

A pályázat öt éve során elsősorban rácstérelmélettel foglalkoztunk, ezen túl az első évben született egy eredmény az asztro-részecskefizika területén. A rácstérelmélet több területén sikerült elsőként végleges, kontinuum eredményeket elérni. Az alábbiakban témák szerint röviden összefoglaljuk a kutatás eredményeit.

QCD termodinamika

Nulla kémiai potenciál mellett meghatároztuk a hadronikus anyag és a kvark-gluon plazma közti átmenet rendjét a kontinuum limeszben [13]. Ez volt az első rácstérelméleti eredmény, melyben fizikai kvarktömegek használata mellett is el tudtuk végezni a kontinuum extrapolációt. Az eredmény azt mutatta, hogy nincs valódi fázisátmenet, csak analitikus crossover. Ebből adódóan különböző mennyiségek különböző átmeneti hőmérséklet értékeket adnak. Három mennyiség segítségével meghatároztuk az átmeneti hőmérsékleteket a kontinuum limeszben [14]. Az eredmény némi meglepetésre azt mutatta, hogy az egyes értékek között 25-30 MeV eltérés is lehet. Később még egy rácsállandón ellenőriztük az átmeneti hőmérsékletek helyességét [28,29]. Két rácsállandónál meghatároztuk az állapotegyenletet [11,12]. Az eredményből az látható, hogy megbízható kontinuum extrapolációhoz további rácsállandókra van szükség.

Meghatároztuk a kvark-kvark potenciált tiszta mértékelméletben [5], valamint a kvark-antikvark potenciált dinamikus QCD-ben az átmeneti hőmérséklet környékén [23].

Az eddigi eredmények szinte kizárólag staggered fermionok használatával készültek. Mivel az egy íz leírására használt gyökvonás problémás, így más diszkretizációkkal is szükséges a QCD termodinamika vizsgálata. A jövőben Wilson fermionokkal fogjuk a QCD átmenetet vizsgálni. Első lépésben egy Wilson-staggered összehasonlító analízist végeztünk három íz használatával [20]. Az eredmények szép egyezést mutatnak a két diszkretizáció között.

A magas hőmérsékleti fázisban a Dirac operátor spektrumát vizsgáltuk. Azt tapasztaltuk, hogy a kis sajátértékek lényegében függetlennek tekinthetők [26,33], a bezáró fázisban pedig a random mátrix modellek által jól leírt korrelációk jelennek meg.

Nem-nulla kémiai potenciál mellett is sikerült új eredményeket elérni. Meghatároztuk a kvark-antikvark potenciált több kémiai potenciál esetén [4,7]. Egy új módszer, az állapotsűrűség módszer lehetővé tette a fázisdiagram meghatározását a korábbiaknál nagyobb kémiai potenciálokra [16]. A nagykanonikus sokaság mellett lehetőség van kanonikus sokaság használatára is. Sajnos a véges sűrűségű QCD-re jellemző előjelprobléma ekkor is megjelenik. A pion szektort megvizsgáltuk ezen módszer segítségével [22]. Ebben az esetben (mivel a barionszám nulla és csak izospin sűrűség van) nincs előjelprobléma és pontosan megkaptuk a több pion állapotok energiáját. Meghatároztuk a μ -T fázisdiagramot kis kémiai potenciálokra 4 rácsállandónál [24]. Ez az első olyan $\mu > 0$ eredmény ahol kontinuum extrapoláció lehetséges. A végleges eredmény publikálása folyamatban van.

A QCD termodinamikáról egy összefoglaló dolgozat is született, mely az elmúlt évek eredményeit tartalmazza [31].

QCD nulla hőmérsékleten

Részletesen megvizsgáltuk, hogy a rácstérelmélettel meghatározható

részecskespektrumban léteznek-e pentakvarkok [1,2,8,9]. Keresztkorrelátorok használatával mindkét paritásatornában meghatároztuk a két legalacsonyabb állapotot és nem találtunk pentakvarkra utaló jelet. Ez összhangban van a későbbi kísérleti eredményekkel.

Meghatároztuk a topológiai szuszceptibilitást tiszta SU(3) mértékelméletben a kontinuum limeszben [19], valamint dinamikus overlap fermionokkal véges rácsállandó esetén [10].

Elsőként kiszámoltuk a hadron spektrumot Wilson fermionokkal a kontinuum limeszben [25,30]. Az eredmény teljes egyezést mutat a kísérleti spektrummal, alátámasztva ezáltal, hogy a QCD alacsony energián is az erős kölcsönhatás helyes elmélete. Nagy pontossággal meghatároztuk a pion és kaon leptonikus bomlási állandóinak arányát [32].

Algoritmusok, számítógép fejlesztés

Az utóbbi években a grafikus kártyák teljesítménye lényegesen gyorsabban növekszik, mint a hagyományos processzoroké. Mivel a grafikus kártyák relatíve olcsón hozzáférhetők, komoly lehetőség rejlik az általános számításokra való felhasználásukban. Implementáltuk a QCD szimulációkhoz szükséges kódokat grafikus kártyákra [17].

Wilson fermionokkal végzett szimulációk során komoly probléma a Dirac operátor spektrumának szórása. Ez különösen kis piontömegek esetén (ahol megjelenhetnek nagyon kicsi sajátértékek) nehezíti a számításokat.

Megvizsgáltuk, hogy a Wilson szimulációkhoz kifejlesztett algoritmusunk mennyire stabil alacsony piontömegek esetén és hogyan skáláznak a hadron tömegek a rácsállandó függvényében [27]. A tapasztalatok nagyon hasznosak voltak a későbbi hadron spektrum számolás során [25].

Overlap fermionokat használó korábbi dinamikus algoritmusunkat továbbfejlesztettük, hogy fix topológiájú szektorokban szimulálva is lehessen eredményeket elérni [6,10]. Mivel tisztán dinamikus overlap hatás használata ma még nagyon számításiigényes, hasznos lehet vegyes hatást használni. Ezt a lehetőséget részletesen megvizsgáltuk (Wilson hatás a konfiguráció generáláshoz, overlap a mérésekhez) [18].

Asztro-részecskefizika

Kozmikus neutrínók az atmoszférában záporokat kelthetnek. Korlátokat adtunk arra a garantált neutrínóspektrumra, mely az ultra-nagy energiás kozmikus sugárzásnak a háttérsugárzáson való szóródása során keletkezik [3].

A kapott korlát azt mutatja, hogy a Pierre Auger kísérlet az elkövetkező évtizedben valószínűleg képes lesz ezen garantált neutrínófluxus detektálására.