

論文審査の結果の要旨

氏名 森 雄 一 朗

本論文は、6章と補遺 A、B からなり、第4章と第5章が論文提出者独自の研究結果に基づく中核部分である。

第1章は、全体のイントロダクションであり、研究の背景として、測定、量子力学、弱値、弱値増幅の研究の歴史について、それぞれ述べられた後に、次章以降の内容が簡単にまとめられている。

第2章は、精密測定に関する誤差理論のレビューにあてられている。測定の不確実性についての一般的な議論の後、統計誤差と系統誤差、直接測定と間接測定、パラメータの評価と評価誤差について述べられている。

第3章は、弱値増幅とそれに関係する問題のレビューにあてられている。まず、量子力学における間接測定、von Neumann による測定モデル、測定の“弱さ”、メーター系による観測の議論の後、Aharonov の弱測定と弱値増幅が導入されている。次に、過去の代表的な弱値増幅実験である Hosten と Kwiat による光のスピンホール効果 (SHEL) 実験と Dixon らによる超高感度ビーム偏向 (USB) 実験がレビューされ、さらに、弱値増幅の問題点及び実際の実験の技術的問題点が議論されている。

第4章では、弱値増幅を用いた実験の有効性を評価するために李と筒井によって提案されたスキームに誤差の評価を実装し、SHEL 実験と USB 実験に適用することによって、これらの実験において弱値増幅が実際に有効かどうかを検証するとともに、提案されたスキームの有用性について議論されている。まず、弱値増幅において本質的に重要である測定における不確実性について説明した後、測定誤差が理論誤差と実験誤差に分類され、さらに理論誤差は模型誤差と近似誤差に、実験誤差は統計誤差と“制御不能”誤差にそれぞれ分類されることが議論されている。次に、それぞれの誤差の評価方法が説明されている。さらに、このスキームを SHEL 実験と USB に適用し、測定誤差を実際に評価した結果、これらの実験において弱値増幅が有効であるとの結論が示されている。さらに、実際の弱値増幅は、相対誤差が最も小さくなる最適値近傍となっていることも指摘されている。また、これらの結果から、論文提出者らの提案するスキームが有効であるとの結論が示されている。

第5章では、弱値増幅の高エネルギー実験への応用が議論されている。一般に、素粒子の崩壊幅が素粒子の崩壊を記述する有効ハミルトニアン¹の弱値の虚数部に比例することが示された後、B 中間子系での CP 対称性の破れの観測に弱値増幅を応用するにあたって必要となる理論的事項が説明されている。まず、B 中間子の崩壊によって生成される素粒子の状態を選択することによって事後選択が可能となることが示されている。次に、崩壊時の事後選択によって崩壊時間の分布が変化すること、すなわち、事後選択を行わない場合の時間分布と事後選択を行なった場合の時間分布を比較し、事後選択を行わない場合の B

中間子の元の寿命に比べて、事後選択を行なった場合の B 中間子の有効寿命は、最大 2.6 倍伸びることが示されている。さらに、モンテカルロシミュレーションの結果、もし事後選択を行った場合でも十分に統計誤差を小さくすることができれば、CP 破れのパラメータの決定精度が 20%程度改善され得ることが示されている。

第 6 章は、論文の結論と議論にあてられている。

補遺 A・B では本文で省略した計算の詳細や本文の内容に関連した事柄の補足が与えられている。

本論文においては、量子力学の新しい可能性である弱値とその測定に関して、弱値増幅の有効性を検証するための新しいスキームを整備し、過去の代表的な弱値増幅実験に適用して、実際に弱値増幅が有効であること及び新しいスキームの有用性を示した点においてその意義を認める。また、弱値増幅のアイデアを高エネルギー実験、すなわち B 中間子系での CP 対称性の破れの観測、に応用する可能性を探った点において、その独自性を認める。弱値増幅によって、実際に CP 対称性の破れの実験を改善できることを示したとまでは言えないが、原理的には可能であることから、さらなる理論的及び実験的研究によってブレイクスルーを期待することができる。

なお、本論文の第 4 章の結果は、李、筒井との、第 5 章は、東野、田窪、筒井、樋口、石川との共同研究に基づいているが、本論文の主要な結果に関わる部分は、論文提出者が主体となって分析を行なったもので、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と認める。