

2007年11月28日(水) 特定領域研究会2007@秋保

J-PARCにおける

K中間子ヘリウム3原子X線分光実験の現状

理研 岡田 信二

for J-PARC E17 collaboration

J-PARC E17 Collaboration

G.Beer^a, H.Bhang^b, P.Buehler^c, M.Cargnelli^c, 千葉順成^d, S.Choi^b,
C.Curceanu^e, 藤原裕也^f, 福田芳之^f, C.Guaraldo^e, 花木俊生^d, 早野龍五^g,
A.Hirtl^c, 飯尾雅実^h, M.Iliescu^e, 石川隆^g, 石元茂ⁱ, 石渡智一^c, 板橋健太^h, 岩崎雅彦^{f,h},
P.Kienle^c, J.Marton^c, 松田恭幸^h, 大西宏明^h, 岡田信二^h, 應田治彦^h, D.Pietreanu^e,
佐久間史典^h, 佐藤将春^f, D.Sirghi^e, F.Sirghi^e, 鈴木祥仁ⁱ, 鈴木隆敏^h, 竜野秀行^g,
友野大^h, E.Widmann^c, 山崎敏光^{g,h}, H.Yim^b, J.Zmeskal^c

^a ヴィクトリア大学(カナダ)

^b ソウル大学(韓国)

^c ステファンマイヤー研究所 (オーストリア)

^d 東京理科大学

^e LNF-INFN (イタリア)

^f 東京工業大学

^g 東京大学

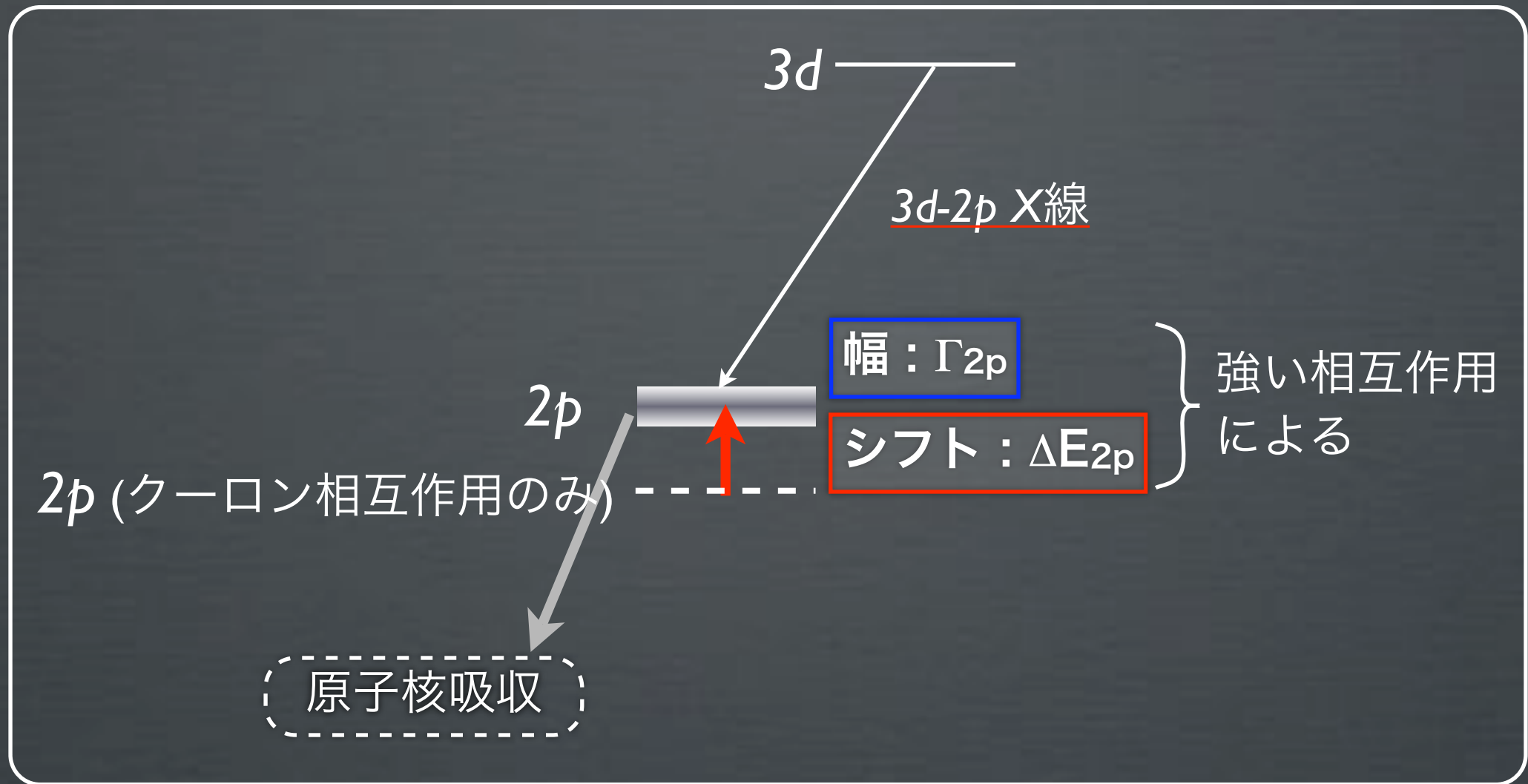
^h 理化学研究所

ⁱ 高エネルギー加速器研究機構

何を測定するか

K中間子ヘリウム3原子X線エネルギー

K中間子ヘリウム原子



強い相互作用による
エネルギーシフトと幅を測定

動機

赤石氏による Coupled Channel 計算

$\pi^- + {}^4_{\Sigma}\text{He}(\text{H})$ へのカップリング

Diagonal term : $U_D(r) = -U_0 F(r)$

Coupling term : $U_C(r) = -U_{coupl} F(r)$

$$\{ -(\hbar c)^2 \nabla^2 + 2\mu c^2 (V_c + U_D - \epsilon) - (V_c - \epsilon)^2 \} \Psi + 2\mu c^2 U_C \Phi = 0$$

$$\{ -(\hbar c)^2 \nabla^2 + 2\mu' c^2 (Q - \epsilon) - (Q - \epsilon)^2 \} \Phi + 2\mu' c^2 U_C \Psi = 0$$

$$Q = M_{{}^4_{\Sigma}\text{He}} c^2 + m_{\pi^-} c^2 - M_{\text{He}} c^2 - m_{\text{K}^-} c^2$$

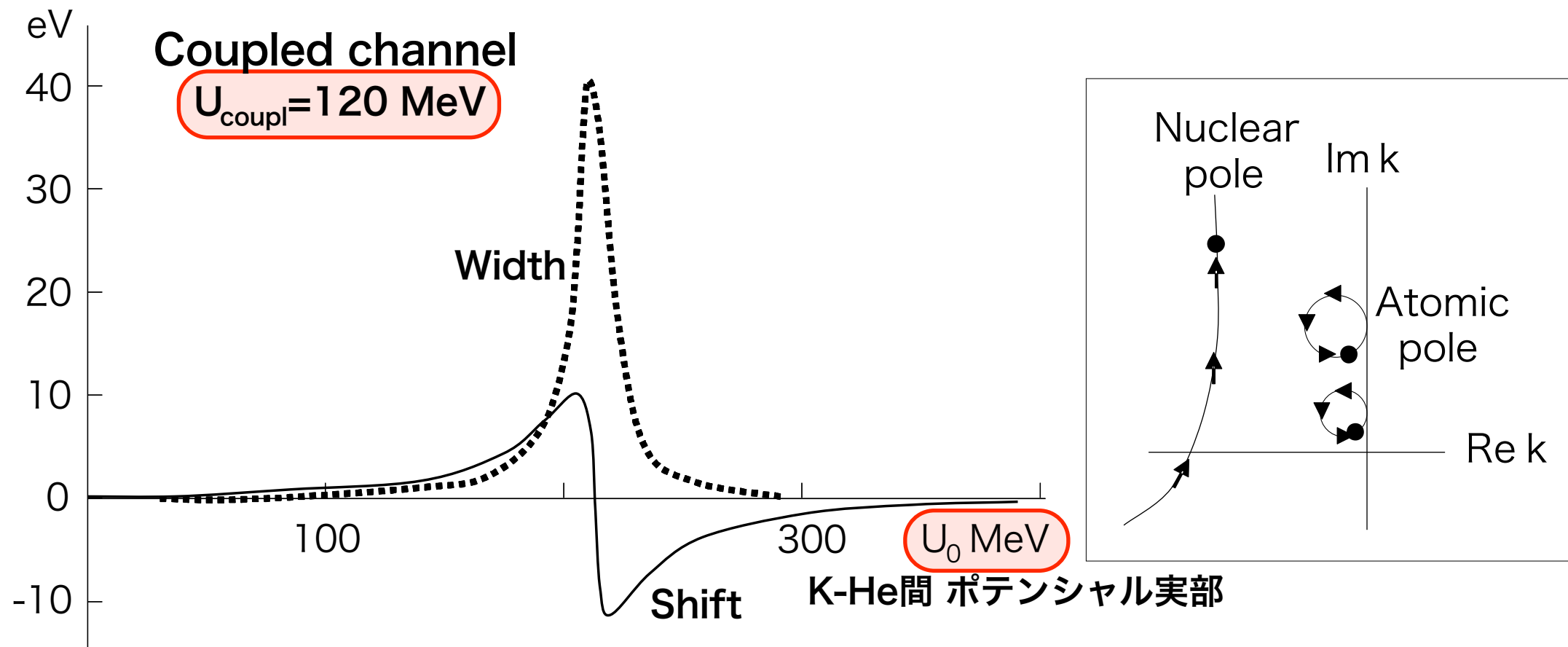
Y. Akaishi, EXA05

➡ K-³He 及び K-⁴He 2pレベルのシフトと幅を計算

Nuclear pole が Atomic pole に近づくと 原子レベルに振れを与える

for K-⁴He atom

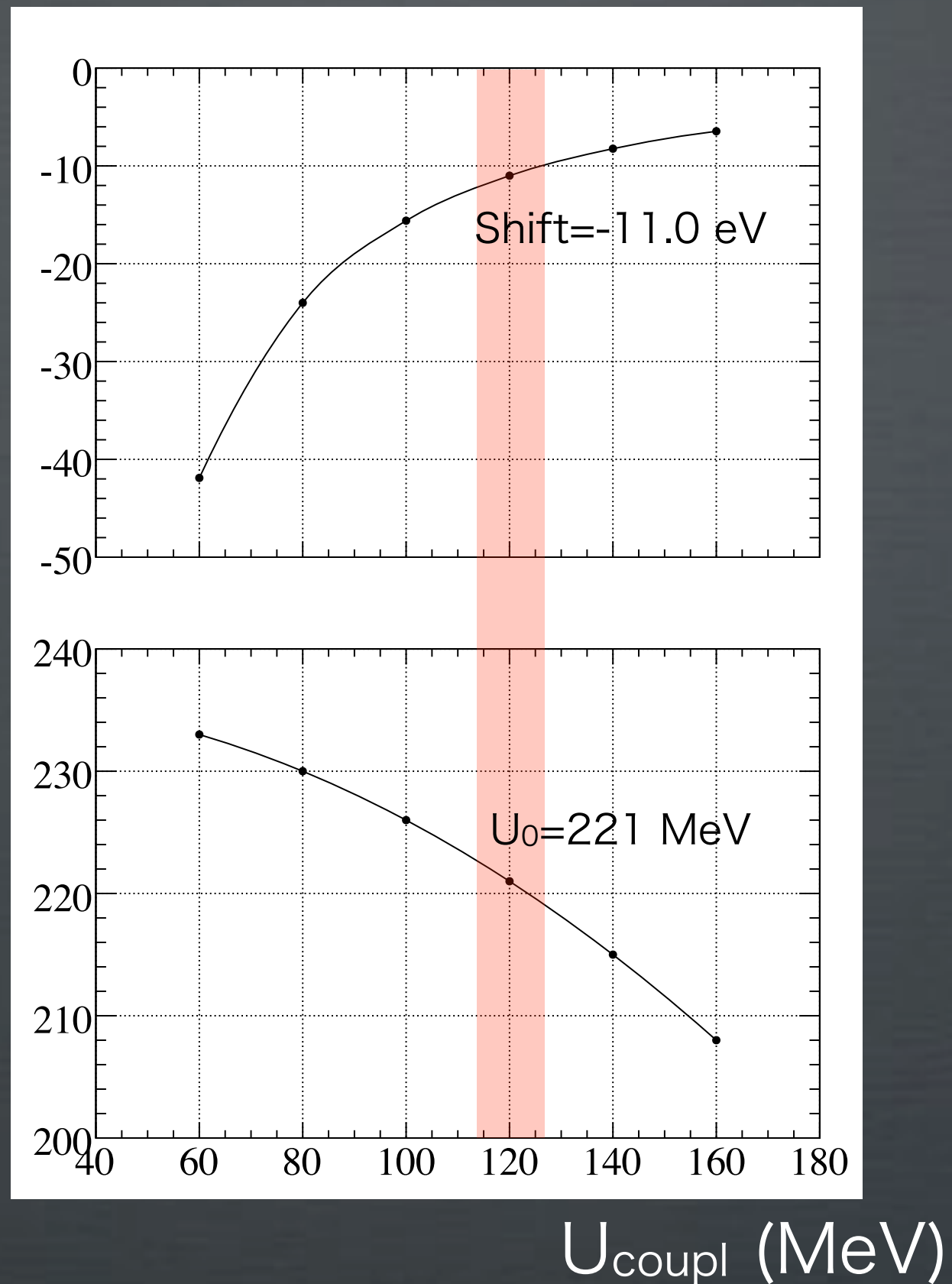
2pレベルのシフトと幅



2pレベルに巨大シフトの可能性
(upward巨大シフト--> p波K核の存在)

シフトの最大値 (U_{coupl} の関数として)

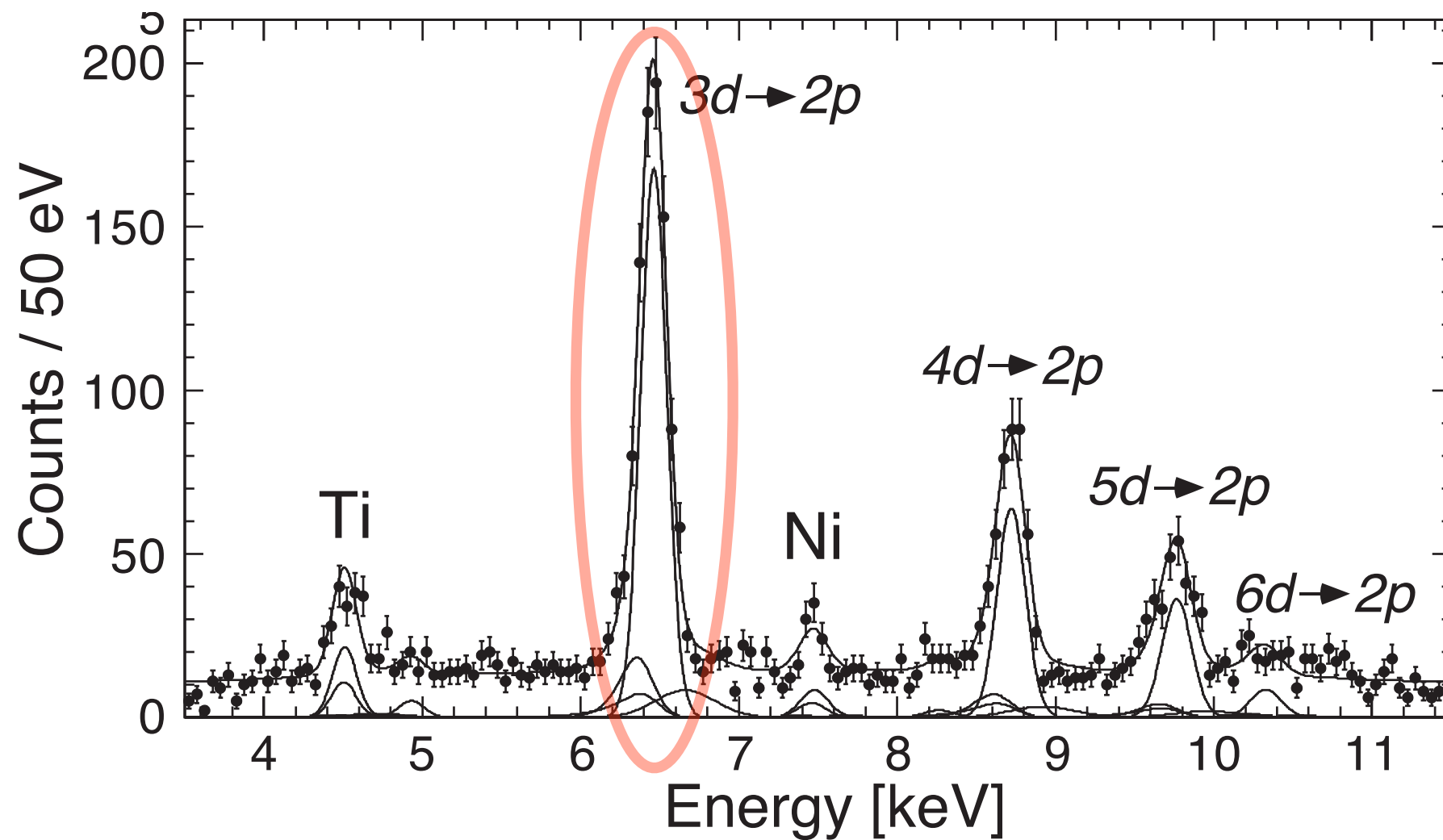
シフトの最大値 (eV)
 U_0 (MeV)



K-⁴He X線測定 @ KEK

KEK-PS E570 実験 → Published

Phys. Lett. B 653 (2007) 387

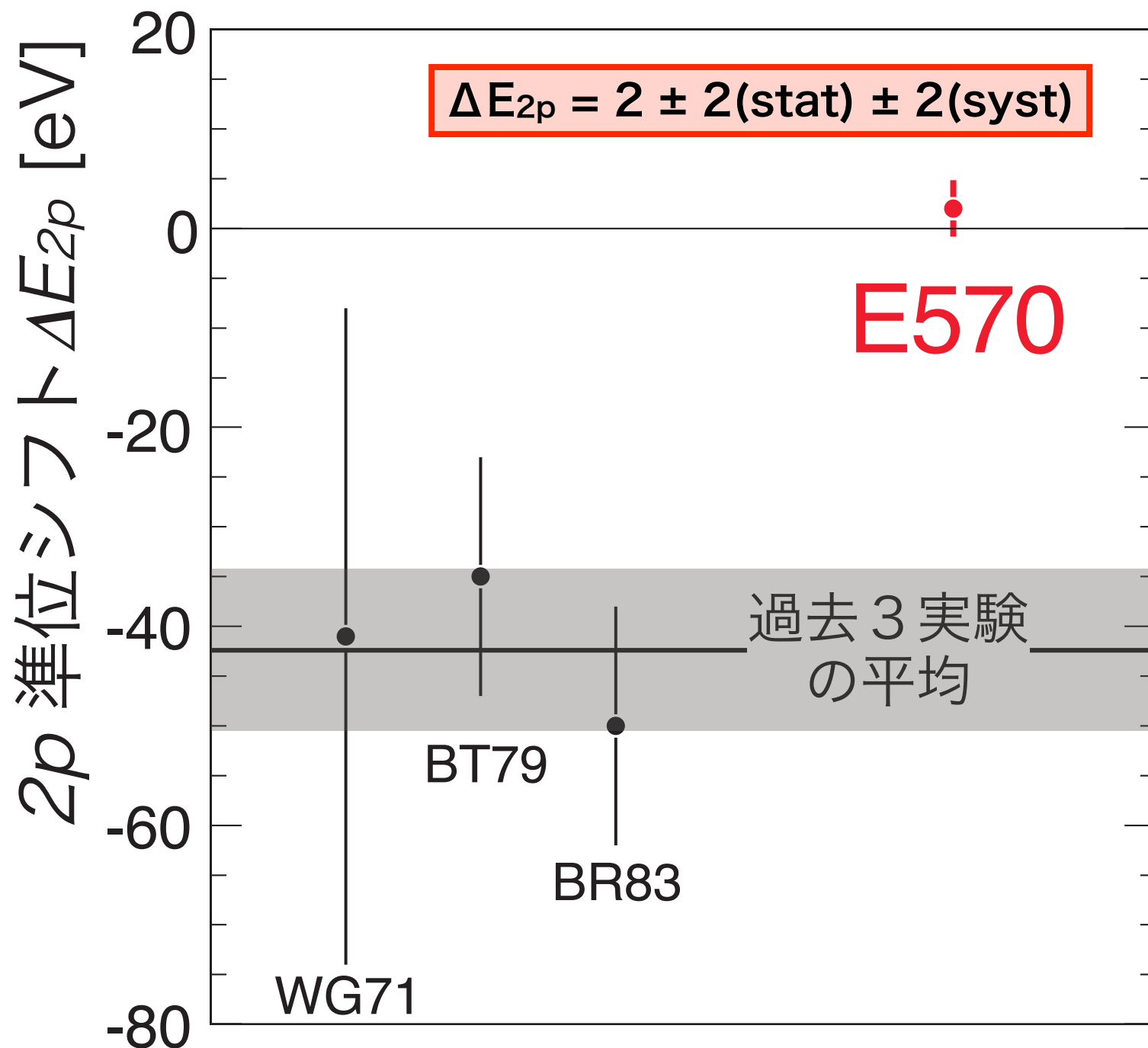


Available online 17 August 2007

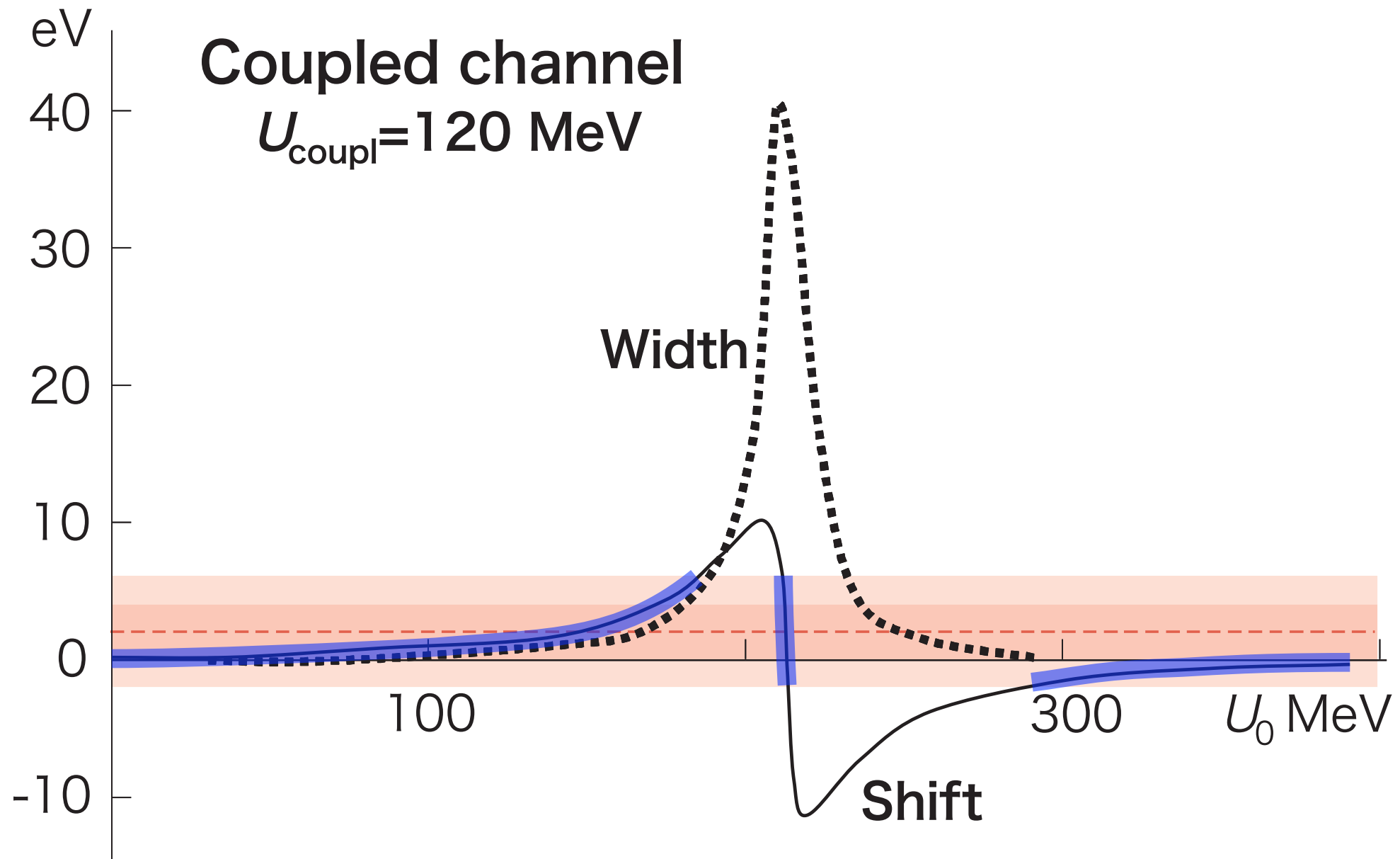
Editor: V. Metag

KEK-PS E570 実験 → Published

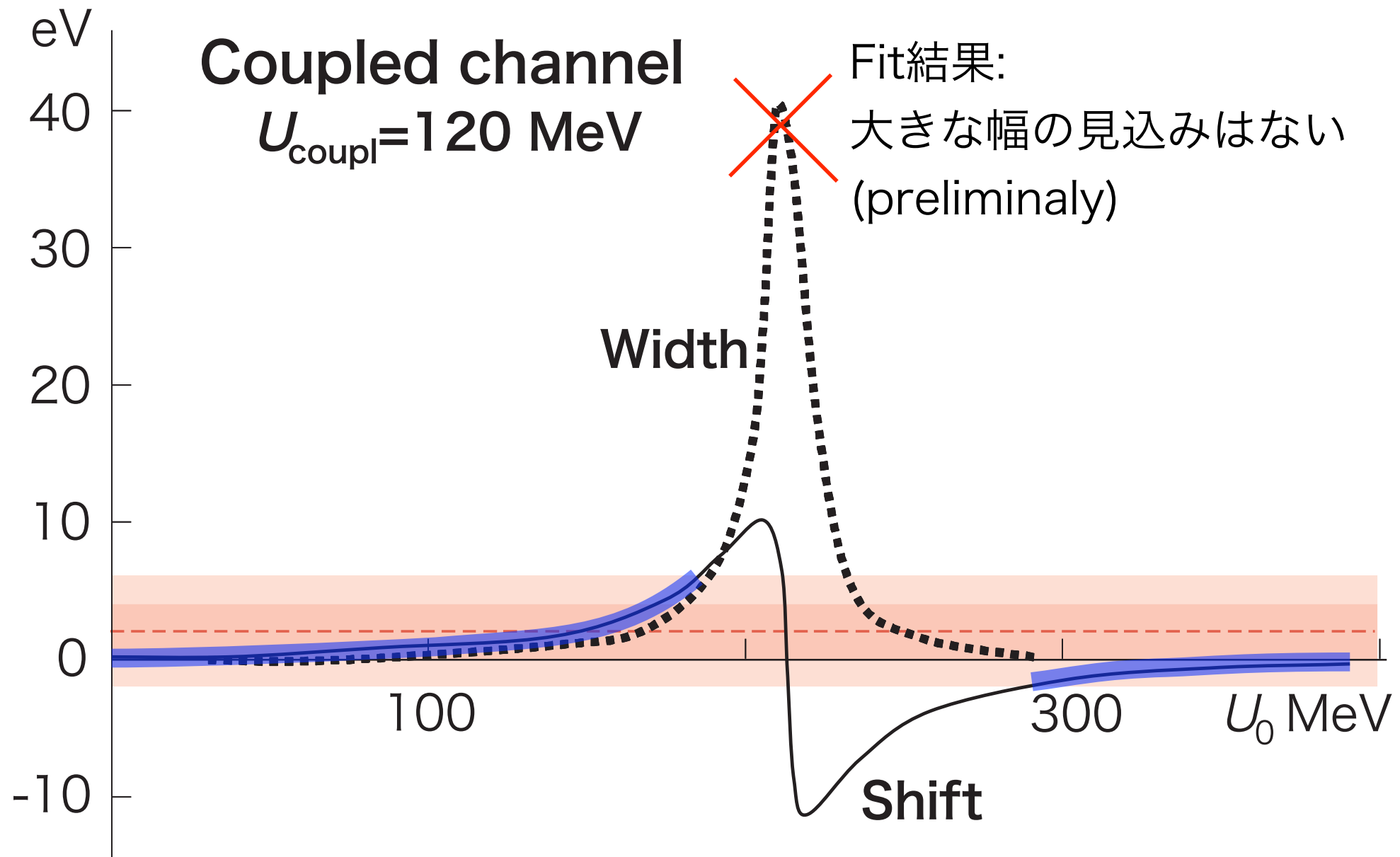
Phys. Lett. B 653 (2007) 387



赤石計算との比較



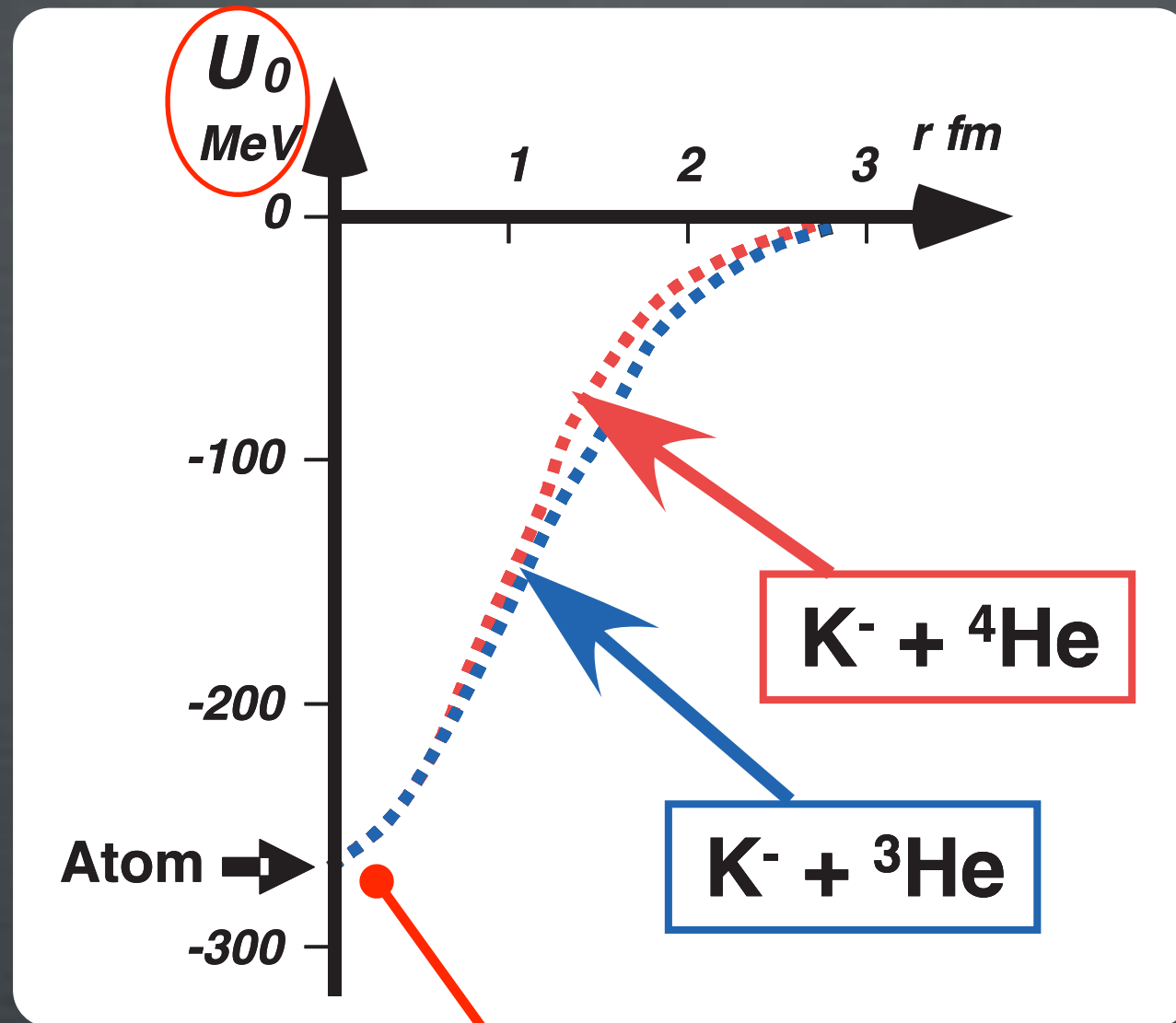
赤石計算との比較



アイソスピン依存性

K-⁴He と K-³He

K-He間の強相互作用ポテンシャル実部



- KN int. $l=0$ が引力
→ $K^3\text{He}$ が1.5倍強
- ${}^3\text{He}$ の核子密度低い効果・
reduced mass小さい効果
→ $K^4\text{He}$ が1.5倍強
→ 打ち消される

U_0 : K - ${}^4\text{He}$, K - ${}^3\text{He}$ でほぼ同じ!

E15とは異なった角度からの K中間子深束縛状態の存在/性質の究明

赤石・山崎の計算：K中間子の深い束縛状態を予言

K-^{3,4}He間の(強い相互作用の)ポテンシャル実部

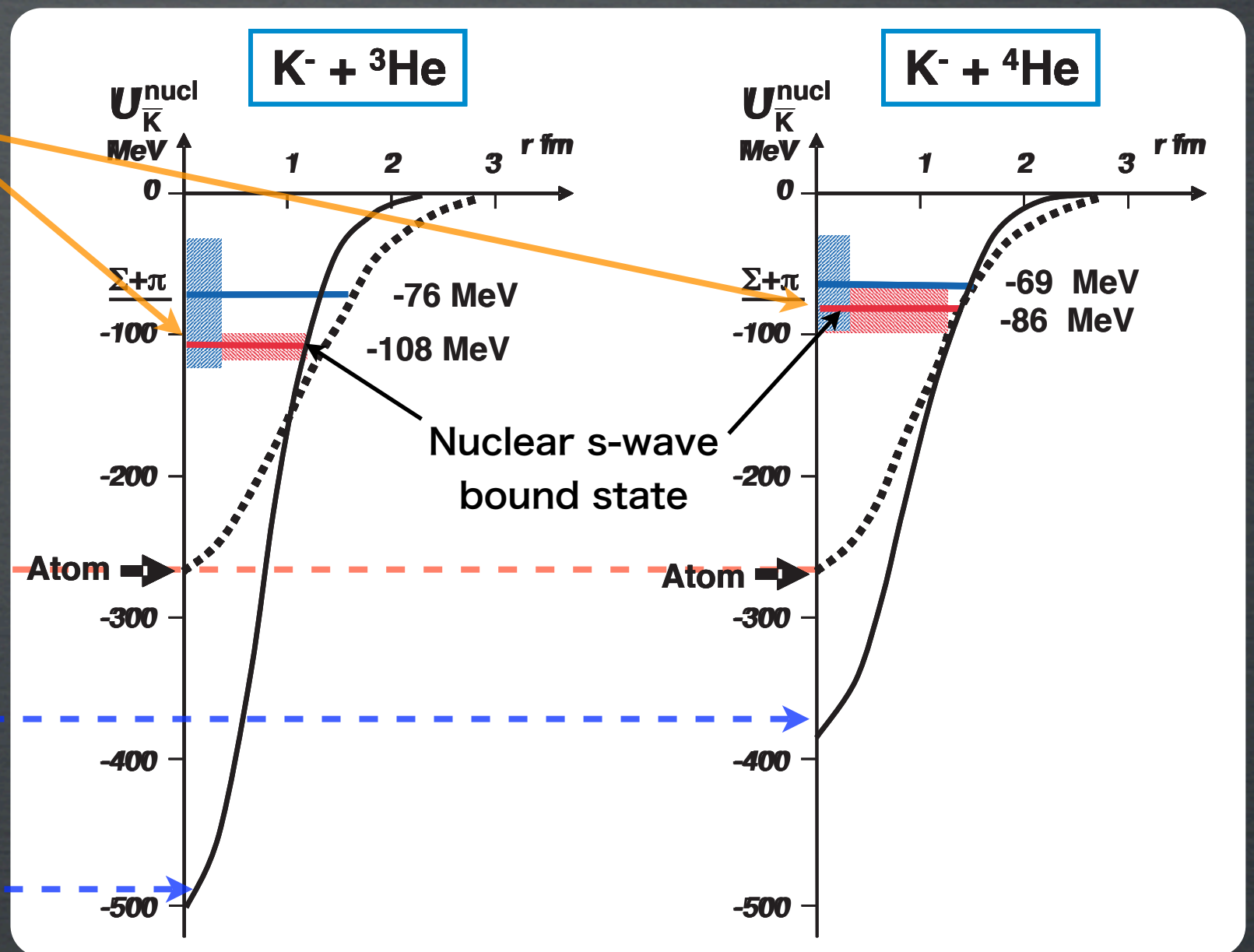
深く束縛された状態は
核子のコアを収縮させる

Atom

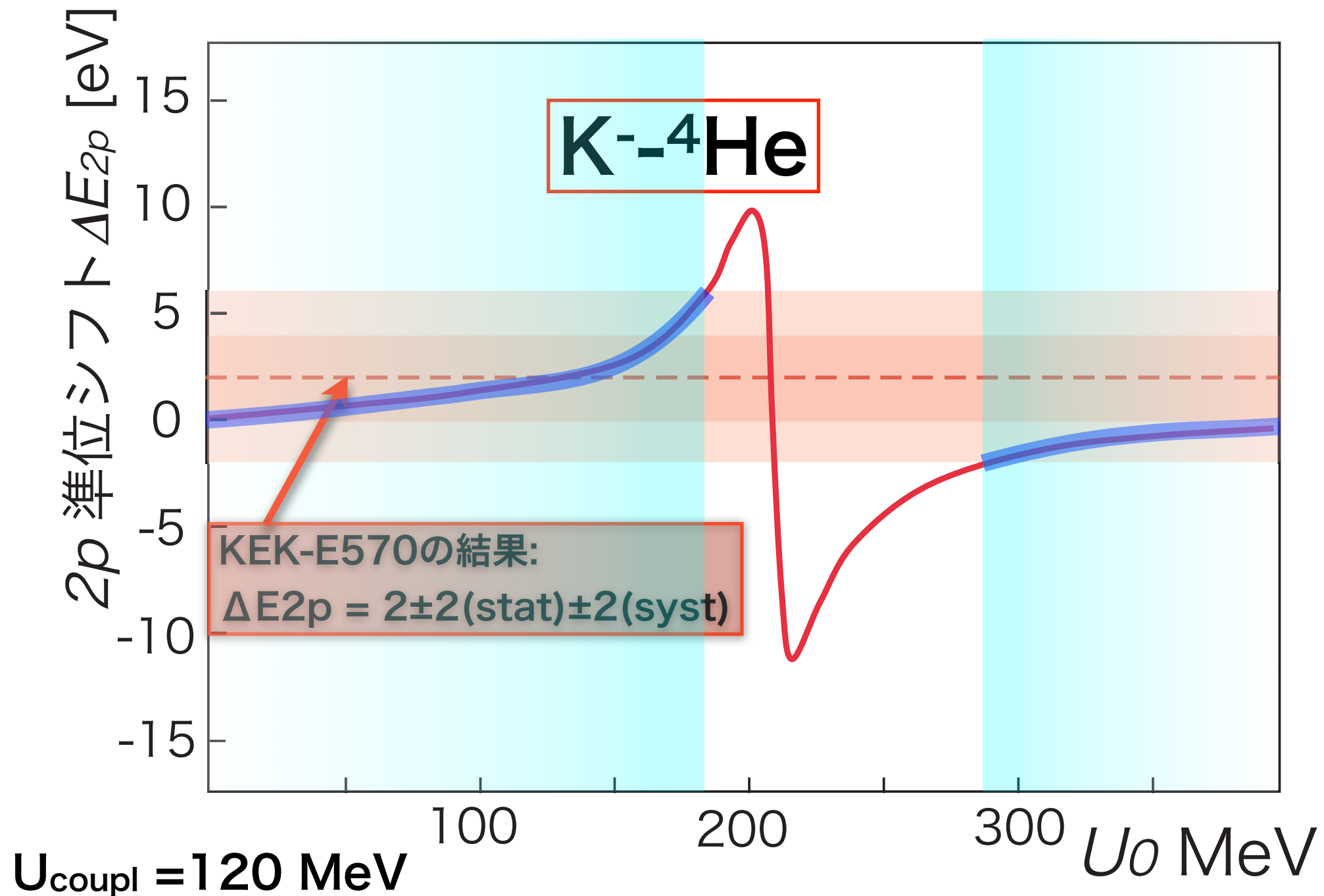
Unchanged
nucleon core

Nucleus

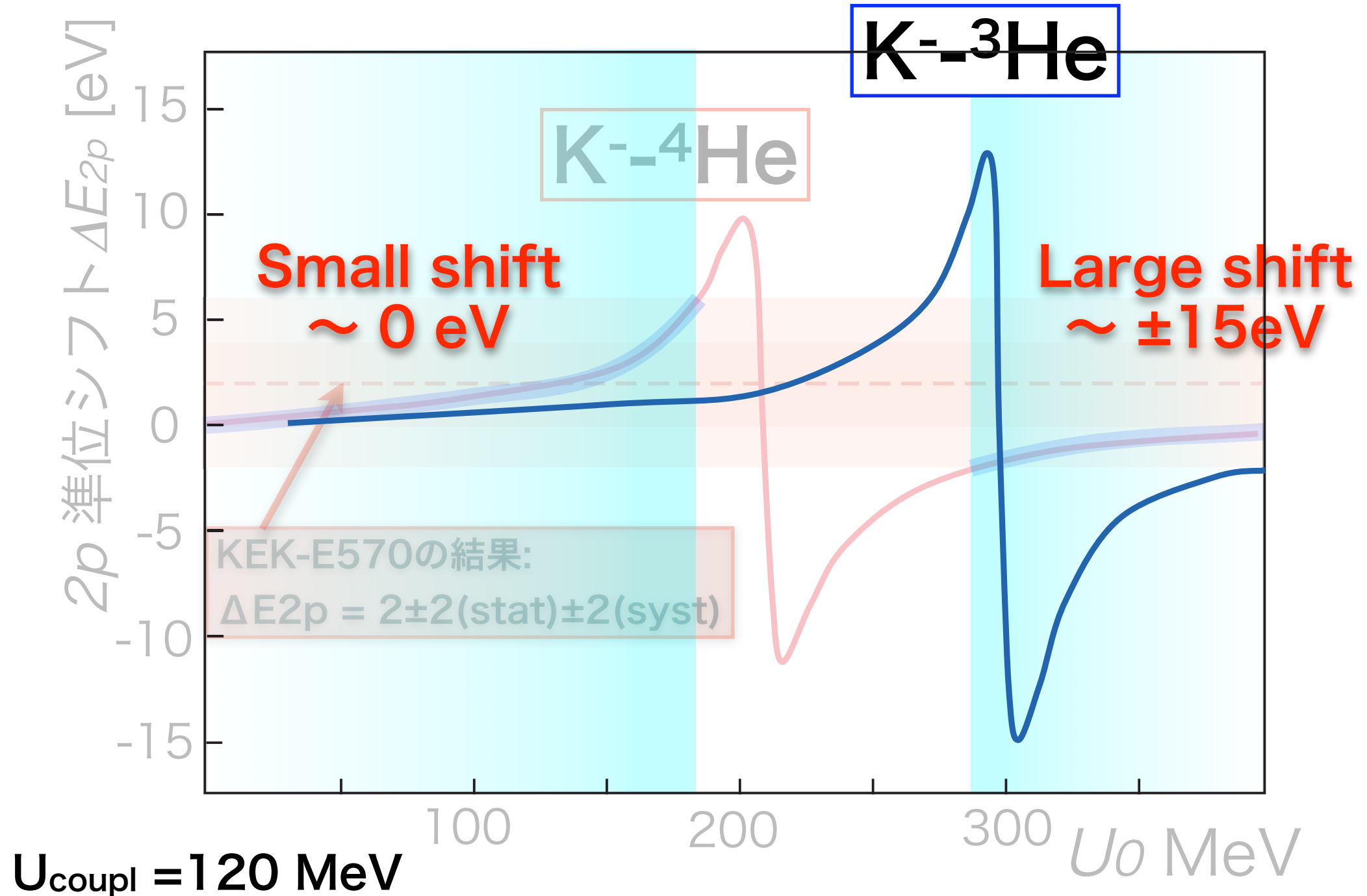
Shrunk
nucleon core



赤石計算：アイソスピン依存性



赤石計算：アイソスピン依存性



K-³He X線測定 @ J-PARC

J-PARC E17 : 目的

K中間子ヘリウム3原子の最終軌道(2p)のシフトを
~2eVの精度で決定すること



- K-⁴Heの結果(E570)及び理論(赤石計算)との比較：
 - ▶ K-ヘリウム間のポテンシャルの深さ
 - ▶ K中間子原子核の存在
- シンプルな系における、K中間子-原子核間の強い相互作用のアイソスカラー/ベクター部に関する新たな知見

実験手法

2. 標的内静止事象の選択 (Fiducial Volume Cut)

円筒形ドリフト
チェンバー(CDC)

二次荷電粒子

小型ドリフトチェンバー

K中間子ビーム

π 中間子

X線

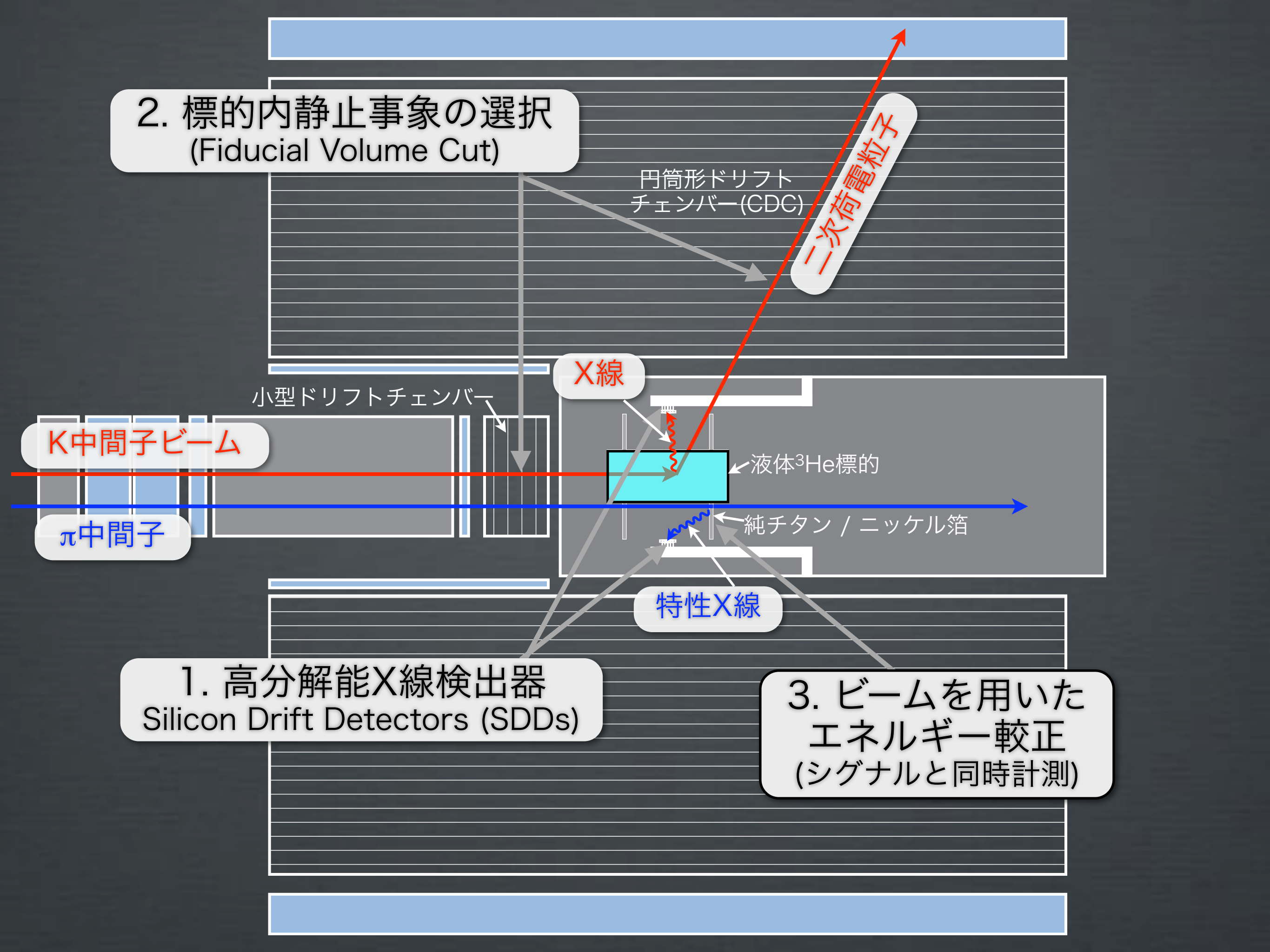
液体 ^3He 標的

純チタン / ニッケル箔

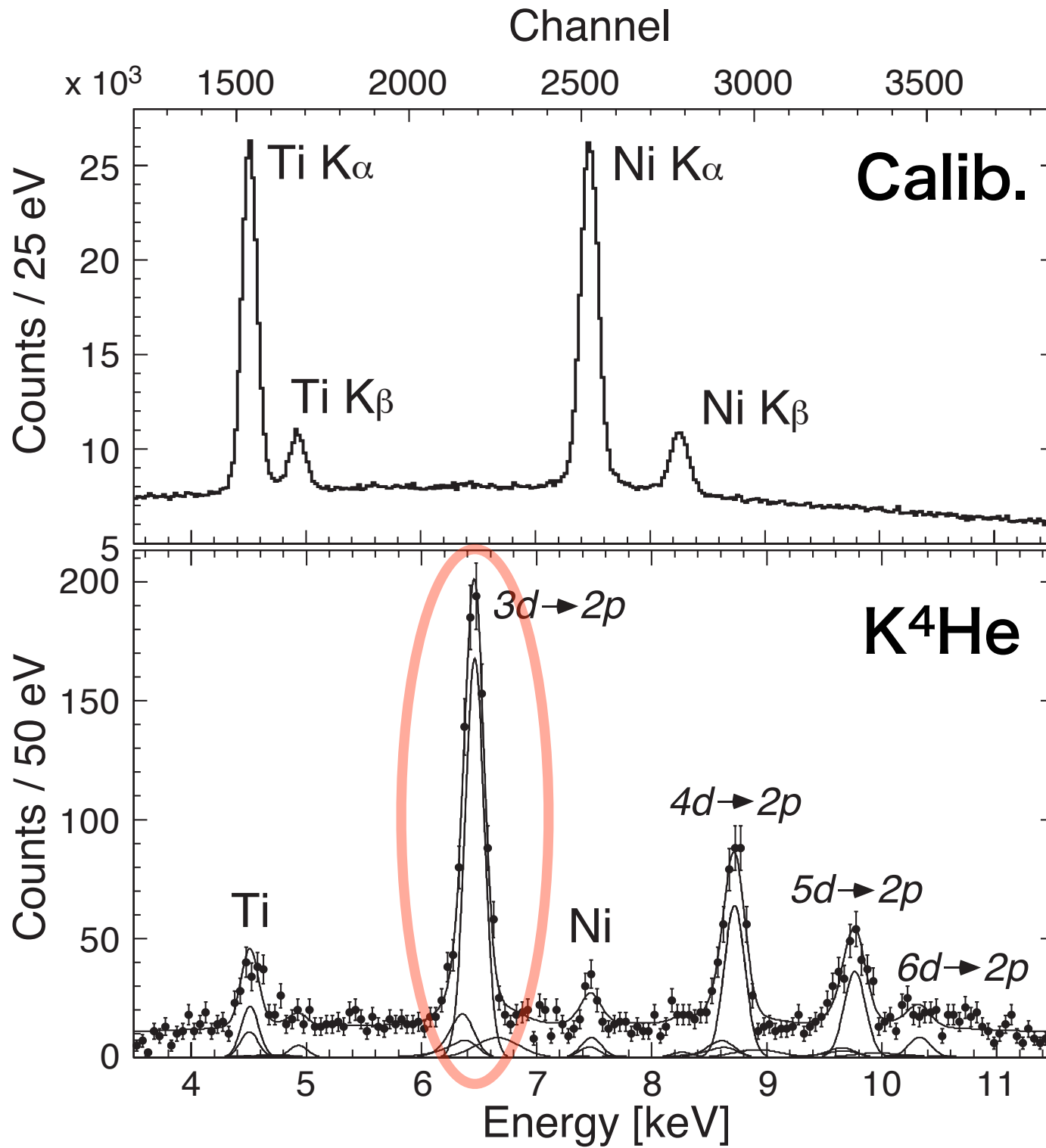
特性X線

1. 高分解能X線検出器
Silicon Drift Detectors (SDDs)

3. ビームを用いた
エネルギー較正
(シグナルと同時計測)



先行実験E570の結果



2. 標
(F)

K中間子ビー

π 中間子

1.
Silico

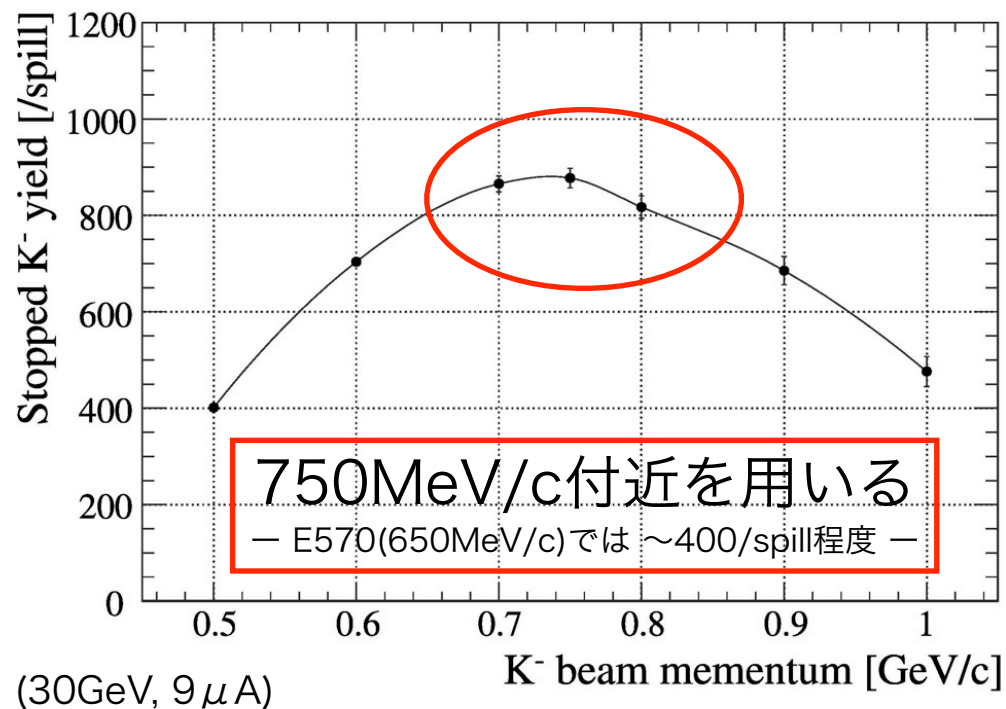
ル箔

を用いた
ギ一較正
と同時計測)

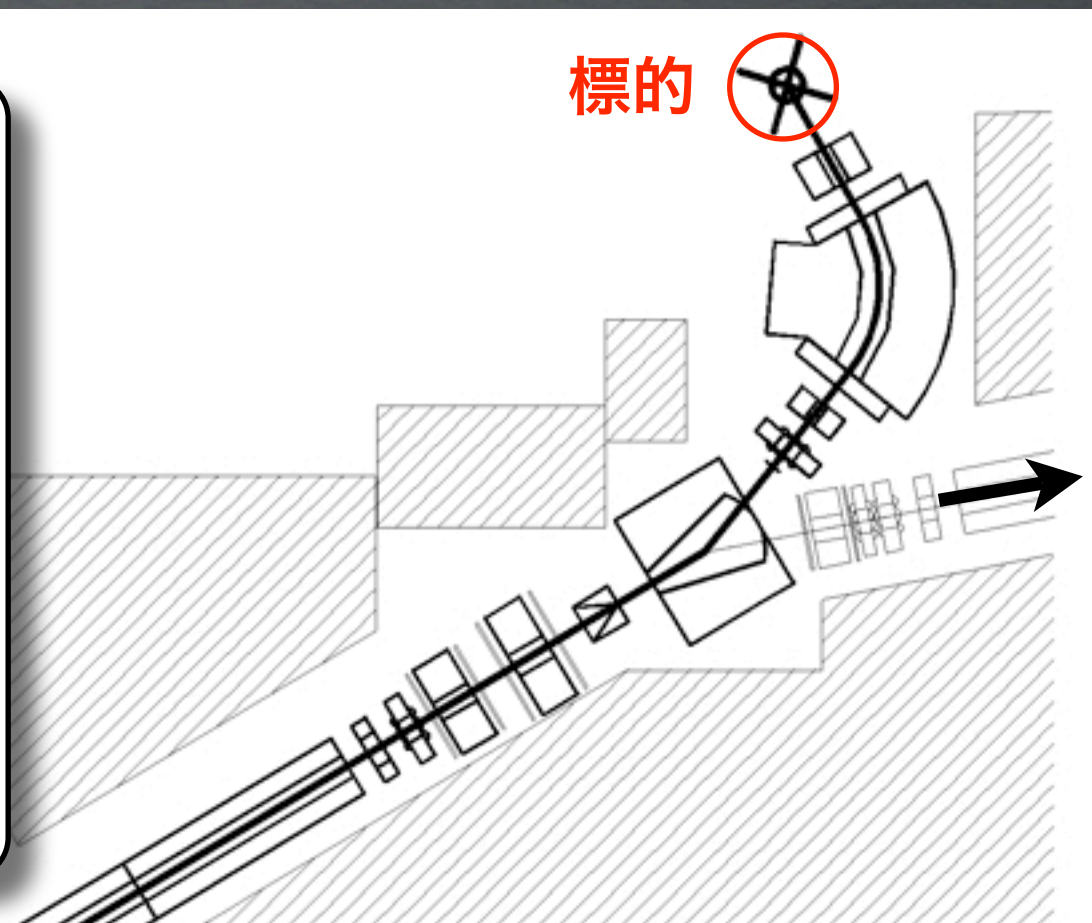
ビームライン

K1.8BR ビームライン

スピル当たりの静止K-収量
(TURTLE + Sanford-Wang)



標的



K1.8

最大運動量	[GeV/c]	1.1
ビームラインの長さ	[m]	27.573
アクセプタンス	[msr·%]	2.5
運動量バイト	[%]	± 2.5
K^- 強度 [/スピル]	@ FF	0.19×10^6
K/π 比	@ FF	12.6

実験装置

磁場印加について

本実験E17の観点からは、CDS磁場印加は必ずしも必須でない。

利点 (静止K実験において)

for E17

▶ 磁場収束効果による収量増加 : ^3He 標的体積は、前実験(E570)の1/10と小さい為、減速材から出てきた広がったKビームを効果的に静止？

→ 入射K螺旋軌道をトラック。(曲げ半径から運動量測定も可?)

for E15

▶ CDSの運動量解析の較正 : 静止K反応からのモノクロ μ を使用

for others

▶ 今後 CDSを磁場印加して用いる多くの実験においても有用

R & D

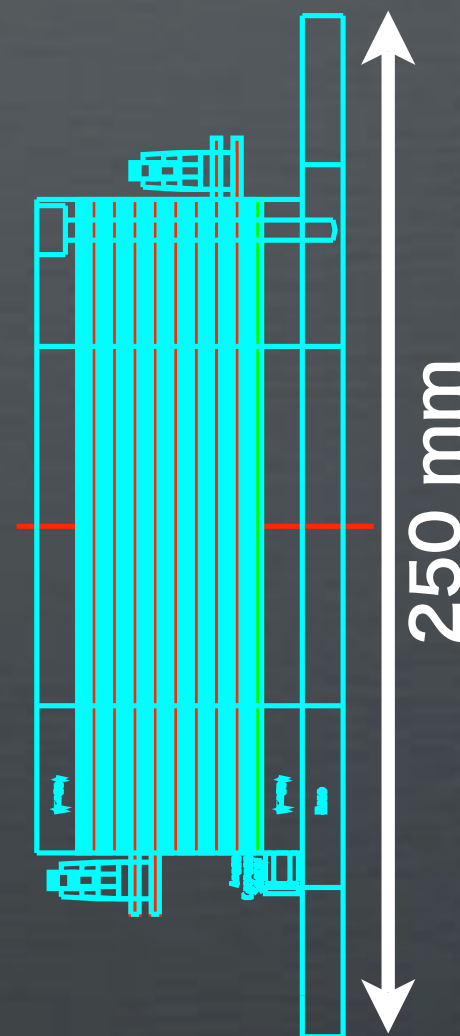
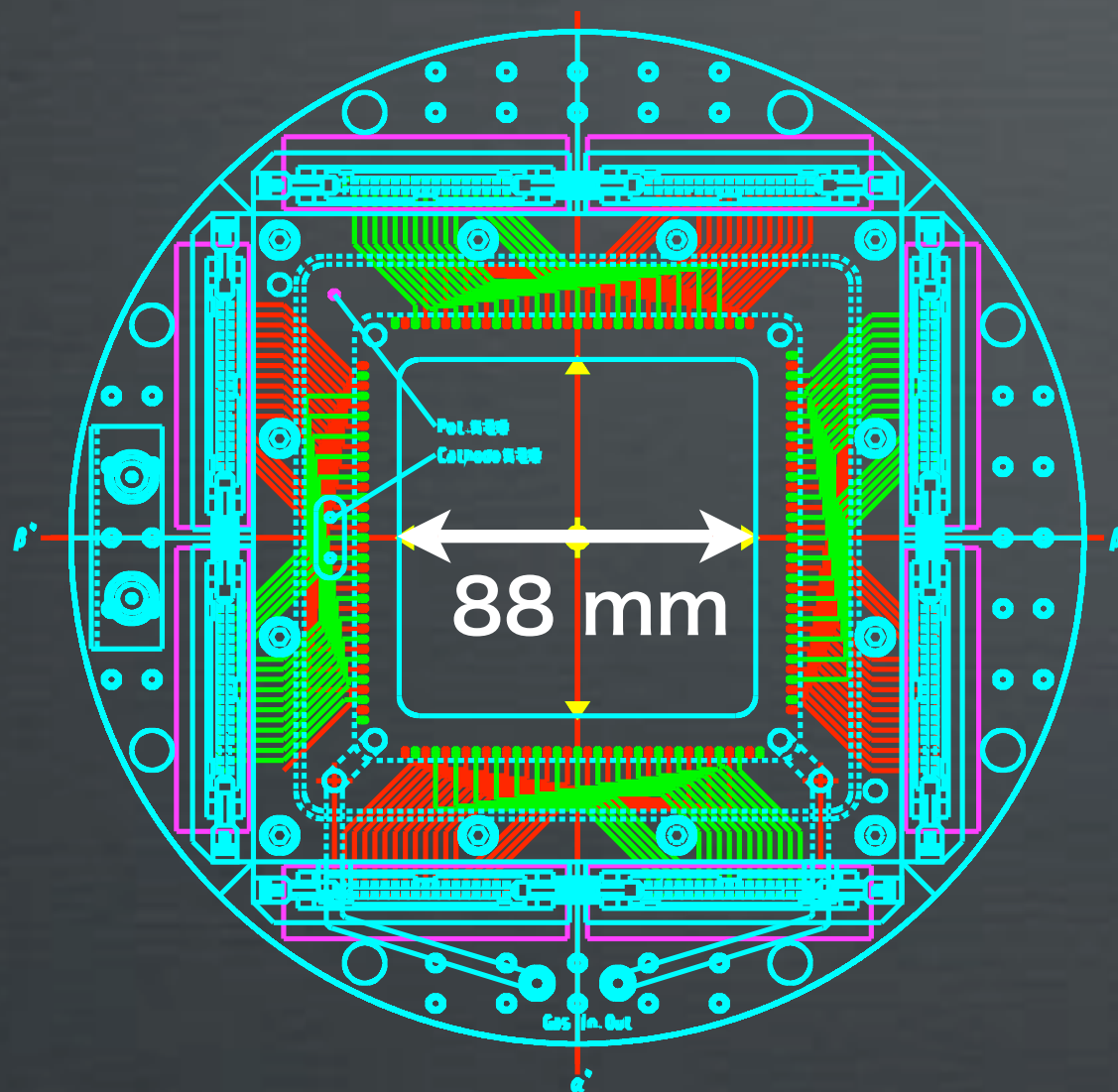
- ▶ SDDの磁場中動作
- ▶ 入射粒子識別用カウンタ群の磁場動作 (シンチ・ルサイト)
- ▶ 入射Kの(螺旋)飛跡検出チェンバーの開発

小型ビームラインチェンバー

CDC及びマグネットエンドキャップの穴：300 mmφ

円筒型VETOカウンタとCDSケーブル引出用スペース：250 ~ 300 mmφ

→ 250 mmφ以内に収める



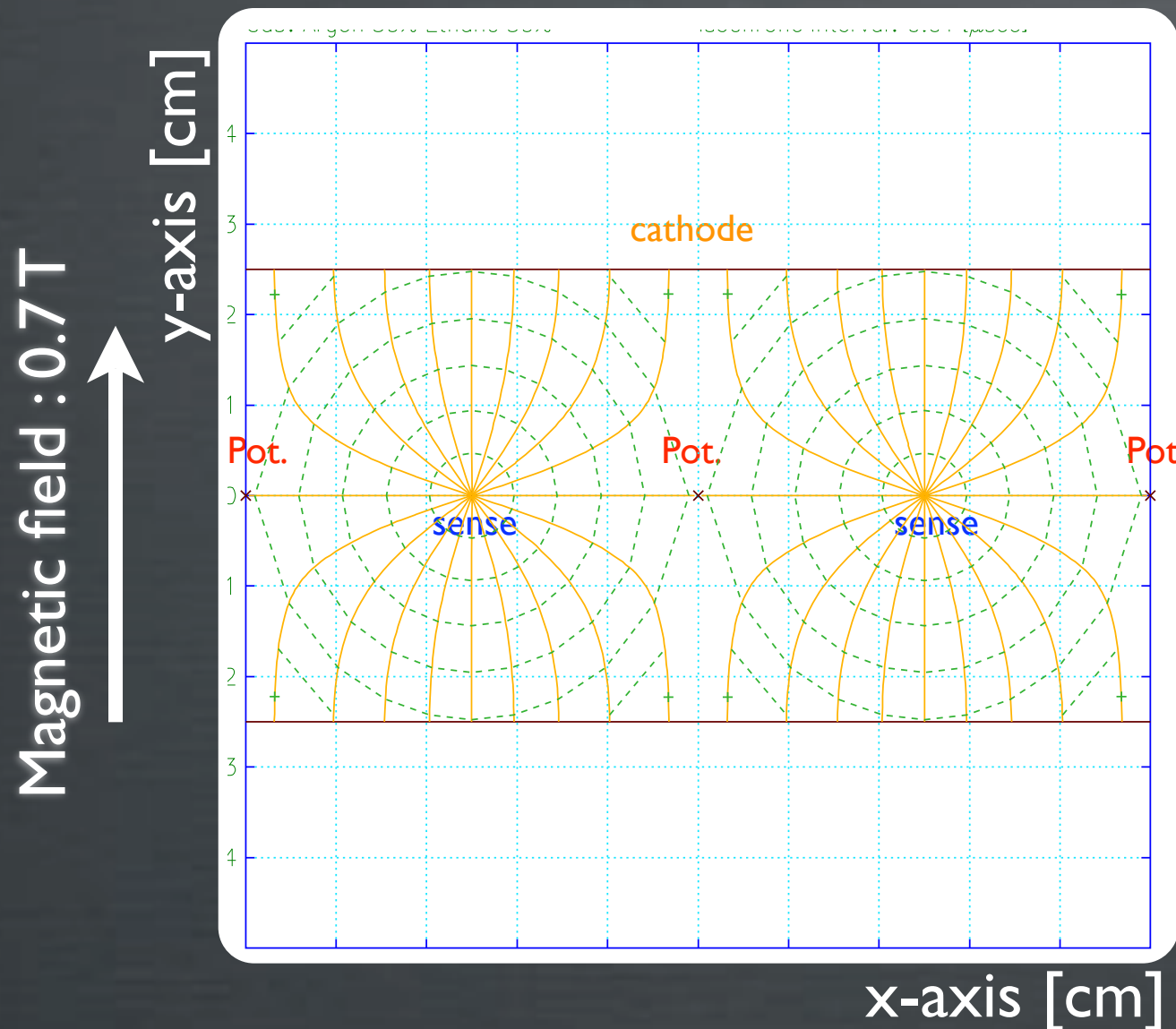
- 2.5mmピッチ
- 16センスワイヤ/1面
- 有効面：80 x 80 [mm²]
- 8面 (XX' YY' XX' YY')
- 非磁性の部品を使用

→ 制作中

磁場による影響

with GARFIELD

Positron drift lines from a wire



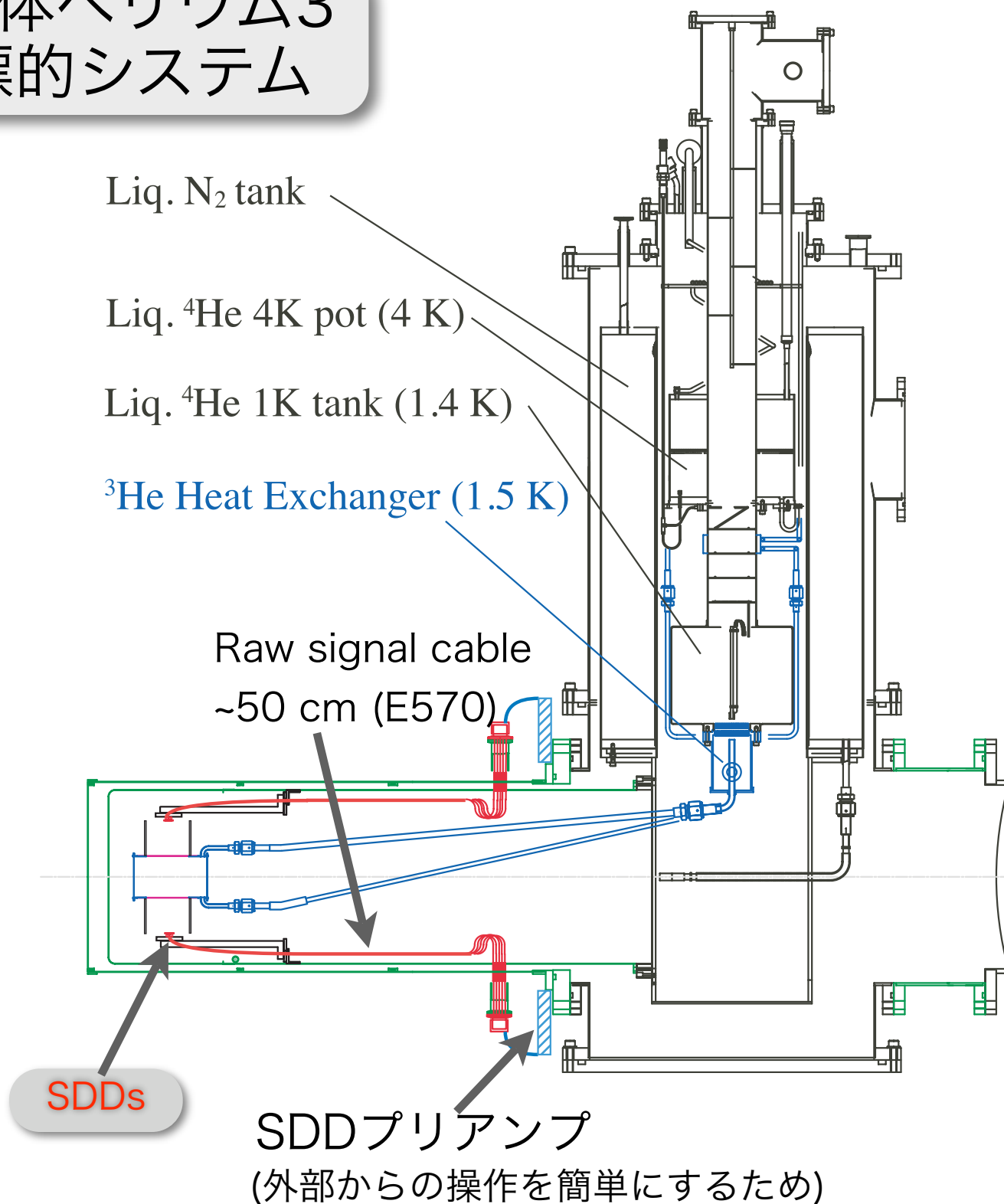
Minimum drift time :
200 [ns/cm] for 0 T
210 [ns/cm] for 0.7 T



Difference of the drift time for 0
and 0.7 Tesla was ONLY ~5 %.

プリアンプを真空容器内部へ

液体ヘリウム3
標的システム



低ノイズ

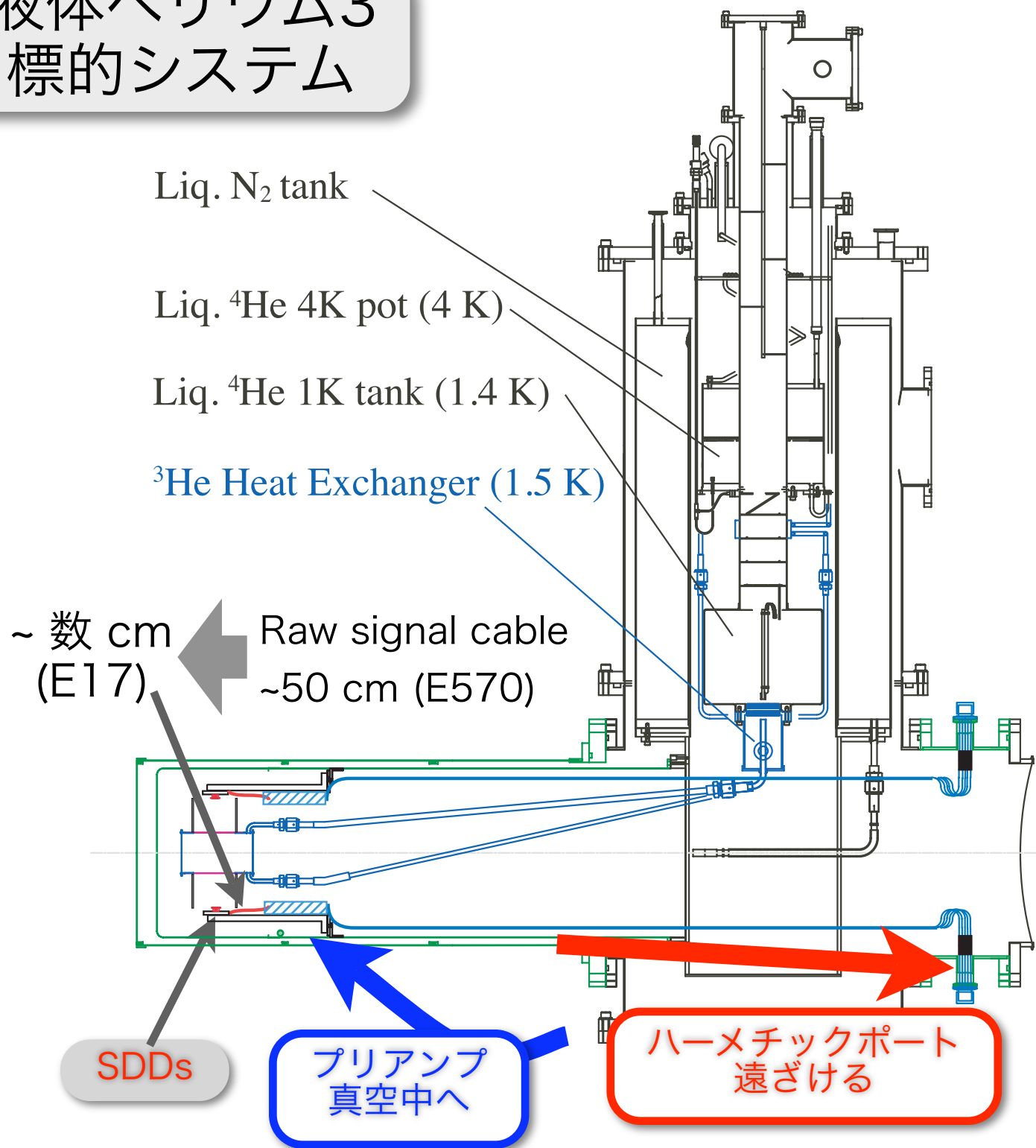
✓ 微弱なシグナルの引き回し距離が減る
(~50 cm (E570) → ~数 cm (E17))
⇒ 低ノイズ ⇒ 安定した良い分解能

ポートからの熱流入減

✓ SDDシグナルの取出口を標的から遠ざけることが可能 ⇒ 標的への熱流入減

プリアンプを真空容器内部へ

液体ヘリウム3 標的システム



低ノイズ

✓ 微弱なシグナルの引き回し距離が減る
(~50 cm (E570) → ~数 cm (E17))
⇒ 低ノイズ ⇒ 安定した良い分解能

ポートからの熱流入減

✓ SDDシグナルの取出口を標的から遠ざけることが可能 ⇒ 標的への熱流入減

- 所有のプリアンプでは、低温(~80K)において、安定した動作が見込まれない。
 - 低温で安定する素子を用いた、プリアンプの制作を考案中
- ➡ サムウェイ社 低温用プリアンプ(?)



ビームタイム見積もり

ビームタイムの見積もり

E570 statistics : 3d→2p 1500events
for ~20 days (w/ 8 SDDs)

→ K-yield : x 2

→ SDD acceptance : x 3

⇒ 3.5 days (w/ 8 SDDs)

~2eV(E570と同等)の統計を得るには...

	K1.8BR の場合
プロダクション (最大強度: 30GeV-9 μ A)	3.5 日
コミッショニング	10 日 ※

※ 検出器に対するコミッショニング
新規ビームラインの調整期間は別途必要

ビーム強度が一桁弱い場合においても、
一ヶ月程度(35日)でデータ収集が可能

➡ “DAY-1”実験

➡ E15実験より前に同ビームラインで行うことを提案

これまでの流れ

プロポーザル提出 -> stage2

- 2006年 4月 : プロポーザル提出

P17 “Precision spectroscopy of kaonic ^3He 3d->2p X-rays”

- 2006年 6月 : 1st PAC meeting
- 2006年 8月 : Stage-1 approval : P17 --> E17
- 2006年 11月 : FIFC meeting (実験技術評価委員会)
- 2007年 3月 : Stage-2 approval

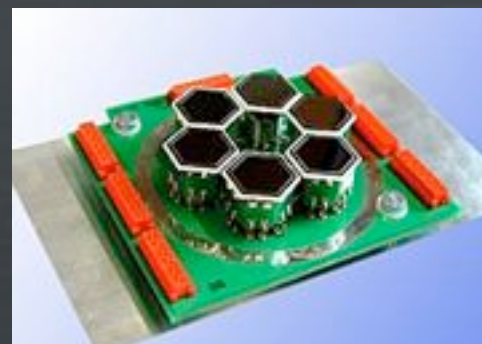
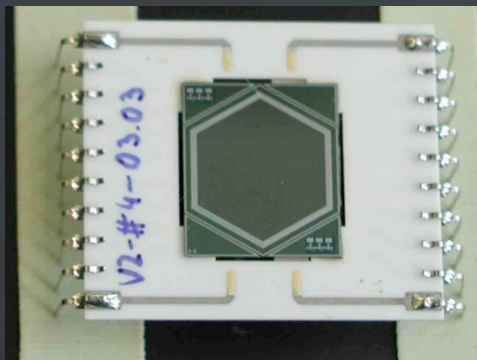
DAY-1に向けての準備

Things to do

- E15と共有部分の開発 (CDC等)
- ヘリウム3 標的システムの開発
- 小型ビームラインチェンバー制作
- ビームライン検出器群 及び 架台の制作
- X線検出器系の改良
 - ▶ プリアンプの真空・低温環境下の動作
 - ▶ 新しいタイプのSDDのテスト

進捗状況

- **制作中** 大西氏/佐久間氏により報告(昨日)
- **制作中** 飯尾氏により報告(昨日)
- **設計終了・制作中**
- **未制作 (来年春以降)**
- **プリアンプ制作?**
- **来年夏以降**



アレー型のKETEK社製SDDは問題が発生し発売を来年夏以降に延期されている。

まとめ

- **E17実験：「K-³He原子の最終軌道(2p)のシフトを~2eVの精度で決定」**
 - ▶ E15とは異なった角度からのK中間子深束縛状態の存在/性質の究明
 - ▶ (K-原子核間 強相互作用のアイソスカラー/ベクターの新たな知見)
- **現在、DAY-1に向けて準備している**
 - ▶ E15実験の共有部分の開発
 - ▶ ヘリウム3標的システムの開発
 - ▶ ビームライン検出器群設計
 - ▶ X線検出器系の改良