

OTKA K-113034 pályázat záró beszámoló

A záróbeszámoló két részből áll. Az első részben részletesebben beszámolok a pályázat utolsó évének eredményeiről, a második részben pedig röviden összefoglalom a pályázat teljes ideje alatt elért főbb eredményeket.

Eredmények 2018-ban

A dinamikus fermionok nélküli (quenched) QCD-ben vizsgáltuk a kritikus hőmérséklet környékén bekövetkező lokalizációs átmenetet overlap fermionok segítségével. A quenched elméletben az alacsony hőmérsékletű bezáró és a magas hőmérsékletű nem bezáró fázist valódi fázisátalakulás választja el. A korábbiakban azt találtuk, hogy a staggered Dirac operátor spektrumának alsó részén a lokalizált állapotok éppen a bezáró-nem bezáró fázisátmenet kritikus hőmérsékleténél jelennek meg, vagyis a lokalizáció és a bezáró fázisátmenet kritikus hőmérséklete megegyezik. Most ezt az eredményt sikerült megerősítenünk az egzakt királis szimmetriával rendelkező overlap Dirac operátor spektrumának vizsgálatával is.

Az overlap operátor, egzakt királis szimmetriájának következtében lehetőséget ad a mértékterben található instantonok és antiinstantonok tanulmányozására is. Az overlap Dirac operátor spektrumában nemcsak a teljes topologikus töltést tükröző egzakt nullmódusok azonosíthatók, hanem az instanton-antiinstanton párok közelítő nullmódusainak keveredéséből kialakuló nullához közeli módusok is. Kimutattuk, hogy ezek a spektrálsűrűségben a nulla közelében egy jól azonosítható csúcsot alkotnak. Ennek segítségével a mértékter konfigurációkon az instantonok és antiinstantonok száma és előfordulási statisztikája is meghatározható. Ez alapján két fő következtetést sikerült levonnunk. Egyrészt, már közvetlenül a kritikus hőmérséklet fölött is az instantonok és antiinstantonok közötti kölcsönhatás elhanyagolható. Másrészt a hozzájuk köthető nullához közeli módusok a Dirac spektrum lokalizált részének csak egy kis hányadát alkotják. Ebből a munkából két konferencia közlemény jelent meg, és folyamatban van egy folyóirat publikáció előkészítése is.

Tovább vizsgáltuk külső mágneses tér hatását a QCD kvark-gluon plazmába történő átmenetére. Korábban az irodalomban ellentmondó eredmények láttak napvilágot azzal kapcsolatban, hogy a külső mágneses tér hatására nő vagy csökken az átmenet közelében fontos szerepet játszó kvark kondenzátum értéke. Az előbbi esetet mágneses katalízisnek, az utóbbit inverz katalízisnek nevezték el. Jelen vizsgálatunkban megmutattuk, hogy a kvarkok tömegének döntő szerepe van abban, hogy az átmenet közelében katalízis vagy inverz katalízis következik be. Meghatároztuk azt a kritikus ud kvarktömeget, amelynél nagyobb tömeg esetén katalízis, kisebb tömeg esetén pedig inverz katalízis következik be. Eredményünk további támpontokat adhat a QCD alacsony-energiás effektív elméletekkel történő vizsgálatához. Ebből a munkából egy beküldött, de még elbírálás alatt álló folyóirat publikáció született

A pályázat főbb eredményei 2015-2018

Implementáltuk a páratlan számú overlap kvark íz hatékony kezelésére alkalmas HMC algoritmust és részben ennek felhasználásával meghatároztuk a QCD topologikus szuszceptibilitását nemcsak a véges hőmérsékletű átmenet közelében, hanem afölött egy széles hőmérséklet-tartományban. Ezt felhasználva becslést adtunk az axion nevű feltételezett részecske tömegére. Az ebből az eredményből született publikáció a Nature-ben jelent meg, majd ugyanezen munka kapcsán a 2017-es rács konferencián (ez a terület legjelentősebb konferenciája, melyet évente rendeznek 300-500 résztvevővel) felkérést kaptunk plenáris előadás tartására.

A QCD-hez hasonló, de dinamikus fermionokat nem tartalmazó (quenched) $SU(3)$ mér-tékelméletben vizsgáltuk a bezáró-nem bezáró fázisátalakulás és a lokalizációs átmenet kapcsolatát. A QCD-vel szemben itt a véges hőmérsékletű átmenet nem cross-over, hanem valódi fázisátalakulás, így van értelme annak a kérdésnek, hogy a Dirac operátor spektrumában magas hőmérsékleten talált lokalizált állapotok ugyanazon a hőmérsékleten jelennek-e meg, mint ahol a fázisátalakulás végbemegy. Mind staggered, mind overlap kvarkok használatával megmutattuk, hogy a lokalizáció és a bezárás kritikus hőmérséklete megegyezik. Az overlap kvark spektrumok vizsgálata lehetővé tette nemcsak a teljes topologikus töltés, hanem külön az instantonok és antiinstantonok számának meghatározását. Ebből kiderült, hogy a topologikus fluktuációkhoz tartozó kvark módusok már a kritikus hőmérséklet közelében is teljes egészében a spektrum lokalizált tartományában vannak, azonban a lokalizált tartománynak csak egy kisebb részét fedik le. Megmutattuk továbbá, hogy már közvetlenül a kritikus hőmérséklet fölött az instantonok és antiinstantonok közötti kölcsönhatás elhanyagolható.

A részecskegyorsítóknak létrehozott nehézion ütközésekben a nagy sebességű ionok erős mágneses teret keltenek, ami befolyásolhatja az ütközés során létrejövő átmenetet a hadronikus fázisból a kvark-gluon plazmába. A mágneses tér kvark-gluon plazmára való hatását leggyakrabban a kvantum-színdinamika közelítéseként előálló alacsony-energiás effektív elméletek keretein belül szokták vizsgálni, azonban az utóbbi években rács szimulációkkal is sikerült vizsgálni ezt a jelenséget. Kiderült, hogy az effektív elméletekkel ellentétben, a rács szimulációk azt mutatják, hogy a véges hőmérsékletű átmenet közelében a külső tér nem növeli, hanem csökkenti a kvark kondenzátumot (inverz mágneses katalízis). Ahhoz, hogy az effektív elméleteket javítani lehessen, fontos feltérképezni az ott használt közelítések érvényességi korlátait. Ennek érdekében vizsgáltuk rácson egyrészt a(z) (inverz) mágneses katalízis kvarktömeg függését, másrészt azt, hogy a kvark állapotok mennyire írhatók le Landau szintek segítségével. Megmutattuk, hogy az inverz katalízis feltétele, hogy a kvarkok elegendően kis tömegűek legyenek, és meghatároztuk a kritikus kvarktömeg (piontömeg) értékét. A kvark spektrumban sikerült kimutatnunk az első Landau szint jelenlétét, és meghatároztuk különböző fizikai mennyiségekhez adott járulékát.