

論文審査の要旨

|   |                |      |      |
|---|----------------|------|------|
| 博士の専攻分野の名称  | 博士（学術）         | 氏名   | 廣石雅紀 |
| 学位授与の要件   | 学位規則第4条第①・2項該当 |      |      |
| 論文題目  |                |      |      |
| ウンルー効果の量子情報科学への応用に関する理論的研究  |                |      |      |
| 論文審査担当者   |                |      |      |
| 主査  | 教授             | 畠中憲之 | 印    |
| 審査委員  | 教授             | 石坂智  | 印    |
| 審査委員  | 教授             | 稲垣知宏 | 印    |
| 審査委員  | 教授             | 荻田典男 | 印    |
| 〔論文審査の要旨〕   |                |      |      |
| <p>現代社会において、情報通信は人工知能やネットワーク通信など急成長する情報化社会を支える基盤要素である。最近のナノテクノロジーの発展に伴い、情報担体が従う原理が古典力学から量子力学へと変わり、量子力学を積極的に利用した量子情報通信が生まれた。（情報のルネサンス）。本論文では、量子力学に相対論を融合させた、言わば相対論的量子通信技術の開拓を目指した論文である。具体的には、従来の慣性系間における量子通信を拡張し、慣性系と加速度系の間での量子通信に関する基礎理論を構築したものである。本論文は、全8章より構成されており、第1章では、研究の背景と問題の所在を提示し、研究の目的を述べている。第2章から第4章までは、一様加速系における量子論を展開する上で必要な基礎事項が整理されている。第5章から第7章では、相対論特有の概念である「閉じた時間曲線」（過去と未来を結合する世界線）を積極的に活用して、量子通信における基本構成要素である量子エンタングルメントの抽出方法を提案し、それを量子力学特有の通信技術である量子テレポーションに応用している。第8章では、本研究の学術的意義など総括を行なっている。</p> <p>相対性理論は、観測者の置かれた立場によって異なって見える物理現象を矛盾なく説明する。ウンルー効果はその一つで、慣性運動している観測者（アリス）から見て真空状態にある場（世界）が、一様加速運動している観測者（ロブ）から見ると熱状態の場として観測される現象である。このロブが観測する熱状態は古典的な状態であるため量子力学に立脚する量子情報処理を遂行するうえで回避すべきものとされてきた。しかしその一方で、ウンルー効果は、量子情報処理において必須な量子操作であるパラメトリック増幅効果と物理的に等価である。本論文では、この点に着目し、ウンルー効果に秘められた特性を量子情報処理へ活用する方法を考案している。</p> <p>熱状態をもたらすウンルー効果は、その前駆過程として、一様加速系のлиндラー空間における二つの異なる領域における場の間に量子エンタングルメントを生成する。しかし、それらの領域は相対論的にアクセス不能なため実行的に量子エンタングルメントは利用できず、その一方の利用である熱状態に留まっていた。これを利用可能な形態となるように、アリスのミンコフスキー空間を介在する恒等的量子チャネルを考案することによって、ウンルー効果を量子</p> |                |      |      |

情報技術においてパラメトリック増幅と同様の使い方ができることを示している。

そして、利用可能となったлиндラー空間における場の量子エンタングルメントを資源として、ミンコフスキー空間におけるアリスが保有する量子ビットとлиндラー空間におけるロブが保有する量子ビットとの間の量子通信を考案した。そこでも恒等的量子チャンネルが、波束の収縮の双方向的な伝播を許す可逆性をもつことを利用して、パラメトリック増幅では実現し得ないウンルー効果に特有の活用形態を実現した。つまり、特殊相対性理論の時間同時性により、量子測定による波束の収縮が恒等チャンネルを介して空間を往復しつつ過去へと遡及し、その結果として、疑似的に過去と未来が閉じた「時間閉曲線」を形成させ、慣性系のアリスと一様加速系のロブとの間の量子相関の形成に利用している。

以上の通り、本論文では、これまで活用されることのなかった特殊相対論的效果であるウンルー効果が、量子情報技術に活用可能であることを理論的に示している。

以上、審査の結果、本論文の著者は博士（学術）の学位を授与される十分な資格があるものと認められる。

備考 要旨は、1,500字以内とする。