

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	七村 拓野
論文題目	Differential cross section measurement and phase shift analysis for Σ^+p elastic scattering (Σ^+p 弾性散乱の微分断面積測定および位相差解析)		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>核子(陽子p、中性子n)間に働く核力の拡張としてバリオン八重項(p, n, Λ, Σ^+, Σ^0, Σ^-, Ξ^0, Ξ^-)の間に働く相互作用を考えると、特に1fm未満の短距離において、バリオンがクォークで構成されている効果を反映して核力とは異なる様相を呈すると予想されている。特にΣ^+粒子と陽子の間の3S_1状態はクォークレベルのパウリ効果に由来する核力におけるよりも強い斥力が働く状態であると考えられてきた。このことから、Σ^+粒子と陽子の間の相互作用はバリオン八重項間の相互作用の中でも注目されてきた。Σ粒子と原子核間の相互作用ポテンシャルやアイソスピン依存性の研究などにより、3S_1状態の相互作用が強い斥力であることの傍証は得られているが、その具体的な大きさの予想は理論模型ごとに異なり、精度のよいΣ^+p散乱データから決定する必要がある。Σ^+粒子の寿命は8×10^{-11}sと短く、散乱実験を行うために十分な入射Σ^+粒子を作ることや、散乱事象の同定が容易でないことから、十分な統計量を得られる散乱実験を行うことが長らく困難であった。この状況を打開するべく、J-PARC ハドロン実験施設で高統計のΣ^+p散乱実験を行った。</p> <p>実験では1.41 GeV/cのπ^+中間子ビームをパルス当たり2×10^7の大強度で液体水素標的に照射しΣ^+粒子生成反応($\pi^+p \rightarrow K^+\Sigma^+$反応)によって入射$\Sigma^+$粒子を生成した。大きな立体角を持った$K^+$粒子用スペクトロメータも用いることで$4.9 \times 10^7$個の$\Sigma^+$粒子を同定した。生成した$\Sigma^+$粒子はそのまま液体水素標的中で別の陽子と散乱することでΣ^+p散乱が起こることになる。反跳陽子のエネルギーと角度は本実験のために開発されたCATCHと呼ばれる標的を大立体角で囲む検出器系により測定された。Σ^+p散乱事象の同定は、「CATCHで測定した反跳陽子のエネルギー」「入射Σ^+粒子の運動量と反跳角度から計算されるエネルギー」の2つの量の整合性を確認することで行い、約2400個のΣ^+p散乱事象を同定した。この統計量は過去の実験のおよそ80倍である。</p> <p>標的中でのΣ^+粒子の総飛距離やΣ^+p散乱事象に対する検出・解析効率をモンテカルロシミュレーションを用いて評価することによりΣ^+p弾性散乱の微分断面積を得ることに成功した。各点の誤差は20%未満と、過去の実験に比べて大幅に精度が向上している。典型的な微分断面積の値は2mb/sr程度と、現状の多くの理論予想に比べて小さな値となっており、これはΣ^+p間の3S_1状態に働く強い斥力が比較的弱いことを示唆する。それぞれの理論モデルはΣ^+p間の相互作用に大きく影響するパラメータを持っており、この結果はそれらの改善に寄与するものである。さらに相互作用の強さを定量的に議論するために位相差解析を行うことで、Σ^+p間の3S_1状態の散乱の位相のずれの絶対値を4°程度の精度で決定することに成功した。実験的にストレンジクォークを含むバリオン(ハイペロン)と核子の散乱の位相のずれの値を求めたのは初めてで、質の良い散乱データにより与えられた強力な制限によってクォーク間のパウリ効果と関係の深いΣ^+p間の斥力についてより精密な理解が進んでいくことが期待される。</p>			

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

陽子や中性子の仲間でありストレンジ・クォークを含むバリオン族のハイペロン (Λ , Σ^+ , Σ^0 , Σ^- , Ξ^0 , Ξ^-) はバリオンの基底状態である8重項に分類される。通常の原子核は、このうち陽子と中性子のみからなる核子多体系であり、低エネルギーにおける豊富な核子・核子散乱の実験データから「現実的な核力模型」が構築され、これをもとに低エネルギーでの原子核事象が理解されてきている。ところが、ハイペロンの寿命は100ピコ秒のオーダーと、非常に短いので、反応により Σ 粒子を生成しても、その多くが散乱される前に崩壊してしまう。このためハイペロンと核子の散乱実験は非常に困難とされてきた。一方、ハイペロンが原子核に束縛されたハイパー核状態を生成し、そのエネルギー準位からハイペロンと核子の相互作用を引き出すという手法も Σ 粒子と原子核との相互作用が斥力的であるため、有望ではない。

そこで、本研究では大強度陽子加速器施設J-PARCの大強度 π 中間子ビームと大立体角を囲ったシンチレーションファイバー検出器(CATCH)とBGOカロリメーター、液体水素標的を組み合わせてスピルあたり 2×10^7 個の大強度ビームを取り扱うことに挑戦し、成功した。

結果として、 Σ^+ 粒子生成反応($\pi^+p \rightarrow K^+\Sigma^+$ 反応)によって入射 Σ^+ 粒子を生成し、引き続き起きた Σ 散乱事象($\Sigma^+p \rightarrow \Sigma^+p$)との運動学的整合性を課すことで2400事象の Σ^+p 散乱事象を同定した。これは従来の Σ^+p 散乱実験における統計精度の約80倍の改善となっている。

得られた散乱事象は、これらの検出器のアクセプタンスや検出効率などを綿密なモンテカルロシミュレーションに取り入れて求めた。その結果得られた Σ^+p 弾性散乱の微分断面積は、各測定点の統計誤差は20%未満と、過去の実験に比べて大幅に精度を向上させることができた。典型的な微分断面積の値は 2mb/sr 程度となっており、現状の多くの理論予想に比べて小さな値となった。これは Σ^+p 間の 3S_1 状態に働く強い斥力が比較的弱いものであることを示唆している。さらに位相差解析を行い、 Σ^+p 間の 3S_1 状態の散乱の位相のずれの絶対値を 4° 程度の精度で決定することにも成功した。理論模型において予想されているクォークレベルでのパウリ効果の有無については、実験的に結論付けることはできなかったが、ハイペロンと核子の散乱の位相のずれを実験的に値を求めたのは初めてのことで、意義深いと考えられる。

よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、令和5年1月17日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 年 月 日以降