



J-PARC E75実験における ${}^7_{\Sigma}H$ と ${}^5_{\Lambda\Lambda}H$ の分光

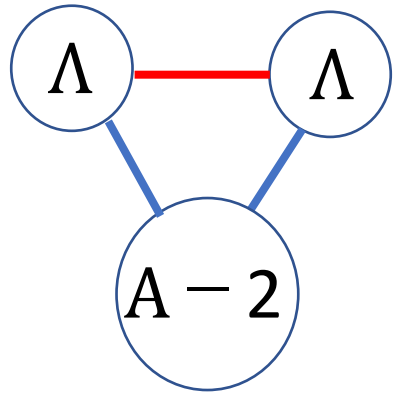
東京工業大学理学院物理学コース
修士1年
藤岡研究室
小堀 匠



ダブルΛハイパー核

• Λ粒子同士の結合エネルギー $-\Delta B_{\Lambda\Lambda}$

$$\Delta B_{\Lambda\Lambda} = B_{\Lambda\Lambda}({}_{\Lambda\Lambda}^AZ) - 2B_{\Lambda}({}^{A-1}_{\Lambda}Z)$$

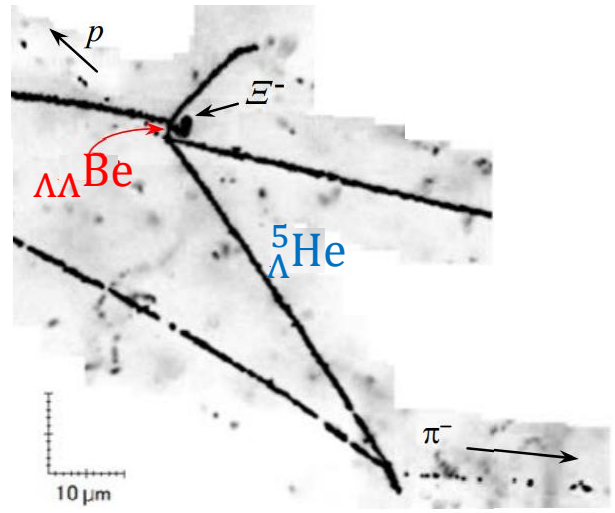
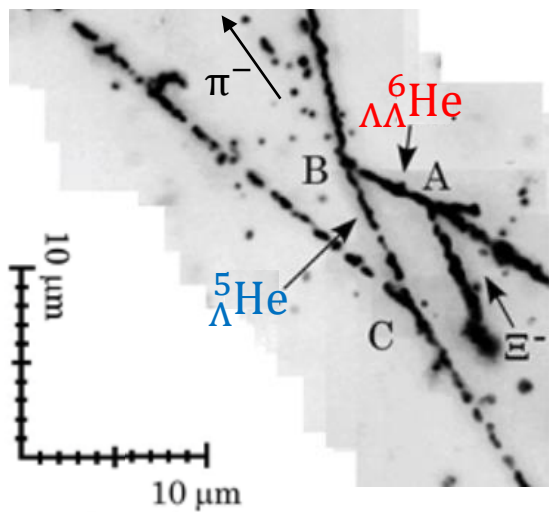


➡ ΛΛ間のバリオン相互作用への理解を深める

• 先行研究

▶ KEK-PS E373(NAGARAイベント)
(Takahashi *et al.*, Phys. Rev. Lett. **87**, 212502 (2001))

▶ J-PARC E07(MINOイベント)
(H. Ekawa *et al.*, Prog. Theor. Exp. Phys. 2019, 021D02)



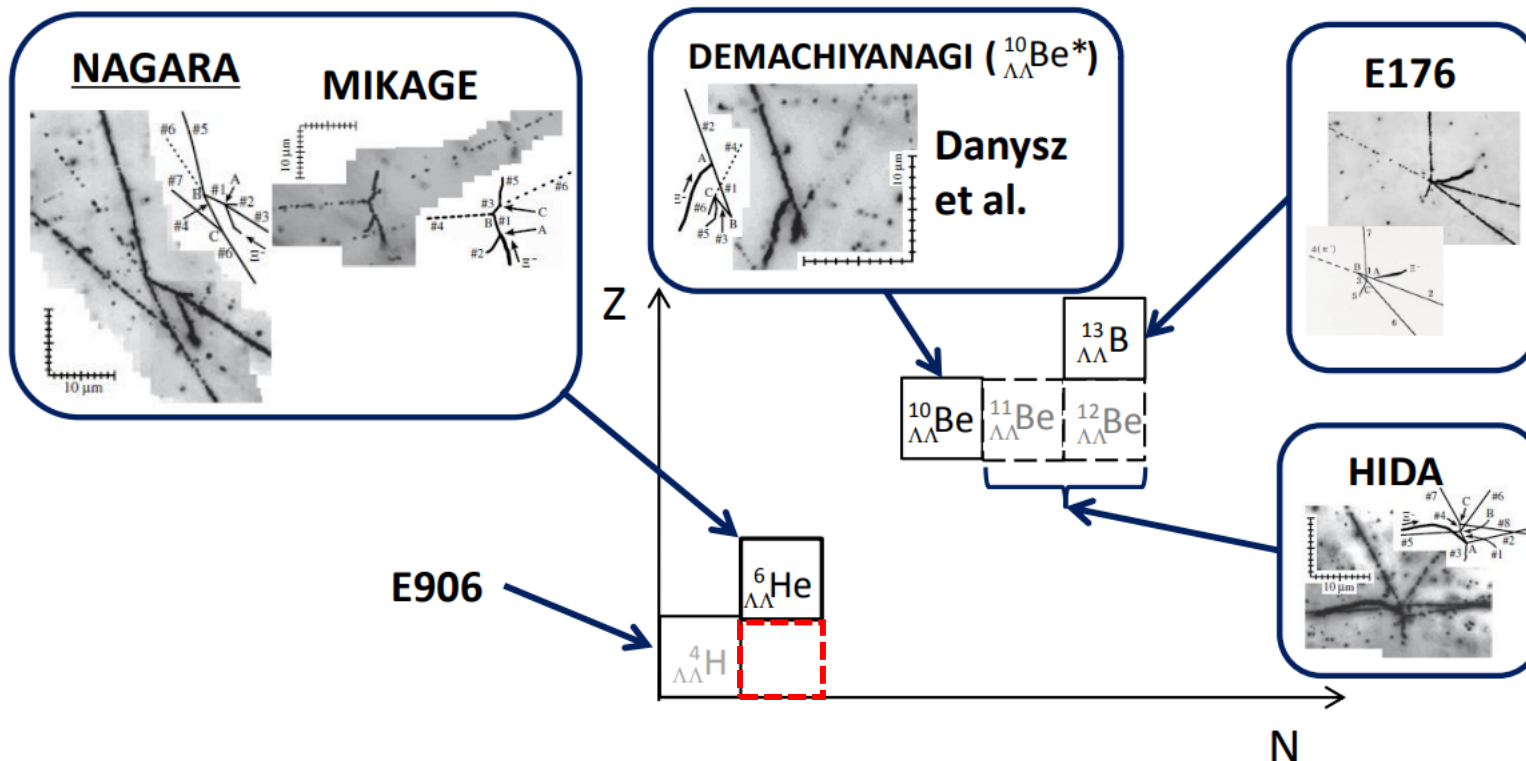
➡ $\Delta B_{\Lambda\Lambda} = 0.67 \pm 0.17 \text{ MeV}({}_{\Lambda\Lambda}^6\text{He})$

➡ $\Delta B_{\Lambda\Lambda} = 1.87 \pm 0.08 \pm 0.36 \text{ MeV}({}_{\Lambda\Lambda}^{11}\text{Be})$

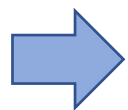


ダブルΛハイパー核

- これまでに発見されたダブルΛハイパー核



「日本の核物理の将来レポート」(2013)



J-PARC E75実験では、新たな手法で
新たなダブルΛハイパー核(${}^5_{\Lambda\Lambda}\text{H}$)の分光を行う



${}_{\Lambda\Lambda}^5\text{H} (nnp\Lambda\Lambda)$

- 質量数について

- ▶ 観測されたダブル Λ ハイパー核で質量数が最小なものは ${}_{\Lambda\Lambda}^6\text{He}(nnpp\Lambda\Lambda)$ である
- ▶ ${}_{\Lambda\Lambda}^3\text{n}(n\Lambda\Lambda)$ 、 ${}_{\Lambda\Lambda}^4\text{n}(nn\Lambda\Lambda)$ 、 ${}_{\Lambda\Lambda}^4\text{H}(np\Lambda\Lambda)$ は非束縛である
- ▶ ${}_{\Lambda\Lambda}^5\text{H}(nnp\Lambda\Lambda) / {}_{\Lambda\Lambda}^5\text{He}(npp\Lambda\Lambda)$ は束縛である

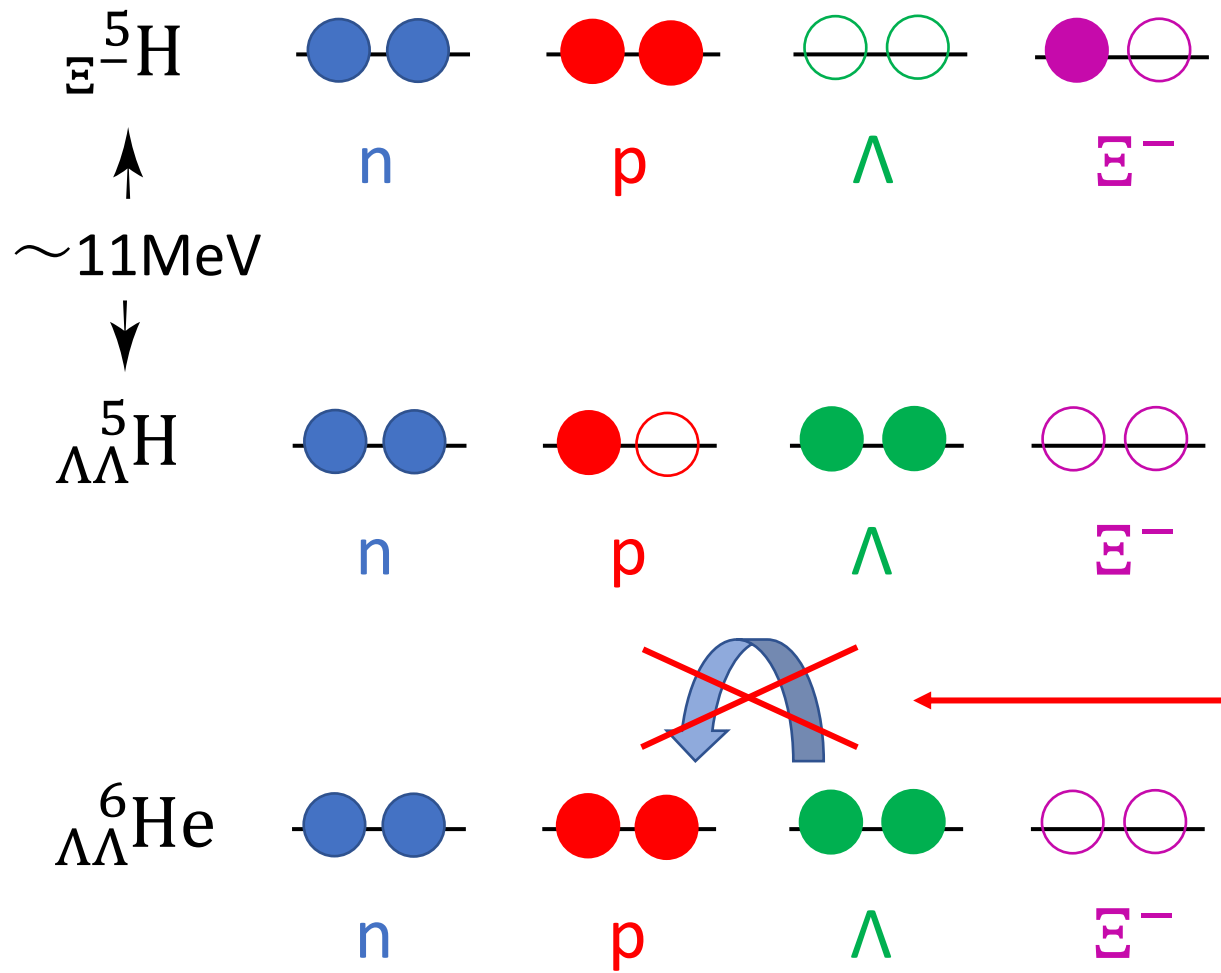
➡ ${}_{\Lambda\Lambda}^5\text{H}(nnp\Lambda\Lambda) / {}_{\Lambda\Lambda}^5\text{He}(npp\Lambda\Lambda)$ が理論上
最も質量数の小さなダブル Λ ハイパー核である

(L. Contessi et al., Phys. Lett. B 797, 134893 (2019))



${}_{\Lambda\Lambda}^5\text{H}$ (nnp $\Lambda\Lambda$)

• $\Lambda\Lambda - \Xi\text{N}$ mixing (${}_{\Lambda\Lambda}^5\text{H} \leftrightarrow {}_{\Xi}^5\text{H}$)

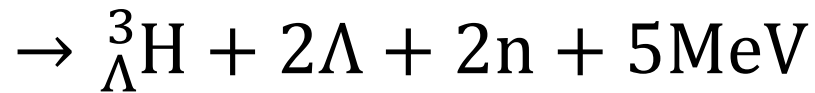
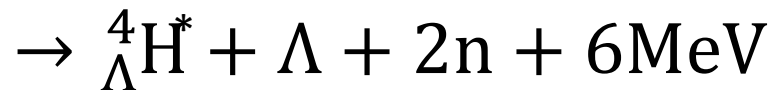
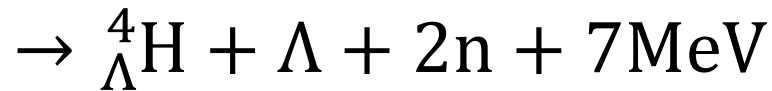
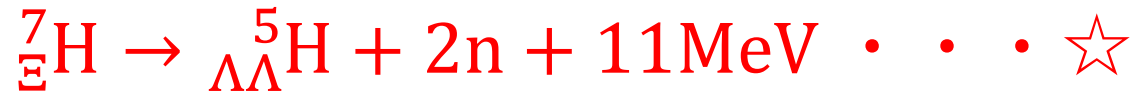


Large
Mixing

パウリの排他律
による抑制



${}_{\Lambda\Lambda}^5\text{H} (\text{nnp}\Lambda\Lambda)$



• \star の分岐比

- ▶ Kumagai-Fuse, Y. Akashi, Phys. Rev. C 54, R24 (1996) → 約90%
- ▶ A. Ohnishi et al., Prog. Theor. Exp. Phys. 2020, 29 (2020) → 約50%



Step1. ${}^7_{\Xi}\text{H}$ の欠損質量分光

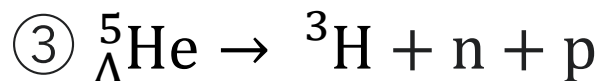


K1.8 + S-2S で行う
(E70実験と共通)

- ▶ ${}^7\text{Li}(\text{K}^-, \text{K}^+)$ 反応による ${}^7_{\Xi}\text{H}$ 生成
- ▶ K^-, K^+ の運動量測定

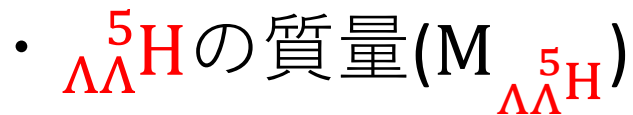
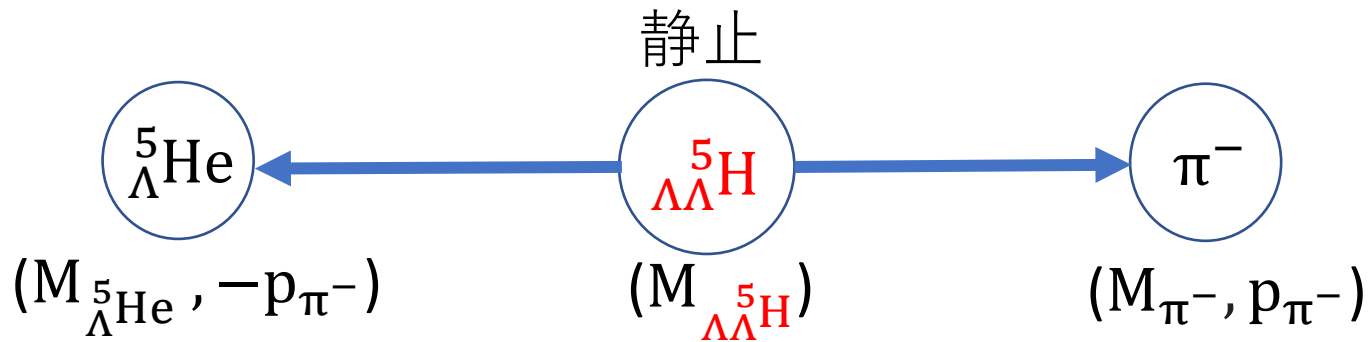
Step2. ${}^5_{\Lambda\Lambda}\text{H}$ の崩壊 π 中間子分光

- ▶ Step1で生成された ${}^7_{\Xi}\text{H}$ の連続崩壊を利用





$\Lambda\Lambda^5\text{H}$ の崩壊 π 中間子分光

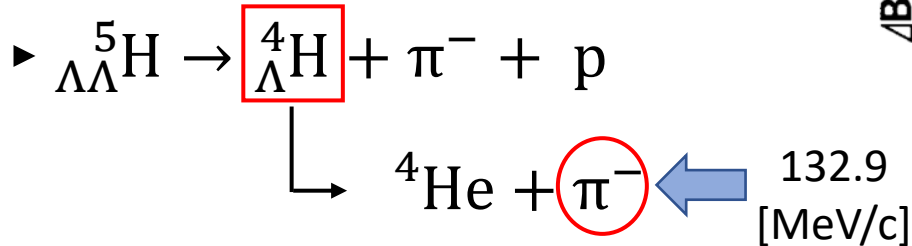
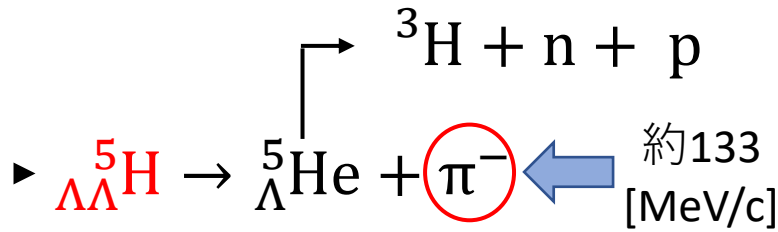


$$M_{\Lambda\Lambda^5\text{H}} = \sqrt{M_{{}^5_{\Lambda}\text{He}}^2 + p_{\pi^-}^2} + \sqrt{M_{\pi^-}^2 + p_{\pi^-}^2}$$

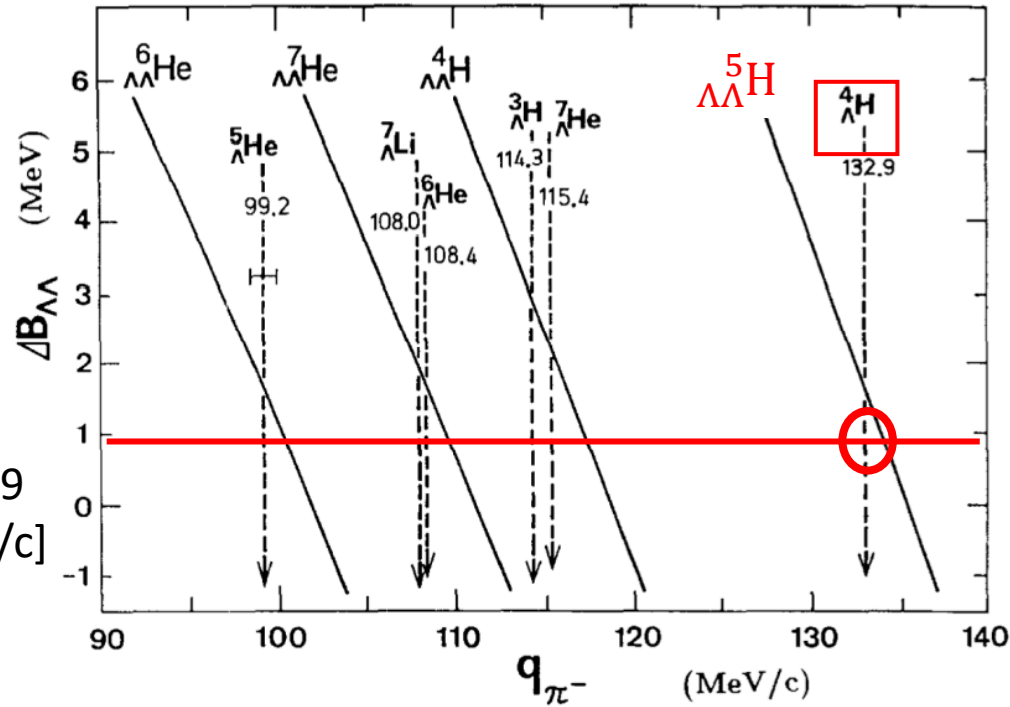


${}_{\Lambda\Lambda}^5\text{H}$ の崩壊反応同定

• ${}_{\Lambda\Lambda}^5\text{H}$ の崩壊例



静止 Λ ハイパー核の二体崩壊で放出される π^- の運動量 q_{π^-} と結合エネルギー $\Delta B_{\Lambda\Lambda}$



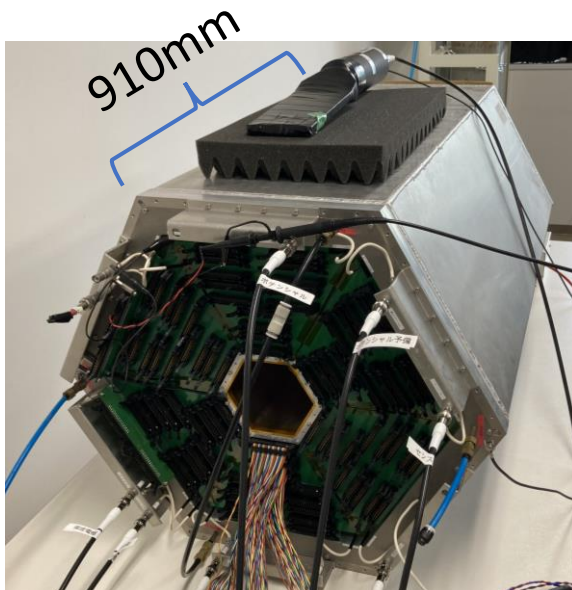
Y. Yamamoto, M. Wakai, T. Motoba, and T. Fukuda, Nucl. Phys. A 625, 107-142 (1997).

➡ ${}_{\Lambda\Lambda}^5\text{H}$ と ${}_{\Lambda}^4\text{H}$ から放出される π^- の識別が困難である

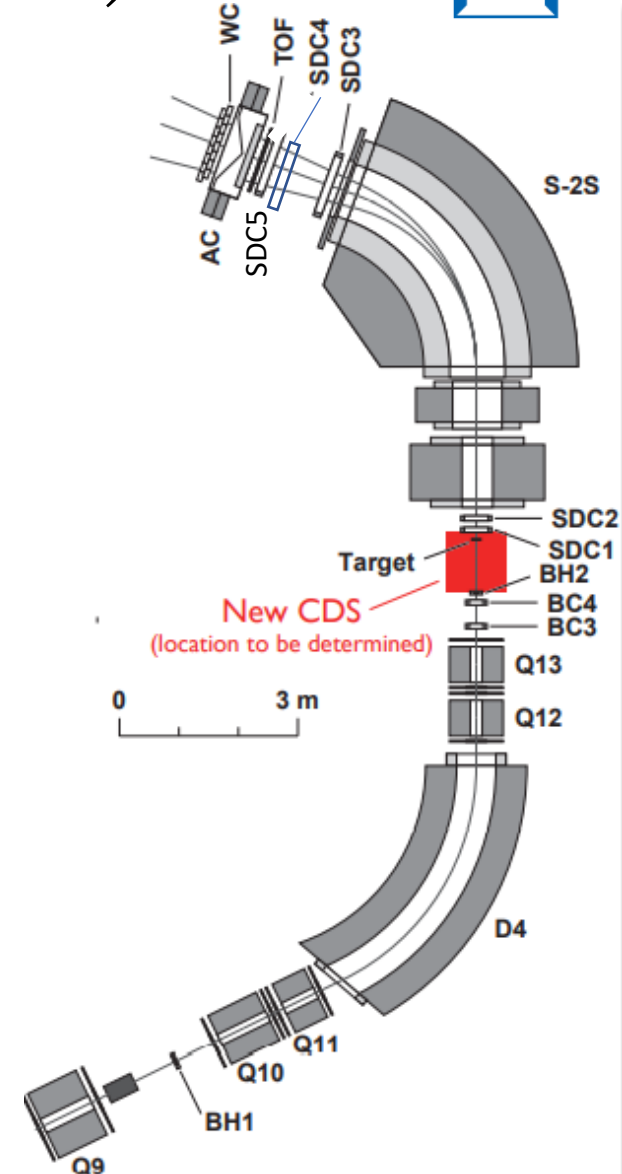
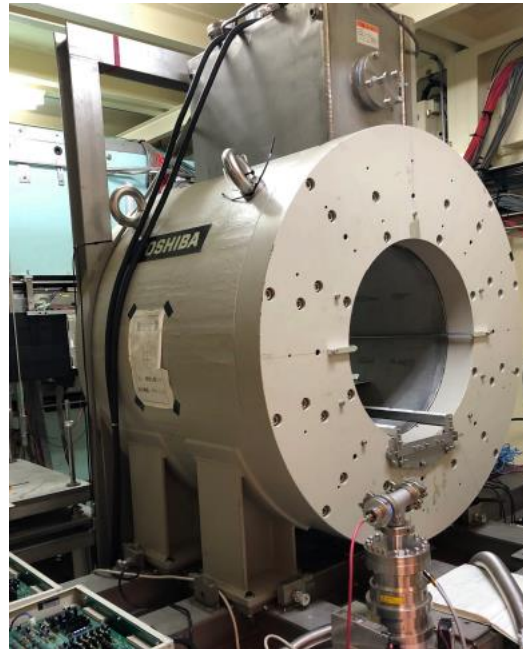


Cylindrical Detector System (CDS)

- ${}^7\text{Li}$ 標的
- ソレノイド磁石
- Time Projection Chamber (TPC)



555.352mm

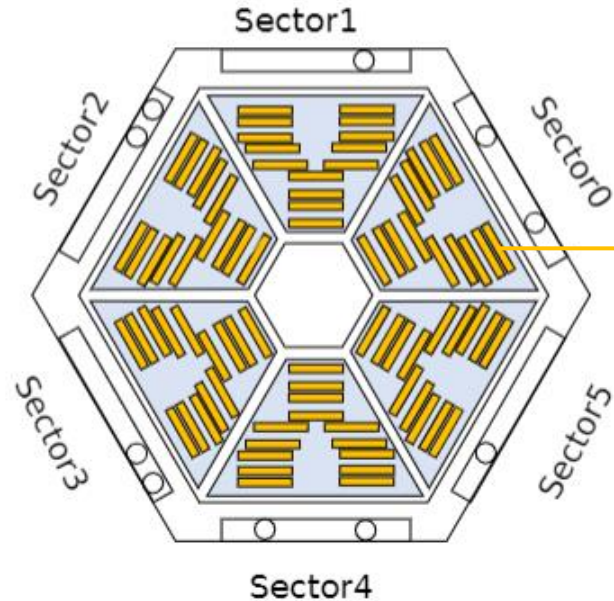


H. Fujioka et al., J-PARC E75 proposal “ Decay Pion Spectroscopy of $5 \Lambda\text{H}$ Produced by Ξ -hypernuclear Decay ”.

Time Projection Chamber (TPC)



TPC (LEPS実験@SPring-8で使用されたもの)



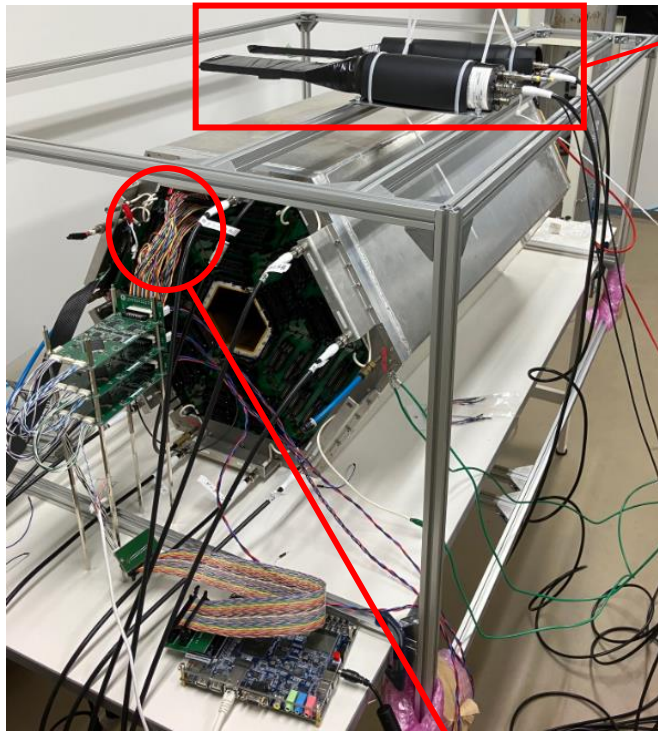
FADC (LEPS2 実験で使用しているもの)



- ▶ カソードパッドの個数：1350個
- ▶ パッドの大きさ：5.1mm × 14.1mm
- ▶ FADCの個数：84個
- ▶ P10ガス(Ar 90%、CH₄ 10%)を使用

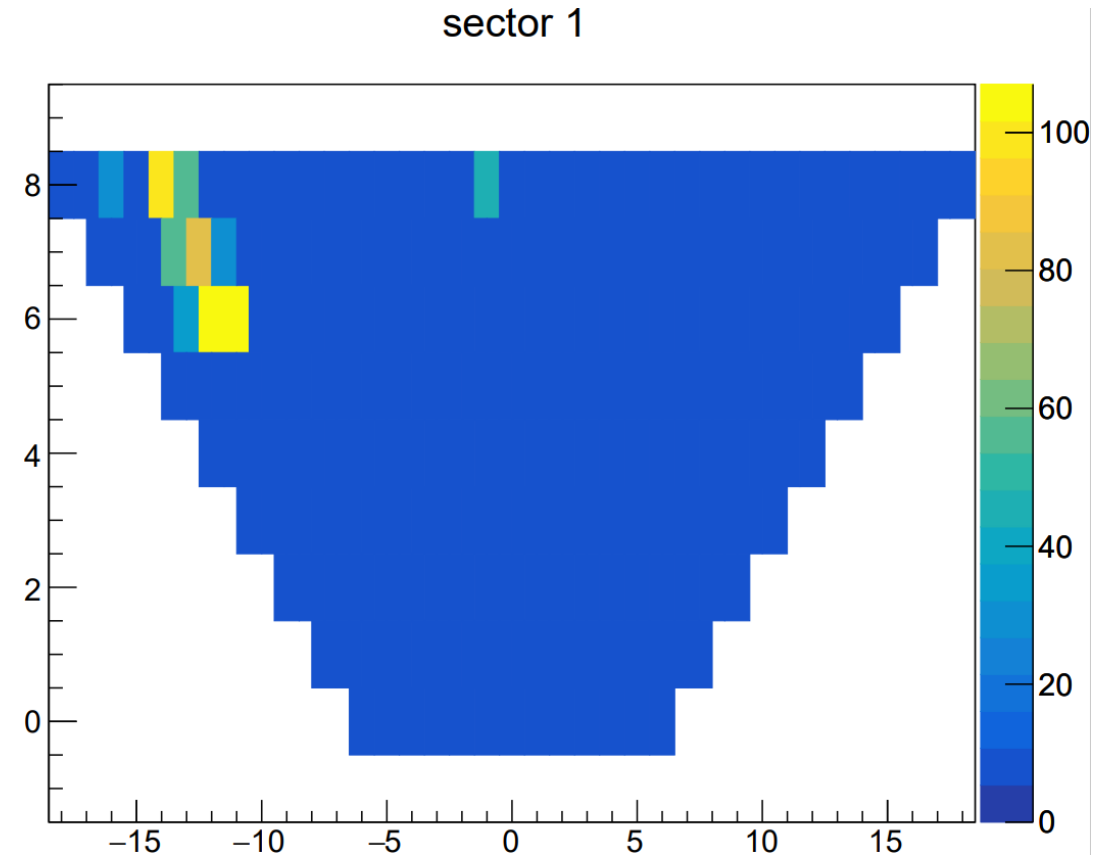


TPCによる宇宙線検出(磁場無し)



トリガー(プラスチックシンチレータ)

FADC
3枚使用



(T. Tanaka, Tokyo Tech.)



まとめ

- ${}_{\Lambda\Lambda}^5\text{H}$ は理論上最も質量数の小さなダブル Λ ハイパー核であり、高い割合で $\Lambda\Lambda - \Xi\text{N}$ mixing を引き起こしていると考えられる。
- J-PARC E75実験では、エマルジョン法ではない新たな手法で ${}_{\Lambda\Lambda}^5\text{H}$ 分光を行う。
- ${}_{\Lambda\Lambda}^5\text{H}$ は ${}_{\Xi}^7\text{H}$ の崩壊によって得られるため、まずは ${}^7\text{Li}(\text{K}^-, \text{K}^+)$ 反応で ${}_{\Xi}^7\text{H}$ を生成し、欠損質量分光を行う。
- ${}_{\Lambda\Lambda}^5\text{H} \rightarrow {}_{\Lambda}^5\text{He} + \pi^-$ という崩壊について崩壊 π 中間子分光を行い、 ${}_{\Lambda\Lambda}^5\text{H}$ の質量スペクトルを調べる。
- 崩壊反応同定をするために、 ${}_{\Lambda}^5\text{He} \rightarrow {}^3\text{H} + \text{n} + \text{p}$ という崩壊で放出される大きな運動エネルギーをもつ陽子の検出も同時に行う。
- π^- と p はTPCによって検出される。
- TPCの信号はFADCを用いて読み出される。
- 現在、宇宙線の検出に成功している。