

Отзыв Д.С. Любшина на бакалаврскую работу В.С. Архипкина

Наиболее сильной стороной работы является актуальность темы. Качественная картина спин-стекольной фазы (возникновение бесконечно высоких барьеров свободной энергии при каждом понижении температуры и иерархическая структура состояний) стала общим местом почти для всех физиков, но при этом она скорее носит характер “привычки, возникшей от частого повторения”, а не прямого результата с проверяемым выводом. Решение модели Шеррингтона–Киркпатрика в формализме Паризи, например, у многих вызывает вопросов больше, чем дает ответов.

В свете этого статья Фейгельмана и Иоффе 1983 года, развитию идей которой посвящена данная работа, достигает на первый взгляд удивительного: физика конечномерной спиновой системы с реалистичным гамильтонианом, замороженным беспорядком и фрустрациями сводится к изучению статистики одномерного скалярного поля в простой и наглядной модели (фактически – мультипликативной накачки локализованным импульсом плюс диффузии на окружности). Причем воспроизводится не только свободная энергия, но и вся низкоуровневая картина, вплоть до возможности восстанавливать ориентацию каждого спина в каждом метастабильном состоянии.

Если бы все шаги редукции удалось изложить в легко проверяемом виде, а финальную модель исследовать достаточно полно, этот сюжет мог бы претендовать на место в стандартных учебниках. Практика показывает, однако, что избавиться от слов “если бы” – не совсем тривиальная задача.

Дипломная работа состоит из двух независимых частей. В первой численно исследуется статистика числа минимумов свободной энергии и наличие ультраметричности; во второй части аналитически выводится эффективный гамильтониан в квантовой модели с дополнительным слабым поперечным магнитным полем.

Результаты численной части можно в лучшем случае описать как “произведена примерка инструментов”. То, что составляет собственно численную работу – оптимизация параметров (T, γ, N) для получения максимально информативных результатов, сбор хорошей статистики, извлечение из полученных данных доказуемых оценок на параметры – пока просто не сделано. В ситуации, когда число минимумов в системе из $N = 4000$ узлов меняется в диапазоне от 3 до 12, вывод “асимптотический режим не достигнут” заметно более реалистичен, чем “имеются области высоких и низких температур, разделенные точкой перехода, причем в каждой области свой показатель степени, который мы приводим с тремя знаками”.

К счастью, никаких непреодолимых препятствий для качественного счета (нагромождения соотношений $N \gg T \gg \gamma \gg \dots$, неприемлемой сложности шага по $\Omega(N^2)$ и т.п.) примерка не выявила. Необходимость неограниченной точности мантииссы (т.е. недостаточность хранения $\log |\Psi|$ в стандартном типе) выглядит сомнительно.

В части про ультраметричность желательно проверить, как малые разности перекрытий коррелируют с величиной самих перекрытий (например, не оказывается ли, что малость разности часто связана просто с близостью всех трех перекрытий к единице). Возможность полагать $\varphi_i = const$, если она уже достаточна для нужных результатов, может позволить получить статистику перекрытий и теоретически. Пока простота механизма выглядит магически и несколько подозрительно – тем сильнее будет результат, если его удастся обосновать.

Возможно, полезным было бы включить прямой (теоретический) скейлинговый анализ трансфер-матричной модели (2.3), не апеллирующий к индексам $-1/3$ и $2/3$, полученным в статье на более абстрактном уровне. Это позволило бы численно проконтролировать не только результат, но и определяющие его процессы по отдельности.

Хотелось бы порекомендовать автору ознакомиться с современными стандартами численного счета по научной периодике и без особой спешки воспроизвести их в своей работе.

Аналитическая часть, посвященная квантовой модели, оставляет заметно лучшее впечатление. В представленной для рецензирования версии изрядных усилий требовало осмысление финального результата – в частности, наличие отрицательно определенных слагаемых в кинетической энергии, – но связанные с этим комментарии потеряли актуальность после самостоятельного и независимого исправления формулы автором (в день защиты).

Общая методология в этой части не вызывает возражений. Ясно, что эффективный гамильтониан не является самостоятельной целью; насколько сильные результаты удастся получить с его помощью, будет понятнее в дальнейшем.

В целом хотелось бы охарактеризовать работу как безусловно интересную “work in progress”, которую дата защиты застала в не самое удачное время. Уже набранная инерция, однако, позволяет сделать оптимистичный прогноз о финальной точке траектории.