

## エマルションハイブリット法を用いたダブルストレンジネス原子核の研究

### (J-PARC E07)

素核研ストレージネス核物理グループは、エマルションハイブリット法を用いたダブルストレンジネス原子核の研究実験 (J-PARC E07) を推進している。2015年より、J-PARC K1.8 ビームラインへの検出器システムを構築し、2017年6月までのビーム照射でデータ収集を完了した。現在は光学顕微鏡を用いた写真乾板 (エマルション) の解析を進めており、数例のダブルストレンジネス原子核の核種同定に成功した。

J-PARC E07 の目的は、ダブルラムダハイパー核 ( $\Lambda\Lambda$ 核)、グザイハイパー核 ( $\Xi$ 核) などのダブルストレンジネス原子核を生成し、それらの核種同定と質量測定を行い、ストレンジクォークを2つ含むバリオン系の相互作用の情報を得ることである。先行実験 (KEK-PS E373) にて発見された NAGARA (長良) イベントと名付けた事象では、 ${}^6_{\Lambda\Lambda}\text{He}$  核の束縛エネルギーが  $\Lambda\Lambda$  相互作用によって増加していることが確認され、 $\Lambda\Lambda$  間が弱い引力であるという知見が得られた。また KISO (木曾) イベントと名付けた事象では、 $\Xi$  粒子と  ${}^{14}\text{N}$  が強い相互作用で束縛した証拠が得られ、 $\Xi N$  間が引力的であるという知見が得られた。このような事象を大統計で検出すべく、E07 実験は先行実験の約10倍の統計量を得るよう設計した。

ダブルストレンジネス原子核の生成手法は以下のとおりである。まず、大強度の K 中間子ビームで生成した  $\Xi^-$  粒子を写真乾板中に静止させ、C, N, O などの軽い原子核に吸収させる。この際、 $\Xi^-$  粒子が原子核と強い相互作用で束縛した場合に  $\Xi$  核が形成する。そして、 $\Xi^-$  粒子は原子核中の陽子との反応で2つの  $\Lambda$  粒子に転化し、余剰エネルギーで原子核は分裂するが、これら  $\Lambda$  粒子が両方同じ原子核に束縛された場合に  $\Lambda\Lambda$  核となる。こうして写真乾板に記録された事象を光学顕微鏡下で事象毎に解析する。

また E07 実験では、 $\Xi^-$  粒子が原子 (Ag や Br) に捕獲された  $\Xi$  原子の X 線測定を行い、 $\Xi^-$  が感じる原子核からの強い相互作用によって、電磁相互作用の計算から予想される束縛エネルギーや吸収による幅の変化から  $\Xi^-$  原子核ポテンシャルの情報を引き出す。この精密 X 線測定は Ge 検出器を用い、さらにエマルションに記録された  $\Xi^-$  粒子の静止点の画像情報をも用い、稀事象である  $\Xi^-$  粒子の捕獲事象を確実に選別し、S/N の向上も図る。

図1に E07 実験のセットアップ図を示す。E07 実験では、大きく分けて以下の3つの検出器システムから成る：(1) ( $K^-, K^+$ ) 反応による  $\Xi^-$  粒子生成を同定するビーム及び KURAMA スペクトロメータと  $\Xi^-$  粒子がエマルションに入射する位置と角度を測定する SSD トラッカー。(2) ダブルストレンジネス原子核の生成・崩壊を記録するエマルション及びその移動機構 (3) X 線測定のための Ge 検出器群 (Hyperball-X)。2015年11月よりこのセットアップを構築し、2016年6月の検出器システムのコミッショニングを経て、検出器システムの性能が実験の要請を満たすことを確認した。また、Ge 検出器群 Hyperball-X の性能確認も行われ、X 線のエネルギーシフトを 0.1keV 程度の精度で決定するためのエネルギー分解能と、BGO カウンターによるバックグラウンド抑制性能が確認された。

2017年6月と2017年4-6月に行われたビーム照射実験では、25.5日相当のビームタイムで、用意した約1500枚の乾板シートからなる合計118組の乾板モジュールを使い事象を記録した。写真乾板の現像は2018年2月までに完了した。現像された乾板は光学顕微鏡による読み出しを

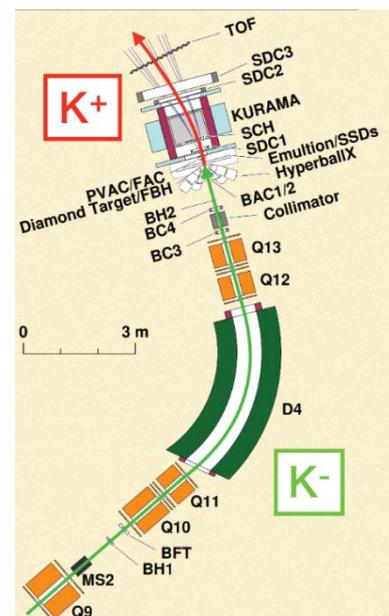


図1 E07 実験セットアップ

進めており、2018年12月現在、全乾板枚数の半分を解析した。この探索作業を通じて、10例の $\Lambda\Lambda$ 核事象、8例のツインシングルラムダハイパー核事象を検出した。その中でも核種が決定し、物理学的に新たな知見をもたらした事象として、以下2例を紹介する。

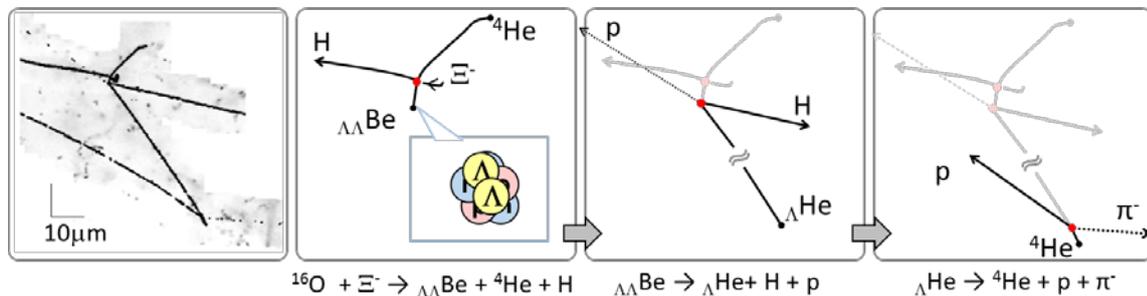


図2  $\Lambda\Lambda$ Be  $\Lambda\Lambda$ 核事象 (MINO イベント)

図2に示したのは核種が同定された $\Lambda\Lambda$ 核事象である。個々の粒子の放出角や長さ等を測定し、考えられる全ての原子核の組み合わせで運動学的無矛盾性を評価した結果、この事象の始状態は $\Xi^-$ 粒子の $^{16}\text{O}$ 核による吸収で、 $^{10}\Lambda\Lambda\text{Be}$  ( $15.05 \pm 0.09(\text{fitting}) \pm 0.07(\text{syst.})$ )、 $^{11}\Lambda\Lambda\text{Be}$  ( $19.07 \pm 0.08 \pm 0.07$ )、あるいは、 $^{12}\Lambda\Lambda\text{Be}$ の励起状態 ( $13.68 \pm 0.08 \pm 0.07$ )の生成であると同定した。カッコ内の数値(MeV)はこの原子核における $\Lambda$ 粒子2個分の束縛エネルギー ( $B_{\Lambda\Lambda}$ )である。運動学フィットの確率評価では $^{11}\Lambda\Lambda\text{Be}$ が尤もらしいとなった。我々はこの事象をMINO (美濃) イベントと命名した。この事象の同定や解釈は、Prog. Theor. Exp. Phys.に掲載される。

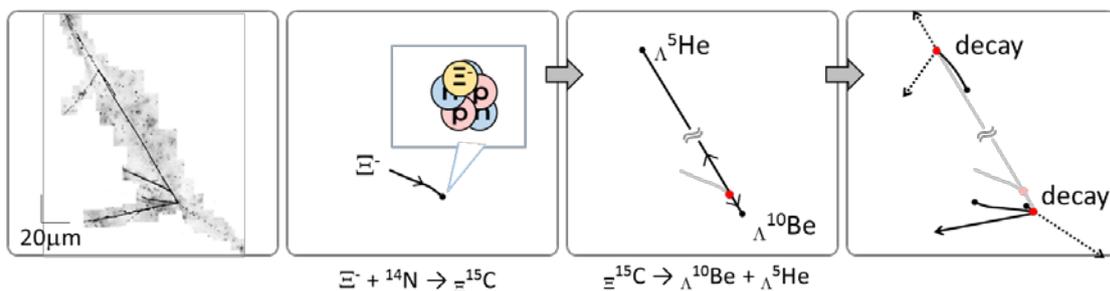


図3  $^{15}\Xi\text{C}$   $\Xi$ 核事象 (IBUKI イベント)

また図3は、 $\Xi$ 核： $^{15}\Xi\text{C}$ の生成事象である。 $\Xi^-$ 粒子が吸収されたのは $^{14}\text{N}$ 核で、2つのシングル $\Lambda$ 核は $^{10}\Lambda\text{Be}$ と $^5\Lambda\text{He}$ であると同定された。さらに、 $\Xi^-$ 粒子の束縛エネルギー ( $B_{\Xi^-}$ )は約1MeV強、その不定性は0.2MeV程度で、これは強い相互作用による束縛準位であり、KISO イベントに次ぐ $\Xi$ 核生成事象： $\Xi^- + ^{14}\text{N} \rightarrow ^{15}\Xi\text{C} \rightarrow ^{10}\Lambda\text{Be} + ^5\Lambda\text{He}$ であると分かった。この事象は $\Xi N$ 相互作用に関する新たな情報を与えるもので、我々はこの事象をIBUKI (伊吹) イベントと命名した。

我々は引き続き、新たなダブルストレンジネス原子核事象を発見すべく、顕微鏡を用いたエマルジョンの解析を進めている。2019年の春には、事象の早期発見のために進めてきた現在の解析計画が一旦完了し、全体の約半分の進捗となる見込みである。Ge検出器のスペクトルも追跡作業の結果を反映し随時更新している。一巡目が完了した以降は、検出効率を上げた乾板のスキャン、そしてGe検出器の信号がある事象を優先的に解析する方式に切り替え、二巡目の解析を進める。

E07全体では過去の実験の約10倍の統計量を得る見込みで、この高統計の事象中から新核種の検出を狙っている。例えば、これまで研究が困難であった $\Lambda\Lambda$ - $\Xi N$ 結合の情報を持つ $A=4,5$ 体系の $\Lambda\Lambda$ 核の発見とその質量の測定を期待している。

加速器グループを始めとするJ-PARCサポートスタッフの皆様に、この場を借りて感謝します。