

双対超伝導描像に基づくクォークの閉じ込め機構の研究

Study of confinement mechanism based on the dual superconductivity

柴田章博

高エネルギー加速器研究機構計算科学センター

1. 研究目的

双対超伝導描像は、クォーク閉じ込め機構の最も有力なシナリオの1つである。双対超伝導描像を確立するためには磁氣的モノポールが閉じ込めに中心的な役割を果たすことを様々な状況において示さなければならない。そのために、我々はゲージ場のゲージ共役な分解の方法によって、ゲージ不変性を明白に保ちつつ閉じ込めに寄与する自由度を抽出する方法を定式化し格子ゲージ理論に基づく第一原理計算による検証を可能とした。また、任意表現に拡張された非可換ストークスの定理に基づく考察によって、任意表現のウイルソンループに対し、ゲージ不変な磁気モノポールを基本表現のウイルソンループ演算子から直接的に定義し、磁気モノポールが閉じ込めに果たす役割を直接検証することを可能とした。

本研究では、任意表現に拡張されたゲージ場のゲージ共役な分解の方法を用いて、双対超伝導描像の立場から閉じ込め機構の研究を行う。

2. 研究成果の内容

これまでの研究で、 $SU(2)$ では、基本表現($J=1/2$) 随伴表現($J=1$)に対して、 $SU(3)$ では基本表現($[0,1]=3$), $[0,2]=6$ 表現、随随伴表現($[1,1]=8$)における高次元表現のウイルソンループにたいする解析で、制限場 (ゲージ共役な分解によって抽出した閉じ込めに寄与する自由度) から計算されるウイルソンループがものとのヤン・ミルズ場によって計算される弦張力を再現する、制限場ドミナンスを確認した。このことは、従来の可換射影に基づく従来研究における問題点克服し、つまり双対超伝導描像ではウイルソンループ期待値の表現依存性を説明できないとする批判を払拭して、任意表現に対して、閉じ込めに寄与する自由度をゲージに依存することなく抽出する正しい計算方法を可能とした。

本研究期間では、高次元表現のクォーク閉じ込めに対して、閉じ込め・非閉じ込めの有限温度相転移の表現依存性について調べた。また、高次元表現のウイルソンループにおける長距離ポテンシャルについて解析をするため配位の蓄積を行った。

3. 学際共同利用が果たした役割と意義

クォーク閉じ込め機構の研究には強結合ゲージ理論の赤外領域における非摂動計算には格子ゲージ理論に基づく数値シミュレーションが不可欠となる。大規模計算機を有しない大学・研究所の小規模グループの研究者にとって、学際共同利用は研究推進に必要な計算資源を確保するための貴重なプログラムである。

4. 今後の展望

双対超伝導描像の観点からクォーク閉じ込め機構の検証を様々な視点からおこなう。磁気モノポールの寄与の直接的検証のため、制限場によって構成した高次元表現のウィルソンループから磁気モノポールを直接抽出することで、磁気モノポールから計算される弦張力が元々のヤン・ミルズ場から計算される弦張力を再現する磁気モノポール・ドミナンスを検証する。高次元表現における双対マイスナー効果の検証、双対マイスナー効果と閉じ込め・非閉じ込め相転移の関係性を調べる。

また、クォーク・反クォークの静的ポテンシャル及び弦張力の表現現性及びカシミアスケールリングの関係について検証する。

5. 成果発表

(1) 学術論文

(2) 学会発表

[1] 双対超伝導描像に基づく高次元クォークの閉じ込め・非閉じ込め相転移

柴田 章博

KEK 理論センター研究会「熱場の量子論とその応用」2020年8月24日--8月26日

オンライン開催

(3) その他

使用計算機	使用 計算機 に○	配分リソース*	
		当初配分	追加配分
Cygnus	○	25,200	0
Oakforest-PACS	○	192,000	81,000
※配分リソースについてはノード時間積をご記入ください。			