

در هم تنیدگی گرمایی در زنجیره اسپینی XY اسپین $S = \frac{1}{2}$ در حضور بر همکنش

اسپین - مدار و میدان مغناطیسی عرضی

الهام مهران^۱، سعید مهدوی فر^۱، روح ا. جعفری^۲

دانشگاه گیلان، دانشکده علوم، گروه فیزیک^۱ بخش پژوهشی موسسه سیستم های نانو خورشیدی - زنجان - ایران^۲

چکیده در این مقاله در هم تنیدگی بین اولین نزدیکترین همسایه در یک زنجیره یک بعدی متشکل از اسپین های $1/2$ با مدل بر هم کنشی XY در حضور بر هم کنش ژالوشینسکی - مورییا و میدان مغناطیسی عرضی در حد ترمو دینامیکی مورد مطالعه قرار گرفته است. با استفاده از روش فرمی یونیزاسیون طیف انرژی سیستم مورد بررسی واقع شد و پس از آن اثر دما، بر هم کنش اسپین - مدار، میدان مغناطیسی و پارامتر ناهمسانگردی روی مقدار کمی در هم تنیدگی مورد لحاظ واقع شده است.

در هم تنیدگی یک همبستگی کوانتومی غیر موضعی است به این معنا که اگر دو ذره ی در هم تنیده ی غیر بر هم کنشی به لحاظ مکانی فاصله ی بسیار زیادی از یکدیگر داشته باشند، به جای اینکه به صورت دو موجود جدا از هم رفتار کنند، همچون یک موجود واحد عمل کرده و رفتار یکدیگر را کنترل خواهند نمود چند دهه ای هست که به منظور کمی کردن در هم تنیدگی تلاش های فراوانی صورت گرفته است [۱، ۲]. در هم تنیدگی در سیستم های اسپینی مختلف هم در دمای صفر و هم در دماهای متناهی به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است [۳، ۴]. از آن جا که در هم تنیدگی گرمایی را می توان به کمک متغیر های ماکروسکوپیکی از دیدگاه محاسباتی [۵] مشهود و به صورت تجربی [۶] مشاهده کرد تلاش های زیادی به منظور تعیین کمی میزان در هم تنیدگی گرمایی شده است [۳، ۷]. هامپلتونی زیر بر هم کنش بین بیت های کوانتومی در یک سیستم N کیوبیتی با مدل بر هم کنشی XY در حضور بر هم کنش اسپین - مدار و میدان مغناطیسی عرضی را توصیف می کند. با استفاده از روش فرمی یونیزاسیون این سیستم بر هم کنشی به یک سیستم غیر بر هم کنشی تبدیل شده است و در پی آن طیف انرژی سیستم محاسبه شده است. با داشتن طیف انرژی سیستم، در هم تنیدگی بین جفت ذرات با استفاده از ماتریس چگالی محاسبه شده است.

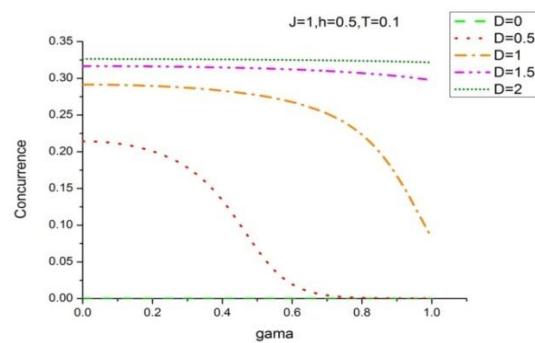
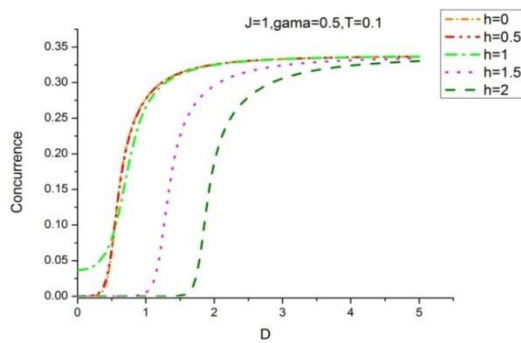
$$H = \sum_j \left(\left(\frac{1+\gamma}{2} \right) \sigma_j^x \sigma_{j+1}^x + \left(\frac{1-\gamma}{2} \right) \sigma_j^y \sigma_{j+1}^y + \frac{D}{2} (\sigma_j^x \sigma_{j+1}^y - \sigma_j^y \sigma_{j+1}^x) - h \sigma_j^z \right) \quad (1)$$

$$S_j^+ = c_j^\dagger \exp(\pm i \pi \sum_{n < j} a_n^\dagger a_n) \quad S_j^- = c_j \exp(\mp i \pi \sum_{n < j} a_n^\dagger a_n) \quad S_j^z = c_j^\dagger c_j - \frac{1}{2} \quad (2)$$

$$c_j^\dagger = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_k e^{ikj} c_k^\dagger, \quad c_j = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_k e^{-ikj} c_k \quad (4)$$

$$b_{-k}^\dagger = c_{-k}^\dagger \cos \frac{\theta_k}{2} + i c_k \sin \frac{\theta_k}{2}, \quad b_k = c_k \cos \frac{\theta_k}{2} - i c_{-k}^\dagger \sin \frac{\theta_k}{2} \quad (5)$$

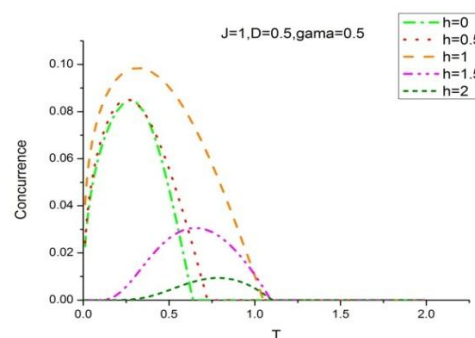
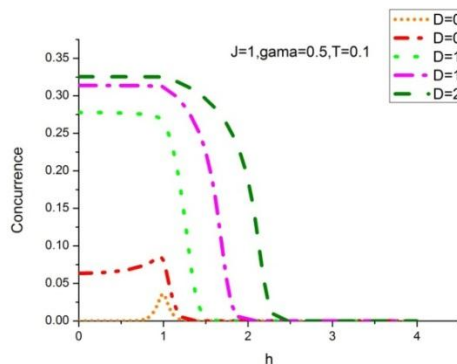
$$H = \sum_{k=-\pi}^{\pi} \Lambda_k (b_k^\dagger b_k - \frac{1}{2}) \quad , \quad \Lambda_k = 2 [D \sin k + \sqrt{(\cos k - h)^2 + \gamma^2 \sin^2 k}] \quad (6)$$



شکل ۲: نمودار درهم تنیدگی نسبت به بر هم کنش اسپین - مدار

شکل ۱: نمودار در هم تنیدگی بر حسب پارامتر ناهمسانگردی

شکل ۱ نمودار در هم تنیدگی را بر حسب پارامتر ناهمسانگردی را نشان می دهد. همانگونه که از شکل پیداست میزان در هم تنیدگی بین دو ذره با افزایش پارامتر ناهمسانگردی کاهش می یابد تا اینکه به صفر می رسد. از سویی با افزایش پارامتر بر هم کنش اسپین - مدار میزان در هم تنیدگی بین جفت ذره افزایش می یابد. شکل ۲ رفتار درهم تنیدگی را نسبت به بر هم کنش اسپین - مدار نشان می دهد. به ازای مقادیری از میدان که بزرگتر و کوچکتر از میدان مغناطیسی بحرانی هستند در هم تنیدگی بین دو ذره در ابتدا صفر بوده و سپس شروع به افزایش کرده تا اینکه به یک مقدار اشباع می رسد. در حالی که برای میدان های خیلی نزدیک میدان مغناطیسی بحرانی میزان در هم تنیدگی بین دو ذره از یک مقدار غیر صفر شروع شده و با افزایش پارامتر بر هم کنش اسپین - مدار افزایش یافته تا اینکه به بیشینه مقدار خود می رسد.



شکل ۴: نمودار درهم تنیدگی بر حسب میدان مغناطیسی

شکل ۳: نمودار در هم تنیدگی بر حسب دما

شکل ۳ نشان می دهد به ازای میدان های کوچکتر و مساوی میدان مغناطیسی بحرانی در هم تنیدگی بین دو ذره با افزایش دما در ابتدا افزایش یافته تا به یک مقدار بیشینه رسیده و پس از آن کاهش یافته تا اینکه در یک دما به طور کلی از بین می رود. همان طور که از شکل پیداست هر چه این میدان بزرگتر شود مقادیر بزرگتر دما منجر به از بین رفتن کامل درهم تنیدگی سیستم می شود. در حالی که برای میدان هایی که از میدان مغناطیسی بحرانی بزرگتر هستند

در هم تنیدگی بین دو ذره تا یک دمایی در ابتدا صفر بوده و سپس شروع شروع به افزایش می کند و پس از یک بیشینه مقدار کاهش یافته و در یک دمایی دیگر به صفر می رسد. نکته جالب در این هست که به ازای میدان های بزرگتر از میدان مغناطیسی بحرانی در یک بازه دمایی پدیده احیا در مقدار در هم تنیدگی بین دو ذره صورت می گیرد. از سویی برای مقادیری از میدان که بزرگتر از میدان مغناطیسی بحرانی هست با افزایش میدان مغناطیسی دمایی که در آن پدیده احیا صورت می گیرد افزایش می یابد و طول بازه ای که در آن میزان در هم تنیدگی مقدار غیر صفر را به خود اختصاص می دهد کاهش می یابد. شکل ۴ نمودار در هم تنیدگی بر حسب میدان مغناطیسی را نشان می دهد همانگونه که در شکل مشاهده می شود برای $D < 1$ میزان در هم تنیدگی بین جفت ذره در ابتدا افزایش یافته و به یک بیشینه مقدار رسیده و سپس کاهش یافته تا اینکه به صفر می رسد. در حالی که برای $D \geq 1$ میزان در هم تنیدگی بین جفت ذره از یک مقدار ثابت شروع شده و با افزایش میدان مغناطیسی کاهش می یابد. از سویی با افزایش پارامتر برهم کنشی اسپین-مدار میدان مغناطیسی که در آن گذار به حالت فرومغناطیس روی می دهد به سمت مقادیر بزرگتر جابه جا می شود.

نتیجه گیری: نتایج محاسبات نشان داد که هر کدام از پارامتر های دما، بر هم کنش اسپین-مدار، میدان مغناطیسی و پارامتر ناهمسانگردی روی مقدار کمی در هم تنیدگی تاثیر بسزایی دارند. نکته جالبی که محاسبات نشان دادند این بود که در برخی بازه های دمایی برای میدان های بزرگتر از میدان مغناطیسی بحرانی پدیده احیا در میزان در هم تنیدگی سیستم می تواند رخ دهد.

مرجع ها

- [1] W.K.Wootters, *Phys. Rev. Lett* **80**, 2245; (1998).
- [2] S. Hill and W. K. Wootters, *Phys. Rev. Lett* **78**, 5022; (1997).
- [3] Shou-Shu Gong, Gang Su, *Phys. Rev. A* **80**, 012323 (2009) .
- [4] Xiaoguang Wang, *Phys. Lett. A* **281**, 101 (2001).
- [5] L.-A. Wu, S. Bandyopadhyay, M. S. Sarandy, and D. A. Lidar, *Phys. Rev. A* **72**, 032309 (2005).
- [6] S. Ghosh, T. F. Rosenbaum, G. Aeppli, and S. N. Coppersmith, *Nature* (London) **425**, **48** (2003).
- [7] W.K.Wootters, *Phys. Rev. Lett* **80**, 2245; (1998).