

Aug. 4, 2009

いよいよ始まるJ-PARC実験

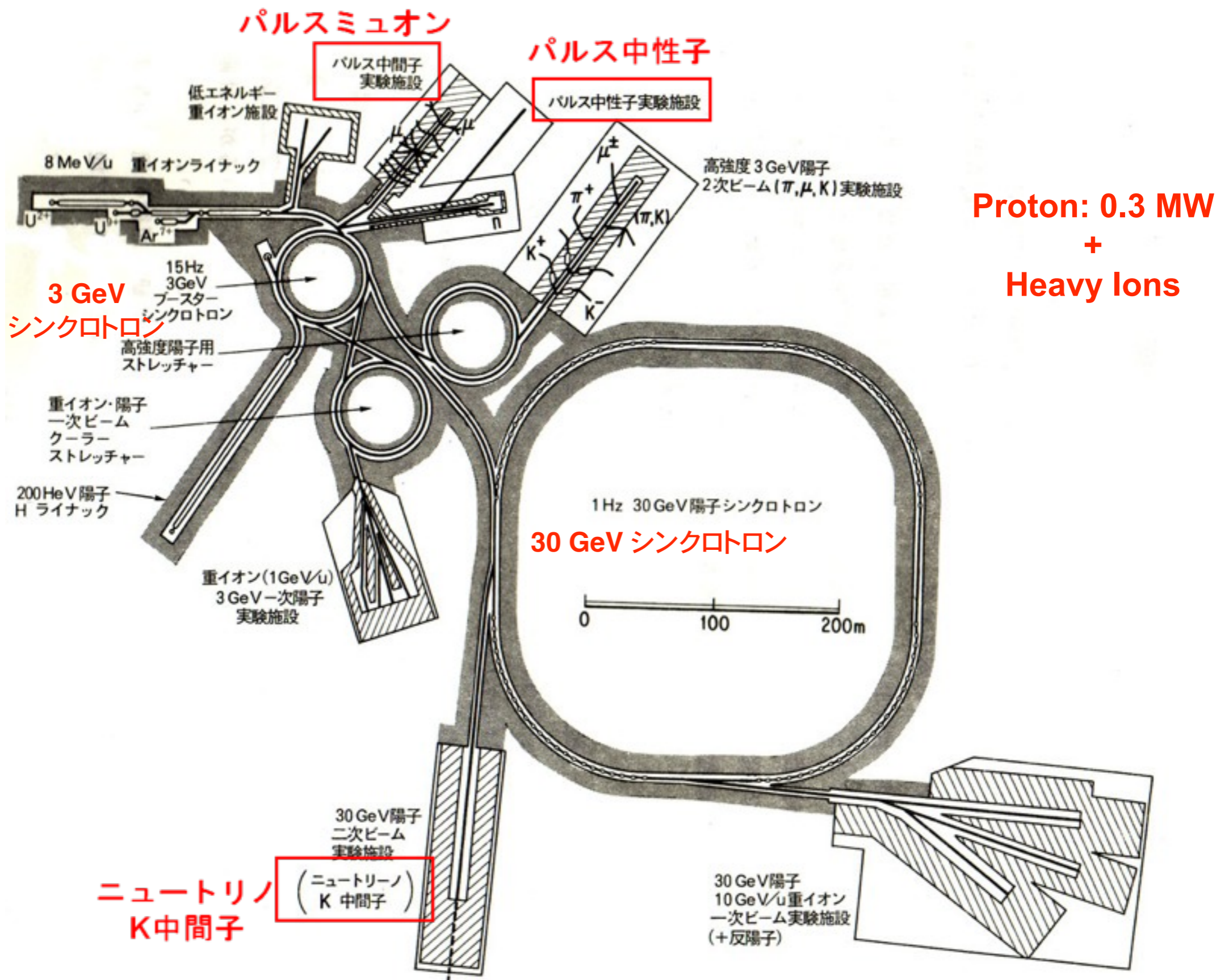
永江 知文

京都大学



KEKの研究計画

永宮さんのトラペ



KEK/JAERI (and JAERI/KEK) MoU

大型ハドロン計画と中性子科学研究計画の 推進に関する覚書

JHF

Neutron Facility

大強度陽子加速器を用いた科学技術の総合的展開を図るために、高エネルギー加速器研究機構（以下「機構」という。）と日本原子力研究所（以下「原研」という。）は、機構の大型ハドロン計画と原研の中性子科学研究計画を共同で推進することとし、本覚書は、機構と原研（以下「両機関」という。）が相互信頼に立って計画の策定及び施設の建設に係る連携・協力を進めるためのものである。

なお、施設建設後の運営に関しては、別途協議するものとする。

1. 両機関は、大型ハドロン計画と中性子科学研究計画の東海研究所に建設するための統合計画を策定する。
2. 両機関は、機構・原研の代表、ユーザーコミュニティの代表から構成される協議委員会を設置し、統合計画の策定及び施設の建設に係る連携・協力を進める。
3. 統合計画の推進は、機構の大型ハドロン計画推進センターと原研の中性子科学研究センターを中心に編成される「共同推進チーム」によって行う。

1999.3.18.

平成11年3月18日

中性子科学研究計画と大型ハドロン計画の 推進に関する覚書

大強度陽子加速器を用いた科学技術の総合的展開を図るために、日本原子力研究所（以下「原研」という。）と高エネルギー加速器研究機構（以下「機構」という。）は、機構の大型ハドロン計画を共同で推進することとし、本覚書は、機構と原研（以下「両機関」という。）が相互信頼に立って計画の策定及び施設の建設に係る連携・協力を進めるためのものである。

なお、施設建設後の運営に関しては、別途協議するものとする。

は、別途協議するものとする。

と大型ハドロン計画の加速器及び実験施設を原研統合計画を策定する。

ユーザーコミュニティの代表及び学識経験者で構成される協議委員会を設置し、統合計画の策定及び施設の建設に係る連携・協力を進める。

研究所中性子科学研究センターと機構の大型ハドロン計画推進センターを中心に編成される「共同推進チーム」によって行う。



覚書調印式

JAERI

KEK

松浦理事長(当時)

菅原機構長(当時)

茨城県つくば市大穂1-1

高エネルギー加速器研究機構長

菅原 寛



東京都千代田区内幸町2-2-2

日本原子力研究所理事長

松浦 祥次郎



東京都千代田区内幸町2-2-2

日本原子力研究所理事長

松浦 祥次郎



茨城県つくば市大穂1-1

高エネルギー加速器研究機構長

菅原 寛



Start of the Joint Project

- 1999.4: **International Review**
- 2000.8: **評価部会報告(約10ヶ月)[Domestic Review for 10 months]**
- 2000.12: **Approval of the Project**
- 2001.5: **Formation of the Project Team**



協力協定覚書調印式

JAEA KEK
村上理事長(当時) 菅原機構長(当時)



■ 2002.6:
Ground Breaking Ceremony

Ceremony in August, 2005 for the start of the J-PARC Center

大強度陽子加速器施設の運営に関する基本協力協定署名式

原子力研究所

高エネルギー加速器研究機構



岡崎 俊雄

戸塚 洋二





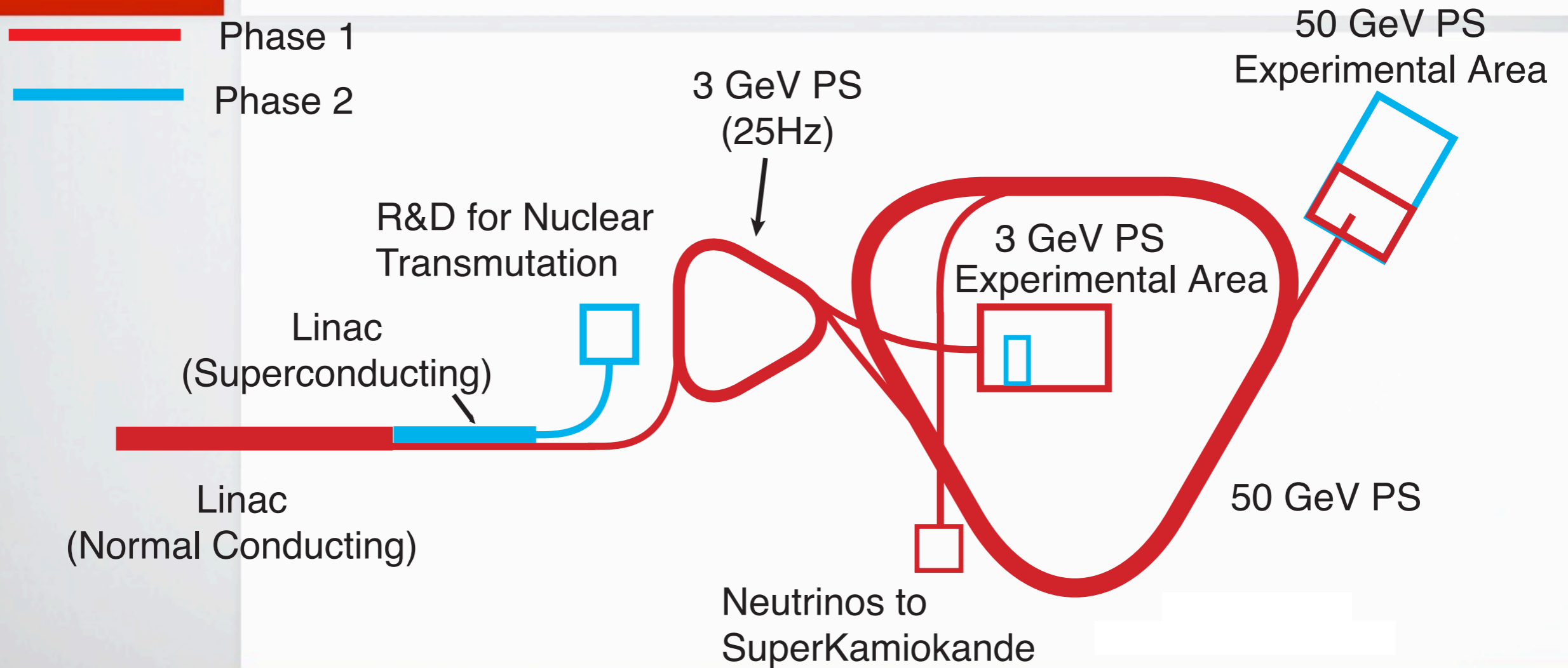
J-PARC

いよいよ

- 1986年以來の、我が国原子核物理コミュニティ悲願のプロ
ジェクト
- 大ハドロン計画→大型ハドロン計画(JHP→JHF)→大強度陽子加速
器計画（統合計画）→J-PARC
- 東京大学原子核研究所→高エネルギー加速器研究機構・素粒子原
子核研究所



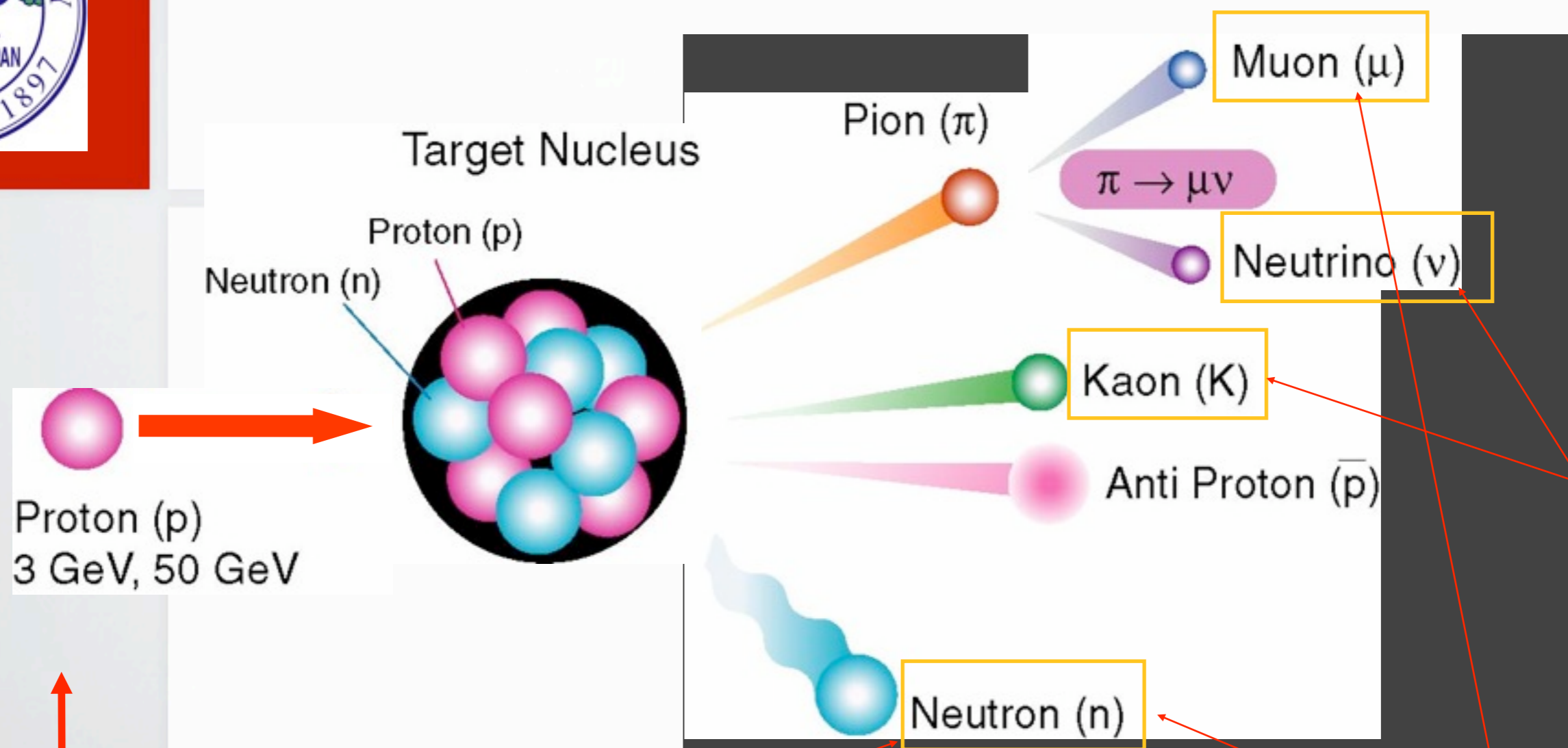
J-PARC Project: Phase 1&2



Phase 1: → Total 1,500 Oku-Yen (56% JAEA, 44% KEK)!



Goals at J-PARC



Need to have high-power proton beams

→ MW-class proton accelerator (current frontier is about 0.1 MW)

Materials & Life Sciences at 3 GeV
Nuclear & Particle Physics at 50 GeV
R&D toward Transmutation at 0.6 GeV

**J-PARC Facility
(KEK/JAEA)**

South to North

Linac

**3 GeV
Synchrotron**

**Neutrino Beams
(to Kamioka)**

**Materials and Life
Experimental
Facility**

**50 GeV
Synchrotron**

**Hadron Exp.
Facility**

- CY2007 Beams**
- JFY2008 Beams**
- JFY2009 Beams**

Bird's eye photo in January of 2008



ハドロンホールへのビーム取り出し成功：2009年1月27日



ハドロン実験ホール

Strangeness Nuclear
Physics on Day-1

Beam Dump
(Movable on the Rail)

Baryons in Nuclei

K1.8

Mesons in Nuclei

K1.8BR

Production
target (T1)

T1 target

30~50 GeV
Primary Beam

Rare Decay
KL

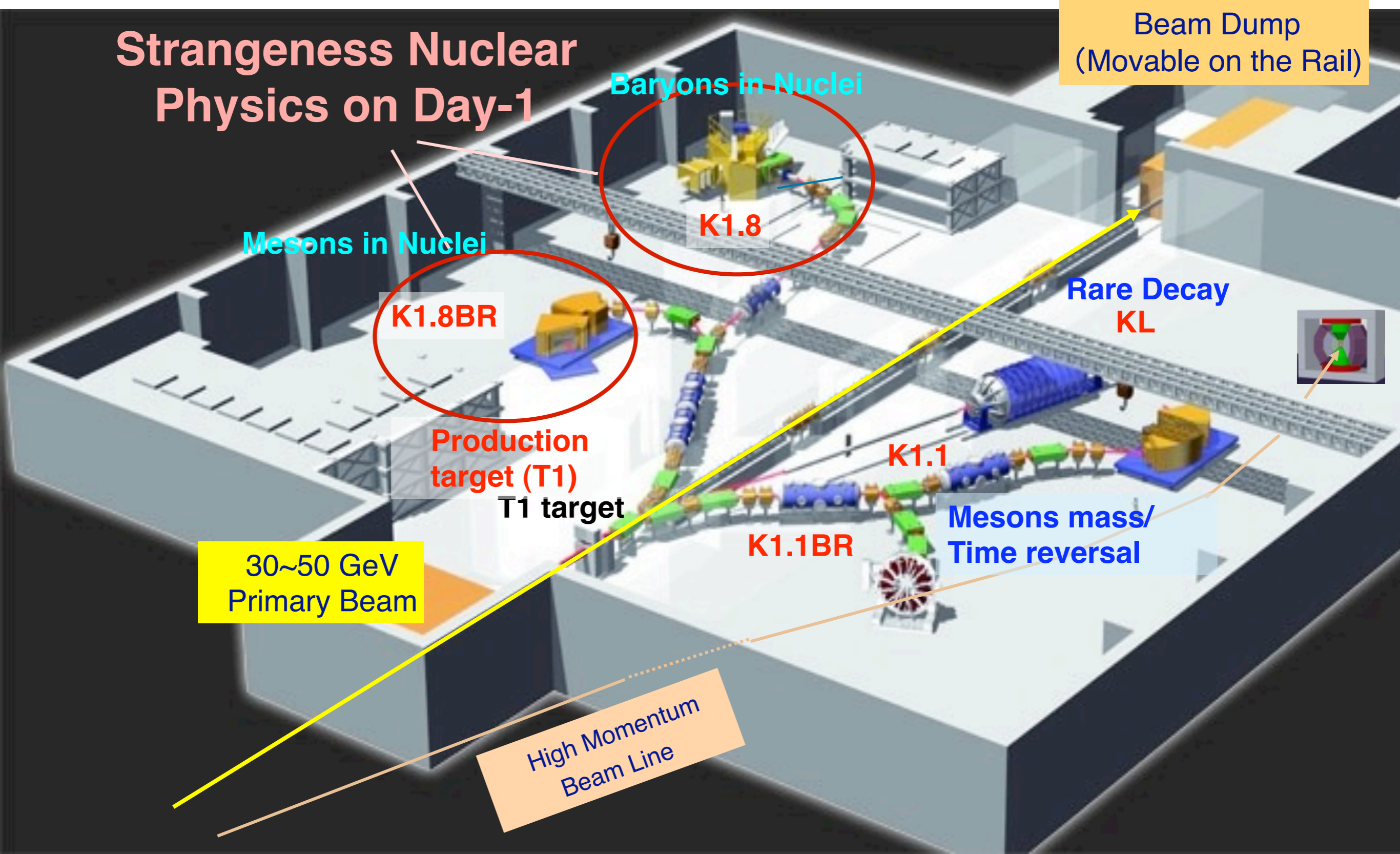


K1.1

Mesons mass/
Time reversal

K1.1BR

High Momentum
Beam Line



Preparation of Experimental Area

Left-hand side from the upstream

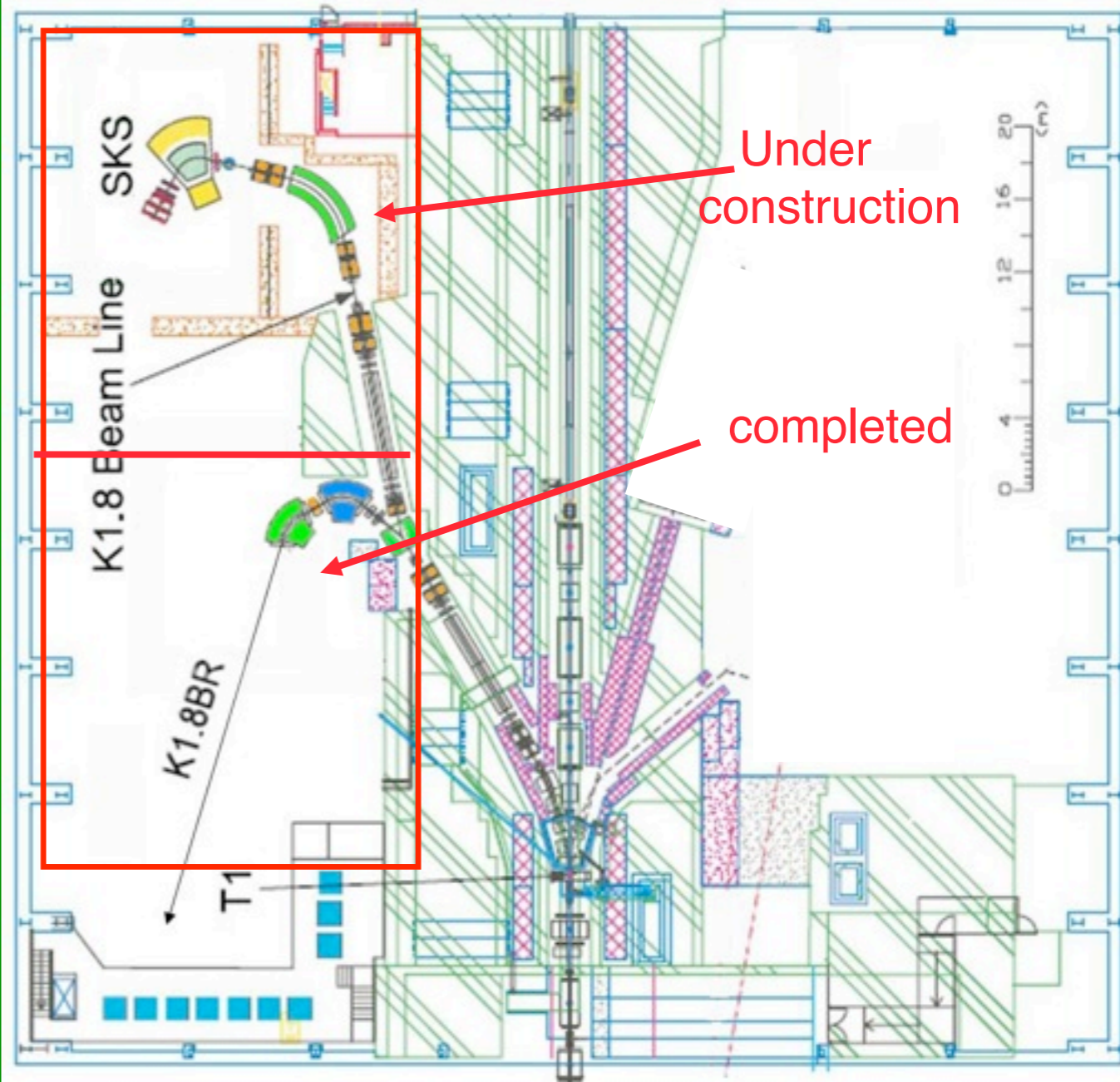
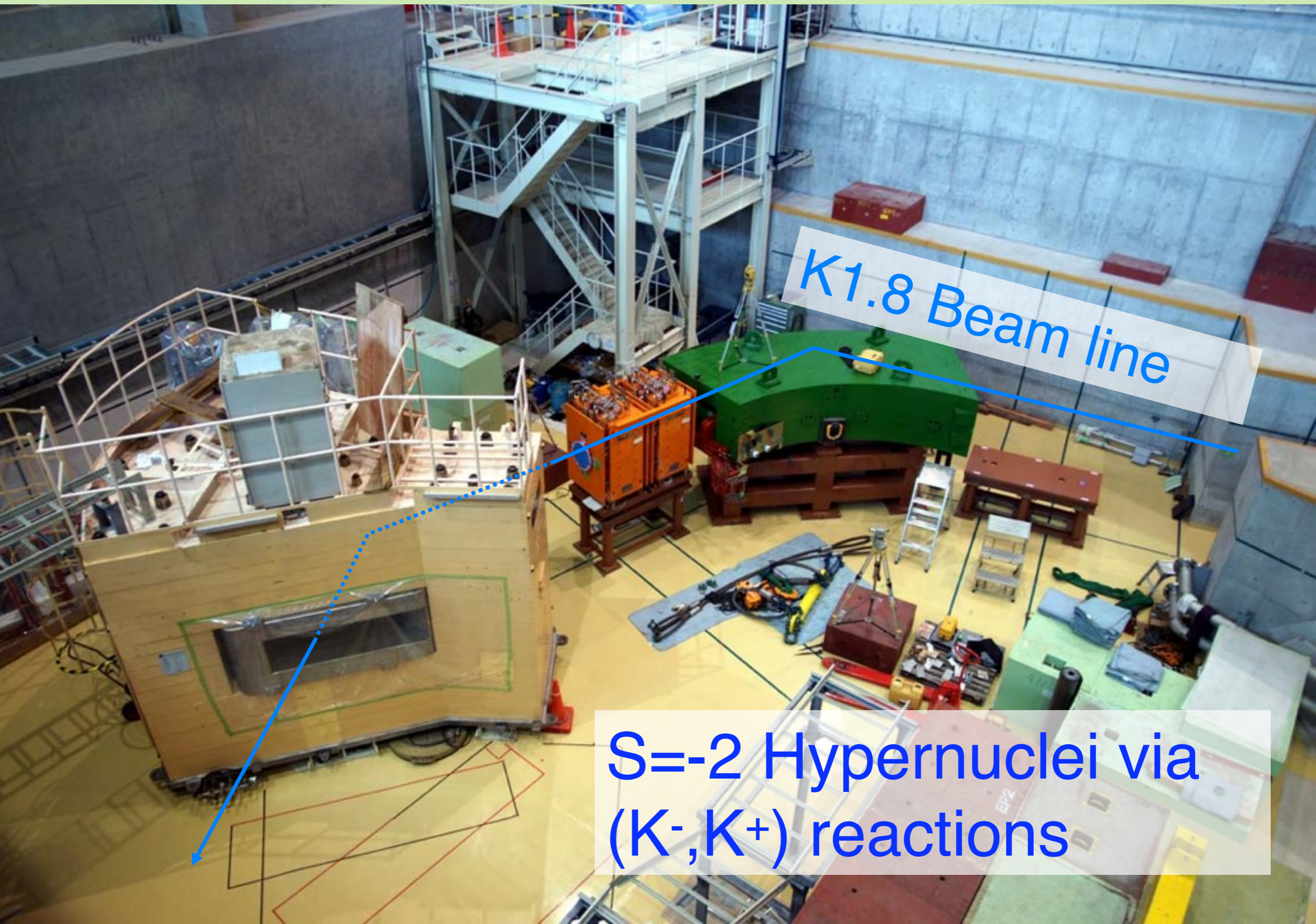


Photo taken June 2009

K1.8 Experimental Area



K1.8 Beam line

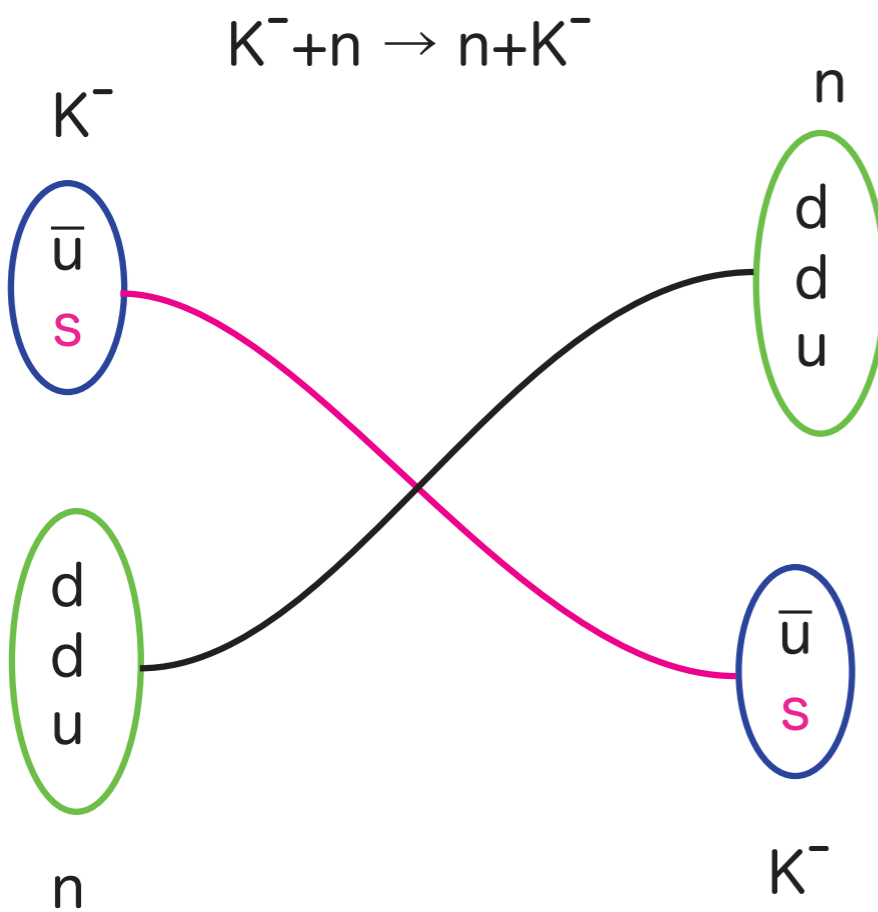
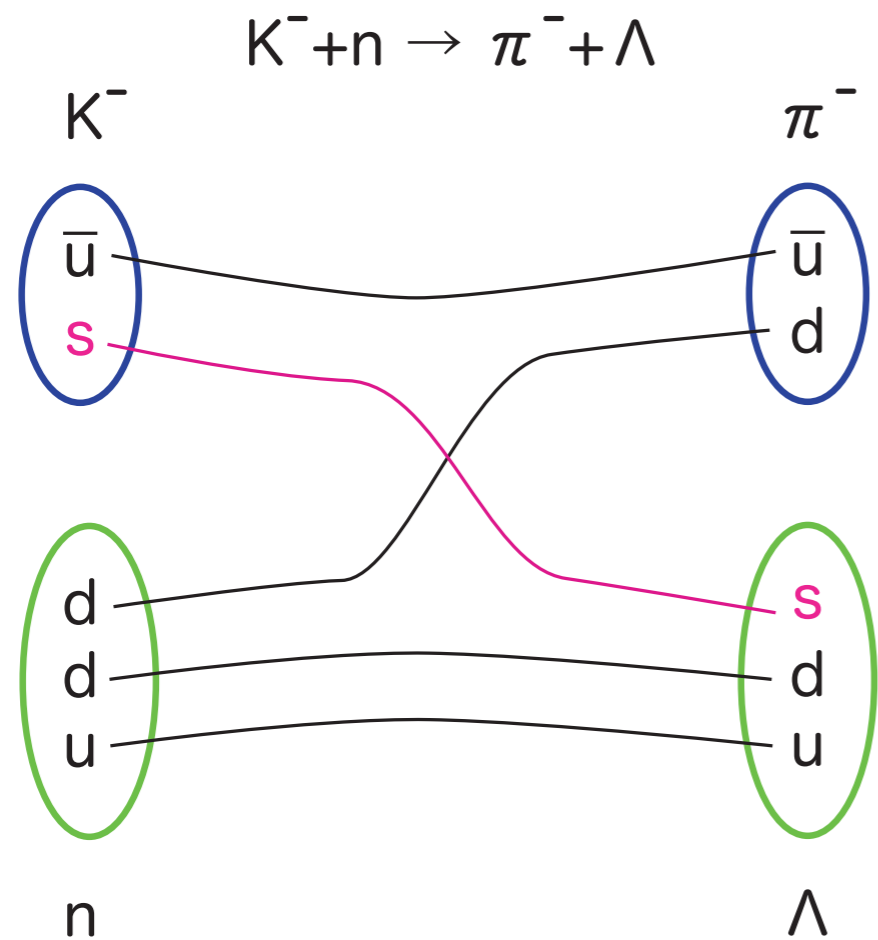
S=-2 Hypernuclei via
(K^- , K^+) reactions



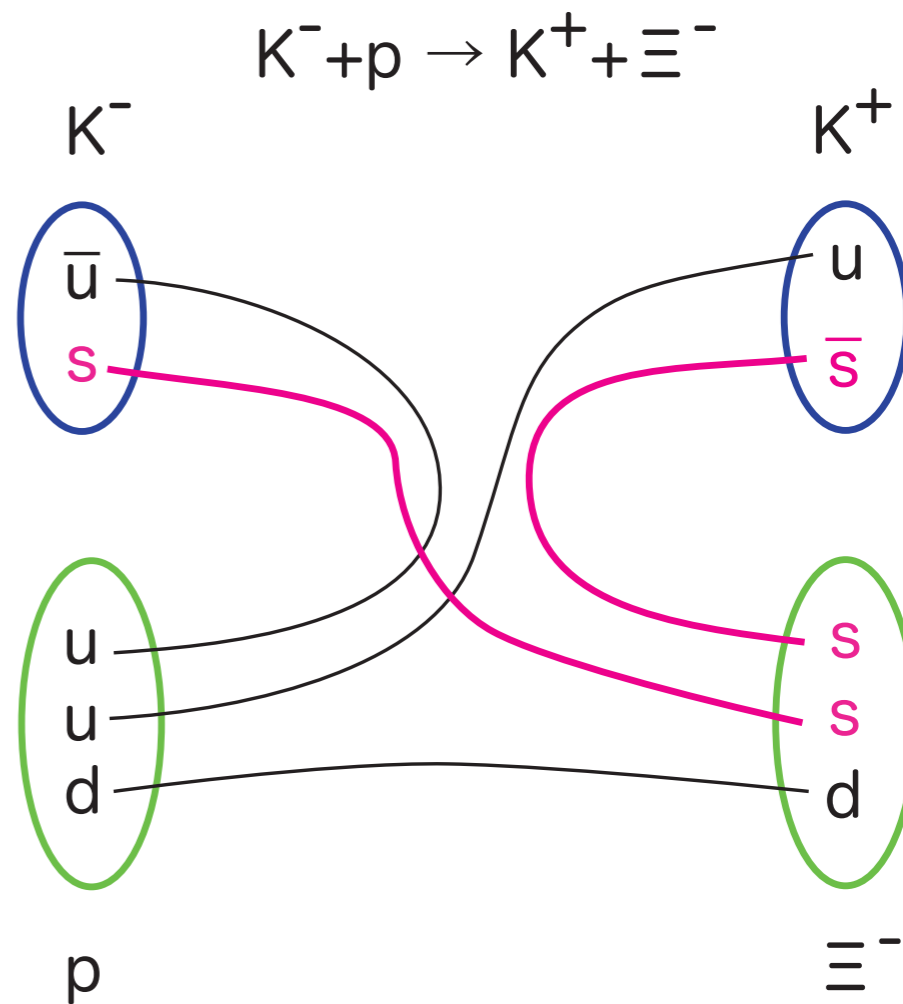
Experiments on Strangeness Nuclear Physics

■ ■ Five Day-1 Experiments

- ■ E05: Ξ hypernuclei Spectroscopy (Nagae) [1st priority]
- ■ E13: Hypernuclear γ -ray Spectroscopy (Tamura) [2nd priority]
- ■ E15: Search for K^-pp bound state (Iwasaki, Nagae)
- ■ E17: Kaonic ${}^3\text{He}$ $3d \rightarrow 2p$ X-ray (Hayano, Outa)
- ■ E19: Search for Penta-quark in $\pi^-p \rightarrow K^-X$ reaction (Naruki)
- ■ E07: Hybrid-Emulsion for Double- Λ (Imai, Nakazawa, Tamura)
- ■ E03: Ξ -atom X rays (Tanida)
- ■ and more ...



K中間子で sクォークを埋め込む





Spectroscopic Study of Ξ -Hyper nucleus, $^{12}_{\Xi}\text{Be}$, via the $^{12}\text{C}(K^-, K^+)$ Reaction

E05

T. Nagae et al.

- Discovery of Ξ -hyper nuclei
- Measurement of Ξ -nucleus potential depth and width of $^{12}_{\Xi}\text{Be}$
- Beam: K^- @ 1.8 GeV/c, 1.4×10^6 /spill
- CH_2 ~ 2 g/cm 2 : 2 weeks for tuning and calibrations
- ^{12}C 5.4 g/cm 2 : 4 weeks
- Setup: K1.8 & SKS+

Unique experiment at J-PARC :
No other place can do this experiment !

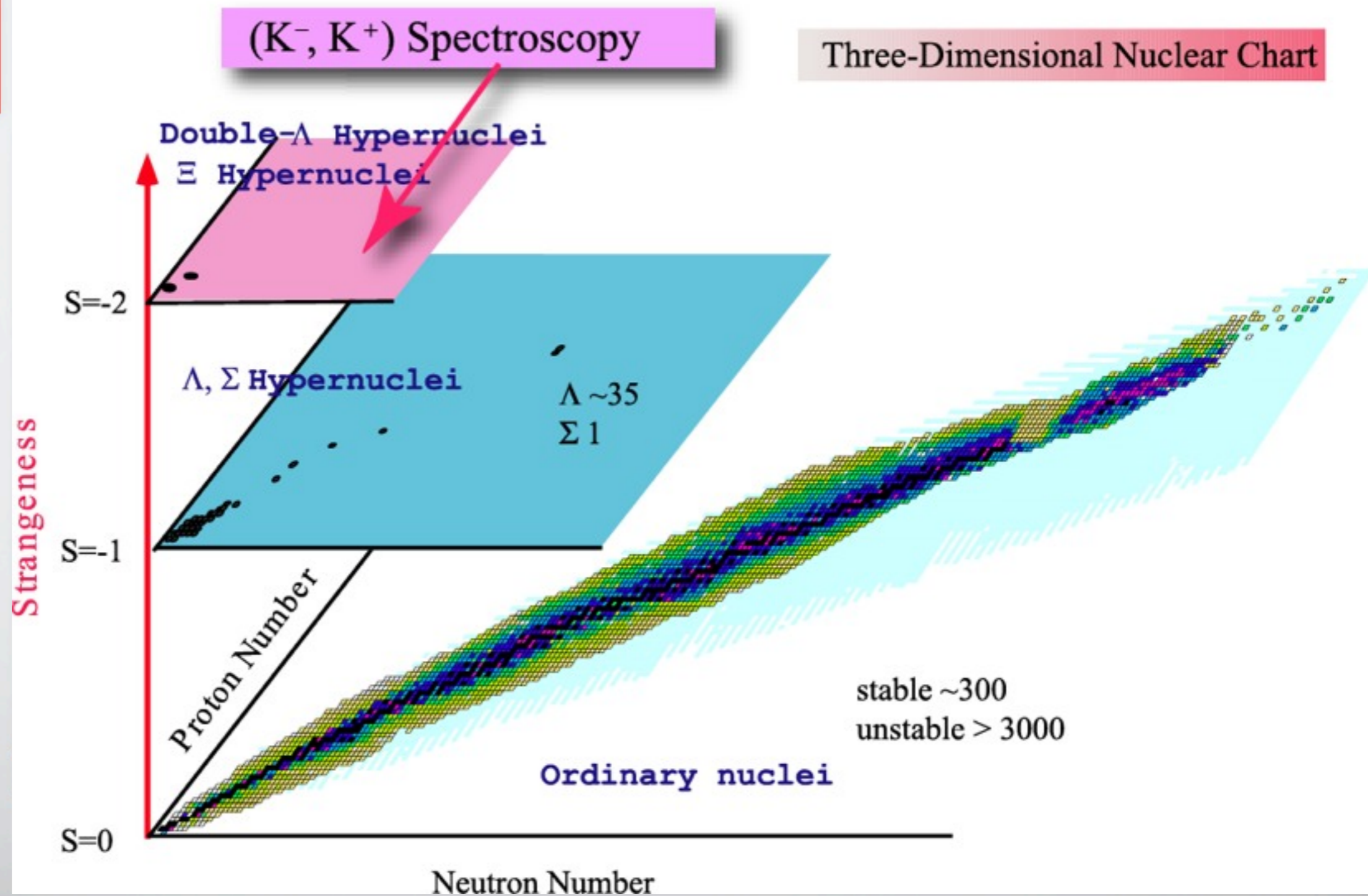


Purpose of the experiment

- First Spectroscopic Study of $S=-2$ systems in (K^-, K^+) reaction
 - Ξ -hypernuclei \rightarrow double- Λ hypernuclei
 - Ξp - $\Lambda\Lambda$ mixing
 - First step for multi-strangeness baryon systems
- ΞN Interactions: almost no information
 - Attractive or repulsive ? \rightarrow potential depth
 - $\Xi p \rightarrow \Lambda\Lambda$ conversion ? \rightarrow conversion width
 - Isospin dependence ? \rightarrow Lane term $(\tau_E \cdot \tau_C / A)$



Strangeness Nuclear Physics





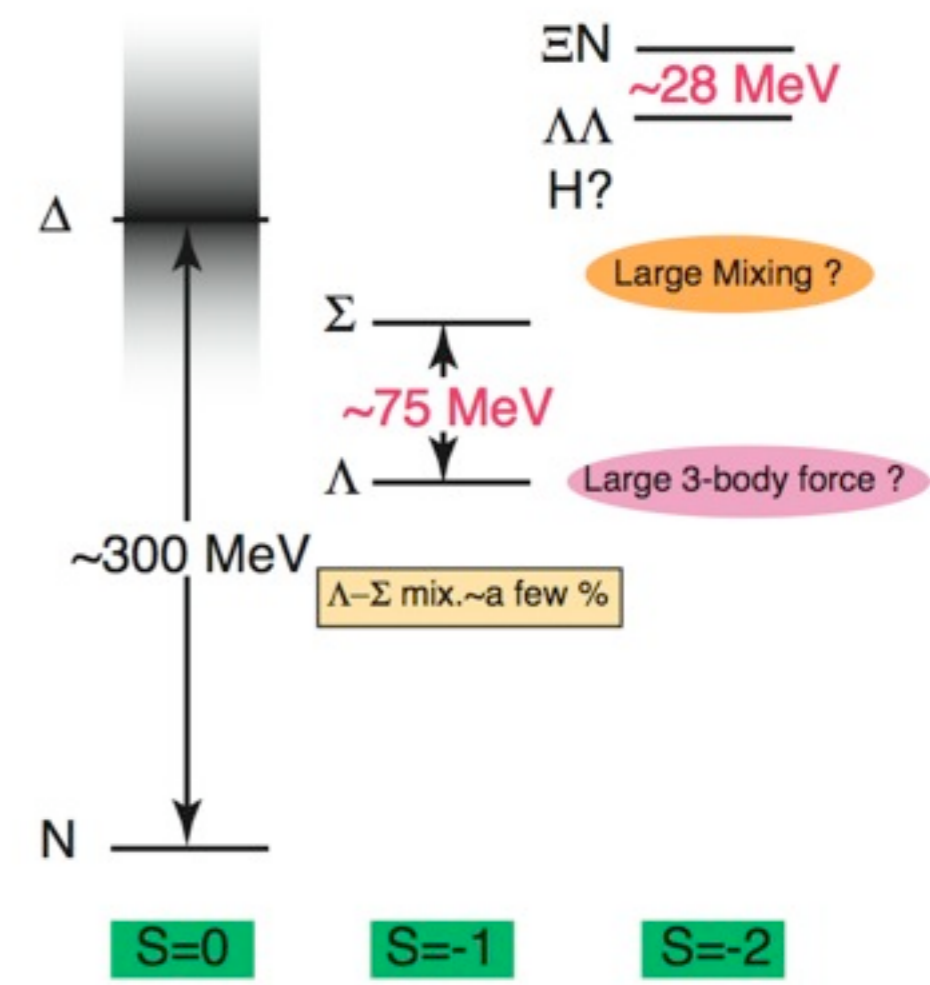
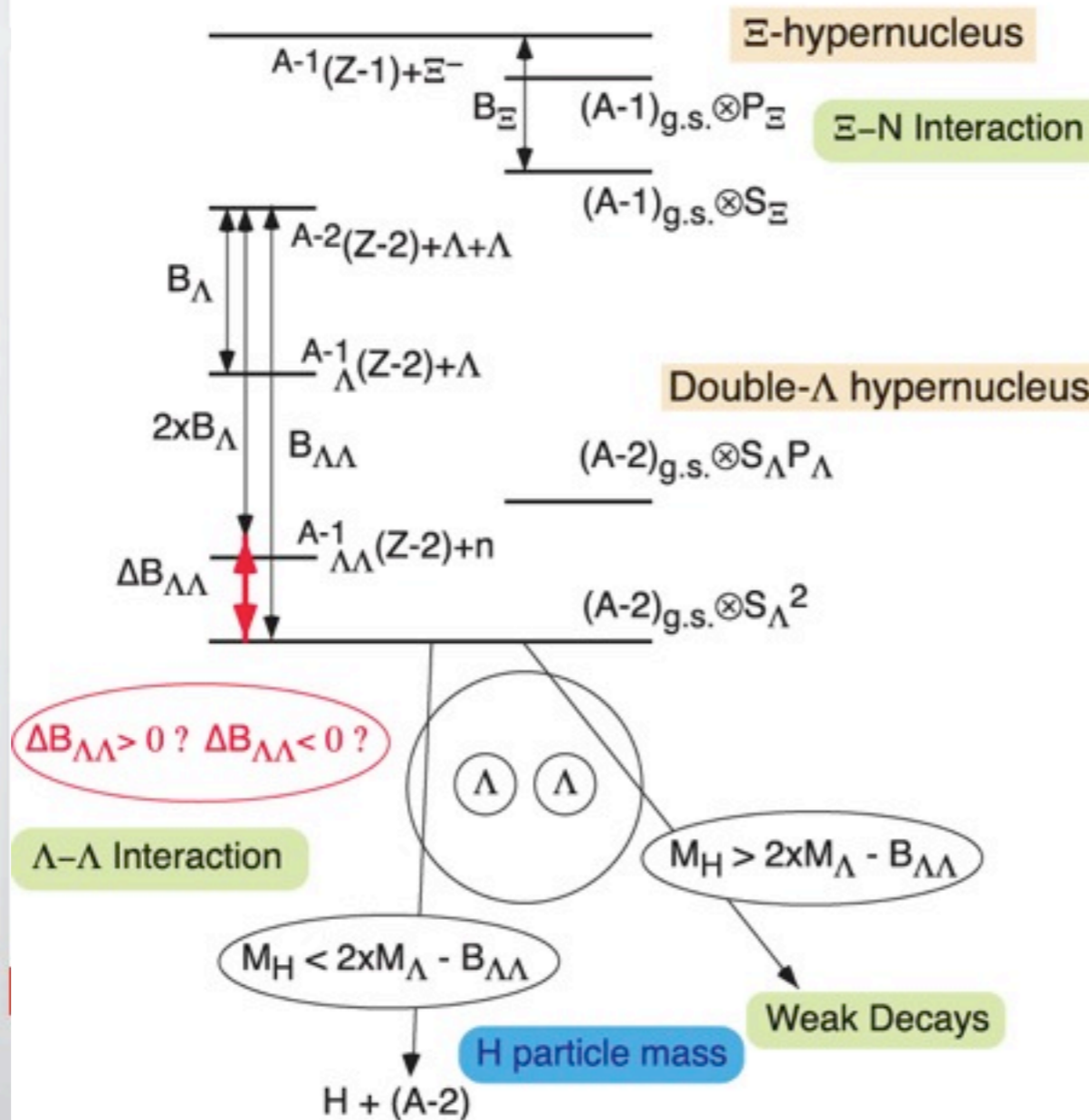
Purpose of the experiment

- First Spectroscopic Study of $S=-2$ systems in (K^-, K^+) reaction
 - Ξ -hypernuclei \rightarrow double- Λ hypernuclei
 - Ξp - $\Lambda\Lambda$ mixing
 - First step for multi-strangeness baryon systems
- ΞN Interactions: almost no information
 - Attractive or repulsive ? \rightarrow potential depth
 - $\Xi p \rightarrow \Lambda\Lambda$ conversion ? \rightarrow conversion width
 - Isospin dependence ? \rightarrow Lane term ($\tau_{\Xi} \cdot \tau_C / A$)



S=-2 Baryon Systems

Energy Spectrum of S=-2 systems





Purpose of the experiment

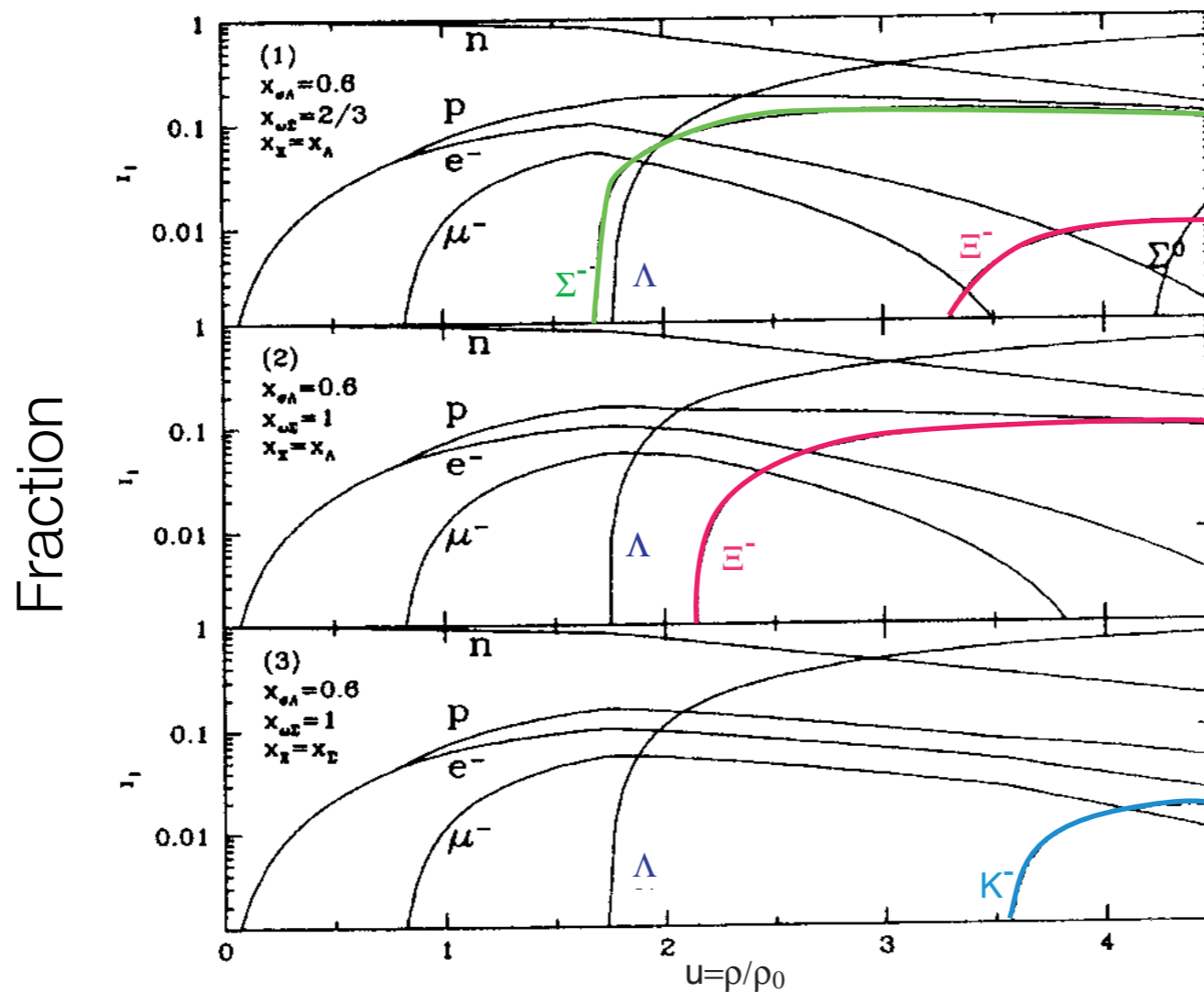
- First Spectroscopic Study of $S=-2$ systems in (K^-, K^+) reaction
 - Ξ -hypernuclei \rightarrow double- Λ hypernuclei
 - Ξp - $\Lambda\Lambda$ mixing
 - First step for multi-strangeness baryon systems
- ΞN Interactions: almost no information
 - Attractive or repulsive ? \rightarrow potential depth
 - $\Xi p \rightarrow \Lambda\Lambda$ conversion ? \rightarrow conversion width
 - Isospin dependence ? \rightarrow Lane term ($\tau_E \bullet \tau_C / A$)



Ξ hypernuclei potential ?

$\Lambda, \Sigma^-, \Xi^-, K^-$ in Neutron Star Core ?

Chemical Potential: $\mu_B = m_B + \frac{k_F^2}{2m_B} + U(k_F)$



$U_{\Sigma} < 0, U_{\Xi} < 0$

$U_{\Sigma} > 0, U_{\Xi} < 0$

$U_{\Sigma} > 0, U_{\Xi} > 0$

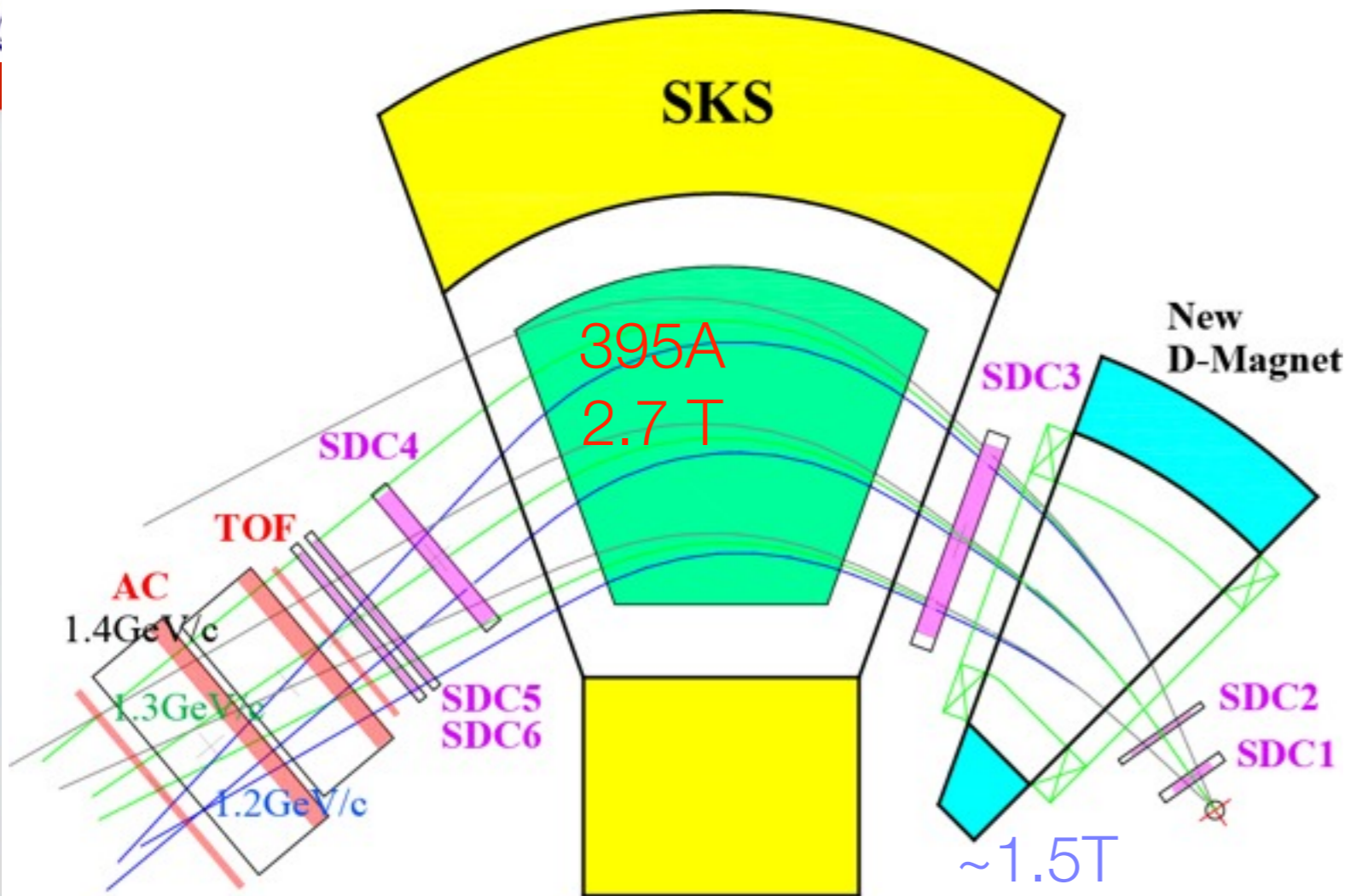


Purpose of the experiment

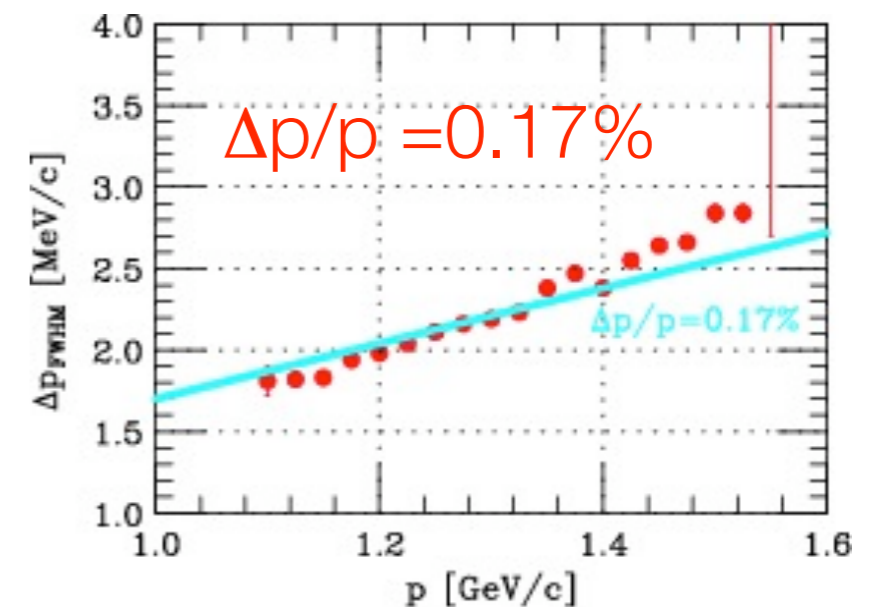
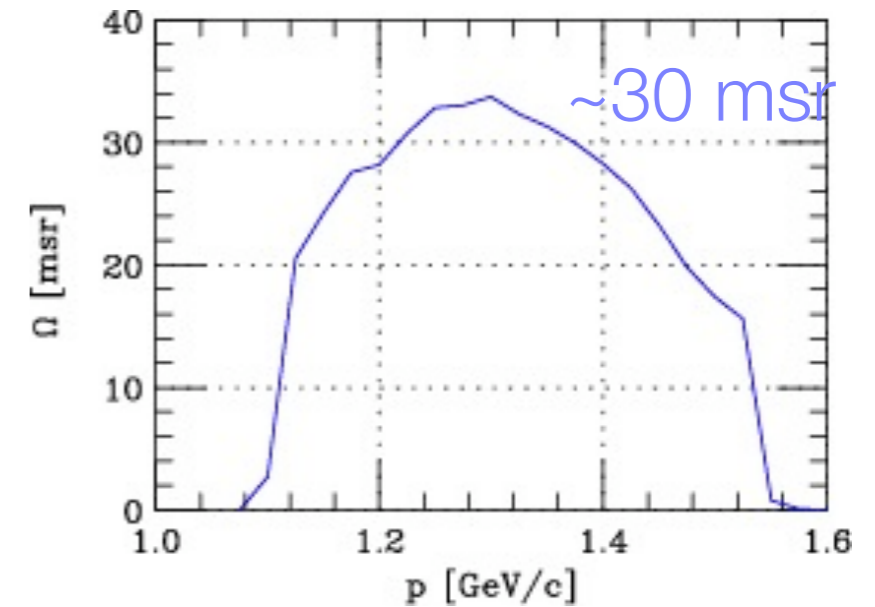
- First Spectroscopic Study of $S=-2$ systems in (K^-, K^+) reaction
 - Ξ -hypernuclei \rightarrow double- Λ hypernuclei
 - Ξp - $\Lambda\Lambda$ mixing
 - First step for multi-strangeness baryon systems
- ΞN Interactions: almost no information
 - Attractive or repulsive ? \rightarrow potential depth
 - $\Xi p \rightarrow \Lambda\Lambda$ conversion ? \rightarrow conversion width
 - Isospin dependence ? \rightarrow Lane term $(\tau_{\Xi} \bullet \tau_C / A)$



SKS+ Spectrometer

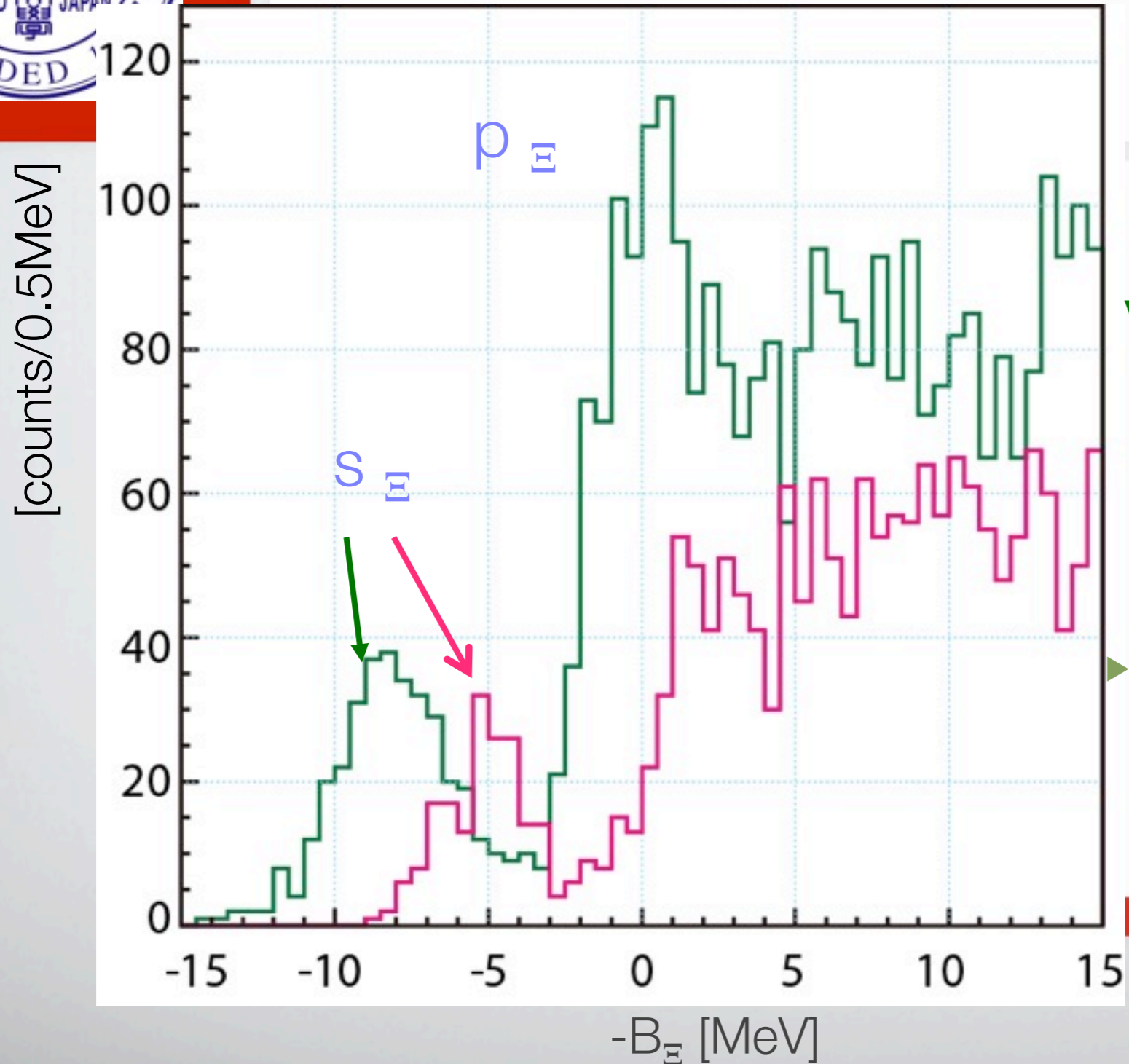


- 95° total bend
- ~7m flight path
- $\Delta x = 0.3$ mm (RMS)





Expected $^{12}_{\Xi}\text{Be}$ Spectrum



$$\Delta E_{\text{meas.}} = 3 \text{ MeV}_{\text{FWHM}}$$

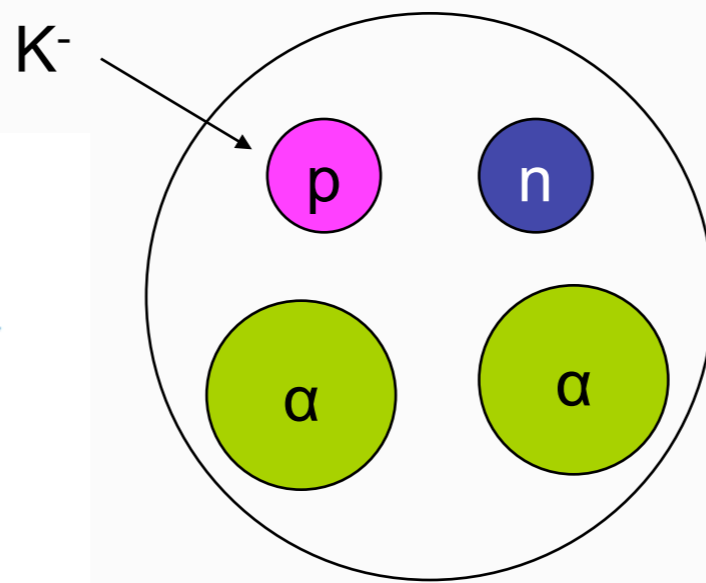
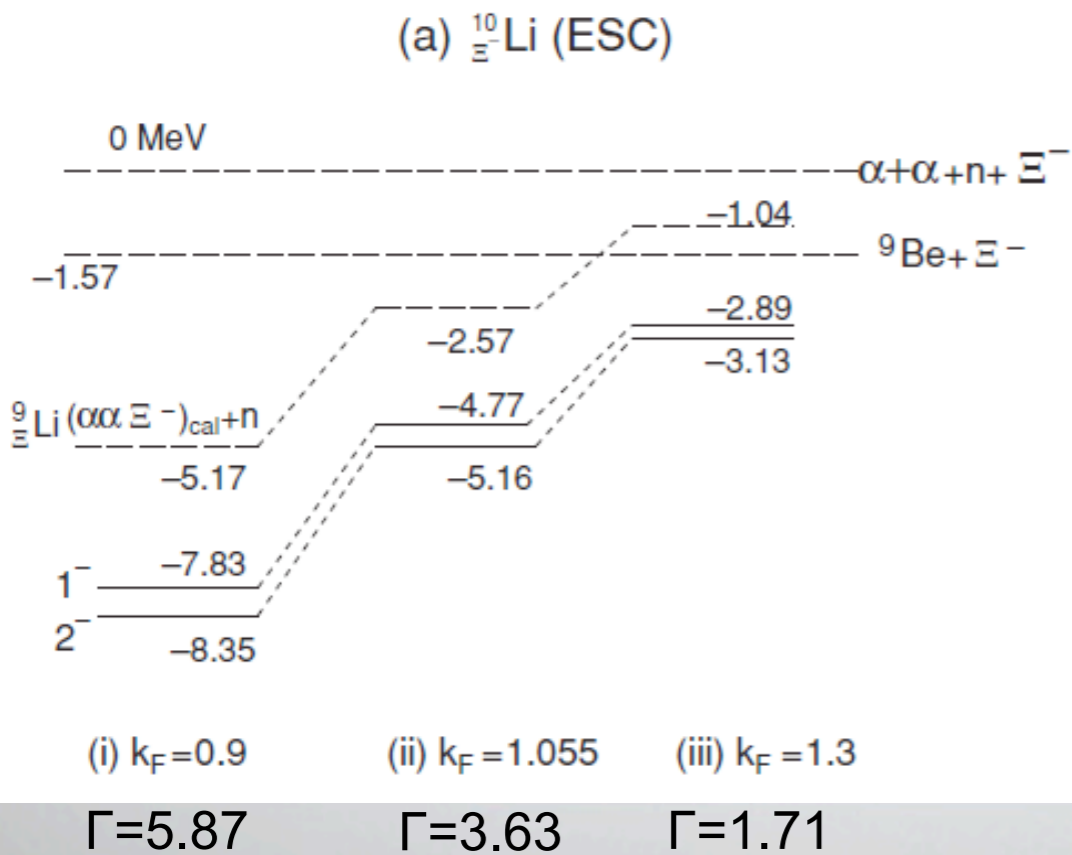
$$V_{\Xi} = -20 \text{ MeV}$$

$$V_{\Xi} = -14 \text{ MeV}$$

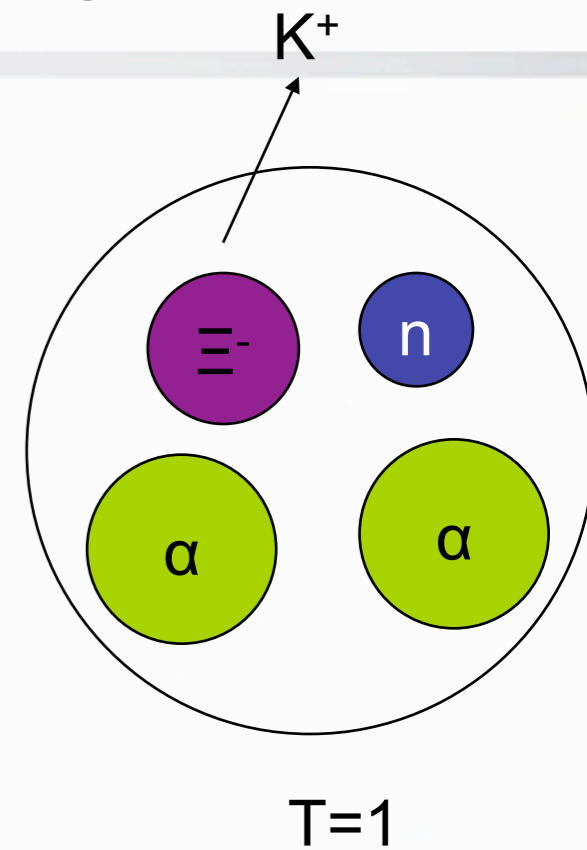
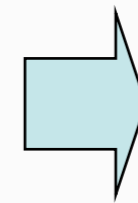
Precision:

- ▶ Peak Position: 0.1 - 0.3 MeV
- ▶ Width: 0.2 - 1 MeV

$^{10}\text{B}(K^-, K^+)^{10}_{\Xi}\text{Li}$ by Hiyama



$T=0$
 3^+ npはS=1状態



K^-, K^+ 反応がspin-nonflip transitionがdominantと仮定すると、 2^- が励起される。
 2^- に注目する。

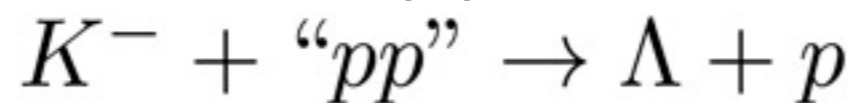


A Search for deeply-bound kaonic nuclear states by in-flight ${}^3\text{He}(K^-,n)$ reaction

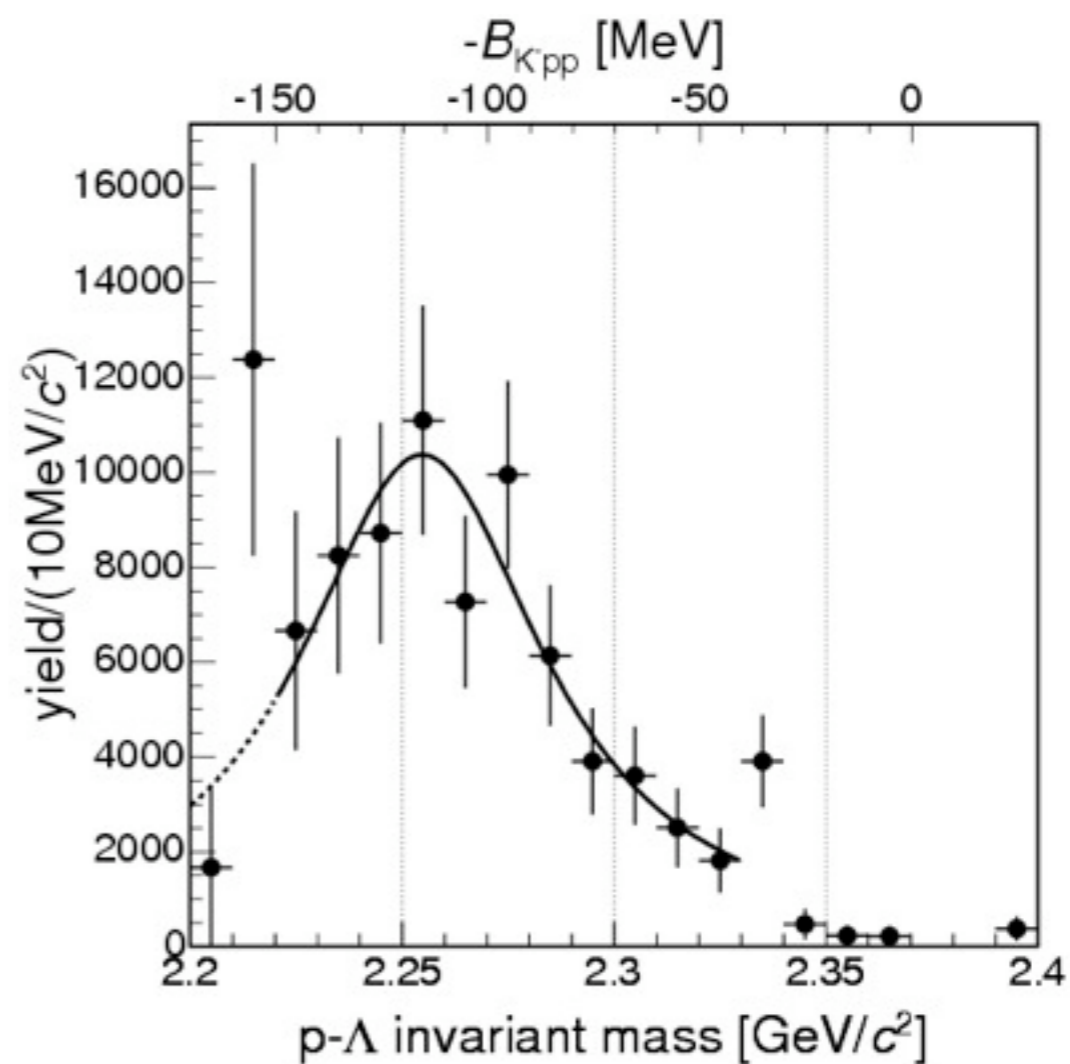
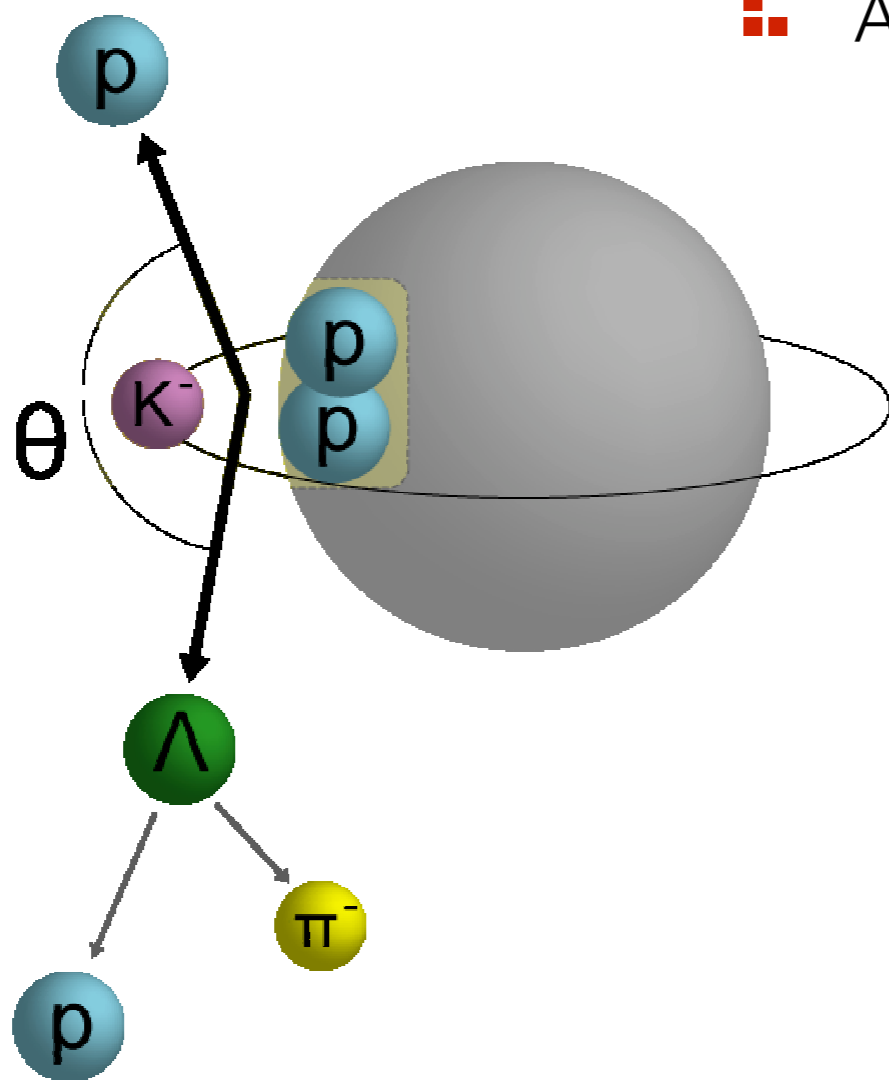
E15

Evidence for K^-pp in FINUDA

M. Iwasaki, T. Nagae et al.

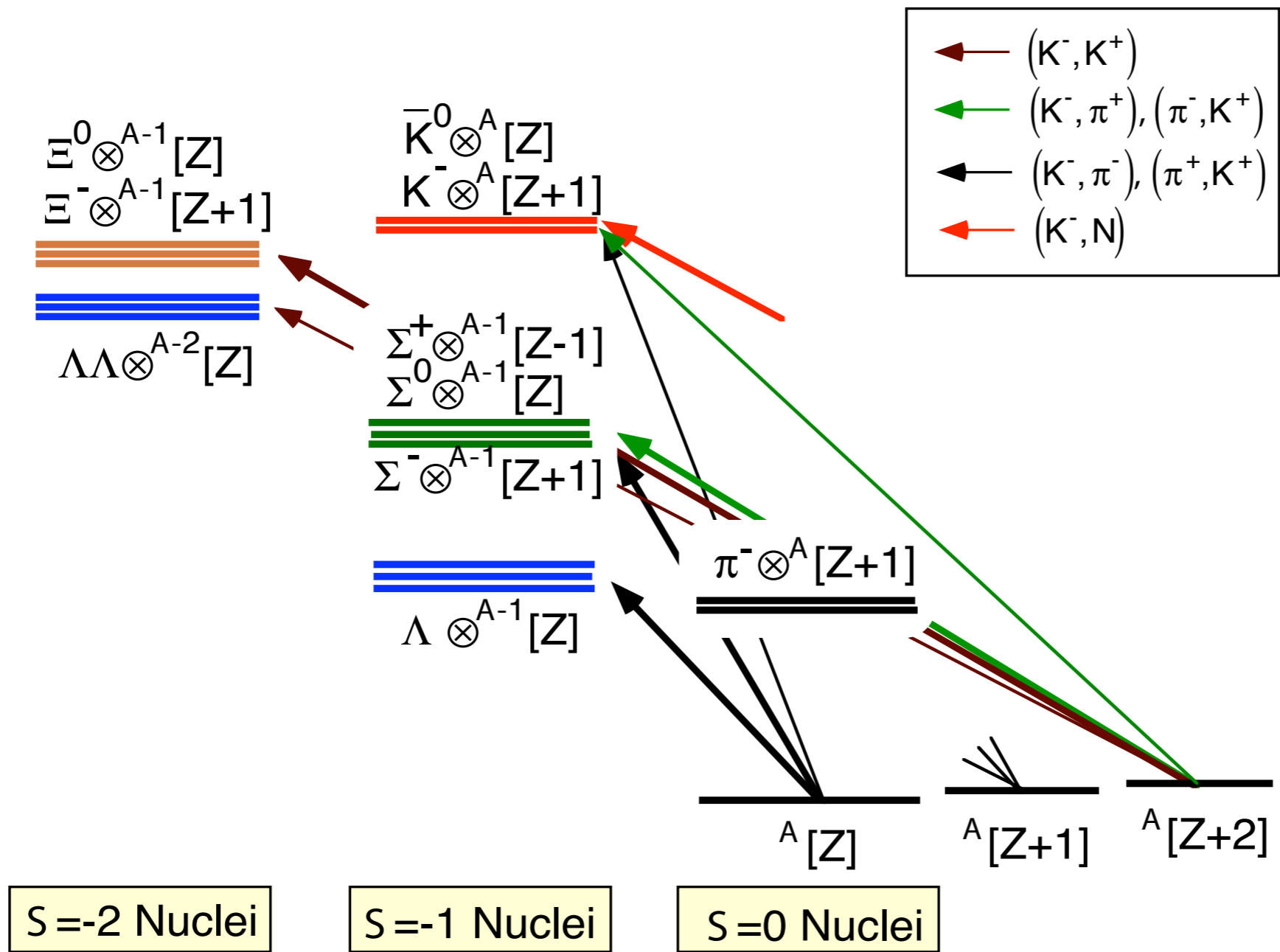
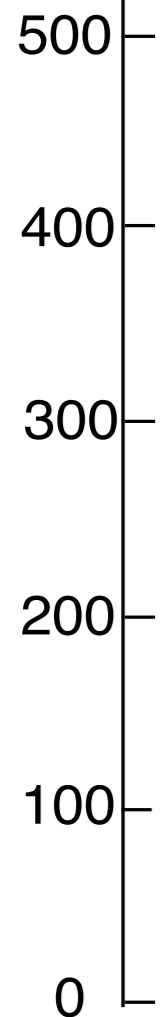


■ A bridge from $K^-p(\Lambda(1405))$ to K^- -Nucleus



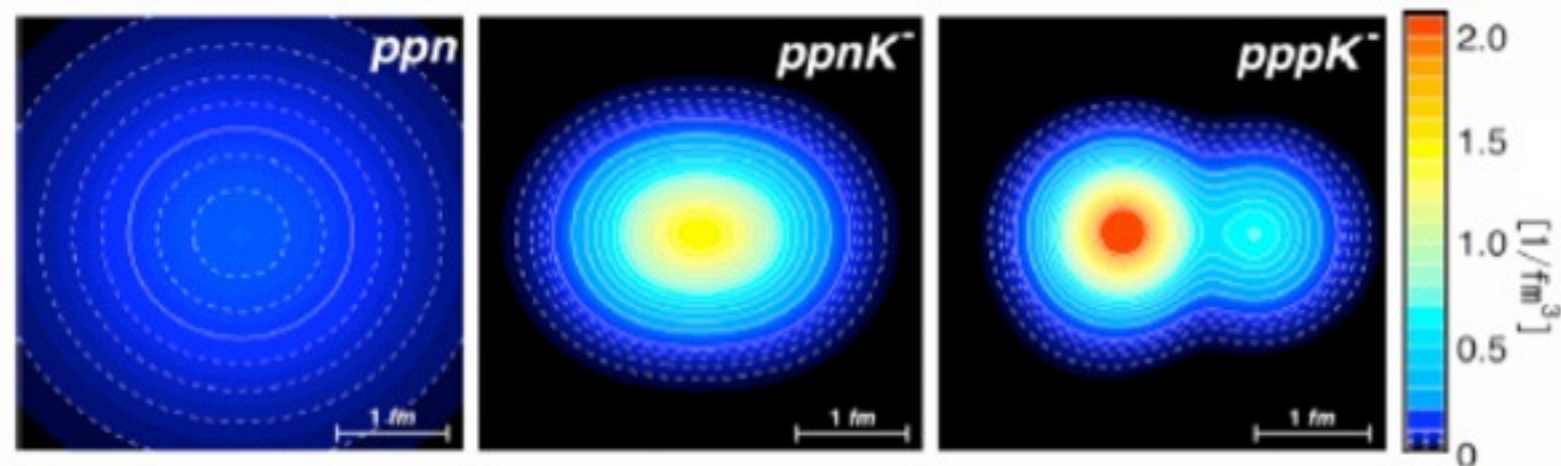
Excitation Energy

(MeV)





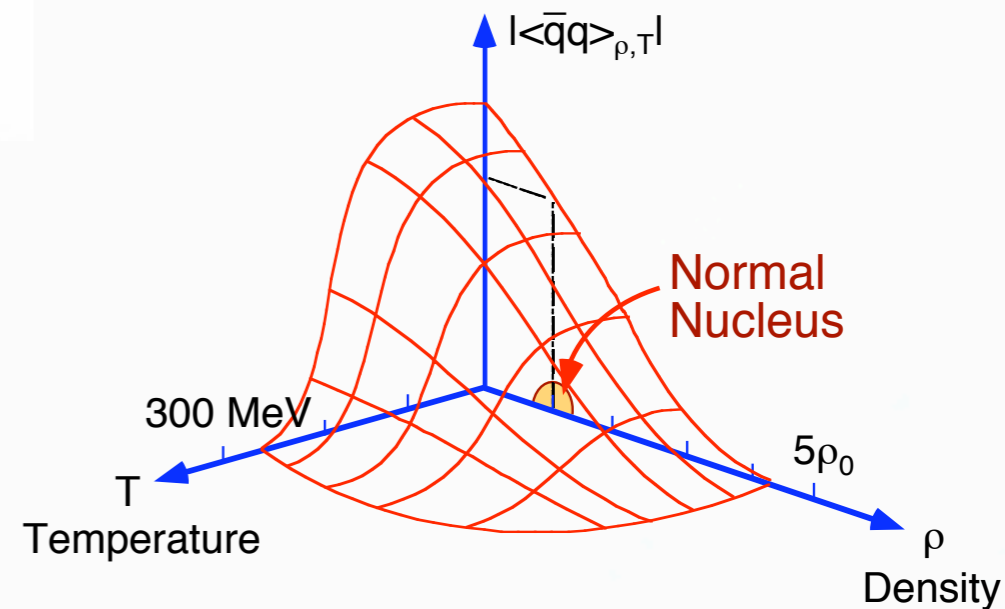
Formation of High Density State



A.Dote *et al.*, PRC70 (2004) 044313.

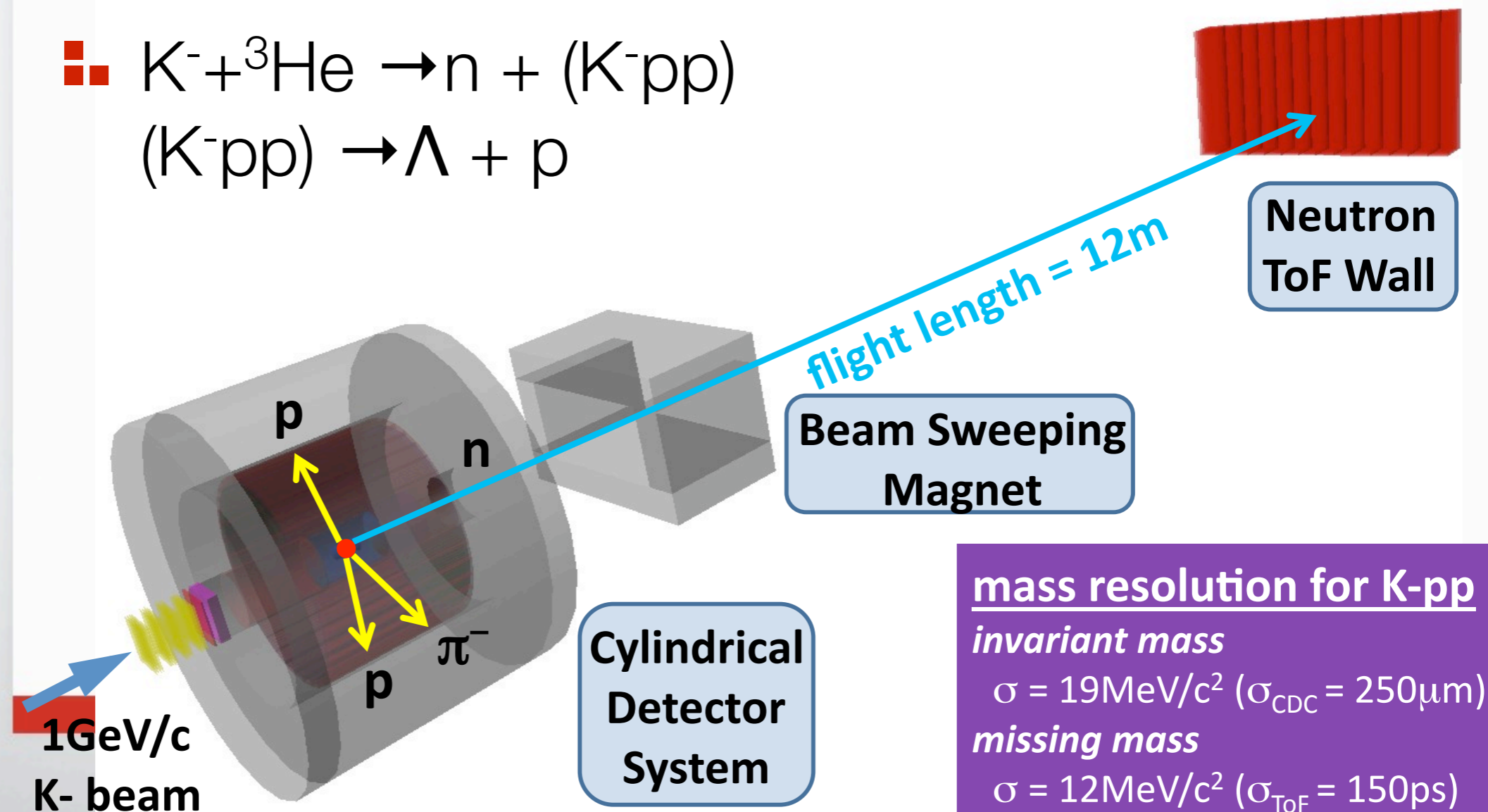
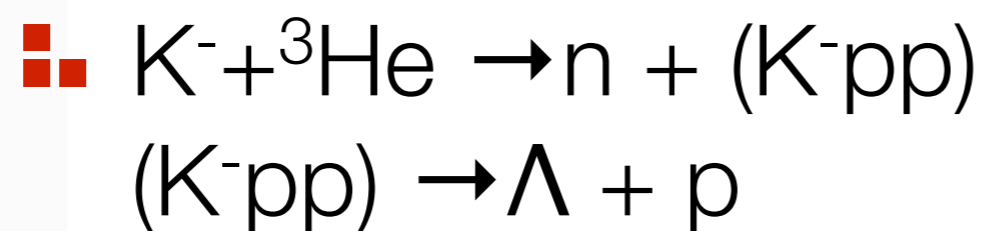
$\rho > \rho_0 \times 10$!?

- Formation of **Cold**($T=0$) and **Dense**($\rho > 5 \rho_0$) nuclear matter
- Chiral symmetry restoration
- Kaon condensation





In-flight (K^- ,n) reaction on ^3He



K1.8BRビームライン: 2009年2月





(K^-, n) missing mass spectrum calculated by T. Koike & T. Harada

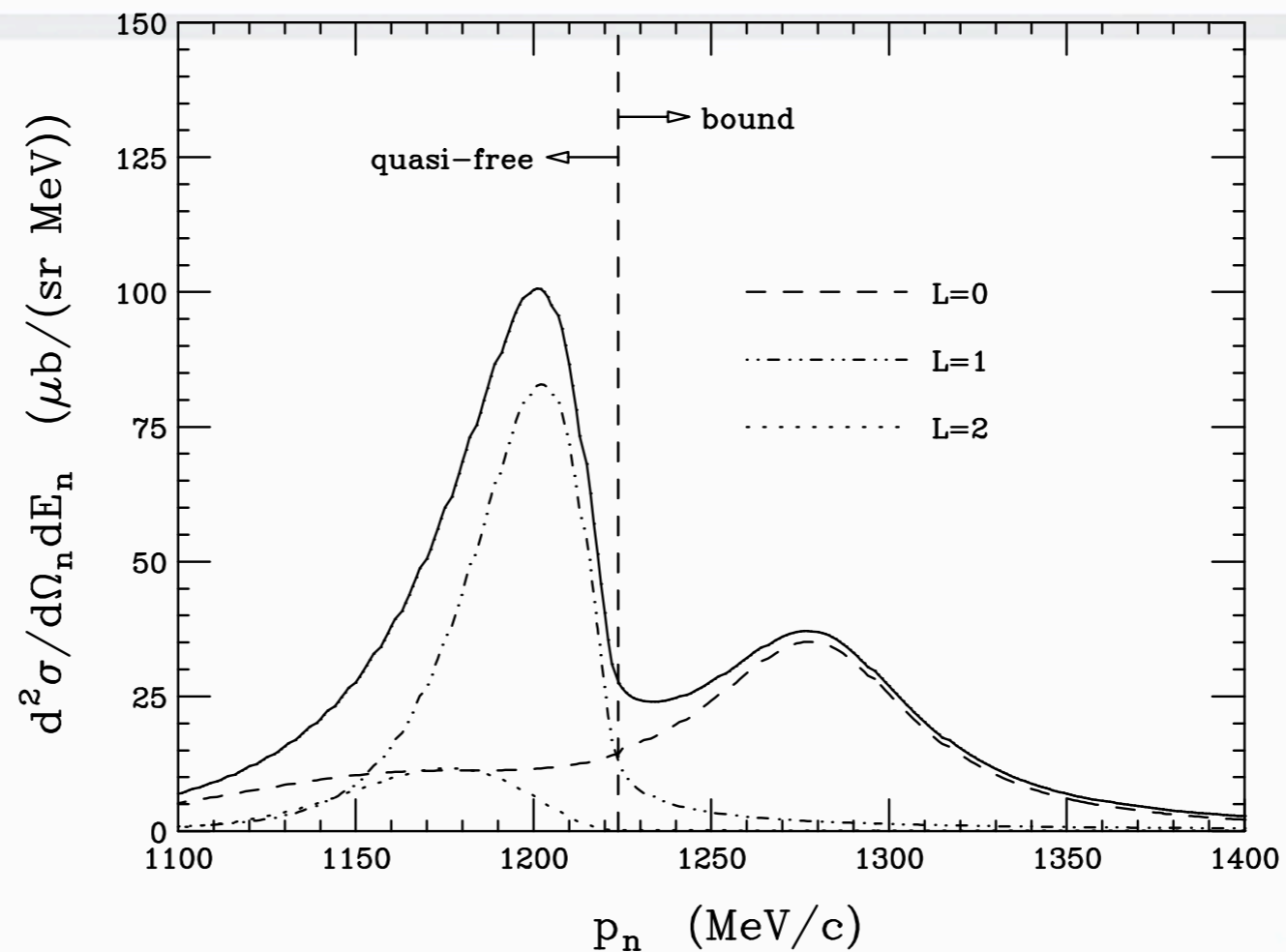


FIG. 1: The calculated inclusive spectra of the ${}^3\text{He}(\text{in-flight } K^-, n)$ reaction at $p_{K^-} = 1.0 \text{ GeV}/c$ and $\theta_n = 0^\circ$ as a function of the neutron momentum, using the YA optical potential with $(V_0, W_0) = (-300 \text{ MeV}, -70 \text{ MeV})$. The vertical dashed line indicates the corresponding neutron momentum of $p_n = 1224 \text{ MeV}/c$ at the K^- emitted threshold. The contributions of partial-wave

High-resolution Search for Θ^+ Pentaquark in $\pi^-p \rightarrow K^-X$ Reaction

M. Naruki et al., KEK

実験の概要

- natural expansion of E522 ($\pi p \rightarrow K X @ K2$)
- ~5 times better resolution : ~ 2.5 MeV FWHM with SKS
 - 10 times better S/N
- 100 times larger yield : $1.2 \times 10^4 \Theta^+$ with 20 shifts
- expected sensitivity (lab) 75nb/sr $\Gamma < 2 \text{ MeV} \rightarrow \sigma_{\text{tot}} \sim 112\text{nb}$
150nb/sr $\Gamma = 10 \text{ MeV}$
- momentum dependence of cross section : $p_{\pi} = (1.87, 1.92, 1.97 \text{ GeV}/c)$
 - Goal -
confirm Θ^+ existence with high statistics

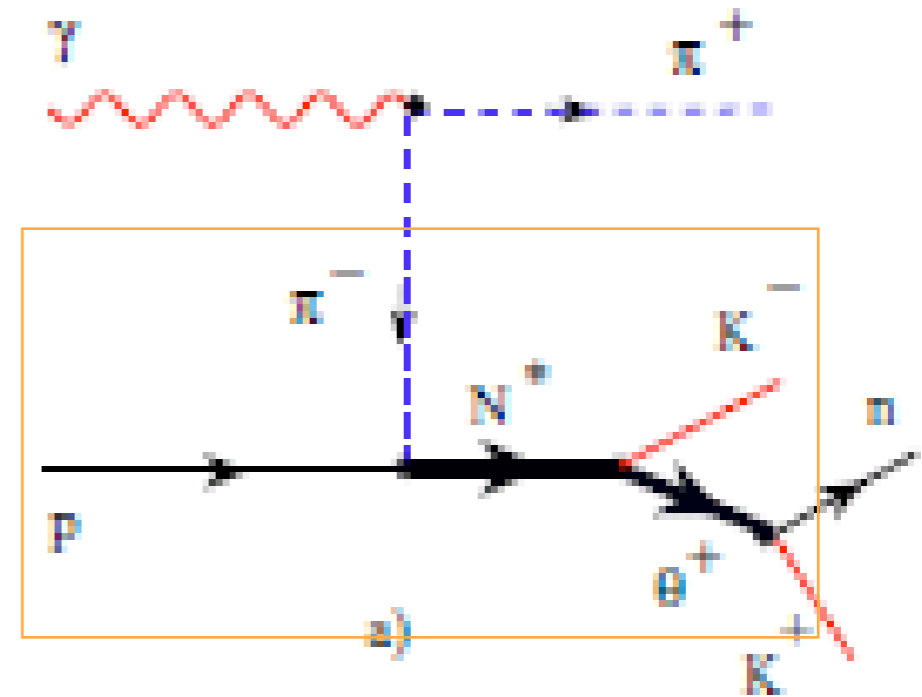
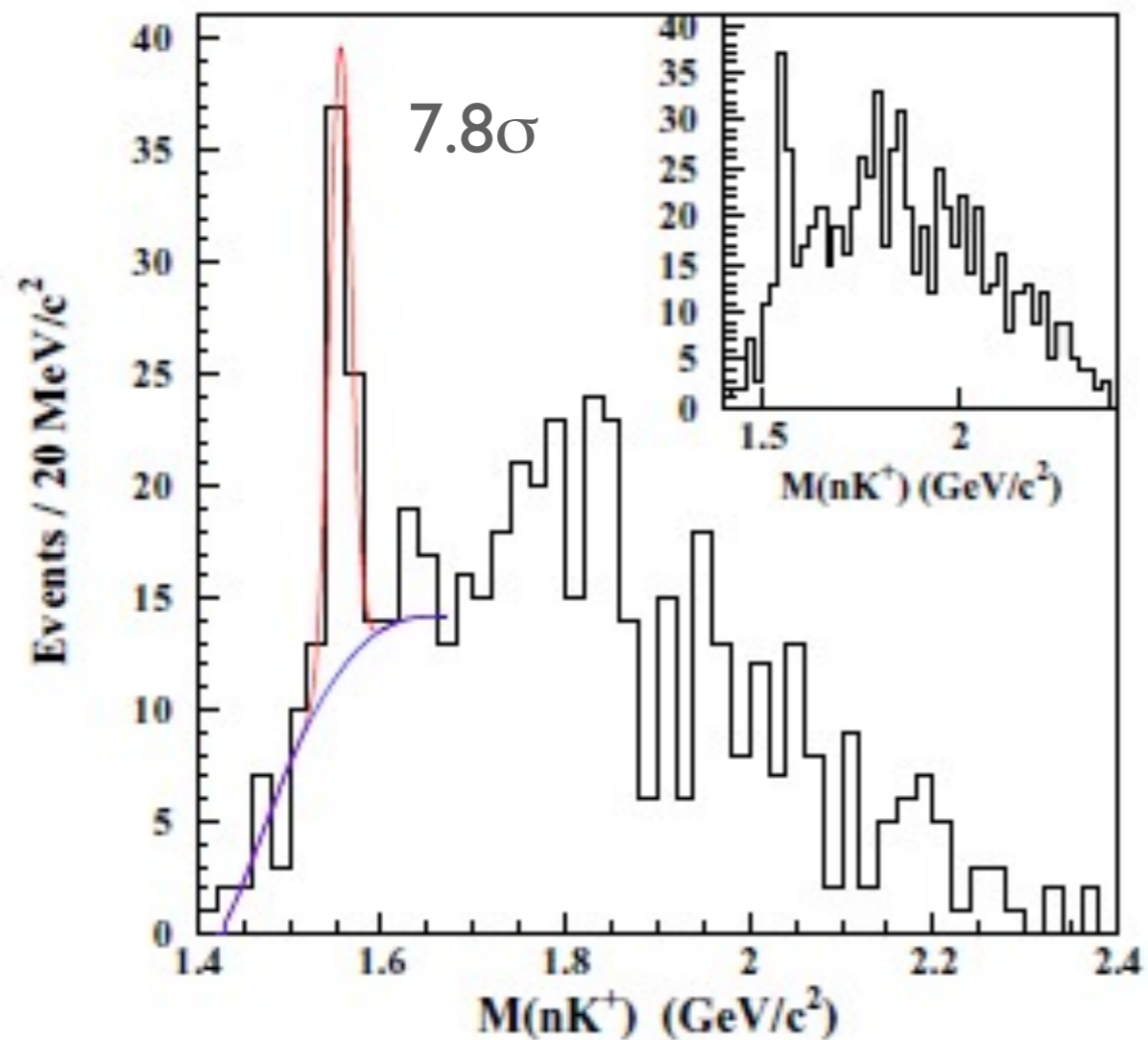
s-channel via N^*

▶ CLAS observed Θ^+ in $\gamma p \rightarrow \pi^+ K^- K^+ n$ reaction.

▶ if s-channel is dominant, Θ^+ production is reduced at higher energies.

→ this process possibly exists in $\pi p \rightarrow n \rightarrow K^- \Theta^+$ reaction!

$\gamma p \rightarrow \pi^+ K^- K^+ (n)$



E522 experiment @ KEK-PS K2

if exist

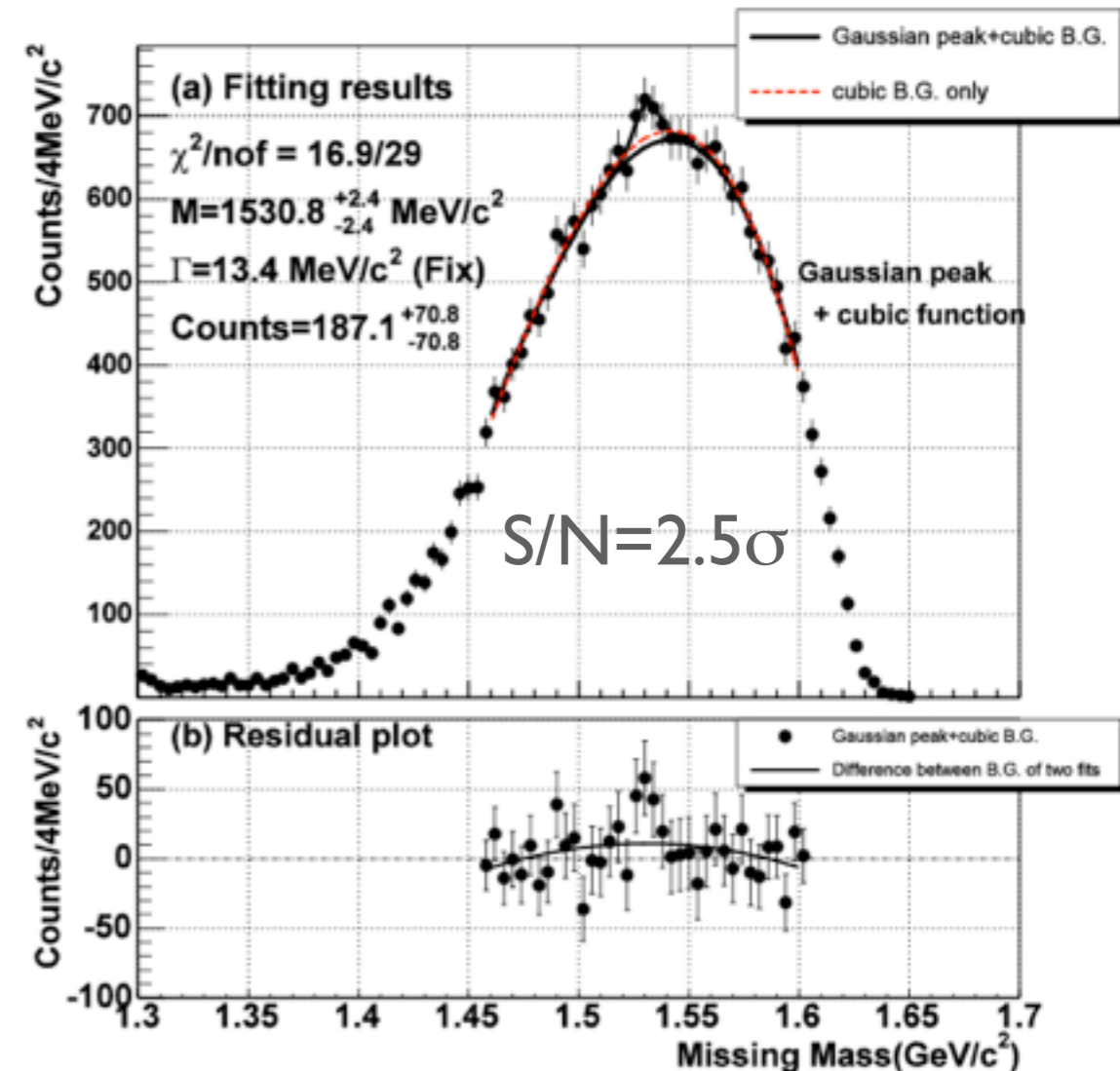
$$p_{\pi} = 1.92 \text{ GeV}/c$$

- Θ^+ search via $\pi^- p \rightarrow K^- X$ reaction
- beam momentum : 1.87, 1.92 GeV/c
- target : Polyethylene
- intensity : $3.3 \times 10^5 \pi^-$ /spill
- net beam time : 32 hours for each momentum $\rightarrow \sim 7 \times 10^9 \pi^-$

a bump was observed
at $M = 1530.8 \text{ MeV}/c^2$
at $p_{\pi} = 1.92 \text{ GeV}/c$

but : $S/N = 2.5\sigma$

upper limit : $\sigma_{\text{tot}} = 3.9 \mu\text{b}$



$$d\sigma/d\Omega = 1.9 \mu\text{b}/\text{sr}$$
$$\rightarrow \sigma_{\text{tot}} = 2.9 \mu\text{b}$$

Experimental Method

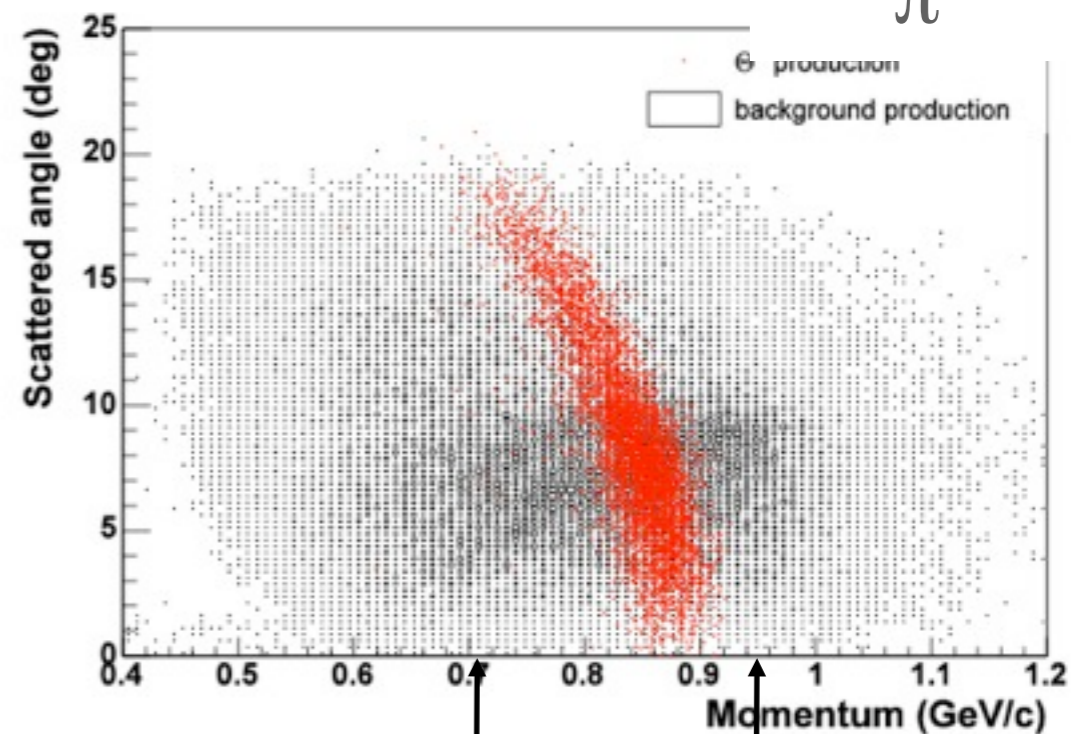
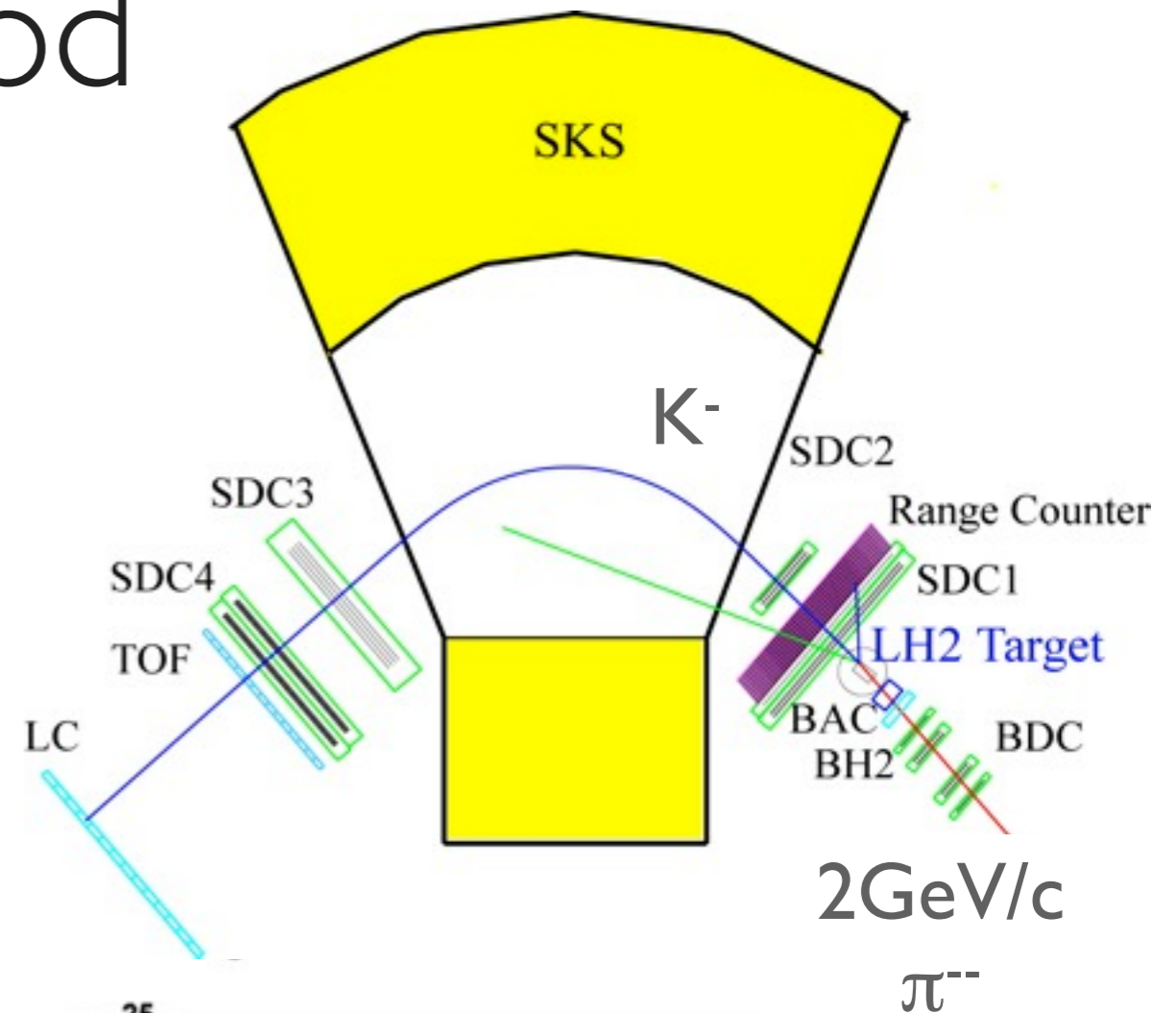
K1.8 beam line + SKS

$2\text{GeV}/c \pi^- + p \rightarrow K^- + \Theta^+$
target : liquid H_2 , reuse E559's

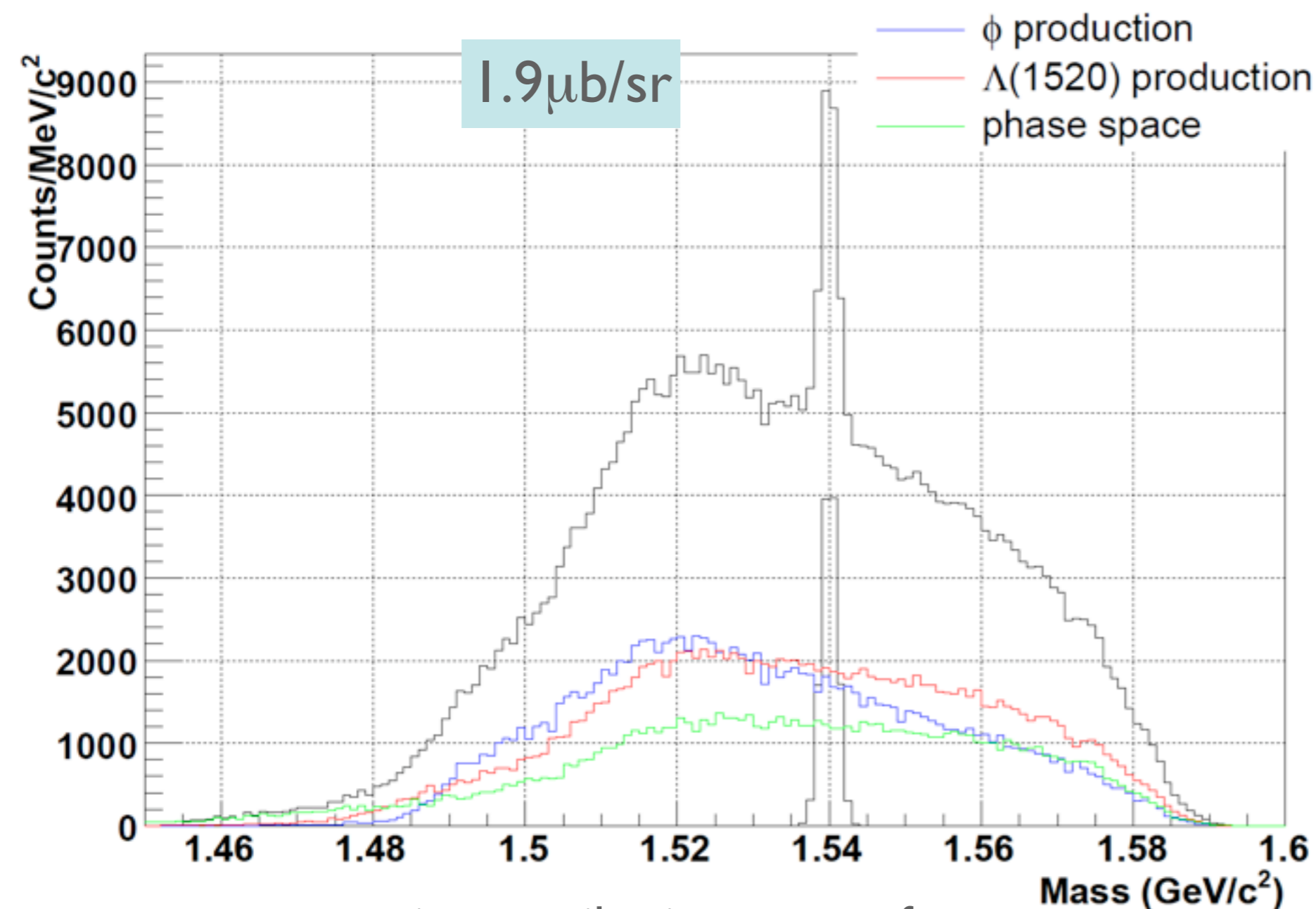
K^- : scattered angle $\leq 40^\circ$
momentum up to $0.9 \text{ GeV}/c$

SKS : momentum coverage :
 $0.7\text{-}0.95\text{GeV}/c$
angle coverage $\leq 20^\circ$
 $p_{\text{scattered}}$ up to $\sim 1.1 \text{ GeV}/c$
 $dp/p \sim 0.2\%$ @ $1 \text{ GeV}/c$
(~ 10 times better than KURAMA)

ideal for Θ^+ detection



Missing mass simulation



significance : 62σ
 assuming
 $\Gamma < 2\text{MeV}$
 $\sigma = 1.9\mu\text{b}$

main contributions come from;

ϕ :	$\phi n \rightarrow K^+K^-n$	$30.0 \pm 8.0 \mu\text{b}$
Λ :	$\Lambda(1520)K^0 \rightarrow K^-K^0p$	$20.8 \pm 5.0 \mu\text{b}$

phase space : K^-KN $26 \mu\text{b}$



Summary

- J-PARC Construction: 2001 ~ 2008
 - Beam commissioning: LINAC(Oct., 06), RCS(Oct., 07), MR(May, 08)
 - First Beam at Hadron Hall: Feb. 2009
- Day-1 Experiments in preparation
 - Ξ hypernuclei
 - Deeply-bound Kaonic nuclei
 - Hypernuclear gamma-ray spectroscopy
 - etc.

Join us !



International School on Strangeness Nuclear Physics

- 9月10日（木）－12日（土）
- 京大基研パナソニックホール
- 講師：A. Gal, A. Ramos, J. Mares, Ed Hungerford, K. Imai, T. Motoba
- hypXschool@nexus.kek.jpへ申し込みを
- 旅費補助あり