

課題名 (タイトル) :

超対称性場の理論の数値シミュレーション

利用者氏名 : 鈴木 博

所属 : 和光研究所 仁科加速器センター
川合理論物理学研究室

1. 本課題の研究の背景、目的、関係するプロジェクトとの関係

素粒子物理学の標準模型を越えた枠組みでは、超対称性を持つ場の量子論が重要な役割を果たすと広く信じられている。しかし、驚くべき事に、この超対称性場の理論一般の数学的に満足いく定式化は未だ存在しないのである。従来、場の理論の非摂動論的研究を可能にする定式化としては格子場の理論が詳しく研究されて来た。この定式化は特に量子色力学への応用において華々しい成果をあげ、クォークの閉じ込め、ハドロンのスペクトラム、カイラル対称性の自発的破れなどの低エネルギー非摂動論的現象の第一原理からの研究を可能にした。そこで、格子定式化を超対称性場の理論に応用することが自然に発想されるが、これは容易ではない。理由は、超対称性の基本関係式は無限小並進を含み、一方時空を格子で近似する格子定式化には離散的な並進しか存在しないからである。つまり格子定式化は超対称性を必然的に壊す。この問題をいかに回避し、いかに系の非摂動論的な物理的性質を解析するか。これらが当研究の最終目標である。

2. 具体的な利用内容、計算方法

数値計算の方法自体は格子ゲージ理論におけるモンテカルロシミュレーションである。ただし、超対称性理論では動的なフェルミオンの効果を取り入れることが不可欠であり、効率の良い計算にはアルゴリズムにかなりの工夫を必要とする。ここでは、いわゆる Rational Hybrid Monte Carlo 法を使う。格子上の計算をオーダー10 程度のノードに分割し並列処理を行い、場の配位を生成する。コードは C++ と MPI とで書かれている。次に各配位に対して相関関数などを計算し、配位にわたる平均をとることで期待値を得る。相関関数の計算では格子ディラック演算子の行列式を求め

る必要があるが、現在この部分の計算には LAPACK ルーチンを使っている。この部分は現在並列化されていないので、1 ノードに 1 配位を割り振り、それぞれ独立に相関関数を計算させるという方法をとる。

3. 結果

現在まで、2 次元の $N=(2, 2)$ SU(N) 超対称 Yang-Mills 理論に対するシミュレーションのコードを構築し、様々な角度からのチェック、テストが終わっている。また超対称性 Ward-高橋恒等式測定用のコードもほぼ完成している。

4. RICC の継続利用を希望の場合は、これまで利用した状況 (どの程度研究が進んだか、研究においてどこまで計算出来て、何が出来ていないか) や、継続して利用する際に行う具体的な内容

2 次元の $N=(2, 2)$ 超対称 Yang-Mills 理論に対するコード自体はほぼ完成しているので、RICC を継続して利用し、本格的なシミュレーションを開始したい。まず、超対称性 Ward-高橋恒等式に関する我々の以前の計算結果を再確認する。次に、以前不可能であった程度の大きな格子体積で、ゲージ群の基本表現の電荷間の静的ポテンシャルを測定し、理論的予想との比較を行う。さらには、現在の計算コードを改造し、2 次元の $N=(2, 2)$ 超対称量子色力学用のコードを開発する。

5. 利用研究成果が無かった場合の理由

現時点までは、計算コードを開発する予備的研究の段階であったため。