

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 号
------	---------

氏 名 綿村尚毅

論 文 題 目 Entanglement Entropy and Entanglement Growth
in Gauge Theory

(ゲージ理論におけるエンタングルメントエントロピー
と量子もつれの時間発展)

論文審査担当者

主 査 名古屋大学大学院理学研究科 准教授 博士(理学) 酒井忠勝

委 員 名古屋大学基礎理論研究センター 教授 博士(理学) 久野純治

委 員 名古屋大学大学院多元数理科学研究科 教授

博士(理学) 白水徹也

委 員 名古屋大学大学院理学研究科 准教授 理学博士 南部保貞

委 員 名古屋大学大学院理学研究科 教授 博士(理学) 清水裕彦

論文審査の結果の要旨

別紙 1 - 2

量子力学の最も顕著な性質の一つとして、量子もつれがあげられる。その度合いを定量的に表す物理量がエンタングルメントエントロピー(EE)である。

近年、EE に関する研究が非常に盛んに行われている。その理由の一つは、特に AdS/CFT 対応の進展を契機として、素粒子論のみならず量子重力や量子情報理論など非常に多岐にわたる分野を結びつける最も基本的な概念の一つとして、EE が考えられているためである。EE 自体は、量子力学の状態空間の部分空間を積分して得られる縮約密度行列に対するフォンノイマンエントロピーとして定義される。しかしながら、この定義に基づき、無限次元の量子力学である場の量子論における EE を計算することは容易ではない。また、真空に対する EE の解析はこれまでよくなされてきたが、励起状態への拡張は未解明の部分が多く残されていた。

申請者は主論文において、4 および 6 次元マックスウェル理論におけるレニーエントロピー(RE)の解析を行った。RE とは EE を 1 パラメータ拡張した物理量であり、そのパラメータのある極限をとると、EE に一致する。RE を考える利点は、レプリカ法に基づく RE の効果的な計算法が確立しているからである。それによれば、考えている場の理論を適切な多重被覆空間上で定義すると、真空に関する RE はその分配関数に等しい。申請者は励起状態として、ある時刻において真空を局所演算子により励起した状態を考え、その RE の時間依存性を調べた。レプリカ法を用いると、多重被覆空間上に置かれた局所演算子の多点相関関数を求める問題に帰着する。申請者は様々な型の局所演算子に対して多点相関関数を、はじめて解析的に求めた。その結果、局所演算子の RE への影響が因果律に矛盾なく起こること、さらには長時間極限での RE の値が、準粒子描像に基づく簡単な代数構造のみから決定されることを示した。

申請者はさらに 4 次元自由スカラー場理論において、局所演算子による励起状態に関して RE を計算した先行研究に着目した。この場合にも RE の長時間極限と準粒子描像が関係することは知られていたが、申請者は一般の時刻においても同様な解釈が可能かどうか調べた。その結果、準粒子が構成するフォック空間において適切な密度行列を仮定すると、その縮約密度行列から RE が一般の時刻においても再現されることを、はじめて示した。さらには、仮定した密度行列は、挿入した局所演算子の効果が伝播する波面の配位から理解できることを見出した。

申請者はまた、4 次元マックスウェル理論においても、一般の時刻における RE を再現する準粒子描像が可能なることも示した。さらにその数学的構造は、多重被覆空間上の 2 点関数のみから決定されることを示した。

本論文で取り上げられた場の量子論は自由場に限られるものの、準粒子に基づく非常に簡単な量子系により、それらの EE が理解可能であることをはじめて示し、EE の物理の解明にむけて新たな可能性を切り開いた本論文は、高く評価できる。したがって、申請者は博士(理学)の学位を与えるに相応しいと認められる。