グルーオン多体系に対する変分法的アプローチと輸送係数

－ Variational approach to the gluon fields and its appliaction to transport coefficients －

高知大学大学院総合人間自然科学研究科

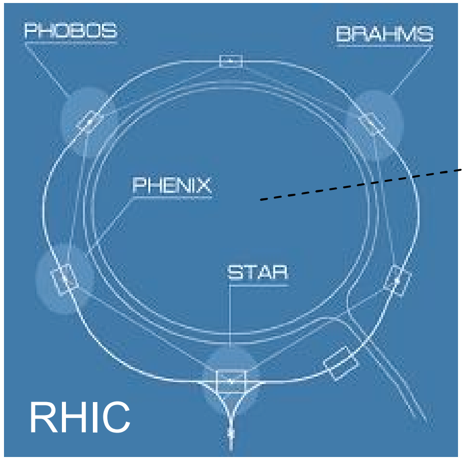
李　東奎

高知大学理学部

津江　保彦　　石井　洋史

Introduction

ずれ粘性係数



RHICで生成されたQGP

⇩

“完全流体”

に近い!!

クォーク・グルーオン物質の物性を探る

↓

輸送係数（ずれ粘性係数）を調べることが重要！

ピュアグルーオン物質を考える！

- Shear Viscosity

$$\eta_C = d_f \frac{T^3}{g^4 \log(1/g^2)}$$

(up to the lowest order of QCD coupling constant g)

A. Hosoya and K. Kajantie, Nucl. Phys. B250 (1985), 666.

⇨

主にQCDの結合定数 g の
最低次よりも
高次の寄与に重点を置く

量子グルーオン場の変分方程式

Liouville-von Neumann型の方程式

簡約化された密度行列

$$\mathcal{M}^{ij}_{ab}(\mathbf{x},\mathbf{y},t) = \begin{pmatrix} -i\langle \hat{A}^a_i(\mathbf{x},t)\hat{E}^b_j(\mathbf{y},t)\rangle - \frac{1}{2} & \langle \hat{A}^a_i(\mathbf{x},t)\hat{A}^b_j(\mathbf{y},t)\rangle \\ \langle \hat{E}^a_i(\mathbf{x},t)\hat{E}^b_j(\mathbf{y},t)\rangle & i\langle \hat{E}^a_i(\mathbf{x},t)\hat{A}^b_j(\mathbf{y},t)\rangle - \frac{1}{2} \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} -2i(G\Sigma)^{ab}_{ij}(\mathbf{x},\mathbf{y},t) & G^{ab}_{ij}(\mathbf{x},\mathbf{y},t) \\ \frac{1}{4}(G^{-1})^{ab}_{ij}(\mathbf{x},\mathbf{y},t) + 4(\Sigma G\Sigma)^{ab}_{ij}(\mathbf{x},\mathbf{y},t) & 2i(\Sigma G)^{ab}_{ij}(\mathbf{x},\mathbf{y},t) \end{pmatrix}$$

平均場の周りの揺らぎ：$\begin{cases} \hat{A}^a_i(\mathbf{x},t) = A^a_i(\mathbf{x}) - \overline{A}^a_i(\mathbf{x},t) \\ \hat{E}^a_i(\mathbf{x},t) = E^a_i(\mathbf{x}) - \overline{E}^a_i(\mathbf{x},t) \end{cases}$

$\Downarrow$

量子グルーオン場に対する運動方程式

$$i\dot{\mathcal{M}}^{ab}_{ij}(\mathbf{x},\mathbf{y},t) = [\tilde{\mathcal{H}},\mathcal{M}]^{ab}_{ij}(\mathbf{x},\mathbf{y},t)$$

$$\tilde{\mathcal{H}}^{ab}_{ij}(\mathbf{x},\mathbf{y},t) = \begin{pmatrix} \lambda^{ij}_{ab}(\mathbf{x}) & \delta_{ij}\delta^{ab} \\ \Gamma^{ij}_{ab}(\mathbf{x},t) & \lambda^{ab}_{ij}(\mathbf{x}) \end{pmatrix} \delta^3(\mathbf{x}-\mathbf{y})$$

$$\begin{cases} \Gamma^{ab}_{ij}(\mathbf{x},t) = K^{ab}_{ij} + g^2\left(S^k T^c \langle \mathbf{x}|G|\mathbf{x}\rangle\right)^{ab}_{ij} \\ \qquad\qquad + \frac{g^2}{2}(S^k T^c)^{ab}_{ij}\mathsf{Tr}[S_k T^c\langle \mathbf{x}|G|\mathbf{x}\rangle] \\ \lambda^{ab}_{ij} = -ig\omega^p f^{pab}\delta_{ij} = g(\omega^p T^p)^{ab}_{ij} \end{cases}$$

量子グルーオン物質の輸送係数

久保の線形応答理論による輸送係数へのアプローチ

平均場 $\overline{A}$ からの粘性係数・・・「古典的な流体」

$\longrightarrow$ 最低次に寄与

量子揺らぎ $\hat{A}$ からの粘性係数・・・「量子的な流体」

$\longrightarrow$ 高次に寄与

ずれ粘性係数（Shear Viscosity）

$$\eta(\omega) = \frac{i}{\omega}\left[\Pi^{\mathrm{R}}(\omega) - \Pi^{\mathrm{R}}(0)\right]$$

$$\Pi^R(\omega) = -i \lim_{\epsilon \to +0} \int_0^\infty dt \int d^3\mathbf{r}\ e^{i\omega t - \epsilon t} \langle [T_{12}(\mathbf{r}, t), T_{12}(\mathbf{0}, 0)] \rangle_{\mathrm{eq}}$$

$$T_{12}(\mathbf{r}, t) = -E_1^a(\mathbf{r}, t) E_2^a(\mathbf{r}, t) - B_1^a(\mathbf{r}, t) B_2^a(\mathbf{r}, t)$$

Lowest order approximation

$$T = 0$$

$$\eta(\omega) = 0 \quad \text{for } O(g)$$

$$T \neq 0$$

$$\eta(\omega) = 0 \quad \text{for } O(g^0)$$

量子グルーオンからの

ずれ粘性係数への寄与は

結合定数 g の最低次までで**ゼロ！**

まとめと展望

- 量子グルーオン場に対する変分法を構成

量子グルーオン場の運動方程式
　→ Liouville-von Neumann型の方程式

- 輸送係数（ずれ粘性係数）の評価

$$\eta_C = d_f \frac{T^3}{g^4 \log(1/g^2)} + \cdots + a + bg + \ldots$$

今回、g^0 と g^1 の係数 a と b（部分的）を評価した。
　→ a=0、b=0（温度ゼロ）

- さらに高次での輸送係数、その他の輸送係数

Bulk Viscosity

$$\zeta \propto [T_{ii}(\mathbf{r}, t), T_{ii}(\mathbf{0}, 0)]$$

- グルーオン系への他の応用

グルーボールの質量計算など…