

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

На правах рукописи  
УДК 538.22

КАЗАЧКОВ Александр Ростиславович

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ  
КВАЗИОДНОМЕРНОГО АНТИФЕРРОМАГНЕТИКА  $\text{CsMnCl}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

01.04.07 - физика твердого тела

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Харьков - 1994



00778676 (+)

Диссертация является рукописью.

Работа выполнена в Физико-техническом институте низких температур им. Б. И. Веркина Национальной Академии Наук Украины

Научные руководители: доктор физико-математических наук,  
ведущий научный сотрудник  
В. В. ШАПИРО,  
кандидат физико-математических наук,  
старший научный сотрудник  
В. А. КАРАЧЕВЦЕВ

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,  
профессор  
Э. В. МАТЮШКИН  
доктор физико-математических наук,  
А. Г. АНДЕРС

Ведущая организация - Харьковский Государственный  
Университет

Защита состоится " 28 " \_\_\_\_\_ июня \_\_\_\_\_ 1994 г. в 15 часов  
на заседании Специализированного совета К 016.27.01 при Физико-  
техническом институте низких температур им. Б. И. Веркина НАН Украины  
(310164, г. Харьков - 164, пр. Ленина, 47).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Физико-технического  
института низких температур им. Б. И. Веркина НАН Украины.

Автореферат разослан " 27 " \_\_\_\_\_ мая \_\_\_\_\_ 1994 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, с подписью,  
заверенной Гербовой печатью, просим направлять по адресу:  
310164, г. Харьков - 164, пр. Ленина, 47, ФТИНТ НАН Украины,  
ученому секретарю Специализированного совета К 016.27.01

Ученый секретарь Специализированного совета  
кандидат физико-математических наук

П. П. Паль-Валь

ЛНБ ім. В. Стефаніка  
АН України

Актуальность темы диссертации. Исследование динамики подвижных возбуждений в кристаллах является одним из важнейших направлений в современной физике твердого тела. Прогресс, достигнутый в последние годы в данной области, во многом связан с изучением экситонной люминесценции квазиодномерных антиферромагнитных (АФМ) кристаллов. Эти вещества оказались удобными модельными объектами, обладающими высокой степенью одномерности миграции экситонов и прыжковым характером их движения. Данные обстоятельства весьма важны для обработки экспериментальных результатов, поскольку существует достаточно полное математическое описание процесса блуждания некогерентных экситонов по одномерной цепи. Немаловажно и то, что экситонное свечение квазиодномерных АФМ наблюдается в широком температурном диапазоне.

Влияние миграционных свойств экситонов на люминесценцию кристаллов особенно ярко проявляется при захвате подвижных возбуждений ловушками. Для одномерных систем в этом случае имеет место отклонение кривых затухания экситонной люминесценции от моноэкспоненциального вида, который характерен для кристаллов с изотропной миграцией энергии. Анализ формы кривых затухания экситонного свечения квазиодномерных кристаллов позволяет определить такие микроскопические параметры экситонного транспорта, как прыжковая скорость экситонов  $W$  и скорость их захвата ловушками  $U$ .

В большинстве предшествующих исследований экспериментальные кривые кинетики экситонной люминесценции аппроксимировались теоретическими зависимостями, полученными в предположении об эффективном захвате экситонов ловушками ( $W \leq U$ ). Однако в работах [1,2] было показано, что в АФМ кристалле  $(\text{CH}_3)_4\text{NMnCl}_3$  (ТММС) захват подвижных возбуждений ловушками, порождаемыми ионами  $\text{Cu}^{2+}$  и  $\text{Co}^{2+}$ , неэффективен ( $U / W \sim 10^{-4}$ ). Поэтому привлечение теоретических моделей, развитых для произвольной эффективности захвата и используемых в настоящей работе для описания эксперимента, представляет несомненный интерес.

Весьма актуальным является также выбор в качестве объектов исследования АФМ кристаллов  $\text{CsMnCl}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (СМС), динамика экситонного транспорта в которых ранее не изучалась. Эти кристаллы обладают высокой степенью одномерности магнитной структуры и свечением в видимой области спектра.

Основной целью данной работы являлось изучение миграции магнитных экситонов и механизмов люминесценции в квазиодномерных АФМ кристаллах в широком диапазоне температур. Решение поставленной в работе задачи потребовало создания экспериментальной установки, позволявшей регистрировать спектры люминесценции и кинетику затухания свечения исследуемых кристаллов от гелиевых до комнатных температур.

Основные результаты и положения, выносимые на защиту:

1. Экспериментально изучены температурные зависимости квантового выхода люминесценции и кинетики затухания свечения чистых и содержащих ионы  $\text{Cu}^{2+}$  кристаллов  $\text{CsMnCl}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

2. При температуре  $T > 40 \text{ K}$  в  $\text{CsMnCl}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  наблюдалась миграция экситонов, которые ранее считались локализованными в этом кристалле.

3. В рамках модели некогерентного транспорта определены динамические параметры экситонной миграции (прыжковая скорость экситона, скорость его захвата на ловушки, величины энергетических барьеров, преодолеваемых экситоном при прыжке на соседний узел и на ловушку).

4. Экспериментально зарегистрирован необычный рост с температурой квантового выхода люминесценции  $\text{CsMnCl}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  в диапазоне  $6 < T < 3\text{C K}$ .

Все перечисленные результаты получены впервые, что определяет научную новизну работы.

Научное и практическое значение диссертационной работы заключается в получении экспериментальных данных о динамике подвижных возбуждений и механизмах низкотемпературной люминесценции в антиферромагнитных кристаллах с низкой размерностью магнитной структуры, что способствует развитию теоретических моделей экситонной люминесценции и миграции экситонов в низкоразмерных системах. Полученные в работе данные могут оказаться полезными и при практическом использовании квазиодномерных соединений.

Апробация работы. Результаты работы докладывались на следующих конференциях, совещаниях: "Люминесцентный анализ в медицине и биологии и его аппаратное обеспечение" (Москва, Россия, 1992), DPC'93 (Boston, USA, 1993), General Conference of the Condensed Matter Division (Madrid, Spain, 1994), а также были представлены в докладе на Международной школе по магнитооптике (Киев, Украина, 1993).

Публикации. Основные результаты диссертации опубликованы в 4 печатных работах, список которых приведен в конце автореферата.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитируемой литературы, включающего 80 наименований. Полный объем работы составляет 114 страницы, включая 33 рисунка.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении сформулированы цель и задачи диссертационной работы, обоснован выбор объектов исследований, приведены основные положения, выносимые на защиту, описана структура диссертации, представлен список опубликованных работ по теме диссертации.

Первая глава представляет собой обзор литературы по теме диссертации. В ней кратко обсуждаются вопросы взаимодействия АФМ кристаллов со светом, причем особое внимание уделяется парным (экситон-магнонным) процессам в люминесценции и поглощении света антиферромагнетиками. Анализируются структурные, магнитные и спектральные свойства СМС. Подробно рассмотрены вопросы одномерной миграции экситонов, их захвата ловушками, влияние размерности экситонного транспорта и эффективности захвата на форму кривых кинетики затухания экситонной люминесценции кристаллов.

Вторая глава содержит описание методик экспериментальных исследований.

Изложены способы выращивания монокристаллов СМС, как чистых, так и допированных ионами меди, методика определения концентрации примеси  $\text{Cu}^{2+}$  в кристаллах.

Описана экспериментальная установка для изучения спектров и кинетики затухания люминесценции, позволяющая осуществлять регистрацию исследуемого сигнала в режиме счета фотонов с последующим накоплением. Для регистрации сигналов была использована методика временного многоканального анализатора (МВА), счет импульсов в котором производится за равные последовательно открывающиеся во времени интервалы, каждому из которых соответствует свой канал в памяти устройства. МВА, реализованный в данной работе, позволял изучать временные зависимости интенсивности люминесценции в широком динамическом диапазоне (число каналов составляло 4096) с разрешением по времени до  $5 \cdot 10^{-7}$  с и высокой эффективностью учета полезного сигнала. Для регистрации быстротекущих процессов в

устройстве предусмотрена буферная память емкостью 4 Кбайт, которая позволяла осуществлять накопление кривой кинетики затухания свечения в автономном режиме. Блок стабилизации температуры оригинальной разработки обеспечивал постоянство температуры исследуемого кристалла с точностью не хуже  $1^\circ$  в температурном интервале 6-300 К на протяжении нескольких часов, что позволяло регистрировать кинетику затухания люминесценции с длительным временем накопления сигнала. Описана методика получения спектров люминесценции, разрешенных во времени, при которой регистрация и многократное сканирование сигнала происходит в блоке МВА.

Возбуждение свечения исследуемого кристалла осуществлялось с помощью импульсного лазера на парах азота ЛГИ-505, а также ртутной лампой ДРШ - 250 с соответствующими светофильтрами. Для выделения различных областей спектра люминесценции использовался двойной сканирующий монохроматор ДФС-12 (линейная дисперсия  $5 \text{ \AA}/\text{мм}$ ). Регистрация свечения производилась охлаждаемым ФЭУ-136, сигнал с которого поступал в усилитель-дискриминатор с полосой пропускания до 100 МГц. Стандартизированные выходные импульсы подсчитывались и накапливались в МВА. МВА выполнен в стандарте КАМАК с использованием функциональных возможностей этой системы. Контроллер крейта КАМАК производил обмен информацией с микроЭВМ "Электроника-60", которая связана через последовательный интерфейс (RS-232) с персональной ЭВМ (ПЭВМ) типа РС XT. Применение двухуровневой системы ЭВМ позволило более рационально использовать ресурс ПЭВМ, а использование в регистрирующей части узлов с буферной памятью значительно повысило сохранность накопленной информации в случае сбоев в работе какого-либо устройства.

Оригинальные результаты, представленные в диссертации, изложены в двух последующих главах.

В третьей главе рассматриваются вопросы о наличии в СМС подвижных возбуждений и о влиянии размерности спин-волновой подсистемы на спектральные и кинетические свойства магнитных экситонов в кристаллах СМС.

Изучалось свечение широкой бесструктурной полосы с частотой максимума  $\nu_{e-ph} = 15870 \text{ см}^{-1}$ , являющейся фоновым спутником чисто экситонной линии  $\nu_e = 17064 \text{ см}^{-1}$  (оптический переход  ${}^4T_1 ({}^4G) \rightarrow {}^6A_{1g} ({}^6S)$  в ионах марганца) [3, 4].

Кинетики затухания свечения недопированных кристаллов СМС хорошо описывались моноэкспоненциальным законом  $I = I_0 \exp(-K_h t)$  во

всем исследованном температурном интервале 4.2 - 300 К, причем скорость затухания люминесценции  $K_h$  в пределах точности измерения (лучше 1%) была при фиксированной температуре одинаковой для различных участков спектра свечения кристалла.

Анализ спектров люминесценции кристаллов СМС, содержащих ионы меди (0.1 и 1 моль. %), показал отсутствие свечения ионов  $Cu^{2+}$  в видимой области, что является обычным для АФМ кристаллов с примесью ионов меди.

В данной работе представлены впервые зарегистрированные температурные зависимости интегральной интенсивности люминесценции чистых и допированных ионами  $Cu^{2+}$  кристаллов СМС в интервале температур  $6 < T < 290$  К. Как видно из Рис.1, эти зависимости имеют немонотонный характер. Обращает на себя внимание необычный рост интенсивности собственного свечения как недопированных, так и содержащих примесь (0.1% и 1%  $Cu^{2+}$ ) кристаллов СМС с увеличением температуры от 6 до 30 К. При дальнейшем росте температуры интенсивность свечения недопированных кристаллов не меняется вплоть до  $T \sim 150$  К, выше которой наблюдается спад интенсивности люминесценции с температурой. В кристаллах, содержащих ионы меди, этот спад начинается тем раньше, чем выше концентрация примеси (при  $T > 50$  К в случае 0.1%  $Cu^{2+}$  и при  $T > 40$  К для 1%  $Cu^{2+}$ ), и приводит к существенному тушению люминесценции.

Поглощение света исследуемыми кристаллами на длине волны возбуждения ( $\lambda = 337$  нм) в интервале температур 6 - 290 К менялось незначительно.

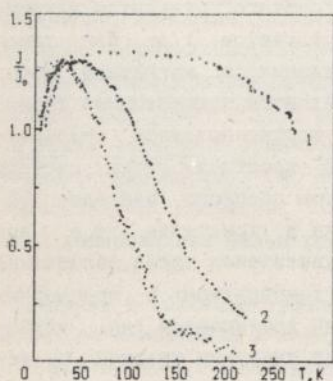


Рис. 1. Температурная зависимость интенсивности люминесценции чистых и примесных кристаллов СМС: 1 - чистые, 2 - 0.1% ионов  $Cu^{2+}$ , 3 - 1% ионов  $Cu^{2+}$ .

Ослабление экситонной люминесценции с температурой и его зависимость от концентрации примеси однозначно свидетельствует о наличии при  $T > 40$  К в кристаллах СМС подвижных возбуждений, захват которых на ловушки, порождаемые ионами  $\text{Cu}^{2+}$ , приводит к тушению люминесценции примесных кристаллов. Спад интенсивности свечения недопированного СМС при  $T > 150$  К может быть обусловлен либо захватом магнитных экситонов ловушками, связанными с неконтролируемыми примесями, содержащимися в кристаллах, либо возрастанием с температурой безизлучательных дезактивационных процессов.

При  $T < 40$  К электронное возбуждение в СМС локализовано. Это может быть обусловлено как сильным экситон-фононным взаимодействием (о чем свидетельствует наличие в спектре люминесценции СМС широкого бесструктурного экситон-фононного крыла), так и особенностями магнитной структуры кристалла. Сильная пространственная анизотропия параметров обменного взаимодействия в СМС приводит к тому, что АФМ упорядочение в цепочках ионов  $\text{Mn}^{2+}$  сохраняется в этом кристалле вплоть до температур  $T \sim 35$  К, много больших температуры потери дальнего магнитного порядка  $T_N = 4.89$  К [5,6]. Поэтому экситонный транспорт вдоль направления сильного обменного взаимодействия при  $T < 35$  К связан со значительным изменением проекции спина ( $\Delta m_s = 2$ ). В то же время передача энергии электронного возбуждения между цепочками маловероятна ввиду слабости обменного взаимодействия в этих направлениях.

С сохранением АФМ порядка в цепочках ионов марганца при  $T \gg T_N$  связан и рост интенсивности свечения СМС с температурой в интервале  $b < T < 30$  К, обусловленный включением дополнительного механизма люминесценции - трехчастичного "горячего" (экситон-магнон-фононного) процесса взаимодействия АФМ со светом [7]. При таком переходе релаксация оптического возбуждения в магнитном ионе, принадлежащем одной подрешетке, сопровождается уничтожением термоактивированного спинового возбуждения в противоположной подрешетке, благодаря чему изменение суммарной проекции спина системы равно нулю. Снятие запрета по спину в этом процессе наиболее эффективно при наличии строгого АФМ порядка в кристалле, т.е. при низких температурах; в то же время для увеличения чисел заполнения магнонных состояний требуется повышение температуры. В трехмерных АФМ высокая плотность магнонных состояний достигается лишь вблизи потолка магнонной зоны, поэтому заселение спиновых уровней происходит при температурах, близких к температуре потери магнитного

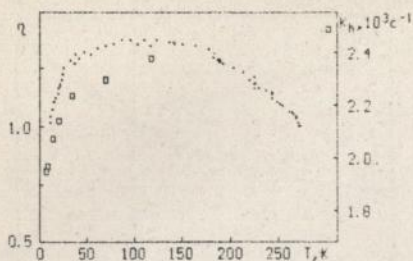


Рис. 2. Температурная зависимость относительного квантового выхода люминесценции (·) и скорости затухания свечения (□) чистых кристаллов СМС.

порядка в кристалле. В результате рост числа магновов и разрушение АФМ упорядочения развиваются в одном температурном диапазоне. Поскольку влияние этих двух факторов на эффективность "горячего" экситон-магنون-фононного механизма люминесценции противоположно, то весьма вероятно возможность их взаимной компенсации. Совершенно другая ситуация реализуется в квазиодномерных АФМ, для которых характерна высокая плотность магنونных состояний вблизи дна зоны, а АФМ порядок в ориентации спинов магнитных ионов в цепочках сохраняется при  $T \gg T_N$ . Термоактивация спиновых волн начинается в СМС при температуре, соответствующей энергии щели [8] ( $T \sim 2.4$  К), а запрет по спину при "горячем" экситон-магнотном процессе эффективно снимается вплоть до  $T \sim 35$  К.

На Рис. 2 представлена зависимость скорости затухания свечения  $K_h(t)$  в сравнении с температурной зависимостью относительного квантового выхода люминесценции  $\eta$  недопированных кристаллов СМС. Видно, что в температурном интервале 6 - 30 К рост скорости затухания свечения на 15 % не сопровождается спадом квантового выхода люминесценции, напротив,  $\eta$  увеличивается на 30 %. Это однозначно подтверждает справедливость предположения об эффективности в данной температурной области дополнительного излучательного механизма релаксации электронного возбуждения в ионах  $Mn^{2+}$ .

В главе четвертой приведены результаты исследования динамики экситонного транспорта в СМС на основе анализа впервые полученных экспериментальных временных зависимостей интенсивности свечения чистых и допированных медью кристаллов в широком интервале температур.

Введение в кристалл тушащей примеси (ионов  $Cu^{2+}$ ) приводит к значительным изменениям в кинетике экситонной люминесценции СМС. Характерные времена высвечивания сокращаются, а форма кривых кин-

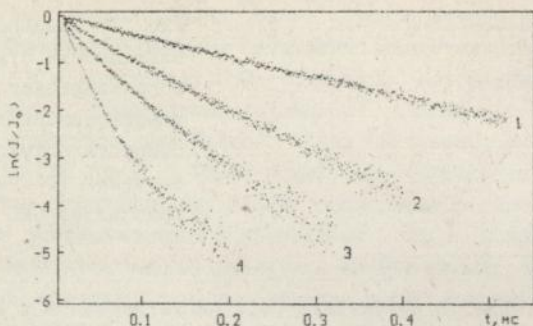


Рис. 3. Кинетики затухания свечения допированных кристаллов СМС (0.1 % ионов  $\text{Cu}^{2+}$ ): 1 -  $T = 89$  К, 2 -  $T = 150$  К, 3 -  $T = 179$  К, 4 -  $T = 237$  К.

тики затухания люминесценции отклоняется от описываемой моноэкспоненциальным законом тем сильнее, чем выше температура исследуемого образца - Рис. 3. Такое изменение формы кривой кинетики свидетельствует о том, что в СМС экситонный транспорт, приводящий к переносу энергии на ловушки возбуждения, имеет характер, близкий к одномерному [9]. Сильное экситон-фононное взаимодействие в СМС и высокие температуры, при которых наблюдается миграция энергии (десятки К), позволяют предположить, что движение экситонов осуществляется в данном кристалле в виде случайных прыжков по цепочкам ионов  $\text{Mn}^{2+}$  вдоль направления сильного обменного взаимодействия (ось  $a$  кристалла).

В главе приведены результаты аппроксимации экспериментальных кривых кинетики затухания люминесценции примесных кристаллов СМС расчетными зависимостями, полученными в рамках двух теоретических моделей, учитывающих одномерный прыжковый характер экситонного транспорта. Аппроксимации выполнены на персональном компьютере РС АТ. В качестве варьируемых параметров теоретических зависимостей  $I(t)$  выступали прыжковая скорость экситона  $W$  и скорость его захвата на ловушку  $U$ . Концентрация ловушек  $C_{tr}$  определялась экспериментально. Обе использовавшиеся теоретические модели - Онипко, Малышевой, Зозуленко [10] и Кенкре [11] были развиты для произвольной эффективности захвата (отношения скоростей  $U/W$ ). Расчетные

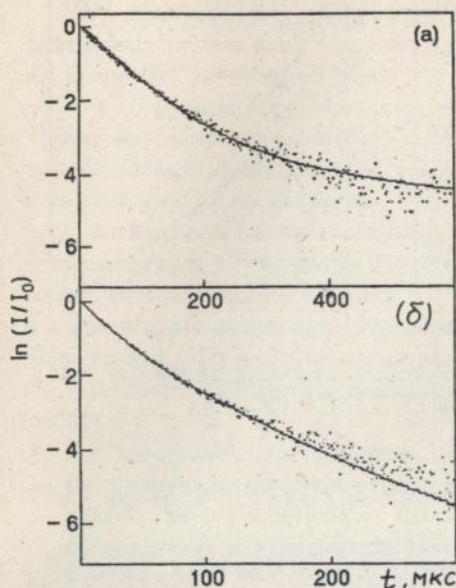


Рис. 4. Кинетики затухания люминесценции примесных кристаллов СМС, аппроксимированные теоретическими зависимостями: а) 1 % ионов  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $T = 159 \text{ K}$ , модель ОМЗ, б) 0.1 % ионов  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $T = 237 \text{ K}$ , модель Кенкре.

кривые, полученные с использованием этих моделей, хорошо описывали экспериментальные зависимости  $I(t)$  - Рис. 4. Из условия наилучшего совпадения экспериментальных и расчетных кривых кинетики затухания экситонной люминесценции были определены динамические параметры экситонного транспорта в СМС, т.е. величины  $W$  и  $U$  в области температур 77 - 237 К. Прыжковая скорость экситонов возрастала от  $W = 3 \cdot 10^7 \text{ c}^{-1}$  при  $T = 77 \text{ K}$  до  $W = 8 \cdot 10^{11} \text{ c}^{-1}$  при  $T = 237 \text{ K}$ , а скорость захвата - от  $U = 2 \cdot 10^5 \text{ c}^{-1}$  при  $T = 77 \text{ K}$  до  $U = 2 \cdot 10^7 \text{ c}^{-1}$  при  $T = 237 \text{ K}$ . Наблюдалось хорошее совпадение величин скоростей захвата, полученных в рамках разных моделей, кроме того, из обеих моделей вытекает заключение о неэффективности захвата экситонов ловушками, порождаемыми ионами  $\text{Cu}^{2+}$  ( $U/W \ll 1$ ).

Рост подвижности экситонов с температурой позволяет ввести представление об эффективном энергетическом барьере, преодолеваемом частицей при прыжке на соседний узел цепочки ионов  $\text{Mn}^{2+}$ , и аппроксимировать температурную зависимость прыжковой скорости законом Аррениуса  $W = W_0 \exp(-\Delta_w/kT)$ , где  $\Delta_w$  - энергия барьера (Рис. 5а). Значения  $\Delta_w$ , полученные для кристаллов с различным со-

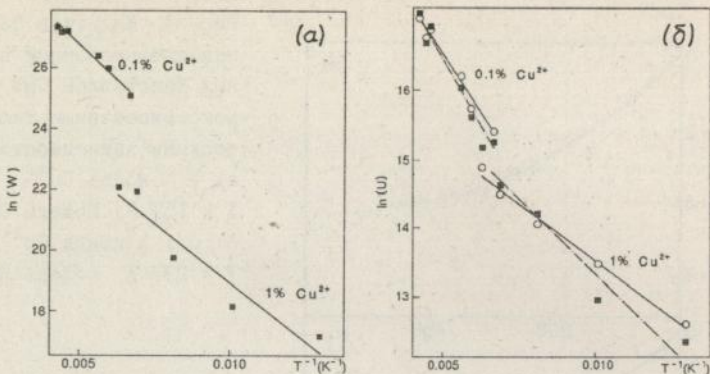


Рис. 5. Температурная зависимость скорости экситонов (а) и скорости их захвата ионами  $Cu^{2+}$  (б) в СМС.

○ - ОМЗ, ■ - Кенкре.

держанием ловушек, близки ( $\Delta_W \sim 660 \text{ см}^{-1}$  для 0.1 % ионов  $Cu^{2+}$  и  $\Delta_W \sim 550 \text{ см}^{-1}$  для 1%  $Cu^{2+}$ ).

При аппроксимации  $U(T)$  аналогичной зависимостью была определена энергия барьеров, которые приходится преодолевать экситонам при прыжке на ловушки, порождаемые ионами меди. Результаты аппроксимации приведены на Рис. 5б. Отличие между значениями  $W$  (и  $U$ ), определенными для кристаллов с разной концентрацией примеси при одной и той же температуре (см. Рис. 5), вероятно, связано с неточностями в нахождении концентрации ловушек. Замена отношения концентраций ловушек 1:10, использовавшегося в расчетах, на 1:6 позволяет устранить расхождение в значениях  $W$  (и  $U$ ), полученных для двух допированных кристаллов СМС с различным содержанием ионов меди.

В рамках обеих теоретических моделей значения  $\Delta_U \sim 250 \text{ см}^{-1}$ , полученные для области температур 77 - 159 К, оказались вдвое меньше, чем для интервала 150 - 237 К ( $\Delta_U \sim 530 \text{ см}^{-1}$ ), что может быть связано с дополнительным механизмом преодоления энергетического барьера между ионом  $Mn^{2+}$  и соседним узлом, являющимся ловушкой (например, туннелированием сквозь барьер).

В заключении изложены основные результаты и выводы работы:

1. В антиферромагнитном кристалле  $CsMnCl_3 \cdot 2H_2O$ , в котором электронное возбуждение считалось локализованным, обнаружен пере-

нос энергии экситонами, термоактивируемый при температуре  $T > 40$  К.

2. Показано, что захват подвижных возбуждений ловушками, порождаемыми ионами меди в примесных кристаллах  $\text{CsMnCl}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (0.1% и 1% ионов  $\text{Cu}^{2+}$ ), неэффективен.

3. Определены динамические параметры экситонного транспорта (прыжковая скорость экситона, скорость его захвата на ловушки, величины эффективных барьеров, преодолеваемых экситоном при прыжке на соседний узел и на ловушку).

4. Необычный рост квантового выхода люминесценции  $\text{CsMnCl}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  с температурой в диапазоне  $6 < T < 30$  К определяется вкладом дополнительного механизма свечения - "горячей" экситон-магнон-фононной люминесценцией кристалла. Эффективность данного процесса обусловлена низкой размерностью магнитной структуры  $\text{CsMnCl}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. А. Р. Казачков, В. А. Карачевцев, А. В. Пересада, В. В. Славин. Многоканальная система регистрации кинетики затухания люминесценции субмикросекундного диапазона. Флуоресцентные методы исследования и клинической диагностики, Вып. 4, Ч. 2, с. 1 (1992).
2. В. В. Еременко, В. А. Карачевцев, А. Р. Казачков, В. В. Славин. Квазиодномерные экситоны в антиферромагнетике  $\text{CsMnCl}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . ФНТ, т. 19, N 3, с. 344-347 (1993).
3. V. V. Eremenko, V. A. Karachevtsev, A. R. Kazachkov, V. V. Shapiro, V. V. Slavin. Unusual Behaviour of the Luminescence in Quasi-One-Dimensional Antiferromagnetic Crystal  $\text{CsMnCl}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  at Low Temperature. Sol. St. Commun. v. 87, No 11, p. 1027-1029 (1993).
4. V. V. Eremenko, V. A. Karachevtsev, A. R. Kazachkov, V. V. Shapiro, V. V. Slavin. Exciton Migration in Quasi-One-Dimensional Antiferromagnet  $\text{CsMnCl}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Phys. Rev. B, v. 49, p. 11799-11808 (1994).

#### Список цитированной литературы

1. R. A. Auerbach and G. L. McPherson. Emission dynamics from doped crystals of  $(\text{CH}_3)_4\text{NMnCl}_3$  (TMMC): Exciton trapping in a one-dimensional lattice. Phys. Rev. B., v. 33, p. 6815-6820 (1986).
2. R. Knochenmuss and H. U. Gudel. Exciton trapping in the one-dimensional antiferromagnet  $[(\text{CH}_3)_4\text{MnCl}_3]$ . J. Chem. Phys., v. 86, p. 1104-1110 (1987).

3. Брон Р. Я., Еременко В. В., Матюшкин Э. В. Локализация электронного возбуждения в квазиодномерном антиферромагнетике  $\text{CsMnCl}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . ФНТ, т. 5, N 6, с. 659-663 (1979).
4. Weiyi Jia, E. Strauss, and W. M. Yen. Pure exciton- and magnon-assisted optical transitions in the one-dimensional antiferromagnet  $\text{CsMnCl}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (CMC). Phys. Rev. B, v. 23, p. 6075-6084 (1981)
5. Scalyo J., Shirane G., Friedberg S. A., Kobayashi H. Neutron Scattering in the Linear Chain Antiferromagnet  $\text{CsMnCl}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Phys. Rev. B, v. 2, p. 1310-1317 (1970).
6. Андерс А. Г., Волоцкий С. В. Низкотемпературная спиновая динамика квазиодномерных систем. ФНТ, т. 13, N 5, с. 530-536 (1987).
7. Вердян А. И., Еременко В. В., Канер Н. Э., Литвиненко Ю. Г., Шапиро В. В. Механизмы экситон-магнонного поглощения света двухподрешеточным неколлинеарным антиферромагнетиком  $\text{CoCO}_3$ . ФНТ, т. 6, N 5, с. 644-655 (1980).
8. Андерс А. Г., Петутин А. И., Переверзев Ю. В., Звягин А. И. Температурная зависимость антиферромагнитного резонанса в квазиодномерном дуосном антиферромагнетике  $\text{CsMnCl}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . ФНТ, т. 5, N 6, с. 636-644 (1979).
9. G. H. Weiss, R. J. Rubin. Random Walks: Theory and Selected Applications. Adv. Chem. Phys. v. 52. p. 363-505 (1983).
10. A. I. Onipko, L. I. Malysheva, I. V. Zozulenko. Diffusive excitation energy migration in quasi-one-dimensional crystals with traps and in related systems. Chem. Phys. v. 121, p. 99-114, (1988).
11. V. M. Kenkre, in *Exciton Dynamics in Molecular Crystals and Aggregates*, ed. by G. Hogler (Springer, Berlin, 1982).

Ответственный за выпуск - кандидат физ.-мат. наук  
ЗИНОВЬЕВ П. В.

---

Подписано к печати 17.05.1994 г.,  
физ.п.л. 1, учет. изд. л. 1, заказ N 27, тираж 100 экз.

---

Ротапринт ФТИНТ АН Украины, 310164, Харьков-164, пр. Ленина, 47

457942

AB 30.414

**AB 30.414**