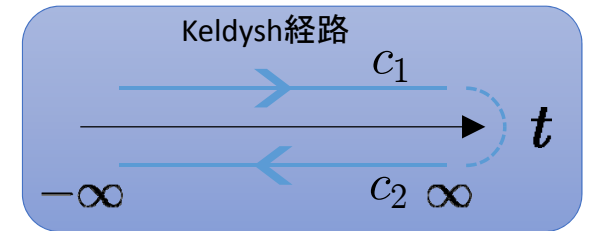


熱的状況下の自由度二重化

早大基幹理工 桑原 幸朗、中村 祐介、山中 由也



- 熱的状況下の場の量子論系
 - 実時間形式での『二重化』
eg 2×2 -matrix propagator
 - CTP (Closed Time Path/Keldysh-Schwinger) と TFD (Thermo Field Dynamics)
 - 『二重化』の起源は量子論
- 二重化を中心にTFDの深い理解
- TFDの応用 (冷却原子系 明日中村、桑原)

- CTP: 時間依存演算子の量子論期待値が T 積期待値となるため

$$\begin{aligned} \langle \psi_H(t) \rangle &= \left\{ \langle \varphi | \psi_H(t) | \varphi \rangle \quad \text{or} \quad \text{Tr} [\rho \psi_H(t)] = \sum_n p_n \langle \varphi_n | \psi_H(t) | \varphi_n \rangle \right\} \\ &= \langle U(-\infty, \infty) U(\infty, t) \psi(t) U(t, -\infty) \rangle = \langle S^{-1} T [\psi(t) S] \rangle \\ &= \langle T_c [\psi(t) S_c] \rangle \quad \left[\psi_1(t), \psi_2^\dagger(t) \right]_{\mp} \neq 0 \end{aligned}$$

- 時間軸の二重化であって、演算子の二重化ではない

- TFD: 自由度二重化で混合状態期待値を純粋状態期待値 a と $\tilde{a}$ 独立な自由度

$$\rho_0 = (1-f) \sum_m f^m |m\rangle \quad \text{幾何分布} \quad [a, \tilde{a}] = \dots = 0$$

$$\langle 0_{\text{th}} | = \sum_m \langle m, \tilde{m} |, \quad |0_{\text{th}}\rangle = (1-f) \sum_m f^m |m, \tilde{m}\rangle$$

$$\text{Tr} [\rho_0 F(a, a^\dagger)] = \langle 0_{\text{th}} | F(a, a^\dagger) | 0_{\text{th}} \rangle$$

a. 密度行列の立場から nonequilibrium TFDを導く

Y. Nakamura and Y. Yamanaka, Ann. Phys. (N.Y.) 331 (2013) 51-69

- 幾何分布？
- 時間依存thermal Bogoliubov変換？

b. 自由度二重化された古典力学から nonequilibrium TFDを導く

Y. Kuwahara, Y. Nakamura and Y. Yamanaka, arXiv:1307.1235 [quant-ph]

- 自然にTFDが導かれること
- 密度行列・統計力学を使わない

熱的状況下で自由度二重化が本質

• Hamilton's Principle with Initial Data

C.R. Galley, Phys. Rev. Lett. 110, 174301 (2013)

- 従来のHamilton's Principleはboundary value problem
- 導かれる運動方程式はinitial value problem
- 環境変数などを消去して、熱的状況を (nonconservative, dissipative, irreversible) 記述する運動方程式はHamilton's Principleから導けない

• Initial dataのみを使うHamilton's Principleの提案

- 時間軸を二重化し、自由度二重化 $\Leftrightarrow$ CTP

