

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す必要がある。本研究は従来方法の問題点を克服し残された課題について取り組む。

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。従来研究のゲージ固定を用いる可換射影の方法における問題点を克服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ができる。

高次元表現のウイルソンループに対しては、従来の可換射影に基づく従来研究では、双対超伝導描像における高次元表現のウイルソンループは元々のヤン・ミルズ理論の弦張力を再現することができないため双対超伝導描像が批判の対象であった。我々は、ゲージ場のゲージ共役な分解の方法及び非可換ストークスの定理に基づく考察によって、閉じ込めに寄与する自由度である制限場を用いて高次元表現のウイルソンループを構成し、直接的に双対超伝導描像の検証を可能とした。

2. 研究成果の内容

クォーク反クォークの長距離ポテンシャルを計測するため、大きな物理ボリュームの格子上でシミュレーションを実行し配位を蓄積した。また、蓄積した配位それぞれに対してリダクション条件を計算して、ゲージ場のゲージ共役な分解に必要なカラー場の配位を蓄積した。

ゲージ場のゲージ共役な分解によって閉じ込めに寄与する自由度である制限場を抽出し、制限場によって構成した双対超伝導描像における高次元表現のウイルソンループによって計算される弦張力が、元々のヤン・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。(成果発表[1])

制限場によって構成した高次元表現のウイルソンループから、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の検証を開始した。(成果発表[3])

高次表現のクォークに対して、閉じ込め・非閉じ込めの有限温度相転移の関係について予備的研究を開始した。(成果発表[2])

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が必要である。格子ゲージ理論に基づく第一原理計算はその唯一の方法であり大規模計算が不可欠となる。大規模計算機を有しない大学・研究所の研究者にとって、学際共同利用はこのような大規模計算を実現するための貴重なプログラムである。

4. 今後の展望

現在は、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)における解析であるが、様々な表現に置いて、制限場ドミナンス及び磁気モノポールドミナンスを検証する。また、弦張力の表現依存性、及びカシミアスケーリングの関係について検証する。

5. 成果発表

(1) 学術論文

[1] How to extract the dominant part of the Wilson loop average in higher representations,
Ryutaro Matsudo, Akihiro Shibata, Seikou Kato, and Kei-Ichi Kondo,
Phys.Rev. D 100 014505 (2019), ODI:10.1103/PhysRevD.100.014505

(2) 学会発表

[2] Confinement/deconfinement phase transition for quarks in the higher representation in view of dual superconductivity,
Akihiro Shibata,
The 17th International Conference on QCD in Extreme Conditions (XQCD 2019),
June 24 -- 26 2019, Tokyo Campus, University of Tsukuba

[3] 高次元表現クォークの閉じ込めと磁気モノポールの役割
柴田章博, 加藤清考, 近藤慶一, 松戸竜太郎
日本物理学会 2019年秋季大会, 2019年9月17~20日 山形大学小白川キャンパス

(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	○	17,500	0
Oakforest-PACS	○	209,300	0
※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。			