

УДК 535.015

ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ В МОДЕЛИ ДИКЕ-ИЗИНГА ДЛЯ КОМПЛЕКСНЫХ СЕТЕВЫХ СТРУКТУР, ОПИСЫВАЮЩИХ РАСПРЕДЕЛЕННОЕ СПИН-СПИНОВОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ

Баженов А.Ю. (федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»)

Научный руководитель – д. ф.-м. н, Алоджанц А.П.

(федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»)

В работе исследуется проблема сверхизлучательного (СИ) и/или ферромагнитного (ФМ) - парамагнитного (ФМ) фазовых переходов в квантовых материалах, представляющих собой спиновую систему с распределенным спин-спиновым взаимодействием. Квантовый материал описывается в рамках модели Дике-Изинга для комплексных сетевых структур. Сеть представляет собой ансамбль N спинов $1/2$ взаимодействующих с внешними классическим (магнитным) и квантованным (поперечным) полями.

Введение. В наши дни квантовые и особенно сверхпроводящие материалы представляют собой один из самых многообещающих инструментов для элементной базы квантовых вычислений. Сверхпроводниковые схемы здесь демонстрируют различные особенности, включая сверхизлучательные фазовые переходы (ФП). Примечательно, что поперечная модель Изинга лежит в основе современных квантовых технологий и алгоритмов квантового отжига. В данной работе рассматривается влияние нетривиальной топологии в квантованной поперечной модели Изинга на ее критические свойства. В частности, будет затронута тема, касающаяся материалов, обладающих структурой безмасштабных сетей. Важно, что такие сети предполагают высокотемпературные ферромагнитные -парамагнитные ФП или фазовые переходы сверхпроводник-изолятор, которые могут возникать в высокотемпературных сверхпроводниках. Спиновые системы, в данной работе, представляются как двухуровневые искусственные атомы, которые взаимодействуют с квантованным полем в рамках модели Дике. Квантованное поле отвечает за сверхизлучательный фазовый переход второго рода, который устанавливает некоторую (ненулевую) спонтанную поляризацию. Примечательно, что проблема фазовых переходов в модели Дике-Изинга для комплексных сетей до сих пор не изучена. В рамках данной работы проведены комплексные исследования роли конкретных сетевых характеристик, таких как как степень узла, показатель степени для безмасштабных сетей и степень корреляции на формирование СИ ФП.

Основная часть. В работе рассматривается модель квантового материала, обладающего структурой безмасштабной сети. Эта сеть состоит из ансамбля N спинов $1/2$, которые случайным образом занимают N узлов сети. Рассматривается ассортативная, неассортативная и дисассортативная безмасштабные сети в виде графа с нетривиальными (специфическими) топологическими свойствами, который предполагает степенное распределение степени узлов и наличием корреляций между ними. В частности, сеть является ассортативной, если узлы с высокой (низкой) степенью связаны в среднем с другими узлами с высокой (низкой) степенью, соответственно. В противном случае, когда узлы высокой степени связаны с узлами низкой степени, сеть является дисассортативной. Предполагается, что спины, расположенные в узлах графа, взаимодействуют с классическим (локальным) магнитным и квантованным (поперечным) полями, которое вызывает возбуждение двухуровневой системы в том же направлении. Для описания ФМ-ПМ и СИ фазовых переходов вводится три параметра порядка: полная (топологически) взвешенная, а также невзвешенная компоненты z-спина и нормированная амплитуда поперечного поля, которые соответствуют спонтанной намагниченности в направлениях z и x соответственно. В

работе показано, что СИ состояние происходит в результате конкуренции упорядочения спинов в направлениях z и x и зависит от ассортативности или дисассортативности сетевой среды.

Выводы. Разработана статистическая модель Дике-Изинга учитывающая корреляцию степени узлов, в которой спины взаимодействуют между собой, а также с внешними классическим (магнитным) и квантованным (поперечным) полями; при определенных флуктуации степени вершин в системе возникают фазовые переходы по типу «парамагнетик - ферромагнетик», а также «нормальное-сверхизлучательное» состояния. Показано, что в условиях сильных флуктуаций для степеней вершин топологические особенности комплексных сетевых структур (кластеры, хабы) поддерживают сильное локальное узловое взаимодействие между спинами, что приводит к формированию упорядоченного ферромагнитного (нормального) состояния, даже в отсутствие внешнего магнитного поля. Показано, что нетривиальное топологическое поведение, связанное с большими колебаниями сетевых параметров присущие ассортативным сетям, снижают температуру ПМ-ФМ фазового перехода, в то время как дисассортативные сети демонстрируют высокотемпературные фазовые переходы. Выводы данной работы предоставляют новые возможности для дизайна квантовых материалов, которые могут быть реализованы на основе современных квантовых технологий, работающих при относительно высоких температурах.

Баженов А.Ю. (автор)

Подпись

Алоджанц А.П. (научный руководитель)

Подпись