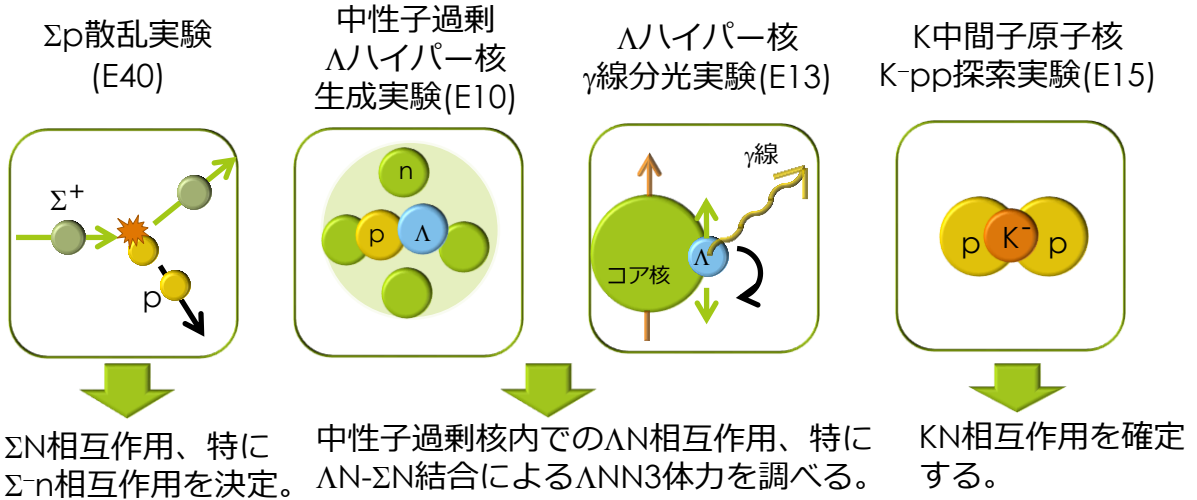


A02班活動報告 (2015年度)

中性子星のinner core、特にその境界から少し内側の密度 $\rho \sim 2-3\rho_0$ (ρ_0 は核密度)の領域では、中性子が主成分だがハイペロンが発生すると考えられている。この領域での中性子星核物質を理解するため、世界最高強度の陽子加速器施設J-PARCにおいて、ストレンジネス $S=-1$ のバリオン系の相互作用を4つの実験を通して調べる。



1年の活動のまとめ

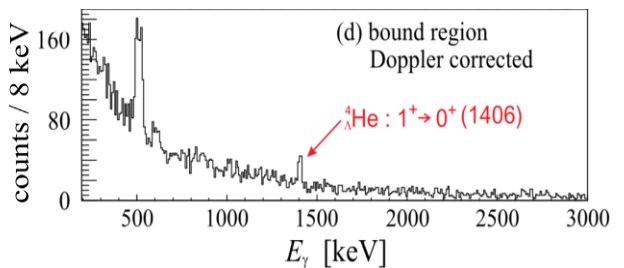
2015年4月からJ-PARCハドロン施設の運転が再開し、 Λ ハイパー核精密ガンマ線分光実験(E13)を実施した。 ${}^4_{\Lambda}\text{He}$ ($1^+ \rightarrow 0^+$)の γ 線を観測し、そのエネルギーから Λ 核子相互作用の大きな荷電対称性の破れを発見してプレスリリース・論文発表を行った。また ${}^{19}\text{F}$ 標的の実験では ${}^{19}_{\Lambda}\text{F}$ の γ 線を数本観測した。またE13実験データの解析の一部として、 Σ ハイパー核 ${}^4_{\Sigma}\text{He}$ の励起状態探索を開始した。

K-pp原子核探索実験(E15)では $\Lambda p+n(\text{missing})$ チャンネルの解析を行い Λp のinvariant massでK-pp閾値の僅か束縛側に幅の広い状態の存在を示唆するデータを得た。この Λpn 状態の統計を数十倍に改善すべくさらにデータ収集を行った。

Σ 陽子散乱実験(E40)では、散乱陽子検出器群(CATCH)の筒形ファイバー検出器(CFT)は全8層中5層を完成、BGOカロリメータは高計数率下の性能悪化を防ぐための改良を実施、液体水素標的の開発にも成功した。

Λ ハイパー核 γ 線分光実験 (E13)

J-PARCハドロン施設の運転再開直後の2015年4月~6月に Λ ハイパー核精密ガンマ線分光実験(E13)をK1.8ビームラインで実施した。K1.8/SKSスペクトロメータを用いて ${}^4\text{He}$ (液体ヘリウム) および ${}^{19}\text{F}$ (液化 CF_4) を標的とした(K^-, π^-)反応で ${}^4_{\Lambda}\text{He}$ 及び ${}^{19}_{\Lambda}\text{F}$ を生成し、同時に放出される γ 線をGe検出器群 Hyperball-J で検出した。

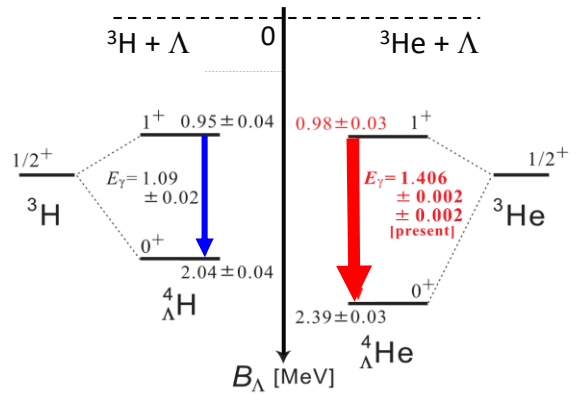


J-PARC E13実験で測定した ${}^4_{\Lambda}\text{He}$ の γ 線スペクトル。

${}^4_{\Lambda}\text{He}$ では、基底状態2重項の間のスピン反転M1遷移($1^+ \rightarrow 0^+$)を1.406 MeVに観測した。次ページの図に示すように、このエネルギーは、鏡像核の対応する遷移 ${}^4_{\Lambda}\text{H}$ 遷移($1^+ \rightarrow 0^+$)のエネルギー1.09 MeVと大きく異なり、 Λ 核子相互作用に大きな荷電対称性の破れがあ

ることが示された。これらのA=4ハイパー核に荷電対称性の破れがあるらしいことは昔から示唆されていたが、我々のデータはその初めて明確な証拠となった。この発見については東北大・KEK・JAEA・J-PARCの4者によるプレスリリースを行った。なお観測された大きな破れは理論的に説明が困難であり、 ΛN 相互作用の理解を深める課題として興味を集めている。結果は [T.O. Yamamoto et al., Phys. Rev. Lett. 115 (2016) 222501] に発表した。

^{19}F 標的データからは、 $^{19}\Lambda\text{F}$ の γ 線を3本観測した。これは初めてのsd-shellハイパー核の γ 遷移の観測であり、これらのガンマ線の同定と $^{19}\Lambda\text{F}$ のレベル図の構築のための解析を進めた。



J-PARC E13実験で確定した $^4_\Lambda\text{He}$ のレベル図をその鏡像核 $^4_\Lambda\text{H}$ とともに示す。

中性子過剰 Λ ハイパー核と Σ ハイパー核の研究 (E10/E13)

E10データの解析では、中性子過剰ハイパー核 $^6_\Lambda\text{H}$ の探索と Σ -原子核相互作用の結果をまとめた。また、E13実験データ解析の一部として、 Σ ハイパー核 $^4_\Sigma\text{He}$ の励起状態探索を開始した。過去の実験で観測されている $^4_\Sigma\text{He}$ の基底状態は、ビーム運動量が高い(1.5 GeV/c) 今回の実験のデータでも改めて確認された。励起状態の情報を得るための詳細な解析を進めた。

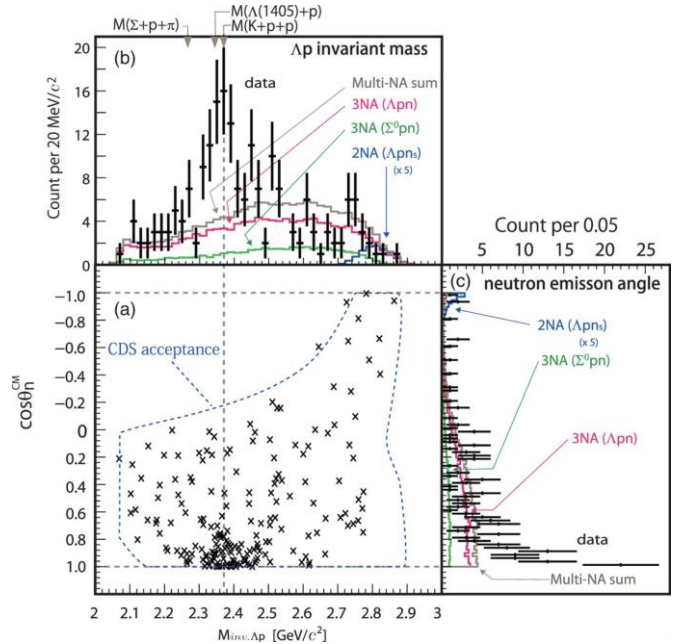
K $^-$ pp探索実験 (E15)

取得済のJ-PARC E15実験の最初のデータを用い $^3\text{He}(K^-,n)$ の包括スペクトルとともに、 $\Lambda p + n(\text{missing})$ チャンネルを解析した。後者の解析では、標的周囲に置かれた円筒型検出器CDSで Λ と p が検出された事象について、 $^3\text{He}(K^-,\Lambda p)$ 反応のmissing massを計算してこれが中性子 n と一致する事象を選択した。このときの Λp のinvariant mass分布は右図上となり、広い質量分布はK-の3核子吸収(3NA)が主要な過程であることがわかった。

一方、 Λp invariant mass分布のK $^-$ pp閾値の僅か束縛側に幅の広いピーク構造が観測された。右図に示すように、この構造をつくる事象は中性子が超前方に放出されており、 Λp 系への運動量以降が小さい事象であった。

このピークは質量 2355^{+6}_{-12} MeV, 幅 110^{+19}_{-27} MeVに相当する。結果は [Y. Sada et al., Prog. Theor. Exp. Phys. 2016, 051D01] に発表した。

このピークはK $^-$ pp束縛状態の候補と考えられる。そこで、統計を数十倍に増やすべくE15実験の一層のデータ収集を行った。



(a) Λp invariant massとmissing n(中性子)のCM系での放出角の2次元プロット。(b)(c)はそれぞれの分布を示す。Simulationで求めた2核子吸収(2NA), 3核子吸収(3NA)の寄与をカラーで示す。

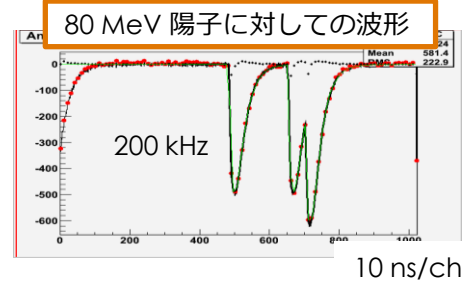
Σp 散乱実験 (E40)

CATCH検出器システムの製作を進め、KURAMAスペクトロメーターに組み込むエアロゲルチェレンコフカウンターと液体水素標的の開発を行った。

本年度は、円筒形ファイバートラッカー(CFT)の残り3フレームの製作を完了した。また、BGOカロリメーターの高レート対策を行った。BGOカロリメーターは低レート下では十分な性能を確認済だが、本実験で予想される50~500 kHzの高レート下でも性能を保つため、我々はPMTを低電圧で動作させ増幅率を安定させるとともに、Flash ADCで波形データを収集してpile upイベントが分離できる読み出しシステムを開発した。この結果、700 kHzの80 MeV陽子ビームに対しても1.4%の十分な性能を得た。

液体水素標的の開発では、ビーム方向に30 cmの長い標的セルをマイラーを張り合わせて製作して耐圧および冷却テストにより健全性を確認し、またCFRPで標的付近の真空チェンバーの製作、テストを行なった。

これらの開発状況をJ-PARC PACで報告し、stage-2 approvalを得た。



80 MeV陽子に対するのBGOカロリメーターの波形データ。200 kHzのレートで信号がpile upしているが、オフライン解析で分離できた。