

非平衡 Thermo Field Dynamics に基づいた 非平衡定常状態の解析

今井 良輔, 中村 祐介, 桑原 幸朗, 山中 由也

早稲田大学大学院 基幹理工学研究科 電子物理システム学専攻

2015/09/01

基研研究会「熱場の量子論とその応用」

非平衡 Thermo Field Dynamics に基づいた非平衡定常状態の解析

非平衡 Thermo Field Dynamics に基づいた非平衡定常状態の解析

非平衡 Thermo Field Dynamics (非平衡 TFD) とは？

Thermo Field Dynamics (TFD)

[H. Umezawa, *Thermo Field Dynamics and Condensed States* (1982)]

- ▶ 有限温度の場の量子論の一形式
- ▶ 自由度の二重化と粒子数分布 n_k に依存した Bogoliubov 変換を基礎とする
- ▶ 熱的真空と準粒子描像が明確に定義される

非平衡 Thermo Field Dynamics (非平衡 TFD) とは？

Thermo Field Dynamics (TFD)

[H. Umezawa, *Thermo Field Dynamics and Condensed States* (1982)]

- ▶ 有限温度の場の量子論の一形式
- ▶ 自由度の二重化と粒子数分布 n_k に依存した Bogoliubov 変換を基礎とする
- ▶ 熱的真空と準粒子描像が明確に定義される

↓ 非平衡系を記述するために拡張 $n_k \rightarrow n_k(t)$

非平衡 Thermo Field Dynamics (非平衡 TFD) とは？

Thermo Field Dynamics (TFD)

[H. Umezawa, *Thermo Field Dynamics and Condensed States* (1982)]

- ▶ 有限温度の場の量子論の一形式
- ▶ 自由度の二重化と粒子数分布 n_k に依存した Bogoliubov 変換を基礎とする
- ▶ 熱的真空と準粒子描像が明確に定義される

↓ 非平衡系を記述するために拡張 $n_k \rightarrow n_k(t)$

非平衡 TFD

[H. Umezawa, *Advanced Field Theory: Micro, Macro, and Thermal Physics* (AIP,1993)]

- ▶ 時間依存する Bogoliubov 変換を用いる
- ▶ 非平衡であっても Feynman diagram が使える

非平衡 Thermo Field Dynamics (非平衡 TFD) とは？

Thermo Field Dynamics (TFD)

[H. Umezawa, *Thermo Field Dynamics and Condensed States* (1982)]

- ▶ 有限温度の場の量子論の一形式
- ▶ 自由度の二重化と粒子数分布 n_k に依存した Bogoliubov 変換を基礎とする
- ▶ 熱的真空と準粒子描像が明確に定義される

↓ 非平衡系を記述するために拡張 $n_k \rightarrow n_k(t)$

非平衡 TFD

[H. Umezawa, *Advanced Field Theory: Micro, Macro, and Thermal Physics* (AIP,1993)]

- ▶ 時間依存する Bogoliubov 変換を用いる
- ▶ 非平衡であっても Feynman diagram が使える

非平衡 TFD は熱平衡での形式をベースとしている

非平衡 Thermo Field Dynamics に基づいた非平衡定常状態の解析

非平衡 Thermo Field Dynamics に基づいた非平衡定常状態の解析

非平衡定常状態とは？

- ▶ 巨視的な物理量が時間変化しない

非平衡定常状態とは？

- ▶ 巨視的な物理量が時間変化しない
- ▶ 熱平衡ではない

非平衡定常状態とは？

- ▶ 巨視的な物理量が時間変化しない
- ▶ 熱平衡ではない
- ▶ 代表的な例 → 定常的な流れのある系
 - ▶ 環境とのやりとりがある
 - ▶ 熱平衡に緩和することはない

非平衡定常状態とは？

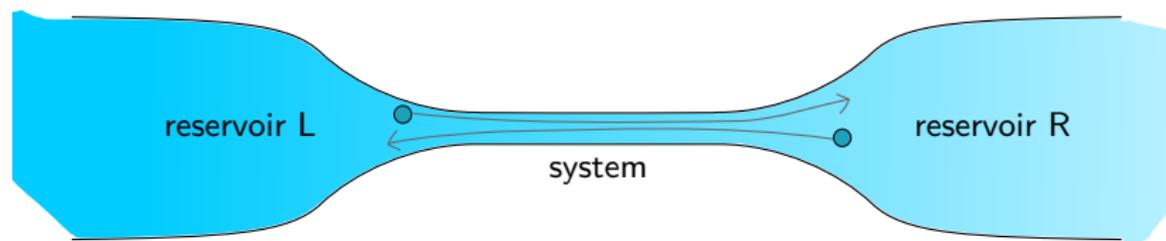
- ▶ 巨視的な物理量が時間変化しない
- ▶ 熱平衡ではない
- ▶ 代表的な例 → 定常的な流れのある系
 - ▶ 環境とのやりとりがある
 - ▶ 熱平衡に緩和することはない

非平衡 TFD は非平衡定常系を記述できるか？

Two-Reservoir Model

非平衡定常状態を実現する単純なモデルで解析

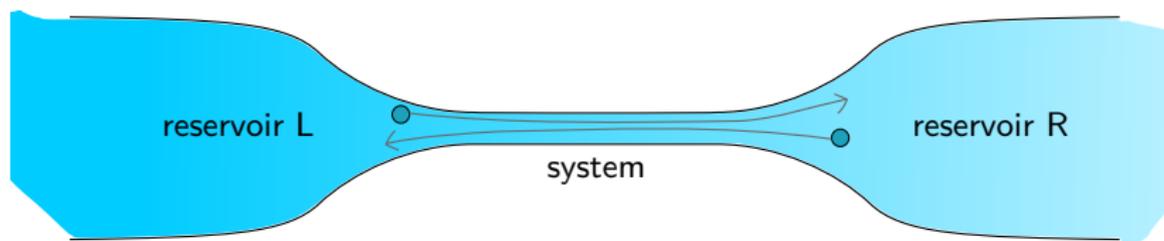
2つの reservoir と結びついた一次元系



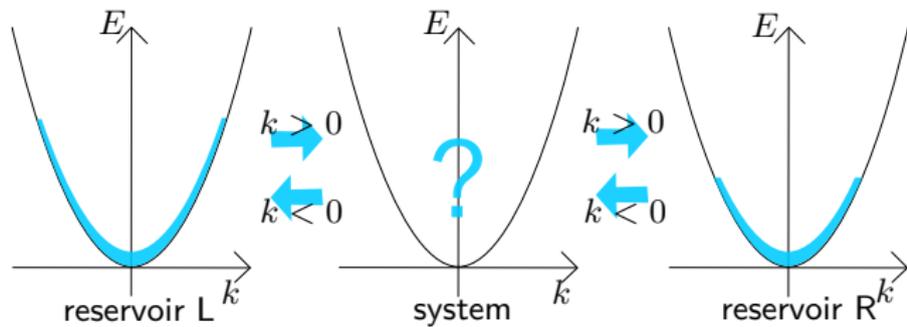
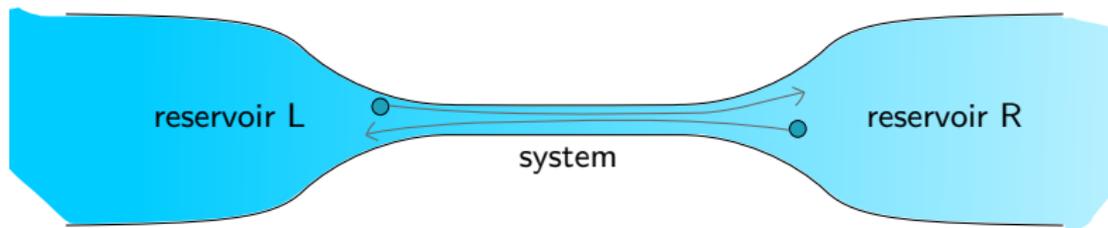
Two-Reservoir Model

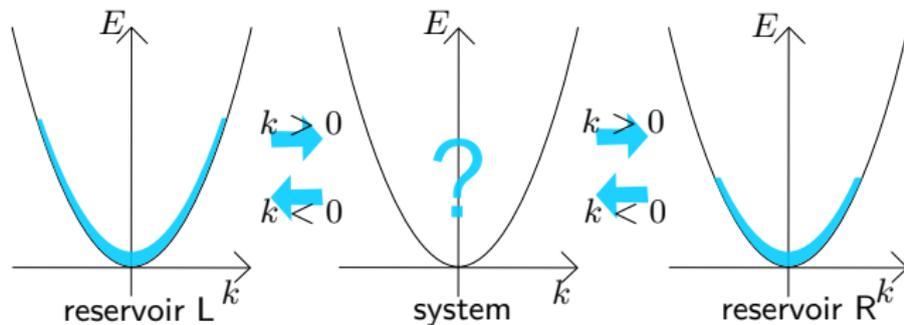
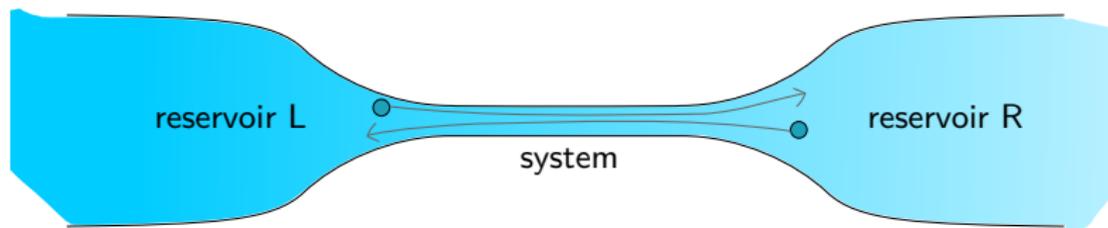
非平衡定常状態を実現する単純なモデルで解析

2つの reservoir と結びついた一次元系



- ▶ 粒子は一切散乱せずに reservoir から他方の reservoir に通り抜ける
- ▶ reservoir は常に熱平衡分布





system で実現される定常的な状態を非平衡 TFD から求める
 → 非平衡定常状態を正しく記述することを確認