

2. félévi beszámoló
Részecskefizika és Csillagászat Doktori Program
A királis fázisátmenet vizsgálata effektív modellekben
Kovács Győző
Témavezetők: Wolf György, Kovács Péter
2020. június 19.

1. Bevezetés

Az erősen kölcsönható anyag fázisszerkezetében a hadronikus anyagot és a királis szimmetriát mutató quark gluon plazmát a királis fázisátmenet választja el. Az zérus és alacsony μ_B bariokémiai potenciálnál a rács (LQCD) számolások alapján megjelenő crossover típusú és a magas μ_B esetén feltételezett elsőrendű fázisátalakulás között egy kritikus végpont (CEP) megjelenése szükségszerű. Azonban a $\mu_B \geq 300 \text{ MeV}$ tartományba az LQCD nem enged betekintést így jelenleg a CEP szempontjából érdekes régióban csak az effektív modellek eredményeire hagyatkozhatunk. Egy ilyen modell az (axiál)vektor-mezonokkal és Polyakov hurokkal kiterjesztett lineáris szigma modell (EL σ M) [1, 2], amellyel a mesterképzés óta dolgozom. Ebben már korábban sikerült többek között a CEP helyére jóslatot adni ($[T = 0,052, \mu_B = 0,885]$ GeV), azonban a jelenlegi modell bozon szektora inkonzisztens és lehetőség is van a további fejlesztésére.

Kísérletileg a CEP jelenlétére a magasabb rendű általánosított szuszeptibilitásokkal jellemzett barionfluktuációkból következtethetünk. Jelenleg ezekre vonatkozóan azonban csak $\sqrt{s} = 7,7 \text{ GeV}$ energiáig (ami körülbelül $\mu_B = 0,4 \text{ GeV}$ bariokémiai potenciálnak felel meg) van mérésből származtatott eredmény [3]. Így az a tartomány, amelyen a feltételezett CEP várható kísérletileg sem jól feltárt. Ugyanakkor a közeljövőben elinduló FAIR kísérletek során lehetőség nyílik ennél alacsonyabb energiák vizsgálatára is [4].

2. Kutatási tevékenység

A félév során elsősorban az EL σ M modellben az axiálvektor és vektor-mezonok közegbeli tömegének meghatározásával foglalkoztam. A görbületi tömegeket a nagykanonikus potenciálból lehet meghatározni, mint

$$m_{ab}^{2,(i)} = \frac{\partial^2 \Omega(T, \mu_q)}{\partial \varphi_{i,a} \partial \varphi_{i,b}} = m_{ab}^{2,(i)} + \bar{m}_{ab}^{2,(i)}, \quad (1)$$

ahol $m_{ab}^{2,(i)}$ a fa szintű tömegmátrix, $\bar{m}_{ab}^{2,(i)}$ pedig a fermionikus vákuum és termális fluktuáció járuléka. Korábban a skalár és pszeudoskalár mezonok esetén Schaefer és Wagner [5] számolását

követve a fermionikus korrekció számolását redukálni lehetett a fermionikus determináns deriválása helyett csak az adott mezőhöz tartozó sajátérték, mint fermion tömeg, deriváltjára. A vektor és axiálvektor mezonok esetében ez azonban nem működik, mivel a sajátértékek Lorentz index szerint szétválnak és nincs lehetőség egyértelműen meghatározni a görbületi tömegeket. Emiatt a [2] esetében is alkalmazott módszerhez képest egy általánosabb megoldáshoz kellett fordulni és a fermionikus determináns logaritmusából kiindulva a görbületi tömeg mátrix fermionikus járulékat

$$\bar{m}_{ab}^{2,(i)} = \frac{d^2}{d\varphi_a^i d\varphi_b^i} \text{Log Det } M(\varphi_a^i, \varphi_b^i) \Big|_{\varphi_a^i = \varphi_b^i = 0}, \quad (2)$$

alakban felírni, ahol $M(\varphi_a^i, \varphi_b^i)$ a mezon tereket tartalmazó 12×12 -es mátrix. Ezzel a számolás sokkal összetettebbé vált, a megoldásával azonban egyértelműen meg lehetett határozni a görbületi tömegekhez szükséges járulékokat. Utólag kiderült, hogy az egyszerűsített módszer az axiálvektor és vektor-mezonok esetén csak az eredmény egy részét tudja reprodukálni. Ellenőrzésképpen meghatároztam a kiszámolt járulékokat tömegkorrekcióként sajátenergia számolással is. Erre azért volt lehetőség, mert a nulla átmenő impulzussal számolt sajátenergia megegyezik a nagykanonikus potenciálból származó görbületi tömeggel. Az eredmények felhasználásához, az EL σ M-be való beépítéshez a modell újraparaméterezése szükséges, mivel eddig nem volt az (axiál)vektor-mezonokhoz tartozó $g_{(A)V}$ csatolás az illesztett paraméterek között. Ezáltal lehetőség nyílik arra is, hogy meghatározzuk a modellünkben a vektor csatolás értékét. Mind a fent említett számításokról, mind a paraméterezés után a modellben az axiálvektor és vektor-mezonok közegebeli tömegváltozásáról külön publikációt tervezünk. A járulékok meghatározásával foglalkozó cikk már előkészítés alatt áll.

A modell [2] publikációjában a mezonok az effektív hatásban fa szinten vannak kezelve és csak a nyomás számolásánál van figyelembe véve pion, kaon és f_0 mezon egy hurok szintű korrekciója. Ezzel szemben a fermionok már az állapotegyenletben ideális gázként vannak kezelve. Ahhoz, hogy a modellben konzisztens módon ideális gáz szinten kezeljük mind a fermionokat mind a mezonokat további tagok figyelembevételére van szükség már az effektív hatásban. Mindennek a megalapozását is elkezdjük a félév elején és az erre irányuló kutatás lesz következő feladat a görbületi tömegekkel kapcsolatos munka befejezése után. Természetesen a modell fejlesztése közben minden előrelépés után meg lehet majd vizsgálni, hogy mit tudunk mondani az adott szinten a fázisátmenet és a CEP tulajdonságairól.

A félév során szorosán együttműködtünk az Eltéről Szép Zsolttal, akinek jelentős része volt mind a görbületi tömegekkel mind a modell fejlesztésével kapcsolatos számításokban.

3. Publikációk

Az Excited QCD 2020 konferenciához készülő proceedings jelenleg elbírálás alatt áll. Ezen kívül előkészítés alatt van egy publikáció az axiálvektor és vektor-mezonok görbületi tömegének számításából.

4. Tanulmányok

A félév során a következő kurzusokat teljesítettem,

- Haladó térelmélet (FIZ/2/001E)
- Sztandard modell (FIZ/2/002E)

5. Konferenciák és iskolák

A félév során egy konferencián vettem részt, ahol angol nyelvű előadást tartottam. Ehhez sikerült támogatást nyernem a European Cooperation in Science and Technology (COST) programjában (Action: CA15213).

- Excited QCD 2020 Krynica Zdrój, Poland, 2020. február 2-8.
A konferencia honlapja: <https://indico.cern.ch/event/827578/>

Továbbá, még a lezárások előtt részt vehettem egy Firenzében megrendezésre kerülő téli iskolán

- Frontiers in Nuclear and Hadronic Physics 2020 Firenze, 2020 febr. 24. - márc. 6.
Az iskola honlapja: <http://www.ggi.infn.it/showevent.pl?id=341>

Hivatkozások

- [1] D. Parganlija, P. Kovacs, G. Wolf, F. Giacosa and D. H. Rischke, Phys. Rev. D **87**, no.1, 014011 (2013)
- [2] P. Kovács, Z. Szép and G. Wolf, Phys. Rev. D **93**, no. 11, 114014 (2016)
- [3] A. Adare *et al.* [PHENIX Collaboration], Phys. Rev. C **93**, no. 1, 011901 (2016)
- [4] M. Durante *et al.*, Phys. Scripta **94**, no. 3, 033001 (2019)
- [5] B. J. Schaefer and M. Wagner, Phys. Rev. D **79**, 014018 (2009)