scknzwグループ平成１６年度利用報告書

金沢大学総合メディア基盤センター　鈴木恒雄

平成１７年５月２７日

研究組織

鈴木恒雄 (代表): 金沢大学総合メディア基盤センター教授
出渕　卓：金沢大学助手/BNL
市江博子：同研究員
石黒克也：同研究員
森　祥寛：同研究員
中村宜文：同 D3
橋本耕一：同 D2
関戸　暢：同 D1
北原俊一：十文字学園女子大学講師
矢澤建明：金城短期大学講師
伊藤祥一：長野工業高等専門学校助手

共同研究組織 [DIK collaboration]
DESY group (G. Schierholz, H. Stueben)
ITEP/IHEP group (M. Polikarpov, A. Veselov, V. Bornyakov, M. Chernodub, F. Gubarev)
Kanazawa group (鈴木、市江、森、中村、関戸)

研究テーマ

Full QCD におけるクォーク閉じ込め及びカイラル対称性の自発的破れの機構

はじめに

これまでの素粒子研究において、量子色力学 (QCD, Quantum Chromo Dynamics) は、強い相互作用を記述し、さまざまなハドロン現象を支配する理論であると考えられている。それは量子色力学が漸近自由性という性質を持ち、高エネルギー領域では結合定数は小さくなり、摂動論での解析が可能で量子色力学の高エネルギー領域における解析結果と、高エネルギーのハドロンの振る舞いがよく一致しているからである。しかし、低エネルギー領域では、クォークの閉じ込めをはじめとしてハドロンに関する実験結果は豊富にあるものの、結合定数が大きくなるため摂動論を使うことができず、QCD から直接これらの現象を理解することは大変困難で

ある。しかしながら、クォーク（カラー）の閉じこめ問題やカイラル対称性の自発的破れの問題を解明することは、近年の高エネルギー実験、初期宇宙の理解などに必要不可欠である。

我々はモンテ・カルロ法を用い、動的フェルミオンの入った格子 QCD シミュレーションでクォーク閉じ込め機構とカイラル対称性の自発的破れの機構をトポロジカルな自由度に着目し、解明することを大きな目的としている。また、 2 フレーバー QCD の有限温度相転移を解明することも目指している。

研究の概要

2 フレーバー QCD の有限温度相転移

近年、Bielefeld のグループと CP-PACS コラボレーションは異なったタイプの格子フェルオンを使って、 2 フレーバー Full QCD のシミュレーションを行い、カイラル極限における有限温度相転移の臨界温度を求めた。また、Edwards と Heller も、非摂動的に改良されたフェルミオン作用を使って、臨界温度を求めた。しかし、これからのシミュレーションは時間方向のサイズが小さく連続極限から遠かった。

そこで、我々は 2 つの動的フェルミオンのループ効果を取り入れた Full QCD のシミュレーションをグルーオン場としてウィルソン作用、クォーク場としてクローバー作用を用いて行いて 2 フレーバー QCD の有限温度相転移について研究した。

そして、我々は連続及びカイラル極限の臨界温度について調べた。クォークの質量がそれほど軽くないところでシミュレーションを行ったので、相転移のオーダーパラメーターとしてはポリアコフループを使った。ユニバーサリティーの議論から、カイラル極限付近の有限温度 QCD は有効シグマモデルによって記述されると予想される。このことから、カイラル極限では 2 フレーバー QCD の相転移の次数は、UA(1) 対称性を壊す結合定数の強さによって決まる。この効果が無視できる場合、相転移は 2 次であり、三次元の O(4) ハイゼンベルク・モデルと同じ臨界指数であると予想できる。Bielefeld のグループと CP-PACS コラボレーションはそれまでの研究結果から O(4) スケーリングを仮定してカイラル極限へ外挿を行った。しかし、最近イタリアのグループが空間方向のサイズを大きくしてスケーリングを調べたところ O(4) スケーリングではないというデータを示した。従って、我々は、 1 次相転移・ 2 次相転移それぞれの場合について、連続及びカイラル極限の臨界温度を精度良く求めた。

2 次相転移を仮定した場合には、

$$T_c^{m_q,a\to 0} = 174(8)\ \mathrm{MeV}$$

となり、他のグループのカイラル極限のみを取った値と近い値であった。

1 次相転移を仮定した場合には、

$$T_c^{m_q,a\to 0} = 201(12)\ \mathrm{MeV}$$

となった。

2 フレーバー QCD がどのような相転移をするかについてはまだはっきりしておらず、現在も研究中である。

研究発表リスト

学術雑誌

- Finite temperature QCD with two flavors of nonperturbatively improved Wilson fermions
  V.G. Bornyakov, M.N. Chernodub, H. Ichie, Y. Koma, Y. Mori, Y. Nakamura, M.I. Polikarpov, G. Schierholz, A.A. Slavnov, H. Stüben, T. Suzuki, P.V. Uvarov, A.I. Veselov
  To be published in Phys.Rev.D

- Profiles of the broken string in two-flavor QCD below and above the finite temperature transition
  V.G. Bornyakov , M.N. Chernodub, H. Ichie, Y. Koma, Y. Mori, M.I. Polikarpov, G. Schierholz, H. Stüben, T. Suzuki
  Prog.Theor.Phys.112:307-324,2004

- Baryonic flux in quenched and two flavor dynamical QCD
  V.G. Bornyakov, H. Ichie, Y. Mori, D. Pleiter, M.I. Polikarpov, G. Schierholz, T. Streuer, H. Stüben, T. Suzuki
  Phys.Rev.D70:054506,2004

- Dynamics of monopoles and flux tubes in two flavor dynamical QCD
  V.G. Bornyakov, H. Ichie, Y. Koma, Y. Mori, Y. Nakamura, D. Pleiter, M.I. Polikarpov, G. Schierholz, T. Streuer, H. Stüben, T. Suzuki
  Phys.Rev.D70:074511,2004

国際会議等のプロシーディング

- Finite temperature QCD with two flavors of dynamical quarks on $24^3 \times 10$ lattice
  Y. Nakamura, V.G. Bornyakov, M.N. Chernodub, Y. Mori, S.M. Morozov, M.I. Polikarpov, G. Schierholz, A.A. Slavnov, H. Stüben, T. Suzuki
  AIP Conf.Proc.756:242-244,2005

- Finite temperature QCD with two flavors of dynamical quarks on $24^3 \times 10$ lattice
  Y. Nakamura, V.G. Bornyakov, M.N. Chernodub, Y. Mori, S.M. Morozov, M.I. Polikarpov, G. Schierholz, A.A. Slavnov, H. Stüben, T. Suzuki
  To be published in Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.)

口頭発表 (国際会議)

- Quark confinement and the hadron spectrum VI 2004, Sardinia, Italy, 21-25 Sep 2004
  Finite temperature QCD with two flavors of dynamical quarks on $24^3 \times 10$ lattice
  Y. Nakamura, V.G. Bornyakov, M.N. Chernodub, Y. Mori, S.M. Morozov, M.I. Polikarpov, G. Schierholz, A.A. Slavnov, H. Stüben, T. Suzuki

- 22st International Symposium on Lattice Field Theory (LATTICE 2004), Fermi National Accelerator Laboratory June 21-26, 2004
  Finite temperature QCD with two flavors of dynamical quarks on $24^3 \times 10$ lattice
  Y. Nakamura, V.G. Bornyakov, M.N. Chernodub, Y. Mori, S.M. Morozov, M.I. Polikarpov, G. Schierholz, A.A. Slavnov, H. Stüben, T. Suzuki