

受付 ID	15a-9
分野	素粒子

有限温度 QCD における軸性 U(1)対称性の研究

Study of axial U(1) symmetry in finite temperature QCD

橋本省二

高エネルギー加速器研究機構

1. 研究目的

宇宙初期に起こったとされる QCD の相転移は、地上の実験で再現することが不可能であるため、格子 QCD による数値シミュレーションがその主要な研究手段となっている。近年の格子 QCD 計算の発展により理解が深まり、この有限温度相転移は厳密な意味では相転移ではなく物理量がなめらかに変化するクロスオーバーであると広く認められている。一方で、この相転移には根本的なところで理解されていない部分がある。それが、本研究課題で追求する軸性 U(1)対称性の回復である。

QCD ラグランジアンは軸性 U(1)対称性をもつが、この対称性は量子化によって破れており(軸性アノマリー)、量子論は対称性をもたない。ところが、系の固有値スペクトルの解析により、カイラル対称性が回復する高温相では軸性 U(1)対称性も事実上回復し、結果として 2 フレーバー QCD の相転移が 1 次になるという可能性が残っている。現在の大方の理解とは矛盾するが、現状の格子 QCD 計算がすべてカイラル対称性を持たない格子フェルミオンを用いたシミュレーションに基づいていることを考えると、軸性 U(1)対称性の部分には大きな誤差が潜んでいる可能性も無視できない。現在、本課題の担当者を含む JLQCD collaboration は、この問題に対してカイラル対称性を保つ大規模シミュレーションを実行することで明確な答を得るべく研究を進めている。本プロジェクトはそのシミュレーションでの物理量測定を行うものである。

2. 研究成果の内容

平成 27 年度においては、有限温度 QCD におけるトポロジー感受率の変化を研究することに重点をおいた。トポロジー感受率は U(1)対称性と密接な関連があり、両者は強く関連していると予想される。有限温度相転移の前後でトポロジー感受率が消える様子を確認できれば、U(1)対称性の回復に関する有力な状況証拠となる。平成 27 年度の研究では、この量に関して格子フェルミオンのカイラル対称性の破れとの関係を明らかにすることを試み、連続極限においてはトポロジー感受率が消えることを示唆する結果を得た。カイラル対称性との関係についてはさらなる研究が必要である。

3. 学際共同利用として実施した意義

本研究のもう一つの目的は、現状のコードを将来の主要なアーキテクチャの一つと目される MIC 向けに最適化し、将来の大規模シミュレーションへの準備を進めることにあった。現在のコードは Blue Gene/Q 向けに最適化されており、そのままでは KNC/KNL を有効に活用することはできない。この最適化のためのデータレイアウトの変更を含む最適化とそのテストを、本研究を通じて行う予定であった。しかしながら、この目的で開発中のコードは C++言語の C11 規格に強く依存しており、COMA ではコンパイルできない状況が続いている。他機関の KNC マシンでは利用できているので、COMA の運用ポリシーに依存すると思われるため、最新版の環境（コンパイラおよび標準ライブラリ）へのアップデートを強く希望する。

4. 今後の展望

本格的な計算は上記の問題が解決された後に始める。一度動き始めれば計算的に重い再重み付け係数の計算を重点的に行うことができると考えている。

5. 成果発表

COMA を利用した成果発表としては該当なし。研究プロジェクトとしては以下の論文を発表した。

(1) 学術論文

G. Cossu, H. Fukaya, S. Hashimoto, A. Tomiya, “Violation of chirality of the Mobius domain-wall Dirac operator from the eigenmodes,” Phys Rev D93, 034507 (2015).

(2) 学会発表

G. Cossu, H. Fukaya, S. Hashimoto, J. Noaki, A. Tomiya, “On the axial U(1) symmetry at finite temperature,” talk at the 33rd International Symposium on Lattice Field Theory, Kobe, July 2015.

(3) その他

使用計算機	使用計算機に○	配分リソース*
HA-PACS		
HA-PACS/TCA		
COMA	○	
※配分リソースについては 32node 換算時間をご記入ください。		