

С342 6

0-76

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

14 - 5950

Ю.М. Останевич

ЭФФЕКТ МЕССБАУЭРА  
И НЕКОТОРЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ ЭТОГО ЭФФЕКТА  
К ФИЗИКЕ И ХИМИИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Специальность 01.040 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Дубна 1971

Ю. М. Останевич

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики  
Объединенного института ядерных исследований.

## Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук В. И. ГОЛЬДАНСКИЙ  
доктор физико-математических наук Д. Н. ЗУБАРЕВ  
доктор физико-математических наук Б. Н. САМОЙЛОВ

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Научно-исследовательский институт ядерной физики Московского  
государственного университета.

Автореферат разослан "       " \_\_\_\_\_ 1971г.

Защита диссертации состоится "       " \_\_\_\_\_ 1971г.  
на заседании Объединенного Ученого Совета ЛЯР и ЛНФ ОИЯИ,  
Дубна, Московской области, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

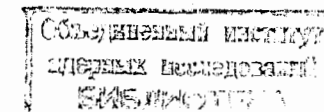
Ученый секретарь Совета

Э. Н. КАРЖАВИНА

ЭФФЕКТ МЕССБАУЭРА  
И НЕКОТОРЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ ЭТОГО ЭФФЕКТА  
К ФИЗИКЕ И ХИМИИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Специальность 01.040 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук



Диссертация состоит из двух частей. Первая часть (главы I-IV) посвящена развитию методики ядерной гамма-резонансной (ЯГР) - спектроскопии с тремя излучателями ( $^{57}\text{Fe}$ ,  $^{67}\text{Zn}$  и  $^{149}\text{Sm}$ ) и некоторым прикладным и аналитическим исследованиям. Вторая часть (гл.V-X) содержит результаты исследования свойств ближайшего атомного окружения мёссбауэровского ядра в щелочножелезосиликатных стеклах (гл.VI), в системе  $\text{FeS}_{1+x}$  (гл.VII) и в сплаве  $\text{Fe}_3\text{Al}$  (гл.VIII и IX).

Поскольку первая часть носит преимущественно методический характер, она начинается с общей характеристики эффекта Мёссбауэра как одного из методов спектроскопии (гл.I). Форма одиночной мёссбауэровской линии близка к лоренцевской. Число линий в одном спектре - переменное, зависит от характеристик излучающего ядра, соединения, в которое оно входит, наличия внешних полей и т.д. Более детальные характеристики ЯГР-спектров (положения, интенсивности и ширины отдельных линий) зависят от ряда свойств ядра и ядерного уровня, используемого для наблюдения эффекта Мёссбауэра. Перечень этих свойств ( $M$ ,  $E_0$ ,  $\tau$ ,  $\mu_{\text{осн}}$ ,  $\mu_{6,35}$ ,  $Q_{\text{осн}}$ ,  $Q_{6,35}$ ,  $I_{\text{осн}}$ ,  $I_{6,35}$ ,  $\alpha$ ,  $\Delta R/R$ ) содержит как хорошо табулированные величины, так и ряд характеристик, определение которых может быть одной из задач ЯГР-спектроскопии.

Вид наблюдаемых спектров определяется также взаимодействием ядра с внешними полями и частицами. Это позволяет находить величины  $f$ ,  $\Delta|\psi(0)|^2$ ,  $\nabla \vec{E}(0)$ ,  $\vec{H}(0)$ , зависящие от свойств исследуемого вещества. Подробное рассмотрение взаимосвязи этих характеристик с другими свойствами твердого тела производится в главе У.

Высокое относительное энергетическое разрешение ядерного гамма-резонанса ( $\Gamma/E \sim 10^{-12} + 10^{-15}$ ) позволяет изучать весьма

малые релятивистские эффекты и эффекты, связанные с тяготением. Малая абсолютная ширина ЯГР - линий ( $10^{-8} + 10^{-10}$  эв) позволяет исследовать целый набор сверхтонких взаимодействий мёссбауэровского ядра с окружением.

Вторая глава диссертации содержит описание экспериментальной техники и вопросов, связанных с применением вычислительных машин при проведении эксперимента и для обработки результатов. В ней можно найти описание скоростного спектрометра (электроника, вибратор) и результаты его испытаний /1/. Основные идеи конструкции описанного спектрометра /2, 3/ оправдали себя на практике. К их числу следует отнести многосчетчиковый режим работы МОЗУ и регистрацию спектра в течение полного периода движения вибратора.

Определенное внимание уделено детектору гамма-квантов и спектрометрической аппаратуре, аппаратуре для измерений при низких и высоких температурах образца и технологии приготовления мёссбауэровского излучателя  $^{57}\text{Co}$ .

Математическая обработка мёссбауэровских спектров велась методом наименьших квадратов в предположении, что форма одиночной мёссбауэровской линии хорошо аппроксимируется лоренцевской кривой. Основная программа обработки позволяет обрабатывать спектры, содержащие до 12 линий. Либо все параметры могут рассматриваться независимыми, либо на часть из них могут быть наложены ограничения, вытекающие из физических соображений. Такими ограничениями могут быть: фиксация какого-либо параметра, приравнивание двух или более однородных параметров (амплитуд, ширины), относящихся к разным линиям, и т.д. /4/. Другой вариант программы позволяет описывать спектр суперпозицией зеемановских "шестерок", каждая из которых характеризуется независимыми параметрами: амплитудой, химическим сдвигом, магнитным полем на ядре и квадрупольным расщеплением.

Две других программы позволяют вычислять градиент электрического поля и магнитное поле, создаваемое ионами и магнитными диполями, окружающими избранный узел решетки. К числу вопросов, связанных с использованием ЭВМ, следует отнести чисто техническую проблему вывода большого количества экспериментальных данных из анализатора и их ввода в ЭВМ. Эта проблема также была успешно решена с участием автора путем разработки технического и программного обеспечения связи измерительного центра с вычислительной машиной /5/.

Развитию методов ЯГР-спектроскопии с "трудными" мёссбауэровскими излучателями  $^{67}\text{Zn}$  и  $^{149}\text{Sm}$  посвящена 3 глава диссертации. Основные результаты этих исследований опубликованы в работах /3, 6-10/. Исследования с  $^{149}\text{Sm}$  затруднены малой активностью источника и присутствием большого фона рентгеновских лучей, возникающих при электронном захвате в  $^{149}\text{Eu}$ . Последнюю трудность в значительной мере удалось обойти путем применения пропорционального счетчика в качестве детектора гамма-излучения. В первых опытах /6/ обнаружен эффект резонансного поглощения и тем самым подтверждена схема распада  $^{149}\text{Sm}$ . В дальнейшем /3/ был измерен скоростной спектр в  $\text{Sm}_2\text{O}_3$  и исследована зависимость величины резонансного поглощения от толщины поглотителя. Из этих данных определены нижняя граница времени жизни возбужденного состояния перехода 22 кэВ  $\tau > 4 \cdot 10^{-9}$  сек, коэффициент конверсии уровня 22 кэВ  $\alpha = 4I_{\pm 12}$  и спин  $I_{e,5} = 5/2$ . Все эти данные в дальнейшем были подтверждены исследованиями других авторов /11, 12/. В исследованиях с  $^{67}\text{Zn}$  уже в первой работе /7/ выяснилось, что эксперименты с этим изотопом весьма трудоемки из-за крайне малой величины наблюдаемого эффекта. В металлическом цинке наблюдаемый эффект составлял  $\sim 2 \cdot 10^{-4}$  от регистрируемой

интенсивности. Следующим шагом явилось измерение энергетического спектра резонансного поглощения в окиси цинка /8/. Опыт потребовал разработки нового типа скоростного спектрометра с кварцевым вибратором в качестве элемента, задающего скорость относительного движения. В этом опыте наблюдаемый эффект уже составлял  $\sim 2 \cdot 10^{-3}$ . Ширина наблюдаемой линии превышала естественную примерно в 2-3 раза. В спектре содержались указания на присутствие сверхтонкой структуры, которая, однако, не была разрешена. Хотя последний опыт и явился существенным шагом в развитии спектроскопии с  $^{67}\text{Zn}$ , малость эффекта и короткий период полураспада материнского ядра  $^{67}\text{Ga}$  ( $T_{1/2} = 78$  часов) делали невозможными более детальные исследования.

Следующий серьезный методический шаг был сделан нами после некоторого перерыва и заключался в разработке токового метода регистрации мёссбауэровских спектров /9/ и методики приготовления весьма сильных излучателей  $^{67}\text{Ga}$  /10/. Все это позволило существенно ( $\sim$  в 200 раз) сократить продолжительность измерений по сравнению с обычной постановкой опыта. Кроме того, нами проведены исследования влияния условий приготовления источника и поглотителя на величину наблюдаемого эффекта. На основе этих разработок начаты новые исследования эффекта Мёссбауэра в  $^{67}\text{Zn}$ . Заметим, что по результатам опыта /8/, согласно модельным представлениям /13/, верхняя граница элементарной длины имеет значение  $l < 5 \cdot 10^{-20}$  см.

Завершает первую часть диссертации гл. IV, в которой собраны итоги ряда аналитических исследований с  $^{57}\text{Fe}$ . С помощью ЯГР-спектроскопии возможен анализ силикатной, сульфидной и мет-аллической фаз железо-каменных метеоритов /14/. В некоторых случаях возможно прямое определение состава в пределах отдельной

фазы. Мёссбауэровская спектроскопия позволяет уверенно идентифицировать и разделять чистые  $\alpha$  и  $\gamma$  - гидрокислы железа /15/. Возможности анализа нестехиометрических гидрокислов являются менее перспективными. При исследовании нестехиометрических  $\alpha$  - гидрокислов железа установлено /16/, что в системе гетит - вода чистому гетиту соответствует простой мёссбауэровский спектр с одним значением  $N_{\text{эфф}}$ . Два значения  $N_{\text{эфф}}$  появляются при 7+8 мол.% избыточной воды. Предполагается, что при этой концентрации воды образуется новая фаза, отличающаяся присутствием двухвалентной формы железа. Область существования этой фазы простирается по крайней мере до 12 мол.%  $\text{H}_2\text{O}$  сверх формулы  $\alpha\text{-FeOOH}$ .

При исследовании природных сульфидов железа на основе анализа корреляций между рядом параметров (химический сдвиг - длина связи  $\text{Fe}-\text{S}$ ; соотношение между наблюдаемым квадрупольным расщеплением и ожидаемым по модели точечных зарядов) удается классифицировать валентные состояния железа и тип химической связи /17/.

Показано, что эффект Мёссбауэра может быть с успехом применен для определения ильменита и магнетита в титаномagnetитовых рудах /18/.

Вторая часть диссертации посвящена изучению свойств ближайшего атомного окружения мёссбауэровского ядра в различных твердых телах. Описанию экспериментов предшествует У глава, содержащая краткий литературный обзор влияния ближайшего атомного окружения на наблюдаемые мёссбауэровские параметры (ширину линии, положение отдельной линии, квадрупольное и магнитное сверхтонкие расщепления, интенсивности линий).

При исследовании железосодержащих щелочных силикатных стекол /19/ удалось проследить как за валентными, так и за структурными состояниями железа в стеклах. Таких возможных состояний четыре:  $Fe^{2+}$  и  $Fe^{3+}$  в ролях модификатора сетки и стеклообразователя. При малых концентрациях ( $\leq 1$  мол.%  $Fe_2O_3$ ) железо в основном двухвалентно и играет роль стеклообразователя с координационным числом 4. При повышении концентрации  $Fe_2O_3$ ,  $Fe^{2+}$  в основном становится модификатором сетки с координационным числом 6, а доля состояний  $Fe^{2+}$  непрерывно уменьшается. Увеличение концентрации железа приводит к повышению формальной степени его окисления с  $Fe^{2+}$  до  $Fe^{3+}$ , причем в области свыше 10 мол.%  $Fe_2O_3$  преобладающим состоянием является  $Fe^{3+}$  в роли стеклообразователя. На равновесие  $Fe^{2+} \rightleftharpoons Fe^{3+}$  в стеклах заметно влияет вид модификатора (K, Na, Li) и условия варки стекла (окислительные, восстановительные). При концентрациях свыше 7 мол.%  $Fe_2O_3$  ширина линий в скоростных спектрах перестает зависеть от состава, что указывает на неизменность и упорядоченность ближайшего окружения железа при вариациях состава стекла. Микроструктура ближайшего окружения железа в стеклах не совпадает со структурой ряда кристаллических железосиликатов, исследованных нами (эпидот, биотит, флогопит, роговая обманка, эгирин, фаялит).

Обнаружено систематическое расхождение между химическим определением относительного содержания  $Fe^{2+} : Fe^{3+}$  и мёсбауэровскими результатами. Вероятной причиной этого расхождения является окисление части двухвалентного железа до трехвалентного при растворении стекла для химических определений.

Следующей исследованной системой (глава УП) переменного состава является моносульфид железа  $FeS_{1+x}$  /20/. В отличие от стекол, эта система обладает пространственной упорядоченностью структуры, образуя обычный кристалл. Однако узлы катионной подрешетки при  $x \neq 0$  могут быть заняты либо атомами железа, либо оставаться пустыми. Это – пример структуры вычитания, которая сохраняет устойчивость вплоть до  $x = 0,15$ . Столь высокая концентрация вакансий в одной подрешетке позволила проследить за изменениями, происходящими как с атомами железа – ближайшими соседями к вакансии, так и в целом во всем кристалле. Собственно предметом исследования была зависимость формы скоростных спектров от состава при комнатной температуре. Всего было исследовано 22 синтетических образца в интервале  $x = 0 + 0,14$  и 13 природных образцов в области  $x = 0,110 + 0,135$ . Анализ мёсбауэровских спектров позволил сделать следующие выводы.

В системе  $FeS_{1+x}$  при  $x > 0$  не возникают трехвалентные состояния железа. Последнее остается двухвалентным, однако при возрастании  $x$  происходит усиление степени ковалентности связей  $Fe-S$  и  $S-S$ . Одна вакансия уменьшает магнитное поле на ядрах шести атомов железа, являющихся ближайшими соседями к вакансии в  $BC$ -плоскости и не уменьшает поле для атомов железа, являющихся ближайшими соседями к вакансии вдоль оси  $C$ . Этот результат указывает на существование сильного косвенного обменного взаимодействия между атомами железа в  $BC$ -плоскости с помощью анионов серы из соседних плоскостей.

Квадрупольное взаимодействие в  $FeS_{1+x}$  полностью обусловлено решеточной компонентой градиента электрического поля (ГЭП). Не подтверждена модель структуры  $Fe_7S_8$ , предложенная Берто. Расхождения с этой моделью имеются в двух существенных отношениях:



а) нами не наблюдаются трехвалентные состояния железа; б) число различных неэквивалентных состояний двухвалентного железа и их интенсивности не соответствуют ожидаемым из модели.

Отмечена возможность существования двух типов ближнего порядка в расположении вакансий, перестройка которых приводит к фазовым превращениям.

Две главы - УШ и IX - посвящены описанию опытов по исследованию эффектов ближайшего атомного окружения в системе  $Fe-Al$  и в особенности в сплаве  $Fe_3Al$  /21 - 25/. Основные результаты этих исследований заключаются в следующем.

Обнаружена область составов и температур сплава, внутри которой скоростной спектр состоит из двух компонент - магнитной и парамагнитной. Предполагается, что двум компонентам спектра соответствуют две атомные подрешетки, содержащие атомы железа с различным ближайшим окружением. Эти различия существенны для объяснения наблюдавшихся изменений скоростных спектров вблизи точки атомного упорядочения одной из подрешеток. Исследования кинетики достижения равновесного состояния вблизи этого фазового перехода обнаружили качественное подобие временной зависимости макроскопической намагниченности и микроскопической "намагниченности" (уширения) парамагнитной компоненты спектра. Для интерпретации как макроскопического явления "двойной точки Кюри", так и мёсбауэровского поведения атомов железа предложена модель, согласно которой упорядочение одной из подрешеток сопровождается неравновесным разупорядочением другой подрешетки. В этом состоянии сплав обладает макроскопической намагниченностью, которая вместе с разупорядоченным состоянием сплава стабилизируется достаточно сильным внешним магнитным полем. Последнее обстоятельство

подтверждено экспериментально путем исследования мёсбауэровских спектров сплава  $Fe_3Al$  в магнитном поле при температуре, близкой к точке упорядочения /25/.

Альтернативное объяснение - двухфазность сплава - также было предметом отдельного экспериментального изучения /24/ и не подтвердилось. Этот результат находится в согласии с рядом последних исследований сплава  $Fe_3Al$  других авторов /26, 27/.

Заключительная, X глава подводит итог второй части диссертации. В ней показано, что эффект Мёсбауэра является весьма эффективным методом для исследования свойств ближайшего атомного окружения в твердых телах. Сама область исследований является весьма интересной, причем, исходя из характеристик ближайшего атомного окружения, возможно плодотворное рассмотрение ряда других свойств твердых тел, в том числе и макроскопических.

#### В ы в о д ы .

1. Созданы 3 типа скоростных спектрометров: спектрометр с синусоидальным законом движения для исследований с  $^{57}Fe$  и  $^{149}Sm$ ; спектрометр с постоянной скоростью для исследований с  $^{67}Zn$ ; спектрометр с синусоидальным движением и токовым методом регистрации для исследований с  $^{67}Zn$ . Одновременно созданы аппаратура для исследований в широком температурном интервале ( $4,2 + 1200^{\circ}K$ ), пропорциональный счетчик для регистрации мягкого гамма-излучения, методика приготовления мёсбауэровских излучателей  $^{67}Zn$ ,  $^{57}Fe$  и  $^{149}Sm$ .

2. Созданы программы математической обработки скоростных спектров, вычисления ГЭИ и магнитного дипольного взаимодействия в рамках модели точечной решетки; разработаны вопросы связи измерительных устройств с ЭВМ.

3. В исследованиях с  $^{149}\text{Sm}$  определены ширина резонансной линии, вероятность испускания без отдачи и спин возбужденного состояния.

4. В исследованиях с  $^{67}\text{Zn}$  определена наблюдаемая ширина уровня, послужившая для оценки верхней границы элементарной длины.

5. Доказана возможность применения ЯГР-спектроскопии для аналитических исследований железо-каменных метеоритов, гидроксидов железа, железистых минералов и природных сульфидов железа.

6. В щелочножелезосиликатных стеклах с помощью ЯГР-спектроскопии удастся проследить за валентными и структурными состояниями железа.

7. В системе  $\text{FeS}_{1+x}$  с ростом избытка серы происходит уменьшение эффективного заряда подрешеток  $\text{Fe}$  и  $\text{S}$ , уменьшается  $N_i$  на ближайших соседях к вакансии железа, не возникает трехвалентных состояний железа. Не подтвердилась модель Берто для состава  $\text{Fe}_2\text{S}_3$ .

8. Исследованы особенности поведения сплава  $\text{Fe}_3\text{Al}$ . Предложена микроскопическая модель, объясняющая как макроскопические аномалии, так и результаты ЯГР-исследований. Выполнены дополнительные опыты, подтверждающие предлагаемую нами модель и опровергающие альтернативную гипотезу о двухфазности сплава.

Основные результаты приведенных в диссертации исследований опубликованы в работах /I-10, I4-25/ и докладывались на совещаниях:

- 1) Рабочее совещание по эффекту Мёссбауэра, Дубна, 1962.
- 2) Всесоюзное совещание по эффекту Мёссбауэра, Москва, 1966.
- 3) 3 международная конференция социалистических стран по применениям эффекта Мёссбауэра (Тихань, Венгрия, 1969).

- 4) Вторая Менделеевская дискуссия по химии кристаллических оксидов и халькогенидов, Ленинград, 1969.

#### Л и т е р а т у р а.

1. В.П.Алфименков, Ю.М.Останевич, А.В.Стрелков, Е.Савицки, Л.Чер, У Бай-ши. "Установка для исследования эффекта Мёссбауэра", Препринт ОИЯИ I3-2988, Дубна (1966).
2. В.П.Алфименков, Ю.М.Останевич, "Труды рабочего совещания по эффекту Мёссбауэра, Дубна, 1962г." Препринт ОИЯИ P-I23I, Дубна, 1962.
3. В.П.Алфименков, Н.А.Лебедев, Ю.М.Останевич, Т.Русков, А.В.Стрелков. ЖЭТФ 46, 482 (1964).
4. И.Звольски, Ю.М.Останевич, В.И.Приходько, в сб. "Труды школы ОИЯИ по применению ЭВМ в экспериментальной физике", Алушта 1968, Препринт ОИЯИ, IO-4220, Дубна (1968).
5. Г.И.Забиякин, В.Н.Замрий, Л.С.Нефедьева, Ю.М.Останевич, В.М.Ягафарова, ПТЭ, 1968, № 2, стр.78.
6. В.П.Алфименков, Ю.М.Останевич, Т.Русков, А.В.Стрелков, Ф.Л.Шапиро, Янь У-Гуан, ЖЭТФ 42, IO36 (1962).
7. С.И.Аксенов, В.П.Алфименков, В.И.Луциков, Ю.М.Останевич, Ф.Л.Шапиро, Янь У-Гуан, ЖЭТФ 40, 88 (1961).
8. В.П.Алфименков, Ю.М.Останевич, Т.Русков, А.В.Стрелков, Ф.Л.Шапиро, Янь У-Гуан, ЖЭТФ 42, IO29 (1962).
9. А.А.Жаринов, Г.П.Жуков, Ю.М.Останевич, К.Г.Родионов, Б.Н.Соловьев, В.Г.Тишин, Хоанг Зыонг Куан, "Семинар по ядерной электронике, Варна, Болгария, июнь 1969", стр.315-318, изд.ОИЯИ I3-4720, Дубна, 1969.



10. А.И.Бескровный, Н.А.Лебедев, Ю.М.Останевич, В.Хильдебрандт, "Выделение галлия-67 и приготовление источников для исследования эффекта Мёссбауэра в цинке-67", Сообщение ОИЯИ I4-5573, Дубна, 1971.
11. Е.Е.Берлович, В.В.Головин, А.Е.Поляков, М.Ходашев, Т.Хамдаров. Известия АН СССР, сер.физ. 30, I94 (1966).
12. S.Ofer, I.Nowik, Nucl. Phys. A 93, 689-9I (1967).
13. Д.А.Киржниц, В.А.Чечин, Ядерная физика, 7, 43I (1968).
14. Л.К.Левский, Ю.М.Останевич, С.Б.Томилов, Геохимия, 1968г. № 9, стр.106I.
15. Г.Н.Гончаров, Ю.М.Останевич, С.Б.Томилов, "Минералогия и геохимия", сб.статей, вып.П, Ленинградский гос.университет, 1967, стр.7I.
16. Г.Н.Гончаров, Ю.М.Останевич, С.Б.Томилов. препринт ОИЯИ PI4-3502 (1967).
17. Г.Н.Гончаров, Ю.М.Останевич, С.Б.Томилов. Известия АН СССР, сер.геолог.,1970, № 8, стр.79.
18. В.И.Гольданский, Б.Г.Егизаров, В.М.Запорожец, Ю.М.Останевич, И.Д.Чупрова, в сборнике статей "Прикладная геофизика", вып.44, стр.202 (1965).
19. А.А.Белюстин, Ю.М.Останевич, А.М.Писаревский, С.Б.Томилов, У Бай-ши, Л.Чер. ФТТ 7, I447 (1965).
20. G.N.Goncharov, Yu.M.Ostanevich, S.B.Tomilov, L.Cser. Phys. Stat. Sol., 37, I4I (1970).
21. L.Cser, I.Dezsi, L.Kesthelyi, Yu.m.Ostanevich, L.Pal. Phys. Lett, I9, 99 (1965).

22. L.Cser, Yu.M.Ostanevich, L.Pal. Phys. Stat. Sol. 20, 581 (1967).
23. L.Cser, Yu.M.Ostanevich, L.Pal, Phys. Stat. Sol., 20, 59I (1967).
24. Г.Концош, Д.Надь, Ю.М.Останевич, Л.Пал, Л.Чер "Исследование распределения алюминия в сплаве железо-алюминий". Сообщение ОИЯИ PI4-4828 (1969).
25. L.Cser, Yu.M.Ostanevich, L.Pal, Phys. Stat. Sol., 42, K I47 (1970).
26. Р.Н.Кузьмин, С.А.Лосиевская, ФММ 29, 569 (1970).
27. P.R.Swann, W.R.Duff, R.M.Fisher, Phys. Stat.Sol., 37, 577 (1970).

Рукопись поступила в издательский отдел 23 июля 1971 года.