Vélemény
Nagy Sándor: Renormálási csoport módszer alkalmazása kvantumelméletekben
c. MTA doktori értekezéséről

A renormálási csoport módszer a modern elméleti fizika egyik sarokköve, amely a fázisátalakulásoktól a nagyenergiás fizikáig számos területen alapvető szerepet játszik. Nagy Sándor értekezésének témája a funkcionális renormálási csoport, amit a perturbatív renormálási csoporttal szembe állítva fogalmaz meg. Két fő változatát különbözteti meg: a wilsoni megközelítésen alapuló Wegner-Houghton módszert, valamint az effektív hatás evolúcióját leíró Wetterich-egyenletet.

A szerző téziseit négy fő csoportban fogalmazza meg, amelyek kitérnek a

- skaláris modellek (2D sine-Gordon modell és kiterjesztései, valamint a 3D Φ^4 modell) effektív potenciáljára, ahol megmutatja, hogy a szimmetriasértett fázisban az evolúció egy véges skálán leáll, az IR fixpont nem érhető el. Ezt a jelenséget kvantum cenzúrának nevezi. A tömeges sine-Gordon fázisainak vizsgálatára bevezeti az érzékenységi mátrixot, ami az IR csatolások érzékenységét mutatja a kiinduló UV csatolás értékének függvényében.
- skalártérelméletek infravörös fixpontjára, ahol a sine-Gordon és réteges sine-Gordon modellben, valamint a 2d O(2) modellben végtelen rendű, a tömeges sine-Gordon és d-dimenziós O(N) modellben másodrendű fázisátalakulást talál. Az utóbbinál vizsgálta a funkcionális RG-vel kapott exponenseket, amikről megmutatta, hogy egyeznek az irodalmi eredményekkel.
- Vizsgálta továbbá a gravitáció kvantumelméletének egyik fő alternatíváját jelentő, aszimptotikus biztonságos szcenáriót. Megmutatta, hogy a szimmetriasértett fázisban fellép egy vonzó IR fixpont, ami másodrendű fázisátalakuláshoz tartozik.
  Megmutatta, hogy a regulátor függvényében a Reuter fixpontban a kritikus exponens, de akár a fixpont jellege is változhat, így erre az AB gravitáció modellje lényegében tetszőleges jóslatot adhat. Vizsgálta továbbá a konform redukált AB gravitáció modelljét is.
- Kidolgozott egy valós idejű megközelítést, amit kvantum renormálási csoportnak nevezett el. Érdekessége, hogy ez a megközelítés alkalmas nyílt rendszerek vizsgálatára.

Fenti eredményeit 28, magas színvonalú nemzetközi folyóiratban megjelent cikkben közölte. Teljes munkássága 50 nemzetközi szakcikkből áll, amire összesen több mint 350 független hivatkozás érkezett.

A tézispontokban megfogalmazott eredményeket a jelölt új tudományos eredményeinek ismerem el. Legérdekesebb eredményeinek az aszimptotikusan biztos gravitáció IR fixpontjával kapcsolatos eredményeket, illetve a nyílt rendszerek RG megközelítését látom.

Javaslom az értekezés nyilvános védésre bocsátását, sikeres védés esetén pedig az MTA doktora cím odaítélését.

Megjegyzéseim:

1. A dolgozatban (91. oldal) kijelenti, hogy a sine-Gordon és Thirring modellek kapcsolata csak a β^2=4π pontban áll fenn. Ezzel szemben Coleman úttörő cikkében[1] a kapcsolatot tetszőleges csatolási állandónál igazolja. A β^2=4π pont annyiban speciális, hogy ott a Thirring fermion nemkölcsönható, azaz abban a pontban a sine-Gordon modell egy szabad Dirac fermionnal duális.
2. A dolgozatban írja (55. oldal), hogy: „Sajnos a kísérleti igazolás szinte lehetetlen, ezért nem tudjuk eldönteni, hogy a számos elmélet közül, amely a gravitáció és a kvantumelmélet egyesítését tűzte ki célul, vajon melyik lesz helyes."
   Itt megjegyezném, hogy már léteznek pl. asztrofizikai megfigyelések, amelyek érdemben megszorítják bizonyos potenciális (Lorentz-invarianciát sértő) kvantumgravitációs effektusok skáláját.[2] Ilyen eredmények vannak pl. a szerző által is említett Hořava gravitációra is[3]. Ez annak a fényében is relevánsnak látszik, hogy az értekezés az AB gravitációval kapcsolatban kitér a Lorentz-szimmetria sérülésére (75. oldal).

Kérdéseim:

1. A jelölt alapvetően perturbatív és funkcionális megközelítésre osztja fel a renormálási csoport módszereket. Hogyan illeszkedik ebbe a képbe a rácstérelméletben használt nemperturbatív renormálási csoport, ami a „konstans fizika vonalával" (line of constant physics) operál? Hogyan fogalmazná meg az egyes megközelítések előnyeit és korlátait egymással összehasonlítva?
2. A 2-dimenziós kvantumtérelméletek perturbált konform térelméleti megközelítésében ismeretes, hogy az IR tartományt jellemző mennyiségek, pl. a tömegskála az UV csatolásnak nemperturbatív, sőt kimondottan nemanalitikus függvényei (ld. pl. Zamolodchikov eredményét a sine-Gordon modellben[4]). Van-e ennek valami kapcsolata a jelölt által talált kvantum cenzúrával?

---

[1] S. R. Coleman: "The Quantum Sine-Gordon Equation as the Massive Thirring Model," Phys. Rev. D11 (1975) 2088.

[2] V. A. Kostelecký and M. Mewes: "Constraints on Relativity Violations from Gamma-Ray Bursts," Phys. Rev. Lett. 110 (2013) 201601.
F. Kislat and H. Krawczynski: "Planck-scale constraints on anisotropic Lorentz and CPT invariance violations from optical polarization measurements," Phys. Rev. D 95 (2017) 083013.
LHAASO collaboration: "Stringent Tests of Lorentz Invariance Violation from LHAASO Observations of GRB 221009A," Phys. Rev. Lett. 133 (2024) 071501.

[3] M. Herrero-Valea: "The status of Hořava gravity," Eur. Phys. J. Plus 138 (2023) 968.

[4] Al. B. Zamolodchikov: "Mass scale in the sine-Gordon model and its reductions," Int. J. Mod. Phys. A10 (1995) 1125-1150.

3. A gravitáció kvantumelméletének egy alternatív megközelítése a kauzális dinamikus háromszögelés (causal dynamical triangulation, CDT)[5]. Milyen kapcsolatban van ez az aszimptotikusan biztonságos szcenárióval? Lehet-e a jelölt eredményeiből valamilyen következtetést levonni a CDT megközelítésre vonatkozóan?
4. A szerző kijelenti, hogy „A QCD-ben nagy energiákon a Lorentz-szimmetria sérül" (74. oldal). Ez a kijelentés engem meglepett; pontosan mit jelent ez?
5. A nyílt rendszerek vizsgálatában, a (6.31)-ben felvett bilokális potenciálnak van-e valamiféle fizikai motivációja, vagy pusztán egy egyszerű játékmodellt jelent?

Budapest, 2025. február 8.

Takács Gábor

[5] R Loll: "Quantum gravity from causal dynamical triangulations: a review," Class. Quantum Grav. 37 (2020) 013002.