

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертационную работу **Филиппа Николаевича Клевца**
«ФАЗОВЫЕ СОСТОЯНИЯ И СПЕКТРЫ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ
ВОЗБУЖДЕНИЙ В ДВУХ - И ТРЕХМЕРНЫХ ГЕЙЗЕНБЕРГОВСКИХ И
НЕГЕЙЗЕНБЕРГОВСКИХ АНИЗОТРОПНЫХ МАГНЕТИКАХ»,
представленной на соискание научной степени доктора физико-математических
наук по специальности 01.04.11 “Магнетизм”

При оценке диссертационной работы основными критериями являются наличие актуальности, практической важности и новизны результатов, выносимых на защиту. Начну с обсуждения работы в целом. Работа Ф. Н. Клевца содержит анализ ряда конкретных и актуальных проблем физики магнетизма, прежде всего, исследование фазовых состояний и спектров элементарных возмущений в магнитных материалах, массивных образцах, тонких пленках и микрочастицах. Анализ этих вопросов важен для практики, для описания реальных магнитных материалов, с применением которых связывают создание нового поколения систем записи и обработки информации.

Я приведу обсуждение основных конкретных результатов ниже, а сейчас отмечу специфику работы Ф. Н. Клевца. В принципе, указанные выше проблемы являются традиционными для физики магнетизма. Однако в данной работе есть существенный элемент новизны: практически во всей работе (за исключением раздела 2.2) автор исследует негейзенберговские магнетики со спином $S > 1/2$ и с сильной одноионной анизотропией и/или биквадратичным обменным взаимодействием. В таких материалах (их называют иногда, несколько условно, квантовыми магнетиками) квантовые флуктуации не малы и приводят к существенным отклонениям от стандартной картины магнитного упорядочения, для которой характерно постоянство длин магнитных моментов подрешеток. Наиболее известны примеры Халдейновского состояния в одномерном (1Д) антиферромагнетике со спином единица или эффектов квантового сокращения спина, приводящего к существованию так называемых квантовых нематических фаз. Симметрия этих фаз связана с ненулевыми вакуумными средними от билинейных комбинаций компонент спинов. По существу, в таких материалах спин представляет собой немагнитный асимметричный объект (квадрупольный эллипсоид). В последние годы интерес к таким системам вырос в связи с обнаружением подобных состояний в бозе-эйнштейновских конденсатах нейтральных атомов. Для таких материалов как статические, так особенно динамические свойства иные, чем для стандартных магнетиков. Особенно это важно для впервые рассмотренных в работе случаев низкой симметрии, например, при наличии наклонной анизотропии, а также при рассмотрении негейзенберговских фрустрированных систем. Автор продемонстрировал важность учета магнитоупругого взаимодействия, которое может стабилизировать «нестандартный» дальний порядок в низкоразмерных квантовых магнетиках.

Еще одной положительной особенностью диссертации является то, что автор не «склеивает» текст из работ, как это нередко бывает, а пишет каждый раздел как

отдельный обобщающий текст. С этим, возможно, связана некая «игривость» изложения и несколько вольное обращение с пунктуацией. Замечу, что явно чувствуется преподавательский опыт диссертанта, в целом работа хорошо оформлена.

Практическая ценность работы определяется тем, что исследуемые модели применимы для описания высокоанизотропных магнитных материалов, прежде всего сплава $\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x$, магнетиков с редкоземельными ионами и актинидами, в частности, интересного материала $\text{U}_2\text{Co}_{15}\text{Si}_2$, а также искусственных материалов типа моноатомных слоев и сверхрешеток, содержащих такие ионы. Результаты часто доведены до сравнения с экспериментом.

Диссертация состоит из хорошо написанного введения, пяти глав, содержащих оригинальные результаты автора, и заключения. Перейдем к более конкретному обсуждению результатов работы, вынесенных на защиту. В первой главе работы проведен большой объем расчетов состояний тонких пленок магнетиков при наличии оси анизотропии, наклоненной к плоскости пленки. Наличие наклона является достаточно общим свойством многих магнитных систем, достаточно вспомнить ЦМД – материалы. В порядке замечания отмечу, что использование термина «анизотропия ... в плоскости, перпендикулярной плоскости пленки» не очень уместно, так как тут симметрия задачи не ниже моноклинной, и наличие такой плоскости очевидно.

Вторая глава посвящена анализу конкретных материалов, а именно, сплава $\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x$, редкоземельного $\text{Dy}_{1-x}\text{Tb}_x\text{Fe}$ и актинидного $\text{U}_2\text{Co}_{15}\text{Si}_2$ магнетиков. Анализ проводится по схеме, соединяющей феноменологический и микроскопический подходы. Значения параметров выбираются так, чтобы экстраполировать экспериментальные данные для параметров (температурные зависимости констант анизотропии), а затем проводится полный анализ микроскопической модели. Это позволяет уточнить характер фазовых переходов, проследить особенности тонкопленочного состояния и сделать ряд других предсказаний, полезных для практики. Замечания: 1) на с. 68 приведены (со ссылкой на [147]) странные данные для эффективных полей, выписанные с точностью до 6-ти знаков – это явное превышение точности; 2) в гамильтониане (2.2) надо пояснить смысл индексов, по которым идет суммирование.

В третьей главе рассмотрена достаточно реалистичная модель фазовых переходов в двумерных сверхтонких магнитных пленках, в которых есть оба источника негейзенберговского поведения, а именно, и одноионная анизотропия, и биквадратичный обмен, с учетом магнитострикции. В рамках этой модели показано, что фазовые переходы из перпендикулярной в планарную фазу пленки при учете магнитоупругого взаимодействия происходят через угловую фазу, но при этом являются переходами первого рода. Для трехмерного магнетика влияние магнитострикции менее существенно, и не меняет род перехода. Оценки температурного интервала существования угловой фазы, проведенные в рамках предложенной модели, хорошо согласуются с известными экспериментальными данными, что еще раз подтверждает достоверность результатов диссертации.

В четвертой главе решена общая задача о существовании неоднородных состояний различного типа (фрустраций, которые могут приводить к обменным спиралям; и дипольного взаимодействия, которое дает домены) при учете эффектов сокращения спина. Замечание: обе введенные автором фазы KU_1 и KU_2 с точки зрения состояния спина эквивалентны и отличаются только направлением «нематической» оси для спинового состояния.

Мне понравился материал пятой главы, в которой обнаружены новые типы «модных» сейчас состояний, названных по аналогии со случаем кристаллического гелия «сверхтвердыми» (supersolid) фазами в магнетиках. Надо отметить, что такая аналогия, хоть и кажется на первый взгляд поверхностной, имеет достаточно глубокий физический смысл (как и обсуждаемая ранее А. М. Косевичем и Э. Б. Сониным аналогия сверхтекучей жидкости и легкоплоскостного ферромагнетика в модели с симметрией C_∞). Здесь также интересно появление «квазиферритового состояния» с неэквивалентными намагниченностями подрешеток в случае чистого антиферромагнетика, см. с. 242. Здесь не помешало бы более четкое обсуждение полученных результатов, как по «сверхтвердому» состоянию, так и в стандартных случаях (например, на стр. 236 после (5.12) фазу надо назвать не ферромагнитной, а парамагнитной.

Перечисленные выше, а также другие результаты, составляющие основу диссертационной работы, принципиально *новы, актуальны* и вносят *существенный вклад* в физику магнетиков. Автореферат правильно и достаточно полно отражает содержание работы и результаты, выносимые на защиту. Представленные в диссертации результаты и выводы в полной мере отображены в публикациях автора. Результаты диссертационной работы Ф.Н. Клевца опубликованы в хороших научных изданиях, неоднократно докладывались на престижных научных конференциях. Все исследования проведены на высоком уровне, что, несомненно, демонстрирует высокую квалификацию соискателя.

У меня нет сомнений в том, что диссертационная работа «Фазовые состояния и спектры элементарных возбуждений в двух - и трехмерных гейзенберговских и негейзенберговских анизотропных магнетиках» представляет собой законченное исследование, удовлетворяющее всем требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, **Филипп Николаевич Клевц**, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.11 - магнетизм.

Член-корреспондент НАН Украины,
Зав. лаб. Института магнетизма НАН Украины,
доктор физ.- мат. наук, профессор



Б. А. Иванов

Подпись Б.А.Иванова заверяю:
Ученый секретарь
Института магнетизма НАН Украины,
кандидат физ.- мат. наук




А. О. Хребтов