

Bírálat Nagy Sándor doktori dolgozatáról

Jakovác Antal

2025. január 28.

A dolgozat címe a "Renormálási csoport módszer alkalmazása kvantumelméletekben", témája a funkcionális renormálási csoport elméletének és jónéhány, a jelölt által kidolgozott alkalmazásának összefoglalása.

A funkcionális renormálási csoport (FRG) egy elvben egzakt megközelítése a kvantum térelméleteknek, amely a pályaintegrálos megfogalmazással ekvivalensen, de attól mégis független módon írja le a jelenségeket. Arra a megfigyelésre alapul, hogy a természet leírásában különböző körülmények között más és más operátorok lesznek relevánsak, és egy olyan, numerikusan is megvalósítható számítási sémát kínál, amellyel az operátorok együtthatóinak, vagy azok generátorfüggvényének (pl. a kvantum vagy az effektív hatás) skálafüggését lehet tanulmányozni. A pályaintegrál alap gondolatával szemben, amely azt hangsúlyozza, hogy a mikroszkopikus elmélet vizsgálatával lehet a magasabb skálák fizikáját felderíteni, a renormálási csoport minden skálán az ott releváns mennyiségeket használja.

A renormálási gondolat számos fontos eredményt hozott a térelméletekben, többek között a másodrendű fázisátalakulások leírásának konzisztens elméletét, a rendszerek különböző fixpontjainak feltérképezését, a közöttük levő crossover leírását, az aszimptotikus szabadság illetve aszimptotikus biztonság fogalmainak definiálását. Az egyik legnagyobb eredménye, hogy a korábban, a perturbatív renormálással megközelíthetetlennek tűnő gravitáció kezelését lehetővé tette, sőt, annak felhasználásával a Higgs tömegre is lehetett meglepően pontos jóslatokat tenni.

A terület ma is aktívan kutatott, ezért a téma mindenképpen időszerű és fontos. A jelölt kutatásai jelentősen hozzájárultak az FRG jobb megértéséhez, ennek eredményeképpen nemzetközileg elismert tagja lett az FRG kutatói közösségnek.

A dolgozat hat fejezetből áll, amely az alapoktól kezd, majd sorban megismerteti az olvasót a jelölt munkásságának részleteivel.

- Az 1. fejezet a bevezetés, ahol a RG klasszikus megközelítését, a Ginzburg-Landau elméletet, a Wilson-féle megközelítést, a renormálhatóság definícióját, az aszimptotikus biztonságot, és a gravitáció renormálásának lehetőségét olvashatjuk.
- A 2. fejezetben az FRG evolúciós egyenleteinek tárgyalása történik, ahol a Wegner-Houghton egyenlet és a Wetterich egyenlet levezetése, valamint

a kétfajta eljárás összehasonlítása található meg.

- A 3. fejezetben skaláris modellek effektív potenciáljait elemzi a szerző, elsősorban a tömegtelen és tömeges SG modellre és a Φ^4 modellre koncentrálva. Szóba kerülnek olyan fogalmak, mint a szinguláris RG egyenlet, a kritikus skála, a kvantum cenzúra, a fázisok szétválasztására szolgáló érzékenységi mátrix.
- A 4. fejezetben az IR fixpontok kimutatásával foglalkozik a szerző. Skalár elméleteket tárgyal, a SG, a 3d Φ^4 modell, a periodikus modellek és az $O(N)$ modell IR viselkedését vizsgálja, és meghatározza az IR fixpontokat.
- Az 5. fejezet tartalmazza a gravitáció RG leírásának részleteit. Bemutatja a gravitációs modell fixpont szerkezetét, beszél a Reuter fixpontról. Megmutatja a gravitáció renormálásának aszimptotikus biztonságát. Meghatározza a gravitáció IR fixpontját. Megmutatja, hogy nincs optimális regulátor, és a kritikus exponensek regulátor érzékenységét tárgyalja. Eztán áttér egy egyszerűbb modellre, a konform redukált gravitációra, itt a bilokális potenciálok szerepét tárgyalja, és vizsgálja a Lorentz invariancia és a renormálás együttes alkalmazhatóságát.
- A 6. fejezetben a valós időben elvégzett renormálásról ír a szerző, a CTP formalizmust használva. Itt olyan, kevésbé standard fogalmakat vezet be, mint a fa-szintű renormálás, a nemlokális potenciálok, vagy a nyílt rendszerek lírásánál alkalmazott komplex csatolások.

A dolgozat gondosan szerkesztett, jól olvasható, alapos munka.

A doktori munka téziseit a téziszfüzet tartalmazza, ahol a jelölt az általa kidolgozott új eredményeket mutatja be. A legfontosabb új megállapítások az IR fixpontok vizsgálatához kötődnek, amelyeket különböző modellekben határozott meg és vizsgált a szerző, valamint jelentősek a valós idejű renormálás terén elért eredményei. A tézisek négy csoportban lettek felsorolva, összesen 14 alpontban. A tézisek mindegyike valamilyen publikált munkához kötődik. A tézisekben megfogalmazott eredmények mindegyikét új tudományos eredménynek ismerem el.

A dolgozattal kapcsolatban felmerültek kérdések, amelyeket inkább a jobb megértés érdekében érdemes tisztázni.

1. A kritikus skálával kapcsolatos kérdések:

- (a) A (3.5) egyenlet nullává válása k_c -nél a potenciál konkávává válását jelzi. Ez a szingularitás elkerülhető, ha a valódi vákuum körül fejtünk ki, vagy ha megfelelő változókat használunk a RG egyenletekben. Miért lehet egy ilyen nem-fizikainak tűnő mennyiségnek fizikai tartalmat adni?
- (b) Az IR fixpont véges k_c értékél jelenik meg. Ez mit jelent pontosabban? Miért nevezhetjük mégis "infravörös" fixpontnak? Miért $k_c = 1/\xi$, mikor általában inverz tömegként szokás definiálni?

2. A gravitációval kapcsolatos kérdések

- (a) Lehetne-e mérhető következménye a gravitációban látható fázisátalakulás elsőrendűségének?
- (b) Nem jelenti-e a konform redukált gravitációban a kinetikus tag negatív előjele azt, hogy a teljes (nem konform redukált) rendszernek is van olyan iránya, amely instabil a fluktuációk növekedésével szemben?

3. A valós idejű renormálással kapcsolatos kérdések

- (a) A valós idejű rendszerek renormálásának inkonzisztenciáját lehetséges zaj taggal is figyelembe venni (pl. Feynman-Vernon eljárás). Beépíthető-e ez a szerő által javasolt módszerbe?
- (b) Egy impulzushéj kiintegrálása minden esetben nemlokális járulékok megjelenéséhez vezet (az egy hurok integrálok impulzusfüggése miatt). Miért fontosabb ezen nemlokális járulékok figyelembe vétele a valós idejű renormálásnál, mint az euklideszi esetben? Miért állunk meg a bilokális közelítésnél, amikor multilokális járulékok megjelenésével is számolnunk kell?

Pár elírás:

- (2.1) a kitevőben hiányzik az i .
- A 6.3 fejezetben "A sajátenergia szingularitást mutat a kvázirészecskék tömeghégján..." valójában a propagátor szinguláris a tömeghégjon, a sajátenergia véges marad.

Összességében a dolgozat magas színvonalú tudományos munka, nyilvános vitára alkalmas.

Budapest 2025. január 28.

Jakovác Antal