



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

PHD TÉZISFÜZET

**Korrelációs függvények és
nemegyensúlyi dinamika
egydimenziós
kvantumrendszerekben**

HORVÁTH DÁVID

TÉMAVEZETŐ: DR. TAKÁCS GÁBOR
Egyetemi tanár
BME Fizikai Intézet
Elméleti Fizika Tanszék

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
2019

Bevezetés

Napjainkban az alacsonydimenziós kvantumrendszerek több okból is az érdeklődés előterében állnak. Egyfelől ezek a rendszerek gyakran erősen korreláltak, a redukált dimenziószám miatt megnő a kvantumfluktuációk szerepe. Másfelől pedig sok ilyen rendszer integrálható, azaz dinamikájuk nagyon speciális, ami lehetővé teszi erősen korrelált kvantumrendszerek nemper-turbatív, gyakran egzakt leírását egy térdimenzióban. Ugyanakkor a mai laboratóriumi technikákkal (pl. csapdázott hideg atomok), illetve számos anyagban (spinláncok, kvázi-egydimenziós vezetők) ezen modellek által leírt rendszerek kísérletileg is vizsgálhatók, így lehetőség van arra, hogy a gyakran egzotikus jelenségeket a valóságban is megfigyelhessük.

Az egyik nagy érdeklődésre számot tartó jelenségkör azzal kapcsolatos, hogy az integrálható modellek által leírt rendszerek nemegyensúlyi folyamatokban gyakran nem termalizálódnak. Általánosan elfogadott vélekedés, hogy ilyenkor a végállapot leírható az általánosított Gibbs sokaság (GGE) segítségével. Azonban jelenleg is aktív kutatás folyik annak tisztázására, hogy az integrálható rendszerek megmaradó töltéseinek mely osztálya szükséges a GGE működéséhez. Ugyancsak sok figyelem irányul az időfejlődés leírására, és nemintegrálható perturbációk hatásának vizsgálatára, ezekről a kérdésekről ugyanis csak nagyon keveset tudunk, jóllehet mind elméleti, mind pedig kísérleti szempontból rendkívül fontosak. A doktori munkámban a fent említett kérdések közül elsősorban az időfüggést tanulmányoztam, de részben munkám eredményeképp alátámasztást nyert a kvantumtérelméleti modellek alkalmazhatósága és az integrálhatóságot sértő perturbációk vizsgálatára is alkalmas csonkolt állapotter módszerek használhatósága nemegyensúlyi szituációkban.

Célkitűzések

Első célkitűzésünk a kvantum kvencseket jellemző átfedések (vagyis a kiinduló állapot és poszt-kvencs Hamilton-operátor sajátállapotainak skalárszorzatai) meghatározása volt valamilyen kölcsönható modell esetén. Noha az átfedések ismerete sok esetben nélkülözhetetlen a végállapot leírásához és a kvencset követő időfüggés leírására is természetes utat kínálnak, csak nagyon kevés kölcsönható modell és kezdőállapot esetén állnak rendelkezésünkre egzakt vagy akár numerikus kifejezések. Az átfedések meghatározásán túl célunk volt azok vizsgálata is, tulajdonságaik értelmezése is.

Konkrétabb célként az átfedések konkrét meghatározását tűztük ki a sinh–Gordon és a sine–Gordon modellek bizonyos kvencsei során, az első esetben analitikusan származtatott integrálegyenlet megoldásával, a második esetben pedig a csonkolt konform állapotter módszert (TCSA) implementálva és alkalmazva.

Fontos célkitűzésünk volt annak demonstrálása, hogy a kvencsek párállapotának átfedései szingulárisak, ha a kezdeti állapot kifejtése egyrészcskés tagot is tartalmaz, ugyanis az irodalomba helytelen eredmények kerültek be, melyek nem vették figyelembe a generikus szingularitást. Célunk volt az egypont-függvények időfüggésére közölt eredmények közül a helytelenek kijavítása egy bizonyos rendig, és a szingularitások korrekt kezelésének kidolgozása is.

Módszerek

Az értekezés részét képező munkákban analitikus és numerikus módszereket egyaránt használtam. A sinh–Gordon-modell kvencseinek vizsgálata során, az átfedésekre vonatkozó integrálegyenletek levezetéséhez és az egyenletek ellenőrzéséhez form faktorokon alapuló módszereket, többek között a form faktorok véges térfogaton alapuló regularizációját használtam. Ugyancsak ezt az eljárást használtam a szinguláris átfedések vizsgálata során a szingularitások jelenlétének demonstrálásához és a kvencset követő időfüggés leírásához. A sine–Gordon-modell kvencseinek vizsgálatához a csonkolt konform állapotter módszert (TCSA) használtam, mely segítségével kölcsönható kvantumtérelméletek viselkedését lehet hatékonyan tanulmányozni.

Új tudományos eredmények

1. Megmutattam, hogy tömeges, integrálható kvantumtérelméletek homogén kvencseinél a páramplitúdó szinguláris, ha a kezdeti állapot poszt-kvencs bázisban történő kifejtésében egyrészcskés tag is szerepel. A páramplitúdó póluserőssége kifejezhető az egyrészcskés tag együttthatójával. Az állításaink általános bizonyítása mellett a sine–Gordon-modell fáziskvencseit is felhasználtam azok helyességének demonstrálásához, az itt alkalmazott eszköztár segítségével pedig egy alternatív, perturbatív bizonyítást is megadtam. Az eredményeket [I]-ben publikáltam.
2. Részt vettem a sinh–Gordon-modell kvencseinek vizsgálatában, melyek során a szabadbozon-elmélet alapállapotából kvencseltük a rendszert az elmélet tömegének változtatásával és a sinh–Gordon-kölcsönhatást jellemző paraméter bekapcsolásával. A kvencs átfedéseit tartalmazó integrálegyenleteket felhasználva megmutattam, hogy az átfedésekre vonatkozó egyenletek iterációval megoldhatók, ha a kezdeti állapot integrálható struktúrája fennáll. Az eredményt [II]-ben publikáltam.
3. A numerikus átfedések kiszámításával és azok egy analitikus Ansatz-cal való összehasonlításával megmutattam, hogy az analitikus Ansatz jó közelítéssel leírja az átfedéseket a vizsgált paramétertartományban.

Az integrálegyenletek háromrészcskés tesztállapotot tartalmazó változatával, felhasználva az analitikus Ansatzot megmutattam, hogy a kvencs integrálhatóságára vonatkozó feltevésünk konzisztens; az Ansatz nagy pontossággal kielégíti a megfelelő egyenleteket. Az integrálegyenletek általános levezetéséhez felhasznált algebrai térelméleti eljárás helyességének nemtriviális ellenőrzésében is részt vettem a háromrészcskés egyenletek végestérfogat-regularizációon alapuló kiszámításán keresztül. Az eredményt [II]-ben publikáltam.

4. Megmutattam, hogy a TCSA módszer implementálva a sine–Gordon-modellre alkalmas az elmélet tömegkvencseinek vizsgálatára. A numerikus módszerrel sikerrel határoztam meg az első lélegzők alkotta párállapotok átfedéseit. Az átfedések jó közelítéssel leírhatók a sinh–Gordon-elmélet előbb tárgyalt kvencseire felírt analitikus Ansatz megfelelő elfolytatásával is. Az eredményt [III]-ban publikáltam.
5. Tömeges, integrálható elméletekben egypontfüggvények időfejlődését vizsgáltam kvantum kvencseket követően. Ha egyrészcskés tag is szerepel az átfedésekben, akkor az időfüggést leíró részecskeállapotok szerinti sorfejtésen alapuló összefüggőklaszter-számolás az összrészcskeszám szerinti harmadik rendben \sqrt{t} -s időfüggést ad az egyrészcskés oszcillációk szorzófaktorául t -ben vezető rendben, nagy időkre. Ha a kezdőállapot integrálható, akkor az előbbi számolás az ötödik rendben a szokásos időben lineáris függés mellett $t \ln t$ -s járulékot is eredményez, ugyancsak nagy időkre és t -ben vezető rendben. Nem oszcilláló időfüggő tag adódik az összrészcskeszám szerinti negyedik rendből, ahol az időfüggés t -ben vezető rendben $1/t$ -s, nagy időkre. Az eredményeket [I]-ben publikáltam.

Publikációk

- [I] D.X. Horváth, M. Kormos and G. Takács, *JHEP* **08** (2018) 170, arXiv:1805.08132 [cond-mat.stat-mech].
- [II] D. X. Horvath, S. Sotiriadis, and G. Takács, *Nucl. Phys.* **B 902** (2016) 508, arXiv:1510.01735 [cond-mat.stat-mech].
- [III] D.X. Horváth and G. Takács, *Phys. Lett.* **B 771** (2017) 539–545, arXiv:1704.00594 [cond-mat.stat-mech].