

素核研研究活動報告（1）K1.8 実験グループ

SKS@K1.8 で行われた2つの実験

平成 25 年 1 月 KEK 素核研 高橋俊行

前回 6 月には、震災からの復興後初めての行われた E19 実験を報告した。その後、J-PARC ハドロン施設 K1.8 ビームラインでは、SKS を用いて、6 月には E27 実験、12 月と 1 月には、E10 実験が行われた。これら 2 つの実験について報告する。

E27 実験 (Search for a nuclear Kbar bound state K^-pp in the $d(\pi^+, K^+)$ Reaction, 実験責任者 京大理 永江知文) はその存在が議論となっている K 中間子原子核を探索する実験である。反 K 中間子と核子間の強い引力によって(反)K 中間子は原子核に束縛すると考えられている。束縛が深い場合には原子核密度を超える密度が実現され、また、中性子星内部にはこのような状態が存在するかも知れない。最も軽い K 中間子原子核である K^-pp 束縛状態の存在を示唆するデータとして FINUDA 実験 ($B=115^{+6}_{-5}$ MeV, $\Gamma=67^{+14}_{-11}$ MeV) 及び DISTO 実験 ($M=2267 \pm 3 \pm 5$ MeV, $B=103$ MeV に相当, $\Gamma=118 \pm 8 \pm 10$ MeV) がある。一方、理論では、その模型により、束縛エネルギーは 20–100 MeV、幅も 40–100 MeV と大きな開きがある。故に存在確認も含めた新たな測定が待ち望まれている。

K^-pp 束縛状態探索として、K1.8BR ビームラインで ${}^3\text{He}(K^-, n)X$ 反応を用いる実験 (E15 実験) が予定されているが、E27 実験は、 $\Lambda(1405)$ を doorway とする生成チャンネル (図 1 参照) で K^-pp 束縛状態を探索する。E27 実験では、1.7 GeV/c の π^+ ビームを液体重水素標的に照射し、生成した K^+ を SKS で測定する。この反応には、 Σ , Λ^* , Σ^* の準自由生成反応による大量のバックグラウンドがある。準自由生成反応では、反応に関わらない Spectator 陽子のエネルギーは小さいので、標的周囲に設置されたレンジカウンター検出器(RCA)で終状態の 2 つの陽子の同時測定を行い、バックグラウンドを除去する (図 2)。

6 月の実験では、(1) この反応のバックグラウンドを理解するため、 $d(\pi^+, K^+)$ 反応、及び、(2) 重陽子中の陽子の寄与を調べるための $p(\pi^+, K^+)$ 反応 を測定し、さらに (3) 終状態陽子の同時測定によるバックグラウンド除去効果の評価、そして、(4) この反応での K^-pp 束縛状態の生成率 (断面積) の上限値を見積もることを目的とした測定を行った (E27 Pilot RUN)。MR 取り出しビームの時間構造の多少の改善と共に、最上流のビーム飛跡検出器にレートに強いファイバートラッカー検出器 (BFT) を導入したこと、2nd Level Trigger として Trigger Background の陽子を Reject する”Kaon Mass Trigger”を入れたことから、3.3M pions/spill の強度のビームを扱うことができた。ビーム照射総量は、陽子・重陽子標的それぞれ、 7.6×10^9 , 1.9×10^{11} π^+ であった。

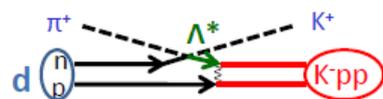


図 1 $d(\pi^+, K^+)$ 反応での K^-pp の生成

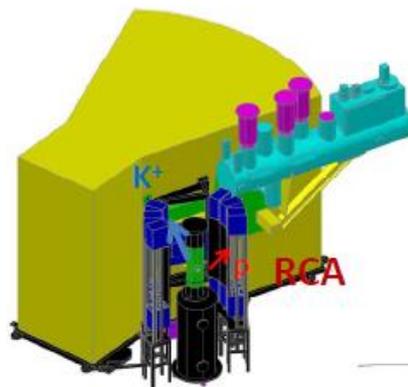


図 2 E27 実験セットアップ

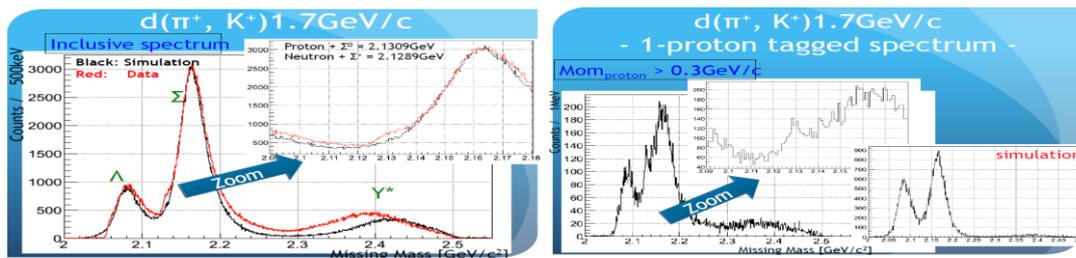


図3 (左) $d(\pi^+, K^+)$ inclusive spectrum, (右) 1-proton tagged spectrum

図3に Preliminary な結果を示す。左は Inclusive スペクトル、右は RCA で陽子を1つ検出した 1-proton-tagged スペクトルである。左図で、赤は測定データ、黒は準自由生成反応を仮定したシミュレーションスペクトルである。 Λ , Σ の領域はよく一致しているが、 $Y^*(\Lambda^*, \Sigma^*)$ 領域や K^-pp 束縛状態が期待される $2.2-2.35 \text{ GeV}/c^2$ 付近の一致は悪い。1-proton tagged スペクトルも同様の傾向を示しており、 K^-pp 束縛状態によるものか、バックグラウンド反応の理解が不十分なのか、今後の詳細な解析が必要である。両スペクトルで $2.13 \text{ GeV}/c^2$ にピーク構造が見える。これは、 Σ 生成チャンネルが開くためのいわゆる“閾値カスプ”と思われ、by-product になるが、詳しい解析により ΣN 相互作用の情報が引き出せると期待している。

12月、1月には、E10 実験 (Study on Λ -Hypernuclei with the Charge-Exchange Reactions, 実験責任者 阪大理 阪口篤志) の ${}^6\text{Li}$ 標的データの測定が行われた。この実験では、 $1.2 \text{ GeV}/c$ の π^- ビームを用いた Double-Charge-eXchange (DCX) (π^-, K^+) 反応で中性子過剰 Λ ハイパー核 ${}^6_\Lambda\text{H}$ 及び ${}^9_\Lambda\text{He}$ を生成・分光することが目的である。

中性子過剰核では中性子ハロー構造、新しい魔法数の出現などこれまでの核物理の常識を覆す発見がある。それらに Λ 粒子を加えたらどうなるかはさらに興味深い。また、中性子が過剰な環境での Λ の相互作用は、 ΛN - ΣN 混合の効果により、 $N \approx Z$ での相互作用から変化すると思われ、中性子星コアのような高密度状態の核物質を理解する上で重要な情報である。 ${}^6_\Lambda\text{H}$ は共鳴状態の ${}^5\text{H}$ が Λ の glue-like role により束縛し、更に ΛN - ΣN 混合の効果により深く束縛する可能性が指摘されている。最近、FINUDA グループによって、 ${}^6\text{Li}(\text{stopped-}K^-, \pi^+)$ 反応とその後の弱崩壊からの π^- の同時測定で3事象が見つかったとの報告があり、他の反応での確認や束縛エネルギーの測定が重要である。

今回の実験では、 $3.5 \text{ g}/\text{cm}^2$ の ${}^6\text{Li}$, natC , CH_2 標的を用いて、 ${}^6\text{Li}(\pi^-, K^+){}^6_\Lambda\text{H}$ 反応のほか、エネルギー較正と分解能確認のための $\text{H}(\pi^\pm, K^+)\Sigma^\pm$, ${}^{12}\text{C}(\pi^\pm, K^+){}^{12}_\Lambda\text{C}$ 反応のデータ取得も行った。MR ビームの時間構造が改善されたことに加え、我々の検出器の高レート化、DAQ の高速化を行ったことで、DCX 反応では、12月には $10\text{M}/\text{spill}$ 、1月には $12\text{M}/\text{spill}$ の強度のビームを用いることができ、トータル $1.65 \times 10^{12} \pi^-$ を照射できた。また、大強度の2次ビームを扱えるようになったので、 12GeV-PS 時代には取得出来ていた ${}^{12}_\Lambda\text{C}$ のスペクトルが J-PARC でも初めて測定できた (図4)。

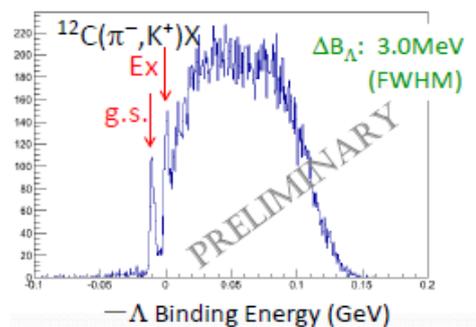


図4 ${}^{12}_\Lambda\text{C}$ スペクトル

この場を借りて、加速器グループをはじめとするサポートスタッフの皆様に感謝します。