

受付ID	15a-22
分野	素粒子

課題名 格子シミュレーションによるコンフォーマル理論の研究

課題名 (英文) Study of conformal theories by lattice simulations

代表者氏名 岩崎 洋一

所属 筑波大学 名誉教授

1. 研究目的

本プロジェクトの長期目標は、 N_f 個の基本表現のフェルミオンが結合した $SU(3)$ ゲージ理論全体の理論構造を系統的に解明することである。ゲージ結合定数が IR fixed point をもち、さらに IR cutoff が存在するときに、「閉じ込め相」とも「非閉じ込め相」とも異なる「conformal region」が存在することとその領域の特徴を解明することが研究目的である。27年度では、26年度までの成果に基づき、2つのプロジェクトをさらに遂行する。一つ目は、温度ゼロでの large N_f の場合、2つ目は small N_f で有限温度 $T(T > T_c; T_c$ カイラル相転移) の場合である。

まず、large N_f の場合、conformal window が $7 \leq N_f \leq 16$ であることを示唆する結果を得ていたが、その結論をさらに強化し、確立することが研究目的の一つである。もう一つのプロジェクト、有限温度でのコンフォーマルな性質の解明をさらに発展させる。 $N_f=2$ の QCD において、 $T > T_c$ の時、時間方向のサイズが空間サイズより大きいときにコンフォーマルな領域が存在することを26年度までに示したが、さらに時間方向のサイズが空間サイズより小さいとき数値的に示す。

2. 研究成果の内容

繰り込み群に基づく、まったく新しいRGスケーリング則を提唱して、それを用いてIR fixed pointの位置を同定した。コンフォーマル理論の基盤をなす画期的な結果である。具体的には、 $N_f=16, 12, 8, 7$ の場合、繰り込み群によって改善されたゲージ作用(Iwasaki action)と Wilson fermion action を用いて計算を行った。その固定点上での中間子の伝搬関数を求めることができた。これにより、下限が $N_f=7$ であるという我々の長年の予言が確かめられた。異常質量指数を定めることも重要である。我々の提唱した新しい方法で異常質量指数を求めることが出来るが、そのためには格子サイズをさらに大きくとる必要がある。これからの課題である。

また、2番目のプロジェクト、有限温度でのコンフォーマルな性質の解明をさらに発展させた。 $N_f=2$ の QCD において、 $32^3 \times 8, 16^3 \times 4, 32^3 \times 4$ の格子サイズでシミュレーションを行った。

UV fixed point $g=0$ の近傍では free particle のように振舞い、 $g=2.3$ 近傍では異常質量指数を持った粒子として振る舞うことを明らかにした。

Chiral phase transition と $U_A(1)$ の対称性の相転移点と同じ点で起こるか否かが、相転移の次数と密接に関わっており、論争の一つである。我々のシナリオと数値結果は、2次相転移を示唆しているが、未だに 決着がついていない課題である。さらに、論理と数値計算を行う必要がある。

3. 学際共同利用として実施した意義

コンフォーマル・ゲージ理論の全貌を明らかにするには、パラメータを $N_f, L_t, L_s, \beta, m_q$ と多数とらなくてはならず、重点課題推進プログラムとして実施することにより、可能となった。このプロジェクトにより、 $SU(3)$ ゲージ理論の新しい構造が明確になることが期待出来る。

4. 今後の展望

Conformal Window が $7 < N_f < 16$ であることを解明し、及び IR fixed point の位置を同定した。残された大きな課題は異常質量指数を求めること。QCD の $T > T_c$ での相構造を明確にすること。特に、chiral transition と $U_A(1)$ の対称性の破れが同じかどうかの決定。これらの課題を解決するつもりである。

5. 成果発表

(1) 学術論文

IR Fixed Points in $SU(3)$ Gauge Theories

K. -I. Ishikawa, Y. Iwasaki, Yu Nakayama, T. Yoshie

Phys. Lett. B 748 (2015) 289.

(2) 学会発表

Study of the conformal phase of the $SU(3)$ gauge theory with domain-wall fermions

J. Noaki

the 33st International Symposium on Lattice Field Theory - LATTICE 2015, July 14 - 18, 2015, Kobe

(3) その他

Conformal Properties in High Temperature QCD

K. -I. Ishikawa, Y. Iwasaki, Yu Nakayama, T. Yoshie

arXiv:1511.03411

使用計算機	使用計算機に○	配分リソース*
HA-PACS	○	4207
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。