

1. félévi beszámoló
Eötvös Loránd Tudományegyetem
Fizika Doktori Iskola
Részecskefizika és Csillagászat Program

Szigeti Balázs Endre
e-mail: szigeti.19968@gmail.com

Témavezető: Dr. Fejős Gergely (ELTE Atomfizikai Tanszék)
A dolgozat címe: Funkcionális renormálási csoport alkalmazása alacsony energiás effektív elméletekben

1. Bevezetés

Modern elméleti és kísérleti fizikai eredmények megmutatták, hogy a természetben megfigyelhető hadronok nem elemi részecskék, hanem kvarkok, illetve a közöttük fellépő erős kölcsönhatást közvetítő gluonok összetett állapotai. A kölcsönhatást leíró kvantumtérelméletet kvantumszíndinamikának nevezzük. Az élvonalbeli kutatások egy meghatározó iránya a kvantum-színdinamika fázis-diagrammjának feltérképezése. A probléma nehézségét az adja, hogy az erős kölcsönhatás alacsony energiájú régióinak tanulmányozása nehézségekbe ütközik, annak nem perturbatív jellege miatt. Az alacsony energiás tartományok vizsgálatára dolgozták ki a például rácstérelméleti módszereket, amelyek esetében viszont problémát jelent a véges bariokémiai-potenciál esetén megjelenő előjel-probléma [1]. Az ilyen régiók vizsgálatában játszanak fontos szerepet az effektív térelméleti módszerek, ahol a szóban forgó energia, vagy hosszúság skálán megjelenő releváns szabadsági fokok alapján konstruáljuk meg a modellt, a rendszer eredeti dinamikai változóinak explicit figyelembevétele nélkül [2].

2. Kutatás

A doktori kutatásom során effektív térelméleti módszerek segítségével a nukleáris gáz-folyadék fázisátalakulást vizsgáltam átlagtérelmélet közelítésben. A nukleáris gáz-folyadék átalakulást részletesen tanulmányozták már királis effektív modellekben mind szimmetrikus és aszimmetrikus maganyag, illetve tisztán neutron anyag esetében [3]. A kutatás során egy S. Floerchinger and

C. Wetterich által alkalmazott lineáris nukleon-mezon modellből indultunk ki [4], ahol a nukleonok közötti kölcsönhatást tömeges skalár-isoskalár $\sigma - \pi$, illetve vektor mezonok ω közvetítik. Fontos újítás, hogy a meglévő modellt kiegészítettem egy fermion paritás dublett mezővel. Az így kapott fermion (Ψ), illetve mirror-fermion (χ) modellben a fermionok, illetve azok paritás partnerei a királis invariancia megkövetelése miatt, a Yukawa-csatoláson keresztül nyernek tömeget a σ skalár-mezon vákuum várható érték által. Emellett lehetőség van egy királisan szimmetrikus tömegtag m_0 bevezetésére, amely amely összekapcsolja a fermion, illetve mirror-fermion mezőket [5]. Az így kapott teljes Lagrange-függvény a következő módon néz ki:

$$\begin{aligned} \mathcal{L} = & \bar{\Psi}_a i\gamma^\nu (\partial_\nu - ig\omega_\nu - i\delta_{0\nu}\mu)\Psi^a + \bar{\chi}_a i\gamma^\nu (\partial_\nu - ig\omega_\nu - i\delta_{0\nu}\mu)\chi^a \\ & - h_1 \bar{\Psi}_a (\sigma + i\gamma_5\tau\pi)\Psi^a - h_2 \bar{\chi}_a (\sigma - i\gamma_5\tau\pi)\chi^a - m_0 (\bar{\Psi}\gamma_5\chi - \bar{\chi}\gamma_5\Psi) \\ & \frac{1}{2}\Phi_{ab}^* (-\partial_\nu\partial^\nu)\Phi^{ab} + \frac{1}{4}\omega_{\mu\nu}\omega^{\mu\nu} + \frac{1}{2}m_\omega^2\omega_\nu\omega^\nu + U(\rho) - U_{SB}(\sigma). \end{aligned}$$

ahol,

$$\Phi_{ab} = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}}(\sigma + i\pi^0) & i\pi^- \\ i\pi^+ & \frac{1}{\sqrt{2}}(\sigma - i\pi^0) \end{pmatrix}$$

$$U(\rho) = \frac{1}{2}m_\pi^2(2\rho - f_\pi^2) + \frac{1}{8}\lambda(2\rho - f_\pi^2)^2 + \frac{1}{3}\frac{\gamma_3}{f_\pi^2}(2\rho - f_\pi^2)^3 + \frac{1}{4}\frac{\gamma_4}{f_\pi^4}(2\rho - f_\pi^2)^4 \quad (1)$$

$$U_{SB}(\sigma) = m_\pi^2 f_\pi (\sigma - f_\pi) \quad \rho = \frac{1}{2}(\sigma^2 + \pi^2) \quad (2)$$

Az így meghatározott Lagrange-függvényből meghatároztam a tömeg sajátállapotokhoz tartozó sajátállapotokat (feltételezve, hogy nem jön létre pion kondenzáció), majd ezeket azonosítottam a kísérletileg mért nukleon és rezonancia állapotokkal [6]. A fázisátalakulás tényleges vizsgálatához meghatároztam az adott hőmérsékleten és adott kémiai potenciál mellett az effektív kvantum potenciált átlagtérközelítésben [7]. Ennek alakja a következő:

$$U(\sigma, \omega_0, T, \mu) = U_{vac} - 4P_{fermion}(T, \bar{\mu}, m_+) - 4P_{fermion}(T, \bar{\mu}, m_-). \quad (3)$$

ahol a $P_{fermion}$ a kölcsönhatás mentes Fermion-Dirac gáz, a $\bar{\mu}$ az effektív kémiai potenciál, a m_\pm tömeg sajátértékek.

Ennek vizsgálata után a következő lépést az átlagtérközelítésen túli mezonikus fluktuációk hatásának vizsgálata jelenti egy adott Λ skálán, amelyet meghatározhatunk a k skála paramétertől függő effektív potenciálra (Γ_k) vonatkozó Wetterich-flow egyenlet megoldásával [8], amelynek az alakja a következő:

$$k\partial_k\Gamma_k = \frac{k^4}{6\pi^2} \left[\frac{1}{2\omega_{k,\sigma}} \left(1 + 2n_B(\omega_{\sigma,k}) \right) + \frac{3}{2\omega_{k,\pi}} \left(1 + 2n_B(\omega_{\pi,k}) \right) \right] - \frac{1}{3\pi^2} \frac{k^4}{\omega_k^\pm} \sum_{\pm} \left[1 - n_F(\omega_k^\pm + \bar{\mu}) - n_F(\omega_k^\pm - \bar{\mu}) \right],$$

ahol n_B és n_F rendre a Bose-Einstein és Fermi-Dirac eloszlások, $\omega_{i,k}$ pedig a különböző hadronokhoz tartozó energiákat jelölik. A keresett effektív potenciál meghatározásához szükség van ennek a nemlineáris differenciálegyenletnek a megoldására, ami numerikus módszerekkel történik, ennek keresése folyik jelenleg.

3. Féléves tanulmányok

A félév során a következő három kurzust végeztem el:

- FIZ/2/020E - Algebrai Térelmélet - Vecsernyés Péter
- FIZ/2/009E - Szolitonok és Instantonok II. -Nógrádi Dániel
- FIZ/2/016E - Véges hőmérsékletű kvantumtérelmélet és asztrofizikai alkalmazásai - Szép Zsolt

4. Oktatási tevékenység

A félév során az Alkalmazott Fizikai Módszerek Laboratórium keretein belül tartottam Folyadékszceintillációs Spektroszkópia mérést.

5. Publikációk

A félév során egy korábban beküldött konferencia proceedingssem jelent meg.

1. Estimating compressibility from maximal-mass compact star observations, Gergely G. Barnaföldi, Péter Pósfay, Balázs E. Szigeti and Antal Jakovác, The European Physical Journal Special Topics volume 229, pages3605–3614(2020)

6. Konferencia részvétel

A félév során a következő konferenciákon vettem részt:

- 20th Zimányi School, Winter Workshop on Heavy Ion Physics, Budapest, 2020
- ELTE ÚNKP Zárókonferencia

7. Referenciák

1. I. Montvay, G. Münster, Quantum fields on a lattice, (1994),
2. C. P. Burgess, Introduction to Effective Field Theory, (2020.)
3. M. Drews, W. Weise, arXiv:1610.07568
4. S.Floerchinger and C. Wetterich, Nucl.Phys.A 890-891 (2012) 11-24
5. C. DeTar and T. Kunihiro, Phys. Rev. D39 (1989) 2805
6. D. Jido, M. Oka, A.Hosaka, Prog.Theor.Phys.106:873-908,2001
7. J.I. Kapusta and C. Gale, Finite-temperature field theory, (2006.)
8. J. Berges; N. Tetradis; C. Wetterich, Phys. Rep., 363 (4–6): 223–386, (2002.)