

# K1.1での実験計画



理化学研究所  
仁科加速器研究センター  
岩崎先端中間子研究室

**應田治彦**

for E15/E17 collaborations

1. E15実験  ${}^3\text{He}(\text{in-flight } K^-, n) K^-pp \rightarrow \Lambda p$
2. E17実験  ${}^3\text{He}$  K中間子原子の  $3d \rightarrow 2p$  X線の精密測定
3. K中間子重陽子原子の  $2p \rightarrow 1s$  X線

# いきなり まとめ...

最初はK1.8BRからスタートするとしても、  
K中間子原子/原子核実験全体の計画は結構長く  
また、Full Intensityでのランも必要となる  
→ 人生短いし実験予定盛り沢山のK1.8に間借り  
しているのではなしに、早々に**K1.1**に移行したいなあ

独り言.....

K1.1にはスペクトロメータの整備計画がないので、原子核屋さんはあんまり使いたがらないので、“いらない!”とか思われているとやばいなあ (X\_X)

K1.8とかK1.8BRとかKがでるのに、ストレンジ核物理屋さんまで、 $\pi$  10MHzとかの実験からと提案するのは、やっぱりなかなか強度は上がらないってことなんだろう... なんとはなしにKEK-PSでもできたような.....

目一杯強度のKで、1月以上かかるって実験はなんとなく肩身が狭いのかな？

CDSとか、中性子カウンターとか、 $^3\text{He}$  標的とか一緒に使って実験するお友達が少ないんじゃないかな... (T\_T)

# K中間子原子とK中間子核

## K中間子原子

E228 KpX  $2p \rightarrow 1s$   
大きな斥力的シフト



## K中間子原子核

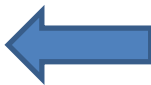
$\Lambda(1405)$  は  $K^-$  と  $p$  の束縛状態？



$K^-$  を原子核に入れたら深く束縛する筈；  
 $\Sigma\pi$  閾値より束縛すれば幅も狭い (AY)



$K^-$  原子にも大きなシフトが？



E471  ${}^4\text{He}$  (静止  $K^-$ ,  $n$ ) でのピーク探索  
( $K^-$ ,  $p$ ) でピークの”発見”



E570 K中間子  ${}^4\text{He}$  原子の  
 $3d \rightarrow 2p$  のX線の精密測定  
大きなシフトなし

E549  ${}^4\text{He}$  (静止  $K^-$ ,  $p/n$ ) の高統計・高分解能ラン  
( $K^-$ ,  $p$ ) ( $K^-$ ,  $n$ ) とも幅の非常に狭いピークなし  
YN 関連の種々のデータ (chiral07 鈴木)



E17  
K  ${}^3\text{He}$  原子  
 $3d \rightarrow 2p$

E??  
K  $d$  原子  
 $2p \rightarrow 1s$

E15 K-pp 系  
 ${}^3\text{He}$  (in-flight  $K^-$ ,  $n$ ) で missing mass  
 $K^- pp \rightarrow \Lambda p$  で invariant mass

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

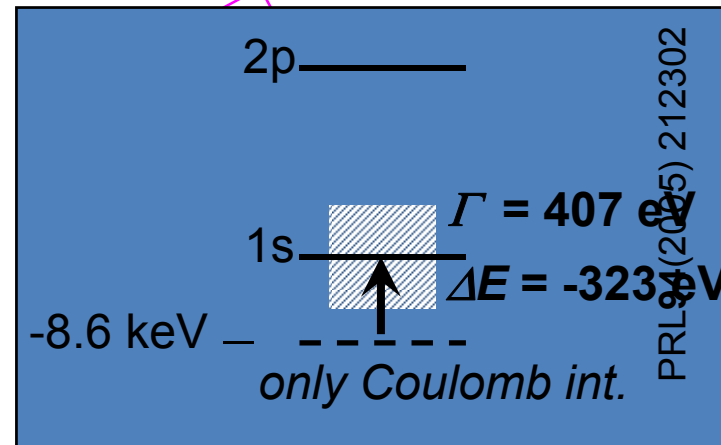
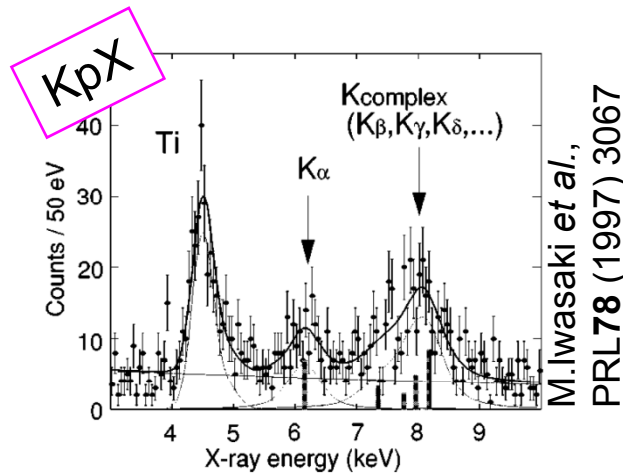
S. Ajimura, G. Beer, H. Bhang, P. Buehler, L. Busso, M. Cargnelli, J. Chiba, S. Choi, C. Curceanu, D. Faso, H. Fujioka, T. Fukuda, Y. Fukuda, C. Guaraldo, T. Hanaki, R. S. Hayano, A. Hirtl, M. Iio, M. Iliescu, T. Ishikawa, S. Ishimoto, T. Ishiwatari, K. Itahashi, M. Iwasaki, P. Kienle, J. Marton, Y. Matsuda, Y. Mizoi, O. Morra, T. Nagae, H. Ohnishi, S. Okada, H. Outa, A. Sakaguchi, F. Sakuma, M. Sato, M. Sekimoto, D. Sirghi, F. Sirghi, S. Suzuki, T. Suzuki, H. Tatsuno, D. Tomono, A. Toyoda, E. Widmann, T. Yamazaki, H. Yim, and J. Zmeskal



**E15 : Stage2/Day-1 採択**

# KN interaction

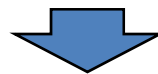
1997 KEK-PS KpX (precision measurement of 2p->1s x-ray energy in Kaonic hydrogen atom )



2005 2p->1s x-ray in Kaonic hydrogen have been measured again at DAΦNE @DEAR ; repulsive!

These results are now understood as strong attractive force between K and N

Evidence(?) for existence of 1s KN bound state!



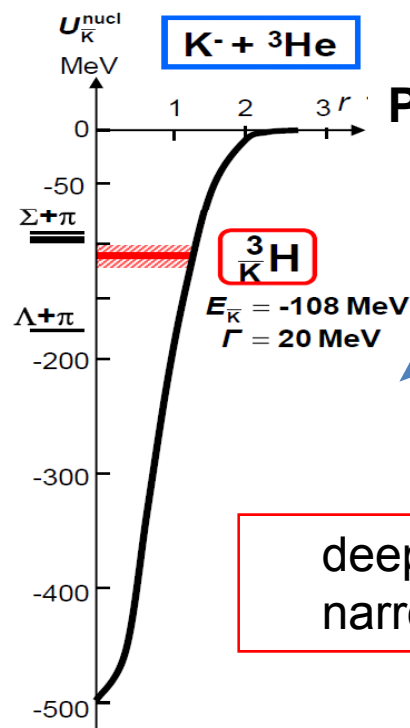
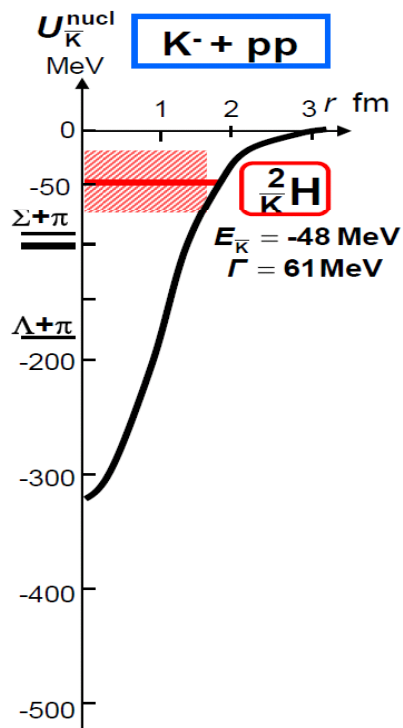
Now, lets assume  $\Lambda(1450)$  as a candidate of KN bound state

# $\Lambda(1405)$ to Kaonic nucleus

Construct K-N potential to reproduce measurements

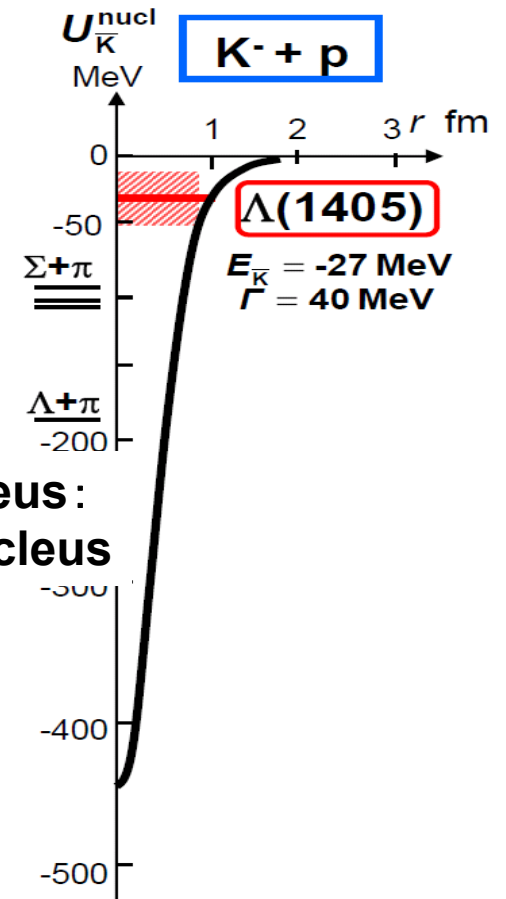
- Energy shift of 1s state Kaonic hydrogen (results of KpX measurement)
- Mass of  $\Lambda(1405)$

(Strong attraction in  $l=0$  KN system)



Extension to light nucleus:  
Prediction of Kaonic nucleus

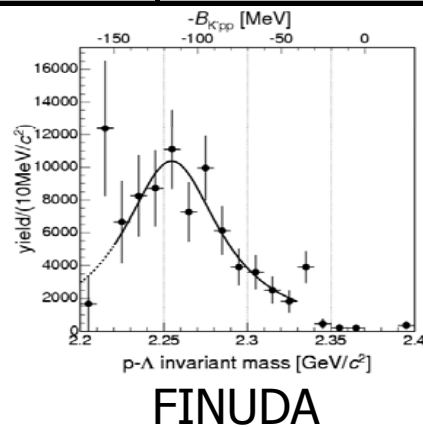
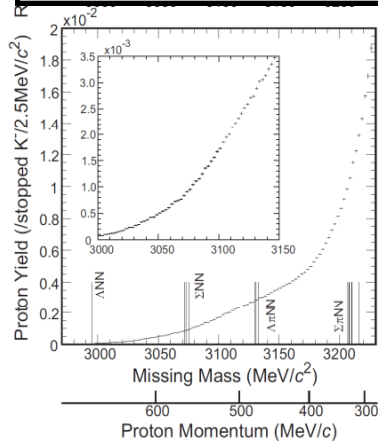
deep binding energy  
narrow width



Y.Akaishi & T.Yamazaki,  
PRC65 (2002) 044005.

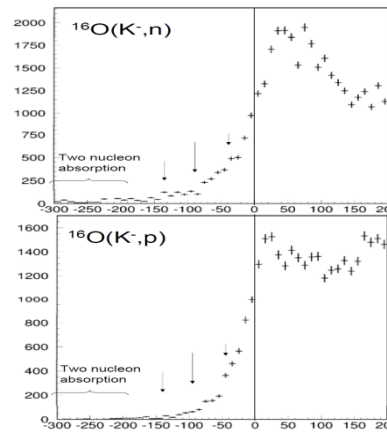
# Search for Kaonic nuclear bound state

Experiment	Reaction	Target	Experimental method
KEK E471/E549	stopped $K^-$	$^4\text{He}$	missing mass & inv. mass
FINUDA	stopped $K^-$	$^6\text{Li}, ^7\text{Li}, ^{12}\text{C}$	invariant mass
BNL E930, KEK E548	in-flight $K^-$	$^{16}\text{O}, ^{12}\text{C}$	missing mass
GSI FOPI	Heavy ion collision		invariant mass
OBELIX	anti-p	$^4\text{He}$	invariant mass



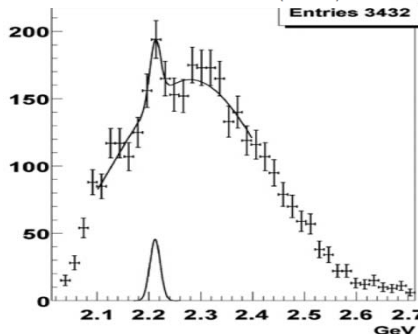
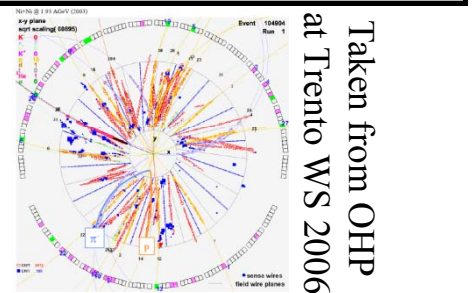
Phys. Rev. Lett. 94  
212303 (2005)

FINUDA



KEK E548

Taken from OHP at Trento WS 2006

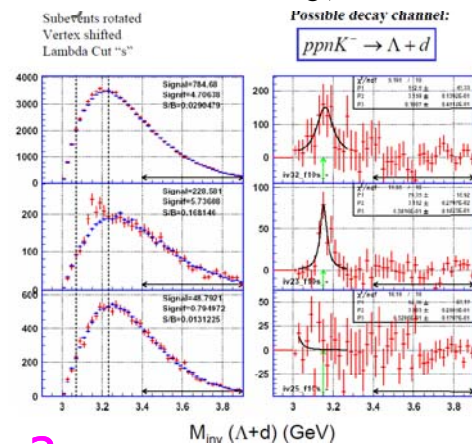


OBELIX

E549

The situation is still controversial!

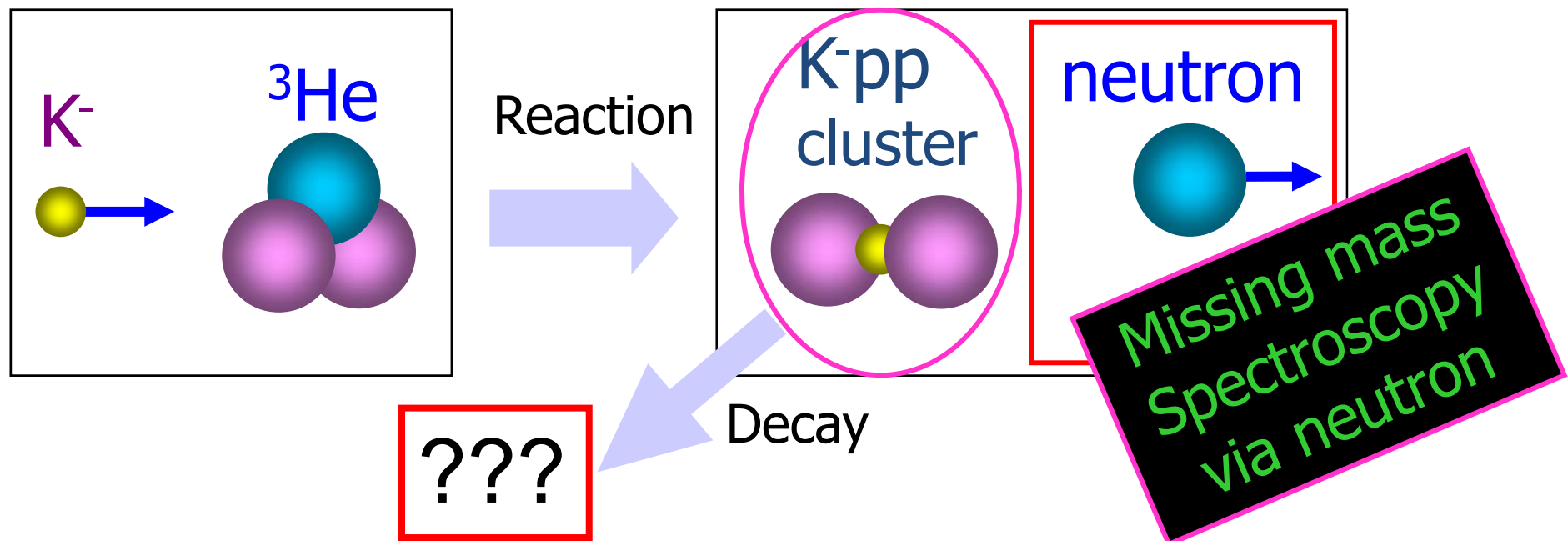
We need to answer the basic question, whether the deeply bound state really exists?



GSI FOPI

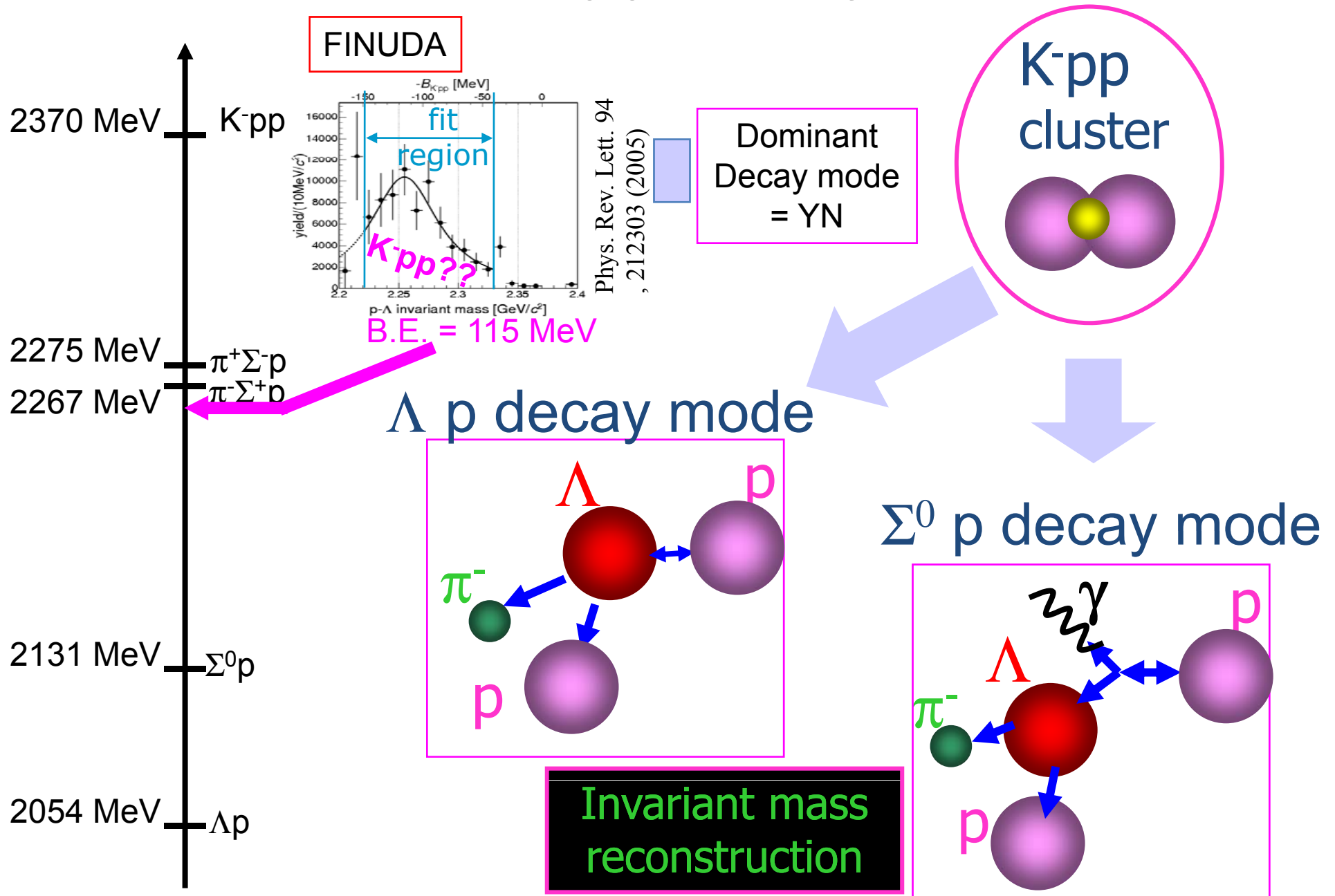
# A search for deeply bound kaonic nuclear states

- Goal for the new experiment
  - To answering the basic question :  
whether the deeply bound state really exists?
- Direct production of K-pp clusters via  ${}^3\text{He}(\text{in-flight } \text{K}^-, \text{n})$  reaction



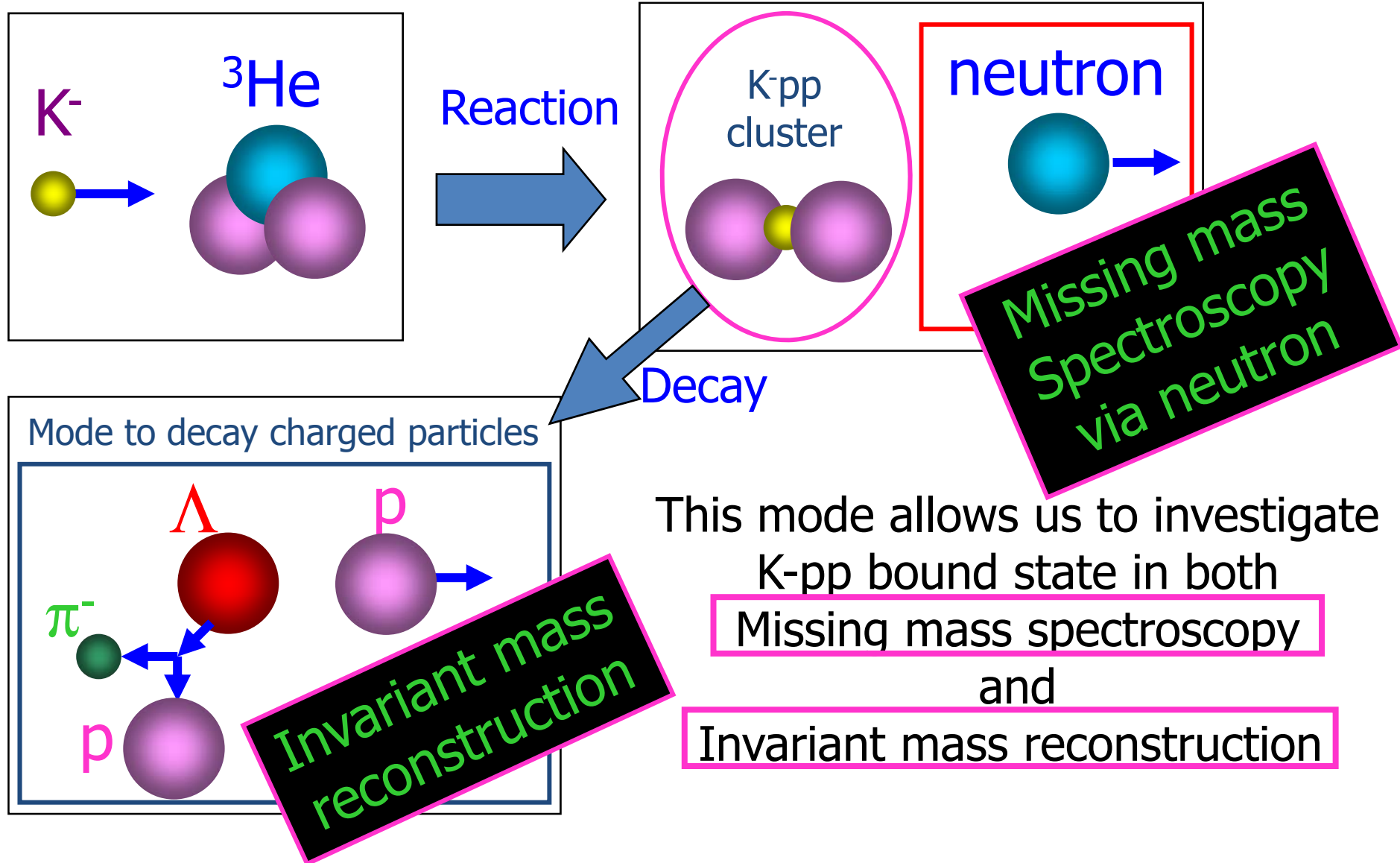


# Possible $K^-pp$ decay modes



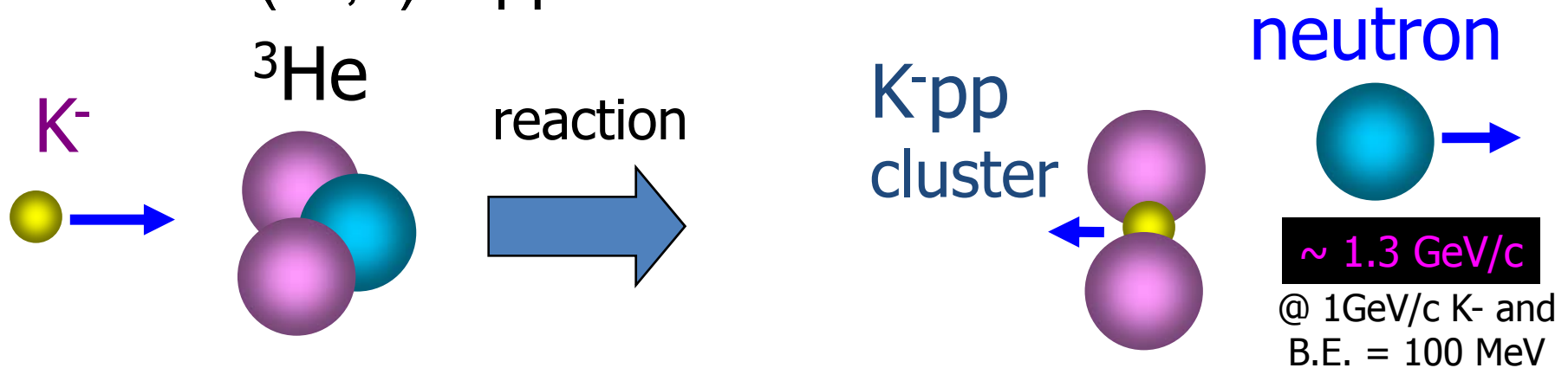
# Experimental Principle

- ${}^3\text{He}(\text{K}^-, \text{n})$  reaction

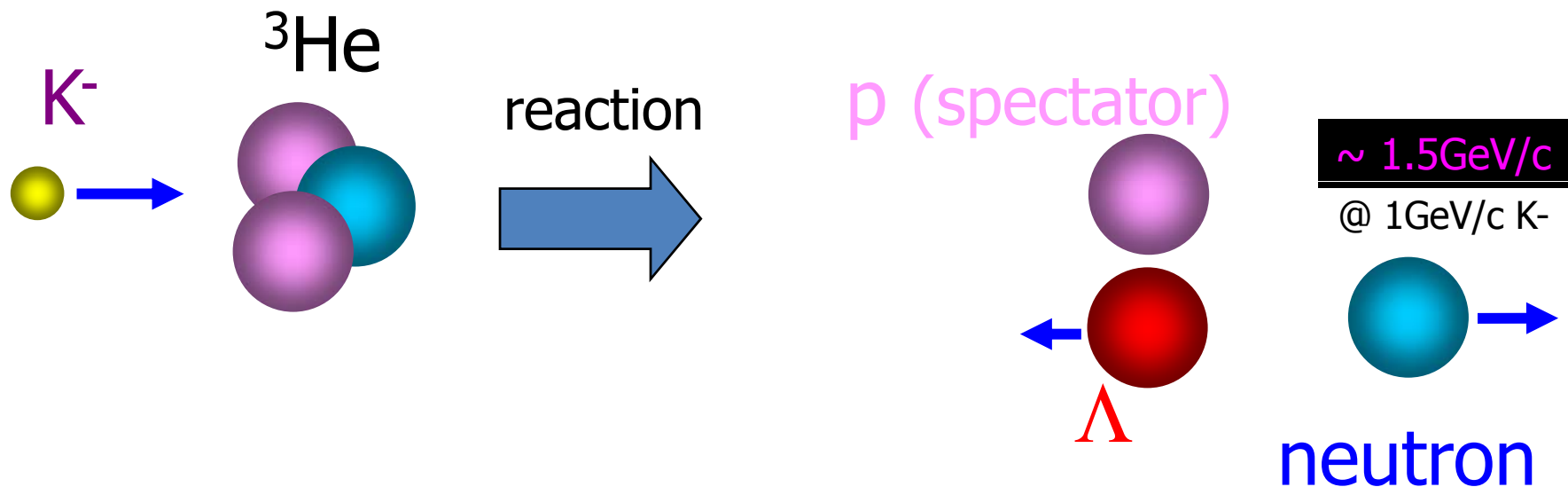


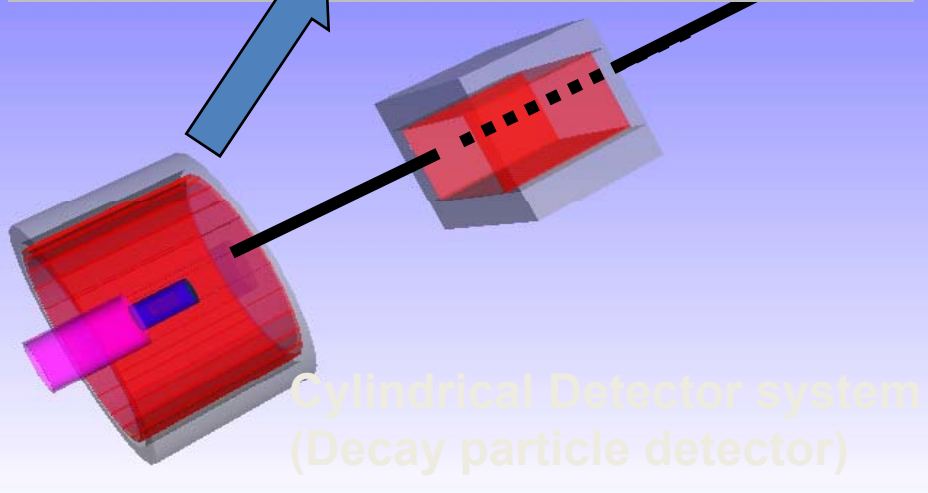
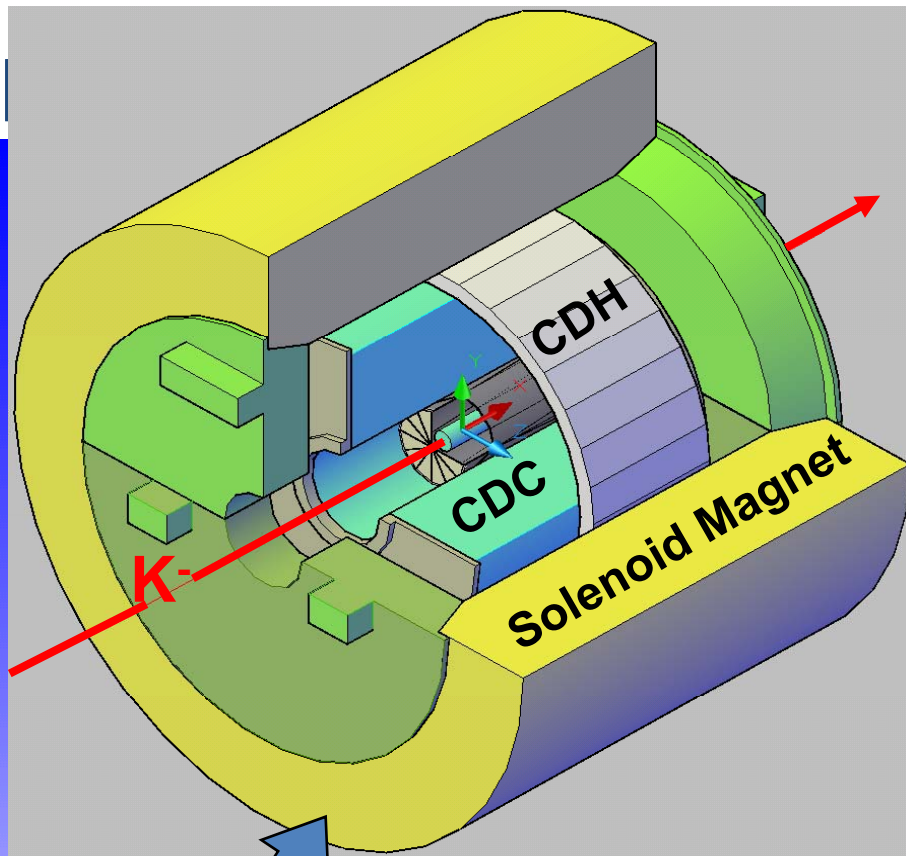
# Signals from K-pp and “Two nucleon absorption” forward neutron

- ${}^3\text{He}(K^-,n)$  K-pp formation

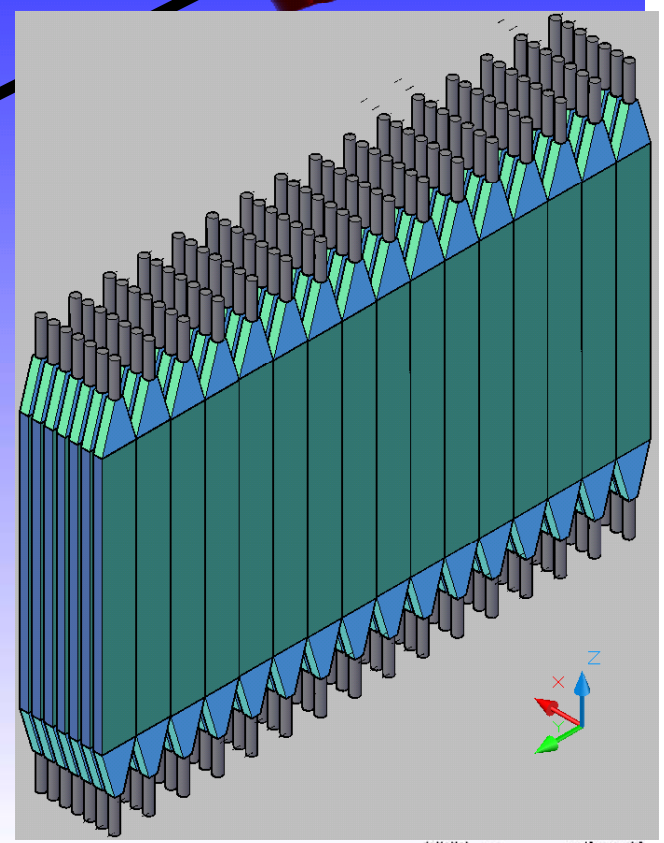
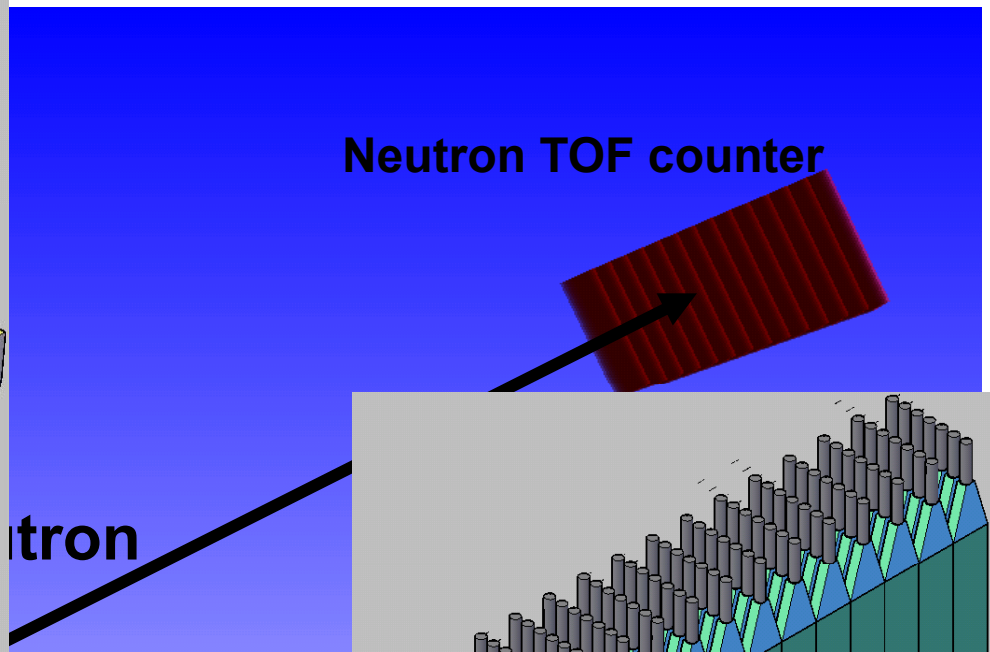


- Two nucleon absorption



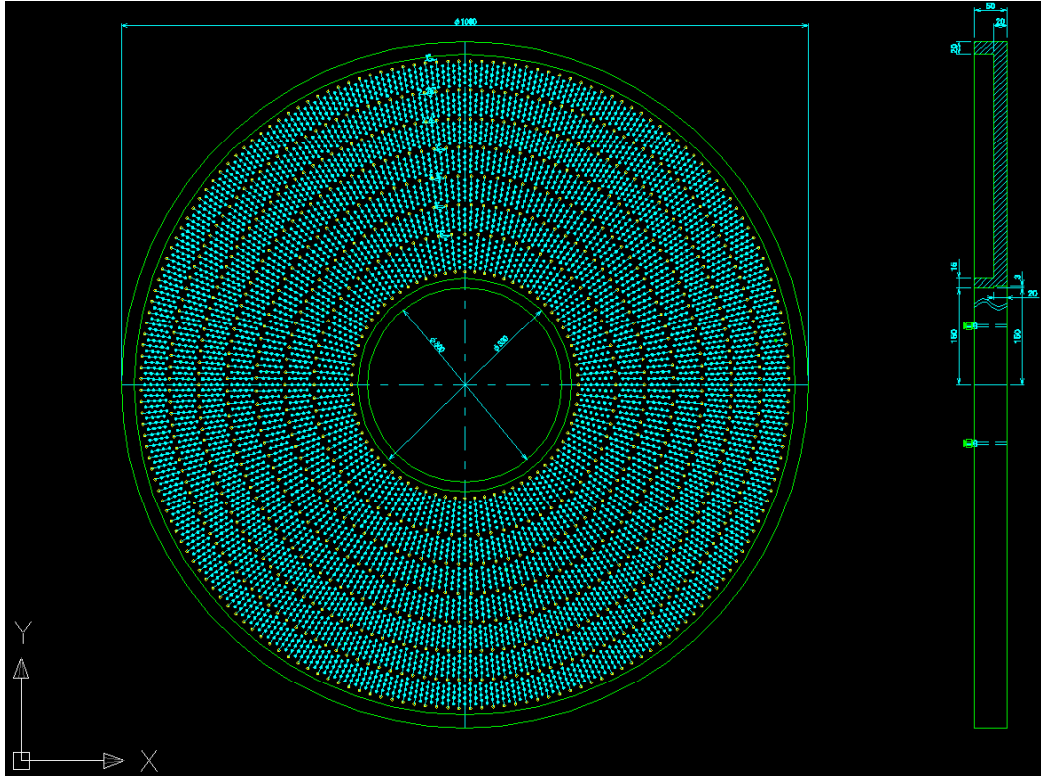


Cylindrical Detector system  
(Decay particle detector)



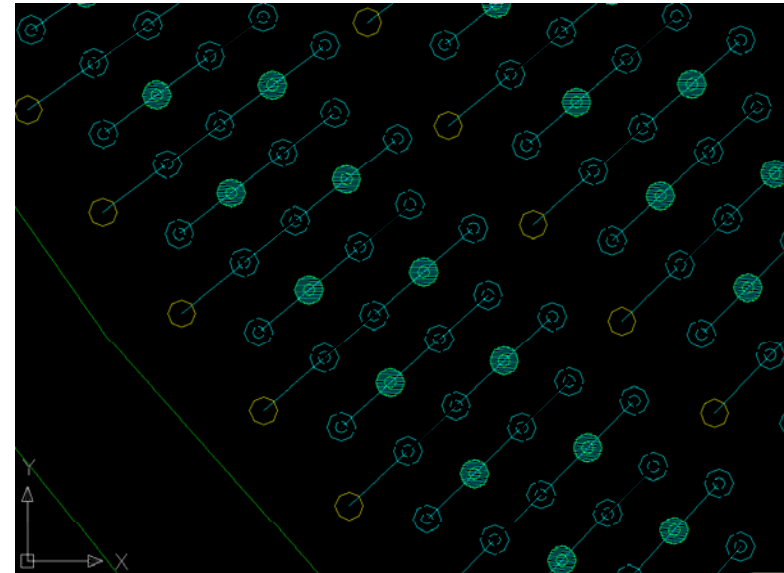
# Cylindrical Drift Chamber

- Design work for CDC is in progress

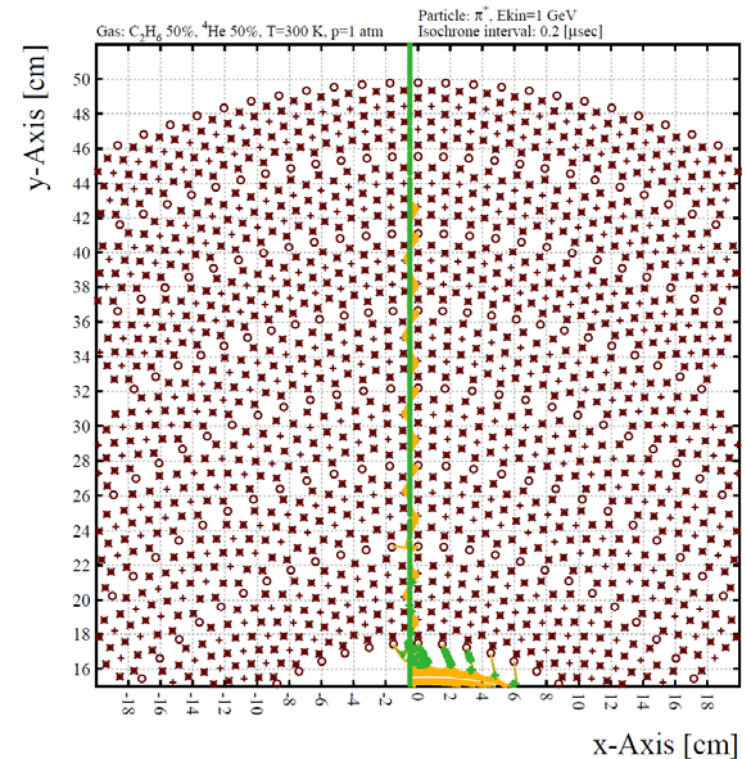


## Basic concept ;

- Cell structure has been chosen as Hexagonal
- 15 readout layers  
AA'A UU' VV' AA' UU' VV' AA
- 1800 readout channels in total
- He based chamber gas will be used  
(to reduce material budget)

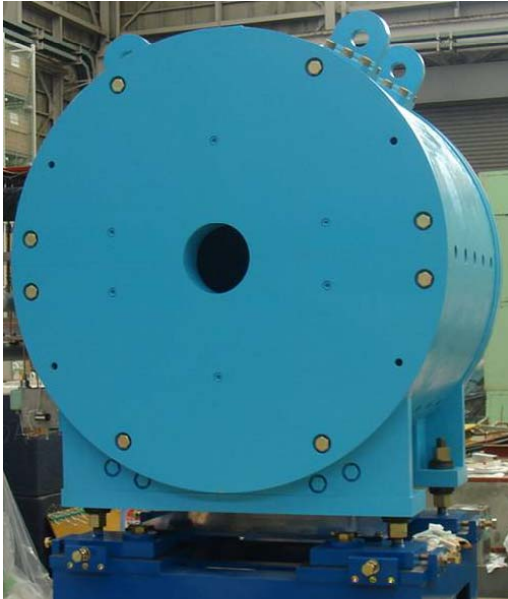


Electron drift lines from a track

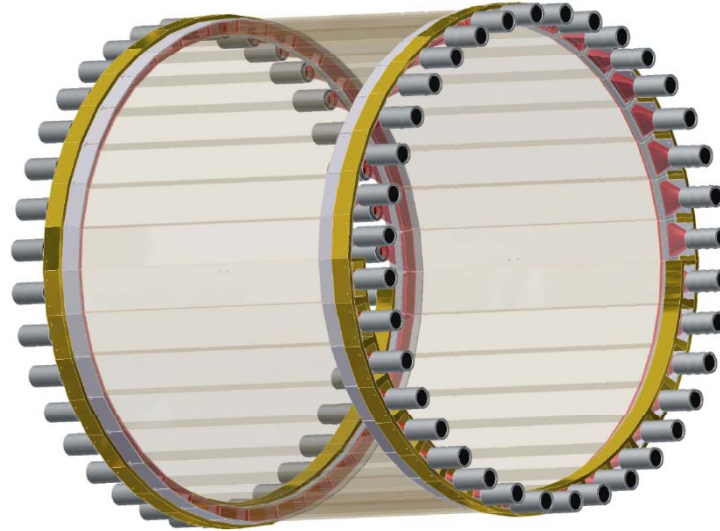


Garfield simulation done by Dr. F. Sakuma

# Detector construction status



**Solenoid Magnet**  
Constructed; 2006 March

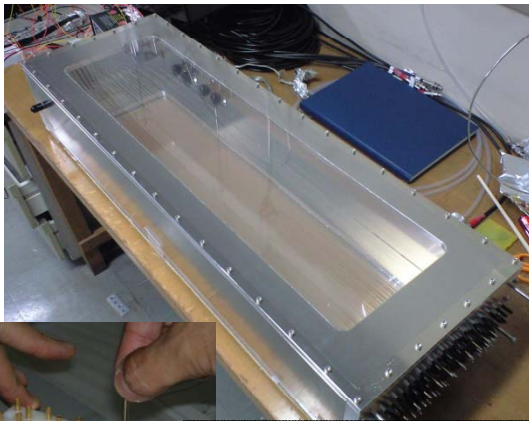


**Trigger hodoscope**  
(designed almost complete)

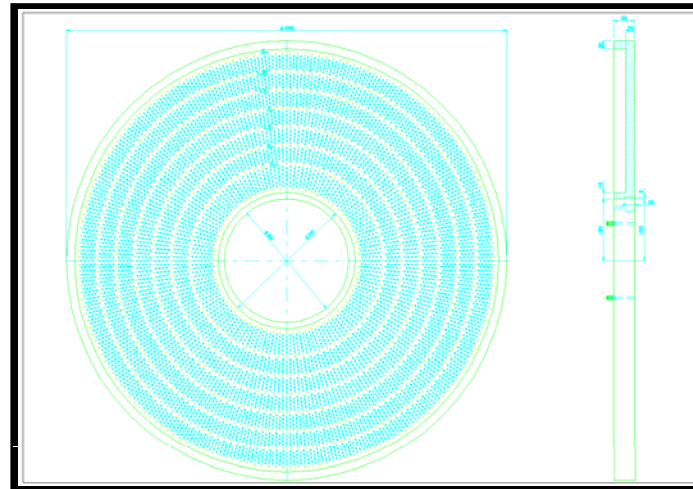


**Neutron Counter**  
(ready for installation)

**$^3\text{He}$  target**  
Under construction



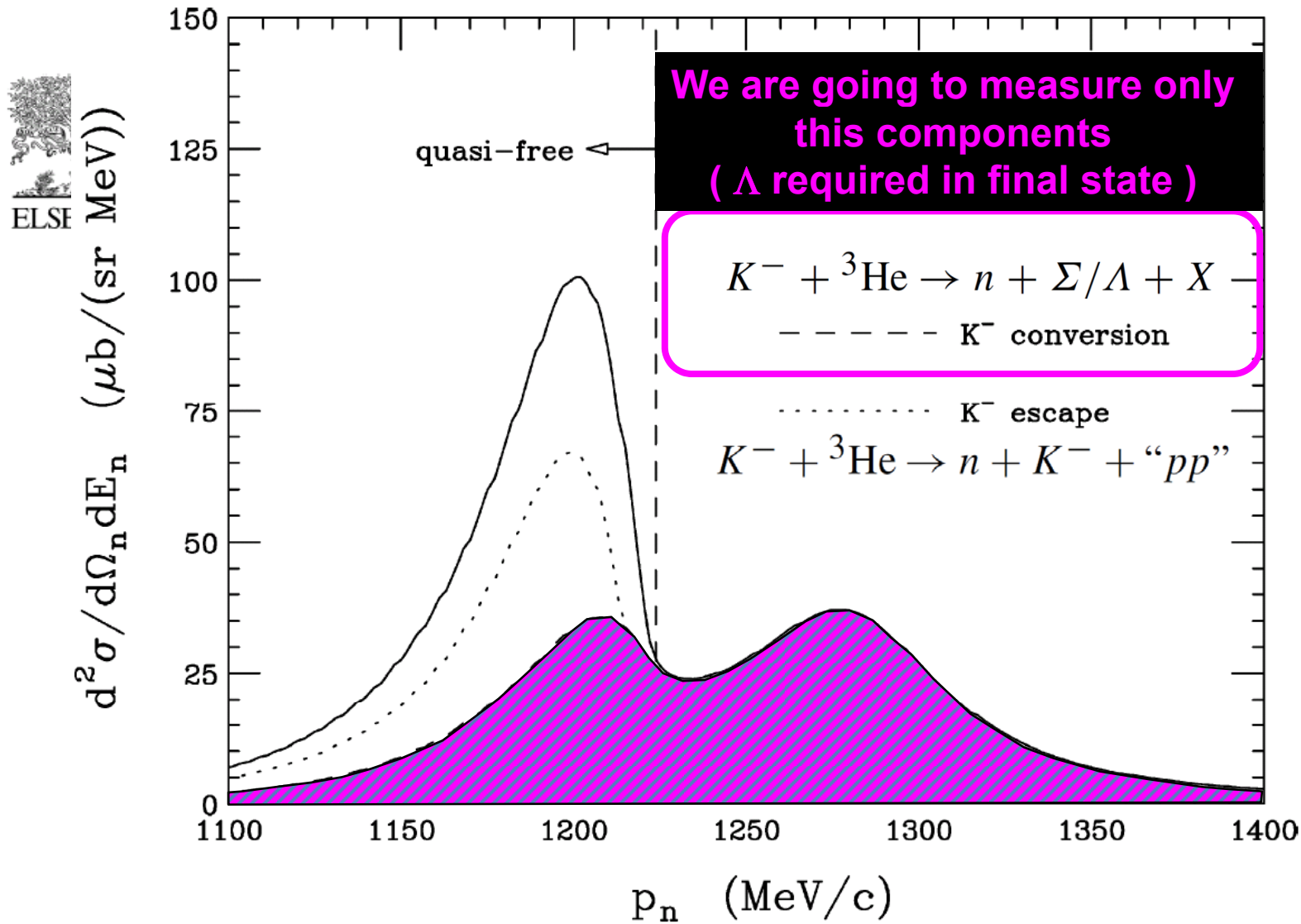
**CDC prototype**  
complete



**Cylindrical Drift Detector**  
(design completed, under construction)



# Expected signal; Theoretical calculation



# E15 実験の段階的進行

**30GeV /9 $\mu$ A のフル強度で、定常ランを1月以上**

K1.8BR チューニング ; Beam line momentum の確認  
~750MeV/c で、 $\pi/p/d$  あたりのTOF?

CDCのチューニング

現場での宇宙線長期ラン

静止 $K^+ \rightarrow \mu^+ \nu$  (235MeV/c) あるいは、 $\pi^+\pi^0$  (205MeV/c)

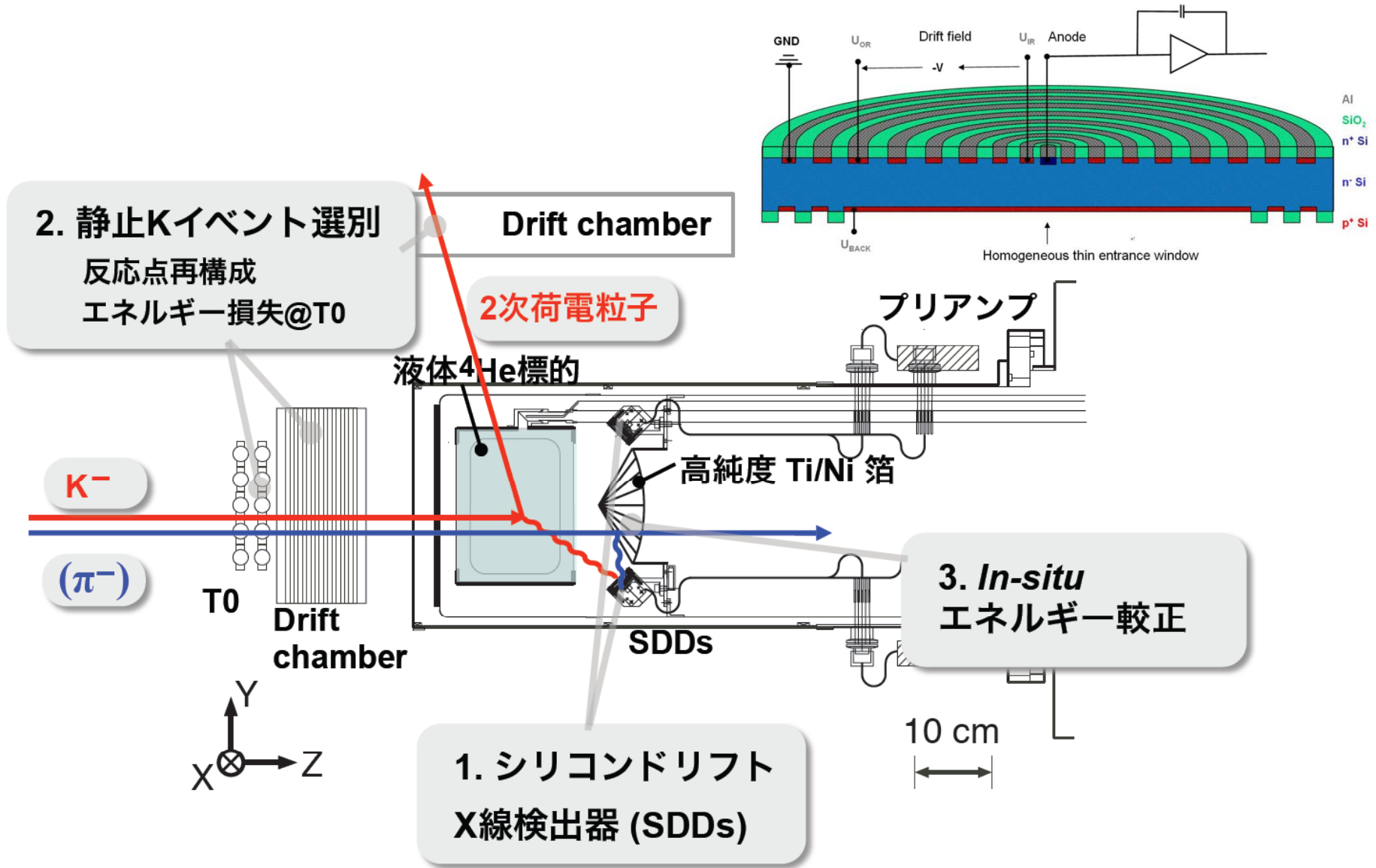
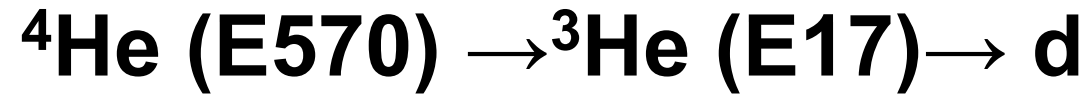
中性子カウンター系のチューニング

荷電粒子  $\sigma < 100\text{ps}$  ; 中性粒子  $\sigma < 150\text{ps}$  (flight path 12m)

$\gamma$ 線あるいは、速い $\pi$ などを利用した較正方法の確立



# 軽いK中間子原子のX線測定



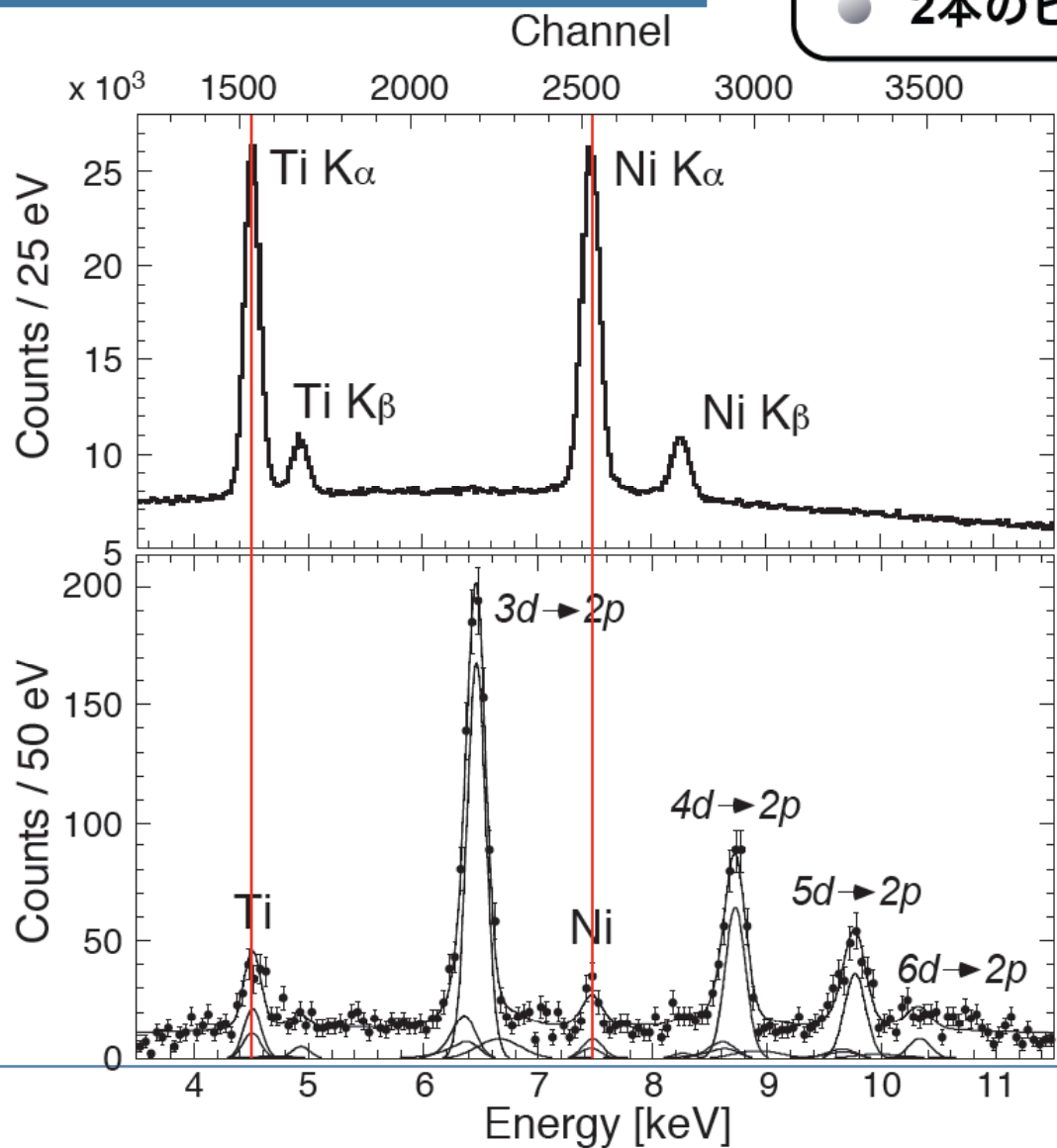
# Energy calibration

- SDDのゲイン補正  
~20 時間毎
- 2本のピークで内挿

SDD セルフ  
トリガー  
イベント

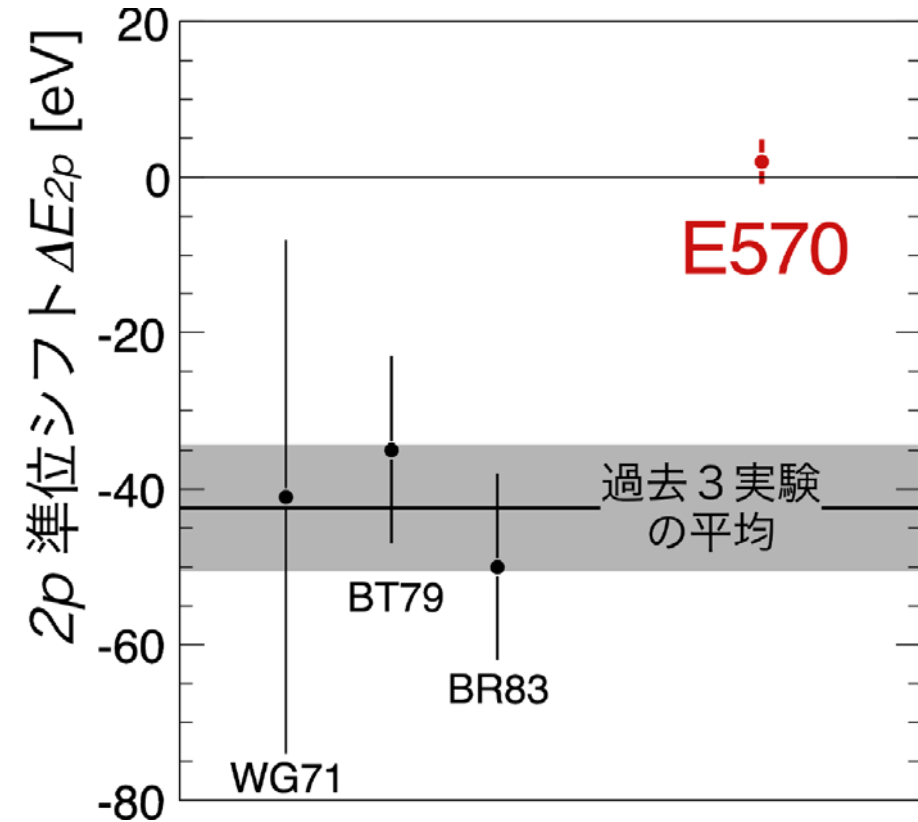
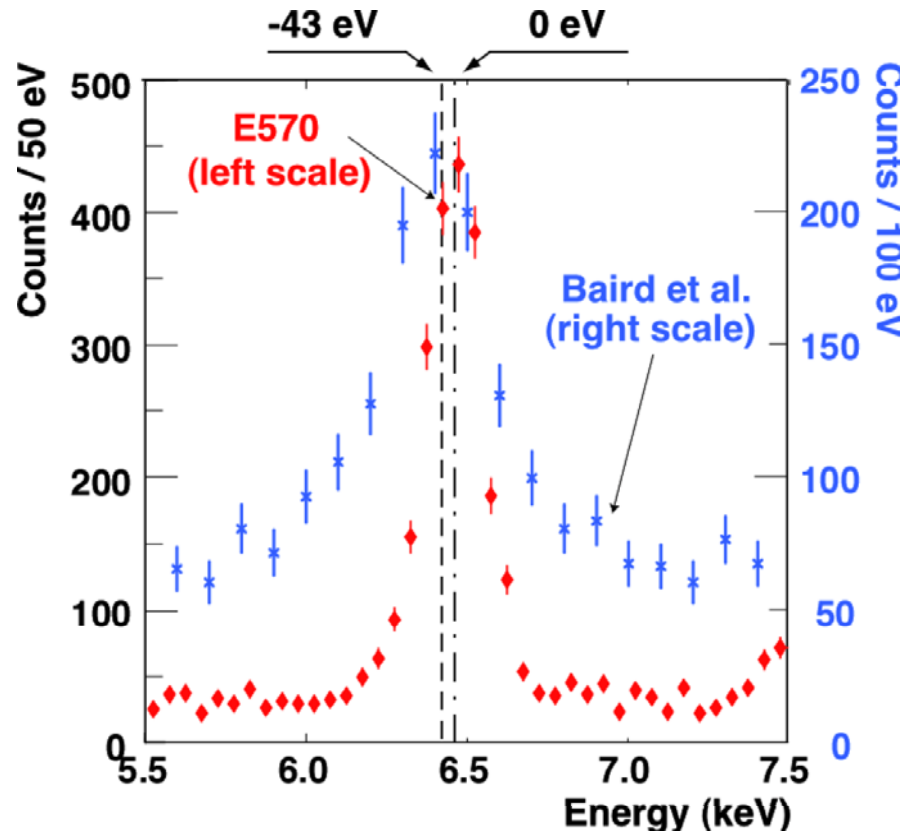
K<sup>-</sup>トリガー  
イベント

- 静止K選別
- タイミング  
カット



Energy  
calibration

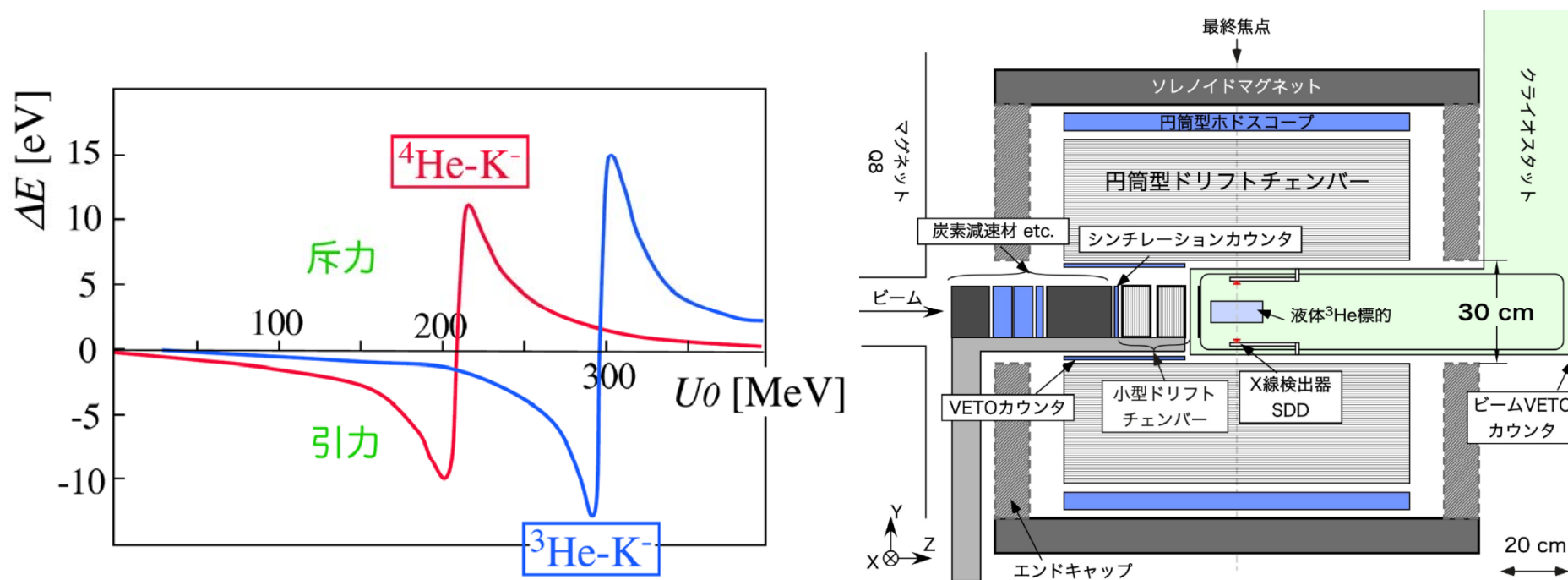
# E570の結果と過去の実験との比較



$$\Delta E_{2p} = 2 \pm 2 \pm 2 \text{ eV}$$

Phys. Lett. B653 (2007) 387

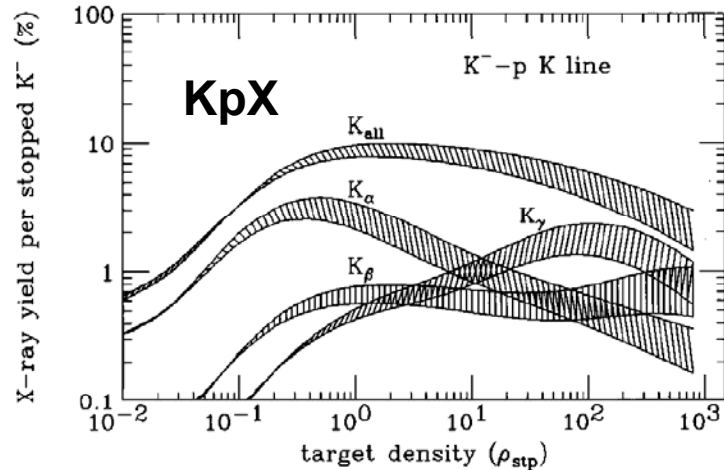
# E17 実験 K-<sup>3</sup>He 中間子原子 3d→2p X線



1/10 強度で 1月程度の測定で、 $\sim 2\text{eV}$  のピーク中心の決定精度  
Stage-2/DAY-1採択

# K-d 原子 2p → 1s X線の測定

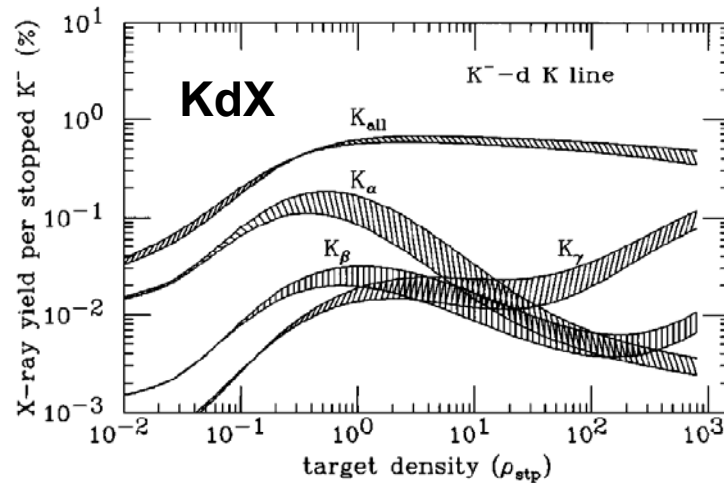
**K-n は Isospin=1 !**



ガス標的でのランが必須

静止 $K^-$ あたりの $2p \rightarrow 1s$  ( $K_{\alpha}$ )  
収量は陽子標的の場合(E228)と  
比較して約  $\sim 1/10$

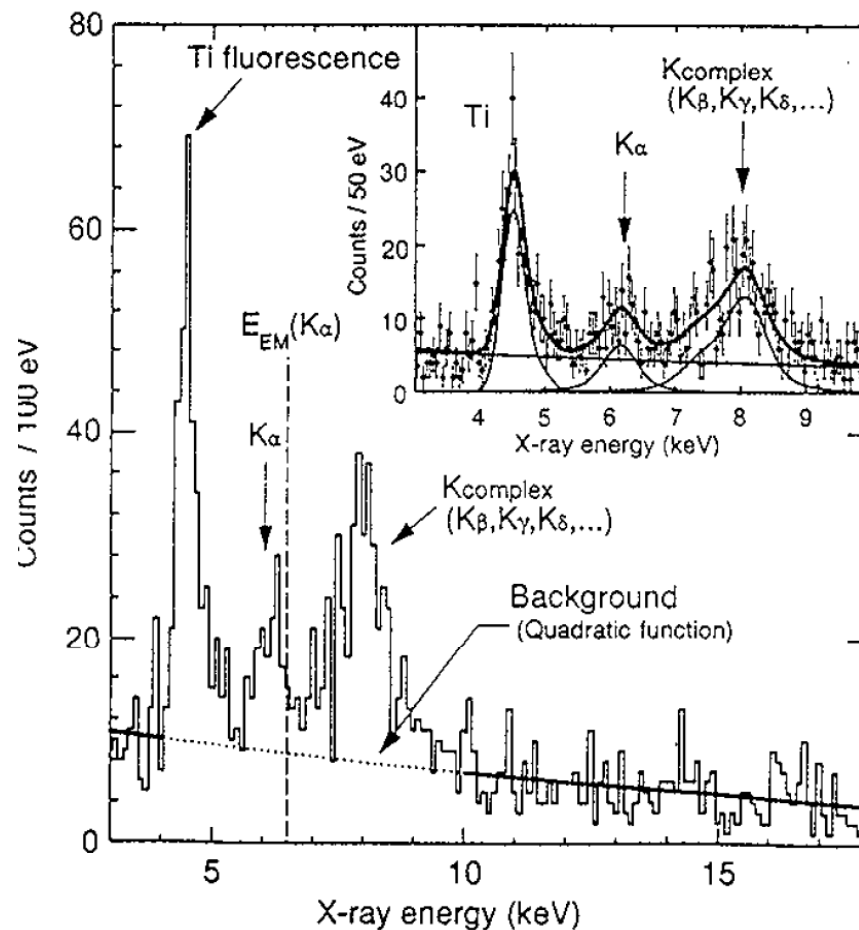
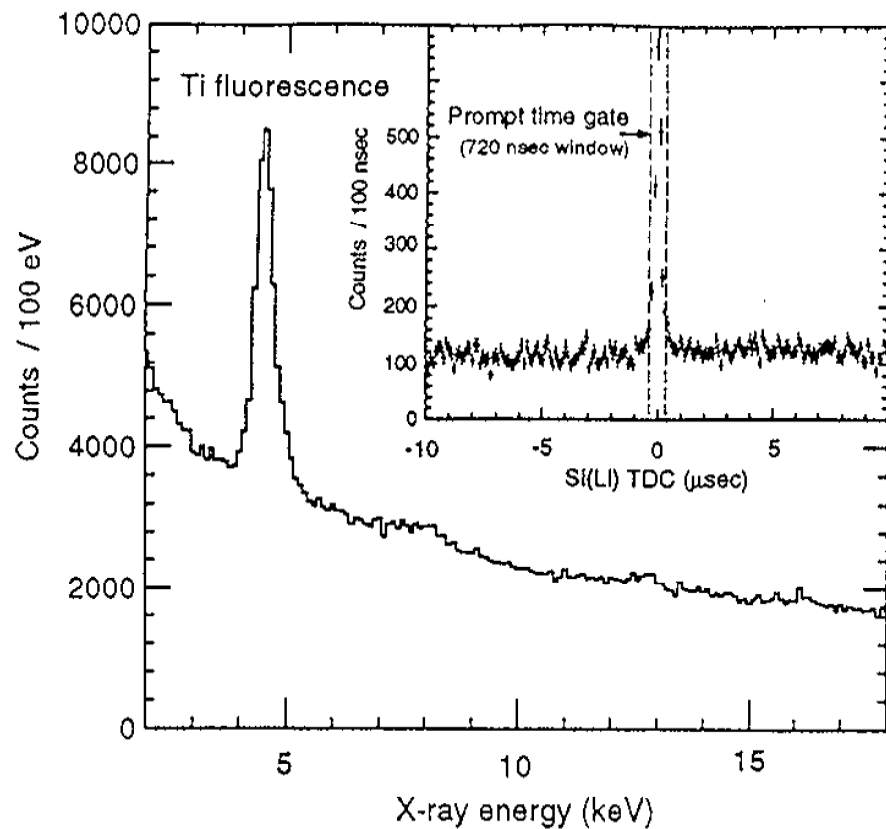
$K$ 中間子あたりでE570と比較すると、  
実に3桁落ちしかシグナルは来ない。



統計はJ-PARCの強度( $\times 20$ )とSDD( $\times 10$ )  
を敷きつめることでカバー可能だが、  
S/Nの悪化は、クリーンな同定で向上させる  
しかない。

T. Koike et al.  
PRC53 (1996) 79

## E228 残ったバックグラウンドはaccidental がメインではない



どんなに綺麗に静止K事象を選んでも、 $\gamma$ 線起因のBGが残る  
 $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$  あるいは  $\Sigma^0 \rightarrow \Lambda\gamma$

# KdX実験のアイデア(鈴木)

KpX がうまくいったのは... Two-charged  $\pi$ -tag

$$K^- p \rightarrow \Lambda \pi^0 \quad \Lambda \rightarrow p + \pi^-$$

$$\rightarrow \Lambda \pi^0 \quad \Lambda \rightarrow n + \pi^0$$

$$\rightarrow \Sigma^+ \pi^- \quad \Sigma^+ \rightarrow n + \pi^+$$

$$\rightarrow \Sigma^+ \pi^- \quad \Sigma^+ \rightarrow p + \pi^0$$

$$\rightarrow \Sigma^0 \pi^0 \quad \Sigma^0 \rightarrow \Lambda + \gamma$$

$$\rightarrow \Sigma^- \pi^+ \quad \Sigma^- \rightarrow n + \pi^-$$

基本的に同じアイデアが KdXでも採用可能  
ただし

$$K^- n \rightarrow \Sigma^0 \pi^- ; \Sigma^0 \rightarrow \Lambda \gamma ; \Lambda \rightarrow p + \pi^-$$

があるので、 $\pi^+ + \pi^-$  の違う電荷の2 $\pi$ を要請する必要あり

E15のCDS

磁場印加して使用

SDDを~50個程度にまで増設; J-PARC Full intensity で1シフト2個程度確保可能

Thank you very much



どれか一緒にやりませんか??