ゲージ・重力対応を用いた非平衡定常状態における熱力学的性質の研究

松本 匡貴 (KEK)
E-mail : masata@post.kek.jp

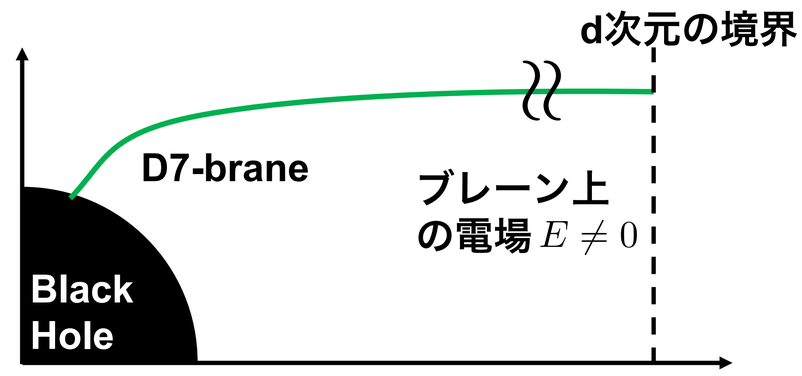
Introduction

◆ ゲージ・重力対応とは…

(d+1)次元の重力理論とd次元の場の量子論が理論的に等価であるという仮説。

◆ D3-D7モデルによる荷電粒子伝導系 A. Karch and A. O'Bannon, JHEP 09 (2007) 024.

D3-D7モデル

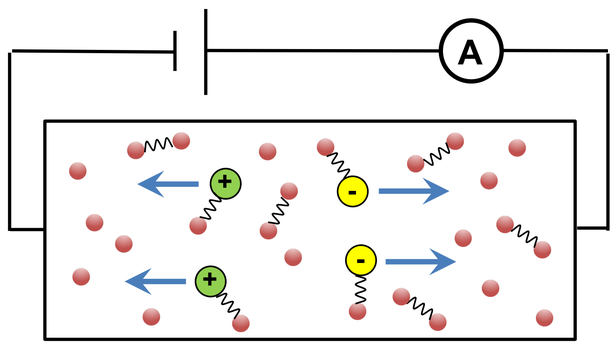


(d+1)次元 曲がった時空中にD7ブレーンがある系

$\sim$ 等価

対応する場の量子論

電場 $E \neq 0$　　電流 $\langle J \rangle \neq 0$



d次元 強い相互作用が働く電気伝導系

DBI作用: $S_{D7} = -T_{D7} \int d^8\xi \sqrt{\det(g_{ab} + (2\pi\alpha')F_{ab})}$

Ansatz { D7-brane embedding: $\theta(z)$; gauge field: $A_x(t,z)$ }

$$\theta(z) = m_q z + \frac{1}{2}\left(\frac{\langle \bar{q}q \rangle}{N} + \frac{m_q^3}{3}\right) z^3 + \cdots$$

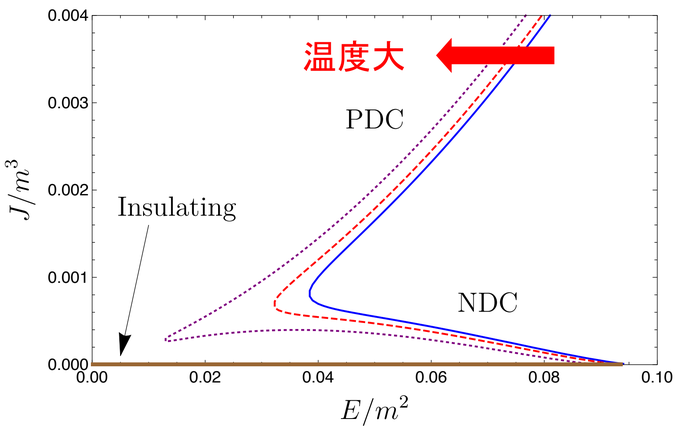
$$A_x(t,z) = -Et + \frac{J}{2N} z^2 + \cdots$$

m_q : quark mass
$\langle \bar{q}q \rangle$: chiral condensate
J : current density

研究目的

◆ 先行研究

非線形な電流-電場特性を示し、電場に対して電流が多価になる領域が存在する。



PDC相とNDC相との間で相転移？
この領域における熱力学的な振る舞いは？

◆ 本研究の目的

電場固定の下で温度を変化させ熱力学的性質、特に平衡系でエントロピーに対応する物理量を計算し、その振る舞いを調べる。
（AdS境界における発散の繰り込み処方や有限繰り込みの任意性を考える必要がない。）

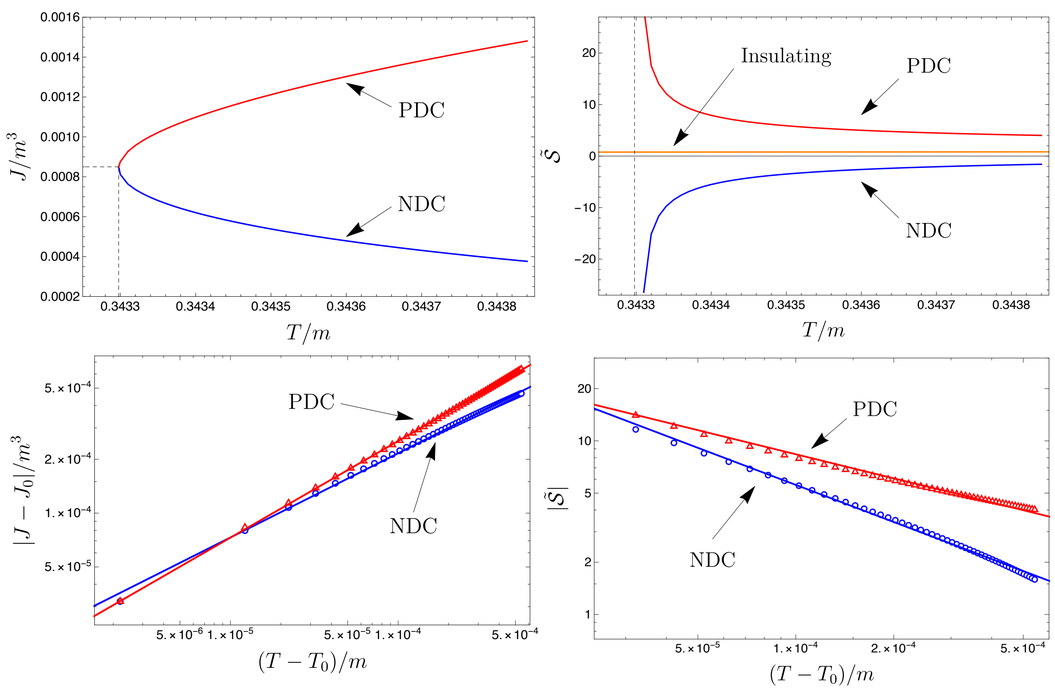
$$\tilde{S}_{D7}\Big|_{\text{on-shell}} = \mathcal{N}V \int_{\epsilon}^{z_*-\epsilon_*} dz \left[\frac{1}{z^5} - \frac{\theta_0^2}{z^3} - \frac{(2\pi\alpha')^2}{2}\frac{E^2}{z} + \mathcal{O}(z)\right]$$

$$F \equiv -\frac{1}{\mathcal{N}V}\left(\tilde{S}_{D7}\Big|_{\text{on-shell}} + L_1 + L_2 + L_f + L_F\right)$$

$$\mathcal{S} = -\frac{\partial F}{\partial T} \approx -\left[\frac{F(T+\Delta T) - F(T)}{\Delta T}\right] = -\frac{1}{\Delta T}\left[\int_{\epsilon}^{z_*-\epsilon_*} dz \Delta\mathcal{L}_{D7} + \Delta L_2 + \Delta L_f\right]$$

結果

熱浴温度に対する電流とエントロピーの振る舞い

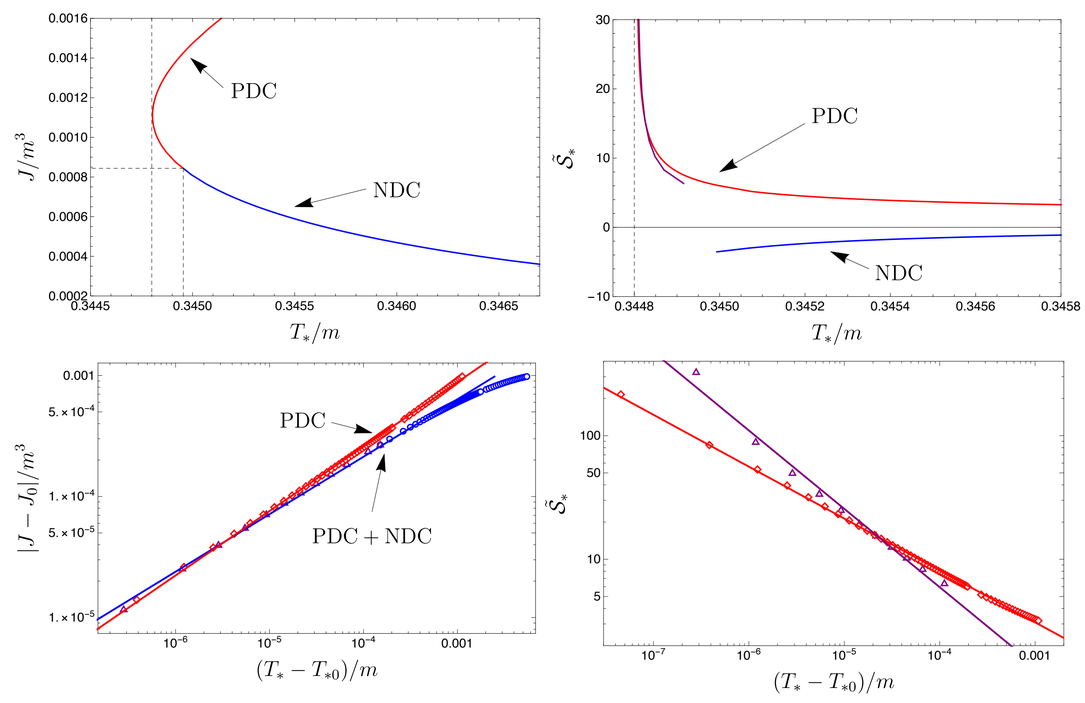


$$\left|\tilde{J} - \tilde{J}_0\right| \propto \begin{cases} (\tilde{T} - \tilde{T}_0)^{0.471} & \text{(NDC)}, \\ (\tilde{T} - \tilde{T}_0)^{0.540} & \text{(PDC)}, \end{cases} \qquad \left|\tilde{J} - \tilde{J}_0\right| \propto \begin{cases} (\tilde{T}_* - \tilde{T}_{*0})^{0.496} & \text{(PDC for } J < J_0), \\ (\tilde{T}_* - \tilde{T}_{*0})^{0.532} & \text{(PDC for } J > J_0), \end{cases}$$

$$|\tilde{\mathcal{S}}| \propto \begin{cases} (\tilde{T} - \tilde{T}_0)^{-0.710} & \text{(NDC)}, \\ (\tilde{T} - \tilde{T}_0)^{-0.461} & \text{(PDC)}, \end{cases} \qquad \tilde{\mathcal{S}}_* \propto \begin{cases} (\tilde{T}_* - \tilde{T}_{*0})^{-0.634} & \text{(PDC for } J < J_0), \\ (\tilde{T}_* - \tilde{T}_{*0})^{-0.420} & \text{(PDC for } J > J_0), \end{cases}$$

where $\tilde{T} = T/m$ and $\tilde{J} = J/m^3$.　　where $\tilde{T}_* = T_*/m$ and $\tilde{J} = J/m^3$.

有効温度に対する電流と有効エントロピーの振る舞い



- NDC相のエントロピーは負
- 絶縁相への転移は一次相転移的
- 冪乗則に従う振る舞い

まとめ

- Fを非平衡定常状態の自由エネルギーとみなしエントロピーを計算。
- NDC相のエントロピーは常に負となる。
- エントロピーが温度に対して冪乗的振る舞いを示す。