

АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ  
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНЫХ ПРОБЛЕМ ФИЗИКИ

На правах рукописи

АДАМЯН ВИКТОР ЕРЕМОВИЧ

МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ТВЕРДЫХ  
РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ  
С ВЫБОРОЧНО ВАРИРУЕМЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Специальность 01.04.07 - физика твердого тела

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора физико-математических наук

Ереван - 1992

Работа выполнена в научно-исследовательской лаборатории физики когерентного взаимодействия рентгеновского излучения с веществом Ереванского государственного университета.

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук, профессор СЕЛЕЗНЕВ В.Н.

доктор физико-математических наук, профессор ПОГОСЯН Я.М.

доктор физико-математических наук ШАРОВИ Э.Г.

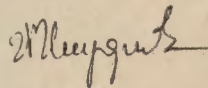
Ведущая организация: Донецкий физико-технический институт АН Украины

Защита состоится "22" сентября 1992 г. в 12<sup>00</sup> час. на заседании специализированного совета Д 005.20.01 при Институте прикладных проблем физики АН РА по адресу: 375014, Ереван-14, ул. Гр.Нерсисяна, 25.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института прикладных проблем физики АН РА.

Автореферат разослан "10" августа 1992 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета  
кандидат физ.-мат. наук



САРКИСЯН М.А.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Развитие новых отраслей науки и техники все настоятельнее требует создания материалов с заданными свойствами, в связи с чем ставится задача разработки теории и установления экспериментальных закономерностей, на основе которых можно было бы прогнозировать металлические и неметаллические сплавы и композиции с требуемыми эксплуатационными характеристиками. Изыскиваются пути и способы решения этой важнейшей и пока еще далеко не решенной проблемы.

В принципе возможны два пути при получении металлических материалов с заданными свойствами. Один из них, чисто эмпирический, заключается в том, чтобы создавать большое количество сплавов различного состава из различных металлов и затем из полученных сплавов выбрать те, которые при испытаниях оказались пригодными для поставленной задачи. Ясно, что такой способ чрезвычайно дорог, требует много времени, труда и материалов. При этом нет уверенности в том, что среди полученных сплавов окажется сплав с нужными параметрами.

Для получения материалов, удовлетворяющих совокупности большого числа разнообразных требований, нужен другой подход, основанный на понимании происходящих в металлах процессов. Такой подход должен дать возможность заранее предсказать, из каких металлов и какого состава должен быть изготовлен сплав, какой обработке он должен быть подвергнут, чтобы получить материал с требуемыми свойствами.

Проблема получения новых магнитных материалов требует детального исследования зависимости физических, в частности, магнитных свойств от состава сплава или соединения. Сложность заключается в том, что вариация состава с целью изменения одного из параметров, приводит к изменению и других параметров, влияющих на магнитные характеристики материала. При этом, в большинстве случаев становится практически невозможным однозначно определять влияние каждого фактора в отдельности на изучаемое свойство.

Как экспериментальные, так и теоретические изыскания показали, что факторами, влияющими на магнитные свойства металли-

ческих магнетиков, являются концентрация магнитоактивных ионов  $X$ , число электронов проводимости, приходящихся на элементарную ячейку  $Z$ , параметр элементарной ячейки  $a$  и лигандное окружение магнитоактивного иона.

Цель работы. Целью настоящей диссертационной работы является:

1. Создание ряда модельных металлических объектов, в которых изменяя составы образцов можно целенаправленно менять один из трех параметров  $X$ ,  $a$  и  $Z$ , влияющих на магнитные свойства, либо все три параметра сохранять постоянными.

2. Экспериментальное разделение вкладов в обменное взаимодействие отдельных параметров, от которых зависят магнитные свойства, а также исследование влияния лигандного окружения на магнитные свойства магнитоактивного иона.

3. Уточнение границ применимости теории косвенного обменного взаимодействия между магнитоактивными ионами через электроны проводимости (теория РККИ) при интерпретации результатов экспериментальных исследований магнитных свойств металлических сплавов и соединений.

#### Научная новизна.

1. Впервые разработаны принципы, позволяющие получать системы металлических твердых растворов, в каждой из которых контролируемым образом можно изменять или оставлять постоянным любой из параметров, влияющих на магнитные характеристики.

2. Впервые рассчитаны составы и синтезированы системы твердых растворов в соответствии с условиями, указанными в пункте 1.

3. Проведены измерения магнитных характеристик синтезированных образцов и впервые выявлены закономерности по влиянию измерения каждого из параметров в отдельности на магнитные характеристики.

4. Путем сравнения полученных экспериментальных результатов с выводами теории РККИ впервые показано, что а) зависимости температуры Кюри от концентрации магнитоактивных ионов и числа электронов проводимости, приходящихся на элементарную ячейку, хорошо описываются этой теорией, б) зависимости температуры Кюри от изменения параметра решетки и лигандного окружения маг-

нитоактивного иона не могут быть объяснены на основании выводов теории РККИ.

5. Впервые обнаружено явление образования кристаллического кадмия в приповерхностном слое некоторых образцов исследованных твердых растворов.

6. Проведено разделение накладывающихся друг на друга дифракционных рефлексов с изменяющимися в процессе съемки интенсивностями.

#### Практическая ценность работы заключается:

1. В возможности применения полученных закономерностей в поиске и прогнозировании свойств новых магнитных материалов. В частности, повышение температуры Кюри и намагниченности сплавов можно осуществлять варьированием относительных количеств немагнитных компонентов без увеличения содержания дорогостоящего магнитного металла.

2. Непосредственное прикладное значение имеет обнаруженный в работе эффект выхода металлического кадмия на поверхность сплава. Это явление может быть использовано для осуществления сухой смазки между трущимися деталями машин и механизмов, т.к. кадмий известен как антифрикционный материал.

3. Общие принципы создания модельных твердых растворов могут быть успешно использованы в различных областях физики твердого тела, в частности, при изучении высокотемпературной сверхпроводимости.

4. Разработан способ калибровки установки по измерению начальной магнитной восприимчивости в процессе измерения. Это в значительной степени ускоряет и упрощает процесс измерения.

5. Разработана методика расчета составов и осуществлен синтез модельных многокомпонентных твердых растворов.

6. Разработана рабочая методика разделения накладывающихся друг на друга дифракционных рефлексов с изменяющимися в процессе съемки интенсивностями.

7. Разработаны программы на языке БЕЙСИК с использованием персонального компьютера РС-6 для проведения необходимых расчетов.

Основные результаты и положения, выносимые на защиту:

1. Разработанные новые принципы составления твердых растворов: если имеется линейное изменение параметра решетки между значениями параметров решеток как бинарных, так и псевдобинарных твердых растворов, то возможно создание систем многокомпонентных твердых растворов, в каждой из которых контролируемым образом можно изменять или оставлять постоянным любой из параметров, влияющих на магнитные свойства.

2. Расчеты на основе разработанных принципов составов восьми систем многокомпонентных твердых растворов с общей формулой  $(Gd La Lu Y)(Cu Zn Cd In)$ , в которых с изменением состава варьируется только один параметр, влияющий на магнитные свойства, либо все параметры остаются неизменными.

3. Результаты рентгенографического анализа синтезированных образцов, подтвердивших справедливость выдвинутых принципов расчета.

4. Результаты экспериментальных исследований магнитных характеристик синтезированных образцов

а) установлено, что замещения в первой координационной сфере вокруг магнитоактивного иона приводят к заметным изменениям магнитных характеристик в отличие от замещений во второй координационной сфере;

б) обсуждены возможные причины аномального поведения магнитных характеристик от состава в случае замещений в лигандном окружении магнитоактивного иона;

в) показано, что температура Кюри  $\theta_p$  линейно зависит от концентрации магнитоактивных ионов;

г) выделен вклад в  $\theta_p$  числа электронов проводимости, входящих на элементарную ячейку;

д) полученная зависимость магнитных характеристик от параметра кристаллической решетки, вопреки ожиданиям, имеет сложный вид.

5. Результаты детального рентгенографического (дифракционного и флуоресцентного) анализа образцов системы А (твердых растворов, в которых замещения проводятся как в первой, так и во второй координационных сферах вокруг магнитоактивного иона), а также теоретический расчет дифракционного спектра в модели

упорядоченного распределения атомов по узлам решетки с образованием структурного типа  $C_5C_8$ .

6. Проведенный на основе рентгеновских и магнитных данных анализа предполагаемого наличия в образцах начала и конца ряда твердых растворов системы А областей с антиферромагнитным упорядочением, возникших вследствие возможного статистического распределения редко- и редкоземельных ионов по всем узлам кристаллической решетки.

7. Обнаруженное явление образования кристаллического кадмия в приповерхностном слое образца и предполагаемый возможный механизм, объясняющий это явление.

8. Разработанный метод разделения накладывающихся рентгеновских дифракционных линий с изменяющимися в процессе съемки интенсивностями.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на III и IV Всесоюзных конференциях по физике редкоземельных полупроводников (Ленинград-1979, Тбилиси-1983), на XVI и XVII Всесоюзных конференциях по физике магнитных явлений (Тула-1983, Калинин-1988), на профессорско-преподавательской межинститутской научной сессии (Тбилиси-1986), на Всесоюзной школе по релаксационным процессам в металлических и неметаллических материалах (Алверан-1987), на семинаре "Физика магнетизма редкоземельных сплавов" (Тузунд-1988), на XXIV Конгрессе "АМПЕРЕ" по магнитному резонансу и сопутствующим явлениям (Познань-1988), на I Советско-Индийском совещании по редкоземельным и актинидным соединениям (Таллин-1988), на сессии научного совета АН СССР по проблеме "Магнетизм" (Алушта-1990), на общем годовичном собрании АН РА (Ереван-1991), на семинарах кафедр твердого тела и общей физики ЕГУ и т.д.

Публикации. Материалы диссертации опубликованы в 22 печатных работах.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов, приложения, списка литературы из 94 наименований, 22 таблиц и 132 рисунков. Она содержит 298 страниц машинописного текста.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулирована цель работы, ее научная новизна и практическая ценность результатов, а также изложено краткое содержание диссертации.

Первая глава диссертации является литературным обзором. В ней приведены литературные данные по экспериментальным исследованиям соединений  $RM$  со структурой типа  $C_2C\ell$ , а также псевдобинарных систем  $R_1M_1-R_2M_2$ . Для настоящей диссертационной работы особенно интересны соединения  $RM$ , где  $R-Gd, La, Lu$  и  $Y$ , а  $M-Zn, Cd, In$  и  $Cu$ .

Из литературных данных следует, что соединения типа  $RM$ , где  $R-La, Lu$  и  $Y$ , а  $M-Zn, Cd, In$  и  $Cu$  или другие немагнитные элементы, являются паулиевскими парамагнетиками. Это и следовало ожидать, т.к.  $La^{3+}, Lu^{3+}, Y^{3+}$ , а также  $Zn^{2+}, Cd^{2+}, In^{3+}$  и  $Cu^{2+}$  имеют заполненные электронные оболочки, магнитный момент которых равен нулю, а их температурно-независимый парамагнетизм обусловлен электронами проводимости и нарушениями сферической симметрии этих ионов в кристалле.

Соединения  $Gd$  магнитоферромагнитны, если  $M$  - элементы IV и III групп периодической системы ( $Cu, Ag, In$ ) и ферромагнитны, если  $M$  - элементы II группы ( $Zn, Cd, Mg$ ).

Таким образом, обменные взаимодействия между ионами тяжелых РЗМ зависят от концентрации электронов проводимости в кристалле.

Рассмотрен ряд работ, где исследуются магнитные свойства систем твердых растворов в зависимости от концентрации электронов проводимости. Обращается внимание на то, что в этих системах изменяется также и параметр кристаллической решетки, однако авторы это обстоятельство не обсуждают и зависимость  $\theta_p$  от  $\alpha$  пренебрегают.

Далее приводятся сведения о попытках определения зависимости обменных взаимодействий от расстояния между магнитоактивными ионами. Все эти работы страдают тем недостатком, что не была определена зависимость обменных взаимодействий непосредственно от параметра решетки, за исключением работ по изучению зависимости магнитных свойств от давления, в которых, однако,

точно не известна зависимость параметра решетки от давления.

Приведены также сведения о влиянии магнитного разбавления на магнитные характеристики систем твердых растворов. Здесь также из-за разницы радиусов магнитного и немагнитного ионов магнитное разбавление приводит к изменению параметра решетки.

Таким образом, почти все работы, целью которых было исследовать влияние какого-либо магниточувствительного параметра на магнитные свойства сплавов в ряду твердых растворов, страдают тем недостатком, что независимо от воли исследователя, желающего изменить один параметр, неизбежно меняется и другой, и в результате исследуемое свойство оказывается функцией совместного действия несколько факторов.

Взаимодействие, приводящее к установлению магнитного порядка посредством поляризации электронов проводимости, известно как взаимодействие Рудермана-Киттеля-Касуи-Йосиды (РККИ). В литературном обзоре приводится краткое описание этого взаимодействия. Из этой теории для парамагнитной температуры Кюри получено выражение

$$\theta_p = - \frac{3 \cdot \pi \cdot Z^2 \cdot \Gamma^2(0)}{K_B \cdot E_F \cdot \Omega^2} \cdot (g-1)^2 \cdot J \cdot (J+1) \sum F(2 \cdot K_i \cdot R_i)$$

где  $\Gamma(0)$  - постоянная  $S-f$  обменного взаимодействия,  $K_F$  и  $E_F$  - импульс и энергия Ферми,  $\Omega$  - атомный объем,  $F(x) = (x \cdot \cos x - \sin x) / x^4$ .

Вторая глава посвящена описанию экспериментальных методов и установок, использованных в настоящем исследовании.

Образцы изготовлялись в печи с индукционным нагревом. Шихта из компонентов сплава, помещенная в алуновидный тигель, запаивалась под высоким вакуумом в кварцевой ампуле, которая устанавливалась в специальной формы графитовом нагревателе, находящемся в рабочей зоне индуктора. Гомогенность сплава обеспечивалась как высокочастотным, так и дополнительным механическим перемешиванием с помощью специального вибрационного устройства.

Температурная зависимость магнитной восприимчивости образцов измерялась методом Фарадея на кварцевых торсионных микровесах с полуавтоматическим уравниванием. Подробно описы-

вается конструкция установки, указаны преимущества этого метода перед другими. Температура регулировалась автоматически и поддерживалась с точностью  $\pm 0,5$  К. Относительная ошибка измерения  $\sim 1\%$ .

Намагниченность образцов в магнитоупорядоченной области измерялась на установке с вибрирующим образцом (метод Фонера) в интервале температур 5–300 К в полях, создаваемых электромагнитом, до 1,5 Тл. Образец помещался в стеклянный проточный криостат, охлаждаемый потоком гелия, поступающим из транспортного сосуда Дьюара. Температура регулировалась и стабилизировалась системой "УТРЕКС". В области гелиевых температур отклонение температуры от заданной не превышало  $\pm 0,1$  К, при высоких температурах —  $\pm 0,5$  К. Намагниченность в сильных магнитных полях до 9 Тл измерялась тем же методом в поле сверхпроводящего соленоида при 4,2 К.

Подробно рассматривается разработанный способ калибровки установки для измерения начальной магнитной восприимчивости. По сверхпроводящему образцу с известной восприимчивостью калибровалась небольшая катушка, которая во время измерений использовалась как вторичный эталон. Это в значительной степени упростило и ускорило процесс измерения. Начальная восприимчивость измерялась в полях от 2 до 5 Э в температурном интервале 4,2 – 300 К.

Температурная зависимость электросопротивления также измерялась в интервале 4,2 – 300 К в проточном гелиевом криостате четырехконтактным потенциометрическим методом. Измерительные провода присоединялись к образцу с помощью ножевых контактов в специально изготовленном держателе. Относительная ошибка измерения не превышала 2%.

Температуры во всех экспериментах измерялись полупроводниковым термометром сопротивления марки "Сгусал" (в температурном интервале 4,2 – 100 К) и платиновым термометром сопротивления (в интервале 100 – 300 К), либо термопарами, откалиброванными по этим термометрам.

Рентгендифракционный анализ проводился на полуавтоматическом дифрактометре ДРОН-2,0. Использовалась монохроматизированное излучение  $\text{Co K}\alpha$ . Регистрация дифракционных рефлексов

проводилась в двух режимах: 1) режиме непрерывной записи при вращении образца и счетчика соответственно с угловыми скоростями  $\omega$  и  $2\omega$ , 2) регистрацией интенсивности по точкам при последовательных поворотах образца и счетчика на дискретные углы (шаговый режим).

Анализ элементного состава образцов осуществлялся рентгенфлуоресцентным методом. В качестве источника первичного излучения применялся радиоактивный кадмий ( $^{109}\text{Cd}$ ).

В третьей главе приводятся результаты исследования магнитных, а в некоторых случаях и электрических свойств систем псевдобинарных твердых растворов с общей формулой  $\text{Gd}_x\text{R}_{1-x}\text{Zn}$ , где  $\text{R} = \text{La}, \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Sm}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Yb}, \text{Lu}, \text{Y}$ , а также систем  $\text{GdMg}_x\text{Zn}_{1-x}$ ,  $\text{GdMg}_x\text{Cu}_{1-x}$ ,  $\text{Nd}_x\text{Y}_{1-x}\text{Zn}$ , где  $0 \leq x \leq 1$ .

Исследования имели целью выяснить влияние на изучаемое свойство степени магнитного разбавления, изменения параметра решетки, концентрации электронов проводимости, магнитного момента замещающего гадолиний магнитоактивного иона и определения тех магнитоупорядоченных состояний, в которые переходят эти твердые растворы при низких температурах.

Рентгенографические исследования синтезированных образцов показали, что здесь мы имеем дело с непрерывными рядами твердых растворов со структурой типа  $\text{CsCl}$ . Постоянная кристаллической решетки псевдобинарных твердых растворов изменяется линейно между значениями постоянных решеток исходных соединений  $a_{\text{GdZn}}$  и  $a_{\text{RZn}}$ .

В области высоких температур псевдобинарные твердые растворы проявляют характерное для парамагнетиков поведение с эффективным магнитным моментом, близким к ожидаемому значению. Соединения  $\text{LaZn}$ ,  $\text{YZn}$  и  $\text{LuZn}$  являются паулиевскими парамагнетиками с независимой от температуры восприимчивостью.

В области низких температур псевдобинарные твердые растворы проявляют характерное для ферромагнетиков поведение. Энергия обменного взаимодействия уменьшается с уменьшением в сплаве количества гадолиния. При этом, по-видимому, доминирующее значение имеет величина постоянной кристаллической решетки, а не магнитные свойства R-иона, замещающего ион гадоли-

ния в псевдобинарных твердых растворах.

Попытки установления зависимости величин обменных взаимодействий от изменений отдельных параметров, влияющих на магнитные свойства, не увенчались успехом.

Для решения этой важнейшей проблемы была поставлена задача создания объектов, в которых при прочих постоянных условиях возможно изменение только одного параметра, влияющего на величину обменного взаимодействия.

В четвертой главе приводятся: I. Конкретные расчеты составов твердых растворов, в которых изменяется только один параметр, влияющий на магнитные свойства, при постоянстве двух других, а также расчеты составов сплавов, в которых все три параметра сохраняются постоянными: это достигается путем определенных изменений относительных количеств элементов, входящих в рассматриваемую многокомпонентную систему твердых растворов.

2. Результаты проведенных рентгеноструктурных исследований, которые подтвердили предположения, положенные в основу расчетов составов рассматриваемых систем твердых растворов.

3. Результаты измерений температурной и полевой зависимостей магнитной восприимчивости и намагниченности, а также вычисленные значения магнитных характеристик рассматриваемых систем твердых растворов (эффективный магнитный момент, ферро- и парамагнитные температуры Кюри, величина магнитного момента, приходящегося на один магнитоактивный ион, определенный из магнитоупорядоченной области).

4. Обсуждение полученных результатов и сравнение экспериментально полученных зависимостей парамагнитных температур Кюри от соответствующих параметров, влияющих на магнитные свойства, с таковыми, вытекающими из теории РККИ. Оценивается степень соответствия теории и эксперимента.

На рис. I приведена диаграмма к расчету составов образцов системы А, в которой сохраняются постоянными три параметра, влияющие на магнитные свойства -  $x_0, \alpha_0, Z_0$  и в которой замещаются Y на La и Cd на Zn. С правой стороны диаграммы по оси ординат отложены параметры решеток магнитных бинарных соединений GdZn и GdCd, а с левой - диамагнитных LaZn и YCd. По оси абсцисс отложены доли магнитных и немагнитных

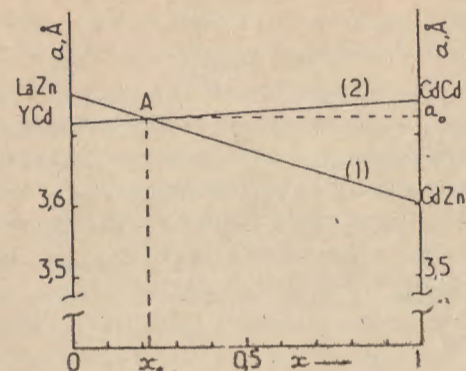


Рис. I. Диаграмма к расчету системы А.

Табл. I. Магнитные характеристики исследованных систем в высокотемпературной области.

Обр.	$\theta_{р,к}$	$\mu_{срр}, \mu_B$	Обр.	$\theta_{р,к}$	$\mu_{срр}, \mu_B$	Обр.	$\theta_{р,к}$	$\mu_{срр}, \mu_B$
Система- А			Система- С			Система- В <sup>II</sup>		
I	52	8,5	I	58	8,5	I	-	-
2	60	8,5	3	60	8,4	3.2	59	9,1
3	68	8,7	5	61	8,5	5	109	8,3
4	65	8,7	6	62	8,4	6	134	9,1
6	61	8,4	7.5	59	8,8	8	159	8,6
9	44	8,5	9	58	8,3	9	203	8,2
II	27	8,1	10	48	8,8	II	236	9,0
Система- В			II	30	7,5	Система- Е		
I	63	8,8	Система- С <sup>II</sup>			6	18	8,5
6	65	8,8	I	50	8,9	8	34	8,9
9	67	8,1	5	45	9,2	10	30	8,4
II	64	8,8	6	48	8,6	II	34	8,2
Система- С'			9	49	9,2	Система- F		
3.9	59	8,3				6	25	8,5
5.4	61	8,8				II	7	8,6
6	60	8,8						

бинарных соединений в сложном сплаве.

Параметры решеток псевдобинарных твердых растворов системы  $(Gd_x La_{1-x})Zn$  и  $(Gd_x Y_{1-x})Cd$  изменяются линейно в зависимости от  $x$  (прямые 1 и 2). В точке А эти линии пересекаются, т.е. в точке А имеются два твердых раствора  $(Gd_x La_{1-x})Zn$  и  $(Gd_x Y_{1-x})Cd$ , у которых параметр решетки одинаков и равен  $\alpha_0$ ; концентрации магнитоактивных ионов у этих псевдобинарных твердых растворов равны  $x_0$ ; учитывая то обстоятельство, что как  $Gd$ , так и  $La$  и  $Y$  трехвалентны, а  $Zn$  и  $Cd$  - двухвалентны, можно утверждать, что у этих псевдобинарных соединений одинаково число  $Z$  свободных электронов, приходящихся на элементарную ячейку.

Если теперь составить сложные твердые растворы из псевдобинарных, взяв  $t$  - количество  $(Gd_x La_{1-x})Zn$  и  $(1-t)$  - количество  $(Gd_x Y_{1-x})Cd$ , ( $0 \leq t \leq 1$ ), то получим твердые растворы с общей формулой  $Gd_{x_0} La_{(1-x_0)t} Y_{(1-x_0)(1-t)} Zn_t Cd_{1-t}$ , в которых  $x_0$ ,  $\alpha_0$  и  $Z_0$  постоянны и происходит замещение  $Cd$  на  $Zn$ . Отметим, что здесь предполагается, что параметр решетки сложных соединений линейно меняется между значениями параметров решеток псевдобинарных твердых растворов. В данном конкретном случае он остается постоянным, т.к. исходные псевдобинарные твердые растворы имеют один и тот же параметр. Если учесть, что параметры решеток  $LaZn$ ,  $YCd$ ,  $GdCd$  и  $GdZn$  равны соответственно 3,760, 3,719, 3,748 и 3,601 Å, то из простых геометрических соображений легко показать, что  $x_0 = 0,2181$  и  $\alpha_0 = 3,725$  Å.

На всех синтезированных образцах исследованы температурные и полевые зависимости магнитной восприимчивости. Показано, что зависимость обратной магнитной восприимчивости от температуры линейна, т.е. в исследуемом интервале температур выполняется закон Кюри-Вейсса. Для всех образцов определены значения парамагнитной температуры Кюри ( $\theta_p$ ), а из наклона прямых определены эффективные магнитные моменты иона  $Gd$  ( $\mu_{эф}$ ). Эти значения несколько превышают значения для свободного иона  $Gd$ . Результаты этих исследований приведены в табл. I.

Далее приводятся результаты исследования температурной зависимости магнитного момента. Для всех образцов получены изотермы полевой зависимости магнитного момента от индукции маг-

нитного поля. Эти зависимости характерны для ферромагнетиков. Для всех образцов определены ферромагнитные температуры Кюри с привлечением теории фазовых переходов II рода, и путем экстраполяции температурной зависимости спонтанного магнитного момента к нулю температуры определены спонтанные магнитные моменты насыщения ( $\sigma_{s_0}$ ). В общем случае зависимость спонтанного магнитного момента от температуры не описывается функцией Бриллюэна. Результаты этих исследований приведены в таблице 2.

В этой главе приводятся результаты рентгеновских исследований. Анализ дифрактограмм исследованных образцов показывает, что образцы практически однофазны и структура хлористого цезия сохраняется во всех образцах. Параметры решеток близки к расчетным и отклонения не превышают 0,5%.

В следующем разделе этой главы обсуждаются результаты исследований магнитных свойств системы, в которой  $x_0$ ,  $\alpha_0$  и  $Z_0$  постоянны, а замещаются  $Y$  на  $La$  и  $Cd$  на  $Zn$  (система А) и системы, в которой  $x_0$ ,  $\alpha_0$  и  $Z_0$  постоянны и замещения проводятся только в диамагнитной редкоземельной части (система В). Магнитные характеристики этих систем приведены на рисунках 2 и 3 соответственно. В случае системы А теория РККИ не в состоянии объяснить изменения  $\theta_p$ , наблюдаемые на опыте, т.к.  $\theta_p$  является функцией только  $x$ ,  $\alpha$  и  $Z$ , которые поддерживаются постоянными. Если учесть возможность гибридизации 4f-уровня с зоной проводимости, то тогда к постоянной по величине (согласно РККИ) константе S-f обменного взаимодействия добавляется член, зависящий от степени гибридизации. При этом, как показано в диссертационной работе, появляется возможность удовлетворительного описания экспериментально полученной зависимости  $\theta_p(t)$  (пунктирная линия на рис.2).

На вставке рис.2 приведены литературные данные. Здесь  $\theta_p$  меняется линейно от состава, но при этом в ряду твердых растворов происходит изменение параметра решетки. Из рис.3 видно, что замещения в диамагнитной редкоземельной части не влияют на магнитные характеристики системы. Это объясняется тем, что в системе В замещения затрагивают только II координационную сферу, а в системе А - I координационную сферу, что сильно влияет на состояние магнитного иона.

Табл. 2. Магнитные характеристики исследованных систем в низкотемпературной области.

Обр.	$T_c, K$	$G_{30}, M_B$	Обр.	$T_c, K$	$G_{30}, M_B$	Обр.	$T_c, K$	$G_{30}, M_B$
Система- А			Система- С			Система- D		
I	24	4,9	I	28	5,2	I	-	-
2	37	5,8	3	45	6,3	3.2	46	6,3
3	51	7,0	5	49	6,5	5	108	6,7
4	50	6,7	6	45	6,0	6	138	7,0
6	45	6,3	7.5	48	6,5	8	166	6,3
9	27	5,0	9	41	6,1	9	213	7,1
II	II	2,5	10	36	5,7	II	250	7,0
Система- B			II	12	2,4	Система- E		
I	42	6,1	Система- C''			6	0	0
6	43	6,0	I	15	3,6	8	14	3,3
9	42	6,0	5	15	3,6	10	15	3,6
II	47	6,3	6	18	4,3	II	16	3,6
Система- C'			9	23	5,0	Система- F		
3.9	40	5,9				6	13	3,2
5.4	39	6,1				II	0	0
6	45	6,3						

Далее обсуждаются результаты исследований магнитных свойств системы, в которой  $a_0$  и  $Z_0$  постоянны, а меняется концентрация магнитоактивного иона ( $x$ ) (система D). Из рис.4 видно, что в данном случае теория РККИ (пунктирная линия) хорошо согласуется с экспериментальными результатами.

На вставке приведены литературные данные, где экспериментальные результаты расходятся с теорией РККИ, что, по-видимому, вызвано опять же изменением параметра решетки в этих системах.

Здесь обсуждаются также результаты исследований магнитных свойств системы, в которой  $x_0$  и  $Z_0$  постоянны, меняется только параметр решетки  $a$  (системы C, C' и C''). Результаты этих исследований приведены на рис.5. Из рисунка видно, что зависимость  $\theta_p$  от параметра решетки имеет сложный вид. Из теории РККИ следует, что  $\theta_p$  обратно пропорционально квадрату параметра решетки, что не позволяет даже качественно объяснить экспериментально найденную зависимость.

И наконец, в этой же главе обсуждаются исследования магнитных свойств системы, подобной системе А, но в которой постоянство  $Z$  достигается с помощью комбинаций  $Cu$ ,  $Zn$  и  $In$ , имеющих заряды, равные соответственно 1, 2 и 3 (система E) и системы, в которой  $x_0$  и  $a_0$  постоянны, а  $Z$  меняется путем замещения цинка индием (система F). На рис.6 приведены магнитные характеристики этих систем. Для F-системы видно, что разница в  $\theta_p$  для составов, соответствующих  $t = 1 (RZn)$  и  $t_0$ , обусловлена  $\tau_0$  - изменением лигандного окружения и  $\Delta Z$  изменением числа электронов на элементарную ячейку, а разница между значениями  $\theta_p$ , соответствующим  $t_0$ , для E и F систем обусловлена  $\tau_0/2$  изменением лигандного окружения и том же изменением  $\Delta Z$ . Далее, если полагать, что изменения  $\theta_p$  пропорциональны изменениям лигандного окружения, то можно оценить  $\theta_p(Z)$  путем линейной экстраполяции к нулю изменения лигандного окружения. Выделенная таким образом зависимость  $\theta_p(Z)$  представлена на рис.7. Видно, что эта кривая близка к теоретической, полученной Бушоу в приближении теории РККИ с учетом ограничения длины свободного пробега электрона.

В пятой главе рассмотрены некоторые особенности физических свойств образцов системы А.

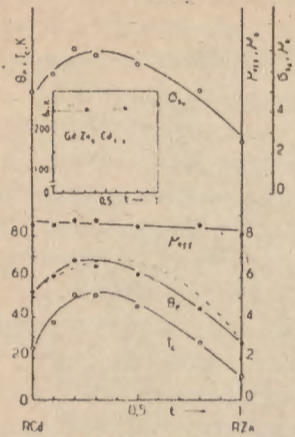


Рис.2. Магнитные характеристики в зависимости от состава (Система А). Не вставке литературные данные.

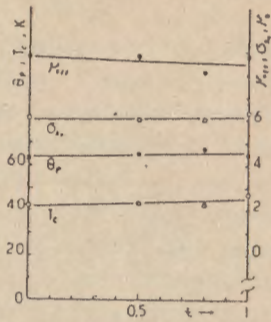


Рис.3. Магнитные характеристики при замещении только в немагнитной редкоземельной подрешке (Система В).

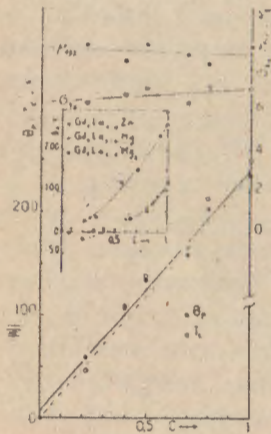


Рис.4. Зависимость магнитных характеристик от концентрации магнитоктивного иона Cd (Система D). Не вставке - литературные данные.

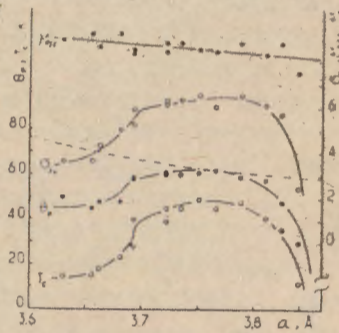


Рис.5. Зависимость магнитных характеристик от параметра решетки (Системы С, С' и С''). ---- РККИ.

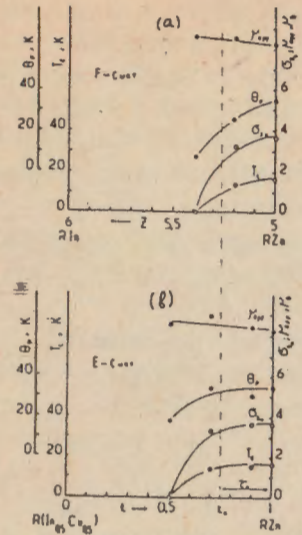


Рис.6. а) зависимость магнитных характеристик от числа электронов Z (Система F)  
б) зависимость магнитных характеристик от состава (Система E).

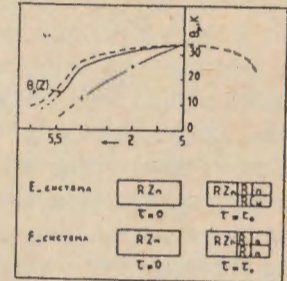


Рис.7. Выделение чистая зависимость  $B_p$  от Z для системы F,  $\Delta$  - эксперимент, ---- теория РККИ.

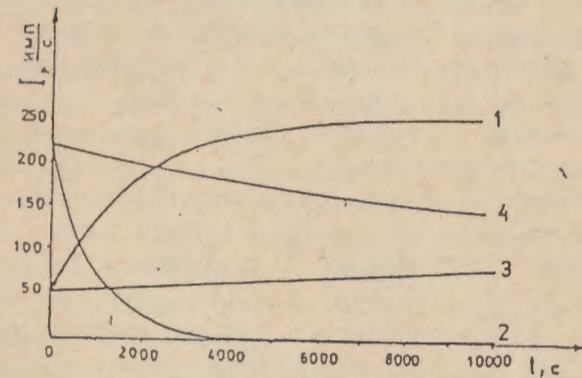


Рис. 8. Графики изменения максимумов интенсивностей линий  $I(10)$  (1,2) (кривые 1 и 3) и линии твердого раствора  $I(110)$  (кривые 2 и 4), пересчитанные на одну секунду.

Уменьшение магнитного момента у образцов начала и конца ряда твердых растворов было объяснено значительной гибридизацией  $4f$ -уровня магнитоактивного иона с зоной проводимости (рис.2). Это объяснение не исключает другие возможные механизмы, ответственные за экспериментально обнаруженные закономерности. В частности, было выдвинуто предположение о существовании в образцах начала и конца ряда антиферромагнитных областей в ферромагнитной матрице, что могло быть причиной уменьшения момента, приходящегося на ион  $Gd$ .

Это предположение вытекает из рассуждений, основанных на следующих экспериментально установленных и теоретически обоснованных фактах. Известно, что соединения  $Gd$  с элементами II группы периодической системы в стехиометрическом соотношении  $I:I - GdM^{2+}$  ( $M^{2+} - Zn^{2+}, Cd^{2+}, Mg^{2+}, Hg^{2+}$ ) ферромагнитны, а соединения  $GdM^{1+}$  и  $GdM^{3+}$ , где  $M^{1+} - Cu^{1+}, Ag^{1+}$  и т.д., а  $M^{3+} - In^{3+}$  - антиферромагнитны. Все эти соединения имеют структуру типа  $CsCl$ .

В тех системах твердых растворов, в которых благодаря замещению  $M^{1+}$  на  $M^{3+}$  число электронов проводимости, приходящихся на элементарную ячейку ( $Z$ ), изменяется от 4 до 6 ( $4 \leq Z \leq 6$ , например в системе  $GdAg_xIn_{1-x}$ ), наблюдается постоянный переход от антиферромагнитного упорядочения к ферромагнитному ( $4 \leq Z \leq 5$ ) и далее к антиферромагнитному ( $5 \leq Z \leq 6$ ). Подобный переход от ферромагнитного типа упорядочения к антиферромагнитному также имеет место в системе твердых растворов  $GdZn_xIn_{1-x}$ , где  $5 \leq Z \leq 6$ .

Если в каком-либо образце исследуемой системы твердых растворов возникнут области, в которых в первой координационной сфере вокруг иона  $Gd^{3+}$ , охватывающей только узлы  $M$  подрешетки, кроме ионов  $Zn^{2+}$  и  $Cd^{2+}$  будут находиться ионы  $La^{3+}$  и  $Y^{3+}$ , то это приведет к локальному возрастанию  $Z$  ( $5 \leq Z \leq 6$ ), и в ферромагнитной матрице возникнут антиферромагнитные области, уменьшающие средний магнитный момент, приходящийся на ион  $Gd^{3+}$ . Исходя из этого и основываясь на результатах магнитных измерений системы твердых растворов  $A$ , надо полагать, что в образцах с  $t \sim 0,2 + 0,3$ , в которых обнаружено максимально возможное значение  $G_{S_0} = 7 \mu_B$ , не происходят

взаимные замещения между редкоземельными и нередкоземельными атомами в  $M$  и  $R$  подрешетках, т.е. в этих образцах в первой координационной сфере вокруг иона  $Gd^{3+}$  расположены только ионы  $Zn^{2+}$  и  $Cd^{2+}$ , а во второй координационной сфере - ионы  $La^{3+}$  и  $Y^{3+}$ . Такому распределению атомов в  $M$  и  $R$  подрешетках будет соответствовать примитивная ( $P$ ) решетка типа  $CsCl$ . В то же время в образцах, у которых  $t$  близко к 0 и, в особенности, к 1, где подавление магнитного момента максимально, в первой координационной сфере помимо  $Zn^{2+}$  и  $Cd^{2+}$  должны находиться также ионы  $La^{3+}$  и  $Y^{3+}$ . Такое перераспределение редкоземельных и нередкоземельных атомов приведет к уменьшению магнитного момента. При этом, ввиду статистического распределения редкоземельных атомов по  $M$  и  $R$  узлам кристаллической решетки, рассеивающие способности этих узлов в среднем станут одинаковыми. Рентгendifракционная картина, полученная от таких областей, будет соответствовать картине, полученной от объемноцентрированной решетки. Следовательно, на дифрактограмме соответствующего образца рефлексы с нечетной суммой индексов интерференционных максимумов должны подавляться пропорционально доле этих областей в объеме образца. Наиболее заметным такое подавление должно быть на дифрактограмме образца с  $t = 1$ , на котором обнаружено наиболее значительное уменьшение магнитного момента. В связи с этим, а также для уточнения фазового состава и оценки качества образцов был проведен детальный рентгенографический анализ. Дифрактограммы снимались как в режиме непрерывной записи, так и поточечно в шаговом режиме.

Было замечено, что поверхности образцов начала ряда ( $A1, A2, A3$ ) покрыты слоем темного налета. После снятия налета шлифовкой поверхность образца вновь начинала быстро темнеть и покрываться налетом. В дальнейшем выяснилось, что налет представляет собой смесь кристаллического кадмия и аморфных либо иттрия и гадолиния, либо их окислов.

В связи с этим дифрактограммы и отдельные рефлексы снимались как с образца с уже образовавшимся на поверхности налетом, так и с очищенной и покрытой слоем вакуумной смазки поверхности. Из всех испробованных покрытий вакуумная смазка наиболее эффективно замедляла рост налета.

Сравнением наборов значений рассчитанных для структуры типа  $C_5C_6$  углов дифракции с угловыми координатами максимумов рефлексов, экспериментально определенными по дифрактограммам, было проведено индцирование дифракционного спектра твердого раствора. При этом обнаружилось некоторые особенности спектров, например, присутствие ряда дополнительных линий, не входящих в рассчитанный набор, асимметричность профилей большинства линий, а также то, что у некоторых линий с меньшим углом дифракции полуширина больше, чем у линий, соответствующих большему углу.

Выяснены причины наблюдаемых особенностей. Путем тщательного измерения угловых координат центров тяжести структурных линий определены постоянные решеток сплавов. Отклонения измеренных значений от расчетного не превышают 0,5%.

Для анализа фазового состава образцов идентифицировались все внеструктурные линии использованием картотеки Американского общества испытания материалов (ASTM). Большинство дополнительных линий принадлежало дифракционному спектру кадмия, образующегося на поверхности образца. Кроме того, в спектрах образцов начала ряда зафиксированы линии окиси иттрия, а в образцах конца ряда обнаружены окиси цинка и лантана. Интенсивности дополнительных линий (кроме линий кадмия) мали и содержание дополнительных фаз по нашим оценкам не превышает 1%.

Анализ результатов индцирования дифракционных спектров твердых растворов показал, что в спектрах образцов А1, А6, А9, А11 присутствуют рефлексы с суммой дифракционных индексов обеих четностей, что характерно для примитивной решетки. В то же время на дифрактограммах образцов А2-А4 обнаружено отсутствие рефлексов с нечетной суммой индексов.

Можно было предположить, что это связано с хаотическим распределением редкоземельных и редкоземельных атомов по  $R$  и  $M$  узлам кристаллической решетки. Такая решетка по отражательной способности идентична объемноцентрированной кубической решетке, в дифракционном спектре которой отсутствуют отражения с нечетной суммой индексов.

Другой возможной причиной отсутствия рефлексов с нечетной суммой индексов в этих образцах может быть зависимость форм-

фактора кристаллической решетки твердого раствора от стехиометрического состава.

В связи с этим проведен теоретический расчет интенсивностей рефлексов дифракционных спектров для всех составов твердых растворов исследуемой системы. Расчет проводился для модели кристаллической решетки, в которой  $R$  и  $M$  узлы занимают соответственно редкоземельные и редкоземельные ионы и замещения проводятся в соответствии с изменением состава образцов -  $Y$  на  $La$  (в  $R$  подрешетке) и  $Cd$  на  $Zn$  (в  $M$  подрешетке).

Согласно результатам расчета интенсивности рефлексов с нечетной суммой индексов с возрастанием  $t$  вначале уменьшаются, достигая минимума при  $t \sim 0,1 + 0,2$ , затем увеличиваются вплоть до  $t = 1$ . Сравнение экспериментально измеренных интенсивностей с расчетными показывает, что измеренные интенсивности рефлексов в основном соответствуют той модели кристаллической решетки (типа  $C_5C_6$ ), которая была принята за основу при проведении расчета.

В этой же главе приводятся результаты исследования явления образования кристаллов кадмия в поверхностном слое образцов начала ряда твердых растворов и разработанная методика разделения накладывающихся дифракционных рефлексов с изменяющимися во время съемки интенсивностями.

Динамика роста слоя кадмия изучалась рентгенографически записью на диагономной ленте изменения максимума интенсивности одной из линий кадмия со временем после очистки поверхности. Вместе с ростом интенсивности линий кадмия падает интенсивность линий твердого раствора, так как рентгеновские лучи, падая и отражаясь от основной решетки, дважды проходят через нарастающий слой кадмия. На рис.8 приведены графики изменения интенсивностей линий кадмия (002) (графики 1 и 3) и твердого раствора (110) (графики 2 и 4) со временем после очистки поверхности без нанесения защитного покрытия (графики 1 и 2) и сразу же после очистки покрытых слоем вакуумной смазки (графики 3 и 4). Эти графики получены на образце А1, в котором содержание кадмия максимально. У образца А2, в котором часть кадмия замещена цинком, скорость роста максимума линии кадмия и, следовательно, слоя кадмия резко снижается.

Обнаружено, что кристаллизация кадмия происходит только при наличии кислорода в окружающей среде. Предложен механизм, объясняющий этот эффект, оценена максимальная толщина образующегося слоя.

Угловые координаты некоторых дифракционных линий образцов и чистого кадмия близки друг к другу и на дифрактограммах происходит их наложение. В ситуации, когда в процессе съемки интенсивности линий меняются, их разделение невозможно проводить известными методами. Была разработана методика разделения таких линий использованием временных и угловых зависимостей интенсивностей каждой линии. На примере перекрывающихся рефлексов (211) образцы Al и (103) кадмия подробно рассмотрена разработанная процедура разделения. Рассмотрено также разделение некоторых других рефлексов.

Далее приводятся результаты измерения намагниченности, электросопротивления и начальной магнитной восприимчивости образцов системы А.

Измерения намагниченности в магнитных полях до 9 Тл при температуре 4,2 К показали, что у всех образцов, кроме Al и AlI, наступает насыщение и магнитный момент достигает значения  $7\mu_B$  - максимального значения для иона  $Gd^{3+}$ . Это указывает либо на неколлинеарность магнитной структуры, либо на значительную магнитокристаллическую анизотропию, препятствующую установлению магнитного момента вдоль приложенного магнитного поля.

Температурные зависимости удельного электросопротивления образцов характерны для ферромагнетиков, что выражается в наличии на графиках  $\rho(T)$  небольших изломов в области температур Кюри. При более высоких температурах эта зависимость практически линейна. В области гелиевых температур на графиках всех образцов наблюдаются не зависящие от температуры участки. Остаточное сопротивление образца  $\rho_{ост.}$  определялось экстраполяцией  $\rho(T)$  к нулю температуры. Значения  $\rho_{ост.}$  в зависимости от состава удовлетворяют уравнению

$$10^8 \cdot \rho_{ост.}(t) = -370 \cdot t^2 + 335 \cdot t + 30.$$

В бинарных непрерывных твердых растворах, в которых изменение зонной структуры незначительно, остаточное сопротивление

пропорционально  $t \cdot (1 - t)$ , и максимум сопротивления приходится на состав с  $t = 0,5$ . Поскольку для исследуемой системы концентрационная зависимость остаточного сопротивления имеет квадратичный вид, можно предположить, что возрастание остаточного сопротивления в области  $t \sim 0,5$  обусловлено хаотичностью замещений по объему образца Cd на Zn и Y на La, что приводит к неравномерному распределению кристаллического потенциала.

Начальная магнитная восприимчивость измерялась в переменном поле с амплитудой напряженности  $H_0 \sim 4 \text{ Э}$  в температурном интервале 4,2 - 300 К. Эти измерения проводились с целью выявления возможных фазовых переходов, не обнаруживаемых другими методами.

Измерения показали, что в исследованном температурном интервале другие фазовые превращения, кроме перехода ферромагнетизм - парамагнетизм, не наблюдаются. Температуры этого перехода для всех образцов по измерениям начальной восприимчивости практически совпадают с  $T_c$ , полученными из измерений намагниченности.

Основные результаты и выводы диссертационной работы:

1. Исследованы структурные характеристики систем твердых растворов  $(Gd_x R_{1-x})Zn$ , где R - редкоземельные элементы. Показано, что параметр решетки в этих псевдобинарных соединениях изменяется линейно между значениями параметров решеток исходных бинарных соединений.
2. Разработана методика расчета составов многокомпонентных твердых растворов с кубической структурой, в которых изменяя составы образцов можно целенаправленно менять один из трех параметров, влияющих на магнитные свойства, либо все три параметра сохранять постоянными.
3. На основе разработанной методики рассчитаны составы многокомпонентных твердых растворов со структурой типа  $C_5C_6$  и общей формулой  $(Gd_x La_y Lu_z Y_w)(Cu_m Zn_n Cd_p In_q)$ , где  $x+y+z+w=1$ ,  $m+n+p+q=1$ .
4. Разработана технология и синтезированы системы твердых растворов, в которых:
  - а)  $\alpha$ ,  $x$  и Z - константы, а  $R_2$  и M переменные (А-система),
  - б)  $\alpha$ ,  $x$ , Z и M - константы, а  $R_2$  - переменная (В-система),

в)  $\alpha$ ,  $Z$  и  $M$  - константы, а  $R_g$  и  $\alpha$  переменные (С-система),  
 г)  $\alpha$ ,  $Z$  и  $M$  - константы, а  $R_g$  и  $\alpha$  переменные (D-система),  
 д)  $\alpha$ ,  $\alpha$  и  $Z$  - константы, а  $R_g$  и  $M$  переменные (E-система),  
 е)  $\alpha$  и  $\alpha$  - константы, а  $R_g$ ,  $Z$  и  $M$  переменные (F-система),  
 где  $R_g$  - диамагнитная редкоземельная часть, а  $M$  - редкоземельная часть сплава.

Рентгенофазовый анализ показал, что все образцы практически однофазны, имеют структуру  $CsCl$  и максимальное отклонение параметра решетки от расчетного значения не превышает 0,5%.

5. Измерена магнитная восприимчивость образцов в интервале температур 77-300 К и в полях до 5 кЭ. Показано, что в области температур выше  $T_c$ , магнитная восприимчивость следует закону Кюри-Вейсса с эффективным магнитным моментом, близким к ожидаемому. Определены парамагнитные температуры Кюри.

6. Измерен магнитный момент образцов в интервале температур 5-300 К в полях 1,5 - 15 кЭ. Полевые зависимости намагниченности характерны для ферромагнетиков. Определены ферромагнитные температуры Кюри с применением теории фазовых переходов второго рода. Экстраполяцией к нулю температурной зависимости намагниченности насыщения определены ферромагнитные моменты иона гадолиния в каждом из сплавов.

7. Результаты измерений магнитных характеристик систем А и В, позволяет заключить, что на состояние магнитоактивного иона сильно влияют замещения в первой координационной сфере ( $Cd$  на  $Zn$ ), в отличие от замещений во второй координационной сфере ( $Y$  на  $La$ ).

8. Зависимость магнитных характеристик  $\theta_p$ ,  $T_c$  и  $\sigma_{30}$  от параметра решетки при постоянных  $\alpha$  и  $Z$  (система-С) имеет сложный вид.

9. В сплавах системы D ( $\alpha$  и  $Z$  постоянны)  $\theta_p$  и  $T_c$  линейно зависят от концентрации магнитных ионов  $\alpha$ , причем графики этих зависимостей проходят практически через ноль при  $\alpha = 0$ .

10. Анализ результатов измерений магнитных характеристик сплавов систем E (где меняется только лигандное окружение) и F (где вместе с лигандным окружением меняется и  $Z$ ) позволил выделить вклад в  $\theta_p$  числа электронов проводимости, приходящихся

на элементарную ячейку.

11. Результаты магнитных исследований интерпретированы в рамках теории РККИ. Теория хорошо объясняет зависимость  $\theta_p$  от концентрации магнитоактивных ионов и, возможно, от числа электронов проводимости, приходящихся на элементарную ячейку, неудовлетворительно - зависимость  $\theta_p$  от параметра решетки и не в состоянии объяснить зависимость  $\theta_p$  от лигандного окружения (система-А). Последнее удастся объяснить, если считать константу обменного взаимодействия величиной переменной, зависящей от степени гибридизации локального  $4f$ -уровня и зоны проводимости.

12. Экспериментально установлено, что разность  $\theta_p - T_c$  у образцов системы А не зависит от состава, у системы С с уменьшением параметра решетки эта разность увеличивается, а у системы D при малых  $\alpha$  разность положительна, а при больших - отрицательна, причем изменение знака происходит в области средних концентраций магнитоактивных ионов.

13. Проведен детальный рентгеноструктурный анализ образцов системы А. По результатам анализа уточнены параметры решеток образцов, уточнен их фазовый состав.

14. Путем сравнения рентгеновских и магнитных данных с расчетом зависимости отражательной способности решетки каждого сплава от состава доказано, что обнаруженное поведение магнитных характеристик не обусловлено наличием антиферромагнитных областей, которые могли бы возникнуть равномерным распределением редко- и редкоземельных ионов по всем узлам кристаллической решетки.

15. На основании измерений магнитного момента образцов системы А при температуре 4,2 К и магнитных полях до 9 Тл сделано предположение либо о нелинейности магнитной структуры, либо о значительной магнитокристаллической анизотропии, препятствующих установлению магнитного момента вдоль приложенного внешнего магнитного поля.

16. Обнаружено явление образования кристаллического  $Cd$  приповерхностном слое образца. Исследована динамика процесса роста, предложен возможный механизм, объясняющий явление. Оценена толщина образующегося на поверхности слоя кадмия.

17. Разработана рабочая методика разделения перекрывающихся

дифракционных рефлексов с изменяющимися в процессе рентгеновской съемки интенсивностями.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. В.Е.Адамян, А.В.Голубков, Г.М.Логинов, В.М.Федоров. Исследование магнитной восприимчивости халькогенидов неодима. ФТТ, 1965, т.7, №11, с.3372-3377.
2. В.Е.Адамян, Н.П.Бодрова, Е.В.Гончарова, Г.М.Логинов. Магнитная восприимчивость монохалькогенидов и антимионида лантана. ФТТ, 1970, т.12, №3, с.2770-2771.
3. В.Е.Адамян, А.А.Арцруни, М.А.Арутюнян, Г.С.Мкртчян. Простой полуавтоматический терморегулятор. Известия АН Арм.ССР, Физика, 1973, т.8, с.232-233.
4. В.Е.Адамян, А.А.Давтян, Г.Г.Закарян, А.С.Маркосян, М.А.Меликян. Магнитные свойства интерметаллических твердых растворов  $Gd_x La_{1-x} Zn$ . ФТТ, 1978, т.20, №2, с.578-581.
5. В.Е.Адамян, В.В.Александрян, М.А.Меликян, Э.С.Абовян, В.В.Мкртчян, В.О.Оганесян, С.О.Овсепян. Температурная зависимость магнитной восприимчивости и намагниченности систем  $Gd_x Nd_{1-x} Zn$  и  $Gd_x Y_{1-x} Zn$ . ФТТ, 1979, т.21, №10, с.3186-3188.
6. В.Е.Адамян, В.В.Александрян, М.А.Меликян, Р.И.Багдасарян. Магнитная восприимчивость систем твердых растворов  $Nd_x Y_{1-x} Zn$  в интервале температур 77-600 К. Известия АН Арм.ССР, Физика, 1979, т.14, с.286-289.
7. В.Е.Адамян, В.В.Александрян, М.А.Меликян, Э.С.Абовян. Температурные зависимости магнитной восприимчивости и намагниченности твердых растворов системы  $Gd_x Pr_{1-x} Zn$ . ФММ, 1981, т.51, №3, с.556-560.
8. Э.С.Абовян, В.Е.Адамян, В.В.Александрян, Г.Г.Карагебалян, М.А.Меликян. Исследование температурной зависимости парамагнитной восприимчивости, магнитного момента и параметров решетки сплавов РЗМ с  $Zn$  со структурой  $C5C6$ . Отчет № В98С062, 1981, с.1-60.
9. В.Е.Адамян, Г.Г.Карагебалян, М.А.Меликян. Температурные зависимости магнитной восприимчивости, намагниченности и электросопротивления системы  $Gd_x Tm_{1-x} Zn$ . Тезисы доклада на XVI Всесоюзной конференции по физике магнитных явлений. Тула 1983, с.294.

10. В.Е.Адамян, Г.Г.Карагебалян, М.А.Меликян, Э.С.Абовян. Температурные зависимости магнитной восприимчивости, намагниченности и электросопротивления системы твердых растворов  $Gd Zn_x Mg_{1-x}$ . ФММ, 1983, т.55, №8, с.1083-1087.
11. Э.С.Карапетян, Г.Г.Карагебалян, А.А.Арцруни, М.А.Меликян, В.Е.Адамян. Магнитные свойства системы твердых растворов  $Gd Mg_x Cu_{1-x}$ . Тезисы доклада на профессорско-преподавательской межинститутской сессии. Тбилиси 1986, с.228.
12. В.Е.Адамян. Метод расчета многокомпонентных сплавов с контролируемыми параметрами. Доклады АН Арм.ССР, 1987, т. XXXV, №1, с.35-37.
13. В.Е.Адамян, Г.Г.Карагебалян, М.А.Меликян, Р.М.Авакян. Магнитный сплав. Авторское свидетельство № 1363782, 1987.
14. В.Е.Адамян, А.А.Арцруни, А.Бенайсса, М.А.Меликян. Способ подбора относительных количеств компонентов для получения модельных магнитных сплавов с кубической структурой. Межвузовский сборник научных трудов, Физика, 1987, т.8-9, с.272-275.
15. В.Е.Адамян, А.А.Арцруни, А.Бенайсса, М.А.Меликян. Магнитные характеристики некоторых многокомпонентных твердых растворов с контролируемыми параметрами со структурой хлористого цезия. Тезисы доклада XVII Всесоюзной конференции по физике магнитных явлений. Калинин 1988, с.649.
16. V.E.Adamian, A.A.Artaruni, A.Benaissa, A.N.Kocharian and M.A.Melikian. The Influence of Certain Controllable Parameters on the Magnetic Properties of Multicomponents Solid Solution a  $CsCl$  Structure. - Proceedings of 24-th Ampere Congress. Poznan, 1988, pp983-989.
17. V.E.Adamian, A.A.Artaruni, A.Benaissa, A.N.Kocharian, M.A.Melikian. The Influence of a Controlled Change of Some Parameters on the Magnetic Properties of Multicomponent Solid Solution with a  $CsCl$  Structure. Тезисы докладов на I Советско-Индийском совещании по редкоземельным и актинидным соединениям. Таллин, 1988.

- В.Е.Адамян, А.А.Ардруни, А.Бенайсса, М.А.Меликян, А.В.Мелконян. Магнитный сплав. Авторское свидетельство № I495388, 1989.
- V.E.Adamian, A.A.Artsruni, A.Benaissa, A.N.Kocharian, M.A.Melikian and A.G.Tonneian. Magnetic Properties of Model Multicomponent Compounds of CsCl Structure.- Phys.Stat. Sol. (b), 156, 1989, p.633-640.
- В.Е.Адамян, А.А.Ардруни, А.Бенайсса, А.Н.Кочарян, М.А.Меликян. Модельные магнитные сплавы: применимость приближения РККИ. ФММ, 1990, т.69, №3, с.197-198.
- В.Е.Адамян, А.А.Ардруни, В.В.Александрян, С.О.Овсепян, М.А.Меликян. Температурная зависимость магнитной восприимчивости, намагниченности и электросопротивления твердых растворов системы  $Gd_{x}Tm_{1-x}Zn$ . Известия АН Арм.ССР, Физика, 1990, т.25, №4, с.211-215.
- А.А.Ардруни, Э.С.Абовян, В.Е.Адамян, М.А.Меликян. Рентгенографический анализ основанных на РЭМ многокомпонентных твердых растворов со структурой CsCl. Межвузовский сборник научных трудов, Физика, 1992, т.1, с.32-39.