

Végbeszámoló

A kutatás célja nemegyensúlyi jelenségek térelméleti megközelítése volt a részecskefizikában és a kondenzált anyagok fizikájában. Eredményei a következő területeken születtek:

1. QCD effektív elméleteiben ($O(N)$ model, chirális szigma model) a fázisdiagram feltérképezése, a fázisátalakulások vizsgálata.
2. Nehézion ütközések adatainak interpretálása nemkonvencionális statisztika segítségével.
3. Térelméleti számolások konzisztenciájának (felösszegzés és renormálhatóság) vizsgálata egyensúlyi rendszerekben.
4. Nemegyensúlyi elektron eloszlásfüggvény vizsgálata vékony huzalokban, felületi anizotrópia hatása az elektron fázisvesztésre és energia relaxációra.
5. Mágneses szennyezők felületi anizotrópiájának vizsgálata.
6. QCD gerjesztési spektrum vizsgálata fázisátalakulás/átcsapás közelében Monte Carlo szimulációk eredményeinek MEM (maximális entrópia) módszerrel történő kiértékelésével.
7. Az OTKA pályázat futamideje alatt MTA doktori értekezést írt, és azt sikerrel megvédte Jakovác Antal.

Alább röviden részletezem az egyes pontok fizikai tartalmát.

QCD effektív elméleteinek vizsgálata

A QCD termodinamikájának megértése igen fontos a jelenlegi és közeljövő nehézionfizikai kísérletek elemzésénél. Ezért manapság számos csoport foglalkozik a fázisdiagram felderítésével, mind egzakt (Monte Carlo szimulációk), mind a QCD effektív elméleteinek analízisére építő közelítő eljárások segítségével. Mi a chirális kvark modellre alapuló számításokat végeztük el véges hőmérsékleten. A számítások kontroll paraméterét a skalár módusok száma (N) határozza meg: a fermion módusok legalacsonyabb rendű figyelembe vételével $\mathcal{O}(1/\sqrt{N})$ pontosságig kell a diagramokat felösszegezni. Ennek közelítéseként mi eddig a rendig számolt tömeg és csatolási állandó felösszegezést végeztünk. A modell paramétereit nulla hőmérsékleten beállítva véges hőmérsékleten számolható a μ - T síkon felvett fázisdiagram. A konkrét számolásnál $N = 4$ -et választottunk, amely megfelel két nulla tömegű kvarknak, a többi kvark tömege végtelen. A fázisdiagram kvalitatíve megfelel a QCD elvárásainak, kis kémiai potenciál értékeknél másodrendű fázisátalakulást ír le, nagyobb értékeknél elsőrendű fázisátalakulást. A két tartományt trikritikus pont választja el. Kvantitatíve, összehasonlítva a modell eredményeit a létező MC eredményekkel (melyek azonban más fizikai pontban születtek), a nulla

kémiai potenciálnál kapott kritikus hőmérséklet értéke jó egyezést mutat, azonban a trikritikus pont helye erősen eltér a MC szimulációban kapott kritikus végpont helyétől.

A fenti témából több dolgozat született, melyeket a publikációs listában [2, 3, 4] és [11] alatt találhatók.

Nemkonvencionális statisztikák

A nehézionfizikai kísérletek részecskespektrumának érdekes jellemvonása, hogy nagy energián az észlelt kimenő részecskék (pl. pionok) száma nem exponenciálisan, csupán hatványfüggvény szerint elnyomott. Ilyen eloszlás más fizikai rendszerekben is megfigyelhető, ezek jellemzésére dolgozták ki a nem-konvencionális statisztika módszereit. A vizsgálatainkban arra kerestük a választ, hogyan alakulhatnak ki ilyen eloszlások, hogyan jellemezhetők nemkonvencionális egyensúlyi állapotként, és a nehézionfizikai mérések milyen paraméter értékekre vezetnek. [17]-ben megmutattuk, hogy a legegyszerűbb rendszerben, a Brown mozgás Langevin egyenletében fluktuáló csillapodást tekintve az eredményül kapott eloszlás Tsallis eloszlás lesz. [9]-ben az eloszlások jellemzését végeztük el, bevezettük az "energiafüggő hőmérséklet" fogalmát. [15, 16]-ban a fenti módszerekkel nehézionfizikai kísérletek analízise történt meg. Megmutattuk, hogy az energiafüggő hőmérséklet jó közelítéssel lineáris függvény, ez Tsallis eloszlást eredményez.

Felösszegzés és renormálás viszonya

Véges hőmérsékletű és nemegyensúlyi számítások során gyakran találkozunk infravörös érzékeny mennyiségekkel, amelyekre a szokásos perturbatív eljárás nem működik megfelelően. Ilyenkor felösszegzést kell végeznünk, azonban a felösszegzés könnyen tönkretelheti a renormált perturbációs számításban a tagok és ellentagok kényes egyensúlyát, ekkor ultraibolya divergenciákat tapasztalunk. A fenti jelenségek fő oka az, hogy a perturbációs számítás alapját képező perturbálatlan (szabad) rendszer ilyen esetekben túl távol van a valódi rendszertől, vagyis a kölcsönhatások valójában nem kis perturbációk. Ilyen esetekben érdemes a perturbációs számítást a rendszerhez igazítani önkonzisztens egyenletek megoldásával. Ezen program jegyében születtek a [10, 18, 19, 20] publikációk. Ez a sorozat a szatikus felösszegzéstől kezdve az UV-megszorított és végül a teljes impulzusfüggő felösszegzések renormálását írja le renormálási séma választásának segítségével.

Nemegyensúlyi elektron eloszlásfüggvény

A mezoszkopikus mintákbeli transzport napjainkban igen intenzíven kutatott terület. A kvantum koherencia lerombolásáért felelős mechanizmusok feltérképezése alapvető fontosságú. A kísérletek egyrészt a fázisvesztési idő, másrészt a nemegyensúlyi elektron eloszlásfüggvény meghatározására irányulnak. Mindkét fajta kísérlet magyarázatához bizonyos mintákban

mágneses szennyezők jelenlétét feltételezték, s a koncentrációt meghatározták. A kétféle módszer azonban néhány esetben jelentősen eltérő eredményt szolgáltatott. Ennek magyarázata után kutatva szisztematikusan megvizsgáltuk vékony huzalokban a mágneses szennyezők okozta energia relaxációt. A nem-egyensúlyi elektron eloszlásfüggvényt diffúziós Boltzmann egyenlet segítségével írtuk le, ahol vékony mintákban a Boltzmann-kernelben a szennyező spinjének felületi anizotrópiáját és Korringa élettartamát is figyelembe vettük. Megmutattuk, hogy a véges feszültség miatt a vezető logaritmikus közelítés a kísérleti körülményekre alkalmazható, valamint hogy a véges feszültség miatt nem elhanyagolható Korringa élettartam elmosza a Kondo rezonanciákat, s együttes hatásuk a renormalizált csatolási kisimulását és megnövekedését eredményezi. Ezért a kísérleti adatok jól leírhatók egy konstans, ám a csupasz csatoláshoz képest akár 8-10-szeresére is megnövekedett, feszültségfüggő csatolással. Amennyiben a konstans csatolás feszültségfüggése elhanyagolható, az eloszlásfüggvény skálázást mutat a kísérletekkel egyezően. A felületi anizotrópia hatása az energia relaxációra elhanyagolható, míg a fázisvesztési idő mérésekben hatására az "effektív" koncentráció lecsökken. Így a kísérletekből kapott koncentrációk közti eltérésekre a felületi anizotrópia egy lehetséges magyarázatot adhat. [1, 5, 6, 7, 8, 14]

Mágneses szennyezők felületi anizotrópiája

A mágneses szennyezők felületi anizotrópiájának újra vizsgálatát befejeztük. A korábbi, meglehetősen komplikált számolásban a host atom pályák és a vezetési elektronok közötti, a host atom helyzetétől függő hibridizációban az elektronok impulzusától való függést elhanyagolva, az elektronok impulzusát a Fermi impulzussal helyettesítettük. Most megmutattuk, hogy ez a feltevés okozta az anizotrópia nem oszcilláló, $1/d$ -s távolságfüggését. A hibridizáció impulzusfüggését is figyelembe véve megismételtük a korábbi számolást, s eredményül oszcilláló, $1/d^3$ -ös anizotrópiát kaptunk. Az oszcilláló anizotrópiának köszönhetően egész spinek alapállapota szinglett, vagy dublett is lehet a minta szélétől mért távolságtól függően, de megfelelően alacsony hőmérsékleten a spin továbbra is kifagy, hisz az alapállapot-dublett két állapota között nem lehet direkt elektron okozta átmenet. Félegész spinekre az alapállapot mindig dublett, de a korábbiakkal ellentétben az esetek felében most várhatunk kifagyást megfelelően alacsony hőmérsékleten.

A fenti témából készült cikket elfogadták: 1. [24]

QCD gerjesztési spektrum vizsgálata átcsapás közelében

Ha egy rendszerben átcsapással (crossover) történik a "fázisok" váltása, akkor azt várjuk, hogy az egyik fázis jellemző szabadsági fokai (részecskéi) még megfigyelhetők lesznek a másik fázisban egy bizonyos hőmérsékletig. Ennek pontos ismerete szükséges ahhoz, hogy megjósolhassuk az ilyen részecskék megritkulását adott hőmérsékleten (pl. J/Ψ elnyomáshoz). A részecskék súlyát adott hőmérsékleten a hozzá tartozó kvantum csatorna spektrális függvényének

csúcsaiból, illetve a csúcsok alatti terület meghatározásából nyerhetjük. A QCD-ben ezen függvények nem perturbatívok, ezért meghatározásukhoz MC szimulációkat kell alkalmaznunk. Az imaginárius időben kapott korrelációs függvények analitikus kapcsolatban vannak a megfelelő spektrális függvényekkel. A spektrális függvényekre vonatkozó előzetes ismeretek felhasználásával a maximális entrópia módszer (MEM) segítségével invertálhatjuk ezt a függvénykapcsolatot. A brookhaveni BNL-lel együttműködve a [12, 21, 22, 23] dolgozatokban a fenti, és ezt kiegészítő egyéb módszerekkel (mint pl. a véges hőmérsékletű korrelációs függvény és a nulla hőmérsékletű spektrál függvényből előállított próba korrelációs függvény arányának felírása) megvizsgáltuk több kvarkónium állapot spektrumát, és annak hőmérsékletfüggését.

References

- [1] O. Újsághy, A. Jakovác, A. Zawadowski: Nonequilibrium electron energy distribution in the presence of Kondo impurities in the logarithmic approach, Spintronics Meeting, München, 2003. nov. 20-22., 2003
- [2] A. Jakovác and Zs. Szép: Renormalization and resummation in field theories, hep-ph/0408360, Proceedings of SEWM04, Helsinki, Finland, 16-19 Jun 2004., 2004
- [3] A. Jakovác, A. Patkós, Zs. Szép and P. Szépfalusy: The nature of the soft excitation at the critical end point of QCD, hep-ph/0409076, Proceedings of SEWM04, Helsinki, Finland, 16-19 June 2004., 2004
- [4] A. Jakovác, A. Patkós, Zs. Szép, P. Szépfalusy: T-mu phase diagram of the chiral quark model from a large flavor number expansion, Physics Letters B 582, (2004), 179-186, 2004
- [5] O. Újsághy, A. Jakovác and A. Zawadowski: Role of Surface Anisotropy for Magnetic Impurities in Electron Dephasing and Energy Relaxation and their Size Effect, Phys.Rev.Lett. 93 (2004) 256805, 2004
- [6] O. Újsághy, A. Jakovác and A. Zawadowski: Nonequilibrium electron energy distribution in the presence of Kondo impurities in the logarithmic approach, March meeting 2004, Montreal, 22-26 March, 2004., 2004
- [7] O. Újsághy, A. Jakovác and A. Zawadowski: Role of surface anisotropy for magnetic impurities in electron dephasing and energy relaxation, poster in CMD20 conference, Prague, July 19-23, 2004., 2004
- [8] O. Újsághy, A. Jakovác and A. Zawadowski: Role of surface anisotropy for magnetic impurities in electron dephasing and energy relaxation and their size effect, International workshop on Nanoscale Dynamics and Quantum Coherence, Hamburg, September 19-23, 2004., 2004

- [9] T.S. Bíró, G. Györgyi, A. Jakovác and G. Purcsel: Non-Gibbs particle spectra from thermal equilibrium, hep-ph/0409157, 2004
- [10] A. Jakovác and Zs. Szép: Renormalization and resummation in finite temperature field theories, Phys. Rev. D71 (2005) 105001, 2005
- [11] A. Jakovác, A. Patkós, Zs. Szép and P. Szépfalusy: Analytic determination of the T - μ phase diagram of the chiral quark model, Acta Phys. Hung. A22 (2005) 355-362, 2005
- [12] K. Petrov, A. Jakovác, P. Petreczky and A. Velytsky: Bottomonia correlators and spectral functions at zero and finite temperature, Proc. Sci. LAT2005 (2005) 153, 2005
- [13] O. Újsághy and A. Zawadowski: Kondo effect on mesoscopic scale, J. Phys. Soc. Jpn. 74, (2005) 80., 2005
- [14] O. Újsághy, A. Jakovác and A. Zawadowski: Energy relaxation due to magnetic impurities in mesoscopic wires: Logarithmic approach, Phys. Rev. B72 (2005) 205119, 2005
- [15] T.S. Bíró, G. Purcsel, G. Györgyi and A. Jakovác: A non-conventional description of quark matter, J. Phys. G31 (2005) S759-S763, 2005
- [16] T.S. Bíró, G. Purcsel, G. Györgyi, A. Jakovác and Zs. Schram: Power-law tailed spectra from equilibrium, Nucl.Phys. A774 845 (2006) [nucl-th/0510008], 2005
- [17] T.S. Bíró and A. Jakovác: Power-law tails from multiplicative noise, Phys. Rev. Lett. 94 (2005) 132302, 2005
- [18] A. Jakovác: Reconciling resummation and renormalization, PoS JHW2005:023 (2006) [hep-ph/0512292], 2006
- [19] A. Jakovác: Renormalization in momentum dependent resummations, Phys.Rev. D74 085026 (2006) [hep-ph/0605071], 2006
- [20] A. Jakovác: Renormalization of 2PI resummation: A Renormalization scheme approach, hep-ph/0612268, 2006
- [21] A. Jakovác, P. Petreczky, K. Petrov, A. Velytsky: On charmonia survival above deconfinement, 29th Johns Hopkins Workshop in Theoretical Physics: Strong Matter in the Heavens, Budapest 2005 [hep-lat/0603005], 2006
- [22] S. Datta, A. Jakovác, F. Karsch, P. Petreczky: Quarkonia in a deconfined gluonic plasma, AIP Conf.Proc. 842 35 (2006) [hep-lat/0603002], 2006
- [23] A. Jakovác, P. Petreczky, K. Petrov, A. Velytsky: Quarkonium correlators and spectral functions at zero and finite temperature, Phys.Rev. D75 014506 (2007)[hep-lat/0611017], 2007

- [24] O.Ujsaghy, L.Szunyogh, A. Zawadowski: Revised theory of the magnetic surface anisotropy of impurities in metallic mesoscopic samples, Phys. Rev. B75 (2007), in print, 2007