

博士論文の要旨及び審査結果の要旨

氏名 矢部 健太
 学位 博士 (理学)
 学位記番号 新大院博 (理) 第 439 号
 学位授与の日付 平成 31 年 3 月 25 日
 学位授与の要件 学位規則第 4 条第 1 項該当
 博士論文名 ツイスト 3 機構に基づく偏極ハイペロン生成過程の研究

論文審査委員 主査 教授・小池 裕司
 副査 教授・松尾 正之
 副査 教授・宮田 等
 副査 准教授・江尻 信司

博士論文の要旨

本博士論文では、1970 年代から高エネルギーハドロン衝突過程における謎として知られている、横偏極ハイペロンの生成過程に関する研究を行っている。すなわち、スピン偏極していない核子どおしや電子と核子との衝突から生成されるハイペロン重粒子がスピン横偏極している現象の起源を、強い相互作用の基礎理論である量子色力学 (QCD) を基に解明しようとするものである。この偏極現象は、高エネルギー過程の記述に成功を収めてきた伝統的な枠組みであるパートン模型 (パートン=クォークとグルーオン) と摂動論的 QCD では全く理解不可能であったが、近年の研究により、散乱過程におけるクォーク・グルーオン間の量子多体相関がその起源となることが次第に明らかにされてきた。衝突軸に対し横方向に 1 GeV 程度以上の大きな運動量を持ったハイペロン生成過程には、コリニア因子化と呼ばれる理論的枠組みが有効であるが、本論文では、この枠組みで偏極ハイペロン生成現象の起源となる「ツイスト 3 機構」を基に研究を行っている。本研究は、これまで観測されている偏極現象を理解するのみならず、米国の RHIC 実験や、計画されている EIC 実験などでの測定計画を支える重要な研究である。また、偏極現象はクォーク・グルーオンの多体相関の結果引き起こされるものであるため、現象のメカニズムの解明のみならず、核子やハイペロンの構造に関し、単純な確率分布に対応するパートン描像を超えた知見をもたらす点で重要である。

偏極ハイペロン生成過程に対するツイスト 3 機構では、反応割合 (反応断面積) に対し (A) 核子中のクォーク・グルーオン多体相関を起源とするもの、(B) 散乱されたクォーク・グルーオンがハイペロンに破砕する際の多体相関を起源とするものの 2 種の「ツイスト 3 断面積」が寄与する。前者については、既に研究がされているが後者についての研究は皆無である。本博士論文では、核子核子衝突におけるハイペロン生成過程 ($pp \rightarrow \Lambda X, p$ は陽子, Λ はハイペロンの総称, X は終状態に観測されないハドロン群), 及び、電子核子半包含過程におけるハイペロン生成過程 ($ep \rightarrow e \Lambda X, e$ は電子) に対し、(B) の寄与を定式化し断面積を摂動 QCD に基づいて導出している。

本論文は以下のような構成をとっている。第 1 章では、上述した研究の背景と目的が述べられている。

第2章では、上記現象をQCDに基づいた記述をする上で必要になる、核子の分布関数とハイペロンの破碎関数についてまとめている。第3章では、 $pp \rightarrow \Lambda X$ における偏極現象に対するハイペロンのツイスト3破碎関数の寄与を議論している。ツイスト3破碎関数には、クォーク破碎関数とグルーオン破碎関数があるが、前者については、QCDの結合定数について最低次の近似で完全な断面積の解析公式を導出している。特に、破碎関数の間にあるQCDに基づく厳密な関係式を基に、座標系によらない形で断面積を求めている。ツイスト3グルーオン破碎関数の寄与については、対応する断面積を計算するための理論的枠組みの構築を行っている。第4章では、 $ep \rightarrow e \Lambda X$ 過程における偏極ハイペロン生成過程に対する断面積を議論している。クォーク破碎関数の寄与については完全な解析公式を導出し、グルーオン破碎関数の寄与については計算の定式化が述べられている。第5章では、まとめと展望が述べられている。

審査結果の要旨

本博士論文では、起源がいまだ謎である核子核子衝突及び電子核子衝突における横偏極ハイペロン生成現象を解明するため、QCDに基づき反応断面積を計算する理論公式の定式化と断面積の導出を行っている。これら現象を引き起こすメカニズムであるツイスト3機構において、これまでに研究が全くされていなかった偏極ハイペロンのツイスト3破碎関数の寄与について、クォーク破碎関数の寄与については、完全な断面積の解析公式を導出し、グルーオン破碎関数の寄与については、具体的な計算の定式化を提供している。これらの新しい成果は、今後の研究の標準となる重要な研究内容であり、ハイペロン偏極現象を解明する上で極めて有用である。また、本論文の内容は、当該分野のメジャーな専門誌であるPhysical Review Dに2編の参考論文として発表されている。

よって、本論文は博士（理学）の博士論文として十分であると認定した。