XXX Encontro Anual de Iniciação Científica
VII Encontro Anual de Iniciação Científica Júnior
eaic 2021

ESTUDO DE CADEIAS DE SPINS

Eduardo Kronbauer Soares (PIBIC/CNPq), Fabiano Manoel de Andrade (Orientador), e-mail: fmandrade@uepg.br

Universidade Estadual de Ponta Grossa/Departamento de Matemática e Estatística.

Física/Física Geral

Palavras-Chave: *Modelo de Heisenberg, transferência de estados, emaranhamento, grafos*

Resumo

Nesse trabalho estudamos as cadeias de spins, as quais descrevem sistemas unidimensionais de spins acoplados aos seus primeiros vizinhos.

Introdução

As cadeias de spins são sistemas unidimensionais de partículas de spin-1/2 em uma rede, representam vários sistemas físicos e podem ser utilizadas em computação quântica como uma forma de transferir um estado entre dois pontos distintos na rede. Cada spin é representado pelos operadores de spin $S^{x,y,z} = \sigma^{x,y,z}/2$ onde

$$\sigma^x = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, \quad \sigma^y = \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix}, \quad \sigma^z = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix},$$

são as matrizes de Pauli e adotamos $\hbar$=1. Modelos como de Ising e o modelo de Heisenberg desempenham papel fundamental no estudo das cadeias. O modelo de Ising e é caracterizado pela interação dos spins e é dado pelo seguinte Hamiltoniano,

$$H_{\text{Ising}} = J\sum_n S_n^z S_{n+1}^z + h\sum_n S_n^z,$$

onde o primeiro termo representa a interação de Ising com intensidade J e o segundo termo representa um campo magnético externo aplicado ao longo da cadeia, o qual aqui é desconsiderado. Já o modelo de Heisenberg para L spins acoplados é descrito pelo Hamiltoniano

$$H_{\text{Heinsenberg}} = \sum_{n=1}^{L-1}[J(S_n^x S_{n+1}^x + S_n^y S_{n+1}^y) + J_z S_n^z S_{n+1}^z],$$

onde o primeiro termo é a interação de flip-flop, o qual é responsável por trocar a orientação do par de spins interagentes, e o último termo, com intensidade $J_z = \Delta J$, é a própria interação de Ising. Por esse Hamiltoniano possuir um termo que realiza a troca da orientação dos spins vizinhos, assim podendo transportar uma excitação ao longo da cadeia de spins, ele é muito interessante do ponto de vista da comunicação quântica [2].

Material e Métodos

Este trabalho baseia-se no estudo de conceitos fundamentais da teoria de informação quântica e usamos como materiais exclusivamente literatura estrangeira dentre as quais estão incluídas as referências [1,2].

Resultados e Discussão

As autoenergias obtidas a partir da diagonalização do Hamiltoniano de Heisenberg podem formar bandas, as quais são estados que possuem mesmo valor de energia. Essa estrutura de bandas é perdida caso o parâmetro $\Delta \lesssim 1$, já que os dois termos do Hamiltoniano possuem mesma ordem. A estrutura de bandas é conservada caso $\Delta \gg 1$. Quanto maior o valor de Δ, os autoestados associados às autoenergias ficam cada vez menos espalhados entre os elementos de base, como pode ser visto na Figura 1(a). Essa deslocalização dos estados na base pode ser quantificada pela *razão inversa de participação* (IPR, na sigla em inglês), a qual é dada por

$$\text{IPR} = \frac{1}{\sum_{k=1}^{D}\left|c_\alpha^k\right|^4},$$

onde c_α^k representa a projeção de um autoestado em um dos elementos da base. Isso faz com que a IPR seja proporcional ao número de vetores de base que contribuem para cada autoestado. Assim, quando Δ aumenta, o valor do IPR diminui (ver Figura 1(b)).

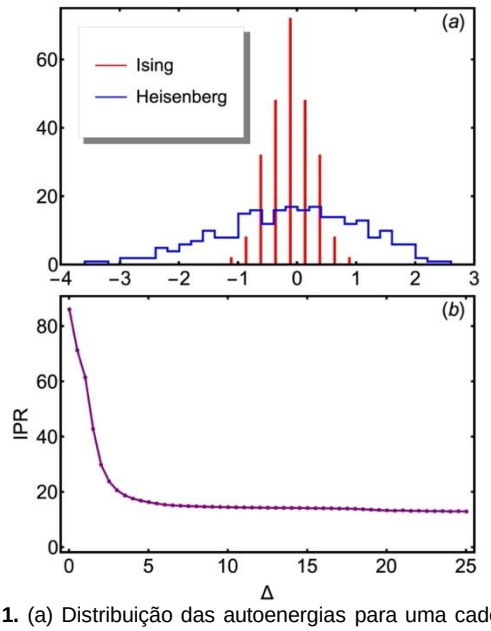


Figura 1. (a) Distribuição das autoenergias para uma cadeia de spins com $L = 10$ spins, onde 5 estão apontando para cima e Δ= 0,5. Em vermelho é considerado apenas o termo de Ising e em azul é considerado também o termo de flip-flop. (b) IPR em função de Δ.

Conclusão ou Conclusões

Nesse trabalho realizamos o estudo das cadeias de spin analisando o Hamiltoniano de Heisenberg. Dentre esses conceitos, o modelo de Heisenberg é muito importante, servindo de fundamento para conceitos como o emaranhamento de cadeias de spin, que é fundamental para a computação quântica.

Agradecimentos

Agradecemos o apoio financeiro do CNPq (Bolsa de IC e Projetos n.º 434134/2018-0 e 314594/2020-5) e do o INCT-IQ.

[1] L. F. Santos**,** Am. J. Phys. **81,** 450 (2013).

[2] S. Bose, Phys. Rev. Lett. **91**, 207901 (2003).