УДК 538.97

ЛАЗЕРОПОДОБНЫЕ ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ В МИКРОСТРУКТУРАХ СО СЛОЖНОЙ ТОПОЛОГИЕЙ СЕТИ

Никитина М.М.[1]

Научный руководитель – д.ф-м.н. Алоджанц А.П.[1]

[1]Университет ИТМО, Институт перспективных систем передачи данных

Введение. В последние годы благодаря быстро развивающимся квантовым технологиям, всё чаще возрастает интерес к исследованию фазовых переходов (ФП) в сложных структурах, а также к влиянию нелинейных эффектов на их протекание. Нелинейность, как правило, даже во взаимодействующем газе частиц достаточно мала. Однако, как это будет показано в данной работе, если частицы топологически «скомпоновать» определенным образом, такая нелинейность может играть весьма существенную роль. Такие нелинейные системы реализуются с помощью графовых структур, в которой каждая частица занимает отдельный узел сети. Это описывается в рамках модели Изинга, которая давно зарекомендовала себя для изучения ФП в нелинейных системах [1]. Wель данной работы состоит в исследовании ФП в модели Изинга определенной на сети, подчиняющейся степенному распределению степеней узлов.

Основная часть. В работе рассматривается спиновая система, взаимодействующая с внешним магнитным полем. Каждый спин системы случайным образом занимает N узлов комплексной сети, которая представляется в виде графа со степенным распределением степеней узлов. Эффекты взаимодействия описываются моделью Изинга, представляющей собой набор спинов, взаимодействующих как между собой благодаря ферромагнитному обмену, так и с внешним магнитным полем [2]. Особенности нелинейного взаимодействия спинов обеспечивается топологией сетевой архитектуры. Данная модель демонстрирует ФП второго рода от упорядоченного (ферромагнитного) состояния к разупорядоченному (парамагнитному) при условии выполнения нормализованной функцией корреляции степени неравенства относительно её критического значения, что показывает влияние конечного размера сети на ФП [3]. В работе используется приближение среднего поля, предполагающее, что на каждый спин воздействует среднее поле со стороны других спинов. Основной акцент сделан на уточнении приближения среднего поля, рассматривая более высокие моменты распределения сетевой структуры, и на изучение влияния топологических свойств сетевой архитектуры на ФП.

Выводы. Изучены особенности формирования сетевой структуры со степенным распределением степеней узлов используя адаптированный алгоритм Барабаши-Альберт [4, 10-12]. На основе приближения среднего поля для модели Изинга определенной на графовых структурах, получено уравнение на параметр порядка системы, определяющего взвешенную среднюю спиновую компоненту [13]. Данное выражение позволяет установить условие ФП от ферромагнитного состояния к парамагнитному. Выявлены критические значения температур фазового перехода при наличии и в отсутствие внешнего поля. Полученные уравнения устанавливают четкую связь между температурой системы и статистическими свойствами сети. Выяснены физические условия отображения рассмотренной модели Изинга на модель лазера, демонстрирующую неравновесный ФП. Данное исследование представляет большой интерес для квантовой физики, теории информации и лазерной физики, поскольку открывает новые возможности использования макроскопических квантовых состояний вещества для разработки новых материалов, а также для разработки новых алгоритмов передачи информации [4-9].

Список использованных источников:

1. Mbeng G. B., Russomanno A., Santoro G. E. The quantum Ising chain for beginners //arXiv preprint arXiv:2009.09208. – 2020.
2. De Gennes P. G. Collective motions of hydrogen bonds //Solid State Communications. – 1963. – Т. 1. – №. 6. – С. 132-137.
3. Fauseweh B. Analysis of the transverse field Ising model with continuous unitary transformations: дис. – Master's thesis, Technische Universität Dortmund, 2012.
4. Albert R., Barabási A. L. Statistical mechanics of complex networks //Reviews of modern physics. – 2002. – Т. 74. – №. 1. – С. 47.
5. Newman M. E. J. The structure and function of complex networks //SIAM review. – 2003. – Т. 45. – №. 2. – С. 167-256.
6. Boccaletti S. et al. Complex networks: Structure and dynamics //Physics reports. – 2006. – Т. 424. – №. 4-5. – С. 175-308.
7. Barabási A. L., Albert R. Emergence of scaling in random networks //science. – 1999. – Т. 286. – №. 5439. – С. 509-512.
8. Albert R., Barabási A. L. Topology of evolving networks: local events and universality //Physical review letters. – 2000. – Т. 85. – №. 24. – С. 5234.
9. Serrano M. Á. Rich-club vs rich-multipolarization phenomena in weighted networks //Physical Review E. – 2008. – Т. 78. – №. 2. – С. 026101.
10. Barabási, A. L. Network Science. (Cambridge University Press, 2016).
11. Dorogovtsev, S. N., Goltsev, A. V. & Mendes, J. F. Critical phenomena in complex networks. Rev. Mod. Phys. 80, 1275 (2008).
12. Zhoua, B., Meng, X. & Stanley, E. Power-law distribution of degree-degree distance: A better representation of the scale-free property of complex networks. *PNAS* **117**, 14812 (2020).
13. Tsarev, D., Trofimova, A., Alodjants, A. & Khrennikov, A. Phase transitions, collective emotions and decision-making problem in heterogeneous social systems. *Sci. Rep.* **9**, 1–13 (2019).