

課題名 (タイトル) :

格子 QCD 計算の最適化コード開発

利用者氏名 : ○ 出淵卓、大木洋、石川智己、青木保道、Thomas Blum、Christoph Lehner、Chulwoo Jung、Sergey Syritsyn、Meifeng Lin

所属 : 仁科加速器研究センター 理研 BNL 研究センター

<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>素粒子・原子核物理学の基礎となるクォーク粒子とその相互作用を司るグルーオン場の力学法則である量子色力学 (Quantum Chromo Dynamics, QCD) の第一原理計算を行うため、時空を格子状に切った格子 QCD 計算を超並列計算システム (GW-MPC) で行うため、アルゴリズムの改善とコード開発と最適化を行います。</p>	<p>クォークの理論形式を改善し、より小さな計算コストとメモリ容量で、カイラル対称性を保つための zMobius 理論形式の研究 (2) 理研 BNL 研究センターで開発した All-mode Averaging (AMA) を上記の zMobius 形式や単精度・倍精度の混合精度計算など合わせてさらなる計算コストの縮減を目指しました。</p>
<p>2. 具体的な利用内容、計算方法</p> <p>理研 BNL 研究センターで推進している、カイラル対称性を保った格子クォーク domain wall fermion を用い、自然界のクォーク質量と同じ質量パラメータ (3-5 MeV) での計算を要旨が数個入る大きな体積 (5fm 程度) 行うことにより、クォーク質量外挿によるカイラル外挿誤差、時空格子の格子間隔が有限である事による離散誤差、有限体積効果の 3 つの系統誤差を抑制した、加速器実験と直接比較することの出来る精度の良いモンテカルロ計算を行います。実験と理論の高精度の直接比較を可能にすることで、現在の素粒子・原子核の基礎理論が正しいか、また、今までに知られていない素粒子や新しい相互作用を探索することが出来るようになります。</p>	<p>3. 結果とまとめ</p> <p>zMobius と AMA アルゴリズムの研究の結果、いままでは 物理的質量のカイラルクォークの伝搬関数を 5fm 程度のサイズの時空上、共役勾配 (CG) 法で計算する場合 約 2 万回の 繰り返し (Dirac 行列と伝搬関数の掛け算) が必要でした。2400 個の zMobius 演算子の固有ベクトルを用いた deflation を行い、さらに zMobius を前処理として使うことによりそれが 600 回程度の繰り返しにまで下がります。さらに CG 法の収束精度を下げる近似を多数回行う AMA 法を同時に用いることによりさらに 約 5 倍の計算量縮減が可能になります。zMobius は問題サイズを 2-3 倍小さくできる効果 (“5 次元方向” のサイズを 24 から 10 にする事に対応) も考えに入れて全体の計算量を 160 分の 1 に縮減することができます。AMA 法では、収束精度の高い CG 法を少数回行い同じ精度を得るため、最終的に必要な計算量を 1 桁から 2 桁下げることが出来るようになり、自然界に対応するカイラルクォークを用いた格子 QCD 計算が現実の物とすることが出来ます。</p>
<p>量子色力学のファインマン経路積分をモンテカルロ計算で行うため、その統計誤差を下げるためにモンテカルロサンプルを多数用意することが必要になるため、計算効率を上げるコード上、アルゴリズム上の工夫が必須です。</p>	<p>4. 今後の計画・展望</p> <p>記アルゴリズム開発を行っていて、FX-100 上の最適化コードの開発を本格的に開始する前に、簡易</p>

平成 27 年度 利用報告書

利用から一般利用に移行しました。