４次元超対称ヤンミルズ理論の数値的研究

平成30年度ヒアリング＠筑波学CCS会議室A

2018年 3月2日

代表: 谷口裕介

1．動機と先行研究

動機：超対称性は重要

- 超弦理論の基本的対称性

  重力の量子論、万物の理論

- 場の理論的な興味

  相互作用を入れても解析的に扱える、サイバーグ双対性、サイバーグ・ウィッテン理論、AdS/CFT対応….

- 標準模型を越える物理

  近い将来に素粒子実験で見つかるかも？

  私自身はほとんど期待していません

動機:格子理論と超対称性

- 長い歴史(1977〜)　　c.f. 格子QCD (1974)
- 難しさ

$$\{Q_\alpha, Q_{\dot\beta}\} = 2i\sigma_{\alpha\dot\beta}P_\mu$$

微小並進

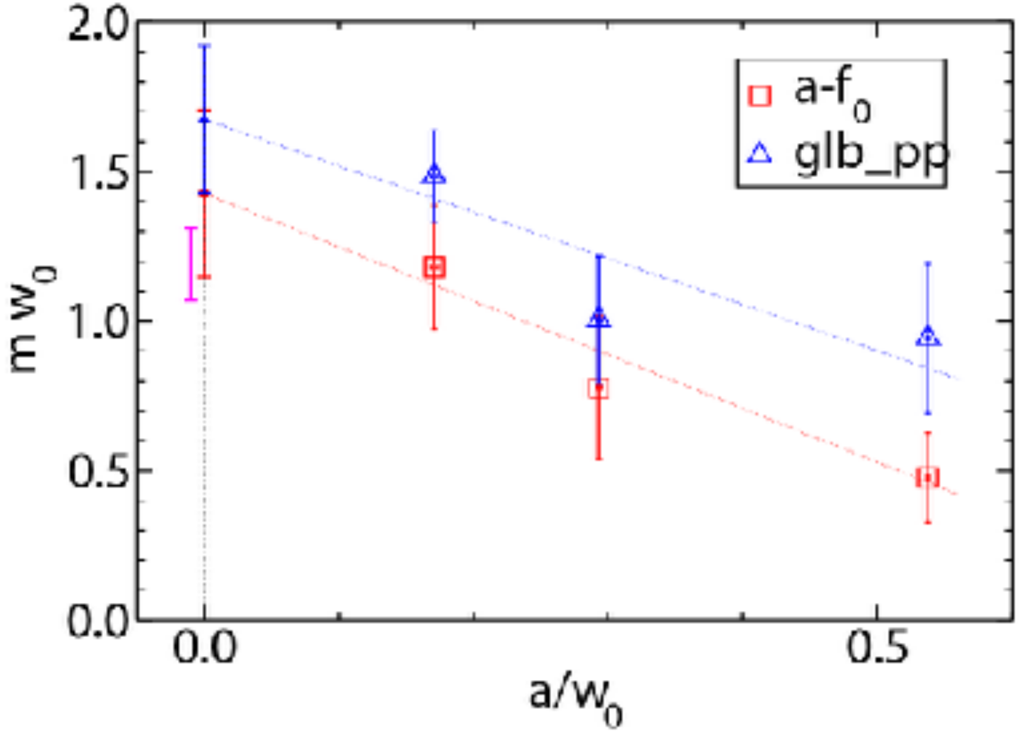
格子上には無い

- Fine-tuningによる解決策

理論のパラメータを微調整し、
連続極限で超対称な理論を再現

先行研究：DESY-Munsterの最近の結果

- 格子の大家Montvayが1990年代半ばから始め
- 20年以上続くが…はっきりしない



JHEP, 2015

ボソニックな束縛状態とフェルミオニックな束縛状態の質量縮退は誤差が大きくはっきりしていない

先行研究

- DESY-Munster collaborationには不満があります！
  - グルイーノ質量の微調整がなっていない
    - パイ中間子がゼロ質量ではない
    - 彼らは場の理論的には存在しないナニかを使って微調整を行なっている

正しい手法が必要

本研究:
最近発展してきたグラディエントフローをゲージーノ質量項の微調整に使用する

本研究の特色:フロー方程式と超対称カレント

- グラディエントフロー方程式　Luscher (2010)

$$\partial_t B_\mu(x,t) = D_\nu G_{\nu\mu}(x,t)$$
$$B_\mu(x,t=0) = A_\mu(x)$$

- フロー方程式を用いた超対称カレントの非摂動論的定義

Hieda, Kasai, Makino, Suzuki (2017)

$$S_\mu^R(x) = -\frac{1}{2\bar{g}(1/\sqrt{8t})}\left\{1+\frac{\bar{g}(1/\sqrt{8t})^2}{(4\pi)^2}C_2(G)\left[-\frac{7}{2}-\frac{3}{2}\ln\pi+\frac{1}{2}\ln(432)\right]\right\} \times\sigma_{\rho\sigma}\gamma_\mu\mathring{\chi}^a(x,t)G^a_{\rho\sigma}(x,t) - \frac{\bar{g}(1/\sqrt{8t})}{(4\pi)^2}C_2(G)3\gamma_\nu\mathring{\chi}^a(x,t)G^a_{\nu\mu}(x,t)$$

この超対称カレントの定義を使って、ゲージーノ質量項の
微調整を行って、超対称な連続極限を構成する

２．本計画について

本研究について：メンバー

- 谷口 (筑波大)

  格子QCDの理論、数値計算、格子超対称性の理論

  グラディエントフロー方程式を使った計算

- 浮田尚哉 (筑波大)

  格子QCDの数値計算、格子超対称性の理論

  超対称グラディエントフロー方程式の理論

- 加堂大輔 (慶應義塾大)

  格子超対称性の理論、数値計算

  超対称グラディエントフロー方程式の理論

本研究について: 平成30年度の計画

格子上の超対称理論

超対称ヤンミルズ (SYM)

- 超対称カレントにより質量の微調整を実現
- 連続極限を取る

勝利条件

- 超対称Ward-Takahashi恒等式からグルイーノ質量を引き出す
- グルイーノ質量がゼロになる点を探索する
- 連続極限で超対称束縛状態の質量が縮退することを見る

追い打ち

- ゲージーノ凝縮とカイラル対称性の破れを見る

本研究について:コードの準備状況

- テスト用の基本表現でのプログラム
  - ・配位生成用のプログラム 済
  - ・フローを使ったエネルギー運動量テンソル 済
  - ・相関関数 済
- フェルミオンの表現を変える 済
- Pfaffianのrational近似 済

・ 配位生成用のプログラム
（3月終わりから4月半ばまでに完成）

・ 超対称カレント用のプログラム
（配位生成の状況を見つつ7月終わりまでに完成）

本研究について：要求計算時間

- 配位生成　COMA
  - $V=16^4$,各パラメータで5,000トラジェクトリの配位生成
  - 格子間隔: 5点
  - ゲージーノ質量: 5点

$$5 \times 5 \times 5000 \times 3.2\mathrm{h} = 400{,}000$$ ノード時間

- 超カレント相関関数の計算　OFP
  - 5x5個のパラメータの1000配位に対し超対称ウォード高橋恒等式を数値計算

$$5 \times 5 \times 1000 \times 17\mathrm{h} = 430{,}000$$ ノード時間