

# МАГНИТНЫЕ СТРУКТУРЫ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЧЕТЫРЕХВЕРШИННОЙ МОДЕЛИ ПОТТСА НА ТРЕУГОЛЬНОЙ РЕШЕТКЕ



Курбанова Д.Р., Муртазаев А.К., Рамазанов М.К., Магомедов М.А.  
d\_kurbanova1990@mail.ru

Институт физики им. Х.И. Амирханова Дагестанского федерального исследовательского центра РАН

Работа поддержана фондом Гаджи Махачева по поддержке науки, образования и культуры

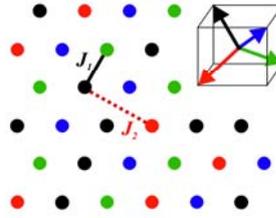
## Introduction

Изучение эффектов фрустрации в спиновых решеточных моделях представляет большой интерес в течении последних десятилетий. Это связано с тем, что фрустрации играют важную роль в различных магнитных системах. Считается, что фрустрации, как результат конкурирующих взаимодействий, являются источником вырождения и беспорядка, которые приводят к появлению новых и интересных физических явлений.

В данной работе на основе алгоритма Ванга-Ландау метода Монте-Карло мы исследуем влияние конкуренции обменного взаимодействия на фазовые переходы, термодинамические свойства и магнитные структуры основного состояния двумерной модели Поттса с числом состояний спина  $q=4$  на треугольной решетке с взаимодействиями первых и вторых ближайших соседей. Эта модель может быть использована для описания поведения некоторых классов адсорбированных газов на графите. Данная модель интересна и тем, что значение  $q=4$  является граничным значением интервала  $2 \leq q \leq 4$ , где наблюдается ФП второго рода и области значений  $q > 4$ , в котором ФП происходит как переход первого рода.

Согласно результатам нашего исследования учет антиферромагнитных взаимодействий вторых ближайших соседей в интервале  $-0.5 \leq J_2 \leq -1.0$  приводит к фрустрации и нарушению магнитного упорядочения. В зависимости от соотношения обменных взаимодействий между первыми и вторыми ближайшими соседями, основное состояние системы может быть сильно вырожденным. Установлено, что в исследуемой модели в точке фрустрации фазовый переход не наблюдается.

## Четырехвершинная модель Поттса на треугольной решетке с взаимодействиями первых и вторых ближайших соседей



Расчеты проводились для систем с ПГУ и с линейными размерами  $L \times L = N$ ,  $L=12+120$ ;

$$H = -J_1 \sum_{i,j} \cos \theta_{i,j} - J_2 \sum_{i,k} \cos \theta_{i,k}$$

где  $J_1$  и  $J_2$  – параметры обменных ферро- ( $J_1 > 0$ ) и антиферромагнитного ( $J_2 < 0$ ) взаимодействия соответственно для первых и вторых ближайших соседей,  $\theta_{i,j}$ ,  $\theta_{i,k}$  – углы между взаимодействующими спинами  $S_i - S_j$  и  $S_i - S_k$ . На данном этапе нами проведены исследования модели Поттса при  $J_1 = 1$  и различных значениях  $J_2$ .

Направления векторов:

$$\cos \theta_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{если } S_i = S_j \\ -1/3, & \text{если } S_i \neq S_j \end{cases} \quad \theta_{i,j} = \begin{cases} 0, & \text{если } S_i = S_j \\ 109.47^\circ, & \text{если } S_i \neq S_j \end{cases}$$

## Рассчитываемые параметры

Внутренняя энергия  $U(T) = \frac{\sum_E E g(E) e^{-E/k_B T}}{\sum_E g(E) e^{-E/k_B T}} \approx \langle E \rangle$

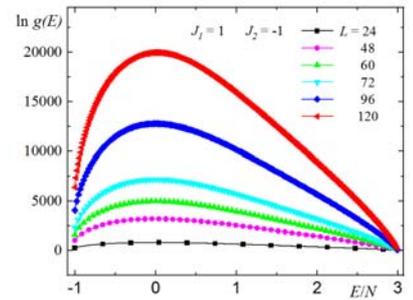
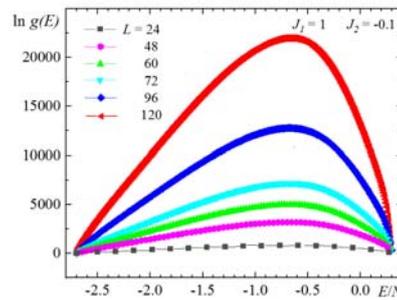
Свободная энергия  $F(T) = -k_B T \ln \left( \sum_E g(E) e^{-E/k_B T} \right)$

Теплоемкость  $C = \left( \frac{\langle J_1 \rangle / k_B T}{N} \right) (\langle U^2 \rangle - \langle U \rangle^2)$

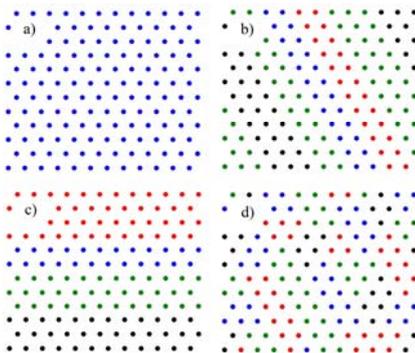
Энтропия  $S(T) = \frac{U(T) - F(T)}{T}$

где  $N$  – число частиц,  $T$  – температура (здесь и далее температура дана в единицах  $|J_1/k_B|$ ).

## Плотность состояний системы от величины $J_2$



## Магнитные структуры основного состояния



Магнитные структуры основного состояния от величины второго обменного взаимодействия  $J_2$ . Спины, обозначенные кружками одного цвета имеют одинаковое направление.

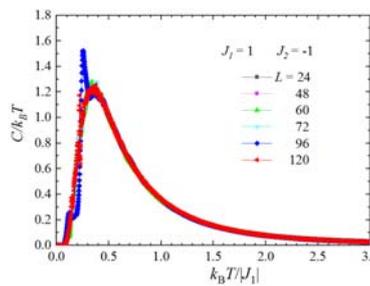
Рис. 2(a) магнитные структуры основного состояния при  $J_2 = -0.1$ .

Рис. 2(b) и 2(c) – примеры основных состояний для случаев  $J_2 = -0.5$  и  $J_2 = -0.75$ . Эти структуры и имеют полосовую структуру, причем ширина, цвет и направление полос может быть произвольным. Количество состояний пропорционально  $\ln(N_{CS}) \propto L$ .

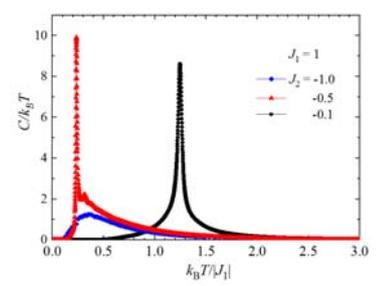
Рис. 2(d) для случая  $J_2 = -1$  учет антиферромагнитных взаимодействий вторых ближайших соседей приводит к полному нарушению магнитного упорядочения. Степень вырождения основного состояния в данном случае  $\ln(N_{CS}) \propto L^2$ .

Таким образом, при  $J_2 < -0.5$  система имеет ферромагнитно упорядоченное основное состояние; при  $-0.5 \leq J_2 < -1$  основное состояние имеет полосовую структуру; при  $J_2 = -1$  основное состояние сильно вырождено, полосовая структура разрушена.

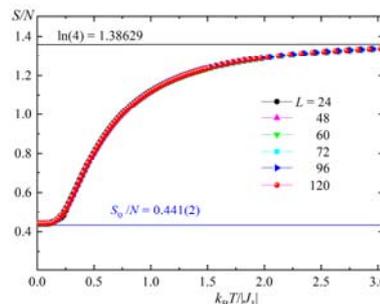
## Температурные зависимости



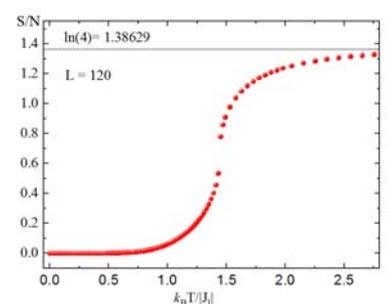
Температурные зависимости теплоемкости при  $J_2 = -1$  и различных  $L$ .



Температурные зависимости теплоемкости от величины второго обменного взаимодействия  $J_2$ .



Температурная зависимость энтропии системы при  $J_2 = -1$  и различных  $L$ .



Температурная зависимость энтропии системы при  $J_2 = -0.1$  и  $L=120$ .