

氏名	松本 隆志
学位の種類	博士(理学)
学位記番号	第 590 号
認定課程名	防衛大学校理工学研究科後期課程
学位授与年月日	平成 30 年 8 月 24 日
論文題目	Unruh 効果と相対論的量子纏れの空間的構造
審査担当専門委員	(主査) 東京工業大学 教授 田中 秀 数 東京大学 教授 深津 晋 中央大学 教授 香取 眞 理 名古屋大学 准教授 南部 保 貞

審査の結果の要旨

量子纏れとは、合成系の状態ベクトルが構成要素の状態ベクトルの直積として因子化されないことをいう。古典系で構成要素が局在化され相互に独立である場合でも、量子系では状態ベクトルの因子化が出来ず構成要素間に相関が現れうる。量子纏れは構成要素の取り方に依存するため、その選択に物理的意味を与えねばならない。通常は、構成要素の局在性が抽象的なものでも、空間の古典的局在性を絡め議論されることが多い。しかしながら相対論的量子論での空間的局在性は自明ではない。一定加速度系 (Rindler時空) のような地平線を持つ座標系では、時空は分割され、全時空で定義されている状態ベクトルを分割された時空での状態ベクトルで記述したときに熱的な粒子が観測される (Unruh効果)。これは相対論的な量子纏れ現象の一つであると考えられる。本論文の目的は、相対論的場の理論における量子纏れを、構成要素の空間的局在性と合成系の空間的大局性を直接結びつけて調べることである。

まず、相対論的量子論における基本的構成要素とその局在性を調べるための手法として、Wignerの方法とよばれる手順を採用してその内容の整理を行った。空間的局在性を議論するには古典論との対応が必要であり、古典論、量子力学そして場の量子論を一貫して扱うことが重要である。そのため、対称性変換群の表現論を用いて着目する変換群の余随伴軌道とすることで古典的粒子の位相空間を構成する。次に、その余随伴軌道に対応する変換群のユニタリー表現より量子力学を構成し、量子論的観測量と古典的位相空間との対応を取る。以上を多体系に拡張することで基本的粒子描像 (生成消滅演算子とそれらに伴うFock空間) が決まる。具体的にUnruh効果の解析に必要なMinkowski空間での加速度運動の世界線から構成される座標系 (Rindler時空) に対してNewton-Wignerの空間的局在性の議論及びその場の量子論への拡張を行った。

次に、座標系の選択と基本的構成要素との関係、基本的構成要素の空間的局在性と合成系の大局的状态の空間的構造についてUnruh効果を用いて考察した。基本的構成要素として空間的位置で特徴付けられるRindler空間での粒子描像を用い、合成状態としてMinkowski空間の真空を用いて量子纏れ及びその空間的構造を調べた。左と右のwedgeに一つずつ粒子が発見される相対的確率振幅を評価した結果、原点からの距離が左右等しいところに値を持ち、その値は距離が質量に依存するある値以上で急減することを見出した。これは纏れの強さが原点から離れると急激に小さくなることに対応する。さらに観測者とともに動く検出器系を導入し、左右のRindler wedgeごとの位置に対応した相関を調べた。その結果、左右両方の検出器が共に一定固有加速度運動している方が、一つは等速運動し他方は等固有加速度運動している場合より相関が短くなるという結果を得た。これは後者の方は左右独立な粒子描像でないことに起因すると考えられ、構成要素の状態で書き直すことにより確認することが可能である。

以上のように、松本氏の研究はUnruh効果における量子纏れの性質を、相対論的場の理論における空間的局在化の手法を用いて解析するというユニークなものであり、本論文を博士（理学）に値する論文と認める。