

## ОТЗЫВ

члена диссертационного совета Уздина Валерия Моисеевича на диссертацию Тимофеева Виктора Евгеньевича на тему: «Динамика скирмионных кристаллов в подходе стереографической проекции», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 Теоретическая физика.

Магнитные скирмионы представляют собой локализованные неколлинеарные структуры, устойчивость которых связывают с топологической защитой и существованием нетривиального топологического заряда, который невозможно изменить путем непрерывного изменения намагниченности. Скирмионы и другие топологические системы, благодаря малым размерам, возможности быстрого перемещения под воздействием малых токов служат перспективными кандидатами на создание элементов сверхплотной, быстрой и энергоэффективной беговой магнитной памяти. Наряду с уединенными скирмионами большой интерес для спинтроники представляет их коллективное поведение и нелинейный отклик на внешние воздействия. С этой точки зрения диссертация В. Е. Тимофеева, посвященная теоретическому исследованию взаимодействия скирмионных состояний, динамических свойств скирмионных кристаллов, спектру их коллективных возбуждений и проявлению этих свойств в экспериментах по нейтронному рассеянию, *актуальна*, как для фундаментальной теории магнетизма, так и возможных технологических приложений. В работе на основе формализма стереографической проекции рассмотрен широкий класс вопросов начиная от профиля равновесных уединенных скирмионов, их парных и тройных взаимодействий до коллективных свойств скирмионных кристаллов. Хотя эти вопросы обсуждаются в научном сообществе очень активно, изложенный в диссертации подход оригинален, а полученные результаты являются *новыми* и открывают целый ряд новых интересных аспектов изучаемых явлений. Полученные теоретические результаты могут быть использованы при интерпретации эксперимента, что говорит о *практической ценности* проведенных исследований.

Диссертация состоит из введения, двух глав, заключения и списка литературы из 76 наименований. В первой главе предложен оригинальный анзац для уединенного скирмиона в модели, включающей наряду с симметричным обменным взаимодействием взаимодействие Дзялошинского-Мории и внешнее магнитное поле. Используется стереографическая проекция. Далее система из нескольких скирмионов и скирмионные решетки представляются как сумма стереографических образов отдельных скирмионов. Полученная пробная функция для скирмионной решетки имеет простой вид и содержит всего два параметра, определяющих масштаб отдельного скирмиона и расстояние между скирмионами в решетке. На основе оценки энергии с использованием пробной функции для кластера, состоящего из двух и трех скирмионов автор анализирует парные и тройные взаимодействия, утверждая, что они имеют разный знак, но один порядок. Эти выводы, однако, требовали бы более аккуратного анализа и проверки на основе аккуратных численных расчетов в рамках микромагнитной или решеточной модели без приближений, возникающих при использовании анзаца. Здесь можно отметить, что скирмионы могут быть локально устойчивы в решеточной модели и без антисимметричного обмена при наличии конкурирующих симметричных обменных взаимодействий между разными соседями. В этом случае эффектив-

