

ELPHにおける ラムダ-中性子間の 終状態相互作用研究

摺上亭大鳥 (福島), ST2-2022

2022/12/16

Mizuno Masaya (Tohoku Univ.)

Contents

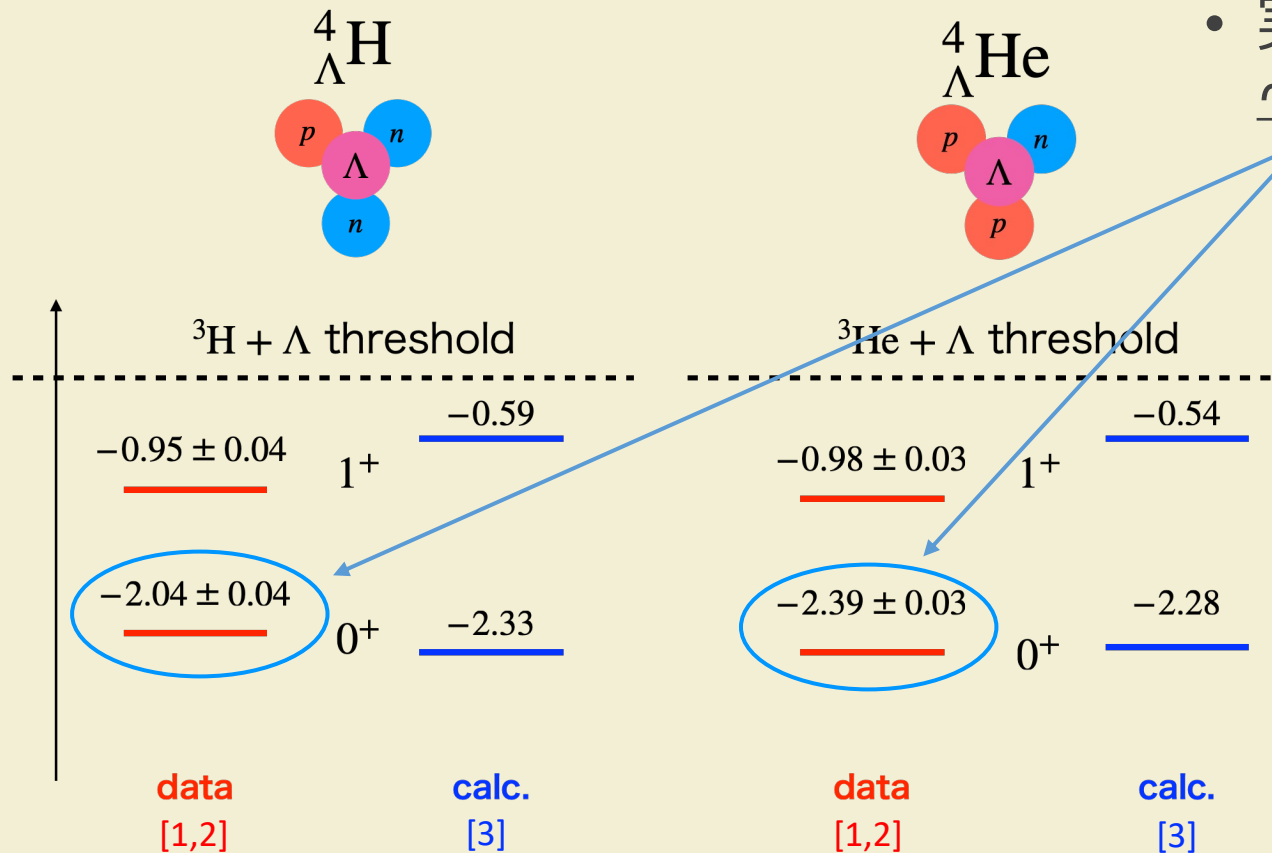
- ストレンジネスを含む核力の研究
 - ΛN 相互作用における荷電対称性の破れ
 - ΛN 終状態相互作用測定
- ELPHにおける Λn 終状態相互作用実験
 - NKS2スペクトロメータ
 - NKS2実験下の理論計算
- まとめ

核力の研究

- ストレンジネスを含むバリオン-バリオン間の相互作用
- 実験の研究対象
 - ハイパー核分光実験
 - 数多くの実験データ
 - ΛN 散乱実験
 - Λp :統計量の少ない、限られた実験データ
 - Λn :測定されたデータがなし
 - ハイパー核4体系における荷電対称性の破れ
 - ${}^4_{\Lambda}\text{H}$ と ${}^4_{\Lambda}\text{He}$ の質量の違い
 - Λn と Λp 間の相互作用は同じ性質なのか?

ΛN 相互作用におけるCSB

束縛エネルギー $-B_\Lambda$ [MeV]



- 実験データの ΛN CSB ~ 0.35 MeV
- 理論計算 ~ 0.05 MeV
- NN CSB ~ 0.07 MeV[4]

- [1] A. Esser, S. Nagao, F. Schulz *et al.*, PRL 114 (2015) 232501
 [2] T.O. Yamamoto *et al.*, PRL 115 (2015) 222501
 [3] E. Hiyama *et al.*, PRC 65 (2001) 011301
 [4] R.A. Brandenburg *et al.*, PRC37 (1988) 781

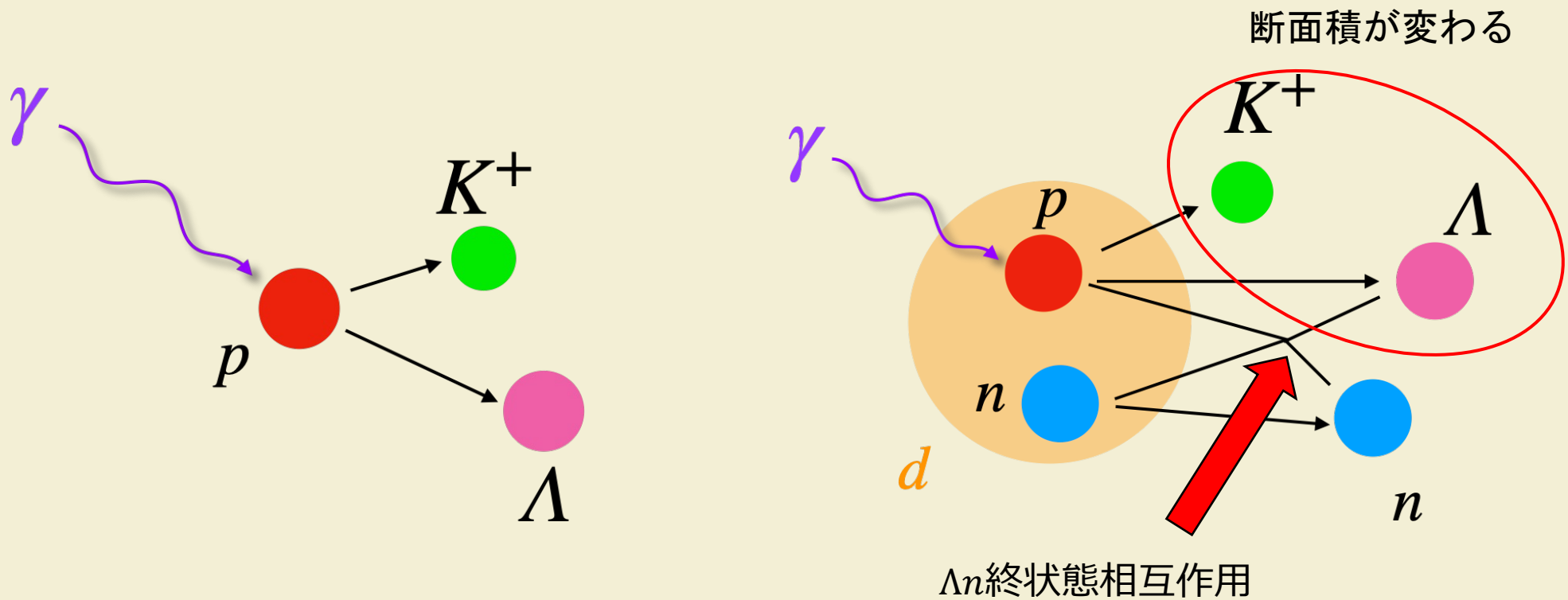
ΛN 相互作用の測定

- ハイパー核分光実験
 - ハイパー核のエネルギー準位からポテンシャルを構築
- ΛN 散乱実験
 - 散乱実験は2体の相互作用を調べるのに効果的な手法
 - 実験実施が非常に困難
 - ハイペロンの寿命が非常に短い。飛行距離も数cm程度
 - 実験データが乏しい
 - データより散乱長や有効距離を決められない
 - J-PRAC E40の成功により高統計 Λp 散乱実験が可能

Λn 終状態相互作用測定

- 終状態相互作用 (Final State Interaction: FSI) 測定実験
 - 散乱実験に代わる直接反応による手法
 - 生成反応後の Λ と中性子の相互作用
 - FSIによる断面積の変化を測定
- 提案されている反応
 - $\gamma d \rightarrow K^+ \Lambda n$ ← ELPHで計画している実験
 - H. Yamamura, K. Miyazawa et al., PRC 61 (1999) 014001
 - Background: e^+e^- pair production and pion production
 - $K^- d \rightarrow \Lambda n \gamma$
 - W. R. Gibbs, S.A. Coon, H.K. Han, and B.F. Gibson, PRC 61 (2000) 064003
 - BNL-AGS E811 \rightarrow PRC 42 (1990) R475
 - $K^- d \rightarrow \Lambda n \pi^0$ ($K^- d \rightarrow \Lambda p \pi^-$)
 - Y. Iizawa, D. Jido, and T. Ishikawa, PRC 106 (2022) 045201
 - Background: $K^- d \rightarrow YN\pi$, $\pi^- d \rightarrow nn\gamma$, neutron in photon detector

Λn FSIの反応模式図

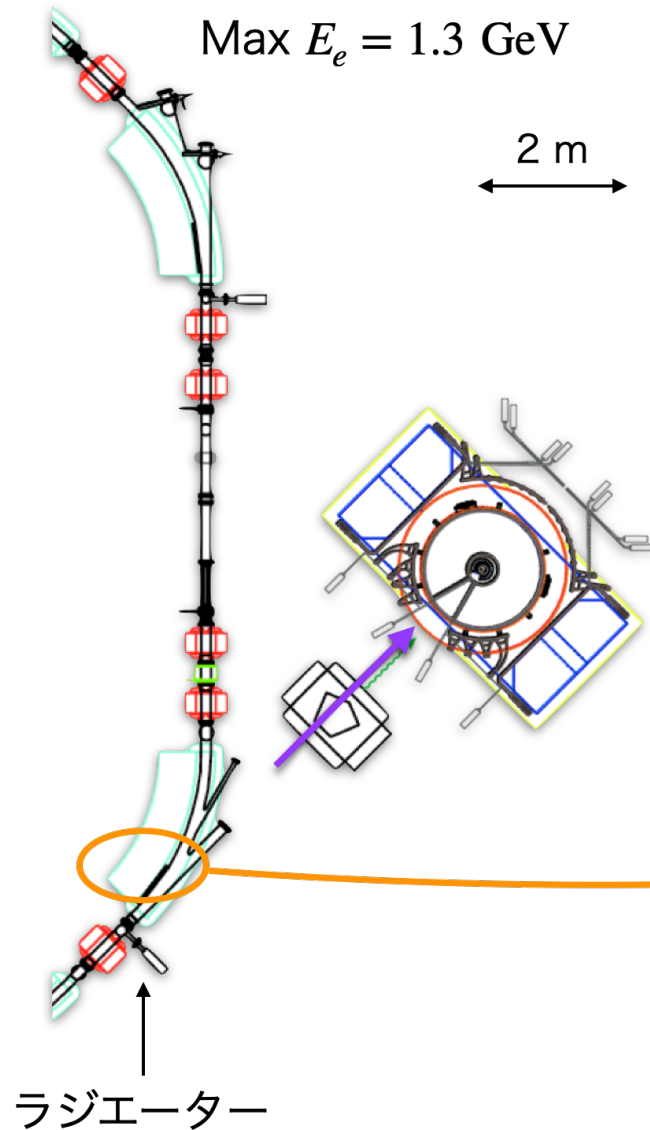


- γd 反応における $K^+ \Lambda$ 生成のFSI効果

ELPH BM4光子ビームライン

BooSTer ring (BST ring)

Max $E_e = 1.3$ GeV



- 東北大学電子光物理学研究センター (ELPH) 第二実験室
- BM4光子ビームライン
 - 0.73-1.25 GeVの標識化光子
 - 標識化光子レート: 1~3 MHz
 - 時間分解能 $\sigma \sim 60$ ps

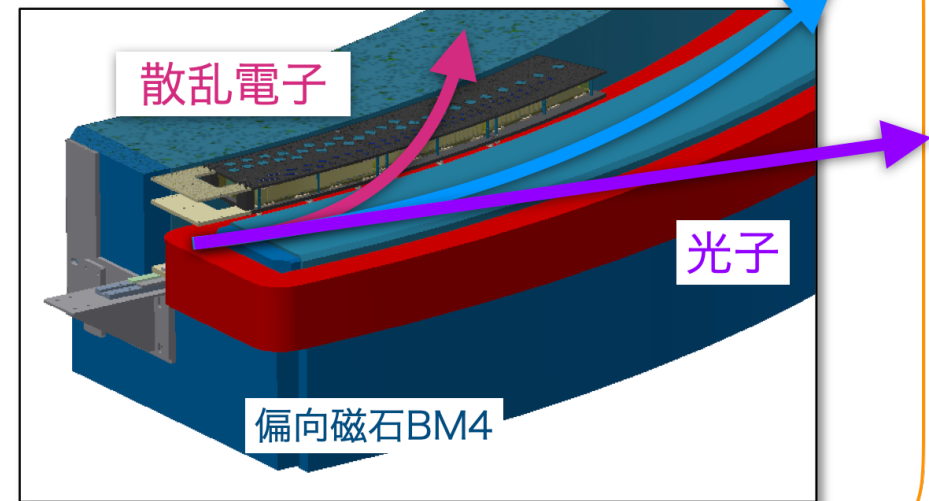
光子標識化装置

周回電子

散乱電子

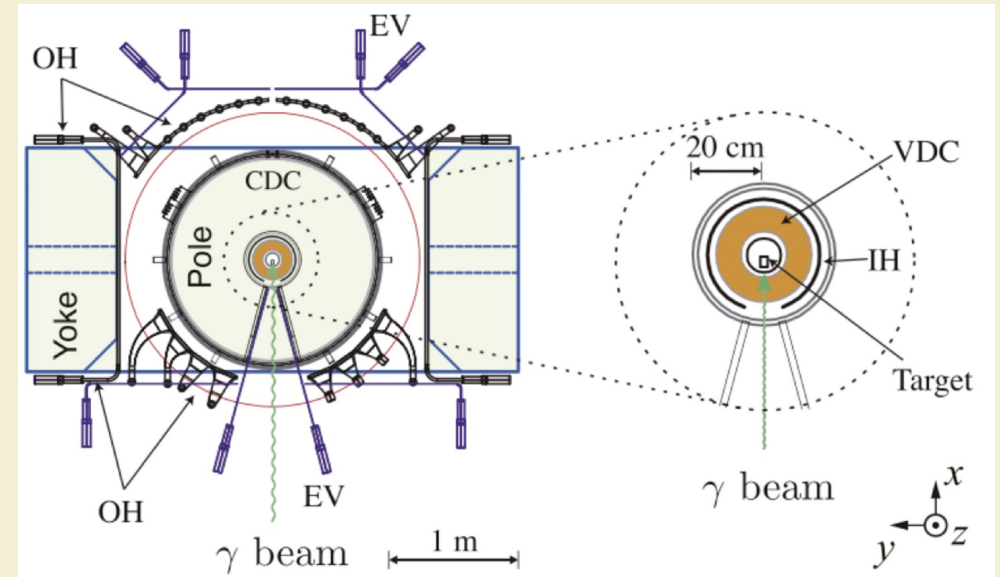
光子

偏向磁石BM4



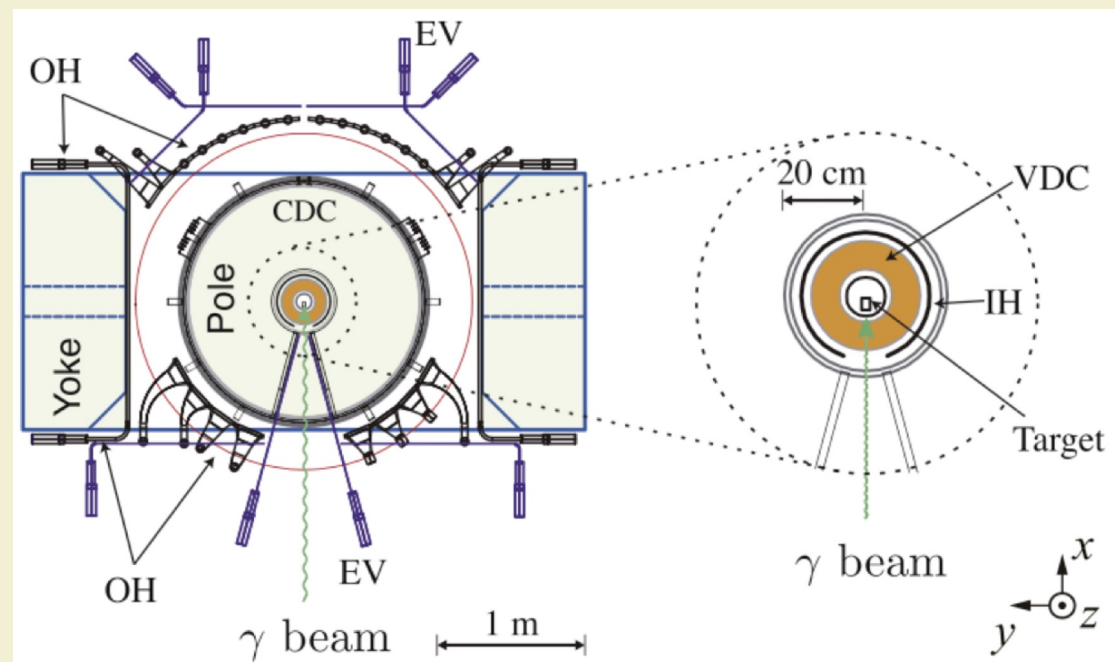
NKS2実験

- NKS2 (Neutral Kaon Spectrometer 2)
- 磁気スペクトロメータ
 - 中心磁場 0.42 T
 - 半径 0.8 m
- 液体水素・重水素標的
- アクセプタンス $\sim 1\pi$ sr



NKS2の検出器

- 粒子のトラッキング
 - 2つのMWDC (CDC, VDC)
 - 荷電粒子の運動量、飛跡
- 粒子の飛行時間測定
 - 2つのHodoscope (IH, OH)
 - 運動量の情報と組み合わせて粒子識別
- バックグラウンドの除去
 - 電子・陽電子Veto検出器 (EV)
 - 光子ビーム由来の $\gamma \rightarrow e^+e^-$ を veto



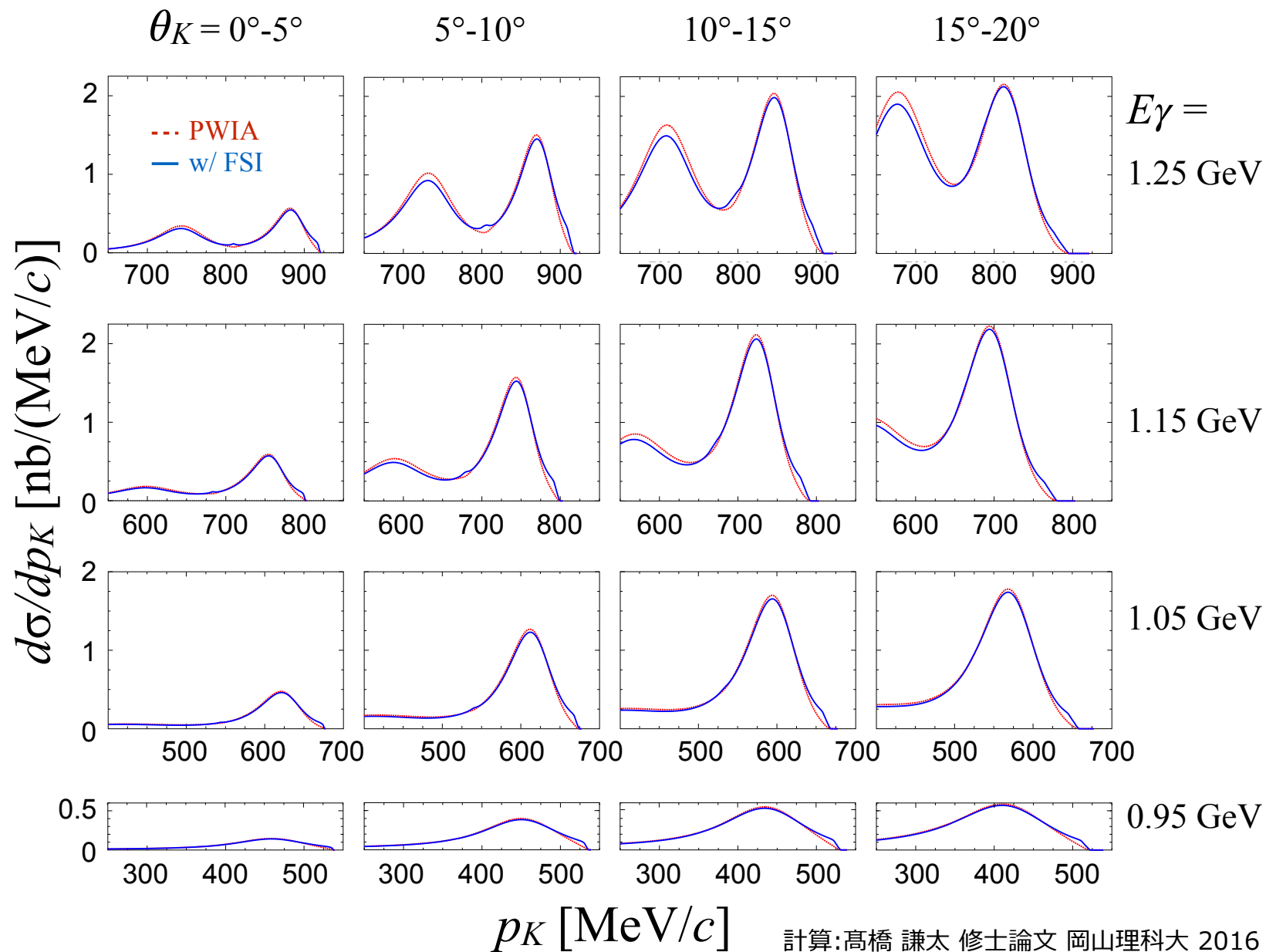
NKS2実験下の Λn FSI効果

- 理論計算

- 高橋 謙太さんの修士論文 (岡山理科大 宮川研究室の学生)

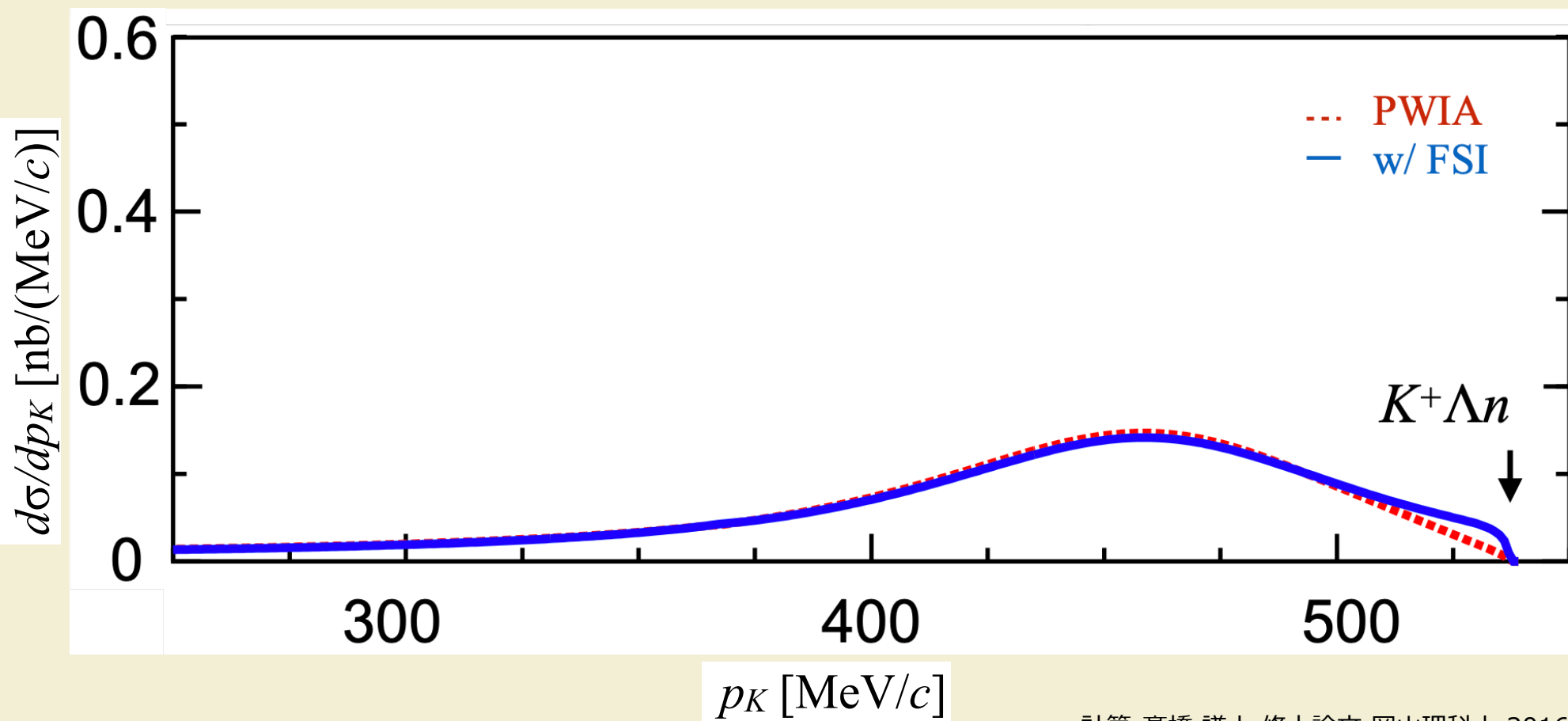
- $\gamma d \rightarrow K^+ \Lambda n$ における K^+ の断面積の計算
 - $E_\gamma = 0.95 - 1.25$ GeV
 - ビーム軸に対する散乱角 $\theta_K = 0^\circ - 20^\circ$
 - 実験系での $d\sigma/dp_K$
 - YNポテンシャルは、soft-core OBEポテンシャルであるNSC97f

K^+ 断面積におけるFSIの効果



K^+ 断面積におけるFSIの効果

$\theta_K = 0^\circ - 5^\circ$
 $E_\gamma = 0.95 \text{ GeV}$
 YN potential: NCS97f



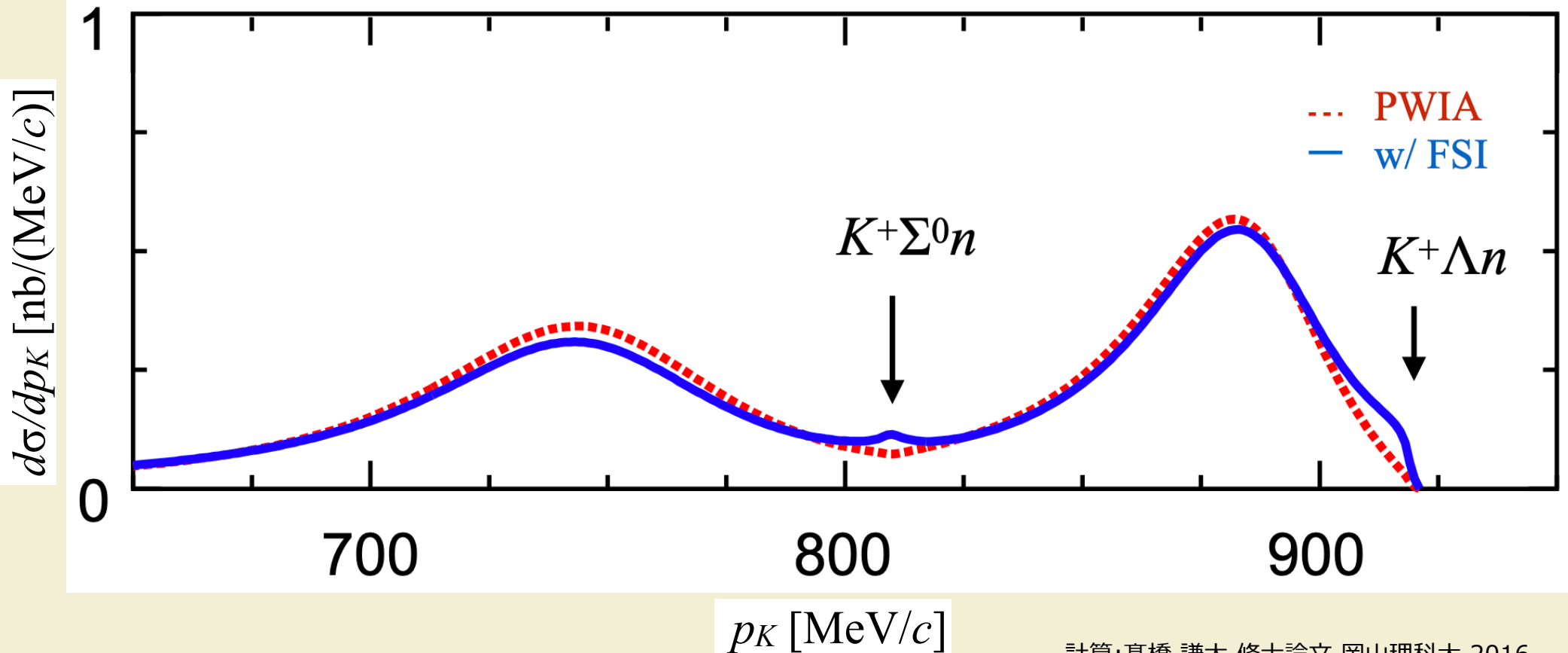
計算: 高橋 謙太 修士論文 岡山理科大 2016

K^+ 断面積におけるFSIの効果

$$\theta_K = 0^\circ - 5^\circ$$

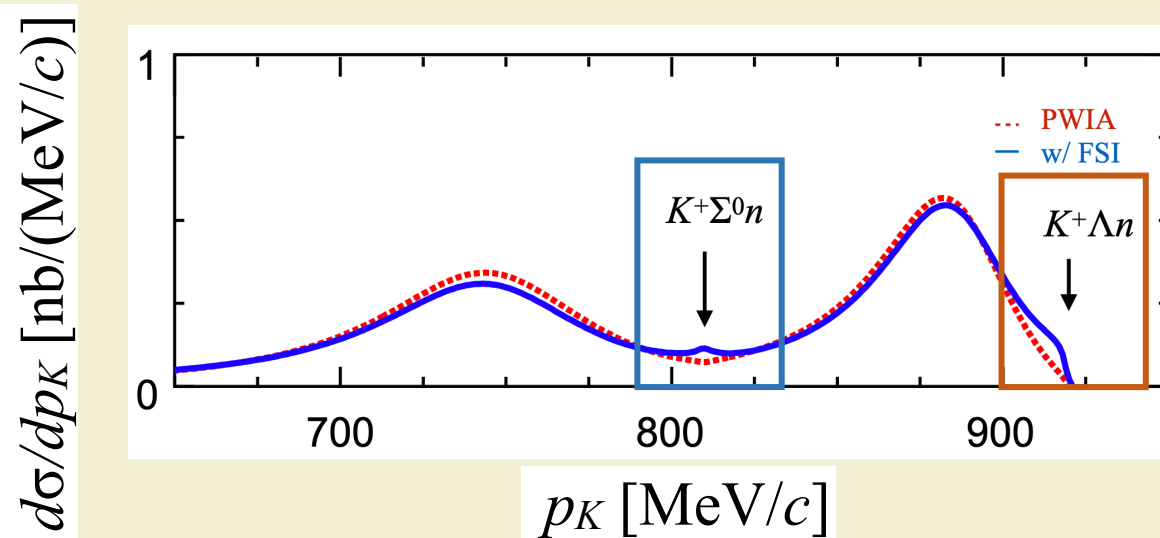
$$E_\gamma = 1.25 \text{ GeV}$$

YN potential: NCS97f



計算:高橋 謙太 修士論文 岡山理科大 2016

断面積におけるFSIの効果



$\theta_K = 0^\circ - 5^\circ$
 $E_\gamma = 1.25 \text{ GeV}$
 YN potential: NCS97f

• ハイペロンの生成閾値あたりでFSIの効果が見れる

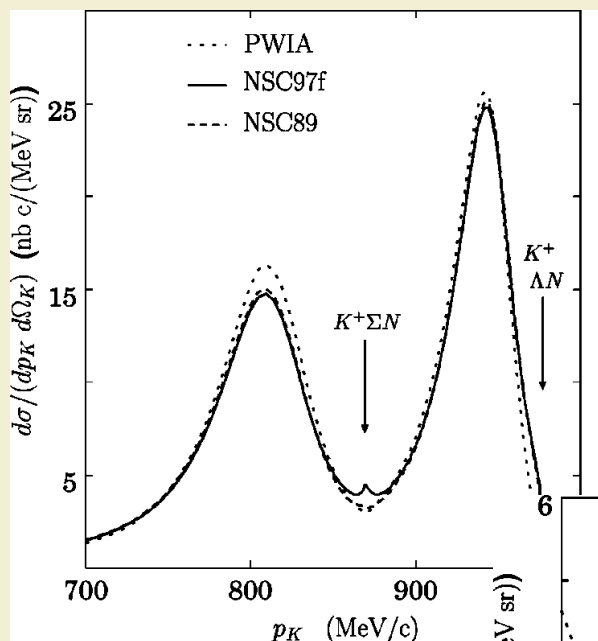
• Λn

- $E_\gamma > 1.05 \text{ GeV}$, $\theta_K = 0^\circ - 20^\circ$ で $\sim 10 \text{ nb}$
- K^+ の運動量で 10 MeV/c の幅で断面積のエンハンスが見られる

• Σn

- $E_\gamma > 1.05 \text{ GeV}$, $\theta_K = 0^\circ - 10^\circ$ で \sim 数 nb
- カスパが見える

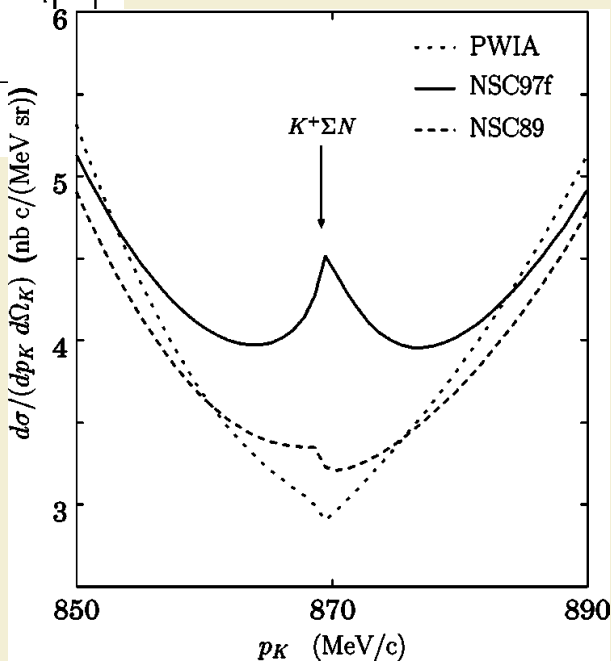
K^+ 断面積分布のカスプ



$$\gamma(d, K^+)YN$$

$$\theta_K = 0^\circ$$

$$E_\gamma = 1.3 \text{ GeV}$$



- Ref.[1]によると
 - $\Lambda N - \Sigma N$ 結合の効果
 - ΣN 閾値周辺のS行列のpoleの位置
 - NSC97fとNSC89のエンハンスの差
 - Poleの位置はYN potentialを特徴付ける重要なもの
- 実験データより実際の位置を決めたい

まとめ

- ストレンジネスを含む核力の研究
 - ΛN 相互作用における荷電対称性の破れ
 - ハイパー核の構造研究だけでなく直接反応を用いた研究を展開
 - ΛN 終状態相互作用測定の実施
- ELPHにおいて Λn 終状態相互作用実験を計画
 - ELPH第二実験室に設置されているNKS2を用いて実施
 - $\gamma d \rightarrow K^+ \Lambda n$ 反応の Λn FSIによる K^+ 断面積の変化
 - NKS2実験下での理論計算
 - 高橋 謙太さん (岡山理科大)のsoft-core OBEモデル NSC97fを用いた計算
 - $\Lambda n, \Sigma n$ FSIにより断面積のエンハンス、 Σn では $\Lambda N - \Sigma N$ 結合によるカスプが測定可能