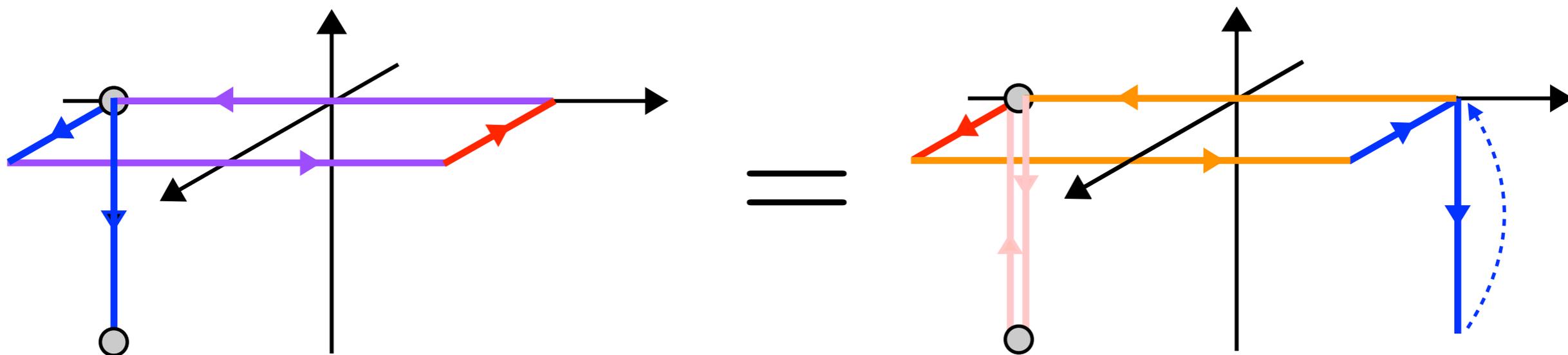


Schwinger-Keldysh形式における 量子揺らぎの定理



熱場

本郷 優 (理研、iTHES)

の量子論とその応用、西暦2016年8月22日、理研

巨視的普遍法則：

巨視的普遍法則：

$$dS \geq 0$$

巨視的普遍法則：熱力学第三法則

熱力学第三法則

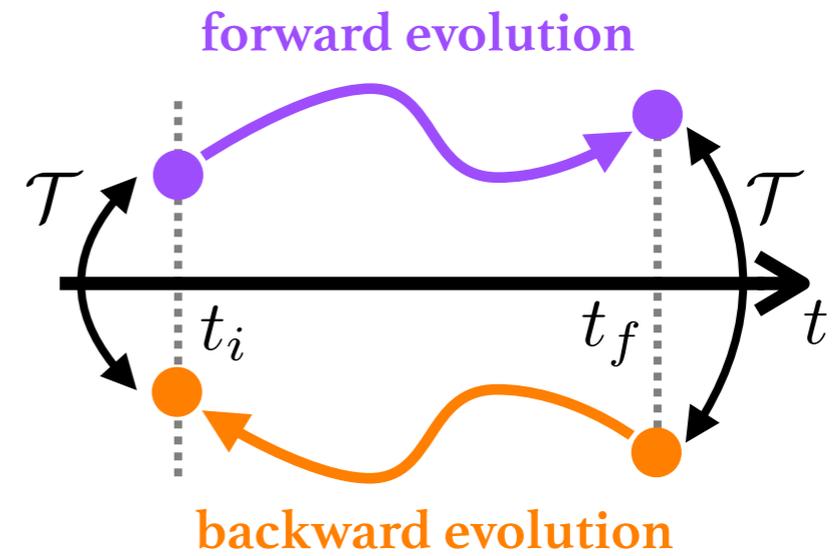
$$dS \geq 0$$

微視的正当化：揺らぎの定理

微視的正当化：揺らぎの定理

エントロピー生成 σ の確率分布 $P_F(\sigma)$ に関する恒等式

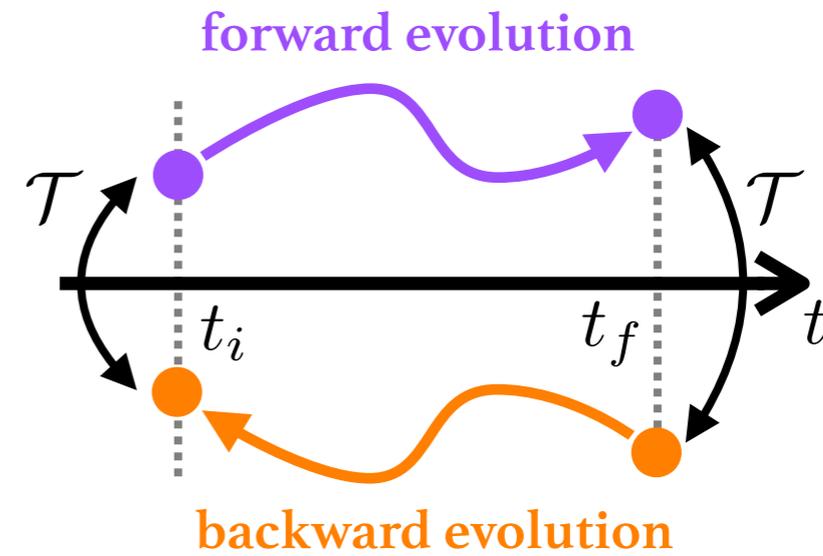
$$\frac{P_F(\sigma)}{P_R(-\sigma)} = e^\sigma$$



微視的正当化：揺らぎの定理

エントロピー生成 σ の確率分布 $P_F(\sigma)$ に関する恒等式

$$\frac{P_F(\sigma)}{P_R(-\sigma)} = e^\sigma$$

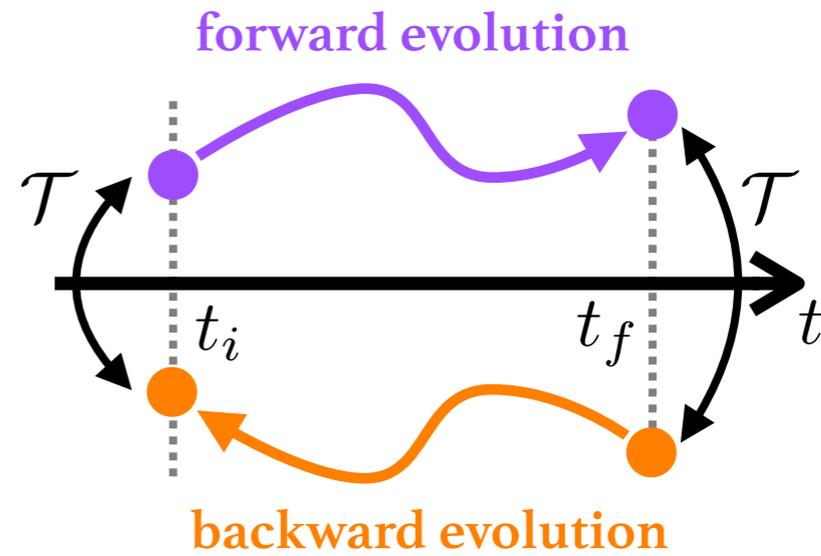


➔ $\langle e^{-\sigma} \rangle_{P_F} = 1 \Rightarrow \langle \sigma \rangle_{P_F} \geq 0$: 熱力学第**三**法則!

微視的正当化：揺らぎの定理

エントロピー生成 σ の確率分布 $P_F(\sigma)$ に関する恒等式

$$\frac{P_F(\sigma)}{P_R(-\sigma)} = e^\sigma$$



➔ $\langle e^{-\sigma} \rangle_{P_F} = 1 \Rightarrow \langle \sigma \rangle_{P_F} \geq 0$: 熱力学第 三 法則!

エントロピー生成 σ の生成関数 $G_F(z)$ に関する恒等式

$$G_F[z; J_1, J_2] = G_R[-z + i; J_1, J_2]$$

$$\text{with } G_{F/R}[z; J_1, J_2] = \int d\sigma e^{iz\sigma} P_{F/R}[\sigma; J_1, J_2]$$

生成関数による揺らぎの定理の表現

— エントロピー生成 σ の生成関数 $G_F(z)$ に関する恒等式 —

$$G_F[z; J_1, J_2] = G_R[-z + i; J_1, J_2]$$

$$\text{with } G_{F/R}[z; J_1, J_2] = \int d\sigma e^{iz\sigma} P_{F/R}[\sigma; J_1, J_2]$$

生成関数による揺らぎの定理の表現

エントロピー生成 σ の生成関数 $G_F(z)$ に関する恒等式

$$G_F[z; J_1, J_2] = G_R[-z + i; J_1, J_2]$$

$$\text{with } G_{F/R}[z; J_1, J_2] = \int d\sigma e^{iz\sigma} P_{F/R}[\sigma; J_1, J_2]$$

$$G_F[z; J_1, J_2] = \text{Tr} \left(e^{-\hat{S}[J_i]} \hat{U}_{J_2}^\dagger e^{i\hat{S}[J_f]z} \hat{U}_{J_1} e^{-i\hat{S}[J_i]z} \right)$$

$$\text{with } \hat{S}[J] \equiv \beta(\hat{H}[J] + F[J])$$

生成関数による揺らぎの定理の表現

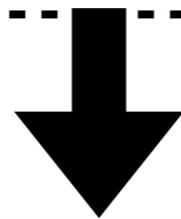
エントロピー生成 σ の生成関数 $G_F(z)$ に関する恒等式

$$G_F[z; J_1, J_2] = G_R[-z + i; J_1, J_2]$$

$$\text{with } G_{F/R}[z; J_1, J_2] = \int d\sigma e^{iz\sigma} P_{F/R}[\sigma; J_1, J_2]$$

$$G_F[z; J_1, J_2] = \text{Tr} \left(e^{-\hat{S}[J_i]} \hat{U}_{J_2}^\dagger e^{i\hat{S}[J_f]z} \hat{U}_{J_1} e^{-i\hat{S}[J_i]z} \right)$$

$$\text{with } \hat{S}[J] \equiv \beta(\hat{H}[J] + F[J])$$



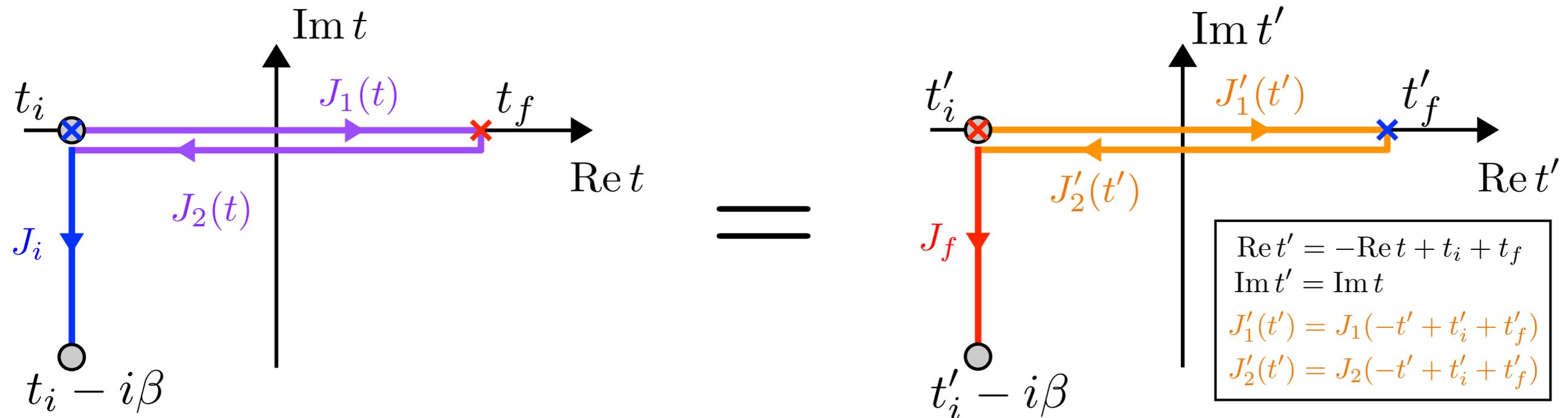
量子揺らぎの定理の経路積分表示？

揺らぎの定理の経路積分による表現

$$G_F[z; J_1, J_2] = G_R[-z + i; J_1, J_2]$$

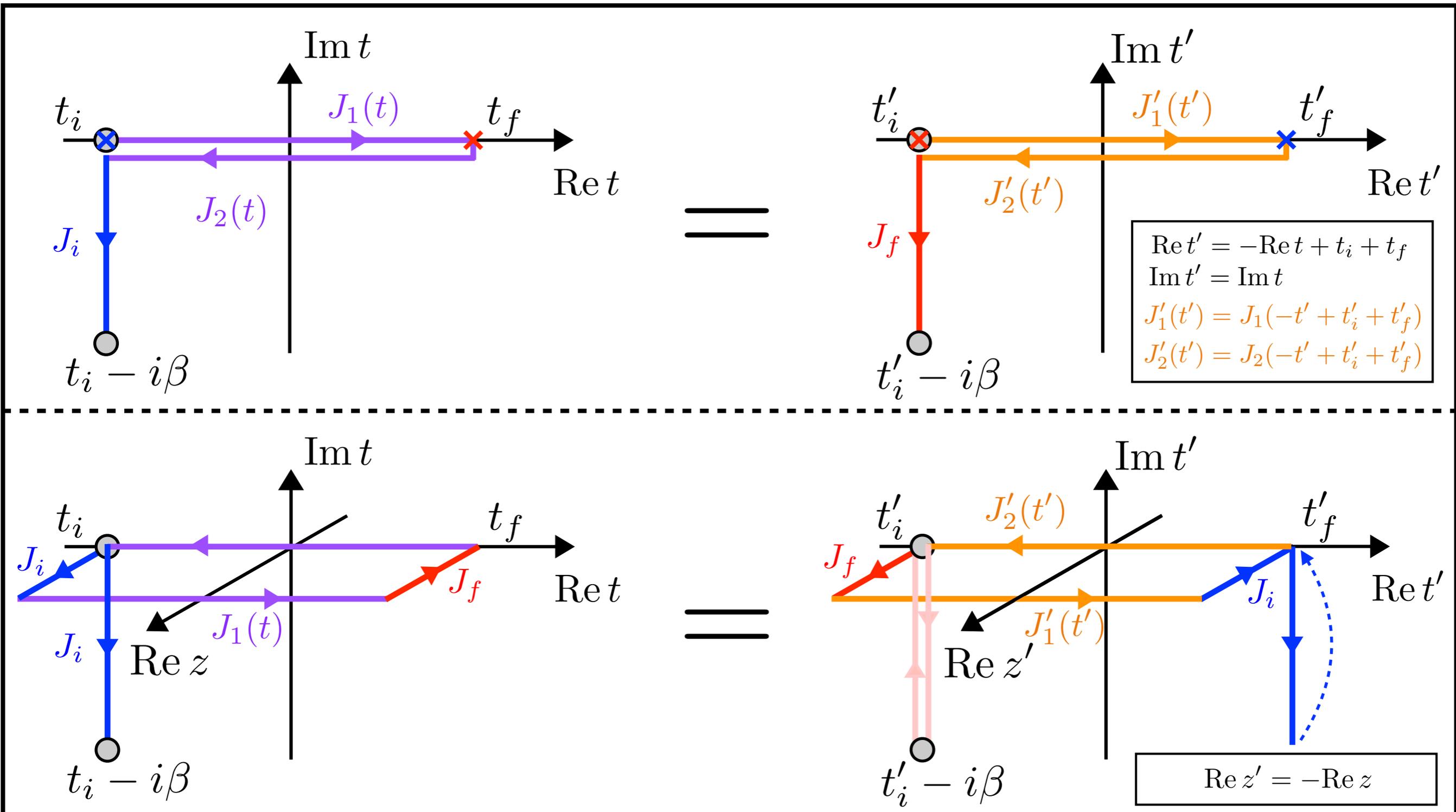
揺らぎの定理の経路積分による表現

$$G_F[z; J_1, J_2] = G_R[-z + i; J_1, J_2]$$



揺らぎの定理の経路積分による表現

$$G_F[z; J_1, J_2] = G_R[-z + i; J_1, J_2]$$



予告：Black hole & Holography

予告：Black hole & Holography

Q. 揺らぎの定理のHolographic dualな表現は何か？

予告：Black hole & Holography

Q. 揺らぎの定理のHolographic dualな表現は何か？

Boundary

Bulk

場の理論の熱力学エントロピー	\Leftrightarrow	AdS Black holeのエントロピー
熱力学第貳法則	\Leftrightarrow	Black holeの熱力学第貳法則

予告：Black hole & Holography

Q. 揺らぎの定理のHolographic dualな表現は何か？

Boundary

Bulk

場の理論の熱力学エントロピー

\Leftrightarrow

AdS Black holeのエントロピー

熱力学第貳法則

\Leftrightarrow

Black holeの熱力学第貳法則

量子揺らぎの定理

\Leftrightarrow

??

予告：Black hole & Holography

Q. 揺らぎの定理のHolographic dualな表現は何か？

Boundary

Bulk

場の理論の熱力学エントロピー

\Leftrightarrow

AdS Black holeのエントロピー

熱力学第**三**法則

\Leftrightarrow

Black holeの熱力学第**三**法則

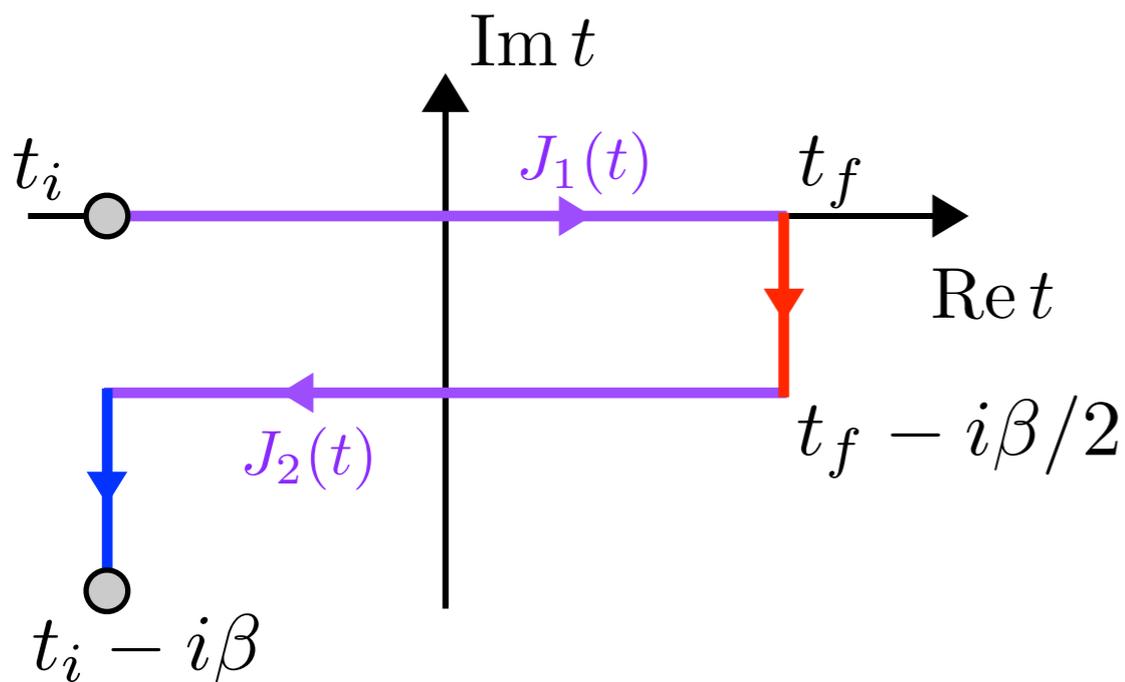
量子揺らぎの定理

\Leftrightarrow

??

◆ [参考] 実時間形式のHolographic dual

ペンローズ図 (を寝かせたもの)



$=$

