

論文審査の結果の要旨

氏名 田中 良樹

本論文は6章からなり、その研究内容は、重い擬スカラー中間子 η' 粒子が原子核に束縛された状態である η' 中間子原子を $^{12}\text{C}(p,d)$ 反応により探査したものである。

第1章(序章)では、まず、擬スカラー中間子のうち、 η' 粒子の質量が、原子核物質中でのカイラル対称性の破れの回復により軽くなることが予言されていること、それが η' と原子核物質との相互作用(光学ポテンシャル)とが関連づけられることが示され、 η' 中間子原子が幅の狭い状態として現れるという理論的予言が論じられている。 η' 中間子原子を探査することにより、光学ポテンシャルの実部と虚部の値に対してより強い制限を与えることが可能であり、それがこの研究を動機付けていることが示されている。当該研究の理論的な裏付けを深く理解しており、また研究の方向性およびその中における当該課題の明確な位置づけがなされており、論文提出者の科学的視点の高さが示されている。

第2章では、実験原理と予想される実験結果のシミュレーションが記述されている。 ^{12}C 標的に 2.4 GeV の陽子を入射し、標的核中の中性子と陽子が $p+n \rightarrow d+\eta'$ 反応をおこす素過程により、 η' 中間子原子を生成する。反応で生成される重陽子の運動量の測定により、質量欠損スペクトルが導出され、 η' 中間子原子はスペクトル中のピークとして同定される。光学ポテンシャルに対する典型的な理論の予言値を基準に、実験に必要な感度が見積もられた。本研究は、実験の容易さと測定手法によるスペクトルに対するバイアスが少ない反面、入射陽子と核内核子との衝突による複数の π 粒子生成に起因するバックグラウンドが大きいと想定されるが、詳細なシミュレーションにより、大強度の陽子ビームを用いることで必要な感度が得られることが示されている。実験の特徴を的確に理解し、実験の基本設計、的確な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、具体的な実験の内容が記述されている。実験は、ドイツ重イオン研究所(GSI)で行われた。2.4 GeV に加速された陽子ビームによる (p,d) 反応で生成された重陽子の運動量分析のために、フラグメントセパレータ(FRS)が用いられた。

粒子識別やバックグラウンド除去のために用いられた検出器システム、データ収集システムおよび必要な較正のための手法が述べられている。具体的な実験システムの開発、検出器の特性の理解および必要十分な較正手法の策定は、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、得られた実験データの解析が記述されている。個々の検出器、飛行時間差等の較正がなされた後、(p,d) 反応に関与しなかった大強度陽子に起因するバックグラウンドが排除された。反応後の重陽子の運動量は、運動量分散をもつ焦点面での重陽子の飛跡を再構築することにより得られた。検出器の検出効率とその経時変化、イオン光学上のアクセプタンスの補正、複数の磁場セッティングに対するスペクトルの整合性、ビームのエネルギーおよび強度の較正がなされた後、 η' の閾値近傍のエネルギースペクトルが得られた。バックグラウンド除去のアルゴリズム開発、緻密な較正手法、シミュレーションを併用したアクセプタンスの見積もりに論文提出者のオリジナリティーが発揮されている。

第5章では、得られたエネルギースペクトルの解析が示され、理論的予言と比較されている。スペクトルには理論的に予言されていたピーク構造は観測されなかったが、連続的なバックグラウンドを仮定した統計学的解析により、 η' 中間子原子状態の生成断面積の上限が励起エネルギーの関数として求められた。 η' を生成する素過程の断面積に不定性はあるが、典型的な理論予想の値は実験的に排除された。仮定されたバックグラウンドが入射陽子と核内核子との衝突による複数の π 粒子生成の定量的評価と無矛盾であることが示されており、得られた上限値の信頼性は極めて高く、理論に対する強い制限を加えるものとして評価できる。

これらの内容は、第6章にまとめられ、あわせて、 η' 中間子原子研究の実験的な改良点およびその物理の展望が述べられている。

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 η' 中間子原子の探査を (p,d) 反応の質量欠損分光によりなされ、その生成断面積の上限値を信頼性高く得たもので、 η' 中間子原子の研究および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及び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。