

(続紙 1)

京都大学	博 士 (理 学)	氏名	市川 裕大
論文題目	Strange dibaryon system produced in the $d(\pi^+, K^+)$ reaction at J-PARC		
(論文内容の要旨) 本研究では、ストレンジダイバリオン系 (ストレンジネス $S=-1$, バリオン数 $B=2$ の系) の探索を行った。この系は近年、熱心に研究が行われているものの、未だ明らかになっていない部分が多い。例えば、$K^{\text{bar}}NN$ の系では K^-pp と呼ばれる束縛状態が理論的に示唆されているものの、その存在を裏付ける確固たる実験結果は存在しない。そこで、我々はJ-PARC K1.8ビームラインにおいて、$d(\pi^+, K^+)$ 反応 (ビーム運動量: $1.69 \text{ GeV}/c$) を用いてストレンジダイバリオン系の探索を行った。この反応では、クォーク模型では Λ 粒子の第一励起状態と考えられる $\Lambda(1405)$ を中間状態とした K^-pp 束縛状態の生成 ($\Lambda(1405) + p \rightarrow K^-pp$) が理論的に示唆されている。 本研究での実験では、高運動量分解能 ($\Delta p/p \sim 10^{-3}$) を有するK1.8ビームラインスペクトロメータとSKSスペクトロメータを用いて、それぞれ入射 π^+ 中間子及び散乱 K^+ 中間子の運動量を測定し、質量欠損法により $2.7 \text{ MeV}/c^2$ (FWHM) の高質量分解能による高統計の生成粒子質量スペクトルを測定した。なお、この入射ビーム運動量における $d(\pi^+, K^+)$ 反応の測定は、本研究が世界で初めてである。本実験では約 100 msr の大立体角を有するSKSスペクトロメータで K^+ 中間子の運動量を測定したため、準自由過程における Λ 粒子の生成閾値から $\Lambda(1405)$、$\Sigma(1385)$ といったハイペロンの励起状態の生成に至るまで、広い質量領域の測定に成功した。ここで得られた質量スペクトルは、Λ、Σ 粒子の生成領域については、既知である素過程の断面積を基にした準自由過程を仮定した実験データ・シミュレーションによって概ね再現できることを確認した。一方、$\Lambda(1405)$、$\Sigma(1385)$ の生成領域では、測定データがシミュレーションに対して低質量側に約 30 MeV シフトしていることを観測した。これは Y^*N 間の相互作用の影響である可能性がある。また、散乱角が小さい事象 ($\theta < 8^\circ$) を選んだ質量スペクトルからは $2.13 \text{ GeV}/c^2$ 付近に $\Sigma N - \Lambda N$ 転換反応の閾値におけるCusp構造と考えられる構造を検出した。このCusp構造は過去の実験で既に測定されているが、本反応において、(π^+, K^+) のみを測定する包括的な質量スペクトルから検出したのは本研究が世界で初めてである。 この (π^+, K^+) のみを測定した包括的な解析では、上述の準自由過程におけるハイペロン及びハイペロンの励起状態の生成 (バックグラウンド) が質量スペクトルの大部分を占めるため、K^-pp に対する議論は難しい。そこで、K^-pp の崩壊からは生成され得るが、準自由過程のバックグラウンドからは生成され得ない運動学の陽子 (対) を標的側方に設置した飛程検出器で同時検出する準排他的な測定を行った。その中で、飛程検出器で陽子対を同時検出し、$\pi^+ d \rightarrow K^+ W$, $W \rightarrow \Sigma^0 p$ と終状態が $\Sigma^0 p$ であることを要求した質量スペクトルから、K^-pp 束縛状態の生成信号と解釈可能な幅の広い構造 ($^{\text{``}}K^-pp^{\text{''}}$-like structure) を検出した。得られた質量スペクトルに対して相対論的なブライト・ウィグナーの表式を用いてフィッティングを行ったところ、質量と崩壊幅はそれぞれ $2275^{+17}_{-18} \text{ (stat.) } ^{+21}_{-30} \text{ (syst.) MeV}/c^2$, $162^{+87}_{-45} \text{ (stat.) } ^{+66}_{-78} \text{ (syst.) MeV}$ であることを見出した。これは、K^-pp に対する束縛エネルギーとして $95^{+18}_{-17} \text{ (stat.) } ^{+30}_{-21} \text{ (syst.) MeV}$ に相当する。今後の研究により、得られた構造に対する起源の解明が期待される。			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、ストレンジネス量子数-1を持つ2個のバリオン系の質量スペクトルに関する実験的研究をまとめたものである。従来、このような量子多体系としては、 Λ や Σ 粒子と原子核との束縛系であるハイパー核とよばれる原子核が研究されてきているが、このようなハイパー核では2個のバリオン系には束縛状態は存在しないことが知られている。一方、近年になって、同じストレンジネス-1をもつK中間子と2核子の間に強い束縛状態(K^-pp 状態)が存在する可能性が理論的に予想されている。本研究は、この状態を $d(\pi^+, K^+)$ 反応によって、世界で初めて探索を行ったものである。

実験は、茨城県東海村にある加速器施設J-PARCのハドロン実験施設のK1.8ビームラインにおいて、入射運動量1.69 GeV/cの π^+ 中間子ビームと液体重水素標的を用いて実施された。2.7 MeV/ c^2 (FWHM)の高エネルギー分解能と100 msrという大立体角を備えた磁気スペクトロメーター系を利用することにより、 Λ 粒子、 Σ 粒子、及び、その励起状態である $\Lambda(1405)$ 、 $\Sigma(1385)$ 共鳴状態までをカバーする広い質量領域にわたって、高統計かつ高精度の質量スペクトルを測定することに成功した。

得られた質量スペクトルには、これらのハイペロン粒子やその励起状態の生成を示す顕著なピーク構造が観測された。中でも、 $\Sigma N \rightarrow \Lambda N$ 転換反応の閾値に対応するエネルギーにCusp構造が観測されたことと、 $\Lambda(1405)$ 、 $\Sigma(1385)$ 共鳴状態領域のピークエネルギーが質量の軽い側に約30 MeVのズレていることが観測されたことが特筆すべきことである。このハイペロン共鳴状態の質量のズレはナイーブなモデルでは理解できない程の大きなものであり、 $\Lambda(1405)$ 共鳴と核子との相互作用に起因しているとする、 K^-pp 状態の存在とも強い関係があることも考えられる。

しかし、 K^-pp 状態の生成確率は、これらのハイペロン粒子やその励起状態などのバックグラウンド事象の生成確率に比べて小さいため、この質量スペクトルに K^-pp 状態の信号を直接観測することは困難である。そこで、この実験では、重水素標的周り(実験室系で39度から122度の範囲)を覆う測定器を新設し、 K^-pp 状態の崩壊によって生成される特徴的な2個の陽子を同時測定することにより、バックグラウンド事象に対する K^-pp 状態生成の信号の割合を高める工夫を行った。その結果、 K^-pp 状態が Σ^0 粒子と陽子に崩壊している事象の質量スペクトルを観測することに成功した。これまでに、 Λ 粒子と陽子に崩壊しているのではないかとする実験的観測の報告はあったが、 Σ^0 粒子と陽子に崩壊している事象の観測は、これが初めてである。

得られた質量スペクトルより、 K^-pp 状態と考えられる状態の質量と幅は、それぞれ、 2275^{+17}_{-18} (stat.) $^{+21}_{-30}$ (syst.) MeV/ c^2 、 162^{+87}_{-45} (stat.) $^{+66}_{-78}$ (syst.) MeVであることが判明した。この質量は、 K^-pp 状態の束縛エネルギーにして、 95^{+18}_{-17} (stat.) $^{+30}_{-21}$ (syst.) MeVに相当している。この束縛エネルギーの強さは、多くの理論予想値より大きなものである。この結果はK中間子と原子核との相互作用について見直しを迫る重要な実験結果となっている。

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、平成27年1月14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