双対ギンツブルグ・ランダウ理論における有限密度でのカイラル対称性

高知大学理学部
岩崎　正春

ハドロン間の強い相互作用を記述すると考えられている量子色力学(QCD)は非可換ゲージ理論であり、その強結合性のため、低エネルギー領域において非摂動論的取扱いが必要となる。QCD の代表的な非摂動論的現象に、「クォークの閉じ込め」と「カイラル対称性の自発的破れ」があり、これをQCD に基づき説明することが必要である。QCD 赤外有効理論の中で「クォークの閉じ込め」を記述できるものの一つとして、金沢グループにより提唱されている、双対 Higgs 機構を仮定した「双対ギンツブルグ・ランダウ理論」(DGL) がある。この理論は、アーベリアンゲージ固定 と呼ばれる't Hooft のアイデアに基づきモノポールの自由度を導入し、QCD 真空は超伝導の双対な状態であるとして構築されている。今回は、この理論を用いてカイラル対称性について研究した。

DGL によるこれまでの研究では、モノポール凝縮がカイラル対称性の自発的破れに大きく寄与していること、有限温度においてカイラル対称性が回復すること等が示されている。QGP 等の現実的な系は有限温度・有限密度であり、有限密度の効果を考慮するのは非常に重要である。そこで、ここでは有限密度におけるカイラル対称性について DGL を用いて議論する。

具体的には、クォーク系を準粒子 Fermi ガスと見なし、クォークプロパゲーターとして次の形を仮定する。

$$G(k) = (\not{k} + M(k))[\frac{1}{k^2 - M^2(k) + i\epsilon} + \frac{i\pi}{E_k}\delta(k_0 - E_k)\theta(k_F - |\boldsymbol{k}|)]$$

ここで、$D_{\mu\nu}$はモノポール凝縮中のグルーオンのプロパゲーターである。この式を Schwinger-Dyson 方程式へ代入し、DGL から導かれるアーベリアングルーオンプロパゲーターと Rainbow 近似を用いて、クォークの有効質量 $M(p)$ に対する方程式を求める。それから、数値計算によってクォークの有効質量を求め、さらにそれを用いてクォーク対凝縮の値$<\bar{\psi}\psi>$を求めた。

クォークの有効質量に対する方程式において、クォークの有効質量を実数であると仮定すると、その方程式はクォークの有効質量 $M(p)$ を p_0 と $\boldsymbol{p}$ の二変数関数 $M(p_0, \boldsymbol{p})$ として,

$$M(p_0^2, \boldsymbol{p}^2) = m_0 + \int_{|\boldsymbol{k}|>k_F} \frac{d^4k}{(2\pi)^4} Q^2 \frac{M(k_0^2, \boldsymbol{k}^2)}{k^2 + M^2(k_0^2, \boldsymbol{k}^2)} D_\mu^\mu(p-k)$$

となる。$m_0 = 0$ のカイラル極限において計算すると、密度 (ここでは k_F) を大きくすれば、M は小さくなる。これはクォークマターによる Pauli 原理によってクォークの有効質量の増加が抑制されるため、と解釈される (クォークマターの Blocking 効果)。さらに、クォーク対凝縮 $<\bar{\psi}\psi>$ の値も密度を上昇させると減少することが示された。つまり、有限密度においてカイラル対称性が部分的に回復することがわかった。

[参考文献]

S.Maedan and T.Suzuki,Prog.Theor.Phys.81(1989)229

H.Suganuma,S.Sasaki and H.Toki,Nucl.Phys.B435(1995)207