4 次元 $\mathbb{Z}_2$格子ゲージ理論における非可逆なトポロジカル演算子

大阪大学素粒子論研究室
名古屋雄大

共同研究者：小出真嵩、山口哲

arXiv: 2109.05992

2021年　関西地域セミナー

目次

1.Introduction

2.4次元 $\mathbb{Z}_2$格子ゲージ理論について

3.交換関係

4.まとめ

目次

やったこと

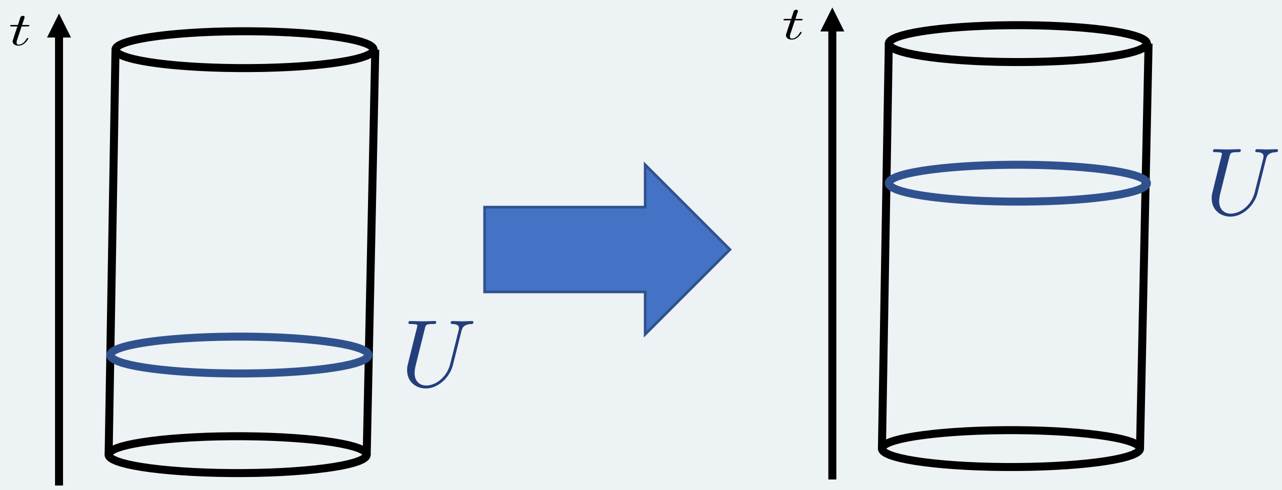
４次元の格子ゲージ理論で、
新しい「対称性」を構成
「交換関係」を調べた

対称性とは？

対称性とは(一つの見方)…

$$[H, U] = 0$$

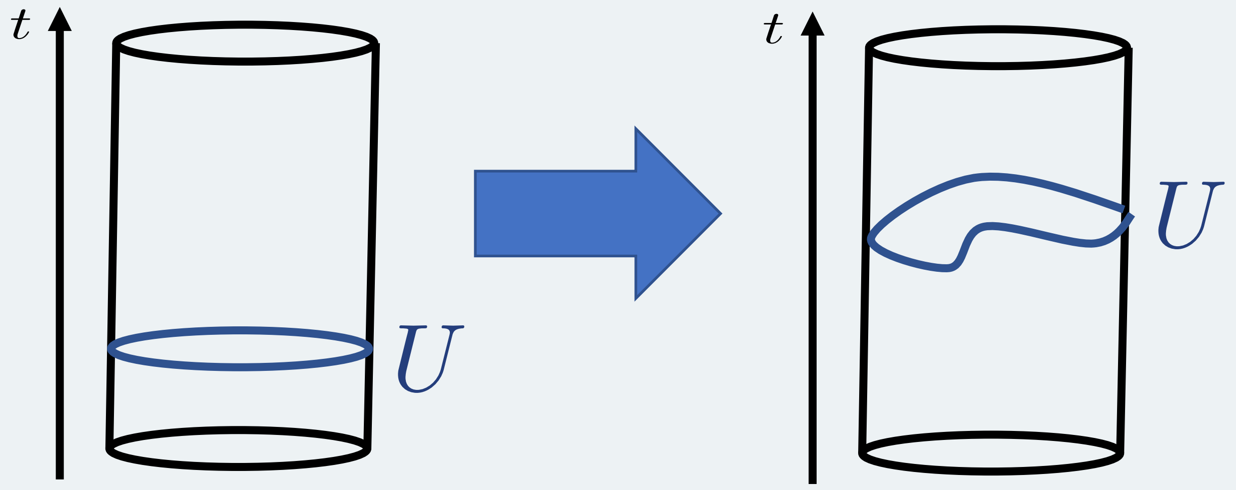
(エネルギー運動量テンソルと可換)



対称性とは(一つの見方)…

$$[H, U] = 0$$

(エネルギー運動量テンソルと可換)



対称性は**トポロジカルな演算子**により表される

対称性とは…

大事

通常の対称性

＝トポロジカル演算子

＋群の構造

＋余次元1の演算子

=dim(時空)-dim(対称性演算子)

演算子が

通常の対称性 =トポロジカル、余次元1、群の構造

(〜電荷保存) (〜時間一定面、局所演算子への作用)

対称性の拡張

1）高次形式対称性[Gaiotto,Kapstin,Seiberg,Willet,2015]

=トポロジカル、~~余次元1~~、群の構造

2）非可逆対称性[Bhardwaj, Tachikawa, '17], [Chang, Lin, Shao, Wang, Yin, '18]..

=トポロジカル、余次元1、~~群の構造~~

非可逆対称性

[Bhardwaj, Tachikawa, ’17], [Chang, Lin, Shao, Wang, Yin, ’18]..

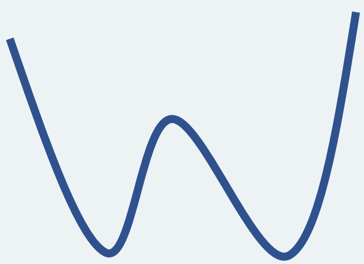
非可逆対称性

…一般の**可逆**ではないトポロジカル演算子

様々な応用 [Komargodski, Ohmori, Roumpedakis, Seifnashri ,18],

[Chang, Lin, Shao, Wang, Yin, ’18],[M. Nguyen, Y. Tanizaki, and M.Unsal,’21/01,’21/04]…

e.g.真空の縮退**[Chang, Lin, Shao, Wang, Yin, ’18]**



通常の対称性と同様に有用

動機

- 「非可逆対称性」は２次元がメイン

  ＝一般の可逆ではないトポロジカル演算子

- 高次元では、知られている具体例も少ない

４次元で非可逆対称性を構成、探索したい

方針

✔２次元格子系で**厳密に**構成できている
[Aasen, Fendley, Mong,2016]

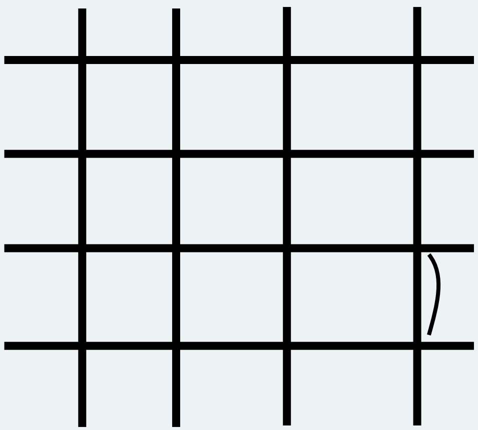
✔高次形式対称性も存在[Gaiotto,Kapstin,Seiberg,Willet,2015]

✔非可逆対称性がある2dIsingとある種似てる

➡ ４次元 $\mathbb{Z}_2$ 格子ゲージ理論で構成、性質を調べた。

目次

4次元$\mathbb{Z}_2$格子ゲージ理論について



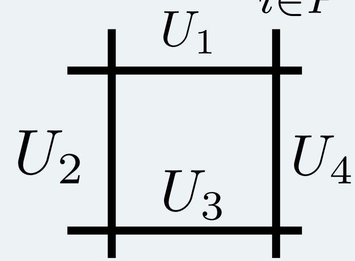
$U \in \mathbb{Z}_2$

リンク変数

分配関数

$$Z(K) = \sum_{\{U\}} \exp(KS(\{U\}))$$

$$S(\{U\}) = \sum_{i \in P} (U_{i_1} U_{i_2} U_{i_3} U_{i_4})$$



; プラケット i

4次元 $\mathbb{Z}_2$格子ゲージ理論について

$$\frac{1}{2}\log(1+\sqrt{2})$$

$$K \sim \frac{1}{g^2}$$

$$\infty$$

閉じ込め相

1形式 Z2中心対称性が
自発的に破れいない

非閉じ込め相

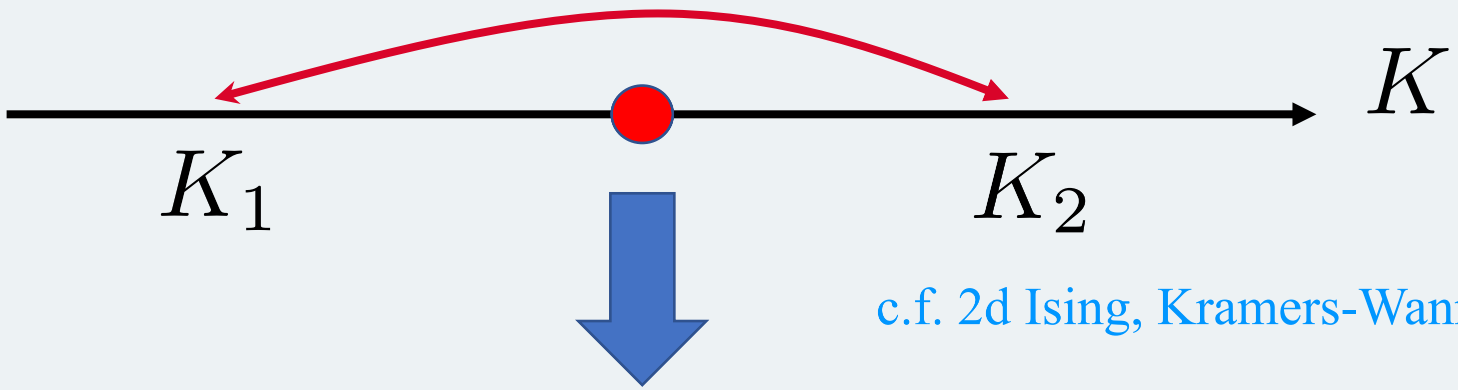
1形式 Z2中心対称性が
自発的に破れいる

1 次相転移

[M. Creutz, L. Jacobs, and C. Rebbi,Phys. Rev.Lett. 42 (1979) 1390]

双対性が存在[F. J. Wegner, ‘71] [H. A. Kramers and G. H. Wannie, ‘41]

$$Z(K_1) \xleftrightarrow{\text{双対}} Z(K_2)$$



c.f. 2d Ising, Kramers-Wannie 双対性

自己双対点に注目

エネルギー密度を変えない

…トポロジカル演算子が存在すると期待

目次

1.Introduction

2.4次元$\mathbb{Z}_2$格子ゲージ理論について

3.交換関係

4.まとめ

双対演算子の構成

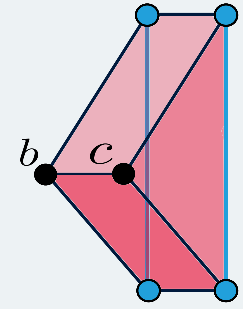
トポロジカル関係式を要請

解を求めた

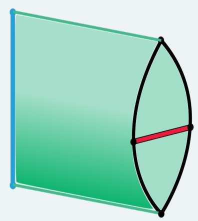
…解は**非可逆**

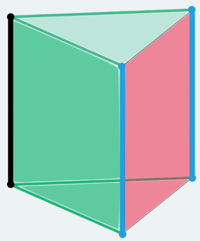
1形式中心対称性とジャンクション

$\mathbb{Z}_2$中心対称性演算子(可逆)を**構成**



ジャンクションの構成

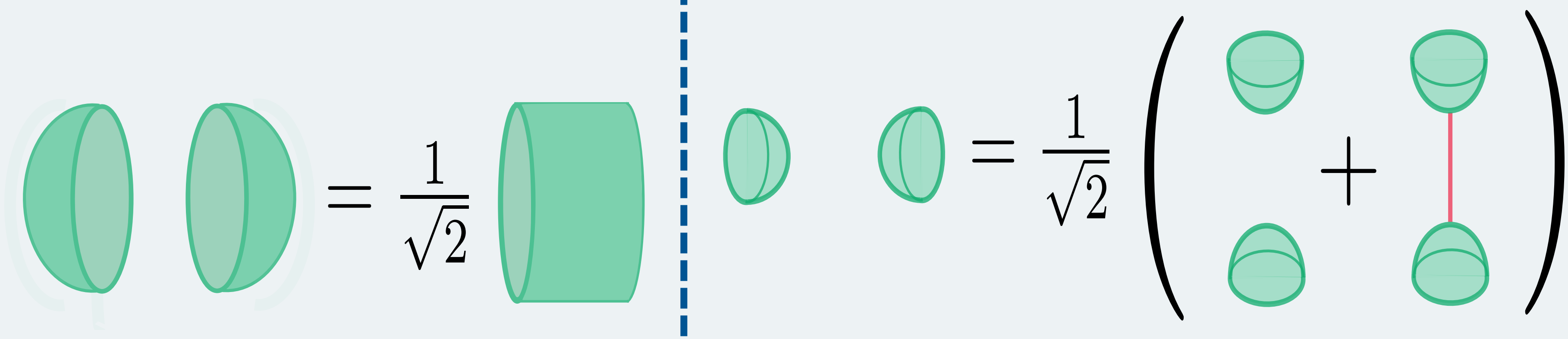




⇒ 演算子間の関係式は原理的に全て**計算可能**

※格子上なので、厳密

演算子間の関係



$S^0 \times D^3$ $D^1 \times S^2$ $S^1 \times D^2$ $D^2 \times S^1$

※構成した演算子を使って計算可能

群論的対称性では表されない新しい関係式

目次

1. Introduction

2. 4次元 $\mathbb{Z}_2$ 格子ゲージ理論について

3. 交換関係

4. まとめ

まとめ

1. 4次元の格子模型において具体的に
   トポロジカル演算子、ジャンクション
   を**構成**
2. 非可逆な代数構造を発見

展望…QFTへの応用、他の双対性、アノマリーetc...

Thank You!