

(続紙 1)

京都大学	博 士 (理 学)	氏名	杉村 仁志
論文題目	Search for ${}^6_{\Lambda}\text{H}$ hypernucleus by the (π^-, K^+) reaction at J-PARC		
(論文内容の要旨) 大強度陽子加速器施設J-PARCにおいて、中性子過剰ハイパー核 (${}^6_{\Lambda}\text{H}$) の生成実験を行った。生成反応として物理的バックグラウンドの少ない (π^-, K^+) 反応を利用した。この反応では、原子核内の2個の陽子がそれぞれ中性子とΛハイペロンに転換される。これまでに${}^6_{\Lambda}\text{H}$の生成実験としては、イタリアのFINUDAグループが行った${}^6\text{Li}$ (K^-_{stop}, π^+) 反応での実験があるが、(π^-, K^+) 反応での${}^6_{\Lambda}\text{H}$生成実験はこれが世界で初めてである。 FINUDAの実験データでは生成反応とその後に生じるハイパー核の崩壊を同時にとらえることでバックグラウンドを減らし、結果的に3事象の${}^6_{\Lambda}\text{H}$が見つかった。しかし、統計精度が悪く、得られた3事象毎のハイパー核質量値にバラツキがあるため、束縛エネルギーの決定には大きな誤差が生じている。そこで、本論文の実験では統計精度を向上し、更にエネルギー精度を上げた測定実験を行った。また、(π^-, K^+) 反応で想定されている生成断面積が10nb/srと非常に小さいため、従来の測定よりもビーム強度を強くして、およそ10^7pion/spillの大強度ビームを利用して実験を行うことにより、100事象以上の${}^6_{\Lambda}\text{H}$を生成することを目標とした。 まず、実験で用いた測定系のエネルギー分解能の評価として、${}^{12}_{\Lambda}\text{C}$生成実験を${}^6_{\Lambda}\text{H}$生成実験と同じ入射運動量である1.2 GeV/cで行った。得られたハイパー核準位のピーク幅からエネルギー分解能が3.2 MeVであることを確認した。運動量の較正は、p ($\pi^\pm, K^\pm$) $\Sigma^\pm$生成実験でのΣ粒子の既知の質量からのずれと、ビーム粒子をビーム検出器系と散乱検出器系を通すことにより入射粒子と散乱粒子の運動量のずれを調べることによって較正した。その結果、測定した運動量の不定性は1.3 MeV/c以内であると評価した。この不定性はハイパー核の質量換算で1.2 MeV/c²に相当する。標的物質の有無によるエネルギー損失の大きさも評価し、Bethe-Blochの公式に0.1 MeV以内で一致することを確認した。Σ生成実験においては生成断面積も求め、過去の文献値と10%以内で一致した。このことにより、正しく検出効率の評価ができていたことが確認され、${}^6\text{Li}$ (π^-, K^+) 生成実験での断面積導出に適用した。 実験によって得られた質量欠損分布では、Λの準自由生成過程の分布だけでなくΣの準自由生成過程も確認できた。一方、束縛領域(5801.74 MeV/c²)付近には有意なピークは確認されなかった。${}^{12}_{\Lambda}\text{C}$から得られたエネルギー分解能 (3.2 MeV) の2σの範囲内 (5.2 MeV) での事象数は3事象あり、ここからポアソン統計を用いて生成断面積の上限値として1.2 nb/srを与えることに成功した。 この結果は、FINUDA実験での結果を支持するものとはなっておらず、${}^6_{\Lambda}\text{H}$の束縛状態の存否とその構造を再び考え直す必要が出てきたといえる。また、${}^6_{\Lambda}\text{H}$の構造を考える際の基になっているコアの原子核である${}^5\text{H}$の状態に関しても理論と実験の両面から再検討する必要があることを示唆するものである。			

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本研究は中性子が過剰な Λ ハイパー核 ${}^6_\Lambda\text{H}$ の探索を行ったものである。これまでに Λ ハイパー核の生成には、 (π^+, K^+) 反応や (K^-, π^-) 反応のように、原子核内の中性子1個を Λ 粒子に転換する反応が利用され、多くの Λ ハイパー核種について研究されてきた。しかし、原子核を構成する陽子と中性子の数の比は1に近い核種に限定されてきた。この研究では二重荷電交換反応である (π^-, K^+) 反応を利用することにより、原子核内の2個の陽子を中性子と Λ 粒子に転換し、中性子過剰な Λ ハイパー核を生成しようというものである。このようなエキゾチックな系において、 Λ 粒子は「糊」のような役割を果たすことが理論的に予測されている。中性子過剰な原子核は不安定であり、非束縛状態にあるものが多いが、 Λ 粒子が付け加わることによりエネルギーが安定化されて束縛状態となることが期待できる。また、コアの原子核が高いアイソスピン状態を持つことにより $\Lambda\text{N}-\Sigma\text{N}$ 結合の効果が大きくなることが予想され、この効果により更に強く束縛されることも予想されている。

そこで、本研究では近年になってイタリアのFINUDA実験で観測された ${}^6_\Lambda\text{H}$ ハイパー核に着目した。その実験では静止 K^- 吸収反応によって ${}^6\text{Li}$ 標的から ${}^6_\Lambda\text{H}$ 事象候補を3事象観測することに成功した。この3事象を使って、 ${}^6_\Lambda\text{H}$ の束縛エネルギーが 4.0 ± 1.1 MeVと導かれたものの、その測定誤差は大きくなってしまった。本研究では、大強度陽子加速器施設J-PARCにおける大強度 π^- 中間子ビーム(入射運動量1.2 GeV/c)を利用して、 ${}^6\text{Li}(\pi^-, K^+)$ 反応により多くの ${}^6_\Lambda\text{H}$ ハイパー核を生成し、束縛エネルギーを精度よく測定することを目標とした。

今回の測定の特徴は、SKSと呼ばれる磁気スペクトロメーターを利用することで、高いエネルギー分解能での測定が可能となったところにある。 ${}^{12}\text{C}(\pi^+, K^+){}^{12}_\Lambda\text{C}$ 反応による Λ ハイパー核の束縛状態の測定より 3.23 ± 0.02 MeVのエネルギー分解能が達成できていることを確認した。また、束縛エネルギーの絶対値の精度を上げるために、 $p(\pi^\pm, K^\pm)\Sigma^\pm$ 生成反応によるエネルギー較正を実施した。これに加えて各種の運動量較正を実施することにより、結果として運動量の絶対値の精度は1.3 MeV/c以内であることが確認できた。これはハイパー核の束縛エネルギーでいうと1.2 MeV/c²の精度に対応している。また、 Σ 粒子の生成断面積に関しても、以前の測定値と10%以内で一致していることが分かった。

得られた ${}^6\text{Li}(\pi^-, K^+)$ 反応による質量欠損スペクトルでは、 ${}^6_\Lambda\text{H}$ の束縛閾値近傍に束縛状態に対応する有意なピーク構造は観測されなかった。その結果、 ${}^6\text{Li}(\pi^-, K^+)$ 反応による ${}^6_\Lambda\text{H}$ ハイパー核の生成断面積の90%信頼度における上限値として1.2 nb/srという値を得ることに成功した。以前に測定された ${}^{10}\text{B}(\pi^-, K^+){}^{10}_\Lambda\text{Li}$ 反応の生成断面積が10 nb/sr程度なので、これより大きく下回っていることになる。

このことは、FINUDA実験で示唆されるような ${}^6_\Lambda\text{H}$ 束縛状態の存在に大きな疑問を投げかける重要な結果である。また、コアとなっている ${}^5\text{H}$ 原子核そのものの構造も再検討する必要があることを示唆することとなった。

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26年1月20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