

Doktoranduszi beszámoló - I. félév

Kapás Kornél

FIZIKA DOKTORI ISKOLA
RÉSZECSKEFIZIKA ÉS CSILLAGÁSZAT



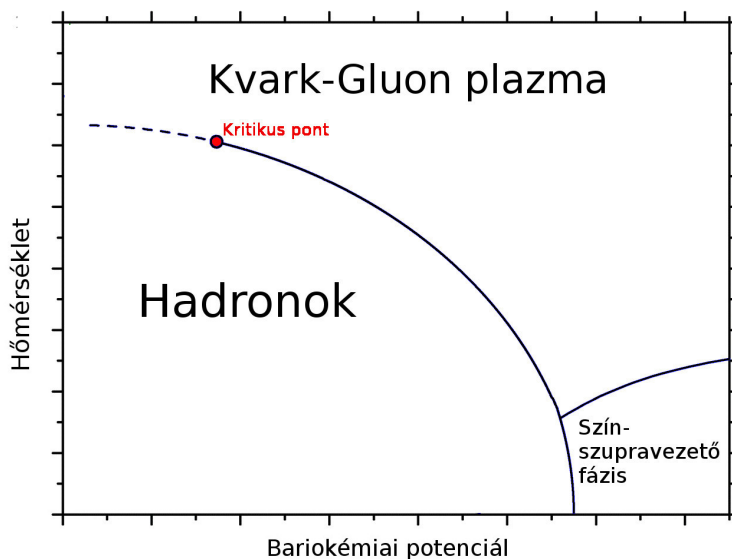
Témavezető

Dr. Katz Sándor
ELMÉLETI FIZIKAI TANSZÉK

1. Kutatási előzmények és jelenlegi munkálatok

1.1. Bevezetés

A hadronokat felépítő részecskék a kvarkok és gluonok, melyek között az erős kölcsönhatás lép fel. Az ezt leíró elmélet a kvantum-színdinamika. Általában a kvarkok mindig kötött állapotban vannak, de szélsőséges körülmények között (mint magas hőmérséklet, vagy sűrűség) az aszimptotikus szabadság miatt mégis kvázi szabad részecskeként viselkednek. E kettő fázis között joggal mondhatjuk, hogy van egy fázisátmenet. Kísérletekből és modellszámításokból feltételezhetjük, hogy alacsony sűrűségnél az átmenet analitikus crossover, magas sűrűségnél elsőrendű, amiből következik, hogy kettőt egy kritikus pont választja el egymástól. Ezen átmenetek közelében a részecskék még erősen kölcsönhatnak, úgynevezett kvark-gluon plazmát alkotnak.



1. ábra. A QCD fázisdiagramja: szaggatott vonal jelöli a crossover-, míg a folytonos az elsőrendű átmenetet.

A ma ismert egyedüli szisztematikus módszer, amivel ezt vizsgálni lehet, a rácstermészet, azonban a kritikus pont helyét még csak véges diszkrétizációjú rácson sikerült meghatározni, tehát nincs kontinuum eredmény belőle.

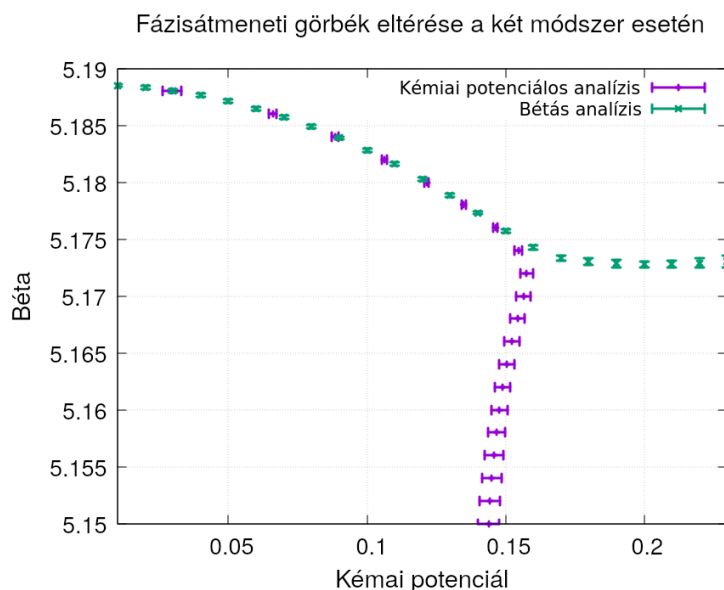
1.2. Előzmények

Doktori iskola kezdetével a mesterképzés alatt végzett munkát folytattam, melynek témája a *kvantum-színdinamika fázisdiagramjának vizsgálata rácsszimulációkkal*. A munkám első része a korábbi eredmények reprodukálása volt az azóta fejlesztett új algoritmusokkal. A kritikus pont helye jelenleg durva, $n_t = 4$ rácson van meg, ahol n_t az euklideszi idő irányú rácspontok száma. A kontinuum határeset kiszámításához finomabb rácson is szükségesek az eredmények, de $n_t = 6$ esetében már nem lehet megtalálni a kritikus pontot. Munkám során egy olyan fermionikus hatással számoltam, ami durva rács mellett is tudja közelíteni a kontinuum határesetet. A hatásban ezt egy folytonosan változtatható paraméterrel lehet hangolni. Ennek függvényében vizsgáltam meg a kritikus pont elmozdulását.

Munkám során Lee-Yang zérusok módszerével számoltam, ahol a β csatolási paraméterben, mint komplex változóban kerestem az állapotösszeg zérushelyeit a kémiai potenciál függvényében. Elsőrendű átmenet esetén a gyökök képzetes része zérus a végtelen térfogati határesetben, tehát amikor a társzerű rácspontok számával a végtelenhez tartunk rögzített rácállandó mellett. Így információt tudunk mondani az átmenet rendjéről, hiszen ahol a képzetes részek végesről zérusra váltanak, oda várjuk a kritikus pontot. Munkám második felében egy új módszert alkalmaztam: a kémiai potenciált tekintettem komplexnek, és ebben kerestem gyököket a valós β paraméter függvényében, egyelőre még kis rácstérfogatokon.

1.3. Kutatási tevékenység

Első félévben a korábban alkalmazott és az új módszert hasonlítottam össze a fázisdiagram meghatározásához nagyobb térfogatokat is felhasználva. Az új módszerhez megírtam egy kódot, amely egy tetszőleges rendű polinom gyökhelyeit megtalálja tetszőleges precízióval. A kémiai potenciálos analízisnél az origóhoz legközelebbi gyöknek vizsgáltam a valós és képzetes részét a β paraméter függvényében. Eredményül pedig azt kaptam, hogy a kétféleképpen kiszámolt görbe egy ideig azonosan halad, de egy ponton drasztikusan eltér egymástól. Egy ilyen esetet mutat a 2. ábra, ami az $n_s = 12$ -es térfogaton készült.



2. ábra. Fázisgörbe alakja a két módszerrel. Jól látható, hogy adott ponton a kettő szignifikánsan eltér egymástól!

E félévi munkám célja ezen eltérés okának keresése volt. Négy különböző térfogatú rácson végeztem a számolásaimat: $4 \cdot 6^3, 4 \cdot 8^3, 4 \cdot 10^3, 4 \cdot 12^3$. Ezek közül a legkisebb nem skálázik jól. A számolások rámutattak, hogy egy adott kémiai potenciál felett (illetőleg adott β alatt, ahogy az ábrán láthatjuk), a két analízis más-más görbét ad meg. Természetesen a kritikus pont helyéhez el kell végezni mind a két esetben a végtelen térfogati extrapolációt. Az eddigi eredmények azt mutatják, hogy csak a β -ás analízis esetében található olyan pont, ahol mind a két paraméter valós értékhez tart az extrapolációban, a kémiai potenciálos analízisnél ilyen eddig nem találtam. Megvizsgáltam, hogy annál a valós β értéknél, ahova a korábbi analízis a kritikus pontot adta, hogyan helyezkednek el az állapotösszeg zérushelyei a komplex kémiai potenciál síkján. A gyökök közül valóban volt a valós kémiai potenciál tengelyéhez közel fekvő gyök, azonban az origóhoz közelebbi

nem ez volt, hanem egy másik komplex érték. Ez az eredmény rámutat arra is, hogy az állapotösszeg konvergenciasugarának nagyságából csupán alsó korlátot lehet adni a kritikus pont helyére, hiszen a fizikailag releváns valós zérushely nem az origóhoz a legközelebbi. A két görbe eltérését valószínűleg az okozza, hogy egy adott értékig a két analízis ugyanazt a gyököt találja meg, majd másikat követnek le a változó paraméter függvényében. Egyik az origóhoz legközelebbit (amiből a konvergenciasugarat lehet számolni), másik a kémiai potenciál valós tengelyéhez közel fekvőt, ami adja a kritikus pont helyét a végtelen térfogati extrapoláció után.

1.4. Tervek és fejlesztett kódok

Továbbiakban feltétlenül szükséges nagyobb térfogatú rácsok generálása és kiértékelése, hogy pontosabban lehessen végtelen térfogati extrapolációt számolni. Ezzel mélyebben megértjük az állapotösszeg zérusainak viselkedését, és megtudhatjuk, hogy a módszerek alkalmazásának milyen helyes kombinációja adhatja a legtöbb információt. Ilyen méretű rácsokból kapott fermionmátrix determinánsának kiértékelése azonban rendkívül időigényes. Korábbi és e félévi munkámnak része, hogy az eddig használt kódoknak megfelelő részeit átírtam grafikus processzorra jelentősen lecsökkentve így a futások időigényét.

2. Oktatási tevékenység

Az általam tartott kurzusok az alábbiak voltak:

- elmfiz1af17ga/1 Elméleti mechanika A (emelt csoport)
- elmfiz1af17ga/2 Elméleti mechanika A (alap csoport)

A kurzusok hetente 90-90 perc kontaktórárt jelentettek. A kurzushoz elkezdtem készíteni egy gépelt feladatgyűjteményt, ami jelenleg több, mint 60 részletesen kidolgozott példát és ugyanennyi gyakorlófeladatot tartalmaz. A feladatsort jövőben tovább fogom bővíteni.

3. Féléves tanulmányok

Az első félévben az alábbi kurzusokat végeztem el az irányított kutatómunka és az oktatás mellett:

- FIZ/2/094E Nagyenergiás nehézionfizika, avagy tökéletes kvarkfolyadék
- FIZ/2/024E Az erősen kölcsönható anyag fázisszerkezete
- FIZ/2/022 A magfizika kísérleti eljárásai

4. Publikációk

Társszerzős publikációk

- 1.) Z. Fodor, M. Giordano, J. N. Guenther, **K. Kapas**, S. D. Katz, A. Pasztor, I. Portillo, C. Ratti, D. Sexty, and K. K. Szabo, “*Searching for a CEP signal with lattice QCD simulations*, Nuclear Physics, Section A, 2018”