

論文審査の結果の要旨

氏名 小松 雄哉

本論文は6章からなり、その研究内容は、原子核物質中の ϕ 中間子の質量分布の精密測定をめざした実験で鍵となる検出器の開発と、真空中での質量分布からの差に対する感度を定量的に評価したものである。

第1章(序章)では、まず、高温あるいは高密度物質中のハドロンの質量が、カイラル対称性の破れの回復により変化することが予言されていることが示されている。ベクトル中間子の質量変化に関するこれまでの実験結果によると、高エネルギー重イオン衝突実験および陽子-原子核衝突実験では質量変化が示唆されているが、電磁相互作用によるベクトル中間子生成では必ずしも有意な質量変化が得られていないなど、実験的証拠が確立していないことが示されている。これらのうち、KEKでの陽子-原子核衝突実験 E325 で報告された ϕ 中間子の質量変化の大きさは、最近の理論計算と大きく外れていることが示され、それを検証するために計画された J-PARC E16 実験の鍵となる高計数率、低物質量の検出器開発および検出器システムの総合評価が、本研究課題として設定されている。当該研究の理論的、実験的現状の理解と研究の方向性およびその中における当該課題の位置づけがなされており、論文提出者の科学的視点の確かさが示されている。

第2章では、J-PARC E16 実験の概要とそれを構成する検出器の性能評価が記述されている。高計数率下で動作する新しい型の電子増幅器 Gas Electron Multiplier (GEM) が荷電粒子の飛跡検出器と、電子同定のための Hadron Blind Detector (HBD) に利用され、それらの性能が評価された。飛跡検出器は磁場がない環境で計数率、位置分解能とも目標が達成されている。HBD および鉛ガラスカロリメータの応答の解析から電子同定能力および荷電 π 中間子除去能力が評価され、いずれも目標が達成されている。実験の鍵を握る検出器開発を着実に実行し、適切な解析およびシミュレーションがなされており、論文提出者の実験設計能力の高さが示されている。

第3章では、磁場中での飛跡検出器の位置分解能を調べたテスト実験が記述されている。東北大学電子光理学研究センターの電子ビームを、1T に励磁させた RTAGX

磁石磁石内部に置かれた4台のGTRに入射させ飛跡が測定された。磁場中の荷電粒子の軌道に起因するローレンツ角度とGTRへの入射角度の関係を利用した解析により、磁場中でも100 μm よりよい位置分解能が実証された。性能評価のための実験の設計および実施、種々の較正を含む解析手法の開発により目標を達成させたことは、論文提出者の実験能力の高さが示されている。

第4章では、KEK E325 実験の報告と同じ ϕ 中間子の質量分布変化を仮定した質量スペクトルのシミュレーションが記述されている。 ϕ 中間子の生成率、崩壊率、質量分布の内部輻射補正といった物理過程に基づく事象をJAMモンテカルロコードで発生させた。この物理事象を双極電磁石の磁場分布、これまでに評価した検出器の性能、予定している陽子ビームの性質、標的の大きさおよび厚さに基づき、検出器等の物質による影響も考慮した実験事象データとしてシミュレートされ、それらが解析された。同様に想定されるバックグラウンドもシミュレートされ、 ϕ 中間子のピーク付近の信号対ノイズ比が1:1程度であることが示された。シミュレーションの詳細の緻密さに加え、解析手法の開発に論文提出者のオリジナリティーが見られる。

第5章では、第4章で得られたエネルギースペクトルの解析が示されている。KEK E325 実験と同じ質量分布の変化を仮定した場合の質量変化の感度がJ-PARC E16 実験では、 5σ 以上であると評価された。さらに、エネルギー変化と幅を変化させる複数のパラメータセットに対するシミュレーションから、質量変化の感度が 3σ 以上の領域が見積もられ理論の予言と比較された。長時間のシミュレーションによって得られた結果は十分に信頼できるものと判断される。

これらの内容は、第6章にまとめられ、あわせて、 ϕ 中間子スペクトル測定実験J-PARC E16 実験の重要性が述べられている。

以上のように本研究は、カイラル対称性の破れとその回復に関わる原子核中の ϕ 中間子質量分布の測定の鍵となる検出器開発と性能評価、シミュレーションによる実験の定量的な実現可能性を示したもので、核物質中のハドロンおよび強い相互作用の性質の研究に大きく貢献するものである。

なお、本論文は共同研究であるが、論文提出者が主体となって実験、シミュレーション、解析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

従って、博士(理学)の学位を授与できると認める。