



Title	Meson Symmetries from Screening Masses in Nf=2 lattice QCD at High Temperatures
Author(s)	Ward, David John
Citation	大阪大学, 2025, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/103239
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

Abstract of Thesis

Name (David John Ward)	
Title	Meson Symmetries from Screening Masses in $N_f=2$ lattice QCD at High Temperatures (高温 2-フレーバ 格子 QCD で探る中間子の遮蔽質量と対称性)
<p>Abstract of Thesis</p> <p>Quantum chromodynamics ("QCD") as a theory which describes the strong nuclear force is a robust theory which has been able to describe myriad phenomena. However, study of QCD is made difficult for perturbative approaches at finite temperatures by the non-abelian nature of the gauge fields. Therefore, nonperturbative approaches to QCD such as those offered by the framework of lattice quantum field theory has proven successful in studying such finite temperature phenomena. Chiral symmetry, broken spontaneously at low temperatures, is a phenomena which is essential to understanding the scale of hadronic mass in the universe as well as properties of deconfined quark and gluon matter at very high temperatures. The chiral crossover, the point of restoration for chiral symmetry, occurs at high but finite temperatures and is ideal to be studied from the lattice.</p> <p>To this end we simulate two flavor lattice QCD using M\"obius Domain wall fermions to investigate the symmetries of mesons associated with the spatial two-point correlation function at high temperatures. The temperatures we consider in this investigation range from $T=147$ MeV to $T=330$ MeV which cover the critical temperature $T_c=165$ MeV. Our choice of the M\"obius Domain wall fermions offers us an excellent chiral symmetry on the lattice with an approximate violation of the Ginsparg-Wilson relation of 0.14 MeV for a lattice cut off of $a^{-1}=2.643$ GeV corresponding to a fine lattice.</p> <p>From the two-point correlation function we extract the long range screening mass for incremental values in the temperature; and using the difference in the screening masses as a probe we investigate $SU(2)_L \times SU(2)_R$ chiral symmetry, the axial $U(1)_A$ which is broken by quantum anomaly, and additional emergent high temperature symmetry which exchanges spin degrees of freedom. In addition to the screening mass difference we also explore the temperature dependence of the screening mass itself and evaluate how the screening mass approaches both the $T=0$ meson spectrum, as well as, the leading order of the perturbative prediction of twice the groundstate Matsubara mass $2\pi T$.</p>	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (David John Ward)		
論文審査担当者	(職)	氏 名
	主査 教授	大野木 哲也
	副査 教授	西岡 辰磨
	副査 准教授	佐藤 亮介
	副査 准教授	石井 理修
	副査 助教	深谷 英則

論文審査の結果の要旨

博士論文「Meson Symmetries from Screening Masses in $N_f=2$ lattice QCD at High Temperatures」の論文審査の結果の要旨は、下記の通りである。

ハドロンの強い相互作用を記述する格子量子色力学（格子 QCD）を用いた数値計算により、ゼロ温度での性質はよく理解されている。しかし、有限温度でのカイラル対称性の回復に関しては、格子フェルミオンにおけるカイラル対称性の実現の困難のため、理解が進んでいなかった。

David John Ward 氏は、カイラル対称性を高精度で実現するメビウスドメインウォールフェルミオンを用いて 2 フレーバー格子 QCD をシミュレーションし、様々な種類の中間子の持つ遮蔽質量を臨界温度 $T_c=165 \text{ MeV}$ をカバーする $T=147 \text{ MeV}$ から $T=330 \text{ MeV}$ までの温度範囲で精密に計算することに成功した。クォーク質量も現実の質量に近い値を達成している。対称性で結びつく 2 つの中間子の遮蔽質量の差をプローブとして、 $SU(2)_L \times SU(2)_R$ カイラル対称性、量子異常によって破れている軸性 $U(1)_A$ 、そしてスピン自由度を交換するカイラルスピン $SU(2)_{\text{CS}}$ 対称性を調べた。 $U(1)_A$ と $SU(2)_{\text{CS}}$ 対称性については QCD のラグランジアンにはない対称性であるが、有限温度 QCD の特殊性により、有効的に実現する可能性が指摘されている。David John Ward 氏は、カイラル対称な Dirac 演算子を用いた数値計算で、これらの対称性をきちんと評価することに成功した。

その結果、

- 1) $SU(2)_L \times SU(2)_R$ 対称性は $T_c=165 \text{ MeV}$ より上の温度で直ちに回復する。
- 2) 量子異常を持つ $U(1)_A$ 対称性も T_c より上の温度で直ちに回復する。
- 3) カイラルスピン対称性は少なくとも $2T_c$ 以下では回復しないが、高温極限に向かって回復する様子が見える。

ということがわかった。

1) と 2) が完全に同じ温度であるという証拠は不十分であるが、臨界温度の 1.1 倍の温度では $U(1)_A$ で関係づくテンソル中間子の質量が 2% 以下の精度で同一になることが示された。特に従来の研究で調べられてきたスカラー中間子ではなく、テンソル中間子で高精度の計算に成功したことは特筆に値する。

本博士論文で明らかにされた $N_f=2$ QCD の有限温度における対称性の振る舞いに関する研究成果は、有限温度の QCD の物理の理解に貢献し、今後ハドロン物理および初期宇宙の物理学に大きなヒントを与えると期待される点で、本論文は博士（理学）の学位論文として十分価値あるものと認める。