

課題名 (タイトル) :

IIA 型行列模型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 仁科加速器研究センター 理論研究部門 初田量子ハドロン物理学研究室

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

超弦理論はその摂動論的記述の発見以来、素粒子の世界を記述する基本的な理論と考えられてきた。しかし、その非摂動論的な定式化は全く確立しておらず、この理由から基本的な部分での発展は長年にわたり停滞している。こうした状況の中、ごく最近、杉野と黒木により、2次元の時空間で定義された IIA 型の超弦理論を非摂動論的に定義すると考えられる行列模型が提案された。これは 2次元という直接は物理的ではない時空に対するものではあるが、行列模型という不定性のない枠組みに基づいており、成功すればいわゆるダブルスケール極限により摂動級数を足し上げることの可能な、超弦理論として初めての例を与えるはずである。

2. 具体的な利用内容、計算方法

この行列模型に対してはラージ N 極限の最初の項以外を解析的に求める方法が無かった。そこでこの行列模型の各種相関関数をモンテカルロ法により計算し、その行列サイズ N 、パラメータ ω に対する振る舞いをフィットで求めることを目標にした。具体的には行列の N 個の固有値を力学変数として、統計アンサンブルをメトロポリス法により生成した。シミュレーションのコードは C++ で作成した。得られたアンサンブルの配位は全て手元のパーソナルコンピュータにダウンロードし、パソコン上で python のコードにより統計処理を行った。

3. 結果

結合定数 t が 0.1, 0.2, ... 1.0 の 10 通り、 $N = 10, 20, \dots 100$ の 10 通りの合わせて 100 通りの組み合わせのそれぞれに対して、モンテカルロシミュレーションにより 100 万個程度の配位を得た。これには、申請した CPU 使用時間、1,500,000 コア時間の約 14% を費やした。さらに

これらの配位を使って行列模型の一点関数の値を本申請の当初の目標の 3 パーセントの誤差で評価することに成功した。ここまで結果により、一点関数に対して非摂動論的な補正があること、また、この非摂動論的補正はダブルスケール極限においても非自明に残ることがほぼ確実にされた。これはこの理論の超対称性が非摂動論的な効果により破れていることという驚くべき事実を強く示唆する。この結果に刺激され、さらに精密な結果を得るべく試行錯誤するうち、解析的手法と数値的手法と組み合わせた全く新しい手法を発見した。この手法の応用のためには、RICC ではなく、Mathematica を用いた計算が特に適しており、この時点で Mathematica による計算に方針を転換し、現在まで $N=1,000,000$ という極めて大きな N までの結果を得、ダブルスケール極限での超対称性の破れについて、まず疑いの無い結果が得られている。

4. まとめ

この行列模型のダブルスケール極限において超対称性が破れているという非常に強い証左が得られた。現時点での最終結果は RICC を用いて得られたものではないが、そこに至る過程においては RICC でのモンテカルロシミュレーションが決定的な役割を果たしている。RICC のリソースを多く使わせて頂いたことに大変感謝している。

5. 今後の計画・展望

超弦理論における超対称性が非摂動論的な力学により破れるという現象はここで初めて見いだされたものであり、大変大きなインパクトを持つと考えている。これは昨年の 10 月から開始したプロジェクトであることもあり、まだ論文としては発表していないのであるが、現在、この結果を前面にした本論文を作成中である。