

受付 ID	17a32
分野	素粒子

量子色力学の高温相におけるトポロジー励起

Topological excitation in high temperature phase of Quantum-Chromodynamics

深谷英則

大阪大学大学院理学研究科

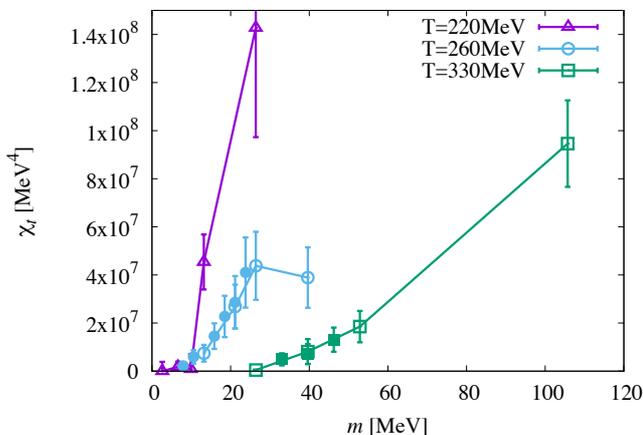
1. 研究目的

非可換ゲージ理論として定式化される量子色力学(QCD)では、ゲージ場のトポロジー励起という特徴的な背景場が存在し、自発的対称性の破れを引き起こしていると考えられている。カイラル対称性が回復する高温相では、トポロジー励起は消失しているか、少なくとも強く抑制されているはずで、その詳細はアクシオン暗黒物質の残存量に関係して宇宙の歴史をも左右する。本研究では、QCDの高温相でのトポロジー励起の頻度を、カイラル対称性を保つ格子QCDシミュレーションを用いて明らかにすることを旨とする。

2. 研究成果の内容

29年度のシミュレーションの結果、トポロジー感受率が有限のクォーク質量の領域で強く抑制されていることが明らかになった(図1参照)。もし、これが有限のクォーク質量での相転移の存在を表すならば、その次数は1次である可能性が高い。

トポロジー感受率は有限体積効果の影響を大きく受ける可能性が先行研究[Kanazawa, Yamamoto, JHEP1601(2016)141]によって指摘されており、これを検証するため、 $T=220\text{MeV}$ の温度でメインの格子の3/4倍、3/2倍のサイズのシミュレーションも行った。3/2のサイズは統計が十分ではないが、今のところ大きな有限体積効果の兆候は見つかっていない。さらに、 $U(1)$ アノマリーを直接計算することも試みた。こちらもカイラル極限でゼロと無矛盾な結果が得られている。



結果が得られている。

図1 トポロジー感受率をクォーク質量の関数としてプロットしたもの。クォーク質量を小さくすると急激に小さくなる様子が確認できる[業績1]。

3. 学際共同利用として実施した意義

本研究の主題であるトポロジー励起は、軸性 $U(1)$ アノマリーの帰結として現れるが、格子 QCD の先行研究では、トポロジー励起は高温で抑制されないとされる研究がほとんどであった。しかし近年、有限温度における格子間隔誤差の影響はゼロ温度に比べて大きくなるのが複数の共同研究によって明らかになりつつあり、先行研究の結果は、トポロジー励起を過大評価している可能性が高い。この問題は分野内でも論争になっており、国際会議 (Lattice 2017) でも異例のパネルディスカッションまで生まれ、研究課題代表者が招かれ登壇した(論文リスト[1])。本課題で実行した厳密なカイラル対称性を保つ形での研究は世界初の試みであり、この問題への決定打を与えることができるはずであるが、多大な計算コストを必要とする。本学際共同利用による大規模数値計算が不可欠である。

4. 今後の展望

平成30年度も継続課題として研究を続行する。特に有限体積効果を正確に見積もることを目標とし、計算時間に余裕があれば、アノマリーの直接計算、さらに高温でのシミュレーションを実施し、アクシオン暗黒物質シナリオの検証に貢献する。

5. 成果発表

(1) 学術論文

[業績1] “Can axial $U(1)$ anomaly disappear at high temperature?”, Hidenori Fukaya for JLQCD collaboration, **EPJ Web Conf. 175 (2018) 01012** (国際会議 35th International Symposium on Lattice Field Theory のプロシーディングス)

(2) 学会発表

[業績2] “Can axial $U(1)$ anomaly disappear at high temperature?”, Hidenori Fukaya for JLQCD collaboration, talk given at the 35th International Symposium on Lattice Field Theory, 18-24 June 2017, Granada, Spain.

[業績3] 「有限温度2フレーバー格子 QCD における軸性 $U(1)$ 対称性」, 鈴木溪, 青木慎也, 青木保道, Guido Cossu, 深谷英則, 橋本省二, 日本物理学会 2017 年秋季大会, 宇都宮大学 峰キャンパス, 9 月 12 日

[業績4] 「有限温度2フレーバー QCD のトポロジカル感受率」, 青木保道, 青木慎也, Guido Cossu, 深谷英則, 橋本省二, 鈴木溪, 日本物理学会 2017 年秋期大会, 宇都宮大学, 9 月 12 日

[業績5] 「有限温度格子 QCD におけるトポロジーと軸性 $U(1)$ アノマリー」, 鈴木溪, 素粒子・原子核・宇宙「京からポスト京に向けて」シンポジウム, 筑波大学東京キャンパス, 12 月 28 日

[業績6] “ $N_f=2$ 格子 QCD における高温領域の軸性 $U(1)$ 対称性,” 鈴木溪, 青木慎也, 青木保道, Guido Cossu, 深谷英則, 橋本省二, (JLQCD Collaboration), 日本物理学会第73回年次大会 (2018 年)

(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
HA-PACS/TCA			
COMA			
Oakforest-PACS	○	500,500	250,250
※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。			