

Title	Development of Polarized ^3He Target and Measurement of Spin Correlation Parameter C_{yy} of $p+^3\text{He}$ Elastic Backward Scattering
Author(s)	清水, 陽平
Citation	大阪大学, 2006, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/46493
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について <a>〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	清 水 陽 平
博士の専攻分野の名称	博士(理学)
学位記番号	第 20016 号
学位授与年月日	平成 18 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 理学研究科物理学専攻
学位論文名	Development of Polarized ^3He Target and Measurement of Spin Correlation Parameter C_{yy} of $p+^3\text{He}$ Elastic Backward Scattering (偏極 ^3He 標的の開発と $p+^3\text{He}$ 後方弾性散乱のスピン相関係数 C_{yy} の測定)
論文審査委員	(主査) 教授 畑中 吉治 (副査) 教授 下田 正 教授 永井 泰樹 教授 土岐 博 助教授 酒見 泰寛

論文内容の要旨

近年、加速器・測定装置の進歩・開発および計算機性能の急速な向上により、少数系の研究は実験・理論両面において飛躍的に発展している。様々なモデルによって作られた 2 核子間相互作用は 2 核子系の散乱データ・重陽子の性質を説明している。しかし、2 核子間距離が短い領域については十分に理解されておらず、斥力芯と呼ばれる強い斥力を現象論的に取り入れているため、短距離領域における重陽子の波動関数は核力のモデルにより異なっている。短距離領域の核力を研究するには、高運動量移行を伴った反応が適している。我々は、偏極 ^3He 標的を開発し、偏極陽子の後方弾性散乱の微分断面積およびスピン相関係数 C_{yy} を測定した。

本研究でスピン交換型偏極 ^3He 標的を開発した。中心波長 795 nm・出力 50 W の円偏光した半導体レーザーで光ポンピングにより偏極した Rb 原子の偏極度は、スピン交換散乱により ^3He 原子核に移される。半導体レーザーの出力波長はレーザー半導体の温度により変化する為、ペルチェ素子を用いて約 25°C に $\pm 0.1^\circ\text{C}$ の精度で制御した。Rb の D1 共鳴線が ^3He との衝突により広がることを利用し、 ^3He の密度を 2% の誤差の精度で決定した。実験中の偏極度は AFP-NMR 法で測定し、その絶対値は $^3\text{He}(p, \pi^+)^4\text{He}$ 反応のスピン相関係数 C_{yy} を利用して校正した。この反応はパリティ保存則からスピン相関係数 C_{yy} は常に 1 の定数をとる。偏極度は、密度 5.2 mg/cm³ で 18.7% が得られた。

エネルギー 200、300、400 MeV の $p+^3\text{He}$ 後方弾性散乱の微分断面積とスピン相関係数 C_{yy} の測定をした。実験では、磁気分析装置 Grand Raiden を 0° に設置し、反跳される ^3He 粒子を検出した。ビーム電流は、Grand Raiden の第一双極磁石内に挿入したファラデーカップで測定した。微分断面積は既存の結果と矛盾せずなめらかに補完している。スピン相関係数 C_{yy} はこれまでに測定例のない世界で初めてのデータである。

実験データを A.P. Kobushkin 達の理論計算と比較した。後方弾性散乱に寄与する反応機構は、2 粒子交換過程・パイ中間子交換過程・直接過程がある。 ^3He 原子核内の 2 粒子（陽子・中性子ペアのスピン 1 重状態、3 重状態、及び重陽子）の運動量分布を Paris と CD Bonn の 2 核子相互作用をもちいてそれぞれ計算している。彼らの理論計算は微分断面積を再現した。スピン相関係数 C_{yy} との比較より、重陽子だけでなく 2 粒子交換の寄与を考慮することで

実験データを再現することがわかった。パイ中間子交換の寄与もあられ、エネルギー依存性を改善している。スピン相関係数 C_{yy} では核力の違いが現れ、実験データは CD Bonn ポテンシャルを用いた計算とよく合っている。本研究より CD Bonn の核力は Paris の核力にくらべ、短距離領域をより正確に記述していることが得られた。

論文審査の結果の要旨

本論文は偏極 ^3He 標的の開発と、偏極陽子と偏極 ^3He との後方弾性散乱の微分断面積およびスピン相関係数 C_{yy} の測定に関する研究をまとめたものである。実験結果と理論計算との比較も含む。

後方弾性散乱の断面積は $\mu\text{b/sr}$ 程度と小さいため、実験に使用する標的は数 mg/cm^2 の厚さが必要であり、長時間の測定において高偏極度を維持する必要がある。本研究では、Rb 原子をレーザーでポンピングし、偏極 Rb と ^3He 原子とのスピン交換散乱法を適用した。清水君は、使用する半導体レーザー源の選択、レーザー発振系の設計・製作、光学系の調整、等をほとんど独力でこなした。半導体レーザーの発情波長は半導体の温度に依存して変化する。Rb 原子を効率的にポンピングするためには波長を長時間一定に保つ必要があり、レーザー源の温度制御が重要である。清水君は、温度制御系を設計・構築し数日間にわたり $\pm 0.1^\circ$ の範囲内で温度安定化を達成した。厚い標的を得るには、数気圧以上のガス圧に耐え、かつ散乱のバックグラウンドを減らすためできるだけ薄肉のターゲットセルが必要である。さらに、実験ではビーム照射による Rb 原子の減偏極をできるだけ避ける必要がある。清水君は、ターゲットセルとポンピングセルを分離することにより後者の影響を避けた。また、バックグラウンドを減らし、数気圧の圧力に耐えるターゲットセルのビーム通過窓を設計し、実験を可能にした。 ^3He 標的の偏極度は核磁気共鳴 (NMR) 法、電子スピン共鳴 (ESR) 法で測定された。 ^3He (p, π^+) ^4He 反応の C_{yy} 測定を利用した偏極度絶対値較正法を発案した。本研究では、標的厚 5mg/cm^2 、最高偏極度約 19% が達成された。

近年、計算機の進歩に伴い少数核子系の構造および散乱現象の厳密な理論計算が可能となって来ている。陽子- ^3He 後方弾性散乱は大きな運動量移行をとめない、 ^3He 原子核の近距離構造に敏感である。スピン観測量からは、断面積からだけではわからない原子核のスピン構造の研究も可能となる。断面積は歪曲 (distortion) の影響が大きいがスピン量は比較的その影響が少なく、反応機構の解明に重要な情報を与える。本研究では、陽子エネルギー 200、300、400 MeV での後方弾性散乱の微分断面積および C_{yy} を測定した。微分断面積は既存のデータを補完し、 C_{yy} は世界初の測定結果である。実験結果と理論計算との比較から、 ^3He 原子核の波動関数と反応機構を議論した。断面積のエネルギー依存性は、絶対値も含めて既存の理論計算でよく説明される。 ^3He 原子核の波動関数の対する差も小さい。一方、 C_{yy} は現在の理論計算では定量的には説明されず、 ^3He 原子核の波動関数および計算に含まれる反応機構に強く依存することが明らかになった。本研究は、少数核子系における先駆的実験研究であり、一層の精密な理論計算を促している。

よって、本論文は博士 (理学) の学位論文として十分価値あるものと認める。