

Bírálat

Vörös Dániel „Quantum Spin Liquids in $SU(N)$ Heisenberg Models: Variational Monte Carlo Study of Dynamical Correlations” című doktori értekezéséről

A dolgozat a kvantum spinfolyadékok dinamikus korrelációinak vizsgálatát célozza $SU(N)$ szimmetrikus Heisenberg-modellekben. A szerző különös hangsúlyt fektet a numerikus eredmények, mint a variációs Monte Carlo-módszer és az átlagtér közelítésen alapuló eljárások alapos összehasonlítására. A téma rendkívül aktuális, a kvantum spinfolyadékok kutatása a kondenzált anyagfizika élvonalába tartozik. A frakcionalizált gerjesztések és rejtett kvantum rend megértése fundamentális jelentőséggel bír. Az eredmények elméleti relevanciája mellett kísérleti szempontból is érdekesek, például optikai rácsokban csapdázott ultrahideg atomok vagy az erős spin-pálya csatolással rendelkező anyagok kontextusában.

A disszertáció alapvetően jól szerkesztett, logikus felépítésű. A dolgozat hat fő fejezetre tagolódik, amelyet egy kiterjedt, tizenegy fejezetből álló appendix egészít ki. Az első fejezet a modellek és kísérleti megvalósításaik kontextusát vázolja, azonban a motivációs rész viszonylag rövid, és nem ad átfogó képet a kutatás tágabb jelentőségéről. A második fejezet az alkalmazott módszerek, különösen az Abrikosov-fermionokkal történő átlagtér közelítés részletes leírását nyújtja. A további négy fejezet, egy-egy tézispont köré foglalva tárgyalja a szerző saját tudományos eredményeit.

Az első tézispont az $SU(3)$ Heisenberg-lánc dinamikus spin struktúra faktorának számítását mutatja be. Az átlagtér közelítés validálása egzakt diagonalizációval, Bethe-ansatz és DMRG eredményekkel összehasonlítva kerül bemutatásra. A második tézispont az $SU(4)$ Heisenberg-modell méhsejtrácson való vizsgálatát tárgyalja, Abrikosov-fermionok alkalmazásával térképezi fel a Dirac spinfolyadék tiltott sáv nélküli gerjesztéseit. A harmadik és negyedik tézispontok az $SU(6)$ Heisenberg-modell kagome-rácson való analizisére fókuszálnak, megerősítve a Dirac spinfolyadék stabilitását és karakterizálva annak dinamikus korrelációit, kiemelve az átlagtér közelítés robusztusságát a növekvő $SU(N)$ szimmetria mellett.

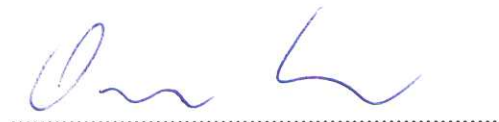
A dolgozat angol nyelvezete pontos, kisebb stilisztikai hibáktól eltekintve a szakmai nyelvezetét alapvetően jól használja, ábrái és táblázatai igényesen szerkesztettek, hatékonyan kiegészítik a szöveget. A tizenegy fejezetből álló appendix az átlagosnál jóval terjedelmesebb. Véleményem szerint a dolgozat fő részében kevés szerep jut a motiváció és a konklúziók részletes kifejtésére, hiányzik egy összefoglaló vagy kitekintő fejezet, amely a kutatás eredményeit tágabb kontextusba helyezné. A dolgozat gazdag irodalomjegyzékkel rendelkezik, amely a kutatás tudományos beágyazottságát alátámasztja. A dolgozathoz három, rangos nemzetközi folyóiratban megjelent publikáció kapcsolódik, ami az eredmények hitelességét erősíti. A kapcsolódó publikációkon túl a jelölt egy további publikációban is társszerző.

A fentiek alapján a disszertáció teljesíti a Doktori Iskola által támasztott formai és szakmai követelményeket. A feltett kérdéseimre adott válaszoktól függetlenül úgy vélem, hogy a dolgozat alapos munkát és elmélyült tudást tükröz, bár a szerkezeti és motivációs hiányosságok némileg csökkentik az összképet. A négy tézispontot új tudományos eredményekként fogadom el, és javaslom a doktori értekezés nyilvános védésre való kitűzését.

A dolgozathoz kapcsolódóan az alábbi kérdések merültek fel:

- 1) A dolgozatban központi szerepet kapnak a Dirac-spinfolyadékok tulajdonságainak tárgyalásai. Elektron rendszerekben megjelenő Dirac-kúpok sok esetben több, a Brillouin-zóna nem ekvivalens pontján egyszerre megjelennek. Ezen rendszerekben a kúpok közti szórás tiltott sáv nyitására alkalmas mechanizmusok felerősítését eredményezheti. Létezik olyan Dirac-spinfolyadék melyben a Dirac-gerjesztések a Brillouin-zóna különböző pontjaira koncentrálódnak? Ilyen esetekben milyen jelenségek feleltethetők meg a kúpok közti szórásnak? Képesek lehetnek ezen folyamatok a spinfolyadékok gerjesztési spektrumában tiltott sávot indukálni?
- 2) Az elektron rendszerek esetén három dimenzióban a Dirac-gerjesztések lehetséges általánosításai a nodális hurok félfémek. Ezen rendszerekben a zérus energiás gerjesztések a tömbi Brillouin-zónán belül nem izolált pontok, hanem folytonos nodális vonalak mentén helyezkednek el. Létezik-e a dolgozatban tárgyalt Dirac-spinfolyadékoknak olyan magasabb dimenziós általánosítása melyek szintén rendelkeznek nodális vonalakkal?
- 3) A dolgozatban, amint azt a szerző a 3.1-es fejezetben is említi, a Dirac-spinfolyadékok stabilitását csak valós és a vizsgált elemicellákkal kommenzurábilis perturbációk jelenlétében vizsgálta. Milyen módszerek állnak rendelkezésünkre ezen keretek közül kilépni és általánosabb perturbációk hatását is vizsgálni?
- 4) A jelölt első tézispontja az $SU(3)$ szimmetrikus spinlánc vizsgálata. Az $S=1$ -es, csak térbeli izotrópiával rendelkező, Heisenberg-modellek elemi építőköveinek Hilbert-tere szintén háromdimenziósak. Milyen hasonlóságok és különbségek vannak a teljes $SU(3)$ szimmetriával rendelkező és a csak háromfokúsú szimmetriával rendelkező rendszerek között? Alkalmazhatóak a dolgozatban használt eljárások ezen alacsonyabb szimmetriával rendelkező modellek esetén is vagy valamilyen kvalitatív különbség a két rendszer között mely fundamentálisan más módszerek használatát igényelné?

Budapest 2025. 05. 20.



Oroszlány László
docens

Komplex Rendszerek Fizikája Tanszék
Fizikai és Csillagászati Intézet
Természettudományi Kar
Eötvös Loránd Tudományegyetem