

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ  
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР  
имени Б.И. ВЕРКИНА

На правах рукописи

ПАШКЕВИЧ ЮРИЙ ГЕОРГИЕВИЧ

СПИНОВАЯ ДИНАМИКА МНОГОПОДРЕШЕТОЧНЫХ  
АНТИФЕРРОМАГНЕТИКОВ

01.04.07 — физика твердого тела

Автореферат

Диссертации на соискание ученой степени  
доктора физико-математических наук

Харьков — 1996



АВ 34.447

Диссертация является рукописью

Работа выполнена в Донецком Физико-Техническом Институте  
Национальной Академии наук Украины им. А.А.Галкина

Официальные оппоненты: член-корреспондент НАН Украины  
профессор Н.Ф.Харченко  
(ФТИНТ НАНУ, г.Харьков);  
доктор физико-математических наук  
профессор В.М.Локтев  
(ИТФ НАНУ, г.Киев)  
доктор физико-математических наук  
профессор Е.П.Стефановский  
(ДонФТИ НАНУ, г.Донецк)

Ведущая организация: Харьковский Государственный  
Университет

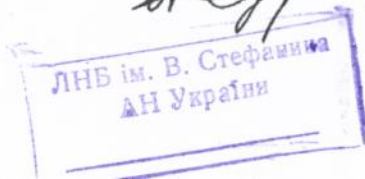
Защита состоится "14" мая 1996 г. в 15 часов на заседании  
Специализированного совета Д 02.35.02 при Физико-Техническом Инсти-  
туте Низких температур НАН Украины. Адрес: 310164, г. Харьков-164,  
пр. Ленина 47.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке  
Физико-Технического Института  
Низких Температур НАН Украины.

Автореферат разослан "12" апреля 1996 г.

Ученый секретарь  
Специализированного совета  
Д 02.35.02  
доктор физ.-мат. наук

А.С.Ковалев



## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Развитие современной физики твердого тела демонстрирует появление все новых и новых материалов, магнитные свойства которых оказывают непосредственное влияние на их основные немагнитные характеристики. К таким материалам следует отнести  $R_2CuO_4$ -базовые соединения для создания высокотемпературных сверхпроводников или, например, соединения  $La_{1-x}Sr_xMnO_3$  недавно обнаружившие гигантское изменение сопротивления в магнитном поле. Характерным является то, что все эти объекты в стехиометрическом составе являются многоподрешеточными магнетиками. Сложность магнитной структуры и большое число магнитных степеней свободы, существующие только в многоподрешеточных магнетиках накладывает свой отпечаток и на немагнитные свойства, приводя к большому разнообразию во взаимодействии магнитных и немагнитных степеней свободы.

Таким образом, учет всех магнитных степеней свободы и, тем самым, выход за рамки упрощенных моделей описания магнитных свойств сложных структур является актуальной задачей. Решение этой задачи с одной стороны приводит к новому уровню понимания уже известных явлений, а с другой к предсказанию новых еще не наблюдававшихся эффектов, обусловленных реальной структурой магнетика.

Одним из проявлений большого числа магнитных степеней свободы многоподрешеточного магнетика являются так называемые обменные магны, магнитный аналог оптических фононов. Термин обменные используется в связи с тем, что в обменном приближении энергия активации этих магнонов определяется величиной межподрешеточных обменных интегралов. Энергия активации другого типа магнонов — акустических определяется анизотропными релятивистскими взаимодействиями магнетика и, в обменном приближении, обращается в ноль.

Подобная простая классификация возможна лишь в магнетиках, в которых обменные взаимодействия много больше релятивистских. В этом

случае спиновая динамика любой соизмеримой магнитной структуры имеет много общего. А именно, если рассматривать прецессию "ежа" спинов, образованного из векторов спинов примитивной магнитной ячейки, то однородным колебаниям акустических магнонов соответствует такая прецессия, при которой "еж" спинов преимущественно поворачивается как целое. Колебаниям обменных магнонов соответствует преимущественно противофазное движение спинов, при котором "еж" спинов как целое покоится. В этом смысле обменные магноны являются полным аналогом оптических фононов. Из этой наглядной картины следует, что в  $n$ -подрешеточном магнетике из  $n$ -ветвей спектра число акустических магнонов не превышает трех. В обменноколлинеарном антиферромагнетике их число равно двум, а в ферро- или ферримангнетике оно равно единице. Остальные ветви являются обменными.

Целью диссертации является изучение особенностей динамических и статических свойств антиферромагнетиков, связанных с их реальной многоподрешеточной структурой и с наличием в их спектре обменных магнонов, при максимальном учете симметрии задачи.

Научная новизна полученных результатов определяется следующим:

1. Предложен симметричный метод построения спин-волновых гамльтонианов многоподрешеточных магнетиков, в котором алгоритмизована процедура вычисления коэффициентов при инвариантах гамльтониана. Отличие данного метода от других известных подходов состоит в том, что при переходе ко вторичному квантованию используются линейные комбинации операторов спиновых отклонений, являющиеся базисными функциями перестановочного представления парамагнитной фазы.
2. Установлены общие симметричные особенности линейной спиновой динамики многоподрешеточных магнетиков. В частности показано, что взаимодействие обменных магнонов с высокочастотным магнит-

ным полем (АФМР) или с акустическими магнонами в антиферромагнетиках любых типов возможно только при наличии обменнорелятивистских или релятивистских инвариантов в энергии типа взаимодействия Дзялошинского-Мория.

3. Исследованы возможные типы спин-переориентационных переходов и частотно-полевых зависимостей АФМР в обменне неколлинеарной магнитной структуре типа плоский крест.
4. Изучены спектры спиновых волн четырехподрешеточных антиферромагнетиков  $CuCl_2 \cdot 2H_2O$ ,  $La_2CuO_4$  и  $Nd_2CuO_4$ . Обнаружены динамические критические точки спектра спиновых волн многоподрешеточного магнетика, возникающие при взаимодействии обменных и акустических спиновых волн одинаковой симметрии. Обнаружено существование двумерности спектра спиновых волн, обусловленное кристалломагнитной структурой и не связанное с какой-либо численной малостью обменных интегралов магнетика.
5. Показано, что в квазидвумерных антиферромагнетиках эффект обменного усиления интенсивности неупругого рассеяния нейтронов существует при рассеянии как на акустических так и на обменных спиновых волнах. Предложен способ отличия неупругого рассеяния неполяризованных нейтронов на спиновых волнах разной симметрии в квазидвумерных магнетиках в условиях, когда энергии обменных и акустических магнонов имеют одинаковый порядок величины.
6. Впервые исследовано двухмагнонное поглощение с участием обменных магнонов в трехмерных коллинеарных и квазидвумерных обменне неколлинеарных магнетиках.
7. Рассмотрена микроскопическая теория релаксации обменных спиновых волн. Показано, что релаксация обменных магнонов в трех-

мерных многоподрешеточных магнетиках определяется преимущественно распадными процессами.

8. Показано, что для квазидвумерных магнетиков возможно определение начала спектра спиновых волн по исследованию магнного вклада в теплоемкость.
9. Теоретически исследовано одномагнное рассеяние света в многоподрешеточных магнетиках. Предсказана гигантская интенсивность одномагнного рассеяния света на обменных магнонах в обменнонеколлинеарных магнетиках.
10. Сформулирован критерий возникновения стрикционной щели в спектре мягкой магнной моды при спин-переориентационных фазовых переходах и показана возможность появления обменно-стрикционных аномалий упругих свойств.
11. Предсказано явление электродипольного спин-зависимого однофнонного поглощения из границы зоны Бриллюэна парамагнитной фазы при магнитном фазовом переходе с мультипликацией примитивной ячейки.

*Научная и практическая ценность* полученных результатов состоит в том, что они разьясняют широкий круг проблем спиновой динамики многоподрешеточных магнетиков, предсказывают ряд новых явлений при исследовании их спектральных характеристик различными экспериментальными методами. Большинство теоретических результатов, полученных в работе, либо непосредственно проверялись на эксперименте, либо служили стимулом к постановке эксперимента. В частности, эти результаты использовались при интерпретации экспериментов: по ширине линий и частотно-полевым зависимостям антиферромагнитного резонанса на обменных модах в  $CuCl_2 \cdot 2H_2O$ ; по изучению двухмагнного поглощения на обменных спиновых волнах в  $CuCl_2 \cdot 2H_2O$ ; по выделению

магнонного вклада в теплоемкость в  $La_2CuO_4$ ; по обнаружению и исследованию щели в спектре мягкой магнонной моды при спин-флип переходе в  $(C_2H_5NH_3)_2CuCl_4$ ; по изучению аномалий упругих свойств  $Nd_2CuO_4$  в магнитном поле; по исследованию ИК-спектров отражения  $Nd_2CuO_4$  в магнитном поле. Общность развиваемого теоретического симметричного подхода позволяет применять полученные в работе результаты к любым типам магнетиков с соизмеримой магнитной структурой. Предсказанные в работе явление спин-зависимого однофононного поглощения и возможность разделения неупругого рассеяния нейтронов на акустических и обменных магнонах в квазидвумерных магнетиках приводят к получению принципиально новой информации о магнитной подсистеме и ее взаимодействии с оптическими фононами. Применительно к ВТСП-объектам возможность определения констант взаимодействия оптических фононов с магнитной подсистемой имеет непосредственную практическую ценность.

Составляющие предмет диссертации научные исследования выполнены в рамках утвержденной тематики научно-исследовательских проектов АН Украины и проектов ГКНТ Украины, проводившихся в Донецком Физико-Техническом Институте АН Украины в 1982-1995 годах, а также проекта Международного Научного Фонда No.U2U000.

*Личный вклад автора.* В диссертационной работе обобщены результаты теоретических исследований, проведенных непосредственно автором. Во всех вошедших в диссертацию работах автор принимал участие в постановке задачи, выборе и разработке методов их решения, проведении теоретических и компьютерных вычислений, а также в интерпретации результатов вычислений и измерений и формулировке выводов. В диссертации нет идей либо результатов, которые не принадлежат ее автору.

*Апробация работы.* Основные результаты диссертации были представлены и докладывались на:

Всесоюзных конференциях по физике магнитных явлений, XVI-Тула 1983, XVII-Донецк 1985, XVIII-Калинин 1988, XIX-Ташкент 1991 и Школе-симпозиуме по магнитным явлениям- Алушта 1993.

Всесоюзных совещаниях по физике низких температур, 23-Таллинн 1984, 24-Тбилиси 1986, 26-Донецк 1990.

Школах симпозиумах по теоретической физике Коуровка-20 Красный Яр 1984 и Коуровка-21 Н.Тагил 1986.

Всесоюзных семинарах по спиновым волнам Ленинград, 1984, 1988, 1986, 1990, 1992.

Всесоюзных совещаниях по высокотемпературной сверхпроводимости, II-Киев 1988, III-Харьков 1991.

Международных конференциях по магнетизму и магнитным материалам: 35th MMM San Diego 1990, 37th MMM-Houston 1992, 38th MMM- Minneapolis 1993, 6th Joint MMM-INTERMAG-Albuquerque 1994, 40th MMM-Philadelphia 1995, USA.

Международном симпозиуме по магнитооптике (Харьков, 1991).

6-й международной конференции по ферритам ( Kyoto, Japan 1992).

2-й международной конференции по магнетоэлектрическим взаимодействиям в кристаллах (Ascona, Switzerland 1993).

Международной конференции INTERMAG-93, Stockholm, Sweden 1993.

Международной конференции по материалам и механизмам сверхпроводимости ( $M^2S-HTSC-IV$ , Grenoble, France, 1994).

Международной летней школе по магнетизму-Харьков

1994.

Международной конференции по физике сверхпроводимости (СФА'95, Харьков 1995).

Международной конференции по магнитным корреляциям и переходам металл-изолятор (Groningen, The Netherlands, 1995)

Кроме того результаты работы неоднократно докладывались на семинарах в ДонФТИ НАНУ, ФТИНТ НАНУ, Институте монокристаллов НАНУ, Институте Теоретической Физики НАНУ и Институте Физических Проблем РАН.

*Публикации по теме диссертации.* Материалы диссертации представлены в 24 печатных трудах, среди которых 22 публикации в реферируемых научных журналах, 1 препринт и 1 развернутый доклад на международной конференции.

*Структура диссертации.* Диссертация содержит 345 страниц машинописного текста и 35 рисунков. Она состоит из вступления, шести глав, заключения и списка литературы из 228 наименований.

*Содержание диссертации.*

Во введении обоснована актуальность темы, изложено краткое введение в проблему и дан сжатый обзор литературы по теоретическим и экспериментальным исследованиям обменных спиновых волн в многоподрешеточных магнетиках. В нем также в сжатом виде сформулированы основные новые результаты, полученные в работе.

В первой главе диссертации рассматривается метод вторичного квантования гамильтониана многоподрешеточного магнетика, максимально учитывающий его симметрию и опирающийся на подход работы Барьяхтара, Витебского, Яблонского (1979). В начале этой главы рассматривается общая схема симметричного подхода к описанию свойств магнетиков и краткая история вопроса. Обсуждается использование концепции парафазы, как наиболее удобной для изучения линейной спиновой динамики

многоподрешеточных магнетиков при наличии спин-переориентационных переходов.

В разделе 1.2 приводится необходимый математический аппарат теории групп и вводится понятие магнитного представления, как матрицы преобразований компонент спинов  $d_M(g)$ , друг через друга под воздействием операций симметрии  $g$ . Обсуждаются два типа эквивалентных магнитных представлений, соответствующих различным способам перехода к Фурье-преобразованию для спинов. Развиваемый подход сравнивается с подходом Изюмова, Найша, Озерова (1981), при котором матрица магнитного представления действует на некоторые орты в спиновом пространстве.

В разделе 1.3 описывается способ построения с помощью специально выбранного оператора проектирования линейных неприводимых комбинаций компонент спинов  $L_{\nu,l}(\mathbf{k})$ , где  $\nu$  номер неприводимого представления группы волнового вектора  $G(\mathbf{k})$ , а  $l$  нумерует базисные функции для неодномерных представлений. Рассматриваются трансформационные свойства полученных линейных комбинаций и показывается, что под действием операций симметрии величины  $L_{\nu,l}(\mathbf{k})$  преобразуются по правым индексам матриц неприводимых представлений. Устанавливается, что между линейными неприводимыми комбинациями  $L_{\nu,l}(\mathbf{k})$  и ортами  $\vec{J}_{\nu,l}(\mathbf{k})$  из монографии Изюмова, Найша, Озерова (1981) имеется взаимно однозначное соответствие.

В разделе 1.4 рассматривается метод вычисления коэффициентов при инвариантах гамильтониана для волновых векторов  $\mathbf{k}$  лежащих вдоль симметричных направлений. Получены формулы, позволяющие выразить эти коэффициенты через постоянные  $K_{\alpha\beta}^{ij}(\mathbf{k})$  взаимодействий между магнитными подрешетками  $\alpha$  и  $\beta$  ( $i, j$  – декартовы индексы). В предлагаемом способе вычисления суммирование по подрешеткам заменено на суммирование по элементам группы волнового вектора, что позволяет автоматически учитывать форму тензоров  $K_{\alpha\beta}^{ij}(\mathbf{k})$  и фиксировать левый

стартовый индекс  $\alpha$ .

В разделе 1.5 предлагается метод построения спин-волновых гамильтонианов полностью сохраняющий все преимущества симметричного подхода Барьяхтара, Витебского, Яблонского (1979). При этом используется то, что матрицы перехода в локальные системы координат связаны друг с другом с помощью операций симметрии унитарной подгруппы магнитной группы, переставляющих магнитные ионы друг с другом. В результате операторы  $L_{\nu,l}(\mathbf{k})$  выражаются через линейные комбинации операторов спиновых отклонений, являющихся базисными функциями перестановочного представления парамагнитной фазы. При этом спин-волновой гамильтониан магнетика, является квадратичной формой по операторам некоторых обобщенных импульсов  $P$  и координат  $Q$ . Данная квадратичная форма сохраняет блочно-диагональный вид, однако максимальное число блоков равно  $\sigma$ —числу магнитных ионов в магнитной ячейке, меньше максимального числа блоков  $3\sigma$  исходного магнитного гамильтониана. Таким образом решается задача о вторичном квантовании гамильтониана многоподрешеточного магнетика с учетом симметрии исходной парамагнитной и магнитоупорядоченной фаз.

В разделе 1.6 рассматриваются различные методы симметричного анализа спиновой динамики многоподрешеточных магнетиков. Получены простые формулы, позволяющие исследовать состав спин-волнового представления на основе группы симметрии парамагнитной фазы при известном типе магнитного упорядочения.

Во второй главе диссертации рассмотрены основные особенности линейной спиновой динамики многоподрешеточных магнетиков на примере исследования магнитного резонанса в  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$  и  $\text{Nd}_2\text{CuO}_4$  в магнитных полях параллельных осям симметрии кристалла. Кроме того рассматриваются спин-переориентационные переходы в магнитном поле в обменнонеколлинеарной магнитной структуре типа плоский крест.

В разделе 2.1 изучается антиферромагнитный резонанс на обменных модах в четырехперешеточном  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . После краткого исторического обзора в разделе 2.1.1 проведен симметричный анализ магнитных свойств этого кристалла на основе анализа состава магнитного представления и выяснения типа обменного коллинеарного упорядочения. При записи магнитного гамильтониана в инвариантной форме показан, принятый в дальнейшем в диссертации, способ выражения постоянных Дзялошинского-Мория, анизотропий и обменов через компоненты тензоров  $K_{\alpha\beta}^{ij}(\mathbf{k})$ . В разделе 2.1.2 проведена классификация магнитных мод по типам симметрии. При этом разделение мод на обменные и акустические проводится по следующему признаку. Так как акустическим модам при  $\mathbf{k} = 0$  соответствуют повороты магнитной структуры как целого, то таковыми будут являться те из них, в индексе которых содержится индекс НП отклонений основного вектора антиферромагнетизма. Обменным модам магнитного резонанса соответствует максимальные отклонения остальных неосновных векторов антиферромагнетизма. Изменение симметрии при изменении магнитного поля может приводить к ситуации, когда обменные и акустические моды имеют одинаковую симметрию, например, в спин-флоп фазе. В этом случае, в колебаниях соответствующих обменным модам, принимают участие малые отклонения основного вектора антиферромагнетизма. Тем не менее, разделение мод на обменные и акустические может иметь смысл, поскольку, как будет показано далее, в обменных ветвях спектра АФМР по-прежнему с наибольшей амплитудой колеблются векторы слабого антиферромагнетизма, в то время как в акустических – основной вектор антиферромагнетизма. Лишь в области полей сильного взаимодействия обменных и акустических мод такое разделение невозможно, однако, величина этой области будет определяться параметром взаимодействия. В разделе показано, что этот параметр, определяющийся постоянными Дзялошинского-Мория, может быть определен при исследовании области расталкивания частотно-полевых

зависимостей обменных и акустических мод АФМР. Продемонстрированы возможности метода вторичного квантования, изложенного в разделе 1.5, состоящие в том, что при получении спин-волнового гамильтониана попутно получаются уравнения на основные состояния магнетика. Эти уравнения возникают из требования отсутствия линейных по операторам  $Q$  и  $P$  членов в полном гамильтониане магнетика. В данном разделе вычисляются основные состояния и частотно-полевые зависимости всех магнитоупорядоченных фаз, возникающих в полях, параллельных осям симметрии кристалла.

В разделе 2.2 рассматриваются условия возбуждения обменных мод антиферромагнитного резонанса и особенности однородных колебаний намагниченности многоподрешеточных антиферромагнетиков. С помощью вычислений  $u - v$  коэффициентов преобразования Боголюбова-Тябликова показано, что возбуждениям обменных магнов соответствует преимущественная прецессия неосновных векторов антиферромагнетизма. Тогда как акустические магноны описываются прецессией преимущественно основных векторов антиферромагнетизма. Из этого следует, что условием возбуждения обменных мод магнитного резонанса является наличие в гамильтониане инвариантов, связывающих компоненты векторов, преобразующихся по разным неприводимым представлениям из состава перестановочного представления. То есть, соответствующим разным возможным типам обменного магнитного упорядочения. Как правило это инварианты, обусловленные взаимодействием Дзялошинского-Мория. Наличие таких инвариантов приводит к тому, что наведенные высокочастотным магнитным полем колебания суммарного магнитного момента порождают колебания неосновных векторов магнитной структуры или, как вытекает из предыдущего рассмотрения, колебаний обменных мод. Таким образом, поглощение на обменных модах всегда будет обусловлено взаимодействием Дзялошинского-Мория хотя оно при данной ориентации основного вектора магнитной структуры, вообще говоря,

может и не приводить к подгибу спинов подрешеток.

В разделе 2.3 исследуется магнитная структура и обменные моды магнитного резонанса двадцатичетырехподрешеточного ферритмагнетика  $BaFe_{12}O_{19}$ . На основании проведенного симметричного анализа показано, что в гексаферритах  $M$ -типа с необходимостью должен существовать подгиб равновесных ориентаций спинов ионов из  $k$ -позиций по отношению к оси  $z$ . Величина угла подгиба, по-видимому незначительна, поскольку определяется обменно-релятивистскими взаимодействиями типа взаимодействия Дзялошинского-Мория. В обменном приближении найдены частотно-полевые зависимости всех 24 мод магнитного резонанса, из которых 7 магнитодипольноактивных мод ( $\epsilon = 109.5$ -вырожденная; 127.1; 161.2; 192.5; и 221.4  $\text{см}^{-1}$ ), 5 электродипольноактивных мод ( $\epsilon = 74.8$ ; 109.5-вырожденная; 249.3; 268.6  $\text{см}^{-1}$ ), а остальные двенадцать являются немymi. При вычислении частот использовались известные данные по межподрешеточным обменным интегралам. Расчеты высокочастотной восприимчивости показывают, что так же, как и в случае антиферромагнетиков, интенсивность поглощения определяется взаимодействием Дзялошинского-Мория или, в данном случае, неколлинеарностью магнитной структуры.

В разделе 2.4 рассмотрены антиферромагнитный резонанс и индуцированные магнитным полем спин-перезориентационные фазовые переходы в обменнеколлинеарной магнитной структуре типа "плоский крест", реализующейся в  $Nd_2CuO_4$ . Общее возможное поведение структуры такого типа в магнитном поле вытекает из двух предельных случаев. В первом из них в обменном приближении включение сколь угодно малого поля произвольной ориентации приведет к тому, что плоскость креста будет ориентирована перпендикулярно магнитному полю и в полях порядка внутрислового обмена крест захлопнется и магнитная структура станет ферромагнитной. Второму предельному случаю соответствует отсутствие структурных искажений и бесконечно малая величина четырех-

спинового обмена, создающего неколлинеарность, по сравнению с анизотропией. В этом случае наличие компоненты поля, лежащей в плоскости креста, приведет к тому, что вектора антиферромагнетизма отдельных слоев станут антипараллельны друг другу и перпендикулярными полю, т.е. магнитная структура уже в малых полях станет двухподрешеточной коллинеарной, а в полях порядка внутрислоевого обмена возникает ферромагнитное состояние. При этом мягкими модами в соответствующих спин-переориентационных фазовых переходах в первом случае будут являться акустические моды  $\omega_A$ , а во втором — обменная мода  $\omega_E$ . Ориентация магнитного поля перпендикулярно плоскости креста является особой, поскольку никаких спин-переориентационных переходов в обоих случаях при этом происходить не будет. Для направления поля в плоскости креста вдоль  $[100]$  и  $[110]$ -вдоль одного из векторов спинов выделены три основных типа поведения магнитной системы "плоский крест":

1. Структурные искажения  $\Delta$  присутствуют.
2. Структурные искажения отсутствуют, четырехспиновый обмен  $D$  больше анизотропии  $A$  и  $\omega_E > \omega_A$ .
3. Структурные искажения отсутствуют,  $D < A$  и  $\omega_E < \omega_A$ .

Для  $\mathbf{H} \parallel [100]$ :

В первом случае при увеличении поля происходит единственный фазовый переход II рода, сопровождающийся выходом "креста" из плоскости  $xy$ . При этом плоскость "креста" никогда не будет перпендикулярна полю. В случае 2) "крест" также выходит из плоскости  $xy$ , однако, плоскость "креста" становится перпендикулярно полю, а переход в опрокинутую фазу может происходить путем фазового перехода I рода, либо путем двух фазовых переходов II рода. В третьем случае при увеличении поля происходит фазовый переход II рода из состояния четырех- в состояние двухподрешеточного антиферромагнетика. При этом мягкой будет являться обменная мода.

Для  $\mathbf{H} \parallel [110]$ :

Как в случае 1), так и в случае 2) при увеличении поля "крест" выходит из плоскости  $xy$  и плоскость "креста" становится перпендикулярно полю. Переход в опрокинутую фазу может происходить путем фазового перехода I рода, либо путем двух фазовых переходов II рода. Область существования промежуточной фазы при выходе "креста" из плоскости определяется величиной малой межслоевой анизотропии и четырехспинового обмена. Поведение магнитной системы в случае 3) аналогично случаю 3) для  $\mathbf{H} \parallel [100]$ , однако фазовый переход происходит как фазовый переход I рода.

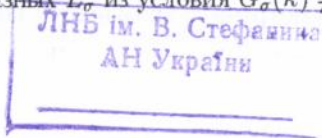
В третьей главе рассматриваются спиновые волны в многоподрешеточных магнетиках. В начале главы обсуждаются способы приближенного описания спектра спиновых волн в произвольной точке  $k$ -пространства. В приближении ближайших соседей на основании известных экспериментальных данных вычислены спектры спиновых волн четырехподрешеточных антиферромагнетиков  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{La}_2\text{CuO}_4$  и  $\text{Nd}_2\text{CuO}_4$ . В разделе 3.1 рассматривается спектр спиновых волн  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  в магнитном поле, параллельном легкой оси. В спин-флоп фазе взаимодействие Дзялошинского-Мория (ВДМ) приводит к появлению дополнительных экстремумов в законах дисперсии спиновых волн внутри зоны Бриллюэна. Положение экстремумов зависит от величины магнитного поля и может смещаться как в область малых, так и в область больших волновых векторов. Поскольку снятие вырождения обусловлено ВДМ, то и величина наименьшего расстояния между энергиями, как и в однородном случае, определяется этим взаимодействием.

В разделе 3.2 исследуется появление динамических критических точек (КТ) в спектре спиновых волн в  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , обусловленных взаимодействием обменных и акустических спиновых волн одинаковой симметрии. Проведен анализ компонент групповых скоростей спиновых волн вдоль симметричных направлений зоны Бриллюэна и показано, что ди-

намическая критическая точка спектра может появиться в тех случаях, когда некоторые из компонент групповой скорости обращается в нуль в силу симметричных соображений. Рассмотрена эволюция критических точек от изолированных к неизолированным при изменении магнитного поля. Изучены особенности плотности состояний с ними связанные.

В разделах 3.3 и 3.4 рассматриваются спиновые волны в  $La_2CuO_4$  и  $Nd_2CuO_4$ . Обнаружена двумерность некоторых ветвей спектра спиновых волн в обменнеколлинеарном  $Nd_2CuO_4$ , обусловленная особенностями кристаллической и магнитной структуры. Показано, что учет соседей следующих за ближайшими в квадратичных по спину взаимодействиях или слагаемых четырехспинового обмена не приводит к появлению дисперсии. В случае  $La_2CuO_4$  квазидвумерное поведение спектра спиновых волн определяется аномальными соотношениями межподрешеточных обменных интегралов — величина межслоевого обмена много меньше величины внутрислоевого. В этом смысле двумерность магнитного спектра  $La_2CuO_4$  носит численный характер. Двумерность спектра подобная  $Nd_2CuO_4$ , по-видимому, должна существовать и в других обменнеколлинеарных компланарных магнетиках при распространении спиновых волн перпендикулярно плоскости магнитного упорядочения.

В разделе 3.5 исследовано неупругое рассеяние нейтронов на магнонах в  $La_2CuO_4$  и  $Nd_2CuO_4$  и показано, что интенсивность рассеяния как на акустических так и на обменных магнонах, в силу квазидвумерности, является обменноусиленной. Показано, что амплитуда рассеяния  $f_{\kappa\nu}$  факторизуется так, что в ней выделяется часть  $G_\sigma(\kappa)$ , не зависящая от величины и особенностей взаимодействия спинов и определяющаяся только расположением магнитных ионов и симметрией  $L_\sigma$ . Тогда как специфика взаимодействий в спиновой подсистеме, определяется матричными элементами от неприводимых комбинаций  $L_\sigma(\mathbf{q})$ . Благодаря эффекту обменного усиления для  $t - d$  коэффициентов и в силу наличия разных структурных факторов  $G_\sigma(\kappa)$  при разных  $L_\sigma$  из условия  $G_\sigma(\kappa) \neq 0$ ,



можно указать области  $\mathbf{k}$ -пространства вблизи которых интенсивность рассеяния на спиновой волне данной симметрии оказывается обменно-усиленной. Обнаружено, что в  $La_2CuO_4$  для обменных магнонов интенсивность рассеяния будет обменноусиленной при рассеянии вблизи ядерных брэгговских пиков, тогда как для акустических магнонов—вблизи пиков магнитной структуры.

В четвертой главе для многоподрешеточных магнетиков изучены эффекты, интегральные по спектру спиновых волн, а именно, двухмагнонное поглощение с участием обменных магнонов, ширина линий и температурная зависимость обменных мод АФМР, магнонный вклад в теплоемкость.

В разделе 4.1 приведен краткий обзор литературы по исследованию двухмагнонного поглощения в антиферромагнетиках и рассмотрена общая качественная сторона явления.

В разделах 4.2 и 4.3 исследовались амплитуды процессов двухмагнонного поглощения и коэффициенты поглощения в  $CuCl_2 \cdot 2H_2O$  и  $Nd_2CuO_4$ . В последнем помимо магнитодипольного канала поглощения рассмотрен и, разрешенный симметрией, электродипольный канал поглощения, имеющий обменное происхождение. Показано, что в обменноколлинеарной структуре в отличие от коллинеарной интенсивность двухмагнонного поглощения в нулевом магнитном поле с участием обменных магнонов не содержит малых параметров. Для  $CuCl_2 \cdot 2H_2O$  рассмотрена зависимость амплитуд поглощения от величины магнитного поля в разных магнитоупорядоченных фазах. Показано, что максимум интенсивности поглощения возникает на частотах вблизи удвоенной энергии спиновых волн на границе зоны Бриллюэна и при значениях магнитного поля соответствующих выполаживанию закона дисперсии спиновых волн  $\epsilon_{1278}^{(+)}(\mathbf{k}, H)$ , где как раз и проявляются динамические критические точки спектра, связанные с зависимостью спектра от магнитного поля. Рассмотрено двухмагнонное поглощение на частотах излучения  $\omega$ , лежа-

щих вблизи удвоенной энергии, соответствующей области взаимодействия спиновых волн. Показано, что вклад в коэффициент двухмагнонного поглощения от этих участков спектра, расположенных в непосредственной близости от динамических КТ, содержит параметр  $\sqrt{D/J}$ . Данный результат является закономерным, поскольку само появление исследуемых КТ обусловлено взаимодействием Дзялошинского-Мория.

В случае  $Nd_2CuO_4$  показано, что электродипольный и магнитодипольный вклады в интенсивность поглощения могут быть разделены, как по поляризации, так и по частотным зависимостям.

В разделе 4.4 исследованы механизмы релаксации обменных магнонов в трехмерном  $CuCl_2 \cdot 2H_2O$  в коллинерной фазе в магнитных полях не превышающих поля спин-флоп перехода. После краткого введения и общего качественного анализа в разделе 4.4.1 анализируется структура гамильтониана взаимодействий квазичастиц. Метод построения спин-волновых гамильтонианов, рассмотренный в главе I, используется для вычисления амплитуд взаимодействия магнонов друг с другом. В этом случае симметрия магнетика будет учтена если для операторов  $L'$  в представлении Гольштейна-Примакова следующие члены разложения также выразить через линейные комбинации операторов спиновых отклонений.

В разделе 4.4.2 анализируются две группы процессов. Первая группа — это процессы распадного типа, которые поэтому могут идти при нулевой температуре. К ним принадлежат: I — процесс распада обменного магнона на три акустических и II — процесс распада обменного магнона на акустический магнон и фонон. Вторая группа процессов — это следующие процессы, III — слияния обменного и акустического магнонов с образованием двух акустических магнонов, IV — рассеяния обменного магнона на акустическом, V — рассеяния обменного магнона на обменном и VI — слияния обменного и акустического магнонов, с образованием фонона. Учет магнитного диполь-дипольного взаимодействия дает малые добавки во все, рассмотренные выше процессы, обусловлен-

ные магнон-магнонными взаимодействиями и приводит к трехмагнонному процессу VII—распада обменного магнона на два акустических. В принципе возможно существование и других процессов релаксации, однако, они запрещены законами сохранения. На основании численных оценок проведенных в разделе 4.4.3, и характерного отсутствия зависимости ширины линии от магнитного поля, подтвержденной экспериментально, сделан вывод, что время жизни обменных магнонов в трехмерных магнетиках определяется преимущественно распадными процессами. Тогда как температурная зависимость частот обменных магнонов, рассмотренная в разделе 4.4.4, определяется преимущественно процессами их рассеяния на акустических магнонах.

В разделе 4.5, для  $La_2CuO_4$  и  $CuCl_2 \cdot 2H_2O$  рассмотрен магнонный вклад в суммарную теплоемкость  $C$  магнетика. Показано, что для квазидвумерного  $La_2CuO_4$  этот вклад может быть выделен на температурной зависимости  $C/T^3$ , что дает возможность приблизительно определить положение нижней по энергии магнонной ветви спектра (начало магнонного спектра). Положение всех остальных ветвей спектра определить не удалось. В случае трехмерных магнетиков вклад обменных магнонов в теплоемкость, как правило, является экспоненциально малым вплоть до температуры Нейля.

В пятой главе, рассматривается рассеяние света в многоподрешеточных магнетиках. В начале главы дан сжатый обзор литературы по данной теме. На основе разложения диэлектрической проницаемости в ряд по линейным неприводимым комбинациям спинов в разделе 5.1 предлагается исследовать форму тензора рассеяния и относительный вклад различных механизмов рассеяния в магнетиках со сложной магнитной структурой.

В разделе 5.2 конспективно рассматривается рассеяние света в обменноколлинеарных антиферромагнетиках  $RFeO_3$ ,  $CuCl_2 \cdot 2H_2O$  и  $La_2CuO_4$ . Особенности комбинационного рассеяния света на магнонах в

разных обменноколлинеарных магнетиках имеют много общего, поскольку они отражают общие характерные особенности спиновой динамики многоподрешеточных антиферромагнетиков. Например, ограничиваясь вкладом только фарадеевского механизма рассеяния, из анализа амплитуд колебаний неприводимых векторов, проведенных в разделе 2.2, следует, что интенсивность рассеяния на акустических магнонах определяемая постоянной Фарадея, всегда будет содержать обменно-подавленные  $u - v$  коэффициенты порядка  $(A/J)^{1/4}$ . При этом интенсивность рассеяния на обменных магнонах, определяемая этим же механизмом, будет в  $\sqrt{A/J} \approx D/J$  раз меньше интенсивности рассеяния на акустических магнонах. Учет квадратичных магнитооптических постоянных не добавляет ничего существенного в интенсивность рассеяния на обменных магнонах, однако, она очень важна для акустических магнонов поскольку может приводить к известной асимметрии стокс-антистокс рассеяния. Обменный механизм рассеяния в коллинеарных магнетиках в отсутствие магнитного поля также не будет давать сколь-нибудь существенного вклада в одномагнонный тензор рассеяния. Это связано с тем, что в коллинеарных многоподрешеточных магнетиках изменение модуля основного вектора антиферромагнетизма возможно только благодаря реальной или возможной релятивистской неколлинеарности структуры. Поэтому в обменноколлинеарных магнетиках, как трехмерных так и квазидвумерных, постоянные обменного происхождения  $P$  будут входить в тензор рассеяния с множителями вида  $D/J$ . Очевидно, что учет равновесных компонент, описывающих слабую неколлинеарность, будет того же порядка малости. Интенсивность рассеяния на обменных магнонах становится сравнимой с интенсивностью рассеяния на акустических магнонах лишь в области полей соответствующих сильному взаимодействию этих магнонов.

В разделах 5.3, 5.4, 5.5 проводится теоретическое исследование одномагнонного рассеяния света на магнонах в многоподрешеточных обменно-

неколлинеарных  $UO_2$ ,  $RmO_3$  и  $Nd_2CuO_4$ , соответственно. Установлено, что интенсивность рассеяния на обменных магнонах, в этих соединениях определяется обменным механизмом рассеяния и не содержит малых множителей. На основании анализа экспериментальных данных работы Colwell, Rahn, Walker (1975) по рассеянию света на магнонах в  $UO_2$ , показано, что в этой работе наблюдалось рассеяние света на обменном магноне, хотя сами авторы и не давали такой интерпретации. Основные черты рассеяния на акустических магнонах, характерные для коллинеарных антиферромагнетиков, сохраняются и для обменнеколлинеарных антиферромагнетиков.

В разделе 5.6 рассмотрено влияние магнитного диполь-дипольного взаимодействия на расщепление вырожденных состояний акустических магновов и одномагннное рассеяние света в обменнеколлинеарных магнетиках.

В шестой главе исследуется взаимное влияние магнитной и упругой подсистем друг на друга.

В разделе 6.1 сформулировано симметрично требование собственной ферроэластичности перехода для появления стрикционной щели в спектре мягкой магнонной моды при спин-переориентационных переходах. На простой модели продемонстрирован механизм появления этой щели и механизм смягчения упругого модуля в точке перехода.

В разделе 6.2 с точки зрения этого критерия проанализированы переходы типа схлопывания магнитных подрешеток. Приведены выражения для магнитоупругих щелей, возникающие при спин-флип переходах в ромбических и тетрагональных антиферромагнетиках.

В разделе 6.3 приведен пример собственного ферроэластического перехода в обменнеколлинеарном магнетике, при котором возникает стрикционная щель, определяющаяся магнитоупругими постоянными обменного происхождения.

В разделе 6.4 рассматривается появление обменно-стрикционных

аномалий упругих свойств при несобственном ферроэластическом переходе из обменнонеколлинеарной в обменноколлинеарную структуру.

В разделе 6.5 рассматривается индуцированное магнитным упорядочением однофононное инфракрасное поглощение, возникающее при магнитном фазовом переходе, сопровождающемся  $n$ -кратной мультипликацией исходной примитивной ячейки. Поскольку магнитная зона Бриллюэна становится в  $n$  раз меньше зоны Бриллюэна исходной парамагнитной фазы, то состояния квазичастиц, принадлежавшие ранее некоторым точкам границы зоны Бриллюэна парамагнитной фазы попадают в центр зоны Бриллюэна магнитоупорядоченной фазы. Часть таких состояний становится доступной для наблюдения методами одночастичного комбинационного рассеяния и поглощения света. Механизмы поглощения и рассеяния света этими квазичастицами возникают после магнитного упорядочения и определяются симметрией и абсолютным значением магнитного параметра порядка.

В разделе 6.5.1 рассматривается трансформация фононного спектра под воздействием магнитного упорядочения в  $Nd_2CuO_4$ . Предполагая, что структурные искажения отсутствуют, найдены точки зоны Бриллюэна парамагнитной фазы, попадающие в центр зоны Бриллюэна магнитной фазы.

В разделе 6.5.2 изучаются возможные механизмы однофононного поглощения из границы зоны Бриллюэна. Рассмотрены симметричные условия появления электродипольных и магнитодипольных механизмов поглощения, обусловленных избирательным воздействием магнитной подсистемы на фононную подсистему. Сформулирован критерий появления электродипольного механизма, сводящийся к требованию многоканальности магнитного фазового перехода упорядочения. Исследовано изменение интенсивности спин-зависимого поглощения в  $Nd_2CuO_4$  в магнитном поле.

В заключении сформулированы основные результаты полученные в

диссертации.

На защиту выносятся следующие результаты:

1. Метод построения спин-волновых гамильтонианов многоподрешеточных магнетиков, позволяющий в общем симметричном виде охарактеризовать основные особенности линейной спиновой динамики магнетиков с произвольной соизмеримой магнитной структурой.
2. Исследования спин-переориентационных переходов и частотно-полевых зависимостей АФМР в обменнеколлинеарной магнитной структуре типа плоский крест, помещенной в магнитное поле.
3. Двумерность спектра спиновых волн, не связанная с какой либо численной малостью обменных интегралов магнетика и обусловленная кристалломагнитной структурой. Возникновение динамических критических точек спектра спиновых волн многоподрешеточного магнетика из-за взаимодействия обменных и акустических спиновых волн одинаковой симметрии.
4. Эффект обменного усиления интенсивности неупругого рассеяния нейтронов на обменных магнонах в квазидвумерных антиферромагнетиках и правила отбора для поиска брэгговских пиков, вблизи которых этот эффект имеет место.
5. Исследование двухмагнонного поглощения с участием обменных магнонов в трехмерных коллинеарных и квазидвумерных обменнеколлинеарных магнетиках. Для первого случая показано, что интенсивность поглощения становится значительной лишь в достаточно больших магнитных полях и в области выполаживания спин-волнового спектра. Во втором случае амплитуда двухмагнонного поглощения с участием обменных магнонов не содержит каких либо дополнительных параметров малости по сравнению с двухмагнонным поглощением с участием только акустических магнонов.

6. Исследование механизмов релаксации обменных спиновых волн в трехмерных антиферромагнетиках и вывод, что релаксация обменных магнонов в этих магнетиках определяется преимущественно распадными процессами.
7. Теория одномагнонного рассеяния света в многоподрешеточных магнетиках, позволяющая находить правила отбора для тензоров рассеяния и относительный вклад различных механизмов рассеяния. Существование гигантской интенсивности рассеяния на обменных магнонах в обменнонеколлинеарных магнетиках определяемой обменными механизмами рассеяния.
8. Критерий возникновения стрикционной щели в спектре мягкой магнонной моды при спин-переориентационных фазовых переходах. Существование обменно-стрикционных аномалий упругих свойств при фазовых переходах в обменнонеколлинеарных магнетиках.
9. Критерий появления спин-зависимого электродипольного однофононного поглощения из границы зоны Бриллюэна парамагнитной фазы при магнитном фазовом переходе с мультипликацией примитивной ячейки.

## ПУБЛИКАЦИИ ПО МАТЕРИАЛАМ ДИССЕРТАЦИИ

1. Пашкевич Ю.Г., Соболев В.Л., Телепа В.Т. Симметричный анализ статических и высокочастотных свойств  $CuCl_2 \cdot 2H_2O$  и  $CuCl_2 \cdot 2D_2O$ // ФНТ.-1982.-т.8, в.7, с. 705-712.
2. Еременко В.В., Науменко В.М., Пашкевич Ю.Г., Пишко В.В. Обнаружение обменных мод антиферромагнитного резонанса в  $CuCl_2 \cdot 2H_2O$ //Письма в ЖЭТФ.-1983.- т.38, в.3, с.97-100.

3. Барьяхтар В.Г., Пашкевич Ю.Г., Соболев В.Л. Рассеяние света на магнонах и магнитооптические эффекты в многоподрешеточных магнетиках//ЖЭТФ.-1983.-т.85, в.5(11), с.1625-1637.
4. Барьяхтар В.Г., Витебский И.М., Пашкевич Ю.Г., Соболев В.Л., Тарасенко В.В. Стрикционные эффекты и динамика магнитной подсистемы при спин-переориентационных переходах// ЖЭТФ.-1984.- т.87, в.9, с.1028-1037.
5. Барьяхтар В.Г., Витебский И.М., Пашкевич Ю.Г., Соболев В.Л., Тарасенко В.В. Магнитоакустический резонанс в антиферромагнетиках в окрестности фазового перехода типа схлопывания магнитных подрешеток//ФТТ.-1984.-т.26, в.10, с.3035-3041.
6. Барьяхтар В.Г., Еременко В.В., Науменко В.М., Пашкевич Ю.Г., Пишко В.В., Соболев В.Л. Обменные моды в антиферромагнитном  $CuCl_2 \cdot 2H_2O$ //ЖЭТФ.-1985.-т.88, в.4, с.1382-1394.
7. Пашкевич Ю.Г., Соболев В.Л., Шахов В.В. Резонансные свойства четырехподрешеточного ромбического антиферромагнетика в полях перпендикулярных легкой оси//ФНТ.-1986.-т.12, в.9, с.962-971.
8. Еременко В.В., Звягин С.А., Пашкевич Ю.Г., Пишко В.В., Соболев В.Л., Федоров С.А. Двухмагنونное поглощение и особенности спектра спиновых волн многоподрешеточных антиферромагнетиков// ЖЭТФ.-1987.-т.33, в.6(12), с.2075-2089.
9. Еременко В.В., Звягин С.А., Пашкевич Ю.Г., Пишко В.В., Соболев В.Л., Шахов В.В. Зависимость частот обменных мод антиферромагнитного резонанса от температуры в  $CuCl_2 \cdot 2H_2O$ // ФТТ.-1988.-т.30, в.4, с.1251-1253.
10. Pashkevich Yu.G., Sobolev V.L., Fedorov S.A. Light scattering on

- magnons in many-sublattice antiferromagnets in a magnetic field// Journ. Phys. C: Solid State Phys.-1988.-v.21, No.7, p.1265-1286.
11. Еременко А.В., Пашкевич Ю.Г., Соболев В.Л., Федоров С.А. Одномагнонное рассеяние света в ВТСП материалах.  $La_2CuO_4$ // ФТТ.-1990.-т.32, в.4, с.1059-1067.
  12. Vitebsky I., Yermenko A., Pashkevich Yu., Sobolev V., and Fedorov S. One-magnon light scattering in exchange-noncollinear  $Nd_2CuO_4$ // Physica C.-1991.-v.178, n.1-3, p.189-192.
  13. Барьяхтар В.Г., Еременко В.В., Звягин С.А., Пашкевич Ю.Г., Пишко В.В., Соболев В.Л., Шахов В.В. Ширина линии обменных мод магнитного резонанса в четырехподрешеточном ромбическом антиферромагнетике//ЖЭТФ.-1991.-т.100, в.6(12), с. 1983-1909.
  14. Блишкин В.А., Пашкевич Ю.Г., Еременко В.В., Звягин С.А., Пишко В.В. Антиферромагнитный резонанс в  $Nd_2CuO_4$ // ФНТ.-1992.-т.18, в.11, с.1215-1229.
  15. Пашкевич Ю.Г., Федоров С.А. К симметричной классификации спин-волновых возбуждений магнитоупорядоченных кристаллов// Укр. Физ. Журн.-1993.-т.38, в.2, с.279-281.
  16. Sobolev V.L., Huang H.L., Vitebsky I.M., Knigavko A.N., Pashkevich Yu.G. Spin-Reorientation Phase Transition in  $Nd_2CuO_4$  in an external magnetic field: unusual manifestation of magnetoelastic coupling // Phys.Rev.B.-1993.-v.48, n.5, p.3417-3422.
  17. Pashkevich Yu.G. and Larionov M.M. Peculiarities of inelastic neutron scattering on magnons in High-Tc materials of stoichiometrical composition  $Nd_2CuO_4$ ,  $La_2CuO_4$  and  $YBa_2Cu_3O_6$ . (abstract)// J.Appl.Phys.-1994.-v.75, No.10, part 2B, p.6741.

18. Пашкевич Ю.Г., Шахов В.В., Блинкин В.А., Соболев В.Л., Захаров А.А., Суетин А.В., Хлопкин М.Н. Магнонный вклад в теплоемкость многоподрешеточных антиферромагнетиков  $La_2CuO_4$  и  $CuCl_2 \cdot 2H_2O$ // ФНТ.-1994.-т.20, в.5, с.423-432.
19. Sobolev V.L., Huang H.L., Pashkevich Yu.G., Larionov M.M., Vitebsky I.M., Blinkin V.A. Spin-wave spectrum and inelastic scattering by magnons in  $Nd_2CuO_4$ // Phys.Rev.B. 1994.-v.49, n.2, p.1170-1181.
20. Sobolev V.L., Pashkevich Yu.G., Huang H.L., Vitebskii I.M., Blinkin V.A. Two magnon-absorption of electromagnetic waves in the exchange noncollinear antiferromagnet  $Nd_2CuO_4$ // Phys.Rev.B. 1995.-v.51, n.2, p.1010-1022.
21. Pashkevich Yu.G., Sobolev V.L., Fedorov S.A., Eremenko A.V. Theory of Raman light scattering in the many-sublattice exchange-noncollinear magnets  $UO_2$ ,  $RMnO_3$ , and  $Nd_2CuO_4$  ( $R$  =rare earth ion)//Phys.Rev.B. 1995.-v.51, n.22, p.15898-15919.
22. Пашкевич Ю.Г., Пашко В.В., Цапенко В.В., Еременко А.В. О структурных искажениях в  $Nd_2CuO_4$ // ФНТ. 1995.-т.18, в.7, с.1215-1229.
23. Барьяхтар В.Г., Пашкевич Ю.Г., Соболев В.Л., Федоров С.А. Симметричные аспекты расчета спектров спиновых волн многоподрешеточных магнетиков// Препринт ИТФ.-87-108Р.-ИТФ АН УССР.-Киев. 1987, 25с.
24. Eremenko A.V., Pashkevich Yu.G., Sobolev V.L., Fedorov S.A. Magnetic resonance exchange modes for barium hexaferrite. Ferrites.-Proceedings of The Sixth International Conference on Ferrites (ICF6), Tokio and Kyoto, Japan 1992, p.741-744.

*Ю.Г. Пашкевич*

Пашкевич Ю.Г. Спінова динаміка багатопідґраткових антиферомагнетиків. // На правах рукопису.

Дисертація на здобуття вченого ступеню доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 - фізика твердого тіла, Фізико-технічний інститут низьких температур НАН України, Харків, 1996.

Подано до захисту 24 наукових праці. Дисертація зосереджена на теоретичному розгляді різноманітних проявів обмінних магнонів в спектральних властивостях багатопідґраткових антиферомагнетиків. В дисертації розглянуто антиферомагнітний резонанс в магнітному полі та його ширина лінії, спін-переорієнтаційні переходи в обмінно-неколінеарній структурі "плоский хрест", спін-хвильовий спектр та непружне розсіяння нейтронів на магнонах, магнонний вклад в теплоємність, двухмагнонне поглинання, непружне розсіяння світла, магнітопружні властивості та спін-залежне однофоновне інфрачервоне поглинання.

Ключові слова: спектральні властивості, магнони, фазові перетворення, магнітна структура.

Pashkevich Yu.G. Spin dynamics of many sublattices antiferromagnets.

Thesis for a degree of Doktor Fiziko-Matematicheskikh Nauk in the field of solid-state physics, subject classification code 01.04.07; Institute for Low Temperature Physics & Engineering, Kharkov, 1996. 24 scientific publications are maintained. The thesis focus on theoretical treatment of the manifestation of exchange magnons in spectral properties many sublattices antiferromagnets. Antiferromagnetic resonance in magnetic field and its linewidth, spin-reorientational phase transitions in "plane cross" structure, spin wave spectrum and inelastic neutron scattering by magnons, magnon contribution to the heat capacity, two magnon absorption, Raman light scattering on magnons, magnetoelastic phenomena and spin-dependent one-phonon far-infrared absorption are considered.

Key words: spectral properties, magnons, phase transitions, magnetic structure.

Ответственный за выпуск  
кандидат физ.-мат. наук Белоголовский М. А.

.....  
Подписано к печати 09. iv. 1996г. Формат 60 x 84 1/16  
Уч. -изд. л. 2.0 Тираж 100. Заказ 8.

.....  
Донецкий физико-технический институт НАН Украины  
Донецк 114, Р. Люксембург 72. тел. 55-42-02.

Handwritten text at the top of the page, possibly a title or header, which is mostly illegible due to fading and bleed-through.

)

Handwritten text at the bottom right corner of the page, which is mostly illegible.

AB 34.447

**AB 34.447**