

# CONGELAMENTO INVERSO NO MODELO DE CLUSTER DE VIDRO DE SPIN COM INTERAÇÃO ANTIFERROMAGNÉTICA

C.F. Silva<sup>1</sup>, F.M. Zimmer<sup>1</sup>, S.G. Magalhaes<sup>2</sup> and C. Lacroix<sup>3</sup>

12 de julho de 2012

---

<sup>1</sup>Dep. de Física, Universidade Federal de Santa Maria, 97105-900, Santa Maria, RS, Brazil.

<sup>2</sup>Instituto de Física, Universidade Federal Fluminense, 24210-346 Niterói, RJ, Brazil.

<sup>3</sup>Institut Néel, CNRS/UJF, 25 avenue des Martyrs, BP 166, F-38042 Grenoble, Cedex 09, France.

# Sumário

Objetivos

Introdução

Modelo Cluster de VS de Ising com Interação Intracluster  
Antiferromagnética

Resultados

Conclusões

# Sumário

Objetivos

Introdução

Modelo Cluster de VS de Ising com Interação Intracluster  
Antiferromagnética

Resultados

Conclusões

# Objetivos

- ✓ Analisar o congelamento inverso no modelo de cluster de VS com spins de Ising para interação intracluster antiferromagnética (AF);
- ✓ Investigar os mecanismos responsáveis pelo aparecimento de congelamento inverso no modelo;

# Sumário

Objetivos

**Introdução**

Modelo Cluster de VS de Ising com Interação Intracluster  
Antiferromagnética

Resultados

Conclusões

# Introdução

## Transições Inversas

- ✓ Transformações reversíveis entre uma fase ordenada e uma fase desordenada;
- ✓ Há uma inversão da ordem natural do conteúdo entrópico das fases envolvidas;
- ✓ A fase desordenada tem entropia menor que a fase ordenada;

# Introdução

## Transições Inversas

- ✓ Derretimento Inverso: Líquido-Cristalina
- ✓ Congelamento Inverso: Líquido-Vidro

# Introdução

## Exemplos

- ✓ Isótopos de He<sup>4</sup>;
- ✓ Alguns tipos de supercondutores<sup>4,5</sup>;
- ✓ Nano partículas de ouro<sup>6</sup>;

---

<sup>4</sup>N. Schupper and N. M. Shnerb, Phys. Rev. E v. 72, p. 046107, 2005.

<sup>5</sup>N Avraham et. al., Nature, v. 411, p. 451, 2001.

<sup>6</sup>B. Donnio et. al., Soft Matter, v. 6, p. 965, 2010.



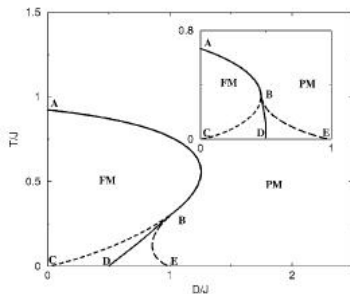
# Modelos Teóricos

- ✓ Derretimento Inverso: Modelo Blume-Capel<sup>7</sup>:

$$H = -J \sum_{\langle i,j \rangle} S_i S_j + D \sum_{i=1}^N S_i^2, \quad (1)$$

com  $S_i = 0, \pm 1$ .

- ✓ É necessária a adição de um parâmetro de degenerescência:  $r = l/k \geq 1$ ;

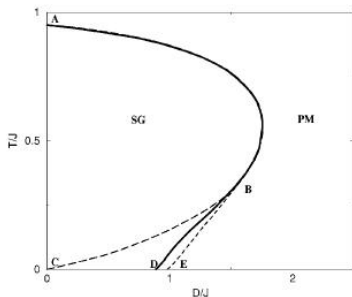


<sup>7</sup>M. Blume, Phys. Rev., v. 141, p. 517, 1966; H.W. Capel, Physica, v. 32, p. 966, 1966.

# Introdução

- ✓ Congelamento Inverso: Modelo Ghatak-Sherrington<sup>8</sup>

$$H = - \sum_{\langle i,j \rangle} J_{ij} S_i S_j + D \sum_i S_i^2 \quad (2)$$



- ✓ Apresenta congelamento inverso espontaneamente;

<sup>8</sup>S. K. Ghatak and D. Sherrington, J. Phys. C: Solid State, v. 10, p. 3149, 1977

# Introdução

## Congelamento inverso

- ✓ Modelo vidro de spin de Ising fermiônico<sup>9, 10</sup>

$$\hat{\mathcal{H}} = - \sum_{ij} J_{ij} \hat{S}_i \hat{S}_j - \mu \sum_i \hat{n}_i, \quad (3)$$

- ✓ onde os operadores de spins atuam sobre o espaço de Fock com quatro estados por sítio: dois estados não magnéticos  $|00\rangle$  e  $|\uparrow\downarrow\rangle$ , e dois magnéticos  $|\uparrow 0\rangle$ ,  $|0 \downarrow\rangle$ ;

---

<sup>9</sup>S.G. Magalhães, C.V. Morais, F.M. Zimmer, Phys. Rev. B, v. 77, p. 134422, 2008; S.G. Magalhães, C.V. Morais, F.M. Zimmer, Phys. Rev. B, v. 81, p. 014207, 2010; C.V. Morais, F.M. Zimmer, S. G Magalhães, Phys. Lett. A, v. 375, p. 689, 2011.

<sup>10</sup>F.M. Zimmer, C.F. Silva, C.V. Morais, S.G. Magalhães, J. Stat. Mech., v. 2011, p. 05026, 2011.

# Introdução

## Transições Inversas

- ✓ Elementos Fundamentais para Transição Inversa:
- ✓ Frustração e Estados Não-interagentes;

# Introdução

## Transições Inversas

- ✓ Elementos Fundamentais para Transição Inversa:
- ✓ Frustração e Estados Não-interagentes;

# Sumário

Objetivos

Introdução

Modelo Cluster de VS de Ising com Interação Intracluster  
Antiferromagnética

Resultados

Conclusões

# Modelo Cluster de VS com interação Intracluster Antiferromagnética

- ✓ Considera dois tipos de interações: interação desordenada entre clusters distintos (interação intercluster) e uma interação AF entre spins do mesmo cluster (interação intracluster);

$$H = - \sum_{\nu\lambda}^{N_{cl}} J_{\nu\lambda} S_{\nu}^z S_{\lambda}^z - \sum_{\nu}^{N_{cl}} \left( \sum_{ij}^{n_s} J_{ij}^0 S_{i\nu}^z S_{j\nu}^z \right), \quad (4)$$

- ✓  $N_{cl}$  representa o número de clusters no sistema,  $n_s$  o número de spins em cada cluster;
- ✓  $J_{\nu\lambda}$  são variáveis aleatórias dadas por uma distribuição Gaussiana e  $J_{ij}^0$  é a interação intracluster antiferromagnética.

# Modelo Cluster de VS com interação Intracluster Antiferromagnética

- ✓ A desordem é tratada através do método das réplicas:  $\beta f = \lim_{n \rightarrow 0} (\langle Z^n \rangle_{J_{\nu\lambda}} - 1) / n$ ,
- ✓ onde  $\langle \dots \rangle_{J_{\nu\lambda}}$  representa a média sobre as variáveis aleatórias e  $Z^n$  é a função de partição replicada.
- ✓ Realizando a média sobre a desordem, encontramos a energia livre por cluster

$$\frac{\beta f}{N_{cl}} = \lim_{n \rightarrow 0} \frac{1}{n} \left\{ \frac{\beta^2 J^2}{2} \sum_{\alpha\gamma} Q_{\alpha\gamma}^2 - \ln \text{Tr} \exp \left[ \beta \sum_{\nu} \left( \sum_{\alpha} \sum_{ij} J_{ij} S_{i\nu}^{z\alpha} S_{j\nu}^{z\alpha} + \sum_{\alpha\gamma} J Q_{\alpha\gamma} S_{\nu}^{z\alpha} S_{\nu}^{z\gamma} \right) \right] \right\} \quad (5)$$





## Modelo Cluster de VS com Interação Intracluster Antiferromagnética

✓ Portanto, a energia livre por cluster fica:

$$\frac{\beta f}{N_{cl}} = \frac{\beta^2 J^2}{4} [R^2 + a(Q_1^2 - Q_0^2) - Q_1^2] - \frac{1}{a} \int Dz \ln \int Dv [K(z, v)]^a, \quad (9)$$

onde  $K(z, v) = \int D\xi \text{Tr} e^{-\beta H_{ef}} e$

$$H_{ef} = - \sum_{ij} J_{ij}^0 S_{i\nu}^z S_{j\nu}^z - h S_\nu^z \quad (10)$$

representa o modelo efetivo de um cluster, com

$$h = J\sqrt{(Q_1 - Q_0)v} + J\sqrt{(R - Q_1)\xi} + J\sqrt{Q_0}z, \quad (11)$$

e  $\int Dx = \int_{-\infty}^{\infty} dx \frac{e^{-x^2/2}}{\sqrt{2\pi}}$  ( $x = z, v$  ou  $\xi$ ).

# Sumário

Objetivos

Introdução

Modelo Cluster de VS de Ising com Interação Intracluster  
Antiferromagnética

**Resultados**

Conclusões

# Resultados

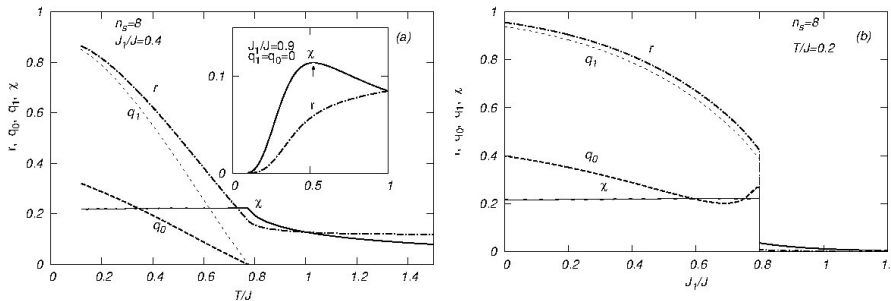
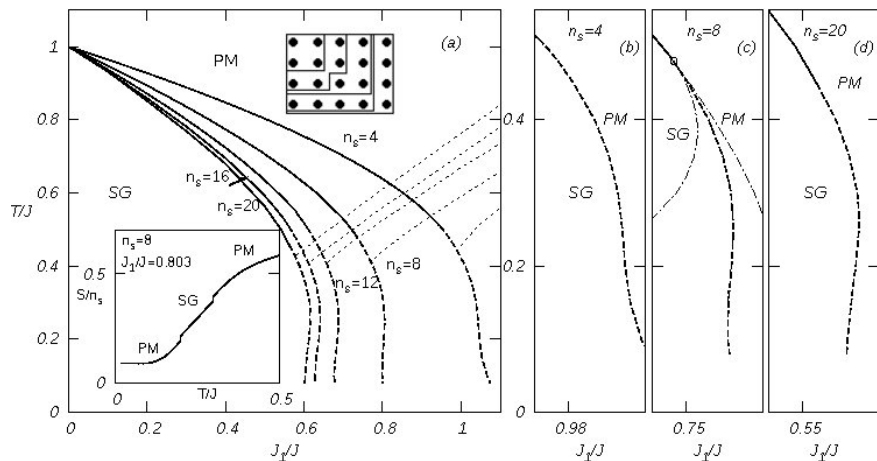


Figura: (a) Parâmetros de ordem e susceptibilidade linear em função da temperatura e (b) em função de  $J_1$  para  $n_s = 8$ .

# Resultados



**Figura:** Diagrama de fases  $T/J$  versus  $J_1/J$  para vários tamanhos de clusters  $n_s$ , com valores de  $n_s$  pares.

# Resultados

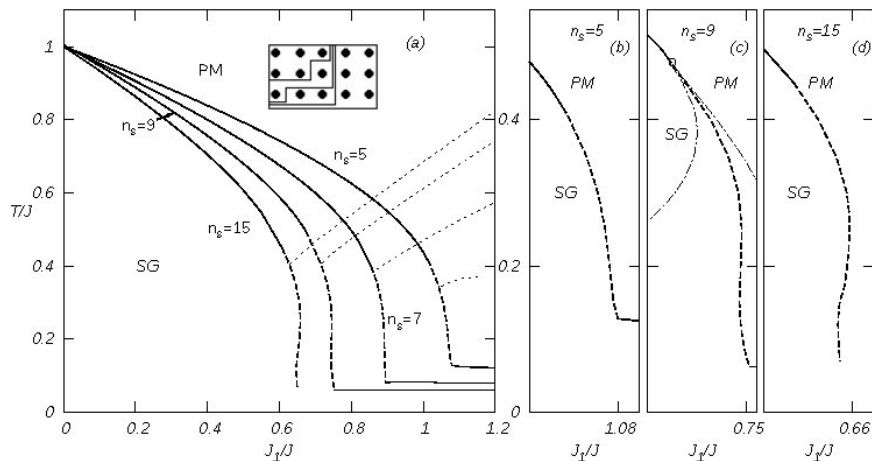


Figura: Diagrama de fases  $T/J$  versus  $J_1/J$  para vários tamanhos de clusters  $n_s$ , com valores de  $n_s$  ímpares.

# Resultados

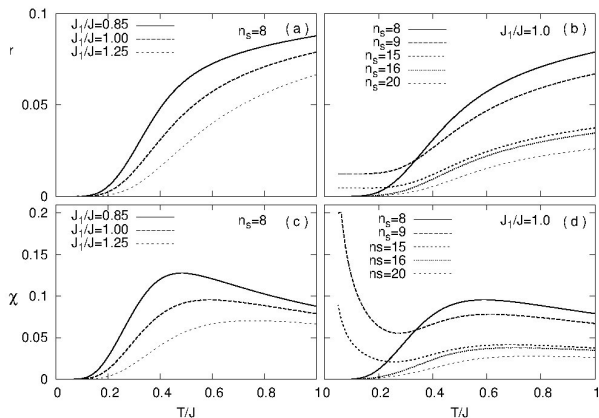


Figura: Parâmetro de ordem  $r$  e susceptibilidade linear  $\chi$  em função de  $T/J$ .

# Sumário

Objetivos

Introdução

Modelo Cluster de VS de Ising com Interação Intracluster  
Antiferromagnética

Resultados

Conclusões



# Conclusões

- ✓ Analisamos um modelo de cluster de VS de Ising com interação de curto-alcance antiferromagnética;
- ✓ Congelamento inverso em uma região  $J_1/J$  para  $n_s$  suficientemente grande;
- ✓ A fase PM a baixas temperaturas possui clusters com momentos magnéticos muito baixos;
- ✓ Ocorre quando as interações de curto-alcance antiferromagnéticas são grandes;
- ✓ Frustração e clusters com momentos magnéticos baixos são os elementos fundamentais para o aparecimento de congelamento inverso no modelo;