

Válasz Legeza Örs bírálataira

Szeretném megköszönni opponensemnek a dolgozat gondos áttanulmányozását, az értekezéshez fűzött elismerő megjegyzéseit és észrevételeit.

Kérdéseire az alábbiakat válaszolom:

1. *”A Szerző a 7.3-as fejezetben megvizsgálja egy Luttinger-folyadékon végzett munka statisztikáját. Elképzelhető-e hasonló elgondolások használata a Schwinger-féle párkeltésre? A grafénben az erős elektromos tér által keltett elektron-lyuk párok várható értékén túl, amit a szerző vizsgál, érdekes lehet a párkeltés statisztikájának vizsgálata is, vagyis meghatározni, milyen valószínűséggel keltődik adott számú elektron-lyuk pár. A párkeltés valószínűségi eloszlásfüggvénye más viselkedést mutathat a 3.1- es táblázatban részletezett klasszikus, Kubo- és Schwinger-féle tartományokban. Milyen viselkedés várható ezekben a tartományokban?”*

A J. Hallin et al., Phys. Rev. D 52, 1150 (1995) cikkben kvantumtérelméleti megfontolások alapján feltették ezt a kérdést, és meghatároztak a párkeltés statisztikájának karakterisztikus függvényét teljes általánosságban. Doktorandusz hallgatómmal, Vajna Szabolccsal tovább analizáltuk ennek viselkedését, és azt találtuk, hogy az első két tartományban viszonylag kevés elektron-lyuk pár képződik, emiatt az összes kumuláns meg egyezik, ami a Poisson-eloszláshoz vezet. A Schwinger-féle tartományban egyre növekvő számban jelennek meg párok, emiatt a centrális határeloszlás tétel alkalmazható, vagyis a várható érték körül normális eloszlást követ a párkeltés statisztikája. Az ettől való eltérések az eloszlás farkaiban jelennek meg, amik azonban kísérletileg valószínűleg megfigyelhetetlenek.

2. *”A Szerző egy klasszikus elektromágneses tér hatását vizsgálja egy spin-Hall szigetelő él-állapotára. Mi történhet egy kvantált elektromágneses tér esetén? A kvantum optikában a klasszikus, illetve kvantált tér anyaggal való kölcsönhatását leíró Rabi- és Jaynes-Cummings-modellek mutatnak hasonló tulajdonságokat, várható-e hasonló viselkedés a fény - topologikus szigetelők kölcsönhatása esetén a klasszikus és kvantált esetek között?”*

Gulácsi Balázs MSc diplomamunkájában a kvantált elektromágneses tér kölcsönhatását vizsgálta egy spin-Hall szigetelő él-állapotával, melyet a

$$H = \omega a^+ a + v \sum_p p S_p^z + \frac{g}{\sqrt{N}} \sum_p (a^+ S_p^- + a S_p^+),$$

Hamilton-operátor ír le. Itt az a operátor egy ω energiájú fotont tüntet el, p az egy dimenziós momentum az $\hat{e}_l$ mentén míg az S operátorok az $\hat{e}_l$ felelő spinű fermionjainak spin operátorai. Megmutatható, hogy a g kölcsönhatás releváns perturbáció, mely egy szuperradiáns fázist hoz létre, hasonlóan a Dicke-modellhez, melyben a bozon tér makroszkopikus betöltésű lesz. Ebben a fázisban egy véges gap nyílik a fermionikus spektrumban a klasszikus esethez hasonlóan, és egy véges áram indukálódhat, teljes analógiában a Floquet-tárgyalással. Ebben az értelemben a kvantum modell hasonló fizikai jelenséget ír le, mint klasszikus partnere.

3. *”A 6.4-es egyenlet egy idealizált esetet ír le. Mennyiben érvényesek Jelölt eredményei egyéb, járulékos tagok figyelembe vételekor? Mi történik, ha nem cirkulárisan, hanem csak elliptikusan vagy lineárisan polarizált a fény? Várható-e változás egy konstans mágneses tér jelenlétében?”*

Elliptikusan polarizált tér esetén az állításaim kvalitatívan igazak maradnak, mert ebben az esetben a pillanatnyi Hamilton-operátor $H(t)$ energiaspektruma meghatározható, és ebben egy véges gap jelenik meg, mely átöröklődik az időfüggő esetre is. Lineárisan polarizált esetben nem nyílik gap a pillanatnyi Hamilton-operátorban, emiatt nem várnám, hogy az így kialakuló fázis topologikus legyen, melyhez elengedhetetlenül szükséges egy véges gap a topologikus tulajdonságokat védendő. A konstans mágneses tér hatását Phys. Rev. Lett. 108, 056602 (2012) kiegészítő anyagában megvizsgáltuk, és azt találtuk, hogy amíg ennek nagysága kisebb a cirkuláris fény erősségénél, addig állításaink érvényben maradnak. Hasonlóan megvizsgáltuk a véges vektorpotenciál esetét is, amely szintén nem változtatja meg eredményeinket gyenge vektorpotenciál esetén (pontosabban a $v_F E_0 / \omega \ll \hbar \omega$ tartományban, ahol ω az elektromágneses tér frekvenciája, E_0 pedig az elektromos térerőssége).

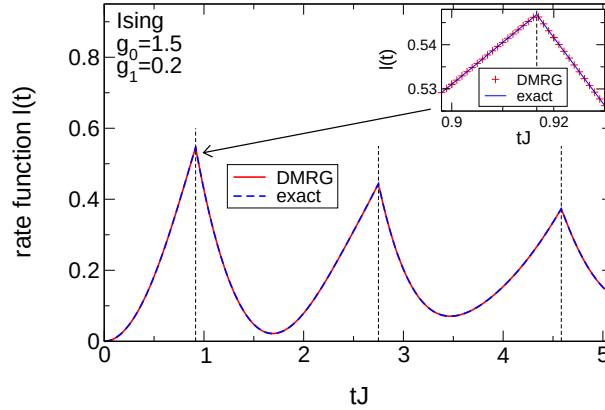
4. *”A Szerző egy Luttinger-folyadék fázisban történő kölcsönhatási kvencsek hatását vizsgálta, és kiszámította a Loschmidt-echo-t. Mi történne, ha a kvencs során elhagynánk a Luttinger-folyadék fázist, és a végállapot egy gapes fázis lenne? A dolgozatban vizsgált XXZ Heisenberg-modell nyelvén ez egy $|J_z| < 1$ tartományból egy $|J_z| > 1$ tartományba irányuló kvencset jelentene. Egy egyensúlyi fázishatár átlépése a kvencs során megváltoztatná-e a Loschmidt-echo viselkedését, illetve megjelenne-e benne olyan tulajdonságok, melyek az egyensúlyi fázishatár átlépésére utalnak?”*

Valóban, egy egyensúlyi fázishatár átlépése során alapvetően megváltozna a Loschmidt-echo viselkedése, melyet először a M. Heyl et al., Phys. Rev. Lett. 110, 135704 (2013)-ban vizsgáltak és a jelenséget dinamikus

fázisátalakulásnak nevezték el. Ennek során megjelenik egy új időskála a Loschmidt-echo időfejlődésében, mely az egyensúlyi fázishatár átlépése nélkül nem jelent meg. Ezen időskálához tartozó frekvenciával nem-analitikus viselkedés jelenik meg a dinamikus szabadenergiában, mely a Loschmidt-echo logaritmusával arányos. Erre gondolhatunk úgy, mint a Loschmidt-echo rövid idejű sorfejtésének elromlására, mely rokonságot mutat az egyensúlyban definiált szabadenergiák viselkedésével kritikus pontok közelében. Az analógia nem teljes az egyensúlyi és a dinamikus eset között, hiszen nehéz rendparamétert vagy kritikus exponenseket tulajdonítani ezen időfüggő jelenséghez. Az alábbi ábra a C. Karrasch et al., Phys. Rev. B 87, 195104 (2013)-ból a dinamikus fázisátalakulást szemlélteti a kvantum Ising-modell esetén, ahol

$$l(t) = \frac{1}{L} \ln |G(t)|^2 = 2\text{Re}f(it),$$

ahol $l(t)$ a rátafüggvény, $G(t)$ a Loschmidt-echo, L a rendszer mérete és $f(it)$ a dinamikus szabadenergia.



5. "Habár a Szerző egyértelműen írta, hogy a numerikus szimulációk külföldi kollégái munkáihoz köthetők, a numerikus és analitikus eredmények kiváló egyezése mégis felveti azt a kérdést, hogy a véges kötésdimenzió az i DMRG és i TEBD algoritmusok esetén miért nem okozott jelentősebb hibát kritikus rendszerekre? Hogyan ellenőrizték azt, hogy a véges kötésdimenzió miatt megjelenő véges koherenciahossz nem befolyásolta az eredmények pontosságát?"

Egy kritikus rendszerben, mint az általunk is vizsgált XXZ Heisenberg-modell, a véges χ kötésdimenzió véges ξ korrelációs hosszt indukál, mely

tipikusan $\xi \propto \chi^\kappa$ módon skálázódik, ahol κ egy modell függő paraméter. Ez hasonlít egy véges méretű rendszerhez, melyben a végesméret skálázással lehet megvizsgálni a véges méret, esetünkben a véges kötésdimenzió által okozott végesméret effektusokat. A numerikus számolások során egészen $\chi = 2000$ -ig felmentünk, hogy megbizonyosodjunk afelől, hogy a vizsgált időtartamok alatt ezen véges χ effektusok nem változtatják meg a numerikus adatokat.

Budapest, 2015. május 8.

Dóra Balázs