Latent Heat in the Chiral Phase Transition

高知大理　岩崎正春
東工大理工　木内一佳志

クォーク物質の有限温度 (密度) における振舞い，特にカイラル相転移に伴う潜熱について QCD-like 理論を用いて議論する．今までに，クォーク物質のカイラル相転移は NJL モデルや QCD-like モデルを用いて調べられており低密度で２次相転移，高密度で１次相転移することが分かっている．ここでは１次相転移の際に放出される潜熱について QCD-like モデルによる計算結果を報告する．以下，記号等は文献 (2) のそれに従う．

温度 T 化学ポテンシャル μ におけるクォーク物質の熱力学ポテンシャル Ω は論文 (2) より次のように与えられる．

$$\Omega(\mu,T) = 2\xi T \sum_n \int \frac{d^3p}{(2\pi)^3}\left[-\log(\Delta^2(p)-\overline{p}^2)+\frac{\Delta^2(p)}{\Delta^2(p)-\overline{p}^2}\right]. \qquad (1)$$

ここで $\Delta(p)$ はクォーク対の期待値 $<\bar{\psi}\psi>$ であり，カイラル相転移のオーダーパラメーターである．その値は熱力学ポテンシャルの極小条件 (ギャップ方程式) により決定される．

$$\Delta(p) = 4T \sum_n \int \frac{d^3q}{(2\pi)^3}\frac{g^2}{-(p-q)^2}\frac{\Delta(q)}{\Delta^2(q)-\overline{q}^2}. \qquad (2)$$

この方程式は自明な解 $(\Delta = 0)$ とカイラル対称性が自発的に破れた解 $(\Delta \neq 0)$ をもつ．ここでは論文 (2) に従ってギャップ関数を真空での関数形に仮定する．

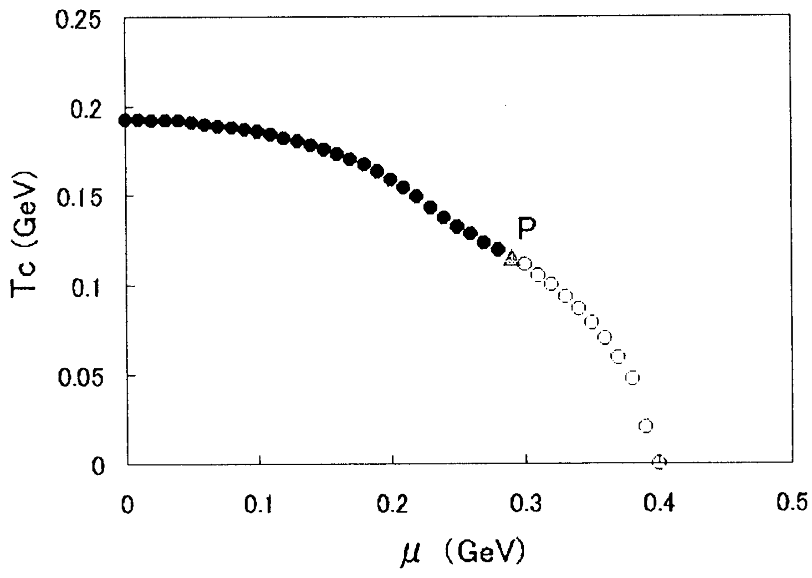

図 1: 相図，P は三重臨界点

$$\Delta(p) = \frac{\sigma}{-p^2 + p_R^2}(\log[(-p^2 + p_R^2)/\Lambda_{QCD}^2])^{\frac{a}{2}-1}, \tag{3}$$

右辺の係数 σ を変化させて熱力学ポテンシャルを極小にすることによりギャップ方程式を解く．種々な温度と化学ポテンシャルに対してギャップ方程式を解くことにより次の相図 (図１) が得られる．

２次相転移から１次相転移へ移行する点 $P(T_P = 100\text{MeV}, \mu_P = 300\text{MeV})$ は三重臨界点と呼ばれる特異点である．

１次相転移にともなう潜熱は２つの相でのエントロピー差 ΔS で与えられる．エントロピー S が熱力学ポテンシャルの微分 $S = -d\Omega/dT$ で表せることから潜熱は次式で表される．

$$Q_l = T_c \Delta S_{T_c,\mu} = -T_c \frac{d\Delta\Omega}{dT}|_{T=T_c}. \tag{4}$$

この式を数値計算した結果を図２に示す．

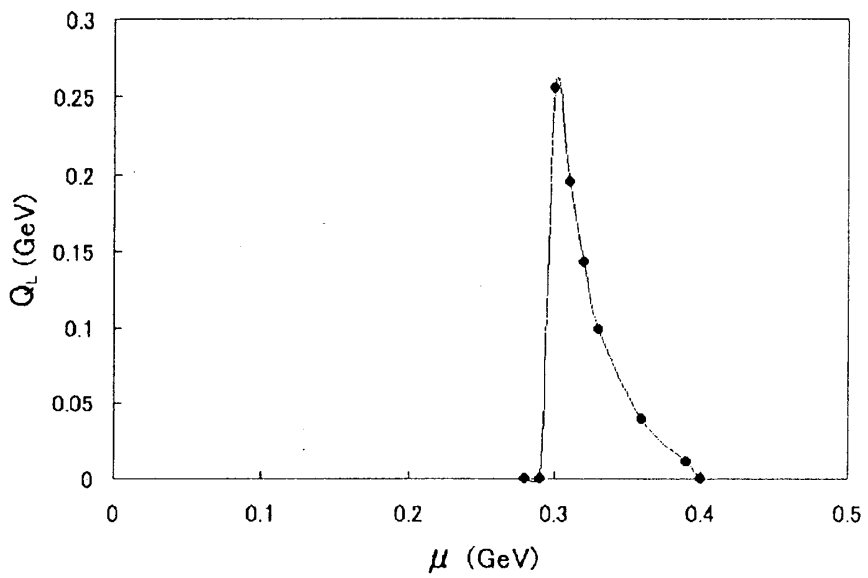

図 2: 潜熱

潜熱は三重臨界点の近傍で増大する ($Q_l \sim 250\text{MeV}$) という特徴的な振舞を示す．この潜熱は高エネルギー重イオン反応で中心部でできる QGP の冷却現象の過程で観測されるかもしれない．すなわち相転移温度において潜熱が放出粒子の運動エネルギーの形で現れる可能性がある．

参考文献

(1) M.Asakawa and K.Yazaki, Nucl. Phys. A504 (1989), 668.

(2) O.Kiriyama, M.Maruyama and F.Takagi, Phys. Rev. D62 (2000), 105008.

(3) M.Iwasaki and H.Kiuchi, Phys. Rev. D68 (2003), 014014.