

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Космачева Олега Александровича «Спиновые нематики и сильноанизотропные магнетики», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Диссертационная работа О.А. Космачева посвящена теоретическому исследованию статических и динамических свойств изотропных и анизотропных негейзенберговских магнетиков с различным видом магнитной анизотропии.

В работе исследуется широкий спектр современных проблем физики магнетизма. Перечислю некоторые из них: это исследование устойчивости сверхтвердого магнитного состояния в фрустрированном изингоподобном антиферромагнетике со спином  $S=1$  и учетом большой одноионной анизотропии типа легкой плоскости во внешнем поле; изучение фазовых состояний и спектров элементарных возбуждений изотропного негейзенберговского магнетика с  $S=1$  при различных соотношениях обменных интегралов; исследование статических и динамических свойства магнетика со спином  $S=3/2$  и негейзенберговским изотропным взаимодействием с учетом всех спиновых инвариантов; изучение топологически устойчивых двумерных солитонов - вихрей для состояния спинового нематика. Выяснение возможностей практической реализации выдвигает широкий круг задач по исследованию магнитных свойств и нелинейных процессов в магнетиках с различным типом упорядочения.

Таким образом, тема диссертационного исследования является актуальной и напрямую связана с исследованием новых квантовых состояний в магнитоупорядоченных системах и может иметь серьезное практическое применение в элементах и устройствах хранения и передачи информации, квантовых вычислений,nano- и микроэлектроники и спинtronике.

Диссертация состоит из введения, пяти разделов, заключения и списка цитированной литературы.

**Во введении** обоснована актуальность исследуемой проблемы, сформулирована цель и задачи диссертационной работы, обозначены полученные в диссертации новые результаты, раскрыты научная и практическая значимость работы, описана структура диссертации.

**В первом разделе** изучается устойчивость фазовых состояний и спектры возбуждения фruстрированного антиферромагнетика со спином единица, в котором определяющую роль выполняет одноионная анизотропия типа легкой плоскости. Получено, что в такой системе «сверхтвердая» фаза, будет устойчива в продольном магнитном поле. Также исследуются фазовые переходы в зависимости от направления внешнего магнитного поля в изингоподобном антиферромагнетике.

**Второй раздел** посвящен исследованию роли квантовых эффектов простейшей модели анизотропного ферримагнетика и легкоплоскостного ферромагнетика со спином  $S=1$  при температуре отличной от нуля. Показано, что при описании анизотропных ферримагнетиков, в частности высокочастотных мод в таких системах, эффекты квантового сокращения спина могут быть существенны даже при относительно малых (порядка 5–10% от обменного интеграла) значениях константы одноионной анизотропии.

**В третьем разделе** изучаются фазовые состояния и спектры элементарных возбуждений изотропного негейзенберговского магнетика со спинами  $S=1$  и  $S=3/2$  с учетом всех спиновых инвариантов. Показывается, что в рассматриваемых системах при различных соотношениях обменных интегралов возможна реализация ферро- и антиферромагнитной фаз с насыщенным значением спина, и состояний с тензорными параметрами порядка – нематического и – ортонематического для магнетика с  $S=1$ , а для магнетика с  $S=3/2$  антинематического. Кроме того, для магнетиков со спином  $S=1$  и  $S=3/2$  обнаруживается несколько типов таких вихрей, с сингулярностью в центре и с несингулярным ядром, в котором разрушается нематический порядок.

**Четвертый раздел** посвящен изучению влияния анизотропии обменного взаимодействия на фазовые состояния негейзенберговского магнетика. Показы-

вается, что учет анизотропного биквадратичного обменного взаимодействия приводит к реализации угловых ферромагнитной и нематической фаз. В результате анализа динамических и статических свойств системы в случае реализации только тензорных фаз оказывается, что фазовые переходы по тензорному параметру порядка по характеру близки к ориентационным фазовым переходам, а фазовые переходы сопровождающиеся изменением модуля намагниченности могут быть как первого так и второго рода.

**В пятом разделе** исследуются фазовые состояния и их устойчивость относительно произвольных возбуждения для модели изотропного магнетика со спином  $S=2$  в приближении среднего поля с взаимодействием ближайших соседей на решетке, допускающей разбиение на две подрешетки. Показывается, что учет высших спиновых инвариантов является существенным, и приводит к возникновению магнитоупорядоченных состояний с более сложной структурой, нежели ферро- или антиферромагнитная.

**В Заключении** приведены результаты и основные положения сформулированные и представленные в диссертационном исследовании.

Остановимся на основных результатах исследования, представляющих, по мнению оппонента, наибольший интерес:

1. Исследовано поведение сильноанизотропного фruстрированного антиферромагнетика со спином единица, в котором возможно существование сверхтвердой магнитной фазы. Показано, что вместо сверхтвердой фазы в поперечном внешнем поле существует спин-флоп фаза. Доказана возможность существования в продольном магнитном поле сверхтвердой фазы.
2. Исследована роль квантовых эффектов в простейшей модели анизотропного ферримагнетика при ненулевой температуре. Показано, что относительно небольшое значение одноионной анизотропии, при температурах отличных от нуля приводит к заметному уменьшению среднего значения спина в узлах решеток. Также показано, что эффект квантового сокращения спина оказывает существенное влияние не только на статические, но и динамические свойства ферримагнетика.

3. Исследованы статические и динамические свойства магнетика со спином  $S=3/2$  и негейзенберговским изотропным взаимодействием с учетом всех возможных обменных интегралов. Показано, что для магнетиков со спинами  $S=1$  и  $S=3/2$ , в которых реализуется состояние спинового нематика, существуют двумерные топологические солитоны – вихри. Обнаружены несколько типов таких вихрей, с сингулярностью в центре и с несингулярным ядром, в котором разрушен нематический порядок. Ядро характеризуется восстановлением магнитного порядка, который может быть ферромагнитным или антиферромагнитным.

4. Впервые исследована модель негейзенберговского ферромагнетика со сложной анизотропией обменных взаимодействий. Учет анизотропных обменных взаимодействий приводит к снятию вырождения по направлению вектора магнитного момента в ферромагнитной фазе и вектора-директора в нематическом состоянии. Показано, что учет анизотропного биквадратичного обменного взаимодействия более сложного вида приводит к реализации угловых ферромагнитной и нематической фаз.

5. Проведен полный анализ фазовых состояний и спектров элементарных возбуждений негейзенберговского изотропного магнетика с значением спина  $S=2$ . Этот анализ позволяет утверждать, что учет высших спиновых инвариантов является существенным, и приводит к возникновению магнитоупорядоченных состояний с более сложной структурой, нежели ферро- или антиферромагнитная.

При прочтении диссертации возникли следующие вопросы и замечания:

1. Если названия и обозначения некоторых фазовых состояний исследованных например в разделах 4 и 5 можно принять, то внедрение сленговых терминов: «вырожденный» фазовый переход, «дипольный» параметр порядка, «псевдоспин» и т.п. отвлекает от понимания работы. В сущности, понятно, что хотел сказать автор, но все же подобного стиля следует избегать.

2. На стр. 137 диссертации в разделе 3 при анализе нулевого гамильтониона изотропного негейзенберговского магнетика со спином магнитного иона  $3/2$

не очевиден анализ симметрии системы (хотя автор утверждает, что это «..может быть проверено непосредственно»).

3. Хотя в результатах пятого раздела сказано, что «..проведен полный анализ фазовых состояний и спектров элементарных возбуждений негейзенберговского изотропного магнетика с значением спина  $S=2\dots$ », к сожалению не удалось обнаружить анализ спектров в двухподрешеточных структурах с неэквивалентными подрешетками – т.н. LS фазах.

4. Во втором и четвертом разделах при исследовании динамических свойств систем при отличных от нуля температурах используется формализм квазичастиц – магнонов. Это вполне оправдано для низких температур. При отличных от нуля температурах возможно надо учитывать рассеяния магнонов на магнонах и т.п.

5. Ну и наконец, еще одно замечание. В работе присутствуют опечатки и грамматические ошибки, что несколько снижает впечатление от проделанной автором работы. Этот недостаток, вообще-то, можно понять учитывая этот огромный объем как самой диссертации, так и выполненной работы.

Сделанные замечания не носят принципиального характера и ни относятся к основным результатам диссертационной работы и не влияют на общую положительную оценку диссертации как вполне законченной и актуальной.

Результаты рассматриваемой работы можно рекомендовать к использованию в организациях, занимающихся исследованием и применением магнитных материалов, в частности, ЧелГУ, ПО “Феррит”, ИОФ РАН, ИФП РАН, МГУ, ИФМ УрО РАН и др.

Представленные материалы отражены в публикациях, прошли апробацию на многочисленных конференциях, симпозиумах и семинарах. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Таким образом, диссертационная работа Космачева О.А. «Спиновые немагнитики и сильноанизотропные магнетики», является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифициро-

вать как научное достижение в области физики конденсированного состояния, связанной с исследованием статических и динамических свойств изотропных и анизотропных негейзенберговских магнетиков с различным видом магнитной анизотропии. Сформулированные автором диссертации положения хорошо аргументированы и оценены по сравнению с другими известными решениями. Диссертация обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, свидетельствующие о личном вкладе автора диссертации в физику конденсированного состояния. Результаты диссертации достаточно полно опубликованы в рецензируемых научных изданиях - автором опубликовано 20 статей в журналах, рекомендованных ВАК РФ для публикации материалов диссертационных работ. Диссертация соответствует всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» к докторской диссертации, а ее автор Космачев Олег Александрович заслуживает присуждения ученоей степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент:

Проректор по научной работе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Челябинский государственный университет», доктор физико-математических наук, профессор

Бычков Игорь Валерьевич



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Челябинский государственный университет»

454001, УрФО, Челябинская обл., г.Челябинск, ул. Братьев Кашириных, д.129

Телефон: +7 (351) 799-71-04

Адрес электронной почты: [bychkov@csu.ru](mailto:bychkov@csu.ru)



*подпись подтверждена*