де Моор, У. Вандерпуртен, Л. Ваннесте, Н. Севержин, П. Шуурманс (Католический университет, Левен, Бельгия, 1987-1994 г.г.).



На субботнике

Исследования сегнетоэлектриков

Методом γ -резонансной спектроскопии с источниками ^{119}Sn (23,8 кэВ), ^{57}Fe (14,4 кэВ) исследовались сегнетоэлектрики (СЭ) и сегнетомагнетики со структурой перовскита ABO_3 , а также ряд окислов того же типа, но не обладающих особыми электрическими и магнитными свойствами. Для проверки современных моделей сегнетоэлектричества принципиальное значение имеют экспериментальные данные о локальных электрических полях, характере химических связей в кристалле и сведения о динамике решетки, получаемые методом γ -резонансной спектроскопии.

Основные результаты исследования сегнетоэлектриков:

Получены данные о температурном ходе и величине градиентов локальных электрических полей в изучаемых кристаллах. Подробные мессбауэровские измерения, выполненные на изотопах ^{119}Sn и ^{57}Fe в широком температурном диапазоне (77–1200° К), показали, что при сегнетоэлектрических фазовых переходах в узлах В решетки ABO_3 возникает градиент электрического поля $E \sim 10^{16}$ В/см². Величина градиента с понижением температуры увеличивается. Характер температурного хода градиента и его величина, полученные методом ЭМ, находятся в хорошем соответствии с теоретическими расчетами, выполненными на основе электростатической модели сегнетоэлектричества.

По величине изомерного сдвига резонансных спектров определена ионность связи В-О в структурах ABO_3 , которая составляет величину 50%. Из эксперимента получено, что ионность связи В-О при переходе в сегнетоэлектрическое состояние практически не меняется.

Измерения вероятности эффекта Мессбауэра в случае сегнетоэлектриков типа перовскита, проведенные с высокой точностью, показали, что для ионов ^{57}Fe и ^{119}Sn изменение величины среднеквадратичного отклонения от положения равновесия за счет сегнетоэлектрического фазового перехода очень мало и составляет величину <5%.

Проведены прецизионные измерения температурного хода вероятности эффекта $f\text{F}$ изомерного и температурного сдвигов в сегнетоэлектриках (BaTiO_3 , PbTiO_3) и антисегнетоэлектрике (PbZrO_3). Обнаружен низкотемпературный ангармонизм, и произведена оценка формы потенциала межатомного взаимодействия.

В твердых растворах на основе сегнетомагнетика-антиферромагнетика BiFeO_3 (в системе $\text{BiFeO}_3\text{-SrSnO}_3$) в антиферромагнитной фазе впервые открыто СТ магнитное поле на ядрах (К.П. Митрофанов, А.С. Висков, Г.Я. Дрикер, М.В. Плотникова, Фам Зуй Хиен, Ю.Н. Веневцев, В.С. Шпинель, 1964 г.).

Проведены исследования СТ взаимодействий на ядрах примесных атомов ^{57}Fe в антиферромагнитных диэлектрических кристаллах типа KMeG_3 ($\text{Me}=\text{Mn, Fe, Co, Ni}$). Показано, что СТ магнитное поле на ядрах железа определяется спиновым и орбитальным моментами электронов иона железа и обладает немонотонной температурной зависимостью.

Изучены косвенные обменные взаимодействия на ядрах примесных атомов олова-119 в окислах железа (Fe_3O_4 , и $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) и хрома CrO_2 , которые широко применяются в качестве носителя информации в магнитной записи. Найдено, что индуцируемое на ядрах олова СТ магнитное поле является суммой двух вкладов от катионов железа, находящихся в А- и В-подрешетках, при преобладающем вкладе от катионов А-подрешетки (К.П. Митрофанов, С.И. Рейман, 1975-1978 г.г.). Результаты этих исследований вошли в кандидатскую диссертацию С.И. Реймана (1980 г.).

Исследования ВТСП с помощью эффекта Мессбауэра на ядрах ^{151}Eu , ^{119}Sn и ^{57}Fe

Еще до открытия высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП) методом γ -резонанса изучен ряд образцов, обладающих сверхпроводящими и сегнетоэлектрическими свойствами. В сверхпроводящей системе $\text{Ba}(\text{Bi}_{1-x}\text{Pb}_x)\text{O}_3$ обнаружены изменения изомерного сдвига в зависимости от состава образцов, коррелирующие с величиной температуры сверхпроводящих переходов.

В керамиках состава Eu123 для атомов европия и примесных атомов олова определены валентные состояния и температуры Дебая. Обнаружено слабое усиление колебаний атомов олова вблизи температуры сверхпроводящего перехода.

Впервые получены мессбауэровские спектры ^{57}Fe в монокристалле Y123 . Показано, что основной квадрупольный дублет (2 мм/с) обусловлен аксиально симметричным градиентом электрического поля.

Показано, что магнитная сверхтонкая структура спектров ^{57}Fe в Y123 , возникающая при низких температурах, связана с замедлением релаксации магнитных моментов железа (состояние типа спинового стекла).

Изучено изменение относительного содержания примесных атомов железа, имеющих различное кислородное окружение, в сверхпроводящей керамике Y123 в процессах кислородного обмена с окружающей средой. Показано, что прямая корреляция между интенсивностью трех квадрупольных дублетов в спектрах и общим содержанием кислорода в образце отсутствует. Изменения спектров зависят от термической предыстории образца и связаны с перераспределением кислородных вакансий.



Заседание актива общества “Знание” НИИЯФ МГУ

С помощью измерения угловой зависимости эмиссионных спектров в монокристалле сверхпроводника $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8-x}$ установлена локализация примесного ^{57}Co и параметры тензора ГЭП на ядре ^{57}Fe , связанные со сверхструктурой монокристалла (В.А. Андрианов, А.Л. Анисимова, М.Г. Козин, А.Ю. Пентин, И.Л. Ромашкина, В.С. Шпинель (НИИЯФ), Л.И. Леонюк (геофак МГУ), В.В. Мошалков (физфак МГУ), В.П. Шабатин, О.А. Шляхтин (химфак МГУ), 1988-1991 г.г.).

Исследования СТВ методом возмущенных угловых γ - γ корреляций

В группе ст.н.с. А.А. Сорокина с середины 70-х годов были начаты исследования сверхтонких взаимодействий (СТВ) методом возмущенных угловых корреляций (ВУК) каскадных гамма-квантов. Был создан автоматический 3-х детекторный спектрометр, обеспеченный необходимыми вспомогательными устройствами (печь, криостат, магнит, камера высокого давления до 100 кбар). Спектрометр обладает высоким временным разрешением (до 0,8 нс). Для обработки результатов измерений создан развитой пакет программного обеспечения.

Следует отметить, что, к сожалению, эта установка единственная в России, хотя метод ВУК в мировой практике получает все большее применение в исследованиях СТВ в фундаментальных и прикладных задачах.

За это время были проведены циклы исследований магнитного и электрического СТВ для ядер ^{181}Ta и ^{111}Cd в ряде систем: в магнитоупорядоченных интерметаллидах (фазах Лавеса) RFe_2 ($\text{R}=\text{Zr}, \text{Hf}, \text{Y}$, редкоземельные элементы), а

также RFe_3 ; в окислах, включая керамические ВТСП, а также в растворах органических металлокомплексов, применяемых в радиофармакологии.

Среди результатов следует отметить:

Выявлено и исследовано влияние радиационных дефектов после реакции (n,γ) в фазах Лавеса.

Показано, что в фазах Лавеса RFe_2 ионы Та обладают собственным локализованным 5d-моментом и связанным с ним магнитным моментом 0,2-0,5 μ_B . Этот вывод был сделан за 5 лет до теоретических и экспериментальных работ, в которых было показано, что формирование собственного момента ($\approx 0,5 \mu_B$) у 4d- и 5d-элементов в фазах Лавеса PFe_2 является общим правилом.

Выявлены качественные закономерности, определяющие величину локализованного момента для ионов Та (плотность электронов в 3d-зоне, межатомные расстояния).

Обнаружено уникально сильное влияние магнитного упорядочения на величину электрического квадрупольного взаимодействия ^{181}Ta в интерметаллидах RFe_2 и RFe_3 ("магнитное гашение квадрупольного взаимодействия").

На основании полученных результатов были защищены кандидатские диссертации Г.К. Рясным (1980 г.), З.З. Аксельродом (1984 г.), В. Пачеко Серрано (Колумбия, 1984 г.), М.Д. Бондарьковым (1985 г.), Л.Г. Шпиньковой (1987 г.), Г. Умар (Афганистан, 1989 г.) и Е.Н. Шириани (1993 г.).

Научно-исследовательская работа прикладного характера

В лаборатории совместно с ВНИИ Радиационной Техники (ВНИИРТ) велись работы по аттестации, калибровке и измерению γ -излучателей, необходимых для разработки и промышленного освоения изотопных приборов автоматического регулирования и контроля технологических процессов.

В ЛЯС было освоено производство Ge(Li) детекторов, позволившее получить высококачественные датчики для приборов радиационного контроля значительно раньше, чем производство таких детекторов было освоено нашей промышленностью. Такие детекторы изготавливались в порядке хозяйственного договора с ВНИИРТ.

Проведена работа по исследованию и улучшению параметров различных мессбауэровских излучателей. Разработанные в ЛЯС источники олова-119 получили широкое признание. В 1968 и 1969 г.г. такие источники были изготовлены в ЛЯС по заказу В/О "Изотоп" для поставки на экспорт. Технология изготовления источника в

виде станнатов бия был сообщен в ГИПХ (по запросу этого учреждения) в связи с необходимостью массового выпуска таких источников.

В лаборатории предложен метод и прибор для геологической разведки оловосодержащего минерала (кассетерита) и для определения его содержания в концентратах на обогатительных фабриках. Созданная в лаборатории аппаратура для резонансного анализа (РГА) оловосодержащих материалов прошла испытания в полевых условиях (совместно с ИНХС АН СССР и конторой "Востсибнефтегеофизика" Иркутского ГУ).

Методом γ -резонансной спектроскопии совместно с НИФХИ им. Л.Я. Карпова проведена работа по исследованию сегнетоэлектриков, позволившая получить данные о микроструктуре этих имеющих большое практическое значение веществ.

Исследования ЭМ в оловоорганических соединениях позволило подойти к решению вопроса о характере превращений оловоорганических стабилизаторов в ходе облучения γ -лучами ^{60}Co . Изучение композиции полиэтилена с добавками дималеата дибутилолова (ДДМ) позволили выяснить механизм стабилизирующего действия ДДМ в облученном полиэтилене, применяемом как изолятор в кабельной промышленности.

Методом Э.М. получены сведения о фазовом составе образцов оловянистой латуни в зависимости от условий термообработки и оценена противокоррозионная стойкость латуни в зависимости от характера воздействия окисляющих факторов.

В рамках Общесоюзной программы по мембранной технологии, предусмотренной Постановлением СМ СССР (1986 г.), методом гамма-резонансной спектроскопии достигнуты следующие результаты:

Установлено влияние различных методов подготовки полимерных мембран на фазовые и химические состояния железа в них и выработаны рекомендации по приготовлению мембран с заданными фазовым и химическим состоянием железа.

Разработаны методики нахождения функции распределения субмикроскопических суперпарамагнитных объектов по размерам. Проведено исследование субмикроструктуры перфорированных ионнообменных мембран отечественного и зарубежного производства. Изучено влияние различных факторов (напряжения, концентрации ионов Fe^{3+} и др.) на свойства и качество мембран.

В НПО "Энергия" внедрены результаты работы по выяснению физического механизма теплопроводности полупроводниковых покрытий криогенных магистралей. Предложен процесс, который позволил сократить в 3 раза

продолжительность и расход криогенного компонента на предпусковое захлаживание магистралей.

По линии сотрудничества МГУ–ЗИЛ разработан метод неразрушающего анализа фазового состава поверхности стальных изделий, прошедших различные виды упрочняющей обработки: химико-термическую, лазерную, абразивную, ионную имплантацию и др. Создана установка для оперативного неразрушающего контроля фазового состава поверхности стальных деталей автомобиля, которая прошла успешное испытание на Автозиле.



Выступление на заседании оргкомитета конференции по ядерной спектроскопии

Заключение

История лаборатории ядерной спектроскопии наглядно показывает, что в ходе спектроскопических исследований ядра были найдены новые ядерные методы изучения твердого тела на микроскопическом уровне, позволившие получить уникальную информацию в области динамики кристаллической решетки, магнетизма, сегнетоэлектриков, химии и др. Эти методы были применены также в исследованиях прикладного характера и нашли практические применения.

В ближайшие годы будут продолжены следующие исследования:

Изучение сверхтонких взаимодействий на примесных атомах в редкоземельных магнетиках и интерметаллидах переходных элементов методами мессбауэровской спектроскопии и возмущенных угловых корреляций.

Изучение магнитной микроструктуры магнетиков со статистическим распределением магнитных атомов и конкурирующими обменными взаимодействиями методами мессбауэровской спектроскопии и ядерной ориентации.

Метод возмущенных угловых корреляций будет применен для изучения структуры, устойчивости и динамики металлоорганических комплексов, используемых в радиофармацевтике.

Создание сверхпроводящих туннельных детекторов ядерного излучения и ядер отдачи.

Santa Fe, New Mexico 2011

Dear Professor Shpinel,

I am sending my congratulations to your 100th birthday. We unfortunately met only once, but our scientific paths have been parallel for many years. I have looked with admiration at your work. It is difficult to decide what is more impressive, that you have had an impact on so many different fields, or that you are still producing new ideas. You have applied the Mössbauer effect to many different problems. You have studied nuclear decay schemes, you have performed perturbed angular correlation measurements, and have explored superconductivity, to just mention a few of the fields. Your life is a shining example for young scientists (and also for older ones!). I hope that you can continue to be so productive.

Very best regards

Hans Frauenfelder

Hans Frauenfelder



*Профессор Г. Фрауэнфельдер в лаборатории ядерной спектроскопии НИИЯФ МГУ.
Слева направо: В.А. Снигирев, А.С. Кучма, Г. Чандра, Г. Фрауэнфельдер,
А.А. Сорокин, В.С. Шпинель. Из архива А.С. Кучмы.*



*Глубокоуважаемый Владимир Семенович!
Уральские мёсбауэровцы с особым
воодушевлением поздравляют Вас с
юбилеем (да ещё каким!!!)*

*История развития гамма-резонансной
спектроскопии неразрывно связана с
Вашим именем. Безусловно, российское
Мёсбауэровское сообщество существует и
процветает во многом благодаря Вам и
серьёзной постановке этого дела в
Советском Союзе. Ваша книга «Резонанс гамма-лучей в кристаллах» по признанию
нескольких поколений мёсбауэровцев является лучшим из того, что написано для
экспериментаторов по эффекту Мёсбауэра. Таким образом, все мы, так или
иначе, Ваши ученики.*

*Более полувека мёсбауэровская спектроскопия и «мёсбауэровский клуб»
живут и развиваются. Каждый раз, когда мы собираемся на конференции по
применению эффекта Мёсбауэра, а уральцам было доверено провести шесть
подобных мероприятий – четыре в Ижевске и два – в Екатеринбурге, мы
убеждаемся, что не зря занялись этим благородным делом.*

*Мы совершенно уверены, что Ваше славное имя, как представителя первого
поколения советских мёсбауэровцев, вписано золотыми буквами в историю
российской науки. Для нас настоящая радость и высокая честь поздравить Вас,
нашего старшего товарища, с днем рождения! Вы и сейчас, для нас, современного
поколения мёсбауэровцев, остаетесь великим примером.*



Елсуков Е.П.	Серигов В.В.
Шабашов В.А.	Цурин В.А.
Овчинников В.В.	Клейнерман Н.М.
Семенкин В.А.	Дорофеев Г.А.
Сагарадзе В.В.	Попов В.В.
Мушников Н.В.	Воронина Е.В.
Литвинов А.В.	Козлов К.А.

Многоуважаемый Владимир Семенович,

Разрешите поздравить Вас со Славным Столетием! Оно радостно для Вас, оно радостно и для нас, Ваших учеников, почитателей Вашего таланта и беззаветного служения Науке. Это явление знаменательно также для многих поколений неравнодушных к науке студентов. Символично то, что Век, прожитый Вами в трудах, полностью вливается в драматический многотрудный Век Ядерной Физики.

Мы знаем Вас, прежде всего, как человека, много сделавшего для становления и развития Мессбауэровской Спектроскопии в нашей стране. Мы – физики из Казани, чтим Вас как своего Наставника, с которым можно было обсудить самые различные проблемы науки; так было на берегах водохранилища под Харьковом, так было в горах под Алма-Атой, так было на Советских в МГУ, Дубне и во многих других местах нашей Родины.

Годы, прожитые Вами, имеют существенную особенность. Они прожиты Вами с полной отдачей энергии (таланта, доброжелательности) Науке и Людям, не в пример «хитрым» (Мессбауэровским) гамма фотонам. Осознавая эту особенность, нам думается, физики всего мира (прежде всего, мессбауэристы) должны прийти к общему заключению о необходимости введения новой характеристики творческого человека (фактор Шпинеля), определяющей его отдачу, а также теоретически возможного максимального ее значения (эталонного значения), реализованного экспериментально, лично Вами, дорогой Владимир Семенович. Это эталонное значение естественно принять за единицу измерения фактора Шпинеля (один Шпинель) и ввести производные единицы в целях практического употребления: миллиШпинель и микроШпинель.

Многоуважаемый Владимир Семенович! Конечно, мы отлично понимаем, что подлинным критерием нашей верности к Вам, как Патриарху науки, является наша верность Науке, которую мы избрали. Мы - это мессбауэристы, они идентичны друг другу, независимо от того, где трудятся, в Москве или в Казани, в Алма-Ате или в Пекине. Мессбауэристы – это историческая формация физиков, возникновению которой в ранние шестидесятые Вы имеете самое прямое отношение. Вас должно радовать, что мессбауэристы «получились». Это – люди, готовые прийти на помощь друг другу. В этом мы (Казанские мессбауэристы) убеждаемся все больше, в попытках расширить свою лабораторную базу.

Поздравляем Вас с легендарной датой в Вашей жизни, из нашей древней Казани. Пусть в Вашей жизни все будет торжественно и спокойно, но в дни Юбилея пусть жизнь вокруг Вас бьет ключом!

Тагиров Л.Р. (зав. каф. физики твердого тел, Казанский (Приволжский) федеральный университет), Садыков Э.К., Манапов Р.А., Митин А.В., Вагизов Ф.Г., Ивойлов Н.Г., Изотов В.Г., Пятаев А.В., Дулов Е.Н.

ЕЩЕ ОДИН ПОВОРОТ НА ПУТИ К АБСОЛЮТНОМУ НУЛЮ. СВЕРХПРОВОДАЩИЕ ТУННЕЛЬНЫЕ ДЕТЕКТОРЫ

М.Г. Козин

На протяжении своего долгого жизненного пути Владимир Семенович неоднократно менял главное направление своих научных интересов и каждый раз добивался в новой области серьезных, а порой и выдающихся результатов. Начиная с 70-х годов прошлого века, эти интересы имели одно общее свойство – они были связаны с использованием низких и сверхнизких температур. Любовь Владимира Семеновича к криогенике выражалась как в выборе объектов исследования (редкоземельные магнетики, спиновые стекла, ВТСП), так и в развитии экспериментальной базы (покупка гелиевого ожижителя и рефрижератора растворения He3-He4 , разработка собственными силами различных криомагнитных систем). Последний такой поворот он совершил в начале 90-х годов прошлого века, закончив цикл работ по мессбауэровскому исследованию высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) на основе оксидупратов. К этому времени стало ясно, что получить что-то существенно важное для проблемы ВТСП с помощью мессбауэровской методики вряд ли удастся, но интерес к физике сверхпроводимости и ее применениям у него остался.

В результате Владимир Семенович обратился к исследованию сверхпроводящих туннельных переходов (СТП) на основе ниобия в качестве детекторов квантов излучения мягкого рентгеновского и гамма-диапазонов (с энергией порядка 1–10 кэВ). Что подтолкнуло его заняться именно этой проблематикой – неизвестно, но примечательно, что первооткрыватель ядерного гамма-резонанса без отдачи Рудольф Мессбауэр, как выяснилось позднее, также отошел от исследований, связанных с использованием эффекта, названного его именем, и занялся изучением СТП детекторов. По-видимому, это свидетельствует о том, что внутренняя логика развития науки приводит выдающихся ученых к необходимости двигаться в одинаковом направлении.

Как обычно в подобных случаях, Владимир Семенович стал привлекать на свою сторону людей, готовых решительно поменять тематику работы и создавать экспериментальную базу для нового направления исследований. При этом он обычно говорил, что «в этой области есть много интересного», хотя поначалу это было скорее интуитивное ощущение, чем реальное знание ситуации. В это время он принял на

работу выпускницу кафедры физики низких температур и сверхпроводимости физического факультета МГУ И.Л. Ромашкину.

Надо сказать, что Владимир Семенович сам никогда не ходил в библиотеку, знакомился с литературой по новому вопросу с помощью сотрудников и постепенно овладевал ситуацией. Так и на этот раз результатом «погружения» Владимира Семеновича в «море» физики сверхпроводимости и низкотемпературных детекторов явились препринт и статья [1], в которых были обрисованы возможности новых детекторов для ядерной спектроскопии: высокое энергетическое разрешение, низкий энергетический порог и возможность регистрации ядер отдачи в твердом теле.

После этого надо было приступать к практической работе, и Владимир Семенович привлек к ней М.Г. Козина, В.А. Андрианова и радиогруппу в составе С.А. Сергеева и Л.В. Нефедова. Начинали практически с нуля, с подготовки к измерениям при гелиевых и субгелиевых температурах, создания схем и условий для измерения вольтамперных характеристик (ВАХ), поиску первых образцов СТП.

Сама идея применения СТП для регистрации излучения была высказана Вудом и Вайтом и реализована для альфа-частиц еще в 1969 г. [2], однако достаточно интенсивные исследования начались только в 80-х годах прошлого века. Мы знакомимся с ними по работам М. Куракадо, Д. Тверенболда, Д. Ван Вехтен и др.

Большую помощь на начальном этапе работы оказали консультации М.Ю. Куприянова. Цифровой осциллограф С1-9, безвозмездно предоставленный В.К. Корневым, исправно служит нам до сих пор. Первые образцы чипов с различными СТП для тестирования аппаратуры были предоставлены этими сотрудниками ОМЭ НИИЯФ. В дальнейшем, однако, использовать напылительную базу физического факультета для изготовления образцов по ряду причин не удалось, и, благодаря содействию М.Ю. Куприянова, сотрудничество по изготовлению образцов сложилось с лабораторией В.П. Кошельца из ИРЭ РАН им. В.А. Котельникова. Это сотрудничество продолжается и в настоящее время.

Вспоминая этот период работы, хочется отметить важные качества Владимира Семеновича как руководителя и начальника. Он не только задавал общее направление работы, но и, что называется, «держал руку на пульсе». Этому способствовали регулярные обсуждения достигнутых результатов и испытанных неудач с постановкой конкретных целей, которых следует достичь.

Поражает необыкновенная работоспособность, целеустремленность и четкость мысли Владимира Семеновича. Если обсуждение затягивалось и мы начинали терять нить разговора, он возвращал нас к предмету дискуссии и расставлял точки над *i*.

Переубедить его в чем-то было необыкновенно трудно, и на предложения, которые его не устраивали, он отвечал коротко: «Это нет». Если же он проникался какой-то идеей, она овладевала им настолько, что он всеми силами стремился достичь ее воплощения.

Помимо регулярных обсуждений, Владимир Семенович совершал ежедневные, точнее ежевечерние обходы лаборатории, которые начинались с вопроса: «Ну как у вас тут?» При этом достигнутые результаты и темп работ его, как правило, не устраивали, что неудивительно, поскольку круг задач, ставившихся Владимиром Семеновичем, всегда был значительно шире наших реальных возможностей. При наличии соответствующего финансирования Владимир Семенович мог бы загрузить работой по своим идеям не только всю лабораторию, но и целый институт.

Время для этого, однако, было неподходящее. Финансовая поддержка по грантам «Университеты России» и ректорские надбавки касались только заработной платы и не позволяли развивать материальную базу исследований. Старая инфраструктура постепенно приходила в упадок и не восстанавливалась из-за отсутствия средств и кадров. Эти трудности и скептическое отношение окружающих не способствовали успеху работы, однако первые результаты, содержащие импульсы и спектры от источника ^{55}Fe , зарегистрированные с помощью СТП на основе ниобия с барьером из AlO_x , были получены и опубликованы [3].

Состояние работ в области криогенных детекторов, достигнутое к 1995 г. в мире, было оценено в обзоре [4]. К этому времени уже было проведено 6 Международных рабочих совещаний по низкотемпературным детекторам (International Workshops on Low Temperature Detectors – LTD), и мы начали устанавливать прямые контакты с зарубежными учеными, что стало более простым делом благодаря появлению у нас интернета и электронной почты. Кроме того, начиная с 1998 г. результаты нашей работы докладывались на международных конференциях. Это позволяло не только заявить о себе, но и оценить уровень работы и наметить возможные направления развития исследований. Как уже упоминалось, Владимир Семенович был полон энтузиазма и творческих планов. Этому способствовала поддержка РФФИ двух наших проектов, которыми он руководил в 1999-2003 гг. В результате за эти годы был создан комплекс аппаратуры и программного обеспечения, позволяющий тестировать СТП по ВАХ на различных температурных уровнях, регистрировать и анализировать импульсы и амплитудные спектры, возникающие при облучении СТП радиоактивными источниками. Надо

заметить, что сделать это в эпоху общего упадка науки после распада СССР было необыкновенно трудно. Все, что было создано, было сделано благодаря материальным запасам, сохранившимся с доперестроечных лет, и благодаря энтузиазму и работе с полной самоотдачей.



90-летие В.С. Шпил'ня. С профессором Р.Н. Кузьминым, 2001 г.

Мы сосредоточились на исследовании асимметричных переходов сверхпроводник-изолятор-сверхпроводник (S'IS) с одним рабочим электродом, имеющим многослойную структуру, обеспечивающую направленную диффузию квазичастиц к барьеру. Эта схема имеет определенные преимущества перед симметричными переходами, в частности, позволяет избежать двойной структуры пиков в спектрах. При исследовании таких образцов выявлялась роль различных процессов, сопровождающих поглощение кванта излучения в одном из электродов детектора, и их влияние на энергетическое разрешение. Была осознана роль диффузии в плоскости электродов детектора в неоднородном уширении линии. Одними из первых мы обратили внимание на роль обмена фононами между электродами детектора [5,6], что проявлялось, например, в появлении аномальных двуполярных импульсов. Изучение зависимости спектров от напряжения смещения позволяло менять относительную роль различных каналов потерь квазичастиц, а также роль электронного и дырочного каналов туннелирования.

Однако, мысль Владимира Семеновича опережала скорость наших исследований, и он планировал перейти к исследованию переходов нормальный

металл-изолятор-сверхпроводник (NIS), что требовало перехода к работе при более низких температурах. Для этого необходимо было адаптировать рефрижератор растворения He3-He4 к работе с детекторами, что и было сделано ценой огромных усилий. Владимир Семенович, однако, хотел радикально переделать криостат рефрижератора, чтобы иметь возможность более быстрой смены образцов без снятия криостата с установки. Параллельно шла работа по изготовлению металлического откачного криостата взамен стеклянного для более безопасной работы. Обе эти задумки остались неосуществленными ввиду нашей малочисленности и, с другой стороны, из-за прекращения работы механических мастерских института. Еще одной трудностью было отсутствие необходимого комплекта приборов для установок с откачным криостатом и с рефрижератором. Приходилось разукрупнять одну установку, предназначенную для работы при температурах откачки He-4 , переносить приборы в другую комнату и собирать установку на сверхнизкие температуры. Несмотря на это, нам удалось провести измерения на рефрижераторе на SIS переходах и сравнить работу детекторов при 0,3 К и 1,35 К. Результаты были представлены на LTD-9 в США [7]. Эта работа показала, что инактивация нижнего электрода детектора с помощью алюминия не является удачной и надо искать другие пути. Но под этой работой Владимир Семенович уже не поставил своей подписи, т.к. он рассматривал запуск рефрижератора только в плане подготовки к реализации его идей, касающихся детекторов на NIS-переходах. Когда же он понял, что практически изготовить в наших условиях не то что сложные конструкции, которые роились в его голове, но даже отдельный NIS-переход представляет собой слишком сложную организационную и технологическую задачу, он вообще отказался от участия в экспериментальной работе и предоставил нам возможность работать самостоятельно. Тем не менее, в результате работ группы были созданы туннельные детекторы с разрешением в 2 раза лучшим, чем у традиционных Si-детекторов.

Сам же он занялся, можно сказать, изобретательской деятельностью, направленной на устранение недостатков, присущих СТП-детекторам, одним из которых является их малая площадь. Первым таким изобретением явилась конструкция [8] с многоканальным микрокалориметром на горячих электронах. В этой конструкции сведены вместе сразу несколько идей, позволяющих в случае их успешной реализации преодолеть существующие трудности: это идея многоканальности детектора, идея усиления сигнала уже в самом детекторе с помощью каскада NIS-переходов, идея общего выходного каскада, позволяющая иметь общий для всех каналов усилитель. Следует отметить проявившийся в этой

работе характерный стиль Владимира Семеновича-изобретателя: не сдерживать полет своей фантазии имеющимися технологическими возможностями, хотя практическая реализация этих идей наверняка потребовала бы поэтапной проверки каждого элемента конструкции.

Идея усиления сигнала детектора с помощью каскада NIS-переходов (больше двух) подробно рассмотрена в работе [9]. В более общем плане предложенная конструкция может рассматриваться как твердотельный электронный умножитель, работающий при сверхнизких температурах. Следует заметить, что Владимир Семенович никогда не рассматривал создание детекторов с рекордными характеристиками как самоцель. Он всегда имел в виду конкретные возможные применения как для ядерной спектроскопии, так и для других приложений. Не имея еще в своем распоряжении низкотемпературного микрокалориметра, он уже рассматривал возможность изучения спектров ядер отдачи при бета-распаде [10] радиоактивных атомов, введенных в N-электрод NIS-микрокалориметра. При этом опять-таки его не смущали технологические трудности реализации такой постановки задачи.

Дальнейшее развитие идей Владимира Семеновича по увеличению площади и размеров сверхпроводящих детекторов и расширению их энергетического диапазона содержится в работах [11, 12]. Для этих работ характерны творческое использование Владимиром Семеновичем известных идей и огромного собственного опыта, позволяющие предлагать оригинальные конструкции. На основе простых оценок для времени направленной диффузии горячих электронов в многослойном поглотителе из сверхпроводников с последовательно уменьшающейся шириной энергетической щели и литературных данных по времени электрон-фоонного взаимодействия для используемых в конструкции материалов он сделал вывод о возможности создания детектора с рабочей площадью порядка нескольких квадратных миллиметров и на энергию до примерно 300 кэВ. Причем параметры детектора могли бы быть значительно улучшены в случае использования особо чистых сверхпроводников.

Последней в ряду изобретательских работ Владимира Семеновича стоит опубликованная в 2010 году статья [13], содержащая совершенно оригинальную идею использования вращающегося массивного сверхпроводника в качестве поглотителя детектора, что должно позволить разделить ток куперовских пар и ток квазичастиц за счет различия их инерционных свойств.

В какой степени и в какой форме удастся реализовать идеи, заложенные в проектах Владимира Семеновича, покажет будущее. Пока же до экспериментальной

проверки их можно рассматривать как стремление установить свой приоритет в новой области.

В рассматриваемый период Владимир Семенович опубликовал еще две работы, не связанные с детекторной тематикой. Одна статья посвящена полемике вокруг истории советского атомного проекта [14]. В этой статье поражает отличная память Владимира Семеновича, четкость аргументации и ясность позиции, умение доказать свою правоту несмотря на то, что, казалось бы, за давностью лет это уже не имеет значения. Без дальнейших комментариев приведем заключительный абзац этой статьи: «Все изложенное выше позволяет заключить, что начать работы по выяснению возможности использовать энергию урана в военных целях в СССР можно было еще до Отечественной войны и независимо от работ за рубежом, если бы наши предложения были приняты в свое время, т.е. за два года до принятия решения ГКО об организации работ по урану».

Другая работа [15] написана по просьбе А. Ната (Amar Nath), редактора специального выпуска MERDJ, посвященного эмиссионной мессбауэровской спектроскопии. А. Нат работал у А.Н. Несмеянова в то время, когда другой будущий известный индийский ученый Г. Чандра (Girish Chandra) проходил стажировку в лаборатории Владимира Семеновича. Этот эпизод свидетельствует о том, что наука в СССР была организована гораздо лучше, чем в современной России. Зарубежные молодые ученые приезжали учиться к нам, в то время как теперь молодые (и не очень) российские ученые вынуждены уезжать за рубеж, чтобы иметь возможность вести плодотворную научную работу.



*IV Международная конференция по
сверхтонким взаимодействиям.
Ужгород, июнь 1991.*

*Слева направо: Д. Чаплин (D.H.
Chaplin), Д. Ригель (D. Riegel), В.С.
Шпинель, И.Л. Ромашкина.
Из архива А.С. Кучмы.*

В заключение хотелось бы поделиться мнением о том, чем объясняется исключительное творческое долголетие Владимира Семеновича. Вероятно, здесь имеет место комплекс причин, но среди них можно выделить две главные. Во-первых, любовь к своему делу, интерес к науке, к физике и, в то же время, любовь к своей Родине, стремление защитить ее и поработать на ее благо. Во-вторых, активность не только интеллектуальная, но и физическая. Например, в 1968 г. Владимир Семенович совместно с Н.Н. Делягиным и А.С. Кучмой совершил горный поход по Тянь-Шаню по маршруту Фрунзе (Бишкек) - Пржевальское-Каракольское ущелье - перевал в соседнюю долину - озеро Иссык-Куль – Рыбачье - Фрунзе. Всю жизнь Владимир Семенович катался на горных лыжах. Моя аспирантская жизнь под его руководством началась в 1974 г. с визита к Владимиру Семеновичу в больницу, где он лечил горнолыжную травму (растяжение голеностопа). В марте 1989 г. Владимир Семенович катался в урочище Чимбулак, поднявшись от высокогорного катка Медео пешком с лыжами на плече после проведения III Всесоюзного совещания по ядерно-спектроскопическим исследованиям сверхтонких взаимодействий в Алма-Ате. Как известно, «быть может, горные лыжи и не являются счастьем, но вполне его заменяют».

И еще, хотелось бы отметить Владимира Семеновича как увлеченного художника-любителя. Примеры его творчества можно найти на цветной вкладке в конце этого издания.

- [1]. В.С. Шпинель и И.Л. Ромашкина. *Возможности применения сверхпроводящих детекторов для прецизионной ядерной спектроскопии и регистрации ядер отдачи*. Препринт НИИЯФ МГУ 91-39/243. Москва 1991. Известия РАН, серия физическая, 1992, т.56, №7, с.74-88.
- [2]. G.H. Wood and B.L. White. *Pulses induced in tunneling currents between superconductors by alpha-particle bombardment*. Appl. Phys. Lett., 1969, v.15, №8, p.237-239.
- [3]. В.А. Андрианов, М.Г. Козин, Л.В. Нефедов, И. Л. Ромашкина, С.А. Сергеев и В.С. Шпинель. *Изучение сверхпроводящих туннельных переходов Nb/Al/Al_xNb для детектирования мягкого рентгеновского и γ -излучения*. Известия РАН, серия физическая, 1996, т.60, № 11, с.184-191.
- [4]. В.С. Шпинель, В.А. Андрианов и М.Г. Козин. *Состояние работ в области криогенных детекторов*. Известия РАН, серия физическая, 1995, т. 59, №11, с.2-20.
- [5]. В.А. Андрианов, В.П. Горьков, М.Г. Козин, И.Л. Ромашкина, С.А. Сергеев, В.С. Шпинель, П.Н. Дмитриев, В.П. Кошелец. *Электронные и фононные эффекты в сверхпроводящих туннельных детекторах рентгеновского излучения*. Физика твердого тела, 1999, т.41, №7, с.1168-1175.

- [6]. V.A. Andrianov, P.N. Dmitriev, V.P. Koshelets, M.G. Kozin, I.L. Romashkina, S.A. Sergeev and V.S. Shpinel. *Back tunneling and phonon exchange effects in superconducting tunnel junction X-ray detectors*. Physica B, 1999, v.263-264, p.613-616.
- [7]. V.A. Andrianov, P.N. Dmitriev, V.P. Koshelets, M.G. Kozin, I.L. Romashkina, S.A. Sergeev. *STJ X-ray detectors with killed electrode*. Proc. of 9-th Int. Workshop on Low Temp. Detectors (LTD-9), 22-27 July, 2001, Univ. of Wisconsin, Madison, Wisconsin, USA. American Institute of Physics, Melville, New York, 2002. AIP conf. proc., v. 605, p.161-164.
- [8]. В.С. Шпинель. *Принцип работы γ -спектрометра с многоканальным микрокалориметром на горячих электронах*. Известия РАН. Серия физическая, 2000, т.64, №11, с.2216-2220.
- [9]. В.С. Шпинель. *Электрон-фононный умножитель с каскадом туннельных NIS-переходов и микрокалориметрами на горячих электронах*. Ядерная физика, 2002, т.65, №1, с.40-43.
- [10]. В.С. Шпинель. *Возможность изучения спектров ядер отдачи после β -распада с помощью низкотемпературного микрокалориметра*. Известия РАН. Серия физическая. 2004, т.68, №8, с.1078-1079.
- [11]. В.С. Шпинель. *Проект сверхпроводящего детектора большого размера с направленной диффузией горячих электронов и микрокалориметром*. Ядерная физика, 2005, т. 68, № 12, с.2096-2100.
- [12]. В.С. Шпинель. *Низкотемпературный детектор с многослойным сверхпроводящим поглотителем большой площади*. Известия РАН, серия физическая, 2006, т.70, №5, с.748-750.
- [13]. V.S. Shpinel. *Inertial currents in rotating superconductor and γ -quanta detector with rotating superconducting absorber*. Physica C, 2010, v.470, №4, p.120-122.
- [14]. В.С. Шпинель. К статье Г.А. Гончарова, Л.Д. Рябева «О создании первой отечественной атомной бомбы». УФН (Письма в редакцию), 2002, т.172, №2, с.235-236.
- [15]. V.S. Shpinel. *MES of 57-Co in Pd(Fe,Co) and HTS's*. Mossbauer Effect Reference and Data Journal, 2007, v.30, №5, p.112-113.

Мы приводим рукопись на сегодня самой поздней из статей В.С. Шпинеля (опубликована в *Physica C. Superconductivity and its Applications*, 2010, v.47, p. 120), отражающую научные интересы Владимира Семеновича на пороге своего 100-летия и его нестандартный подход к решению актуальных проблем физики и техники.

Inertial currents in rotating superconductor and γ -quanta detector with rotating superconducting absorber

V.S. Shpinel

Boleyn Institute of Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State University, 119991 Moscow, Russia

Abstract

A method of measurement of inertial currents arising in the volume of a massive rotating pure superconductor is considered. Different mechanisms of formation of the currents for normal and superconducting electrons lead to different directions of their motion in the superconductor. Quasiparticles experience the centrifugal force and move along the radius, while superconducting pairs besides the centrifugal force experience the Coriolis force of inertia, that leads to the movement of the pairs directed at an angle to the radius. Different directions of normal and superconducting currents give basic possibility to measure these currents separately. It is shown that such possibility allows to create, in particular, a γ -quanta detector with a massive rotating superconducting absorber.

Keywords:

rotating superconductors, detectors of γ -quanta
PACS: 85.25.-j, 79.40.+n

1. Introduction

As it is known, external electric field does not penetrate into the volume of a massive superconductor and an electric current can flow only in its thin surface layer. Therefore external electric field cannot affect the motion of normal and superconducting electrons (quasiparticles and BCS pairs) in a superconductor on a distance from a surface larger than the penetration depth of the electric field. However the electric current in superconductor volume can result from the action of an inertial field of forces arising, for example, in rotating superconductor. Present article concerns such inertial currents and their possible application.

Consider a superconductor below the critical temperature infinitely rotating around a fixed axis with angular velocity ω . The centrifugal field of the inertia forces arising in such rotation creates, for normal and superconducting electrons, centrifugal acceleration $\omega^2 r$, where r is the particle-axis distance. In the frame of the rotating superconductor, centrifugal acceleration is directed along the radius from the axis to periphery. If in the centrifugal field the particle moves along the radius to periphery with a velocity v , the Coriolis field of inertia additionally arises, creating the acceleration $2v\omega$ directed perpendicular to the radius opposite to the rotation direction. In general, the particle acceleration will be determined by the sum of two terms (in the vector form in the rotating frame):

$$a = \omega^2 r + 2[v \times \omega]. \quad (1)$$

The superconducting electrons move without collisions, i.e. without resistance. In contrast, quasiparticles move freely only on a length of a free path during relaxation time τ and owing to the collisions, basically with phonons, experience resistance. As a result, trajectories of the superconducting electrons and quasiparticles will differ, which allows, in principle, to separate them and use to advantage. In section 2 we discuss the trajectories of superconducting and normal electrons and in section 3 consider a possible scheme of measurements of the normal electron current. Finally, section 4 suggests a design for the γ -detector based on the separation of streams of normal and superconducting electrons.

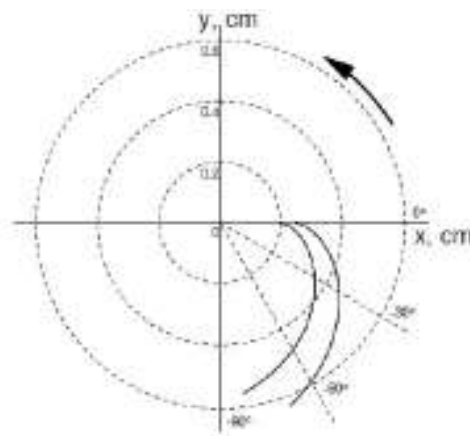


Figure 1: Trajectories of the BCS pairs in the rotating coordinate system. The arrow shows the direction of rotation.

2. Trajectories of normal and superconducting electrons

First consider the motion of the BCS pairs (superconducting electrons). We assume that at time $t = 0$ the particle was at rest at a distance r_0 ($x(0) = r_0$, $y(0) = 0$) from the rotation axis of the superconductor, which defines the z -axis. Integrating equation (1) in Cartesian coordinates gives the trajectory in the parametric form

$$x(t) = r_0(\cos \omega t + \omega t \sin \omega t) \quad (2)$$

$$y(t) = r_0(\omega t \cos \omega t - \sin \omega t) \quad (3)$$

The trajectories are independent of ω provided the time scales as ω^{-1} . As example, in figure 1 trajectories are shown for $r_0 = 0.2$ cm and $r_0 = 0.25$ cm for the angular velocity $\omega = 2\pi \cdot 3000$ rad \cdot sec $^{-1}$ during the first $1.4 \cdot 10^{-4}$ seconds. The motion of the superconducting electrons substantially deviates from the radial.

Now consider motion of quasiparticles. In this case the centrifugal force acts on quasiparticle moving on an isoenergetic surface with the Fermi velocities, having, without external forces, symmetric distribution relative to the origin of coordinates in the momentum space. Then the quasiparticle velocities constituent the current are directed along the radius and in the opposite direction. At such change of a sign of the velocity, the Coriolis force changes sign too. As a result of this and broken character of the motion, the Coriolis force practically has no influence. Therefore the quasiparticles will move only along the radius under the influence of the inertial force. This movement of quasiparticles has the same character as the movement of quasiparticles under the influence of electric field in a normal metal where the density of thus arising electric current obeys the Ohm law.

It should be stressed that the above analysis of trajectories relates to the movement of individual particles: normal and superconducting electrons. Now take into account that the superconducting electrons form a condensate filling the body of the superconductor. In order to observe the inertial current caused by the moving condensate, it is necessary to create the closed circuit consisting of a superconducting part and a part of a metallic wire connecting electrodes. The inertial current of the condensate will create a direct current in the circuit. Therefore the movement of the condensate will be stationary, i.e. the speed of particles will depend only on coordinates \vec{r} , but not on time and acceleration ($\vec{a} = 0$). The trajectories of 'particles of condensate' (or 'points of condensate')¹ are stationary and have

¹The nomenclature is taken in analogy with hydrodynamics [1].

the appearance shown in figure 1. However in this case the trajectory represents movement not of a single particle, but simultaneous movement of many particles of the condensate.

Different directions of the inertial movement of normal and superconducting electrons gives basic possibility to separate currents of particles of different types and to measure separately normal and superconducting currents.

In connection with this conclusion it is necessary to notice, that some time ago, in a number of works measurements of a magnetic field arising in a rotating superconductor - the so-called moment of London have been carried out [2]. Continuous and hollow cylinders from different materials were investigated and other conditions were varied. In all cases the prediction of London has been confirmed. The magnetic field arising at rotation of a cylinder, is caused by currents flowing in a thin surface layer with penetration depth λ , therefore they are very small just as magnetic fields created by them are small. The currents considered in the present paper flow in another direction and have a character distinct from currents studied in the aforementioned papers.

3. Basic scheme of measurements

Let us consider the basic scheme of measurements of a current of normal electrons. Let the sample of a superconductor has the form of a ring with external and internal radius of $r_{\text{ext}} = 0.6$ cm and $r_{\text{int}} = 0.2$ cm, respectively, with a thickness, for example, of 0.2 cm, which is appropriate for a particular below considered application. The ring is clamped tightly on a shaft and put in the rotary movement, as in a centrifuge. The current of normal electrons in any plane of rotation will be directed along the radius to periphery. To create the closed circuit for these electrons, it is necessary to connect external and internal electrodes of the ring by a metallic wire. To rule out the entering of superconducting pairs into the closed circuit for normal electron current, it is necessary to block trajectories of superconducting electrons for them not to reach the external cylindrical surface of the sample. For this purpose the whole ring is broken across the thickness into 6 sections by means of thin-walled metal partitions, with parts of them connected with the internal and external electrodes, respectively. The scheme of the partitions is displayed in figure 2, where dashed lines show the trajectories of the superconducting particles (only for two sections) from figure 1. The surface of the partitions is covered partly from one side by insulator to block the current between the partitions connected with different electrodes.

The considered features of trajectories, allowing to spatially separate the streams of normal and superconducting electrons, can be used for various applications. For example, the rotating superconductor can be applied as a massive γ -quanta detector. If we bring the superconductor temperature to low enough level, the density of normal electron current becomes small. Then the absorption of quantum of the radiation, will produce excess number of quasiparticles, which will result in a current pulse readily detected against vanishing direct current of quasiparticles.

4. Basic design of the γ -quanta detector

Let us consider the γ -quanta detector design with a ring superconducting absorber divided into the sections, similar to one in section 3.

If the temperature of the superconductor, T , is less than the gap $2\Delta(T)$ at this temperature, then thermal excitation of quasiparticles does not occur and the density of the quasiparticle current vanishes. Such a situation arises at temperature $T < 0.5 T_c$ [3]. For an absorber from Nb ($T_c = 9.5$ K) or Pb ($T_c = 7.19$ K) the temperature T is less than 4.75K and 3.6K, respectively. It is convenient to use the two-contact SQUID to measure the current of normal electrons induced by the voltage across the electrodes of the rotating ring absorber. In this case the measured current should pass a solenoid rotating together with the absorber. The solenoid is mounted so that the magnetic flux through it is directed along the rotational axis z . This magnetic flux enters the SQUID, which wiring is brought out from the cryostat to an electron device at room temperature.

In figure 3 the basic scheme of the detector design is proposed. The superconducting absorber (1) is mounted on the rotating tube from stainless steel (10); (3) and (4) are the absorber holders. The solenoid passing the central SQUID hole (6) is wound around the slender column (5) of the holder. Crosses indicate the Josephson junctions; (2) is the radioactive source; (7) and (8) are helium and nitrogen dewars, respectively; (9) is the μ -metal protection. Cooling of the absorber to operating temperatures is carried out by a stream of vapor or liquid helium directed by a tube or a capillary, immersed in the helium dewar. The cooling system as well as connection of the SQUID to electronic units at room temperature are not shown.

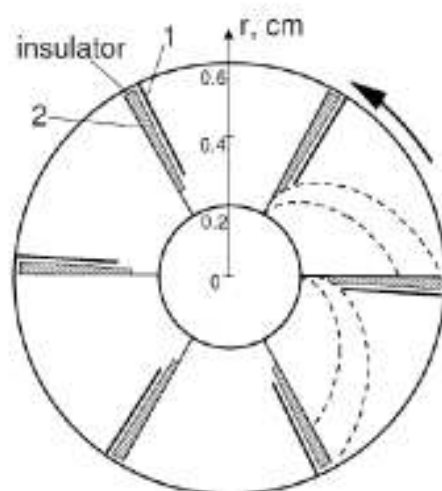


Figure 2: A superconductor of the ring form with two sets of partitions (1) and (2), connected to external and internal electrodes, respectively, and insulators. The arrow shows the direction of rotation.

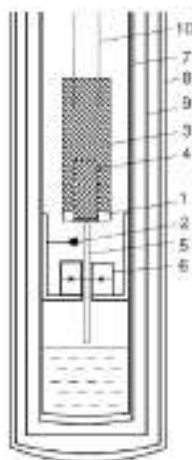


Figure 3: Basic scheme of the γ -quanta detector design: superconducting absorber (1); radioactive source (2); absorber holders (3) and (4); slender column (5); SQUID (6); helium dewar (7); nitrogen dewar (8); μ -metal protection (9); rotating tube (10).

The value of the electromotive force (emf) in the closed circuit formed by the ring absorber and an external conductor (solenoid) can be obtained from the work done by the inertial force, $\mathcal{E} = m\omega^2(r_{\text{ext}}^2 - r_{\text{int}}^2)/2$. For example, for $\omega = 2\pi \cdot 100$, $r_{\text{ext}} = 0.6$ cm, $r_{\text{int}} = 0.2$ cm this gives $\mathcal{E} = 5.7 \cdot 10^{-23}$ erg $\approx 3.6 \cdot 10^{-11}$ eV. For a rough estimate of the signal value arising due to excitation of quasiparticles, we accept that the γ -quantum with the energy of $E_\gamma = 10$ keV produces $\sim 10^6$ quasiparticles, which corresponds to the charge $\Delta Q = 1.6 \cdot 10^{-13}$ C. This charge will trigger a current in the closed circuit, including the solenoid, $I = \mathcal{E}/(R_i + R)$, where R_i is the normal resistance of the absorber at $T < 4.2$ K ($R_i \sim 10^{-6}$ ohm), which can be neglected in comparison with the resistance of the external conductor (mainly of the solenoid) R . The latter can be taken as $R \sim 10^{-6}$ ohm. It follows $I \sim 3.6 \cdot 10^{-7}$ A and the passing time of the current pulse $\Delta t \sim \Delta Q/I \sim 10^{-6}$ sec.

It is known that rotation of a superconductor with angular speed ω is equivalent to the magnetic field $\vec{H} = (2mc/|e|)\vec{\omega}$. For the operational value of ω assumed above we obtain $H = 2.38 \cdot 10^{-2}$ Oe. This field is much smaller than the first critical field. For superconducting niobium, for example, the latter field is about 30 Oe.

For the detector of the above size, the γ -quanta with the energy of some hundreds of keV can efficiently be absorbed.

5. Conclusions

It is shown for the first time that inertial currents of quasiparticles and the BCS pairs, arising in a rotating superconductor, flow in different directions and therefore they can be separated. For observation of one of the inertial currents it is necessary to create a closed circuit for it.

Possibility to observe the inertial current of normal electrons in a rotating superconductor can be used, for example, for creation of the superconducting γ -quanta detector with a rotating massive absorber. In this work comparatively simple design of such a detector is proposed.

Acknowledgements

The author gratefully acknowledges Drs L.D. Blokhintsev and A.N. Grum-Grzhimailo for discussions of the manuscript in the course of its preparation and for valuable comments.

[1] L.D. Landau, E.M. Lifshitz, *Fluid Mechanics*, second ed., Pergamon Press, Oxford, 1967.

[2] N.F. Breckman, *Rotating Superconductors*, Phys. Rev. 184 (1969) 460-465.

[3] V.V. Schmidt, *The Physics of Superconductors*, P. Muller, A.V. Ustinov (Eds.), Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 1997.



Директор НИИЯФ МГУ профессор М.И. Панасюк вручает подарок на 90-летие, 2001 г.



В кругу семьи, 2007 г. Из семейного архива В.С. Шпинеля.



*Отпуск летом 1968 г. в горах на Тянь-Шане (Фрунзе (Бишкек)-Пржевальск-Каракольское ущелье-озеро Иссык-Куль-пос. Рыбачье-Фрунзе).
Из архива А.С. Кучмы.*



*На теннисном корте, 1974 г.
Из семейного архива В.С. Шпинеля*



*Ремонт на даче, 1982 г.
Из семейного архива В.С. Шпинеля*

**СПИСОК КАНДИДАТОВ НАУК, ЗАЩИТИВШИХ ДИССЕРТАЦИИ
ПОД РУКОВОДСТВОМ В.С. ШПИНЕЛЯ**

1960

Бэдеску А. (Румыния)

Исследование схемы распада радиоактивного изотопа Te^{131} ($T_{1/2} = 30$ час.)

1962

Делягин Николай Николаевич

Резонансное рассеяние и поглощение гамма-квантов

Сорокин Артемий Андреевич

Исследование схем распада $\text{Te}^{119}\text{-Sb}^{119}$, $\text{Te}^{131}\text{-J}^{131}$, $\text{Gd}^{147}\text{-Eu}^{147}$ и $\text{Gd}^{149}\text{-Eu}^{149}$

Стригачев А.Т. (Болгария)

Спектроскопическое исследование нейтронно-дефицитных изотопов фракции Tb

1963

Фам Зуи Хиен (Вьетнам)

Температурные эффекты при резонансном поглощении γ -квантов в кристаллах

1964

Александров А.Ю.

Квадрупольное взаимодействие и изомерные сдвиги перехода 23.8 кэВ ядра Sn^{119} в оловоорганических соединениях

Данагулян А.С.

Исследование радиоактивного распада изотопов Lu^{167} , Yb^{167} , Tb^{149} , $\text{Nd}^{139\text{m}}$

1965

Брюханов В.А.

Исследование эффекта Мессбауэра на ядрах Sn119 в металлических системах и сложных кристаллах

Митрофанов Кирилл Павлович

Исследование сверхтонкого взаимодействия методом эффекта Мессбауэра с применением резонансного детектирования

1966

Хусейн Эль Саид Эль Саис (Египет)

Эффект Мессбауэра на ядрах Gd^{155}

1967

Крюкова Людмила Николаевна

Исследование схем радиоактивного распада $Pt^{189}-Ir^{189}$, $Ir^{189}-Os^{189}$ и $Pt^{188}-Ir^{188}$

1968

Парфенова Валерия Петровна

Исследование магнитного сверхтонкого взаимодействия путем наблюдения угловой анизотропии γ -излучения ориентированных ядер ^{60}Co , ^{160}Tb и ^{155}Eu

Котхекар Видья (Индия)

Исследование эффекта Мессбауэра в соединениях Sn, Sb, Te

1969

Карасев А.Н.

Исследование некоторых адсорбционных и каталитических процессов с помощью эффекта Мессбауэра

Комиссарова Берта Андреевна

Угловые распределения резонансно рассеянных γ -квантов в поликристаллах

Миминошвили З.М.

Исследование схем распада радиоактивных изотопов с помощью спектрометра совпадений с полупроводниковыми детекторами электронов и гамма-лучей.

1972

Бакиев С.А.

Исследование схем уровней ядер Ir^{189} , Ir^{188} , Xe^{130} , возбуждаемых при радиоактивном распаде Pt^{189} , Pt^{188} , J^{130} , J^{130w} , Cs^{130} .

1974

Кучма Анатолий Семенович

Исследования магнитных полей на ядрах примесного олова в редкоземельных ферромагнетиках с помощью эффекта Мессбауэра и некоторые измерения при сверхнизких температурах

1975

Гукасян Сюзанна Еремовна

Изомерные сдвиги и квадрупольные расщепления в соединениях атомов с валентными 5s-, 5p-электронами (Sn, Sb и Te)

1977

Чибирова Фатима Христофоровна

Исследование соединений Sb(III) и Sn(II) методами γ -резонансной и рентгеноэлектронной спектроскопии

1978

Козин Михаил Германович

Исследование сверхтонких взаимодействий на примесных ядрах олова в редкоземельных матрицах

1981

Крылов Василий Иванович

Радиальная зависимость магнитного сверхтонкого взаимодействия для олова-119 в металлических ферромагнетиках

1984

Андреианов Виктор Александрович

Изучение магнитного поведения примесных атомов Fe и Co в матрице Pd методами эффекта Мессбауэра и ядерной ориентации

1987

Пентин Александр Юрьевич

Мессбауэровские исследования магнитных свойств разбавленных сплавов PdFe при сверхнизких температурах (случаи ферромагнетизма и спинового стекла)

1989

Хамдамов Фарахиддин Джурбаевич

Исследование сверхтонких взаимодействий в ферро- и антиферромагнитных редкоземельных металлах и их сплавах методом мессбауэровской гамма-спектроскопии на ядрах олова-119

НАУЧНЫЕ ТРУДЫ В.С. ШПИНЕЛЯ

Список составлен И.Л. Ромашкиной. В список не включены опубликованные тезисы докладов на конференциях.

1938 год

Г.Ф. Кон-Петерс, Ф.Ф. Ланге и В.С. Шпинель. О постройке и работе импульсного генератора и трубки на 4 миллиона вольт. Изв. АН СССР, 1938, № 5-6, с.785-789.

1940 год

Ф.Ф. Ланге и В.С. Шпинель. Структура спектра катодных лучей импульсных трубок. Изв. АН СССР, серия физическая, IV, 1940, №2, с.385-387.

М.И. Корсунский, Ф.Ф. Ланге и В.С. Шпинель. Порог возбуждения изомера In^{*}_{115} рентгеновскими лучами. ДАН СССР, 1940, т.26, с.145-146.

Ф.Ф. Ланге и В.С. Шпинель. Методы получения быстрых корпускулярных лучей. Изв. АН СССР, серия физическая, IV, 1940, №2, с.353-365.

В.С. Шпинель. Импульсный генератор на 5МВ, разрядная трубка на 4МВ и исследование спектров катодных лучей. Кандидатская диссертация, Украинский Физико-технический институт, 1940.

1941 год

В.С. Шпинель. Методы разделения изотопов. Природа, 1941, №7-8, с.13-22.

1946 год

Ф.Ф. Ланге, В.С. Шпинель и М.И. Корсунский. Изучение работы счетчиков Гейгера-Мюллера при интенсивном облучении импульсным источником. ЖЭТФ, 1946, т.16, №11, с.951-958.

В.С. Шпинель. Магнитный спектрометр большой разрешающей способности. ДАН СССР, 1946, т.53, №9, с.801-803.

1950 год

В.М. Серебряйская, Н.В. Форафонов и В.С. Шпинель. Конверсионные линии RaC' . ЖЭТФ, 1950, т.20, №6, 573-574.

В.С. Шпинель. Магнитный спектрометр большой разрешающей силы для электронной спектроскопии. ЖТФ, 1950, т.20, №7, с.834-846.

1951 год

В.С. Шпинель. γ -лучи Cs^{134} . ЖЭТФ, 1951, т.21, №7, с.653-655.

В.С. Шпинель и Р.И. Мошкина. Ширина γ - линий и доплеровское уширение линий электронов конверсии. ЖЭТФ, 1951, т.21, №10, с.1127-1131.

В.С. Шпинель. Серия последовательных радиоактивных переходов $\text{Zr}^{95} \rightarrow \text{Nb}^{95} \rightarrow \text{Mo}^{95}$. ЖЭТФ, 1951, т.21, №12, с.1370-1375.

В.С. Шпинель и Н.В. Форафонов. Исследование радиоактивного излучения Ir^{192} , Ag^{110} , In^{114} . ЖЭТФ, 1951, т.21, №12, с.1376-1383.

1952 год

В.С. Шпинель. β -спектрометр с двумя магнитными линзами и с внутренними корректирующими катушками. ЖЭТФ, 1952, т.22, №2, с.255-256.

В.С. Шпинель. Измерения флуктуации ионизационных потерь для электронов в тонких слоях вещества. ЖЭТФ, 1952, т.22, №4, с.421-424.

1953 год

В.С. Шпинель. Подобные состояния у тяжелых изобарных ядер. ЖЭТФ, 1953, т.24, №1, с.90-92.

1954 год

В.С. Шпинель. Время жизни первого возбужденного состояния Li^{7*} из наблюдений доплер-эффекта и абберация γ -лучей. Изв. АН СССР, серия физическая, 1954, т.18, №1, с.65-75.

В.С. Шпинель. γ -лучи Tc^{95} . ЖЭТФ, 1954, т.27, №3(9), с.387-388.

1956 год

В.С. Шпинель и О.Ш. Гройс. Вертикальная фокусировка в спиральном β -спектрометре. ЖТФ, 1956, т.26, №10, с.2259-2268.

В.С. Шпинель и Г.А. Кузнецова. Исследование цепочек радиоактивных переходов. ЖЭТФ, 1956, т.30, №2, с.231-242.

Н.Н. Делягин, А.А. Сорокин, Н.В. Форафонов и В.С. Шпинель. Схема распада Zr^{97} и Nb^{97} . Изв. АН СССР, серия физическая, 1956, т.20, №8, с.913-924. N.N. Delyagin, A.A. Sorokin, N.V. Forafontov and V.S. Shpinel. Decay scheme for Zr^{97} and Nb^{97} . Nucl. Phys., 1956/57, v.2, p.687-705.

Н.Н. Делягин, Г.А. Кузнецова и В.С. Шпинель. Исследование жесткого γ -излучения Ir^{92*} при помощи люминесцентного спектрометра. Изв. АН СССР, серия физическая, 1956, т.20, №8, с.909-912.

Я.И. Газиев, К.П. Митрофанов и В.С. Шпинель. Изучение двухлинзового β -спектрометра и улучшение кольцевой фокусировки. Изв. АН СССР, серия физическая, 1956, т.20, №12, с.1407-1416.

1957 год

В.П. Парфенова, Н.В. Форафонов и В.С. Шпинель. Исследование распада Ce^{144} методом β - γ -совпадений. Изв. АН СССР, серия физическая, 1957, т.21, №12, с.1601-1606.

В.С. Шпинель и Н.В. Форафонов. Конверсия на подгруппах L-оболочки. ДАН СССР, 1950, т.72, №1, с.49-52.

Н.Н. Делягин и В.С. Шпинель. О четно-четных ядрах, имеющих для второго возбужденного состояния характеристику 2^+ . ЖЭТФ (Письмо в редакцию), 1957, т.32, №2, с.373-374.

К.П. Митрофанов и В.С. Шпинель. Дальнейшее изучение фокусировки электронов в двухлинзовом β -спектрометре. Изв. АН СССР, серия физическая, 1957, т.21, №12, с.1607-1613.

В.С. Шпинель. Исследования в области β - и γ -спектроскопии. Докторская диссертация, НИИЯФ МГУ, Москва, 1958.

А.В. Виноградов и В.С. Шпинель. Фосфатно-оксихилиновый метод отделения и объемного определения циркония. Атомная энергия, 1957, т.3, №8, с.130-134.

1958 год

Н.Н. Делягин и В.С. Шпинель. Время жизни первого возбужденного состояния ядра Mg^{24} . Изв. АН СССР, серия физическая, 1958, т.22, №7, с.861-866.

Н.Н. Делягин и В.С. Шпинель. Резонансное рассеяние гамма-квантов на ядрах Mg^{24} . ДАН СССР, 1958, т.121, №4, с.621-622.

А.В. Гнедич, Л.Н. Крюкова, В.В. Муравьева, В.С. Шпинель и В.И. Шумиуров. К вопросу о доплеровском уширении линий конверсионных электронов, испускаемых ядрами отдачи. Изв. АН СССР, серия физическая, 1958, т.22, №7, с.867-870.

В.С. Шпинель. Смещение уровней и вероятности соответственных β - и γ -переходов в нечетных ядрах. Изв. АН СССР, серия физическая, 1958, т.22, №8, с.995-1001.

1959 год

А. Бэдеску, К.П. Митрофанов, А.А. Сорокин и В.С. Шпинель. Распад Te^{131} ($T_{1/2} = 30$ час.) ЖЭТФ, 1959, т.37, №1(7), с.314-315.

А. Бэдеску, К.П. Митрофанов, А.А. Сорокин и В.С. Шпинель. Исследование схемы распада Te^{131} . ($T_{1/2} = 30$ час). Изв. АН СССР, серия физическая, 1959, т.23, №12, с.1434-1444.

1960 год

А.А. Сорокин, А. Бэдеску, М.В. Климентовская, Л.Н. Крюкова, К.П. Митрофанов, В.В. Муравьева, В.Н. Рыбаков, Г. Чандра и В.С. Шпинель. Исследование распада Te^{118} и Te^{119} и схема уровней Sb^{119} . Изв. АН СССР, серия физическая, 1960, т.24, №12, с.1484-1491.

Н.Н. Делягин, В.С. Шпинель, В.А. Брюханов и Б. Звенглинский. Сверхтонкая структура γ -лучей, обусловленная квадрупольным взаимодействием в кристаллической решетке. ЖЭТФ, 1960, т.39, №1(7), с.220-222.

Н.Н. Делягин, В.С. Шпинель, В.А. Брюханов и Б. Звенглинский. Ядерный Зееман-эффект в Sn^{119} . ЖЭТФ, 1960, т.39, №3(9), с.894-896.

1961 год

А.Т. Стригачев, Л.С. Новиков, А.А. Сорокин, В.А. Халкин, Н.В. Цветкова и В.С. Шпинель. Исследование нейтроно-дефицитных изотопов Tb. Изв. АН СССР, серия физическая, 1961, т.25, №7, с.813-825.

В.А. Брюханов, Н.Н. Делягин, Б. Звенглинский и В.С. Шпинель. Сдвиги энергии γ -перехода, наблюдаемые при резонансном поглощении γ -квантов в кристаллах. ЖЭТФ, 1961, т.40, №2, с.713-714.

К.П. Митрофанов и В.С. Шпинель. Наблюдение резонансного поглощения γ -лучей Sn^{119} с энергией 23,8 keV по электронам конверсии. ЖЭТФ, 1961, т.40, №3, с.983-985.

В.С. Шпинель, В.А. Брюханов и Н.Н. Делягин. Влияние температуры на сверхтонкую структуру γ -излучения. ЖЭТФ, 1961, т.40, №5, с.1525-1527.

Н. Н. Делягин, В.С. Шпинель и В.А. Брюханов. Резонансное поглощение γ -квантов с энергией 23,8 keV ядрами Sn^{119} в кристаллах. ЖЭТФ, 1961, т.41, №5(11), с.1347-1358.

А. Бэдеску, О.М. Калинкина, К.П. Митрофанов, А.А. Сорокин, Н.Ф. Форафонов и В.С. Шпинель. Схема распада Te^{131m} . ЖЭТФ, 1961, т.40, №1, с.91-100.

В.С. Шпинель, В.А. Брюханов и Н.Н. Делягин. Изомерные сдвиги энергии γ -перехода 23,8 keV ядра Sn^{119} . ЖЭТФ, 1961, т.41, №6(12), с.1767-1770.

Виноградов и В.С. Шпинель. О составе и свойствах оксихинолината циркония, получаемого из окислительной среды. Журнал неорганической химии, 1961, т.6, №6, с.1338-1341.

1962 год

Ц.Б. Василев, Н.В. Форафонов и В.С. Шпинель. Исследование схемы распада Ce^{144} методом совпадений. Вестник Московского университета, физика, 1962, №3, с.3-16. Nuc1. Phys., 1962, v.35, p.260-272.

В.А. Брюханов, Н.Н. Делягин, Б. Звенглинский, С.А. Сергеев и В.С. Шпинель. Измерение спектров резонансного поглощения гамма-квантов в кристаллах. ПТЭ, 1962, №1, с.23-27.

В.А. Брюханов, В.И. Гольданский, Н.Н. Делягин, Е.Ф. Макаров и В.С. Шпинель. Наблюдение эффекта Моссбауэра в оловосодержащем полимере. ЖЭТФ, 1962, т.42, №2, с.637-639.

В.А. Брюханов, Н.Н. Делягин и В.С. Шпинель. Магнитный момент возбужденного состояния ядра Sn^{119} с энергией 23,8 keV. ЖЭТФ, 1962, т.42, №5, 1183-1185.

В.А. Брюханов, Н.Н. Делягин, А. А. Опаленко и В.С. Шпинель. Некоторые характеристики спектров резонансного поглощения γ -лучей с энергией 23,8 keV ядрами Sn^{119} . ЖЭТФ, 1962, т.43, №2(8), с.432-437.

В.А. Брюханов, В.И. Гольданский, Н.Н. Делягин, Л.А. Корытко, Е.Ф. Макаров, И.П. Суздалев и В.С. Шпинель. Особенности моссбауэровских спектров оловоорганических соединений и роль ближайших химических связей в эффекте Моссбауэра. ЖЭТФ, 1962, т.43, №2(8), с.448-452.

А.Ю. Александров, Н.Н. Делягин, К.П. Митрофанов, Л.С. Полак и В.С. Шпинель. Квадрупольное взаимодействие и изомерные сдвиги γ -перехода 23,8 keV ядра Sn^{119} в оловоорганических соединениях. ЖЭТФ, 1962, т.43, №4(10), с.1242-1247.

А.Ю. Александров, Н.Н. Делягин, К.П. Митрофанов, Л.С. Полак и В.С. Шпинель. Влияние γ -радиации на форму спектров моссбауэровского резонансного поглощения в оловоорганических соединениях. ЖЭТФ, 1962, т.43, №6(12), с.2074-2076.

В.С. Шпинель. Эффект Мессбауэра и его применение. Изв. АН СССР, ОТН, энергетика и автоматика, 1962, №4, с.71-82.

Фам Зуй Хиен, В.Г. Шапиро и В.С. Шпинель. Резонансное рассеяние γ -квантов в Te^{125} . ЖЭТФ, 1962, т.42, №3, с. 703-706.

Н.Е. Алексеевский, Фам Зуй Хиен, В.Г. Шапиро и В.С. Шпинель. Анизотропия эффекта Моссбауэра в монокристалле β -Sn. ЖЭТФ, 1962, т.43, №3(9), с.790-794.

А.Т. Стригачев, А.А. Сорокин и В.С. Шпинель. Исследование фракции Tb. Изв. АН СССР, серия физическая, 1962, т.26, №2, с.252-258.

А.А. Сорокин, М.З. Шталь и В.С. Шпинель. О схеме распада Zr^{97} . ЖЭТФ, 1962, т.43, №6(12), с.2056-2062.

В.С. Шпинель. Изомерные химические сдвиги и квадрупольное расщепление γ -линий. Материалы рабочего совещания по эффекту Мессбауэра, Дубна, 1962г.

Л.Н. Крюкова, В.В. Муравьева, Н.В. Форафонов и В.С. Шпинель. e^- - γ -совпадения при распаде Pt^{188} . Изв. АН СССР, серия физическая, 1962, т.26, №12, с.1521-1522.

Л.Н. Крюкова, В.В. Муравьева, В.С. Шпинель, Т.В. Малышева и В.А. Хотин. Схема уровней Pt^{189} , возбуждаемых при электронном захвате в Pt^{189} . Изв. АН СССР, серия физическая, 1962, т.26, №12, с.1492-1494.

1963 год

А.Ю. Александров, Н.Н. Делягин, К.П. Митрофанов, Л.С. Полак и В.С. Шпинель. Исследование оловоорганических соединений методом мессбауэровского резонансного поглощения γ -квантов. ДАН СССР, 1963, т.148, №1, с. 126-128.

К.П. Митрофанов, Н.В. Илларионова и В.С. Шпинель. Счетчик с избирательной эффективностью для регистрации испускаемых без отдачи γ -лучей. ПТЭ, 1963, №3, с.49-54.

Фам Зуй Хиен, А.С. Висков, В.С. Шпинель и Ю.Н. Веневцев. Скачкообразное изменение вероятности эффекта Мессбауэра при фазовом переходе в сегнетоэлектриках. ЖЭТФ, 1963, т.44, №6, с.2182-2183.

А.Ю. Александров, К.П. Митрофанов, О.Ю. Охлобыстин, Л.С. Полак и В.С. Шпинель. Особенности эффекта Мессбауэра на ядрах Sn^{119} в оловоорганических окисях. ДАН СССР, 1963, т.153, №2, с.370-373.

Фам Зуй Хиен, В.С. Шпинель, А.С. Висков и Ю.Н. Веневцев. Резонансное поглощение γ -квантов в станнатах бария, стронция и кальция, ЖЭТФ, 1963, т.44, №6, с.1889-1895.

Фам Зуй Хиен и В.С. Шпинель. О зависимости спектра резонансного поглощения γ -квантов от температуры кристалла. ЖЭТФ, 1963, т.44, №2, с.393-397.

В.С. Шпинель, А.Т. Стригачев и К.Я. Громов. Изомерное состояние Nd^{139} . Изв. АН СССР, серия физическая, 1963, т.27, №10, с.1357-1359.

1964 год

В.А. Брюханов, Н.Н. Делягин, Р.Н. Кузьмин и В.С. Шпинель. Эффект Мессбауэра в бинарных соединениях олова. ЖЭТФ, 1964, т.46, №6, с.1996-2002.

В.А. Брюханов, Н.Н. Делягин и В.С. Шпинель. Взаимосвязь между изомерными сдвигами γ -перехода ядра Sn^{119} с энергией 23,8 keV в металлических твердых растворах и динамическими свойствами матрицы. ЖЭТФ, 1964, т.47, №1(7), с.80-83.

В.А. Брюханов, Н.Н. Делягин и В.С. Шпинель. Эффект Мессбауэра на примесных ядрах Sn^{119} в бинарных металлических твердых растворах. ЖЭТФ, 1964, т.47, №6(12), с.2085-2090.

В.Г. Шапиро и В.С. Шпинель. Анизотропия эффекта Мессбауэра в монокристаллах β -Sn и касситерита (SnO_2). ЖЭТФ, 1964, т.46, №6, 1960-1963.

А.Ю. Александров, О.Ю. Охлобыстин, Л.С. Полак и В.С. Шпинель. Эффект Мессбауэра в несимметричных органических соединениях олова, содержащих электронодонорные заместители. ДАН, 1964, т.157, №4, с.934-937.

А.Ю. Александров, С.М. Берлянт, В.Л. Карпов, С.С. Леценко, О.Ю. Охлобыстин, Э.Э. Финкель и В.С. Шпинель. Изучение поведения дималеата дибутилолова, как стабилизатора в облученном полиэтилене при помощи эффекта Мессбауэра. Журнал высокомолекулярных соединений, 1964, т.1, №11, с.2105-2107.

А.С. Данагулян, А.Т. Стригачев и В.С. Шпинель. О схеме распада Tb^{149} . Изв. АН СССР, серия физическая, 1964, т.28, №1, с.90-92.

К.Я. Громов, А.С. Данагулян, Л.Н. Никитюк, В.В. Муравьева, А.А. Сорокин, М.З. Шталь и В.С. Шпинель. Исследование распада нейтронодефицитных изотопов неодима. Новый изотоп Nd^{138} . ЖЭТФ, 1964, т.47, №5(11), с.1644-1652.

В.П. Парфенова, В.Н. Анищенко и В.С. Шпинель. Ориентирование ядер Tb^{160} в металлическом тербии. ЖЭТФ, 1964, т.46, №2, с.492-496.

К.П. Митрофанов, А.С. Висков, Г.Я. Дриккер, М.В. Плотникова, Фам Зуи Хиен, Ю.Н. Веницев и В.С. Шпинель. Изменение спектров резонансного поглощения γ -лучей 23,8 keV Sn^{119} при фазовых переходах в системе $\text{BiFeO}_3\text{-Sr}(\text{Sn}_{1/3}\text{Mn}_{2/3})\text{O}_3$. ЖЭТФ, 1964, т.46, №1, с.383-386.

А.Ю. Александров, Я.Г. Дорфман, О.Л. Лепендина, К.П. Митрофанов, М.В. Плотникова, Л.С. Полак, А.Я. Темкин и В.С. Шпинель. Спектры резонансного поглощения γ -квантов и магнитная восприимчивость растворов некоторых органических соединений олова. Журнал физ. химии, 1964, т.38, №9, с.2190-2197.

1965 год

В.С. Шпинель, А.Ю. Александров, Г.К. Рясный и О.Ю. Охлобыстин. К вопросу об асимметрии дублета в спектрах мессбауэровского резонансного поглощения в некоторых органических соединениях олова. ЖЭТФ, 1965, т.48, №1, с.69-71.

В.А. Комиссарова, А.А. Сорокин и В.С. Шпинель. Угловое распределение резонансного рассеяния γ -квантов 23,8 keV на ядрах Sn^{119} . Ядерная физика, 1965, т.1, №4, с.621-624.

Г.А. Быков, Г.К. Рясный и В.С. Шпинель. Мессбауэровские спектры при наличии электрического квадрупольного и магнитного взаимодействий. Физика твердого тела, 1965, т.7, №6, с.1657-1662.

К.П. Митрофанов, М.В. Плотникова и В.С. Шпинель. Форма спектров резонансного поглощения γ -лучей 23,8 keV изомера $\text{Sn}^{119\text{m}}$ в окиси олова и металлическом белом олове. ЖЭТФ, 1965, т.48, №3, с.791-795.

М.В. Плотникова, К.П. Митрофанов и В.С. Шпинель. Станнат бария – источник для измерения эффекта Мессбауэра на Sn^{119} . Письма в ЖЭТФ, 1965, т.3, №8, с.323-326.

А.Н. Карасев, Л.С. Полак, Э.Б. Шлихтер и В.С. Шпинель. Исследование адсорбционных процессов с помощью эффекта Мессбауэра. Кинетика и катализ, 1965, т.6, №4, с.710-716.

К.П. Митрофанов, А.С. Висков, М.В. Плотникова, Ю.Н. Веницев и В.С. Шпинель. Резонансное поглощение γ -квантов и внутренние поля сегнетомагнитных твердых растворов в системе $\text{BiFeO}_3\text{-«Sr}(\text{Sn}_{1/3}\text{Mn}_{2/3})\text{O}_3\text{»}$. Изв. АН СССР, серия физическая, 1965, т.29, №11, с.2029-2033.

К.Я. Громов, В. Гнатович, А.С. Донагулян, А.Т. Стригачев и В.С. Шпинель. О двухчасовом (7,7 ксек) изомере Lu^{168} . Ядерная физика, 1965, т.1, №2, с.201-204.

К.Я. Громов, А.С. Донагулян, А.Т. Стригачев и В.С. Шпинель. Исследование цепочки распадов $\text{Lu}^{167} \rightarrow \text{Yb}^{167} \rightarrow \text{Tm}^{167}$. Ядерная физика, 1965, т.1, №3, с.389-399.

А.Н. Карасев, Л.С. Полак, Э.Б. Шлихтер и В.С. Шпинель. О применении эффекта Мессбауэра для исследования адсорбции и катализа. Журнал физической химии (Письмо в редакцию), 1965, т.39, №12, с.3117-3118.

1966 год

Н.Е. Алексеевский, В.Н. Анищенко, А.Л. Ерзинкян, В.П. Парфенова и В.С. Шпинель. Эффективное магнитное поле на ядре Co^{60} в сплаве CoPd . Письма в ЖЭТФ, 1966, т.3, №8, с. 318-320.

Н.Н. Делягин, Хуссейн Эль Саис и В.С. Шпинель. Магнитная сверхтонкая структура уровней Gd^{155} в металлическом гадолинии и в интерметаллическом соединении GdAl_2 . ЖЭТФ, 1966, т.51, №1(7), с.95-100.

Б.А. Комиссарова, А.А. Сорокин и В.С. Шпинель. Квадрупольное взаимодействие и анизотропия эффекта Мессбауэра из наблюдений резонансного рассеяния γ -квантов на поликристаллах. ЖЭТФ, 1966, т.50, №5, с.1205-1217.

К.Р. Mitrofanov, М.У. Plotnikova, А.С. Viskov, Ю.У. Tomashpolskii, Ю.Н. Venetsev and V.S. Shpinel. Mössbauer study and theoretical estimation of internal electric field gradients in ferroelectric ferromagnets. Proc. of the Int. Meeting on Ferroelectricity. Prague, 1966, v.1, p.87-91.

А.Н. Карасев, Н.Е. Колобова, Л.С. Полак, В.С. Шпинель и К.Н. Анисимов. Эффект Мессбауэра в оловоорганических соединениях с металлосодержащими группами. ТЭХ, 1966, т.2, №1, с.126-130.

1967 год

В.А. Брюханов, Б.З. Иофа, А.А. Опаленко и В.С. Шпинель. Эффект Мессбауэра в некоторых галогенидных комплексах теллура. Журнал неорганической химии, 1967, т.12, №7, с.1985-1987.

М.В. Плотникова, А.С. Висков, К.П. Митрофанов, В.С. Шпинель и Ю.Н. Веневцев. Исследование эффекта Мессбауэра в некоторых сегнетомагнетиках и сегнетоэлектриках. Изв. АН СССР, серия физическая, 1967, т.31, №7, с.1112-1116.

В.П. Парфенова, Н.Е. Алексеевский, А.Л. Ерзинкян и В.С. Шпинель. Измерение эффективных магнитных полей на ядрах Co^{60} в разбавленных твердых растворах Co в Pd . ЖЭТФ, 1967, т.53, №2, с.492-497.

В.П. Парфенова, Н.Е. Алексеевский, А.Л. Ерзинкян и В.С. Шпинель. Эффективное магнитное поле на ядре Co^{60} в ферромагнитных сплавах CoPd . Труды X Международной конференции по Физике низких температур, сентябрь 1966, Москва. М.: ВИНТИ, 1967, т.IV, с.122-125.

В.А. Брюханов, Б.З. Иофа, В. Котхекар, С.И. Семенов и В.С. Шпинель. Изомерные химические сдвиги мессбауэровской γ -линии в изоэлектронных соединениях сурьмы. ЖЭТФ, 1967, т.53, №5(11), с.1582-1588.

V.S. Shpinel, V.A. Bryukhanov, V. Kothekar, B.Z. Iofa and S.I. Semenov. Isomeric Chemical Shifts of Mössbauer γ -lines in Isoelectronic Compounds of Tin, Antimony and Tellurium. Faraday Symposium, 1967, London, p.7.

В.С. Шпинель, В.А. Брюханов, В. Котхекар и Б.З. Иофа. Изомерные химические сдвиги мессбауэровской γ -линии в изоэлектронных соединениях олова и теллура. ЖЭТФ, 1967, т.53, №1(7), с.23-28.

В.А. Брюханов, В.В. Овечкин, А.И. Перышкин, Е.И. Ржехина и В.С. Шпинель. Эффект Мессбауэра на ядрах Np^{237} в двуокиси нептуния. ФТТ, 1967, т.9, с.1519-1520.

В.А. Брюханов, Б.З. Иофа, В. Котхекар, С.И. Семенов и В.С. Шпинель. Изомерные химические сдвиги мессбауэровской γ -линии в изоэлектронных соединениях сурьмы. ЖЭТФ, 1967, т.53, №5(11), с.1582-1588.

1968 год

А.Е. Балабанов, Н.Н. Деягин, А.Л. Ерзинкян, В.П. Парфенова и В.С. Шпинель. Магнитные поля на ядрах Co^{60} и Sn^{119} и поляризация электронов в сплавах CoPd и FePd . ЖЭТФ, 1968, т.55, №6(12), с.2136-2144.

В. Котхекар, Б.З. Иофа, С.И. Семенов и В.С. Шпинель. Изомерные сдвиги мессбауэровской γ -линии в галогенидах трехвалентной сурьмы. ЖЭТФ, 1968, т.55, №1(7), с.160-163.

S.E. Gukasyan and V.S. Shpinel. Mössbauer Effect in Antimony-Organic Compounds. Phys. Stat. Sol., 1968, v.29, №1, p.49-52.

Р.Н. Кузьмин, А.А. Опаленко и В.С. Шпинель. Эффект Мессбауэра на примесных ядрах в металлических матрицах. ЖЭТФ, Письма в редакцию, 1966, т.8, №9, с.455-457.

1969 год

М.В. Плотникова, К.П. Митрофанов, А.Г. Капышев, Ю.Н. Веневцев и В.С. Шпинель. Исследование эффекта Мессбауэра на ядрах ^{57}Fe и ^{119}Sn в некоторых перовскитовых сегнетоэлектриках с высокими температурами Кюри. Изв. АН СССР, серия физическая, 1969, т.33, №7, с.1142-1144.

В.С. Шпинель. Резонанс гамма-лучей в кристаллах. М.: Наука, 1969, 407с.

В. Котхекар и В.С. Шпинель. Систематика изомерных сдвигов и квадрупольных расщеплений в оловоорганических соединениях. Журнал структурной химии, 1969, т.10, №1, с.37-42.

Р.Н. Кузьмин, А.А. Опаленко, В.С. Шпинель и И.А. Авенариус. Анизотропия эффекта Мессбауэра в монокристаллах теллура. ЖЭТФ, 1969, т.56, №1, с.167-174.

1970 год

К.П. Митрофанов, М.В. Плотникова, Н.И. Рохлов и В.С. Шпинель. Наблюдение интерференции фотоэффекта и внутренней конверсии при резонансном поглощении M1 гамма-квантов Sn^{119} . Письма в ЖЭТФ, 1970, т.12, с.85-88.

S.E. Gukasyan, B.Z. Iofa, A.N. Karasev, S.I. Semenov and V.S. Shpinel. Isomeric Shifts in Some Tellurium (IV) Isoelectronic Complexes. Phys. Stat. Sol., 1970, v.37, p.91-93.

В.С. Шпинель. Лаборатория ядерной спектроскопии. История и методология естественных наук, вып. 8, физ. Под ред. А.С. Предводителя и Е.А. Романовского. Изд. МГУ, 1970, с.51-61.

1971 год

V.S. Shpinel and S.E. Gukasyan. Isomer Shifts and Quadrupole Splittings in the Compounds of Atoms with 5s5p Valence Electrons (^{119}Sn , ^{121}Sb , ^{125}Te and ^{127}I , ^{129}I , ^{129}Xe , ^{131}Xe). Proc. of the Conference on the Application of the Mössbauer Effect (Tihany, 1969). Publishing house of the Hungarian Academy of science, Budapest, Hungary, 1971, p.41-52.

N. Balabanov, B.A. Komissarova, A.A. Sorokin and V.S. Shpinel. Origin of the Asymmetric Quadrupole Splitting of the Gamma-Resonance Absorption Spectra of Hydrated $(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{SnCl}_2$. Proc. of the Conference on the Application of the Mössbauer Effect (Tihany, 1969). Publishing house of the Hungarian Academy of science, Budapest, Hungary, 1971, p.235-238.

R.N. Kuzmin, A.A. Opalenko and V.S. Shpinel. Mössbauer Effect in Te Single Crystals. Proc. of the Conference on the Application of the Mössbauer Effect (Tihany, 1969). Publishing house of the Hungarian Academy of science, Budapest, Hungary, 1971, p.785-791.

С.Е. Гукасян, Г.В. Зимица и В.С. Шпинель. Исследование комплексных галогенидов сурьмы (III) с калием, рубидием и цезием методом гамма-резонанса. Журнал структурной химии, 1971, т.12, с.726-727.

А.С. Кучма, В.П. Парфенова и В.С. Шпинель. Сверхтонкое магнитное поле для примесных атомов Sn^{119} в ферромагнитном тербии. Письма в ЖЭТФ, 1971, т.13, с.192-194.

1972 год

А.С. Кучма и В.С. Шпинель. Магнитные поля на ядрах примесных атомов Sn в редкоземельных ферромагнетиках. ЖЭТФ, 1972, т.62, №3, с.1054-1061.

1973 год

С.Е. Гукасян, В.П. Горьков, П.Н. Заикин и В.С. Шпинель. Исследование некоторых органических соединений сурьмы методом γ -резонансной спектроскопии. Журнал структурной химии, 1973, т.14, №4, с.650-655.

1975 год

С.Е. Гукасян, В.П. Горьков, Л.А. Садохина, Ф.Х. Чибирова и В.С. Шпинель. Спектры ЯГР некоторых фторидов сурьмы (III). Журнал структурной химии, 1975, т.16, №2, с.207-211.

В.П. Горьков, Р.Л. Давидович, Г.В. Зимина, Л.А. Садохина, Ф.Х. Чибирова и В.С. Шпинель. Исследование комплексных соединений сурьмы (III) методом эффекта Мессбауэра. Коорд. химия, 1975, т.1, №4, с.561-566.

М.Б. Варфоломеев, М.Н. Сотникова, Ф.Х. Чибирова и В.С. Шпинель. О некоторых структурных различиях двойных окислов, образованных In и Ga в Sb(V). Неорганическая химия, 1975, т.20, с.1163.

1976 год

S.K. Godovikov, M.G. Kozin, V.V. Turovsev and V.S. Shpinel. Hyperfine Fields Acting on Diamagnetic Impurities and the Anisotropic Exchange via the s- and d-Electrons in the Rare-Earth Metals. Physica Status Solidi (b), 1976, v.78, p.103-111.

В.Н. Герасимов, В.М. Кулаков, Ф.Х. Чибирова, В.С. Шпинель и В.И.Бурлаков. Мессбауэровские и рентгеноэлектронные исследования валентных конфигураций атома олова (II) в соединениях. ЖЭТФ, 1976, т.71, №9, с.919-923.

1977 год

П.В. Богданов, С.К. Годовиков, М.Г. Козин, В.В. Туровцев и В.С. Шпинель. Эффективные поля на диамагнитных примесях в редкоземельных металлах. ЖЭТФ, 1977, т.72, №6, с.2120-2128.

П.В. Богданов, С.К. Годовиков, М.Г. Козин и В.С. Шпинель. Магнитный гистерезис сверхтонкого поля на примесном олове в металлическом гольмии. Письма в ЖЭТФ, 1977, т.26, №4, с.327-330.

А.Л. Ерзинкян, В.В. Муравьева, В.П. Парфенова, В.В. Туровцев и В.С. Шпинель. Сверхтонкое взаимодействие для ^{160}Tb в гадолинии. ЖЭТФ, 1977, т.72, №5, с.1902-1906.

1978 год

P.V. Bogdanov, S.K. Godovikov, M.G. Kozin, N.I. Moreva and V.S. Shpinel. Features of the Hyperfine Interaction of Tin Impurities in metallic holmium. Hyperfine Interactions, 1978, v.5, p.333-345.

1979 год

П.В. Богданов, С.К. Годовиков, М.Г. Козин и В.С. Шпинель. Магнитный гистерезис полей на ядрах Sn^{119} в Ho. Материалы 20-го Всесоюзного совещания по физике низких

температур НТ-20, январь 1979 г., г. Москва. Черноголовка, 1978, ч. II, с. 69-70.

В.А. Андрианов, Е.П. Каминская, А.Ю. Пентин и В.С. Шпинель. Сверхтонкие магнитные поля и градиенты электрического поля на примесном Со в Pd и Pt. Материалы 20-го Всесоюзного совещания по физике низких температур НТ-20, январь 1979 г., г. Москва. Черноголовка, 1978, ч. II, с. 64-66.

А.Л. Ерзинкян, В.В. Муравьева, В.П. Парфенова, М. Фингер и В.С. Шпинель. Измерение магнитного момента ядра ^{147}Eu . Изв. АН СССР, серия физическая, 1979, т. 43, № 10, с. 2176-2179.

С.И. Рейман, К.П. Митрофанов и В.С. Шпинель. Применение ЯГР для анализа фазового состава поверхности массивных образцов. Прикладная ядерная спектроскопия, 1979, № 9, с. 170-174.

1981 год

В.А. Андрианов, Е.П. Каминская, А.Ю. Пентин, В.В. Туровцев и В.С. Шпинель. Распределение молекулярных полей и локальная намагниченность в разбавленном сплаве палладия с кобальтом и железом. ЖЭТФ, 1981, т. 80, № 6, с. 2430-2436.

В.П. Горьков, С.И. Рейман и В.С. Шпинель. Метод ядерного гамма-резонанса для исследования лазерной закалки металлов. Сб. Прикладная ядерная спектроскопия, 1981, вып. II, с. 203-215.

1983 год

В.А. Андрианов, М.Г. Козин, А.Ю. Пентин, В.В. Туровцев и В.С. Шпинель. Исследование разбавленного сплава Pd(Fe,Co) методом эффекта Мессбауэра на ориентированных ядрах: релаксация и спиновое стекло. ЖЭТФ, 1983, т. 85, № 2(8), с. 627-641.

V.S. Shpinel. Exchange Interaction and Hyperfine Fields at Nonmagnetic Impurities in Rare-Earth Metals. Phys. Stat. sol. (b), 1983, v. 118, p. 11-24.

1984 год

С.И. Рейман, Н.И. Рохлов, В.С. Шпинель и Е.П. Каминская Сверхтонкие взаимодействия на ядрах Sn^{119} в металлическом Gd. ЖЭТФ, 1984, т. 86, № 1, с. 330-337.

1985 год

M.G. Kozin, J.C. Lascovich and V.S. Shpinel. Mossbauer Effect on Oriented Sn Nuclei in Gadolinium Host. Proc. Int. Conf. on the Application of Mossbauer Effect, Alma-Ata, USSR, Gordon-Breach New-York, 1985, v. 2, p. 537-540.

V.A. Andrianov, A.Yu. Pentin и др. Mossbauer Effect on Oriented Nuclei (Me/On) and Nuclear Orientation Investigation of the Dilute Alloy Pd(Fe,Co). Proc. Inf. Conf. on the Application of the Mossbauer Effect, Alma-Ata, USSR, 1983, Gordon-Breach New-York, 1985, v. 2, p. 479-484.

J. English, L. Lestak, M. Rotter, B. Sedlak, M. Finger, V.N. Pavlov, V.A. Andrianov, M.G. Kozin and V.S. Shpinel. Nuclear Orientation and Spin-Lattice Relaxation in Pd-Fe-Co Alloys. Hyperfine Interactions, 1985, v. 22, p. 177-179.

S.I. Reiman, N.I. Rokhlov and V.S. Shpinel. Hyperfine Fields on Sn in metallic Gd. Proc. Int. Conf. on the Application of Mossbauer Effect. Alma-Ata, 1983, USSR, Gordon and Breach New-York, 1985, v. 2, p. 591-596.

1986 год

В.А. Андрианов, М.Г. Козин, А.Ю. Пентин и В.С. Шпинель. Ядерная ориентация и эффект Мессбауэра при сверхнизких температурах. Изв. АН СССР, серия физическая, 1986, т.50, №12, с.2413-2424.

1987 год

В.А. Андрианов, М.Г. Козин, А.Ю. Пентин, В.С. Шпинель, В.П. Горьков и А.С. Меченов. Перколяционный механизм спонтанной намагниченности в примесном ферромагнетике PdFe. ФТТ, 1987, т.29, №8, с.2339-2344.

В.А. Андрианов, М.Г. Козин, А.Ю. Пентин, В.С. Шпинель и Дао Ким Нгок. Особенности релаксации при переходе в состояние типа спинового стекла в разбавленном сплаве PdFe. Письма в ЖЭТФ, 1987, т.45, №1, с.42-44.

В.С. Шпинель. Ядерно-спектроскопические исследования сверхтонких взаимодействий для примесей в металлах, УФН, 1987, т.152, №2, с.338-341.

1988 год

В.С. Шпинель. Воспоминания о Харьковском периоде жизни И.Я. Померанчука. Воспоминания о И.Я. Померанчуке (Сб./АН СССР, Отделение ядерной физики). М.: Наука, 1988, с.38-40.

I.A. Gruzberg, D.I. Khomskii and V.S. Shpinel. Polarization of conduction electrons and hyperfine field on impurities in ferromagnetic metals. Physics Letters A, 1988, v.129, №7, p.407-410.

В.С. Шпинель. Сверхтонкие поля на ядрах примесных атомов в 3d- и 4f- металлах. Изв. АН СССР, серия физическая, , 1988, т.52, №9, с.1666-1677.

А.Ю. Пентин, В.А. Андрианов, М.Г. Козин и В.С. Шпинель. Мессбауэровские исследования спиновых стекол. Изв. АН СССР, серия физическая, 1988, т.52, №9, с.1688-1693.

В.А. Андрианов, М.Г. Козин, А.Ю. Пентин, В.С. Шпинель, А.С. Меченов и В.П. Горьков. Распределения молекулярных полей и ферромагнитные кластеры в разбавленных сплавах PdFe: мессбауэровские исследования парамагнитной фазы. ФТТ, 1988, т. 30, №11, с.3243-3252.

1989 год

В.С. Шпинель. Температурные изменения наведенного сверхтонкого поля и энергии Ферми в магнитоупорядоченных 3d- и 4f- металлах. ЖЭТФ, 1989, т.95, №2, с.588-593.

В.А. Андрианов, О.Л. Анисимова, М.Г. Козин, А.Ю. Пентин, В.С. Шпинель, О.М. Иваненко и К.В. Мицен. Исследование сверхпроводящей керамики $\text{EuBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ методом эффекта Мессбауэра на ядрах ^{119}Sn . Письма в ЖЭТФ, 1989, т.49, №2, с.80-83.

1990 год

V.A. Andrianov, O.L. Anisimova, M.G. Kozin, A.Yu. Pentin, S.I. Semenov, V.S. Shpinel, L.I. Leonyuk, V.V. Moshchalkov and S.V. Red'ko. Emission Mössbauer spectroscopy of $\text{YBa}_2(\text{Cu}_{0.98}\text{Fe}_{0.02})_3(^{57}\text{Co})\text{O}_{7-y}$ single cristal. Physica C, 1990, v.166, p.246-254.

1991 год

В.А. Андрианов, М.Г. Козин, И.Л. Ромашкина, С.И. Семенов, В.С. Русаков, О.А. Шляхтин и В.С. Шпинель. Обратимые и необратимые температурные изменения эмиссионных мессбауэровских спектров $\text{YBa}_2\text{Cu}_3(^{57}\text{Co})\text{O}_{6+x}$. Сверхпроводимость: физика, химия, техника, 1991, т.4, №6, с.1128-1135.

1992 год

В.С. Шпинель и И.Л. Ромашкина. Возможности применения сверхпроводящих детекторов для прецизионной ядерной спектроскопии и регистрации ядер отдачи. Известия РАН, серия физическая, 1992, т.56, №7, с.74-88.

V.A. Andrianov, M.G. Kozin, I.L. Romashkina, V.S. Shpinel, V.P. Shabatin and O.A. Shlyakhtin. Mössbauer studies of the $\text{YBa}_2\text{Cu}_3(^{57}\text{Co})\text{O}_{6+x}$ ceramics under oxygen exchange with a gas ambient. Physica C, 1992, v. 192, №1/2, p.8-12.

В.А. Андрианов, М.Г. Козин, И. Л. Ромашкина, Л.И. Леонюк, С.В. Редько, В.С. Русаков, С.И. Семенов и В.С. Шпинель. Мессбауэровские исследования квадрупольных взаимодействий примесных ядер ^{57}Fe в монокристалле $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$. Известия РАН, серия физическая, 1992, т.56, №7, с.138-142.

1995 год

В.С. Шпинель, В.А. Андрианов и М.Г. Козин. Состояние работ в области криогенных детекторов. Известия РАН, серия физическая, 1995, т. 59, №11, с.2-20.

1996 год

В.А. Андрианов, М.Г. Козин, Л.В. Нефедов, И. Л. Ромашкина, С.А. Сергеев и В.С. Шпинель. Изучение сверхпроводящих туннельных переходов Nb/Al/Al_x/Nb для детектирования мягкого рентгеновского и γ -излучения. Известия РАН, серия физическая, 1996, т.60, № 11, с.184-191.

1997 год

V.A. Andrianov, I.V. Abramova, M.G. Kozin, V.P. Koshelets, I.L. Romashkina, S.A. Sergeev and V.S. Shpinel. STJ-detector charge output: bias voltage and applied magnetic field dependence. Proc. 7th Int. Workshop on Low Temp. Detectors (LTD-7), 27 July-2 August 1997, Munich, Germany, A32, p.71-72

В.А. Андрианов, М.Г. Козин, С.А. Сергеев, В.С. Шпинель, В.П. Кошелец и И.В. Абрамова. Туннелирование неравновесных квазичастиц, возбуждаемых рентгеновскими квантами в несимметричном сверхпроводящем туннельном детекторе. Физика низких температур, 1997, т.28, №11, с.1187 – 1194.

В.С. Шпинель. Краткая история лаборатории ядерной спектроскопии НИИЯФ МГУ. Издательство Московского университета, 1997, 33с.

1998 год

V.A. Andrianov, V.P. Gor'kov, P.N. Dmitriev, V.P. Koshelets, M.G. Kozin, I.L. Romashkina, S.A. Sergeev and V.S. Shpinel. Diffusion and Back Tunneling Effects on the Energy Resolution of Superconducting Tunnel Junction Detectors. Proceedings of the European Conference on Energy Dispersive X-ray Spectrometry 1998 (EDXRS-98), Bologna, Italy, ed. J.E.Fernandez and A.Tartari, p.81-85.

1999 год

V.A. Andrianov, P.N. Dmitriev, V.P. Koshelets, M.G. Kozin, I.L. Romashkina, S.A. Sergeev and V.S. Shpinel. Back tunneling and phonon exchange effects in superconducting tunnel junction X-ray detectors. Physica B, 1999, v.263-264, p.613-616.

В.А. Андрианов, В.П. Горьков, М.Г. Козин, И.Л. Ромашкина, С.А. Сергеев, В.С. Шпинель, П.Н. Дмитриев, В.П. Кошелец. Электронные и фононные эффекты в сверхпроводящих туннельных детекторах рентгеновского излучения. Физика твердого тела, 1999, т.41, №7, с.1168-1175.

V.S. Shpinel. Works on the problem of the isotope separation of uranium for atomic bomb in the laboratory of the shock strains of the Ukrainian Institute of Physics and Technology, Ukrainian Academy of Science. Proc. of the II Int. Symposium on the History of Atomic Projects (HISAP'99), 4-7 Oct. 1999, Laxenburg, Austria.

2000 год

V.A. Andrianov, P.N. Dmitriev, V.P. Koshelets, M.G. Kozin, I.L. Romashkina, S.A. Sergeev and V.S. Shpinel. Phonon effects in STJ X-ray detectors. Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. A, 2000, v.444, p.19-22.

В.С. Шпинель. Принцип работы γ -спектрометра с многоканальным микрокалориметром на горячих электронах. Известия РАН. Серия физическая, 2000, т.64, №11, с.2216-2220.

2002 год

V.S. Shpinel and V.A. Andrianov. Electron Multiplier with a Cascade of NIS Tunnel Junctions. Proc. of 9-th Int. Workshop on Low Temp. Detectors (LTD-9), 22-27 July, 2001, Univ. of Wisconsin, Madison, Wisconsin, USA. American Institute of Physics, Melville, New York, 2002. AIP conf. proc., v. 605, p.285-288.

В.С. Шпинель. Электрон-фононный умножитель с каскадом туннельных NIS-переходов и микрокалориметрами на горячих электронах. Ядерная физика, 2002, т.65, №1, с.40-43.

В.С. Шпинель. К статье Г.А. Гончарова, Л.Д. Рябева «О создании первой отечественной атомной бомбы». УФН (Письма в редакцию), 2002, т.172, №2, с.235-236.

2003 год

В.С. Шпинель. Энергетическое распределение ядер отдачи в случае быстрого последовательного испускания нейтрино и γ -кванта или двух γ -квантов. Известия РАН, серия физическая, 2003, т.67, №1, с.6-7.

2004 год

В.С. Шпинель. Возможность изучения спектров ядер отдачи после β -распада с помощью низкотемпературного микрокалориметра. Известия РАН. Серия физическая. 2004, т.68, №8, с.1078-1079.

2005 год

В.С. Шпинель. Проект сверхпроводящего детектора большого размера с направленной диффузией горячих электронов и микрокалориметром. Ядерная физика, 2005, т. 68, № 12, с.2096-2100.

2006 год

B.C. Шпинель. Низкотемпературный детектор с многослойным сверхпроводящим поглотителем большой площади. Известия РАН, серия физическая, 2006, т.70, №5, с.748-750.

2007 год

V.S. Shpinel. MES of 57-Co in Pd(Fe,Co) and HTS's. Mossbauer Effect Reference and Data Journal, 2007, v.30, №5, p.112-113.

2010 год

V.S. Shpinel. Inertial currents in rotating superconductor and γ -quanta detector with rotating superconducting absorber. Physica C, 2010, v.470, №4, p.120-122.



Научное издание

**Профессор
Владимир Семенович Шпинель**

Физик-экспериментатор, изобретатель, педагог

К 100-летию со дня рождения

Сборник подготовлен редакционным советом в составе:

Л. Д. Блохинцев, А. Н. Грум-Гржимайло,
М. И. Панасюк, Е. А. Романовский

Сборник статей

Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная.

Печать цифровая. Тираж 150 экз. Заказ № Т-154-11.

Отпечатано с материалов, предоставленных авторским коллективом,
в типографии «КДУ». Тел./факс (495) 939-44-91; 939-57-32
www.kdu.ru; e-mail: kdu@kdu.ru