

(K^-, π^-)反応を用いた ${}^4_\Lambda\text{He}$, ${}^{19}_\Lambda\text{F}$ ハイパー核 γ 線分光(E13-1st)

2015年4月~6月(RUN62, RUN63)に行われた、ハイパー核 γ 線分光実験(E13-1)の報告をする。
 我々は、Ge 検出器を用いたハイパー核 γ 線分光実験によりハイパー核のレベル構造を~2 keV @1 MeV の分解能で決定し、 ΛN 間相互作用、特にスピン依存相互作用の研究を行っている。E13 実験では、最外殻の核子が s shell から sd shell 領域までのハイパー核構造を系統的に決定する。K1.8 beam line では E13 の 1st stage として、 ${}^4_\Lambda\text{He}$, ${}^{19}_\Lambda\text{F}$ ハイパー核 γ 線分光実験を行った。 K^- beam の運動量は、 ${}^4_\Lambda\text{He}$ に対して 1.5 GeV/c、 ${}^{19}_\Lambda\text{F}$ に対して 1.8 GeV/c を選択した。これは、(K^-, π^-)反応は、 K^- beam 運動量によって、励起しやすい状態が変化するという性質をもつため、運動量毎の K beam intensity を考慮し、測定したい γ 線の脱励起状態の収量を最大となるよう選択した。
 2013年の3月~5月のコミッショニング beam time において、スペクトロメータシステムの動作確認は完了している。

CF₄ 標的システムの開発

2013年の beam time において、 ${}^{19}\text{F}$ 標的として HF 標的を用いる予定であったが、安全面を含む様々な観点からの安定性を考慮し、FIFC、安全委員会等の審議を経て CF₄ 標的を使用することに決定した。2015年1月より開発を開始し、E13 で用いる He 標的の技術、デザインを活用し開発から3ヶ月の短期間で小型 GM 冷凍機を用いた CF₄ 標的システムの試運転を完了することができた。Fig. 1 にシステムの概要図と、実際の写真をしめす。

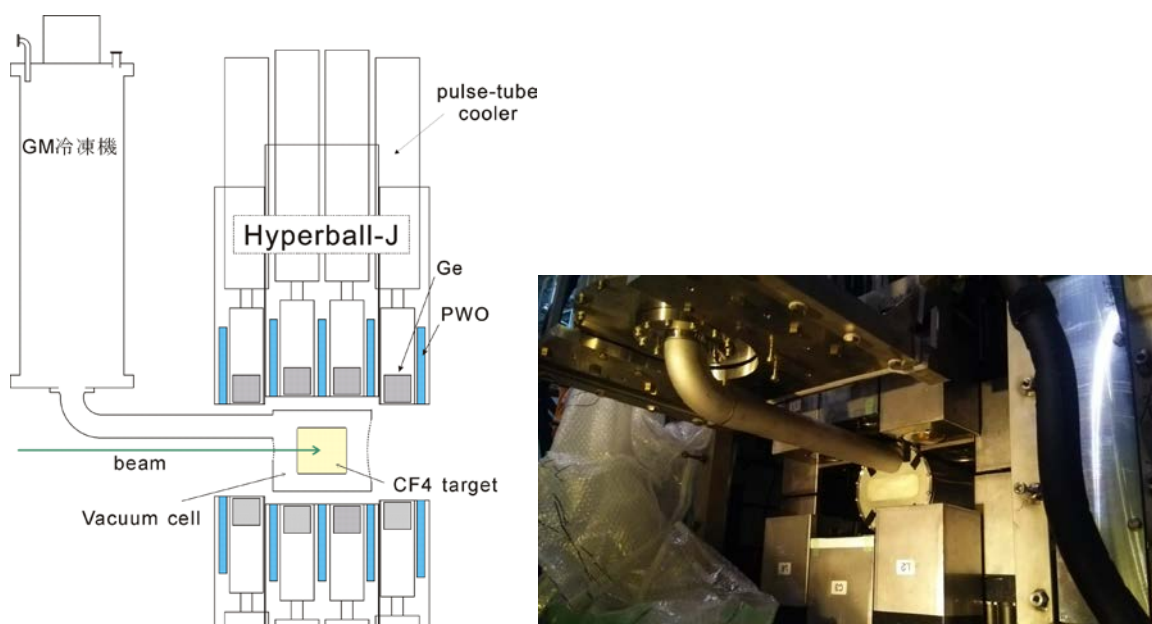


Fig. 1 左; CF₄ 標的システム概略図 右; 標的位置にマウント状態の CF₄ 標的セル部分

— ${}^4\text{He}(K^-, \pi^-)$ 反応による ${}^4_\Lambda\text{He}$, ${}^4_2\text{He}$ 反応分光

4月~5月にかけて行われた RUN62 では、He 標的を用いた (K^-, π^-) 反応による、 ${}^4_\Lambda\text{He}$, ${}^4_2\text{He}$ 分光実験を行った。広い運動量アクセプタンスをもつ散乱側スペクトロメータ(SksMinus)により、 Λ 生成領域から Σ 生成領域までフラットなアクセプタンスでミッシングマスを取得することができる。 ${}^4_\Lambda\text{He}$ 領域を選択し、同時計測されるガンマ線エネルギーを Ge 検出器群 Hyperball-J で測定し、 ${}^4_\Lambda\text{He}(1^+ \rightarrow 0^+)$ 遷移ガンマ線のエネルギー決定を行う。このエネルギーと過去に得られた ${}^4_\Lambda\text{H}(1^+ \rightarrow 0^+)$ 遷移エネルギーとの比較により、 Λp , Λn 間相互作用の荷電対称性の破れを検証することができる。Fig.2 に ${}^4\text{He}(K^-, \pi^-)$ 反応で得られたミッシングマススペクトルを示す。黒線が He 標的あり、青線が標的なしのデータである。

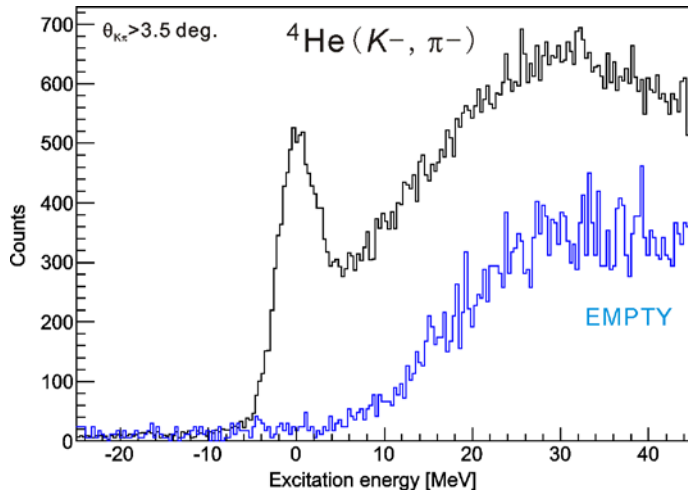


Fig. 2 Missing mass spectrum
 黒線; ${}^4\text{He}(K^-, \pi^-)$, 青線 empty (K^-, π^-)
 (取得したデータの 1/20 程度の統計)

標的無しのスペクトルに含まれる事象は主に、 K^- ビーム崩壊事象である。図に示す通り、 ${}^4\text{He}$ の基底スピン二重項状態($1^+, 0^+$)のピークがわかる。分解能は、5.4 MeV(FWHM)がえられた。 $(1^+, 0^+)$ の二重項間隔は 1 MeV程度と予想されるため、ミッシングマス上では分離することができない。基底状態を選択したときの同時計測されたガンマ線スペクトル上に、 ${}^4\text{He}(1^+ \rightarrow 0^+)$ 遷移に相当するガンマ線ピークが観測された。現在、詳細な解析を行っており、近日中に論文投稿の予定である。

また、 ${}^4\text{He}$ 領域のミッシングマス解析により、 Σ ハイパー核の励起状態を探索する。 ${}^4\text{He}$ は実験的に唯一束縛状態が観測された Σ ハイパー核で、

これまで観測された s 軌道状態(0^+)に加えて、1.5 GeV/c のビーム運動量を用いた(K^-, π^-)反応では p 軌道状態(1^-)も生成されると期待される。

—— CF_4 標的を用いた ${}^{19}\text{F}(K^-, \pi^-)$ 反応による ${}^{19}\text{F}$ ハイパー核ガンマ線分光

6月のRUN63では、 CF_4 標的を用いた(K^-, π^-)反応による ${}^{19}\text{F}$ ハイパー核ガンマ線分光実験が行われた。ハイパー核ガンマ線分光としてはじめての sd -shell ハイパー核領域のガンマ線分光実験である。期待される ${}^{19}\text{F}$ の束縛状態は ~ 7 MeV までであり、7 MeV までのガンマ線が放出されると期待される。1.5 MeV 以上のガンマ線を放出する較正線源がなく、また周囲の環境により Ge 検出器の ADC gain がドリフトするため 数時間毎のエネルギー較正が望まれる。そのため、spill-on 中に(K^-, π^-)反応データ取得するとともに、spill-off 中に周囲からの β delayed ガンマ線を常時取得し、run-by-run に較正を行う方法を確立することができた。現在、RUN62 で取得した CF_2 標的を用いた ${}^{19}\text{F}$ cross section のチェックと共に、ガンマ線スペクトルの解析をすすめている。

以下に、RUN62, 63 の data summary を示す。

Data summary —

RUN 62

$p_{\text{beam}} = 1.5$ GeV/c

He (3 g/cm²): 2.3 x 10¹⁰ Kaon Physics data for ${}^4\text{He}$ and ${}^4\text{He}$ spectroscopy

CH₂ (3 g/cm²): 3 hours Σ^+ production (calibration)

$p_{\text{beam}} = 1.8$ GeV/c

CH₂ (3 g/cm²): 1 hour Σ^+ production (calibration)

CF₂ (6 g/cm²): 7 hours Cross section check of ${}^{19}\text{F}$

CH₂ (6 g/cm²): 3.5 hours Cross section check of ${}^{19}\text{F}$ for subtraction of ${}^{12}\text{C}$

RUN 63

$p_{\text{beam}} = 1.8$ GeV/c

CF₄ (20 g/cm²): 6.3 x 10¹⁰ Kaon Physics data for ${}^{19}\text{F}$ spectroscopy

最後に、J-PARC 加速器グループをはじめとするファシリティーの皆様にご挨拶いたします。