

3. félévi beszámoló

Részecskefizika és Csillagászat Doktori Program

A királis fázisátmenet vizsgálata effektív modellekben

Kovács Győző

Témavezetők: Wolf György, Kovács Péter

2021. január 22.

1. Bevezetés

Az erősen kölcsönható anyag fázisszerkezete és azon belül feltételezett kritikus végpont (CEP) tanulmányozása szempontjából is érdekes effektív részecskefizikai modell az (axiál) vektor-mezonokkal és Polyakov-hurokkal kiterjesztett lineáris szigma modell (EL σ M) [1, 2]. Ebben már korábban sikerült többek között a CEP helyére jóslatot adni ($[T = 0,052, \mu_B = 0,885]$ GeV), azonban több lehetőség is adott a továbblépésre. Egyrészt a modell [2] változatában a fermionok csak a skalár és pseudoskalár mezonokkal hatnak kölcsön, amely mellett figyelembe lehet venni a vektorokat és az axiál vektorokat is a fermion-bozon kölcsönhatásban. Másrészt, a mostani hibridnek nevezett közelítésben, míg a fermionokat egyhurok-szinten kezeljük, a mezonoknak csak a fa-szintű járuléka jelenik meg a nagykanonikus potenciálban és az állapot-egyenletekben, ugyanakkor a nyomásban figyelembe vesszük a pion, kaon és az f_0^L termális egy hurok járulékait is. Ezt a bozonikus szektorban megjelenő inkonzisztenciát lehet kezelni a potenciál Gaussi közelítésben való felírásával, azaz mind a mezonok, mind a fermionok egyhurok-szinten történő kezelésével.

A modell továbbfejlesztése után ismét meg lehet vizsgálni a királis fázisátmenetet. A kritikus végpont kérdése még kísérleti oldalról is nyitott, hiszen jelenleg a CEP jelenlétére vonatkozóan csak $\sqrt{s} = 7,7$ GeV energiáig (ami körülbelül $\mu_B = 0,4$ GeV bariokémiai potenciálnak felel meg) van mérésből származtatott eredmény [3]. Ugyanakkor a közeljövőben elinduló FAIR kísérletek során lehetőség nyílik ennél alacsonyabb energiák vizsgálatára is [4].

2. Kutatási tevékenység

A félév során folytattam a korábban megkezdett munkámat, amely az EL σ M továbbfejlesztésére irányul. A modell [2] verziójában a fermion-bozon kölcsönhatást tartalmazó Yukawa tag csupán skalár és pszeudoskalár mezonokat tartalmazta ([2] (1) egyenletének utolsó tagja). Ehelyett használható az (axiál) vektor-fermion kölcsönhatást is tartalmazó

$$\mathcal{L}_Y = \bar{\psi} (i\gamma^\mu \partial_\mu - g_F(S - i\gamma_5 P) - g_V \gamma^\mu (V_\mu + \gamma_5 A_\mu)) \psi \quad . \quad (1)$$

Lagrange függvény. Ez (a jelenlegi közelítésben egy egyhurok-szintű) fermionikus korrekció megjelenéséhez vezet az (axiál) vektor mezonok sajátenergiájában, amely nulla átmenő

impulzusnál megegyezik görbületi tömeg fermionikus járulékkal, amivel az előző félév ideje alatt is foglalkoztam. Fontos megjegyezni, hogy a véges hőmérsékletű számolásnál a sérülő Lorentz szimmetria miatt elkülönül a sajátenergia külső 3-as impulzussal párhuzamos (3-as longitudinális) és arra merőleges (háromszverzális) része, azaz (a vektorok esetén)

$$\Pi^{\mu\nu}(k) = P_L^{\mu\nu} \Pi_L + P_T^{\mu\nu} \Pi_T, \quad (2)$$

ahol

$$P_T^{\mu\nu} = g^{\mu i} \left(\delta_{ij} - \frac{k_i k_j}{\vec{k}^2} \right) g^{j\nu}, \quad P_L^{\mu\nu} = g^{\mu\nu} - \frac{k^\mu k^\nu}{k^2} - P_T^{\mu\nu} \quad (3)$$

és $\Pi_L \neq \Pi_T$. (A vektorok esetében $k_\mu \Pi^{\mu\nu}(k) = 0$ azaz a sajátenergia a 4-transzverzális. Az axiál vektorok esetében a helyzet ennél bonyolultabb.) Ezen kívül a fa-szintű tömegeknél megjelenik a skalár és vektor valamint a pseudoskalár és axiál vektor mezonok keveredése. Ennek feloldására [1]-ben egy eltolást definiáltak az (axiál) vektor terekben, ami megmutathatóan ekvivalens a kevert szektorok fizikai módusainak meghatározásával. A [2] cikk szintjén, azaz $g_V = 0$ esetén a módusokra való felbontás azt eredményezi, hogy a (pseudo)skalárok keverednek az (axiál) vektorok nem propagáló, négyes longitudinális módusával, így megjelennek az [1] (13-14) egyenletében felírt Z faktorok. Az (axiál) vektorok három propagáló módusa azonos tömeggel jelenik meg, azonban a fermionikus járulék figyelembe vételével véges hőmérsékleten ez felhasad, és két módus Π_T egy pedig Π_L korrekcióval módosul. A vektorok esetében, mivel a sajátenergia nem ad négyes longitudinális járulékot, a skalár módus és így a Z faktor nem változik. Mindezekkel kapcsolatban beadás előtt áll egy, az (axiál) vektor görbületi tömegekre épülő publikáció.

A [2] modell bozonikus szektorában meglévő inkonzisztencia feloldásához tovább kell lépni az effektív potenciál közelítésében. A jelenlegi esetben fa-szintű mezonikus és egyhurok-szintű fermionikus járulékot veszünk figyelembe, azaz

$$U(\phi) = U_{Cl}(\phi) + U_f(\phi, \varphi = 0) + U(\Phi, \bar{\Phi}), \quad (4)$$

ahol $\phi = \phi_N, \phi_S$ a nemnulla kondenzátumokat, $\varphi = S, P, V_\mu, A_\mu$ a mezonikus fluktuáló tereket, míg $\Phi, \bar{\Phi}$ a Polyakov-hurok változókat jelöli, az egyes tagok pedig rendre a mezonok, fermionok és a Polyakov-hurok járulékait. Az egyhurok-szintű mezonikus korrekciók figyelembe vételével a

$$-\frac{i}{2} \text{Tr} \int_k \log(i\mathcal{D}^{-1}(k) - \Pi(k)), \quad (5)$$

tag adódik a (4) potenciálhoz, amiben

$$i\mathcal{D}^{-1}(\phi; x, y) = \left. \frac{\delta^2 S_m}{\delta\varphi(x)\delta\varphi(y)} \right|_{\varphi=\phi}, \quad \Pi(\phi; x, y) = \left. \frac{\delta^2 S_Y}{\delta\varphi(x)\delta\varphi(y)} \right|_{\varphi=\phi}, \quad (6)$$

a mezonikus propagátor és az egy hurok fermion sajátenergia a mezonokhoz. A logaritmus kifejtésével az is látható, hogy ez megfelel egy Daisy-felösszegzésnek a sajátenergiában.

A számolások során lokális közelítés használunk. Ez azt jelenti, hogy a sajátenergiát nulla külső impulzusnál vesszük, ami így csak egy tömeg korrekciót jelent. Egy másik lehetséges közelítés a $g_V = 0$ eset használata, amelynél az előző bekezdésben említett (pseudo)skalár-(axiál) vektor fa-szintű keveredés az [1]-ben leírt módon kezelhető. Ebben a közelítésben már sikerült meghatározni a [2] konzisztensé tett effektív potenciálját. A $g_V \neq 0$ eset még kidolgozás alatt áll, amelynek végeztével újabb publikációt tervezünk, ugyanakkor ez már továbblépést is jelent a modell korábbi változatához képest.

Végül fontosnak tartom kiemelni, hogy ezen félév során is szorosán együttműködtünk Szép Zsolttal (MTA-ELTE Elméleti Fizikai Kutatócsoport).

3. Publikációk

Az Excited QCD 2020 konferenciára írt proceedings megjelent az Acta Physica Polonica B folyóirat proceedings seriesében:

— G. Kovacs and P. Kovacs, Acta Phys. Polon. Supp. **14**, 115 (2021)

Ezen kívül beadás előtt áll egy publikáció az EL σ M-beli (axiál) vektor görbületes tömegek egyhurokszintű korrekciójával kapcsolatban.

4. Tanulmányok

A félév során a következő kurzust teljesítettem,

— Asztro-részecskefizika (FIZ/2/132), érdemjegy: jeles

5. Konferenciák és iskolák

Egy online megrendezett konferencián vettem részt, ahol angol nyelvű előadást tartottam,

— Zimányi School 2020 Winter Workshop on Heavy Ion Physics, Budapest, 2020. 12. 7-11.
A konferencia honlapja: <http://zimanyischool.kfki.hu/20/>

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)