

Ordering in one-dimensional Ising model with different number of neighbors

Andriushchenko P. (Russian Federation)

Упорядочение в одномерных моделях Изинга с разным количеством соседей

Андрющенко П. Д. (Российская Федерация)

Андрющенко Петр Дмитриевич / Andriushchenko Petr – аспирант,
кафедра теоретической и ядерной физики, школа естественных наук,
Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток

Аннотация: мы исследуем процессы упорядочения в одномерной модели Изинга с двумя, тремя и четырьмя ближайшими соседями с разными знаками обменного интеграла. Намагниченность показывает упорядочение только при положительном обменном интеграле, в то время как кластерный параметр порядка описывает упорядочение при любых знаках обменного интеграла.

Abstract: we explore the processes of ordering in the one-dimensional Ising model with two, three and four nearest neighbors with different signs of the exchange integral. In finite systems, the magnetization shows ordering only with positive exchange integral, while the cluster order parameter describes the ordering for any sign of the exchange integral.

Ключевые слова: модель Изинга, упорядочение, магнетизм.

Keywords: ising model, ordering, magnetization.

Со стороны может показаться, что теория упорядочения достигла своего пика и теперь остается лишь применять разработанные подходы к новым структурам, вычислять критические индексы и температуры фазовых переходов. Но теоретики и экспериментаторы публикуют свидетельства противоположного мнения, что нынешние подходы плохо подходят для описания порядка в фрустрированных системах или системах с замороженным беспорядком [1-3]. Но для того, чтобы понять процессы, происходящие в таких сложных системах, необходимо прекрасно представлять, что происходит в более простых моделях. Именно поэтому нахождение общего подхода к упорядочению необходимо начать с простых моделей. Среднеквадратичная намагниченность $\langle M^2 \rangle$ или ее модуль обычно используется для описания процессов упорядочения в магнитах моделях. Этот параметр может быть использован для изучения фазовых переходов в ферромагнетиках. Однако, как только мы изменим знак обменного интеграла с «+» на «-» этот параметр порядка становится равным 0 при любой T и $N \rightarrow \infty$. Таким образом, задача определения универсального параметра порядка, особенно для систем с отрицательным или знакопеременным обменным взаимодействием является актуальной и сегодня [4].

Поэтому мы предложили подход к определению параметра порядка для описания перехода от неупорядоченной фазы в упорядоченную (или частично упорядоченную) [5]. Параметром порядка может быть отношение максимального размера кластера, образованного спинами в основном состоянии (ground state), к общему числу частиц (рис. 1).

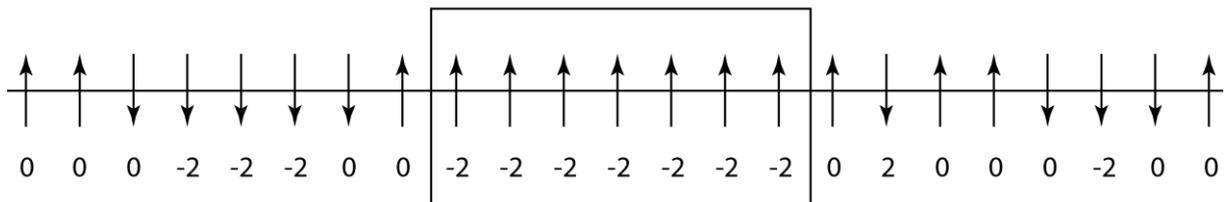


Рис. 1. Пример расчета кластерного параметра порядка ферромагнетика ($J = +1$) одномерной модели Изинга с 2 ближайшими соседями

Энергия каждого спина обозначена цифрой под ним (-2, 0, 2). На данном рисунке обведен наибольший кластер спинов в нижнем энергетическом состоянии (-2). Отношение спинов в основном состоянии в максимальном кластере к общему числу спинов в системе является параметром порядка. В этом примере параметр порядка равен $7/23$.

В рамках данного подхода были исследованы одномерные модели Изинга с различным количеством соседей (рис. 2) и знаком обменного интеграла.

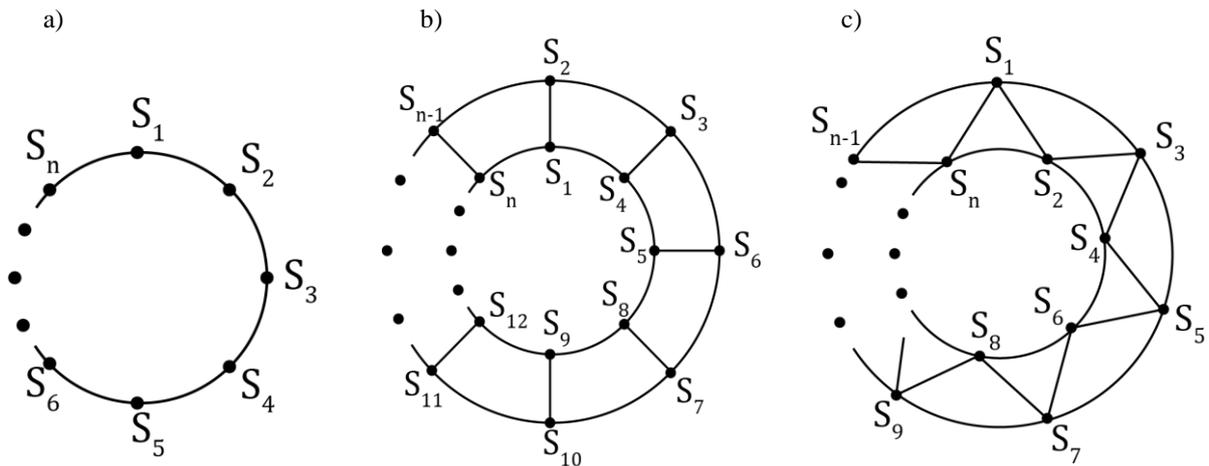


Рис. 2. Одномерные модели Изинга с 2(a), 3(b) и 4(c) соседями

В результате Монте-Карло моделирования моделей Изинга (рис. 2) с числом спинов, равным 1000, кластерный параметр порядка повторил поведение намагниченности для ферромагнитных (с положительным обменным взаимодействием) моделей (рис. 3).

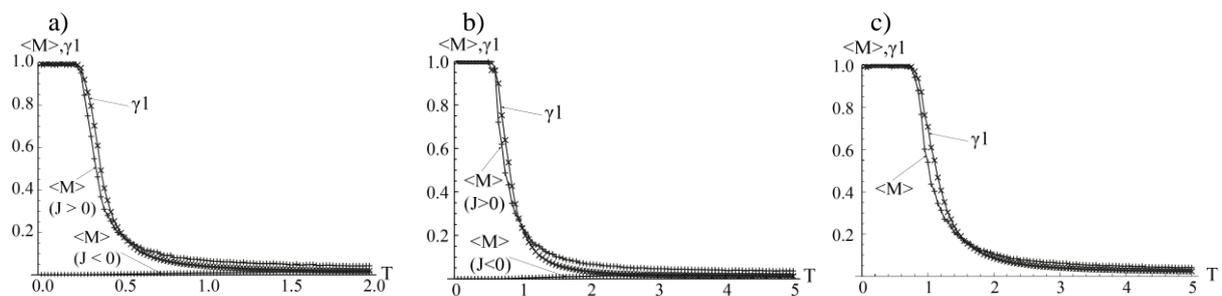


Рис. 3. Температурное поведение средней намагниченности и кластерного параметра порядка для модели Изинга с 2(a), 3(b) и 4(c) ближайшими соседями

В моделях с отрицательным (или знакопеременным) обменным взаимодействием намагниченность равна нулю при любой температуре, однако кластерный параметр порядка совпадает с ферромагнитным, то есть продолжает описывать переход к упорядочению.

Широко известно точное решение одномерной модели Изинга с 2 соседями, откуда следует, что при $N \rightarrow \infty$ фазового перехода нет при $T \neq 0$. В дальнейшем представляет собой интерес исследование существования фазового перехода при $N \rightarrow \infty$ в моделях с 3 и 4 соседями, а также нахождение их точных решений.

Литература

1. Morgan J. P. et al. Thermal ground-state ordering and elementary excitations in artificial magnetic square ice // Nature Physics, 2011. Т. 7. № 1. С. 75-79.
2. Daunheimer S. A. et al. Reducing disorder in artificial kagome ice // Physical review letters, 2011. Т. 107. № 16. С. 167201.
3. Morgan J. P. et al. Real and effective thermal equilibrium in artificial square spin ices // Physical Review B., 2013. Т. 87. № 2. С. 024405.
4. Шевченко Ю. А., Неведев К. В. Топологии двумерных фрустрированных решеток точечных магнитных диполей // International Scientific Review. Т. 18. № 28. С. 7-9.
5. Gambardella P. et al. Ferromagnetism in one-dimensional monatomic metal chains // Nature, 2002. Т. 416. № 6878. С. 301-304.
6. Andriushchenko P. D., Nefedev K. V. Magnetic phase transitions in the lattice Ising model // Advanced Materials Research, 2013. № 718. С. 166-171.