

課題名 (タイトル) :

格子ゲージ理論に適したテンソルネットワークアルゴリズムの開発

利用者氏名 : ○清水 裕也

所属 : 連続系場の理論研究チーム

<p>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</p> <p>スーパーコンピュータを用いた格子ゲージ理論の数値シミュレーションは、素粒子の力学を第一原理から非摂動的に調べることのできる現状唯一の方法である。しかし、モンテカルロ法に基づいた現在の計算アルゴリズムでは、符号問題により高密度系やシータ真空等のシミュレーションは困難である。</p> <p>一方、物性物理学の分野において、テンソルネットワークアルゴリズムと呼ばれる手法が符号問題への有効性の観点から注目を集めている。本研究の目的は、テンソルネットワークアルゴリズムの一種であるテンソルくりこみ群を拡張して、格子ゲージ理論へ適用可能なアルゴリズムを開発し、その符号問題への有効性を実証することである。第一段階として、比較的シンプルな格子ゲージ理論である 2 次元格子量子電気力学 (QED) を、符号問題のあるシータ真空で定式化したモデルを扱う。</p>	<p>属することが分かった。さらに、見つかった相転移点の周りで Lee-Yang 零点の有限サイズスケールリング解析を行ったところ、フェルミオン質量を大きくする方向にずれると相転移が 1 次になり、逆に小さくする方向にずれると相転移がなくなることを示された。そして、2 次相転移点上では、Fisher 零点の解析結果と同様に Ising ユニバーサリティクラスを示す結果が得られた。よって、Ising ユニバーサリティクラスの 2 次相転移点が 1 次相転移線の臨界終点となっている。これは、半古典的な解析から予想される結果と合致する。これにより、モンテカルロ法では符号問題が厳しくなる $\theta = \pi$ の条件においても、我々のアルゴリズムは有効であることが実証された。</p>
<p>2. 具体的な利用内容、計算方法</p> <p>主要な演算内容は行列の特異値分解とテンソルの縮約計算である。特異値分解には PLASMA プロジェクトが提供している、2 段階前処理を適用した特異値分解ルーチンを利用した。テンソルの縮約計算については、Intel 社の数値演算ライブラリが提供する、高度に最適化された BLAS レベル 3 ルーチンを可能な限り利用するように実装した。これらにより全体の実行性能を高めた。</p>	<p>4. まとめ</p> <p>テンソルくりこみ群を拡張し、2 次元格子 QED の計算アルゴリズムを開発した。符号問題のあるシータ真空において実際に数値計算を行い、開発したアルゴリズムの有効性を実証した。</p>
<p>3. 結果</p> <p>Lee-Yang, Fisher の零点を求め、真空パラメータ $\theta = \pi$ における相転移を調べた。Fisher 零点の有限サイズスケールリング解析から、2 次相転移点が見つかった。特に、求めた臨界指数の値から、Ising ユニバーサリティクラスに</p>	<p>5. 今後の計画・展望</p> <p>今後の課題は、現実の素粒子、クォークの力学を調べるために、本研究の成果を格子量子色力学 (QCD) に適用可能なアルゴリズムに発展させていくことである。そのために、空間次元が大きな場合や非可換ゲージ理論においても効率的なアルゴリズムの開発を進める。</p>

平成 26 年度 RICC 利用研究成果リスト

【論文、学会報告・雑誌などの論文発表】

- [1] Yuya Shimizu and Yoshinobu Kuramashi,
`Critical behavior of the lattice Schwinger model with a topological term at $\theta = \pi$ using the Grassmann tensor renormalization group' ,
Physical Review D **90**, 074503, October 2014.

【国際会議、学会などでの口頭発表】

- [1] Yuya Shimizu and Yoshinobu Kuramashi,
`Grassmann Tensor Renormalization Group Study of Lattice QED with Theta Term in Two Dimensions' ,
32nd International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2014), June 2014,
Columbia University.
- [2] 清水 裕也,
「テンソルくりこみ群によるシータ項を含む格子上の Schwinger 模型の数値解析」,
基研研究会 素粒子物理学の進展 2014, 2014 年 7 月, 京都大学 基礎物理学研究所.
- [3] 清水 裕也, 藏増 嘉伸,
「2 次元格子 QED のシータ真空における相構造の数値解析」,
日本物理学会 2014 年秋季大会, 2014 年 9 月, 佐賀大学.