Espectro de excitação de spinons de uma cadeia de spins antiferromagnética

Mario M. de Oliveira*, Ricardo L. Doretto

Resumo

Nesse trabalho, apresentamos um método variacional para determinarmos analiticamente a relação de dispersão das excitações elementares (spinons) de uma cadeia de spins $S = \frac{1}{2}$ antiferromagnética frustrada e dimerizada. Em particular, determinamos a relação de dispersão dos spinons para o modelo Majumdar-Ghosh, sistema cujo estado fundamental, que pode ser determinado analiticamente, é dado por um produto de singletos.

Palavras-chave:

Modelo de Heisenberg, antiferromagnetismo, cadeias de spin

Introdução

Sistemas magnéticos unidimensionais constituídos por spins $S = \frac{1}{2}$ localizados nos sítios de uma rede têm sido objeto de intenso estudo. As intensas flutuações nessas cadeias previnem o estabelecimento de uma ordem de longo alcance pelos spins mas, ao mesmo tempo, há o surgimento de excitações elementares bastante exóticas. Além disso, o fenômeno da frustração magnética exerce um papel fundamental na estabilização de algumas fases nesses sistemas.

Resultados e Discussão

Consideramos uma cadeia de spins $S = \frac{1}{2}$ descrita pelo Hamiltoniano

$$\hat{H} = \sum_i J_1 \hat{S}_i \cdot \hat{S}_{i+1} + \sum_i J_2 \hat{S}_i \cdot \hat{S}_{i+2}, \quad (1)$$

onde $\hat{S}_i$ é o operador associado ao spin localizado no sítio i e $J_1 > 0$ e $J_2 > 0$ são respectivamente as constantes de troca (antiferromagnética) entre os spins primeiros- e segundos-vizinhos. Em particular, nos concentramos no chamado ponto Majumdar-Ghosh, isto é, $J_2 = \frac{1}{2} J_1$ [1]. Determinamos analiticamente que o estado fundamental do Hamiltoniano (1) é um produto de singletos entre spins primeiros-vizinhos (Fig. 1.a) e que esse estado fundamental é duplamente degenerado.

No ponto Majumdar-Gosh, uma excitação elementar (spinon) pode ser escrita como (Fig. 1.b)

$$|2j\rangle = [1, 2] \dots [2j-2, 2j-1] |+\rangle_{2j} [2j+1, 2j+2] \dots [N-1, N], \quad (2)$$

onde $|+\rangle_{2j}$ representa um spin no sítio $2j$ da cadeia e os estados $[j, j+1]$ representam singletos entre spins primeiros-vizinhos, isto é,

$$[j, j+1] = \frac{1}{\sqrt{2}} (|+\rangle_j |-\rangle_{j+1} - |-\rangle_j |+\rangle_{j+1}). \quad (3)$$

Para calcularmos a relação de dispersão dos spinons, restringimos o espaço de Hilbert ao subespaço definido pelos estados (2) e, seguindo o procedimento variacional descrito na Ref. [2], obtemos a energia dos spinons em termos do momento k ,

$$\omega(k) = J_1 \left(\frac{5}{4} + \cos(2k) \right). \quad (4)$$

A relação de dispersão (4), ilustrada na Fig. 2, apresenta um gap de energia para $k = \pm\pi/2$

Figura 1. Representação esquemática do (a) estado fundamental do modelo Majumdar-Ghosh e (b) do estado (2). As elipses representam o estado de singlete (3). Figura adaptada da Ref.[3].

Figura 2. Relação de dispersão (4) de um spinon na primeira zona de Brillouin para o ponto Majumdar-Ghosh com $J_1 = 1$.

Conclusão

O método variacional proposto na Ref.[2] mostra-se uma ferramenta útil para a determinação analítica do espectro de excitações elementares em cadeias de spins cujo estado fundamental é aproximadamente dado por um produto de singletos.

Agradecimentos

MMO agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro.

¹Majumdar, C.K. e Ghosh, D.K., *J. Math. Phys.* **1969**, 10, 1388.

²Lavaré, A. e Roux, G., *Eur. Phys. J. B* **2014**, 87, 228.

³Doretto, R.L. e Vojta, M., *Phys. Rev. B*, **2009**, 80, 024411.