

## ОТЗЫВ

На автореферат диссертации Яковлева Ильи Александровича  
«Фазовая характеристика коррелированных систем с топологически-защищенными  
магнитными структурами при помощи методов машинного обучения и теории  
структурной сложности»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по  
специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

В работе Яковлева И.А. исследуются методы машинного обучения в применении к переходам в фрустрированных магнитных системах. Автор использует уникальный подход, основанный на нейронных сетях, и собственно разработанный программный комплекс для классификации магнитных конфигураций модели с обменов Гейзенберга и Дзялошинского-Мории, полученных методом Монте-Карло. Более того, в работе Яковлева И.А. предложена новая методика теории структурной сложности, которая также позволяет качественно и количественно определять структуру и границу различных фаз.

Так как в модели с обменов Гейзенберга и Дзялошинского-Мории реализуются различные топологически устойчивые магнитные конфигурации (например, скирмионы), которые могут быть использованы для ячеек магнитной памяти и цифровых вычислений, то вопрос корректной характеристики магнитной фазы является чрезвычайно актуальным. Поэтому работа Яковлева И.А. представляет значительный научный интерес. Это подтверждается тем, что результаты диссертации были опубликованы в пяти статьях в высокорейтинговых журналах. Также хочу отметить, что в трех из них автор диссертации является первым автором, что подчеркивает величину его вклада в полученные результаты.

При этом при чтении автореферата у меня появилось несколько замечаний, которые я хотел бы предложить автору учесть.

(1) В разделах “Актуальность темы исследования” и “Степень разработанности темы исследования” приводится достаточно содержательное описание темы топологически устойчивых конфигураций и методов машинного обучения для обоснования тематики диссертации. При этом мне показалось, что некоторые утверждения не обоснованы соответствующими ссылками. Приведу примеры:

“Было теоретически предсказано, что оно должно приводить к формированию протяженных спиральных магнитных структур в материалах без инверсионной симметрии.” [?]

“Позднее данные структуры были экспериментально обнаружены в металлических соединениях  $MnSi$  и  $FeGe$ , а также твердых растворах  $Fe_{1-x}Co_xSi$ .” [?]

“Однако в ряде работ было показано, что анализ полной фазовой диаграммы рассматриваемых систем, включая переходные области, тоже имеет практический интерес ввиду формирования смешанных состояний скирмион-ферромагнетик, комбинации скирмионов и спиновых спиралей, а также магнитных структур нового типа – бимеронов.” [?]

“Для того чтобы справиться с этой проблемой можно использовать алгоритмы машинного обучения, отлично зарекомендовавшие себя в задачах классификации данных.” [?]

“Недавние работы показывают, что они вполне могут прочно закрепиться в обиходе ученых в качестве инструмента для точного определения фазовых состояний и оценки параметров микроскопических моделей.” [?]

(2) Автор подробно описывает, как можно получить фазовую диаграмму, используя нейронную сеть. Мне было не очень понятно, было ли проведено сравнение с наблюдаемыми из расчетов Монте-Карло. Например, что показала магнитная восприимчивость (или ее производные)?

(3) Опечатка на странице 7: "...уравнение Ландау-Ливфшица-Гильберта...".

Несмотря на приведенные выше замечания, диссертация «Фазовая характеристика коррелированных систем с топологически-защищенными магнитными структурами при помощи методов машинного обучения и теории структурной сложности» представляет собой законченное научное исследование, соответствует п. 5 паспорта специальности 1.3.8 Физика конденсированного состояния и удовлетворяет требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, а ее автор, Яковлев Илья Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

**Рецензент:**

Максимов Павел Александрович, к.ф.-м.н.

Старший научный сотрудник научного отдела теории конденсированных сред

Сектор №1 теории твердого тела

Лаборатория теоретической физики им. Н.Н.Боголюбова

Международная межправительственная научно-исследовательская организация

Объединенный институт ядерных исследований,

ул. Жолио-Кюри, 6

г. Дубна, Московская обл., Россия, 141980

e-mail: maksimov@theor.jinr.ru

07.05.24

Подпись сотрудника ЛТФ Максимова П.А.  
Заведующий Ученым секретариатом ЛТФ ОИЯИ Андрей А.К.

