

ダブルハイパー核生成実験 J-PARC E07

Masahiro Yoshimoto

Gifu University

自己紹介

- 吉本 雅浩 (よしもと まさひろ)
- 現所属は 岐阜大学 教育学部 PD (一時名大)
- YMAPでの役職メーリングリスト・Slack管理

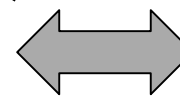


2018年 岐大

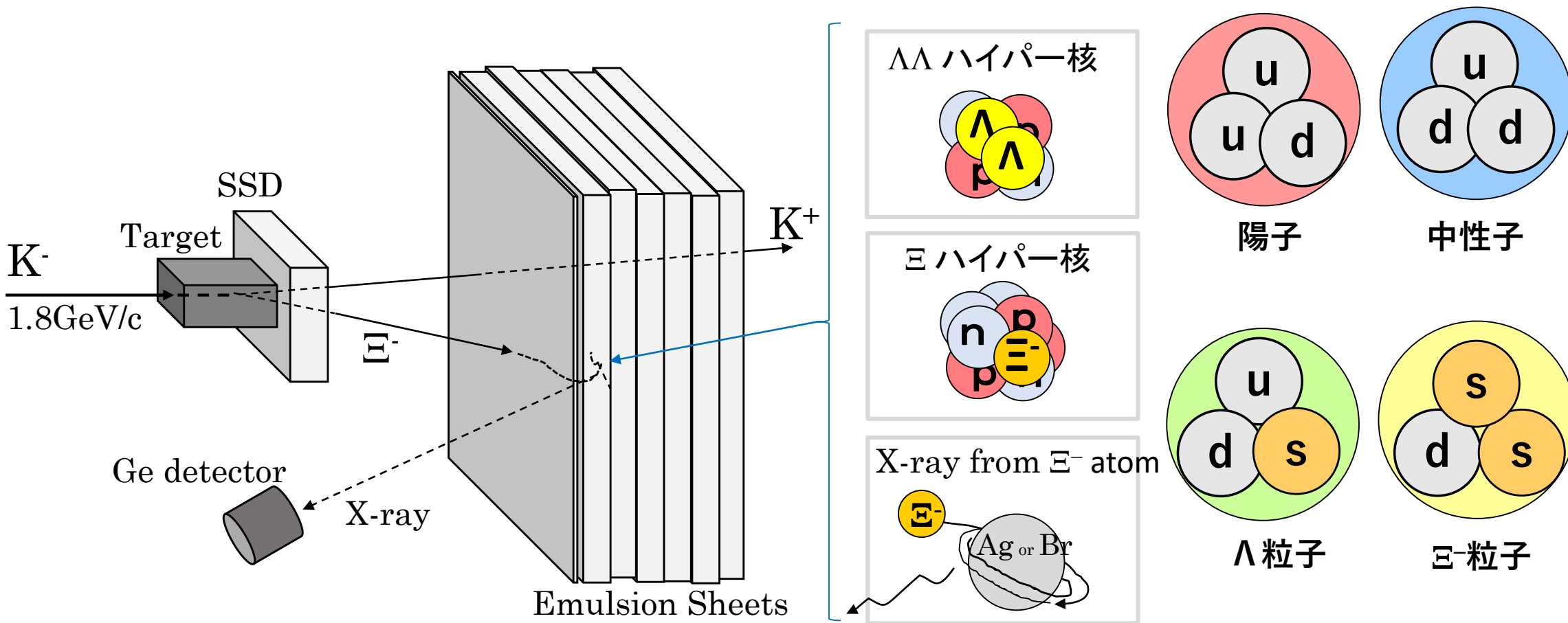
- 2011年 原子核乾板で暗黒物質探索がしたい→名大 F研究室
- 2013年 読み取り装置が必要→“HTS”等の開発
- 2014年 学振DCを取るために、テーマをNEWSdm実験の中性子BGに設定
- 2015年 D論を取るために エマルションガンマ線望遠鏡 GRAINE w/ HTS
- 2017年 ポストを求めて岐阜大学 原子核物理 J-PARC E07実験
- 2019年 ポストを求めて名大 タウニュートリノ DsTau実験

J-PARC E07実験

- ・ 加速器実験
- ・ 原子核
- ・ ハドロン



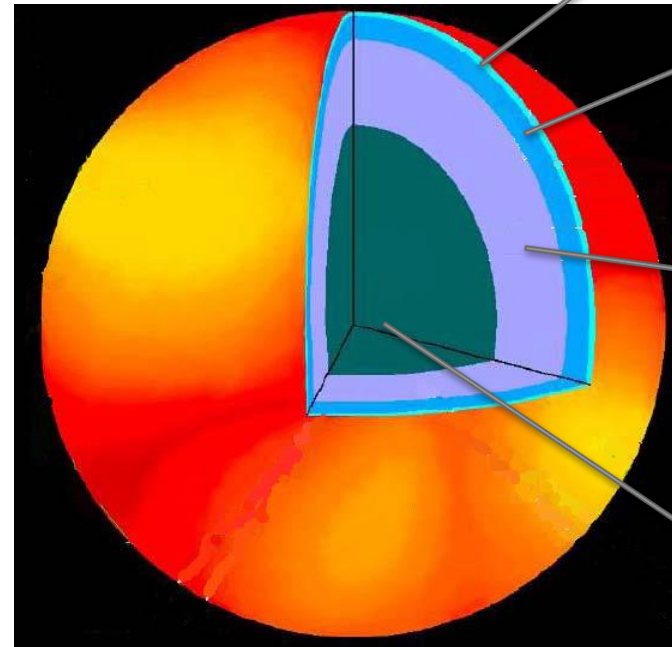
YMAP
宇宙素粒子



中性子星

- 太陽質量の8倍以上の星が超新星爆発したときの残骸
- 質量は太陽質量の1.4~2.0倍
- 半径は10–15 km
- 中性子星の”質量”は精度よく観測されている
- 半径や内部構造は分かっていない

<http://lambda.phys.tohoku.ac.jp/nstar/>



アウタークラスト(外殻)

インナークラスト(内殻)
中性子、中性子過剰核、電子

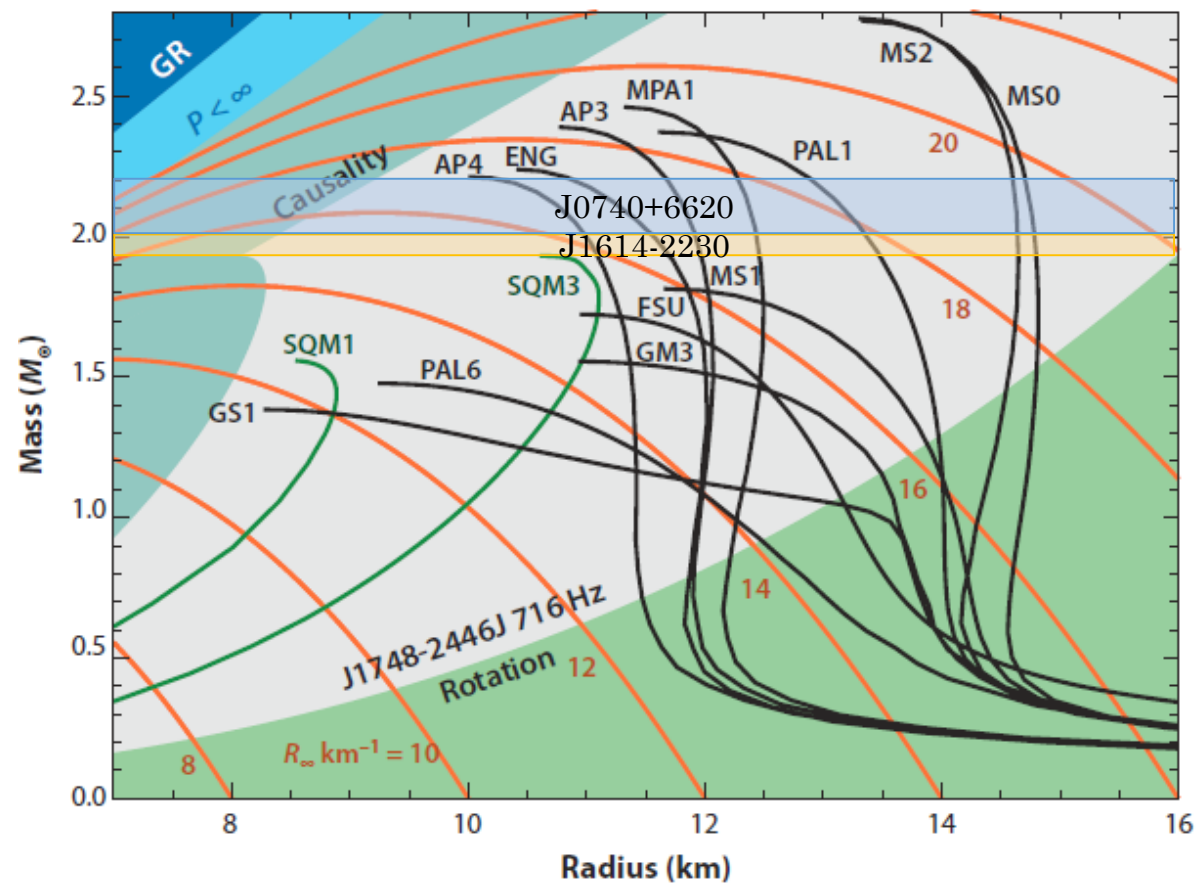
アウターコア(外核)
中性子(>95%)
陽子、電子

インナーコア(内核)
中性子、ハイペロン、
中間子凝縮、クォーク物質?

不安定核の物理 中村隆司著

中性子星の状態方程式

- 内部は超高密度で、高密度中により、安定なストレンジクォークを含む超巨大原子核(巨大ハイパー核)になっていると考えられている
- 近年発見された、 $2M_{\odot}$ クラスの中性子星は多くのモデルに制限をかけるなど成果を上げている。
- $\Lambda\Lambda$ 間、 Ξ -N間等の、亜原子核のバリオン間相互作用の統一的理解を進め、原子核物理から中性子星を理解



J1614-2230 Demorest, P. B., et al. *Nature* **467**, 1081–1083 (2010).
 J0740+6620 Cromartie, H. T. et al. *Nature Astronomy* (2019).

Lattimer, J. M. *Annu. Rev. Nucl. Part. Sci.* **62**, 485–515 (2012).

核図表

ニホニウム

ストレンジネス

陽子

3D 核図表

中性子

$\Lambda\Lambda$ ハイパー核



${}^6_{\Lambda\Lambda}\text{He}$

- 2 陽子
- 2 中性子
- 2 ラムダ粒子

Ξ ハイパー核



${}^{15}_{\Xi}\text{C}$

- 7 陽子
- 7 中性子
- 1 グザイ粒子

(u,d,s) (u,d,s)



$\Lambda\Lambda$ 相互作用

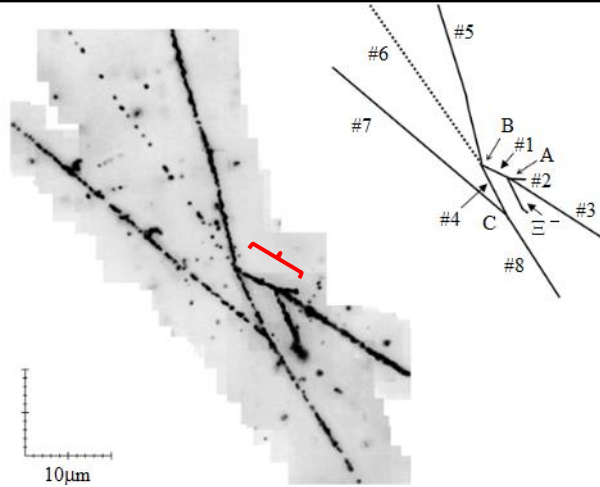
(d,s,s) (d/u,u,d)



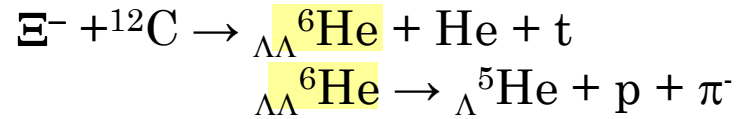
ΞN 相互作用

-> ストレンジネスを含めた
バリオン間相互作用の理解へ

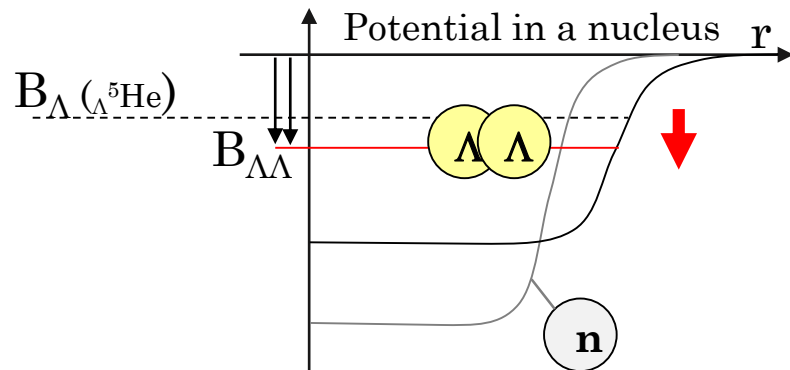
NAGARA, $\Lambda\Lambda$ ハイパー核(2001)



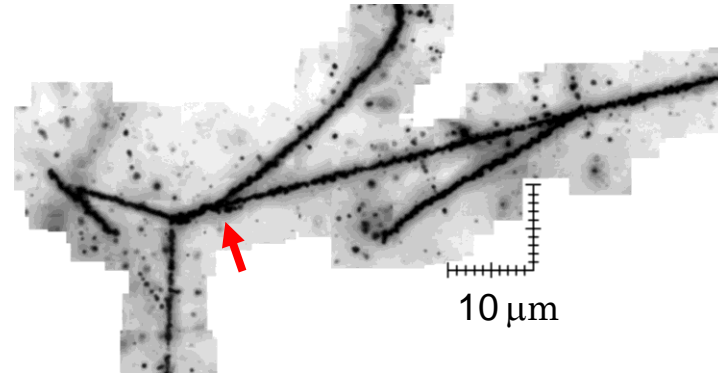
PHYSICAL REVIEW C 88, 014003 (2013)



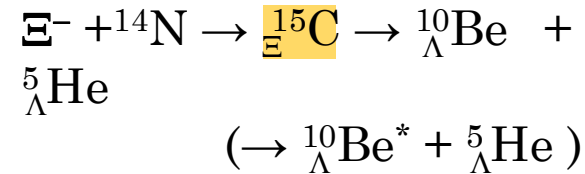
$$\Delta B_{\Lambda\Lambda} = 0.67 \pm 0.17 \text{ MeV}$$



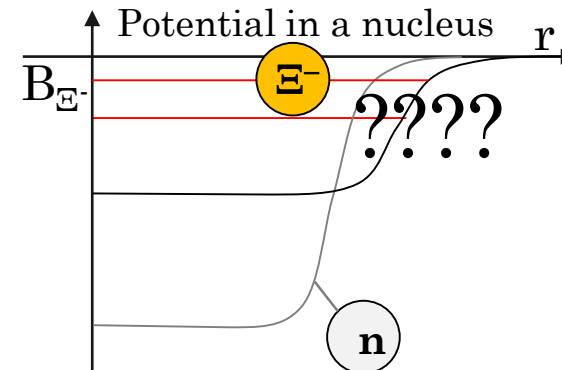
KISO, Ξ ハイパー核(2013)



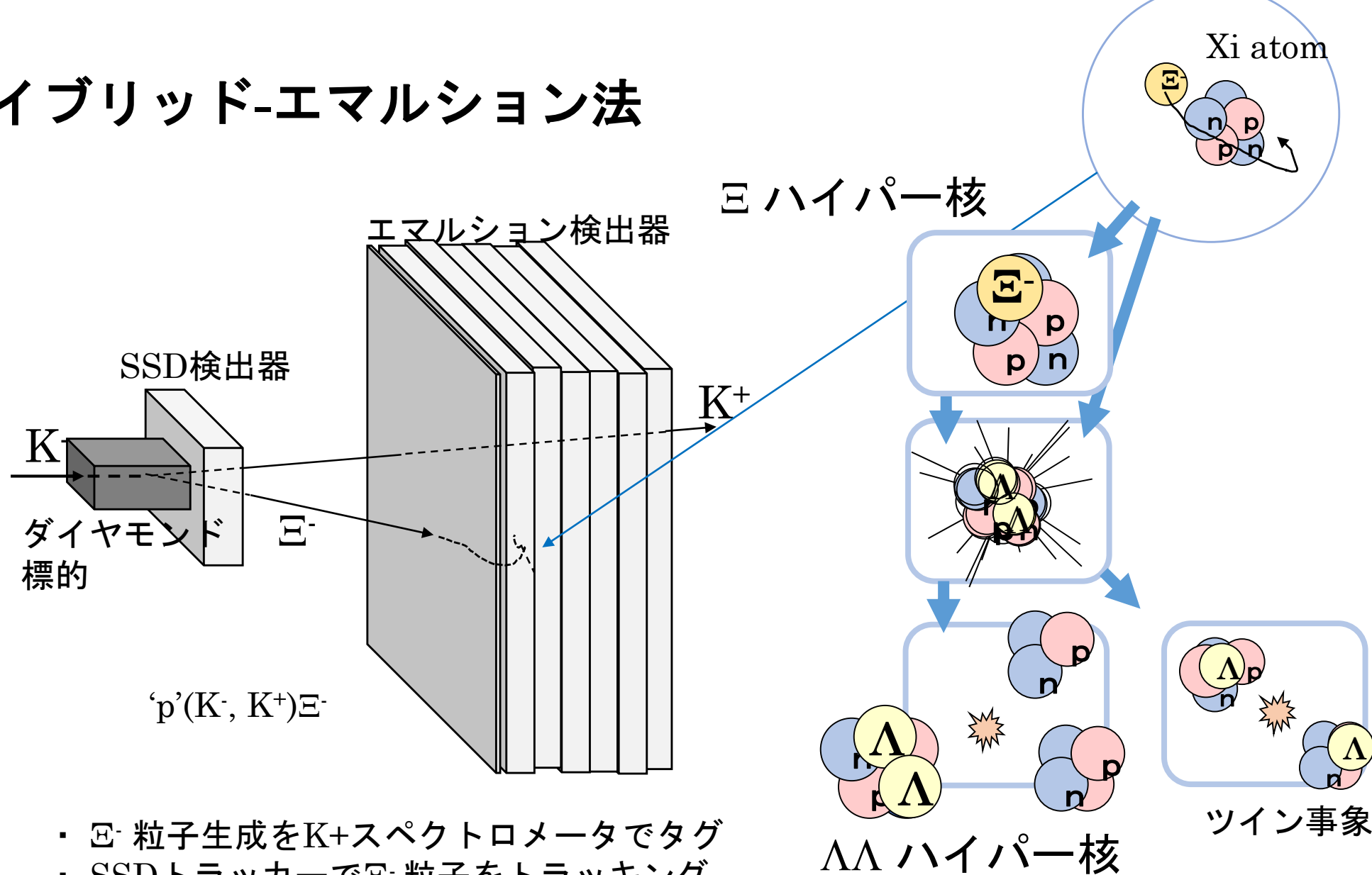
Prog. Theor. Exp. Phys. 2015, 033D02
Annu. Rev. Nucl. Part. Sci. 2018.68.131



$$B_{\Xi^-} = 1.03 \pm 0.18 \text{ or } 3.87 \pm 0.21 \text{ MeV}$$

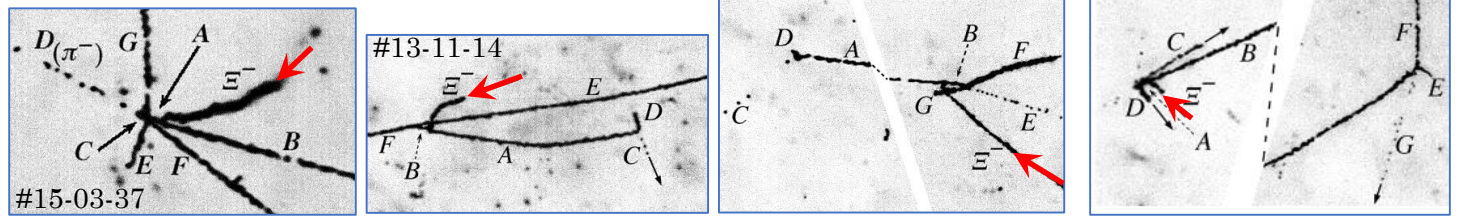


ハイブリッド-エマルション法



- ・ Ξ^- 粒子生成を K^+ スペクトロメータでタグ
- ・ SSDトラッカーで Ξ^- 粒子をトラッキング
- ・ 1枚目のエマルションで Ξ^- 粒子を検出
- ・ Ξ^- 粒子の静止点でダブルハイパー核などを検出

KEK-PS E176 (1988-89)

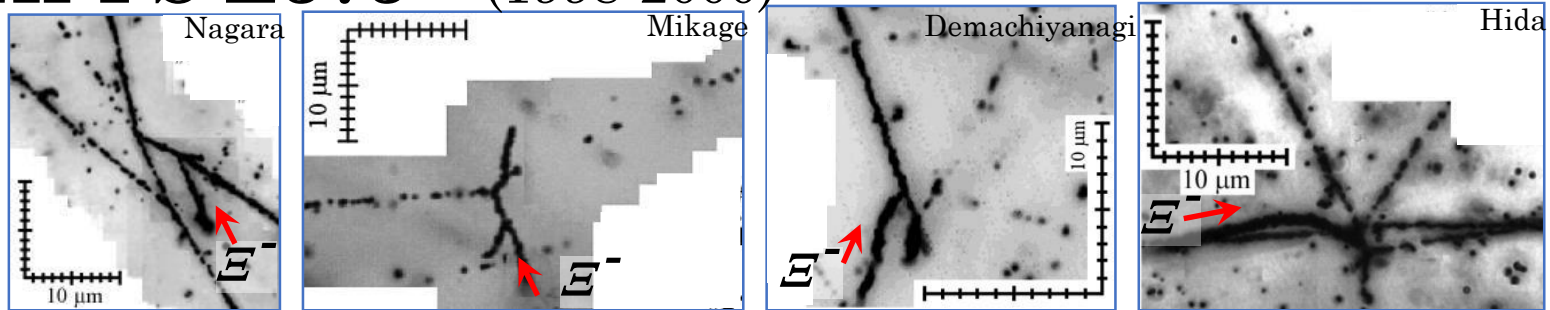


Nuclear Physics A 828 (2009) 191-232

- * ~80 Ξ^- stop events
- * ダブル Λ ハイパー核の存在を確認

↓ X10 statistics

KEK-PS E373 (1998-2000)



PHYSICAL REVIEW C 88, 014003 (2013)

- * At least ~650 Ξ^- stop events
- * NAGARA, KISO などのダブルハイパー核を発見

↓ X10 statistics

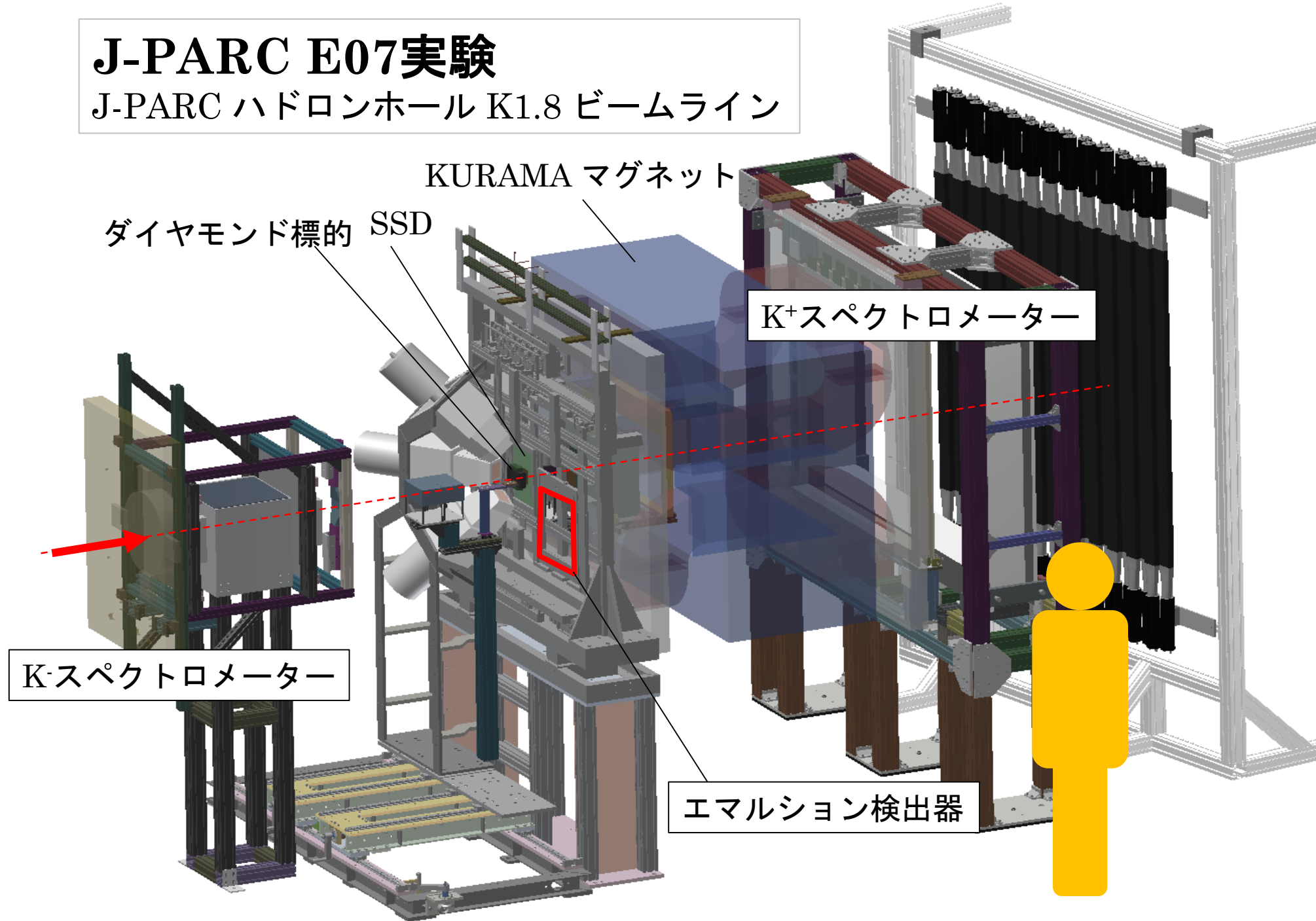
J-PARC E07 (2016-17)

- * ~10k Ξ^- 静止事象
- * 大統計によるS=-2 系の理解へ

	Emulsion gel	K ⁻ purity	Beam intensity
KEK-PS E373	0.8 tons	25%	1×10^4 /spill
↓	↓	↓	↓
J-PARC E07	2.1 tons	~85%	3×10^5 /spill

J-PARC E07実験

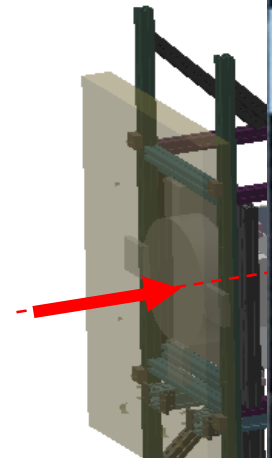
J-PARC ハドロンホール K1.8 ビームライン



J-PARC E07実験

J-PARC ハドロンホール、K1.8 ビームライン

ダイヤ



K-スペクトロ



K-ビーム照射

2016 5月-6月

KURAMA Commissioning : 5.0 days

Physics : 4.9 days

2017 4/15 - 4/19 (44 kW)

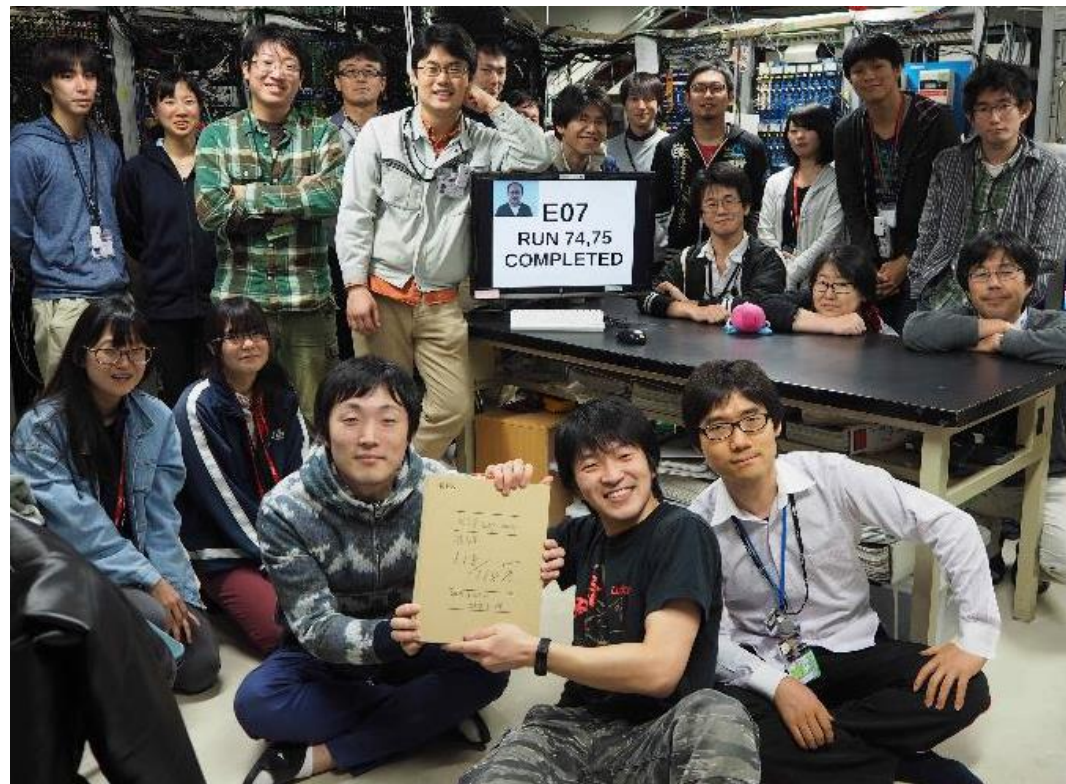
エマルション照射期間 : 50 h

calibration : 19 h

2017 5/25 - 6/29 (10 - 37.5 kW)

エマルション照射期間 : 23.4 days

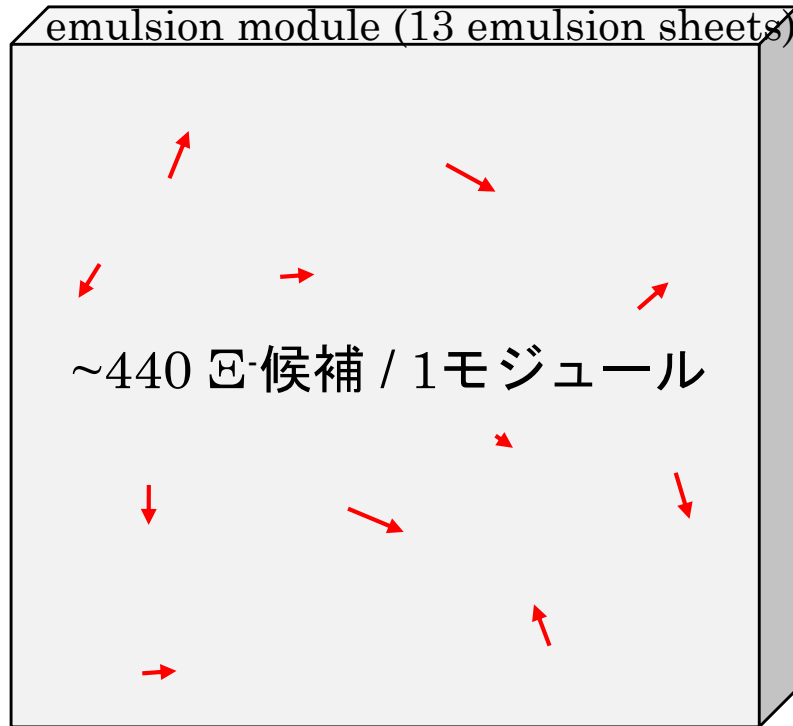
calibration : 8.5 h



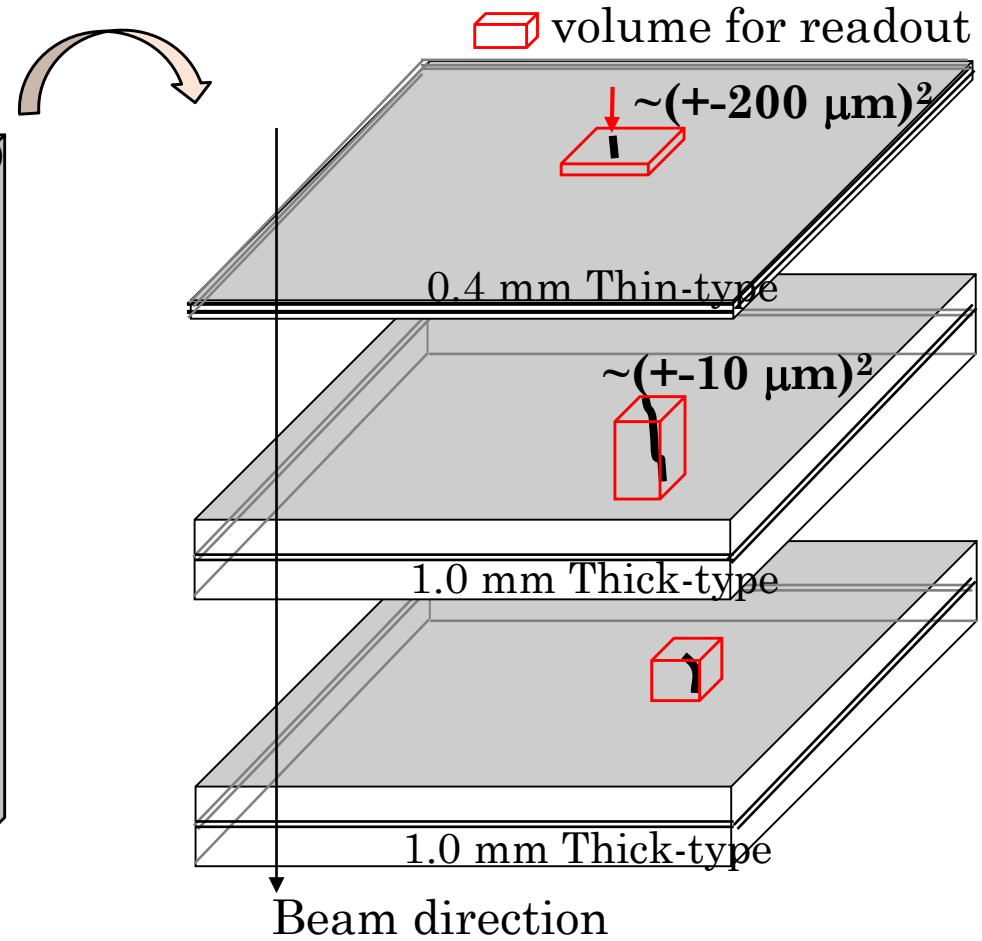
2017年7月1日 ビームタイム終了時の記念写真
(岐阜大メンバーは前日の片付けの疲れにより参加できず)

Year	Beam power [kW]	K- intensity [/spill]	K- purity	Time [h/mod.]	Integrated K- [G/mod.]	DAQ Eff.	Emulsion modules
2016	42	260	81%	6.5	0.92	83%	18
2017	44	310	83%	5.6	1.0	84%	8
2017	37.5	280	82%	6.0	1.0	89%	78
2017	10 - 35	120 - 270	50% - 82%	6.5 - 9.0	0.52 - 1.0	89-92%	14

画像処理による Ξ -飛跡の追跡



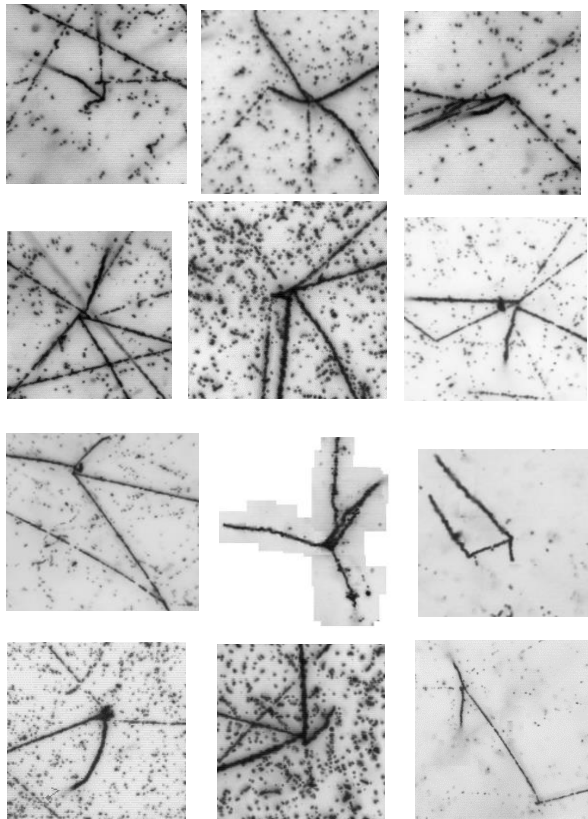
- * 解体
- * 写真現像



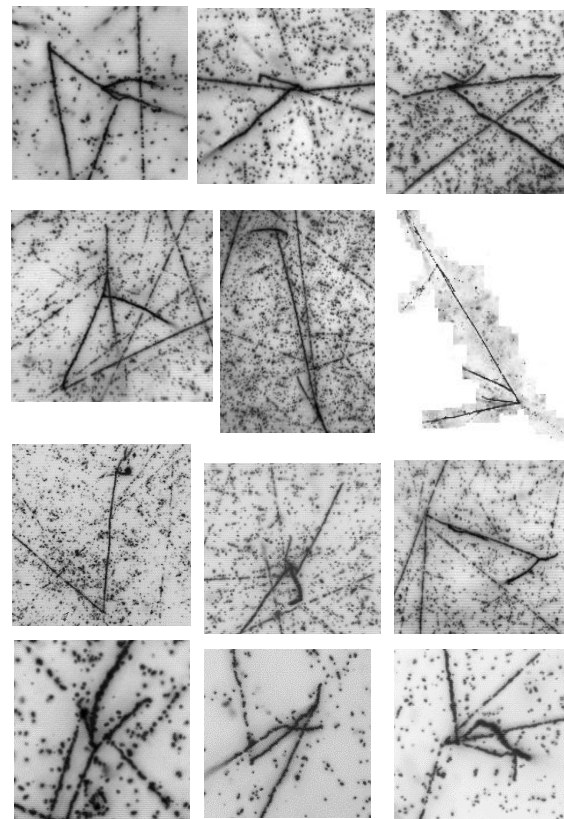
見つかったイベントリスト (2019 Aug.)

	KEK-PS E373	J-PARC E07
Event search	~7 年	18 ヶ月 (2018 Apr. – 2019 Sep.)
S=-2 system	9	31

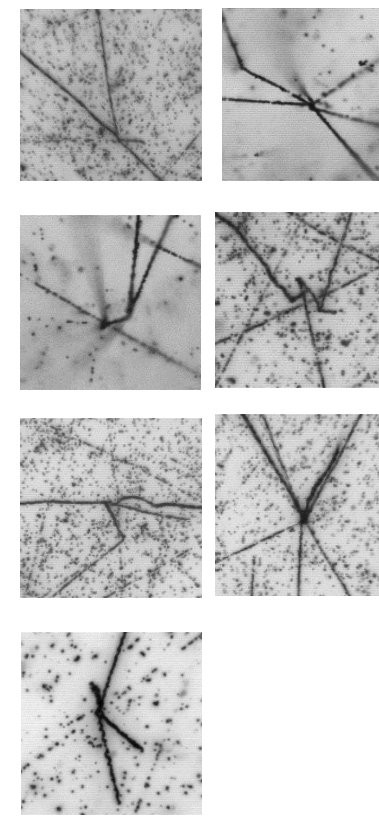
12 ダブル Λ ハイパー核



12 ツイン Λ ハイパー核



7 others

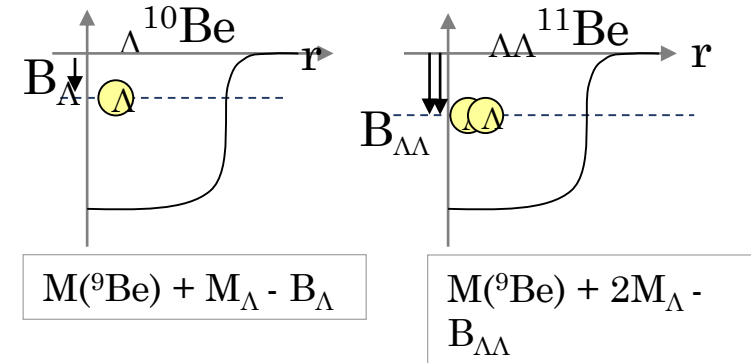
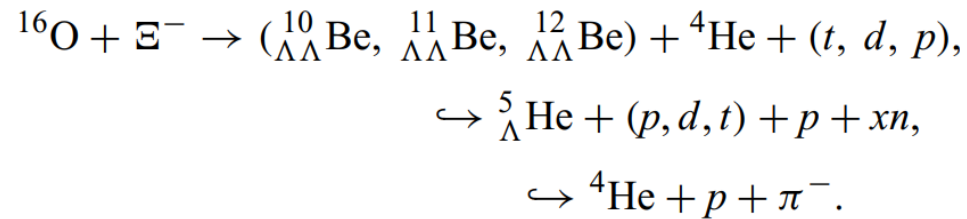
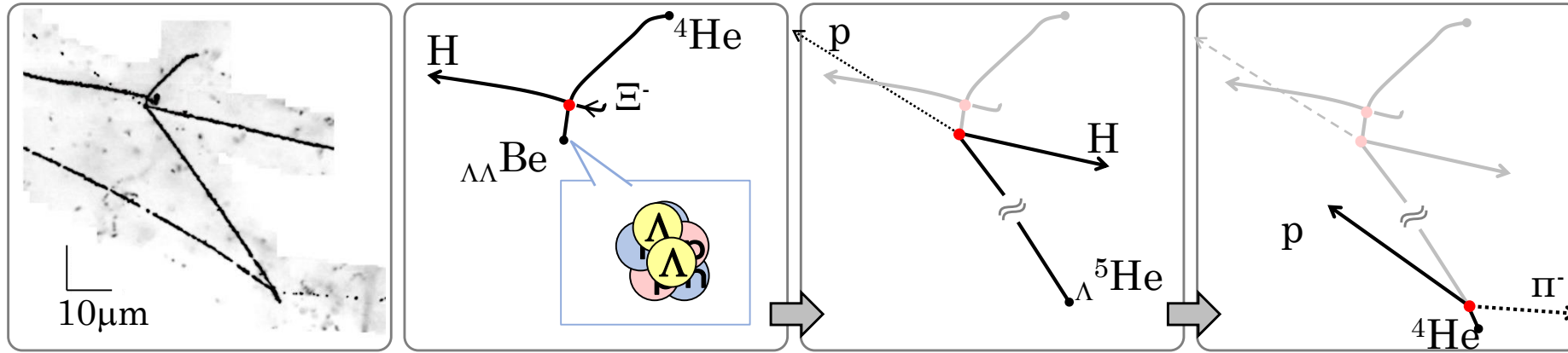


既に過去実験に比べて3倍以上のダブルハイパー核候補を発見

MINO イベント

Mod#069 pl07
ID : 22381499289376

H. Ekawa et al.,
Prog. Theor. Exp. Phys. 2019, 021D02

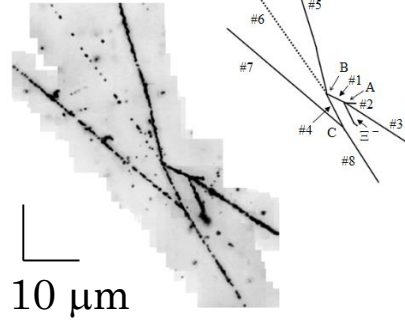


Possible interpretations	$B_{\Lambda\Lambda}$ [MeV]	kinematic fitting χ^2 (DOF=3)
$e^- + {}^{16}\text{O} \rightarrow {}_{\Lambda\Lambda}^{10}\text{Be} + {}^4\text{He} + t$	15.05 ± 0.11	11.5
$\rightarrow e^- + {}^{16}\text{O} \rightarrow {}_{\Lambda\Lambda}^{11}\text{Be} + {}^4\text{He} + d$	19.07 ± 0.11	7.3
$e^- + {}^{16}\text{O} \rightarrow {}_{\Lambda\Lambda}^{12}\text{Be}^* + {}^4\text{He} + p$	$13.68 \pm 0.11 + E_{\text{ex}}$	11.3

- ${}_{\Lambda\Lambda}^{11}\text{Be}$ が運動力学的に最も可能性が高い

$\Lambda\Lambda$ 相互作用

NAGARA Event (2001)
 PHYSICAL REVIEW C 88, 014003 (2013)

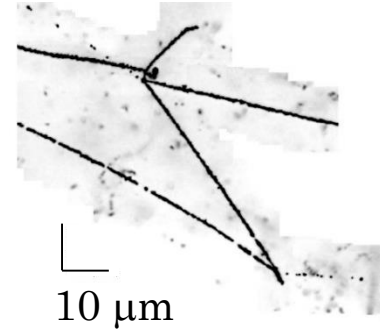


$\Delta B_{\Lambda\Lambda}$ [MeV]

${}_{\Lambda\Lambda}{}^6\text{He}$ 0.67 \pm 0.17

where, $B_{\Xi^-} = 0.13$ MeV

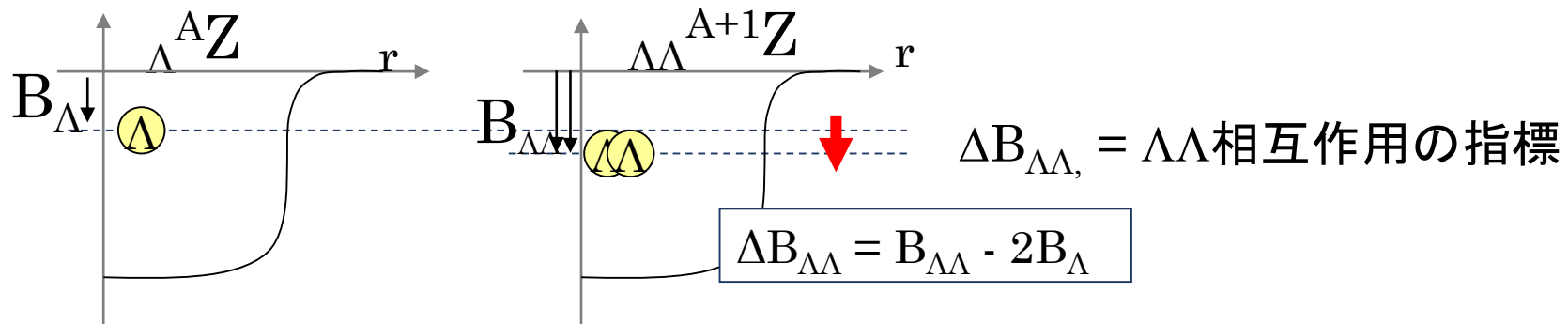
MINO Event (2019)
 Prog. Theor. Exp. Phys. 2019, 021D02



$\Delta B_{\Lambda\Lambda}$ [MeV]

${}_{\Lambda\Lambda}{}^{11}\text{Be}$ 1.87 \pm 0.37

where, $B_{\Xi^-} = 0.23$ MeV



- $\Lambda\Lambda$ 相互作用は弱い引力。
- 今回発見した新しい核種でも、弱い引力であることを確認

まとめと展望

- J-PARC E07実験は、原子核乾板でS=-2系のハドロン間相互作用の解明を目標
- 現状、前回実験 E373 に比べ3倍のダブルハイパー核事象を発見。
- 新しいハイパー核事象(MINOイベント等)が発見され、 $B_{\Lambda\Lambda}$ や B_{Ξ^-} のデータが蓄積している。 $\Lambda\Lambda$ 相互作用は弱い引力的で過去の実験を補強。

展望

- 画像解析技術の向上により、カウンターでトリガーされた事象だけでなく、乾板に記録された全事象の探索が可能に!?