



キーワード

- ・フラストレーションフリーな量子系
- ・超伝導体における電磁応答の定式化
- ・測定誘起の相転移の研究

研究室のメンバー

スタッフ、ポスドク

准教授：渡辺 悠樹 → 居室205でお待ちしています！

助教：藤 陽平

博士課程

博士3年：Changgeun Oh (Q-STEPコース生、韓国からの留学生)

博士3年：大島 久典 (MERITコース生)

博士2年：Hu Yaozong (中国からの留学生)

博士1年：渡邊 瀬名 (MERITコース生)

修士課程

修士2年：政岡凜太郎 (FoPMコース生)

修士1年：千石 峻介

フラストレーションフリーな量子系の研究

- ・ギャップレス系の動的臨界指数・分散関係

フラストレーションフリー系：全ての局所相互作用を同時に最小化できる理論的に扱いやすい量子系。

今回の結果：特にギャップレスな場合に異常な動的臨界指数や分散関係が現れることを予想し、いくつかのモデルのクラスに対して証明した。また冪減衰する相関関数を仮定して動的臨界指数の下限 $z \geq 2$ を証明した。

$$\frac{|\langle \Psi | \hat{O}(\hat{I} - \hat{G})\hat{O} | \Psi \rangle|}{\|\hat{O} | \Psi \rangle\| \|\hat{O}' | \Psi \rangle\|} \leq 2 \exp\left(-\left(\frac{D(\hat{O}, \hat{O}') - 1}{c - 1} - 2\right) \sqrt{\frac{\epsilon}{g^2 + \epsilon}}\right)$$

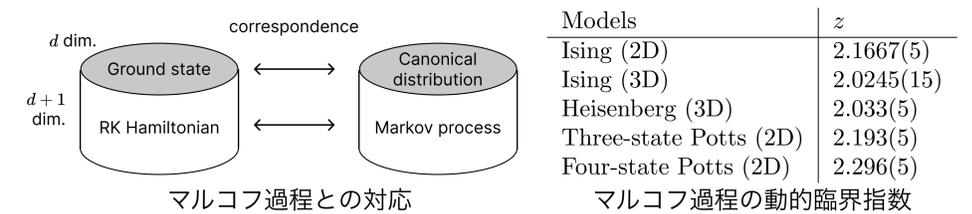
Gosset-Huang不等式

政岡, 渡辺, 副島, Quadratic dispersion relations in gapless frustration-free systems, Phys. Rev. B 110, 195140
 政岡, 渡辺, 副島, Rigorous lower bound of dynamic critical exponents in critical frustration-free systems, arxiv:2406.06415
 政岡, 小野, Hoi Chun Po, 渡辺, Frustration-free free fermions and beyond, arxiv:2503.12879

- ・マルコフ過程との対応関係

詳細つり合いを満たすマルコフ過程に対し、等価なフラストレーションフリー系の構成法が知られている。

今回の結果：マルコフ過程の文脈で経験的に知られていた動的臨界指数の振る舞いをフラストレーションフリー系の知識を用いて証明した。



政岡, 渡辺, 副島, Rigorous lower bound of dynamic critical exponents in critical frustration-free systems, arxiv:2406.06415
 政岡, 渡辺, 副島, Rigorous lower bound of the dynamical critical exponent of the Ising model, arxiv:2502.09908

超伝導体における電磁応答の定式化

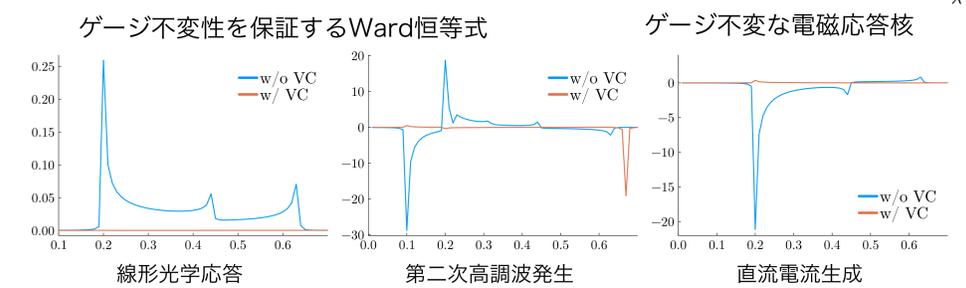
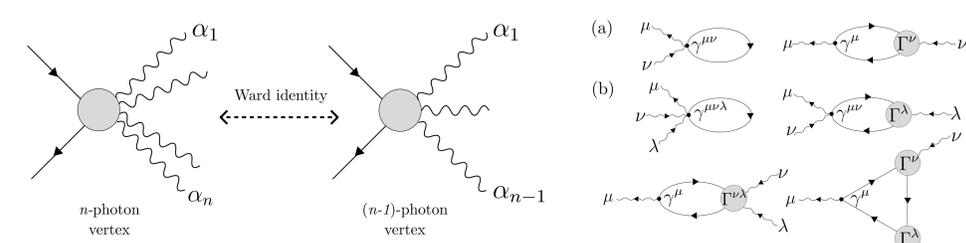
超伝導：U(1)ゲージ対称性の破れ $[\hat{H}, \hat{N}] \neq 0$

↔ 電磁応答：U(1)ゲージ保存量の応答 $\nabla \cdot \hat{j} + \partial_t \hat{\rho} = 0$

超伝導体における電磁応答をゲージ不変に定式化することはできるか？

BCS超伝導体の線形電磁応答についてのゲージ不変な取り扱いが知られていた。この手法を非線形応答領域や非従来型の超伝導体について拡張できるか？

今回の結果：一部の非従来型超伝導体にも適用可能かつ非線形電磁応答領域まで扱えるゲージ不変な電磁応答理論を構築した。



渡邊, 渡辺, A gauge-invariant formulation of optical responses in superconductors, arXiv:2410.18679
 渡邊, 渡辺, Gauge-invariant electromagnetic responses in superconductors, arXiv:2501.13722

これらの結果をまとめた修士論文発表「超伝導体の電磁応答のゲージ不変な定式化」は田中昭二賞(物理学優秀修士論文賞)を受賞しました。

測定誘起の相転移の研究

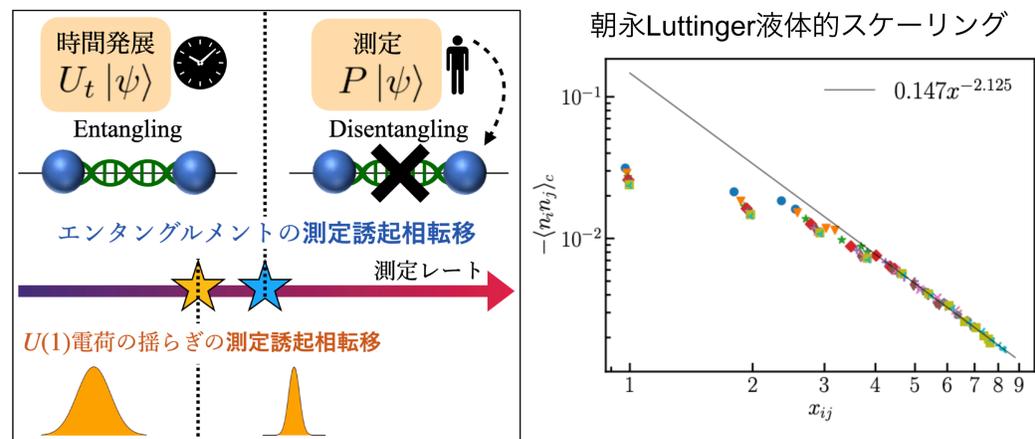
測定誘起相転移：測定に誘起される非平衡相転移で、主にエンタングルメントによって特徴付けられる。

大島, 藤, Charge fluctuation and charge-resolved entanglement in a monitored quantum circuit with U(1) symmetry, Phys. Rev. B 107, 014308 (2023)

対称性が与える影響

電荷揺らぎで特徴づけられる新奇な相転移が生じることを発見。

その相転移が属する普遍性クラスも明らかにした。



大島, 望月健(Gong研), 濱崎立資(理研), 藤, Topology and Spectrum in Measurement-Induced Phase Transitions, arXiv:2412.11097

測定誘起トポロジカル相転移

測定下のダイナミクスの有効エネルギーやトポロジカル数の定義に成功。

測定誘起トポロジカル相でマヨラナゼロモードの存在を発見。

