

課題名(タイトル):

格子ゲージ理論を用いたブラックホール周りの Dirac フェルミオンの解析

利用者氏名:

○青木 匠門

理研における所属研究室名:

数理創造研究センター

1. 本課題の研究の背景、目的、関係する課題との関係
この研究の目的は、正方格子上に曲がったドメインウォールを設置して重力場と物質場の量子効果を非摂動的に解析し、ブラックホールに関連する物理現象を数値的に解明することである。まず、高次元の正方格子に曲がったドメインウォールを設置し、その上に曲がった空間のフェルミオン系を構成する。これによって、量子重力の効果が小さいブラックホール周りの物理現象や初期宇宙を数値的に解明できる。特に背景を Schwarzschild 時空に固定すれば、ブラックホールを周回する粒子から放たれる放射線の散乱断面積や、ニュートリノフラックスに与える影響を数値的に評価できる。この研究によって強い重力による効果を正確に計算できるため、実験や観測にも貢献できる。さらにドメインウォールを動かすと重力場が変化するので、可能なドメインウォールの配位を足し上げて重力の経路積分を実行する。この方法は既存の格子ゲージ理論に則っており、ブラックホールの 蒸発現象への量子重力の効果を非摂動的に解析できる。蒸発現象の解明とそれに伴った情報喪失問題の解決は、物理学において非常に重要である。これは量子重力の非摂動的な定式化であり、一般の量子重力理論の構築のヒントにもなる。

2. 具体的な利用内容、計算方法

まず、2次元球面をドメインウォール2枚の交点として記述し、先行研究と比較した。次に4次元の正方格子に2枚のドメインウォールを設置した系を考えた(図1)。ドメインウォールの交点は、角度方向を無視した Schwarzschild 時空の時間と動径のみを再現した空間となっている。ドメインウォール入りの4次元の Dirac 演算子を行列で表し、スーパーコンピュータを用いて数値的に解き、その固有値と固有状態を調べた。さらにドメインウォールに局在した状態が垂直な方向を向いたガンマ行列の固有状態であるかどうか調べた。

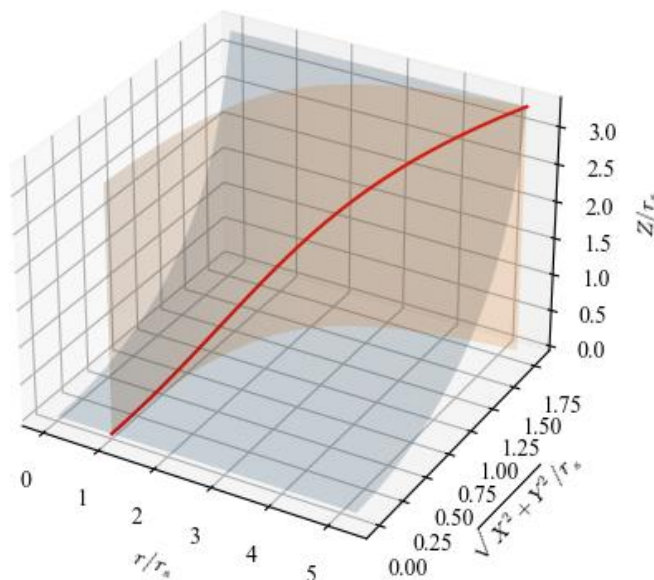


図1 ドメインウォールの交点(赤線)として記述される Schwarzschild 時空

3. 結果

2次元球面の場合の数値計算は、単一のドメインウォールや連続極限で得られた結果と整合していた。低エネルギーの部分は通常の球面と同じような固有値分布であり、その固有状態は期待通りに球面に局在し、2種類のガンマ行列の同時固有状態でもあった。Schwarzschild時空の場合でも、交点に局在する状態は同じ性質を示した。面白いことに、ドメインウォール内のブラックホールに対応する部分に強く局在していた。

4. まとめ

ドメインウォール2枚の場合でも、1枚の場合と同じように局在状態が存在し、ガンマ行列の同時固有状態でもあった。特に Schwarzschild 時空の再現するドメインウォールではブラックホールに近いほど分布が高くなっていた。

5. 今後の計画・展望

Schwarzschild 上の Dirac 演算子を実際に計算し、固有状態を求め、格子の結果と比べる。