

論文審査結果の要旨

氏名 仲山将順

本論文は“Theory of quantum measurement of energy –quantum algorithms and its evaluation–”（エネルギーの量子測定理論 –量子アルゴリズムとその性能評価–）と題し、6章からなる。本論文の主目的はハミルトニアンが未知の系に対するエネルギーの射影測定法を構成し、その性能を評価することである。第1章は論文全体のイントロダクションであり、エネルギーの測定方法とその応用に関する先行研究について述べられている。第2章では量子力学における測定理論として、測定演算子による形式とインストルメントによる形式を紹介している。また、これら二つの形式を統一的に扱うことのできる測定の枠組みを与えている。この枠組みは本論文を通して使われるものである。第3章では、ある測定が物理量の射影測定としてどれほど優れているかを評価する量として“測定値の揺らぎ”と“繰り返し不可能性”と呼ぶ計算が容易な量を導入し、それらと既存の評価関数である Monge 距離と Diamond ノルムとの関係を導いている。Monge 距離は確率分布の振る舞いについて注目した量であり、近年では量子系の同時測定における不確定性関係を導く際にも使われている。他方、Diamond 距離は状態変化の性質の違いを測るために導入され、量子情報の分野で広く使われている。本論文の結果により、これまで取扱いが難しかったこれらの量が、計算しやすい新たな量で評価できるようになった。第4章では未知のハミルトニアンを推定することによってエネルギーの射影測定を行う、“トモグラフィーによる方法”を提案している。これは Aharonov らの 2002 年の論文で示唆されていた手法であるが、ハミルトニアンの時間発展を線形推定法を用いて推定する具体的な構成法を初めて示した。“トモグラフィーによる方法”において、“測定値の揺らぎ”をある値以下に抑えるために必要な測定時間が量子系のサイズに依存することが明らかにされた。他方、“繰り返し不可能性”はハミルトニアンに縮退がある場合には測定時間をいくらかけても 0 にはならないとの予想を具体的なケースに関する考察に基づいて行った。第5章は“位相推定による方法”を扱うオリジナルの内容である。この手法は、量子情報の分野で知られている“位相推定アルゴリズム”を本論文のケースに適用するものである。“位相推定アルゴリズム”はエネルギーの射影測定を実装することのできる手法として従来から知られてきたものであったが、このアルゴリズムを利用するためにはハミルトニアン時間発展のコントロールユニタリーが必要となる。コントロールユニタリーを被測定系のハミルトニアン時間発展を用いて実装する試みは、厳密な実装が不可能であることが Araújo らの 2013 年の研究によって明らかにされていた。そこで本論文では近似的であるが欲しい精度にいくらでも近づけてハミルトニアン時間発展のコントロールユニタリーを実装する方法を提案している。このコントロールユニタリーを通じた“位相推定アルゴリズム”によるエネルギーの射影測定の実装について解析を行い、必要な測定時間は被測定系のサイズに依存しないことが示された。また“繰り返し不可能性”については常に 0 であることが示された。本論文の第6章では全体のまとめを行っている。

本論文でのオリジナルの結果を含む 3, 4, 5 章の結果は添田滸人氏、村尾美緒氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となって導出した結果であり、論文提出者の寄与が十分であると判断する。したがって、博士（理学）の学位を授与できるものと判断する。