

## Proprietà di entanglement di una stella di spin $S=1/2$ di Heisenberg

L'oggetto di questo lavoro di tesi è stato lo studio delle proprietà di entanglement di una stella di spin  $\frac{1}{2}$  di Heisenberg isotropa, nella quale oltre ad avere un accoppiamento antiferromagnetico  $g$  fra lo spin centrale e gli spin appartenenti ad un anello esterno, si ha un accoppiamento antiferromagnetico  $J$  fra gli spin primi vicini dell'anello. E' proprio la "frustrazione" originata dalla natura competitiva di tali interazioni a dar luogo alle proprietà più interessanti di tale sistema.

Le stelle di spin antiferromagnetiche hanno ottenuto una vasta attenzione all'interno della comunità scientifica, in quanto oltre a rappresentare dei possibili elementi base per sistemi a stato solido, rappresentano di per sé anche un utile modello per lo studio di fenomeni rilevanti nel campo dell'informazione quantistica.

Si è analizzato in particolare il valore di entanglement fra le coppie spin centrale - singolo spin dell'anello e fra le coppie di spin primi vicini e secondi vicini dell'anello, adottando l'entanglement di formazione (EF) come misura di entanglement. Il comportamento di EF in funzione dei parametri fondamentali del sistema, quali il rapporto fra i coefficienti di accoppiamento  $g=g/J$ , la temperatura e il modulo di un campo magnetico esterno applicato, è stato studiato utilizzando metodi numerici.

A temperatura nulla si è osservata una netta variazione nella distribuzione dell'entanglement al variare del rapporto  $g$ : in particolare, per piccoli valori di  $g$  si ha un elevato valore di entanglement per coppie di spin primi vicini dell'anello, mentre EF risulta nullo fra coppie di spin secondi vicini dell'anello e spin centrale - singolo spin dell'anello. Per valori di  $g$  via via più alti si osserva invece una diminuzione di entanglement per la prima coppia e un aumento per le seconde.

Per valori piccoli del campo magnetico, l'entanglement inizialmente cresce col campo, dopodiché per le coppie di spin appartenenti all'anello assume valori molto bassi e scompare per grandi valori del campo magnetico, mentre per la coppia spin centrale-spin anello il valore rimane alto fino ai valori del campo per cui diventa bruscamente nullo. È interessante osservare che l'entanglement si annulla allo stesso valore del campo magnetico per tutte le coppie considerate, e tale valore del campo diminuisce al diminuire di  $g$ .

Per quanto riguarda il comportamento del sistema a temperatura finita, si osserva che per quei valori del campo magnetico per cui a temperatura nulla EF per le diverse coppie è diverso da 0 l'entanglement mostra un andamento monotono, diminuendo con la temperatura fino ad annullarsi ad una temperatura finita; invece nel caso di alti campi magnetici, per i quali a temperatura nulla EF è 0, si ottiene inizialmente la comparsa di entanglement che, raggiunto un valore massimo, diminuisce poi fino ad annullarsi a temperature più elevate. Si è infine osservato che l'entanglement risulta più resistente agli effetti della temperatura quando il campo magnetico applicato aumenta.

Al crescere del numero di spin che compongono l'anello si ottengono valori di EF generalmente più bassi, ma l'entanglement si rivela più persistente nei confronti dell'aumento della temperatura.

**Relatore:** Alessandro Cuccoli ([cuccoli@fi.infn.it](mailto:cuccoli@fi.infn.it))

**Candidato:** Leonardo Querini ([leonardoquerini91@gmail.com](mailto:leonardoquerini91@gmail.com))