
Doktori beszámoló - 4. félév

2019/20/2

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
2020. május 30.

1 Az eddigi félévekben elvégzett kutatások összegzése és további tervek

Az alábbiakban röviden összegzem a doktori tanulmányaim alatt eddig elvégzett kutatásokat. Az előző félévek kutatásainak részletesebb leírása megtalálható az előző féléves beszámolómban. Mivel több különböző projekten is dolgozom, a kutatási témák többszöri ismétlésének elkerülése végett logikusnak láttam egyetlen fejezetben összegezni a kutatási témákat és egyúttal megadni a rájuk vonatkozó jövőbeli terveket is.

A témavezetőmmel, részletesen foglalkoztunk gluonlabda tömegek rácsrelmélet segítségével való meghatározásával. Ezen tömegek kinyeréséhez fejlesztettem CUDA C kódot, amely az MSc tanulmányaim alatt készített C kód implementálása. Az elmúlt években népszerűen alkalmazott ún. gradiens folyam eljárást használtuk korrelátorok kiszámítására. A jelentős energiabefektetés ellenére úgy tűnik, hogy a gradiens folyam használata sem képes a zaj olyan szintű lecsökkentésére (reális gépidő használata mellett), hogy a korrelátor tömegek egyértelműen kinyerhetők legyenek (bizonyos esetekben ki lehet nyerni, de túlságosan spekulatív az eljárás).

Megpróbálkoztunk a legkülönbözőbb korrelátor konstrukciókkal a rácson, de a működőképesebb konstrukciók hátránya, hogy irreálisan nagy gépidőt követelnek meg, annak ellenére, hogy az algoritmus GPU-ra párhuzamosított. Léteznek egyéb módszerek (pl. korrelátor mátrixok használata), amely talán segíthet. Egyelőre félretettük ezt a kutatási irányt, de mivel a kódba sok energiát fektettünk, ezért amint lesz erőforrás (gépidő és kutatási idő), a projektet folytatjuk.

A magyar ALICE csoport tagjaként jet-analízis kutatásokat is végeztem, amelyekből publikációk is készültek. Többek között proton-proton ütközésekben keletkező jeket szimuláltunk és vizsgáltunk az esemény multiplicitása függvényében. A multiplicitás vizsgálata már önmagában rendkívül érdekes, hiszen az utóbbi években számos meglepő tapasztalat született magas multiplicitású p-p ütközéseket vizsgálva. Például olyan hosszútávú korrelációk és azimutális anizotropia figyelhetők meg, amelyeket csak nehézion ütközésekben várnánk, de p-p ütközés (mint kis rendszer) esetén nem.

A vizsgálataink során elsőként mutattunk rá, hogy a p-p ütközésekben keletkező jetek struktúrájában érdekes statisztikus mintázatok figyelhetők meg. Példaként említve az ún. differenciális jetszerkezet (egyike azoknak a megfigyelhető mennyiségeknek, amellyel a jeket jellemezhetjük) a rekonstruált jet adott sugaránál abszolút független a multiplicitástól. Több szakértővel konzultáltam különböző konferenciákon, de a jelenségre még nincs elfogadható magyarázat. Papp Gábor (ELTE Elméleti Fizikai Tanszék) szintén bekapcsolódott a jelenség elemzésébe és rámutatott, hogy egy nemtriviális skálázási tulajdonságról lehet szó. Tervben

van az eddigi szimulációs adatok statisztikájának növelése és ELTE-s hallgatók bevonása az analízisbe egy TDK projekt keretein belül.

A szimulációink visszadaták a CMS kísérleti adatokat, amelyeken alapultak, de komoly ellenállásba ütköztünk már a publikáció során is, mert ez a multiplicitás-független sugár, mint megfigyelhető mennyiség, 'túlságosan' robusztus (nem csak a jetrekonstrukciós algoritmusokra, de az ún. color-reconnection és multiple-parton interakciókra is), csakis a jetek transzverzális momentumától függ. Többen azt feltételezték, hogy a struktúra minden bizonnyal csak egy artifact, amit maga a szimuláció hoz létre és a kísérleti adatokban egyszerűen nem létezik.

A CERN (és azon belül az ALICE) tagjaként hozzáférést szereztem a kísérleti adatokhoz. A Kínai CCNU egyetemmel (ahol 2 hónapot töltöttem vendégkutatóként) és az Asian-France ALICE csoporttal kollaborálva elkezdtem a kísérleti adatok analízisét és már most látszik, hogy a fentebb említett jelenség a kísérleti adatokban igenis megfigyelhető. Egy ilyen analízis elvégzése sajnos meglehetősen lassú és rengeteg időbe telik, de ha minden jól megy akkor szeretném az elkövetkező néhány hónapban lezárni és eredményeinket publikálni.

A QCD fázisdiagramjának rácstérelméleti szimulációkkal való feltérképezése véges kémiai potenciál mellett rendkívül nehéz a hírhedt előjel-probléma miatt, ami lehetetlenné teszi a szokásos szimulációs algoritmusok használatát. Többek között a fázisátmeneti görbén a cross-over és elsőrendű átmenet szakaszának találkozásánál sejtett kritikus pontot szeretnénk rácsszimulációkkal megtalálni, már ha egyáltalán létezik.

A 3. és 4. félévem legnagyobb részében az egyik ígéretes próbálkozással, a komplex Langevin formalizmussal foglalkoztam, amely a mértékterek komplexifikálásán alapul. A szokásos HMC algoritmus helyett a komplex Langevin formalizmust használva annak ellenére lehet szimulálni, hogy véges kémiai potenciál esetén a fermion determináns komplex értékű lesz. Minden probléma azonban nem oldódik meg, a Langevin algoritmus bizonyos instabilitásokkal rendelkezik. Az utóbbi években bevezetésre került néhány módszer, ami stabilitást eredményez, de sajnos nem garantált, hogy a szimuláció a helyes eredményhez konvergál. Ennek a jelenségnek a tanulmányozásához és megértéséhez komplex Langevin algoritmust fejlesztettem és teszteltem egy meglévő HMC kód felhasználásával. A tapasztalatok azt mutatják, hogy már zérus kémiai potenciál mellett is instabil a szimuláció a numerikus hibák felhalmozódása miatt. Ez azonban azért érdekes, mert zérus kémiai potenciál esetén biztosan nem az előjel-probléma rontja el a szimulációkat, tehát a numerikus hibák lehetnek a felelősek (legalábbis részben) a Langevin szimulációk nem-nulla kémiai potenciálon tapasztalt instabilitásaiért. A következő szakasz a nagyüzemi szimulációk elindítása, amelyek jelentősen nagyobb gépidőt igényelnek.

További terveink a komplex Langevin algoritmus bővítése két módon. Egyfelől szeretnénk átírni a kódot olyan módon, hogy közvetlenül a mértékmező mátrixaink

generátorain végezzük a műveleteket maguk a mátrixok helyett. Azt reméljük, hogy így pontosabb lesz az algoritmus és sikerül megfelelően stabilizálni nulla kémiai potenciálnál. Talán ezáltal véges kémiai potenciálnál is sikerül áttörést elérni. Tudomásunk szerint ezzel a módszerrel behatóan még senki sem próbálkozott. Másfelől szeretnénk a Langevin algoritmust HMC elemekkel kombinálni. Jelenleg az irodalomban csakis minimalista Langevin implementációkról írnak, ahol egyszerű Euler integrációs sémával zajlik a mértékmezők frissítése. Ezen felül senki nem használja (legalábbis senki nem említi az irodalomban) azokat jól bevált módszereket, mint például a többszörös időskála használata, ami rutin eljárás a HMC algoritmusnál. Reményeink szerint ezen módszerek további implementálása segít a Langevin algoritmusnál áttörést elérni.

2 Oktatási tevékenység

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

3 Tanulmányi tevékenység

- Haladó térelmélet EA (FIZ/2/001E)
- Szolitonok és instantonok III. EA (FIZ/2/086)

4 Publikációk

[1] Z. Varga, R. Vértesi, G. G. Barnaföldi, "Jet Structure Studies in Small Systems", Universe 5 (2019) no.5, 132.

[2] Z. Varga, R. Vértesi, G. G. Barnaföldi, "Multiplicity Dependence of the Jet Structures in pp Collisions at LHC Energies". MDPI Proc. 10 (2019) no.1, 3.

[3] D. Nógrádi, L. Szikszai, Z. Varga. "SU(2) Lattice gauge theory with a topological action". JHEP 1808 (2018) 032.

[4] Z. Varga, R. Vértesi, G. G. Barnaföldi, "Modification of jet structure in high-multiplicity pp collisions due to multiple-parton interactions and observing a multiplicity-dependent characteristic jet size". Adv. High Energy Phys. Volume 2019. 6731362.