
Doktori beszámoló - 2. félév

2018/19/2

ELTE TTK Fizika Doktori Iskola
Részecskefizika és Csillagászat Doktori Program

Téma:

A kvantum-színdinamika kritikus pontja

Hallgató:

Varga Zoltán

Témavezető:

Dr. Nógrádi Dániel



ELTE TTK Fizikai Intézet
Elméleti Fizikai Tanszék
2019. június 10.

1 Az aktuális félévben elvégzett kutatások

A QCD fázisdiagramon feltételezett kritikus pont keresése jelenleg is zajlik (LHC, RHIC). Elméleti számolásokkal rendkívül nehéz lokalizálni, mert a fázisdiagram releváns tartományában a perturbációs számítás nem alkalmazható. A nem-perturbatív rács QCD számolásokat pedig a hírhedt előjel-probléma akadályozza. Ennek elkerülésére többféle módszert is megpróbálnak alkalmazni, de eddig még egyik sem vezetett sikerre.

Példaként említhetjük a Taylor-sorfejtést μ -ben vagy az átsúlyozás módszerét [1]. Utóbbi a $T = 0$ és $\mu = 0$ feltételekkel generált konfigurációkból kíván véges hőmérsékletű és kémiai potenciálú konfigurációkra jellemző mennyiségeket kinyerni. Sajnos mindkét említett módszer csak a QCD fázisdiagram egy nagyon kicsi szegmensében működik, amelyre $\mu/T \lesssim 1$.

Az előjel-problémát az okozza, hogy $\mu > 0$ esetén a hatás komplex értékű lesz. Ekkor a funkcionál integrálban található mérték is komplex lesz, fontossági mintavételezést pedig csak pozitív mértékre lehet alkalmazni. Ez a probléma természetesen nem csak véges kémia potenciálnál fordul elő. Jelen van valós idejű Feynman integrálok, nemzérus vákuum fázis (θ) vagy bizonyos más topologikus tagok jelenléte esetén is.

Ezekre az esetekre megoldásként kínálkozik, hogy komplexifikáljuk a konfigurációs terünket. Ez rács QCD esetében azt jelenti, hogy a linkeken ülő SU(3) mátrixokat SL(3, \mathbb{C}) mátrixok váltják fel. Ezután megpróbáljuk az eredeti komplex mértéket az új komplexifikált konfigurációs téren valamely másik mértékkel reprezentálni, amely optimális esetben már pozitív lesz, vagy legalább már nem oszcillál annyira. Ha ezt sikerül kivitelezni, akkor az előjel probléma megoldható vagy legalább is a súlyossága csökkenthető.

Az új mérték alakja nincs egyértelműen meghatározva, ezért többféle megoldás is elképzelhető. Itt említjük meg például a 'Lefschetz thimbles' névvel illetett módszert, amely az integrációs út ügyes megválasztásával kívánja megoldani a problémát.

Egy másik ígéretes alternatíva, amelyre mostantól koncentrálni fogunk, a komplex Langevin módszer. Ez tulajdonképpen a Parisi és Wu által 1981-ben bevezetett stochasztikus kvantálás [2] általánosítása, amely Parisi [3] és Klauder [4] nevéhez fűződik. Az alábbiakban a módszer legfontosabb elemei kerülnek definiálásra.

Tekintsünk a téridő rácson egy x pontból $\vec{\mu}$ irányba mutató linkhez tartozó $U_\mu(x)$ mátrixot, amely az SL(3, \mathbb{C}) csoport eleme. Ekkor egy Langevin lépés egy újonnan bevezetett, fiktív θ idő mentén zajlik, melyet Langevin időnek is hívunk. A fentebb említett mátrix egy kicsi ϵ idővel később a

$$U_\mu(x, \theta + \epsilon) = e^{i\lambda^a X_\mu^a(x)} U_\mu(x, \theta) \quad (1)$$

szabály szerint számolható, ahol λ^a a Gell-Mann mátrixok, $X_\mu(x)$ pedig az úgyneve-

zett drift tag. A drift tag definíciója

$$X_\mu^a(x) = -\varepsilon D_\mu^a(x) S[U(\theta)] + \sqrt{\varepsilon} \eta_\mu^a(x, \theta), \quad (2)$$

ahol $\eta_\mu^a(x, \theta)$ a fehér zaj, amely stochastikussá teszi az elméletet. Itt tehát nem-
nulla kémiai potenciál esetén a hatás már komplex lesz és emiatt a drift tag is,
tehát a Gell-Mann mátrixokat komplex együttható fogja szorozni. A zajra a

$$\langle \eta_\mu^a(x) \eta_\nu^b(y) \rangle = 2\delta^{ab} \delta_{xy} \delta_{\mu\nu}, \quad (3)$$

normálás érvényes, azaz a zaj különböző értékei függetlenek a különböző téridő
pontban, link irányra, Lie algebra elemre. Igaz továbbá, hogy

$$\langle \eta_\mu^a(x) \rangle = 0. \quad (4)$$

A (2)-es egyenletben szereplő $D_\mu^a(x)$ jelölés pedig a jól ismert csoport szerinti
deriváltat jelöli, azaz tetszőleges U mátrixoktól függő $f(U)$ függvényre

$$D_\mu^a(x) f(U) = \frac{\partial}{\partial \alpha} f(e^{i\alpha \lambda^a} U_\mu(x)) \Big|_{\alpha=0}. \quad (5)$$

A komplex Langevin módszer kezdeti népszerűsége hosszú időre visszaha-
gyott miután kiderült, hogy sok esetben nem konvergál az eredmény, sőt esetenként
helytelen eredményhez konvergál. Az utóbbi években azonban sok új eredmény
született vele kapcsolatban [5], többek között bevezetésre kerültek olyan új módsze-
rek, amelyek sok esetben már garantálni tudják a komplex Langevin megfelelő
konvergenciáját. A népszerűsége így ismételten megugrott, de a feltételezett kri-
tikus pont környékén még mindig nem működik.

A félév során a fentebb tömören bemutatott komplex Langevin módszert im-
plementáltam rács QCD számolásokhoz. Bár a módszer nagyon ígéretes, rengeteg
még a tisztázatlan kérdés vele kapcsolatban. A továbbiakban szeretnénk még több
információt szerezni a módszerről és arról, hogy pontosan miért is romlik el, eset-
leg hogyan lehetne ezen javítani.

2 Publikációk

- Varga, Z.; Vértesi, R.; Barnaföldi, G.G. Jet Structure Studies in Small Sys-
tems. Universe **2019**, 5(5), 132. doi:10.3390/universe5050132.
- Varga, Z.; Vértesi, R.; Barnaföldi, G.G. Multiplicity Dependence of the Jet
Structures in pp Collisions at LHC Energies. MDPI Proc. 10 (**2019**) no.1,
3. doi:10.3390/proceedings2019010003.

3 Előadások

- 2019.03.28. ALICE Week, CERN. "Multiplicity dependence of jet structures in ALICE".

4 Külföldi tanulmányút

- Vendégkutató - 1 hónap - Institute of Particle Physics, CCNU, Wuhan, Kína.

5 Oktatási tevékenység

- Termodinamika (ff5t2s05) - Fizika tanárszak, csütörtöki gyakorlat, heti 2 órában.

6 Konferencia és workshop részvételek

- Június 17. és 23. között: The 37th International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2019), Wuhan, Kína.
- Július 21. és Augusztus 9. között: MITP Summer School 2019: Non-perturbative Phenomena and the Early Universe, Mainz, Németország.

7 Tanulmányi tevékenység

- Rácstérelmélet I. EA (FIZ/2/007E)
- Szolitonok és instantonok I. EA (FIZ/2/008E)

8 Hivatkozások

- [1] Z. Fodor, S.D. Katz. Phys. Lett. B534:87-92, (2002).
- [2] G. Parisi and Y-S. Wu, Sci. Sin. 24 (1981) 483.
- [3] G. Parisi, Phys. Lett. 131B (1983) 393.
- [4] J. R. Klauder, Acta Phys. Austriaca Suppl. 25 (1983) 251.
- [5] E. Seiler, EPJ Web Conf. 175 (2018) 01019, MPP-2017-182.