

K中間子へリウム原子 $3d \rightarrow 2p$

X線の精密測定

東京大学

竜野 秀行

for KEK-PS E570 collaboration

KEK-PS E570 collaboration list

G. Beer¹, H. Bhang², M. Cargnelli³, J. Chiba⁴, S. Choi²,
C. Curceanu⁵, Y. Fukuda⁶, T. Hanaki⁴, R. S. Hayano⁷, M. Iio⁸,
T. Ishikawa⁷, S. Ishimoto⁹, T. Ishiwatari³, K. Itahashi⁸, M. Iwai⁹,
M. Iwasaki⁸, B. Juhasz³, P. Kienle³, J. Marton³, Y. Matsuda⁸,
H. Ohnishi⁸, S. Okada⁸, H. Outa⁸, M. Sato⁶, P. Schmid³,
S. Suzuki⁹, T. Suzuki⁸, H. Tatsuno⁷, D. Tomono⁸,
E. Widmann³, T. Yamazaki⁸, H. Yim², J. Zmeskal³

Victoria Univ.¹, SNU², SMI³, TUS⁴, INFN(LNF)⁵,
Tokyo Tech⁶, Univ. of Tokyo⁷, RIKEN⁸, KEK⁹

1. 導入

強い相互作用によるエネルギー準位のシフト

$K^- - {}^4\text{He}$

3d

3d → 2p X線
~6.5 keV

幅: Γ_{2p}

シフト: ΔE_{2p}

2p

2p
(クーロン相互作用のみ)

原子核吸収

K中間子ヘリウム4

- 最終原子軌道 = 2p

- 3d → 2p X線

シフト & 幅 : ?



K中間子と原子核の相互作用に関する複素パラメータの決定

Kaonic helium puzzle

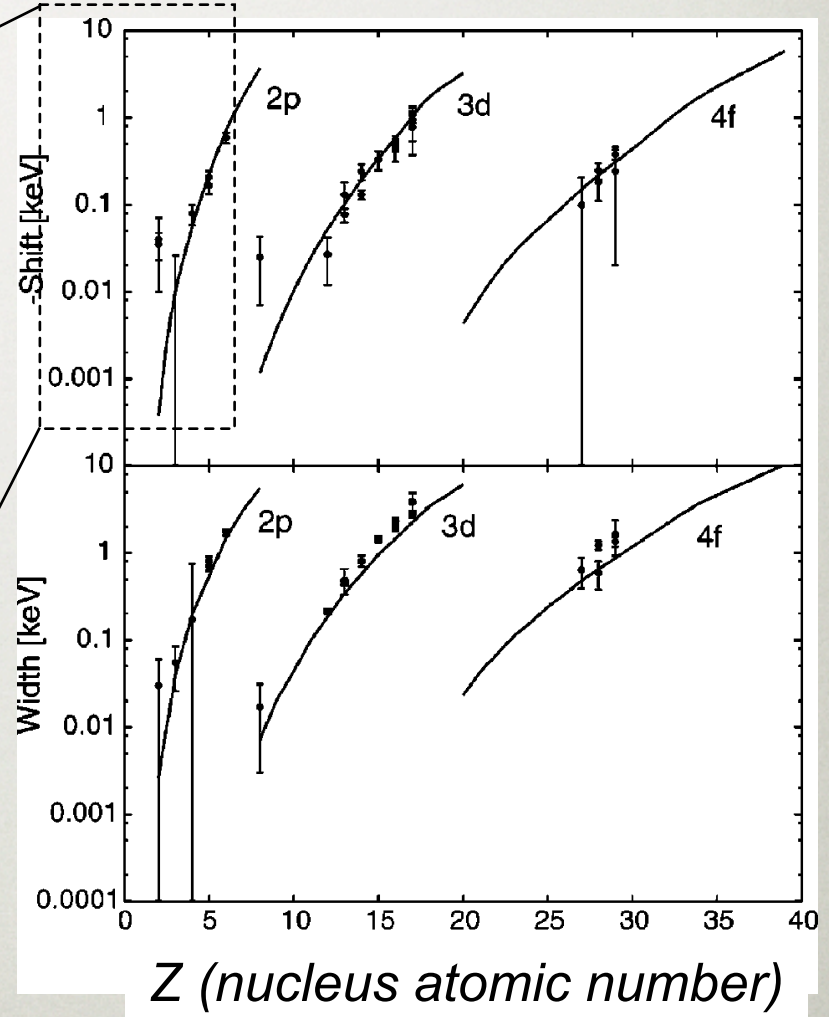
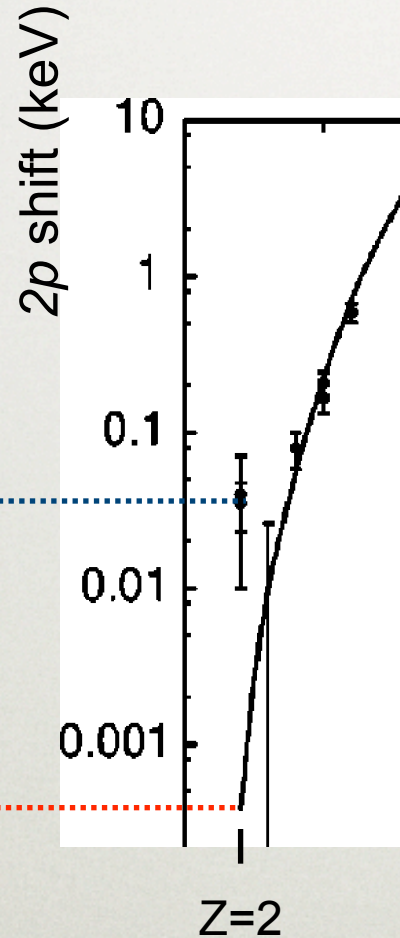
global fits to all kaonic atoms data

Large shift

Experiments
~40eV

Small shift

Chiral unitary +
optical model
~0.2eV

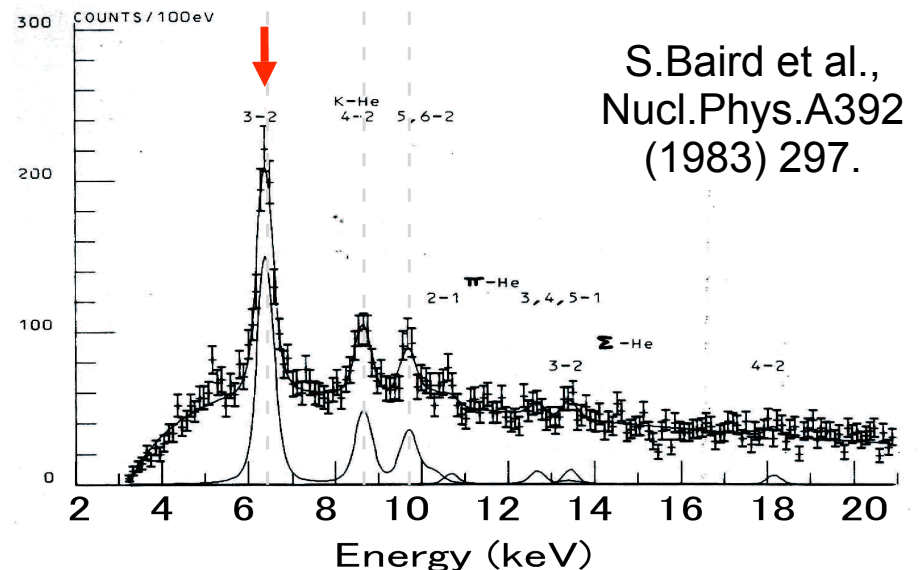
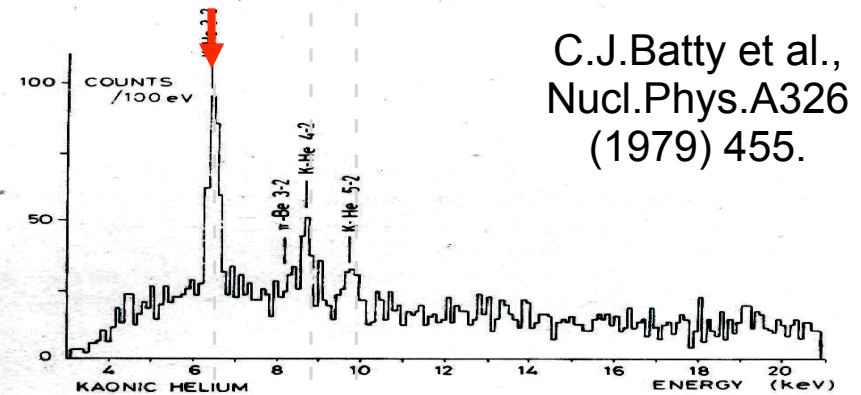
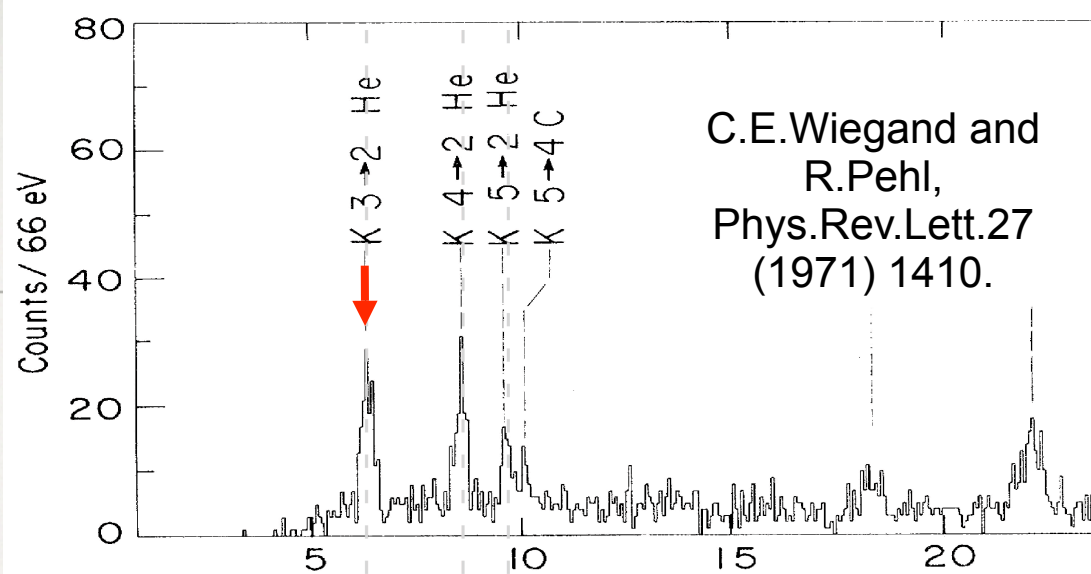


過去の実験

- ▷ 測定器：Si(Li)
分解能 (FWHM) ~ 300 eV
@ 6.5 keV
- ▷ シグナルをとりながらのエネルギー較正をしていない
- ▷ シグナルに対して大きなバックグラウンド

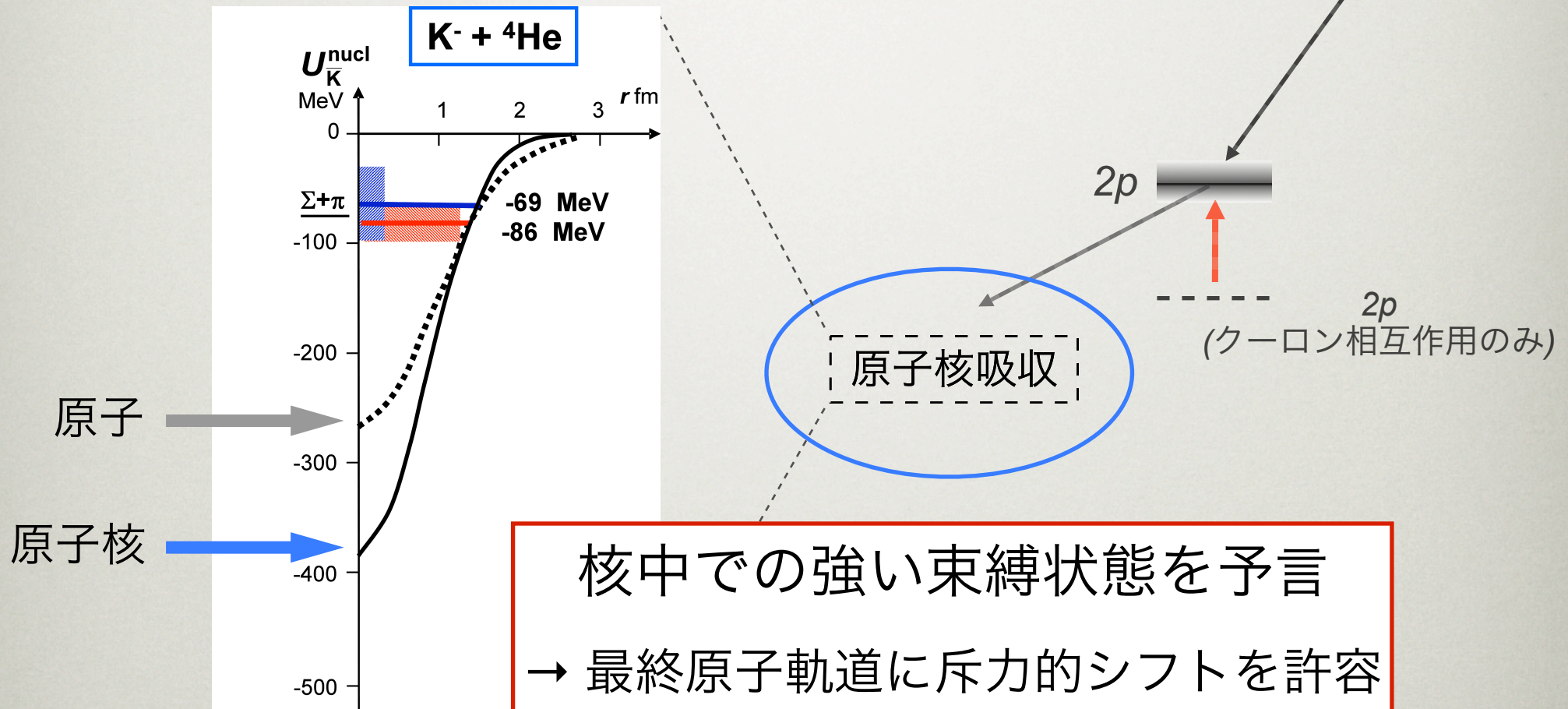


精密測定が必要



$K^- - ^4\text{He}$ 原子核の情報 (理論)

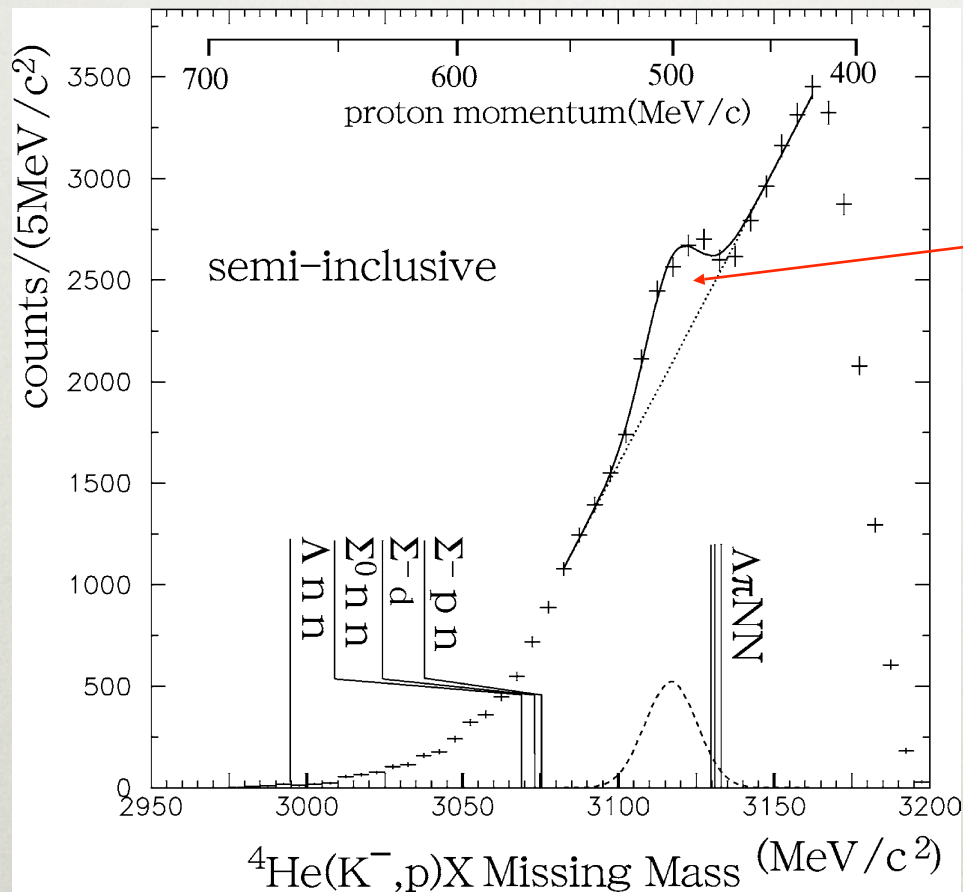
核中心ポテンシャルの実部



$K^- - {}^4\text{He}$ 原子核の情報 (実験)

$(K^- - {}^4\text{He})\text{atom} \rightarrow$

$\{(K^- - {}^4\text{He})\text{nucl}\} \rightarrow K^- - \text{nnp} + p$ (Auger 効果)



$S^0(3115)$

質量 : 3117 MeV

ストレンジネス : -1

アイソスピン : 1

@ KEK-PS E471

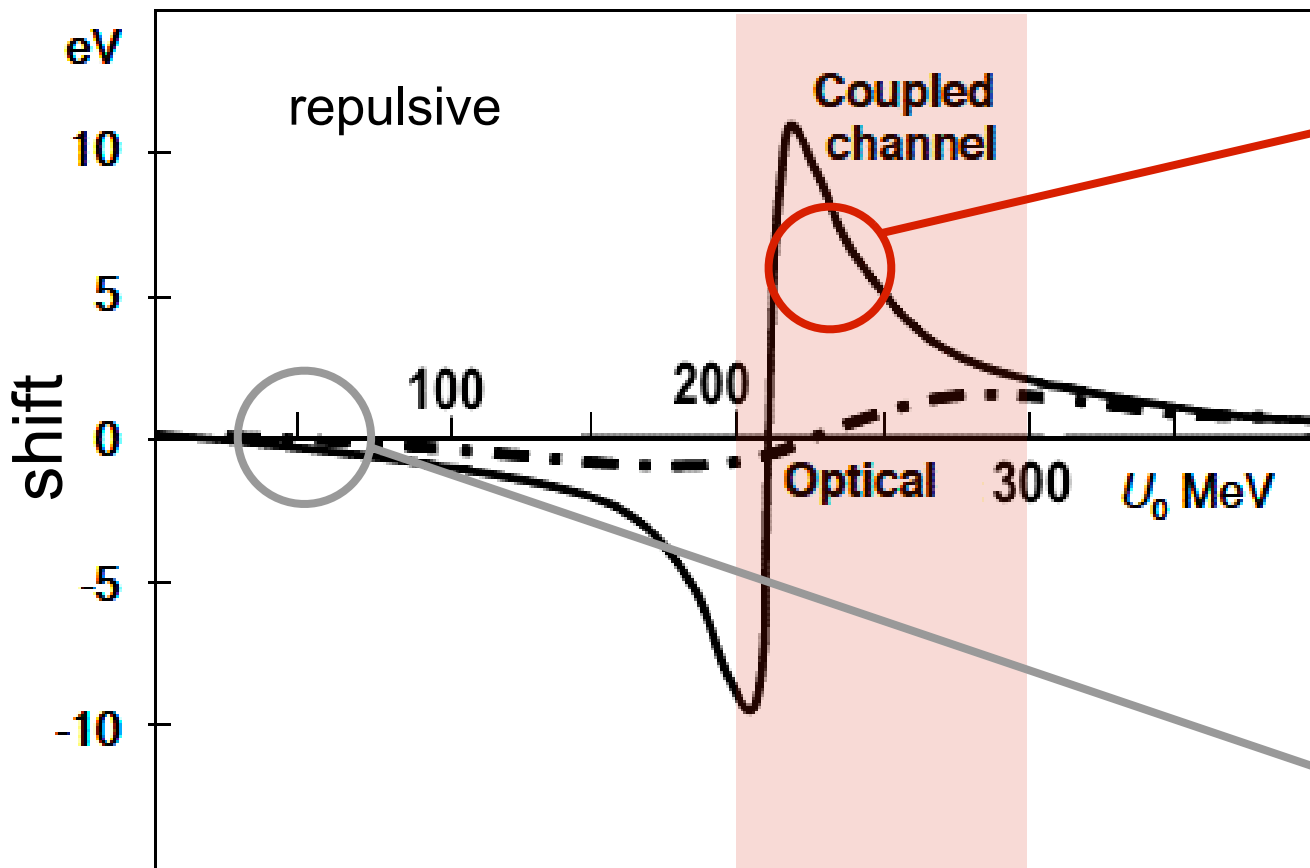
T.Suzuki *et al*,
Phys. Lett. B597,
263 (2004)

K中間子が原子核に深く束縛状態された状態 ?

Coupled channel model

Optical potential $V_{opt} = U_0 + i W_0$

K中間子の深い束縛状態で
あればシフトを許容



Coupled channel
|shift| < ~11 eV

K中間子の深い束縛状態
に懐疑的な予言

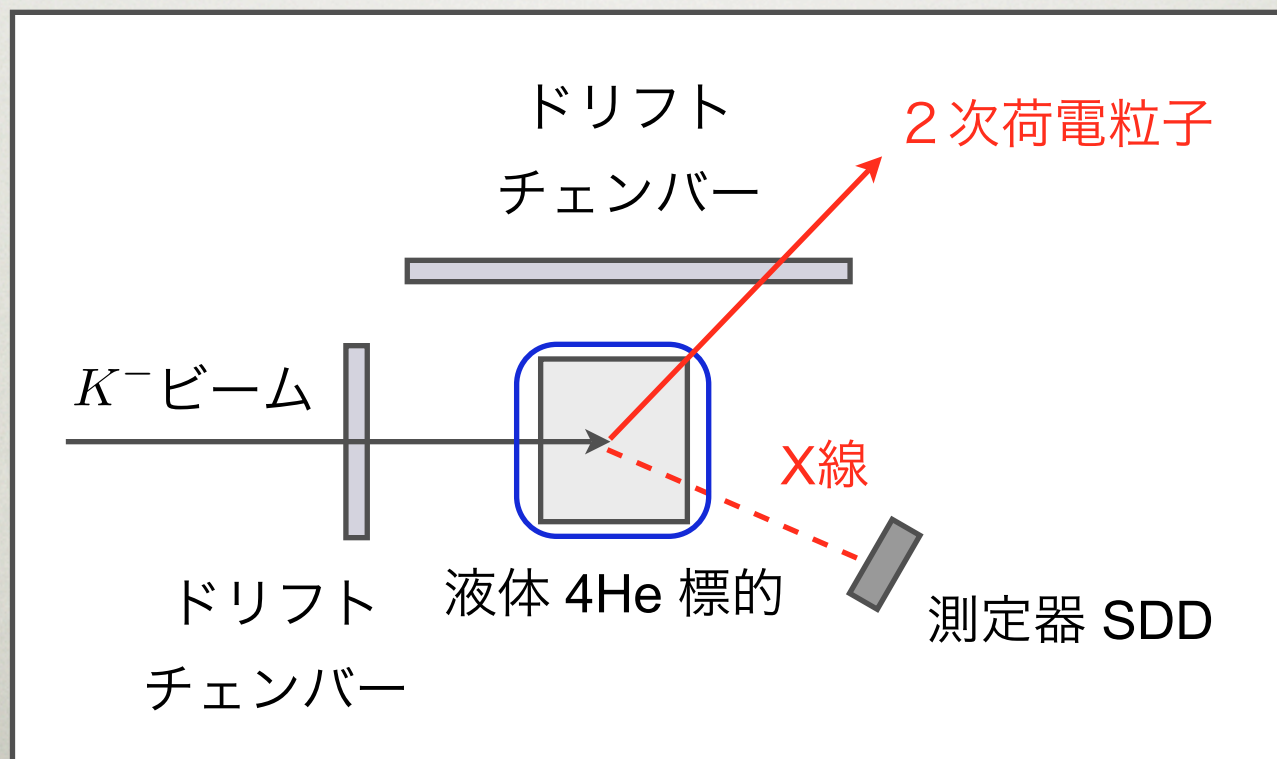
Optical model
|shift| ~ 0 eV

2. 実験

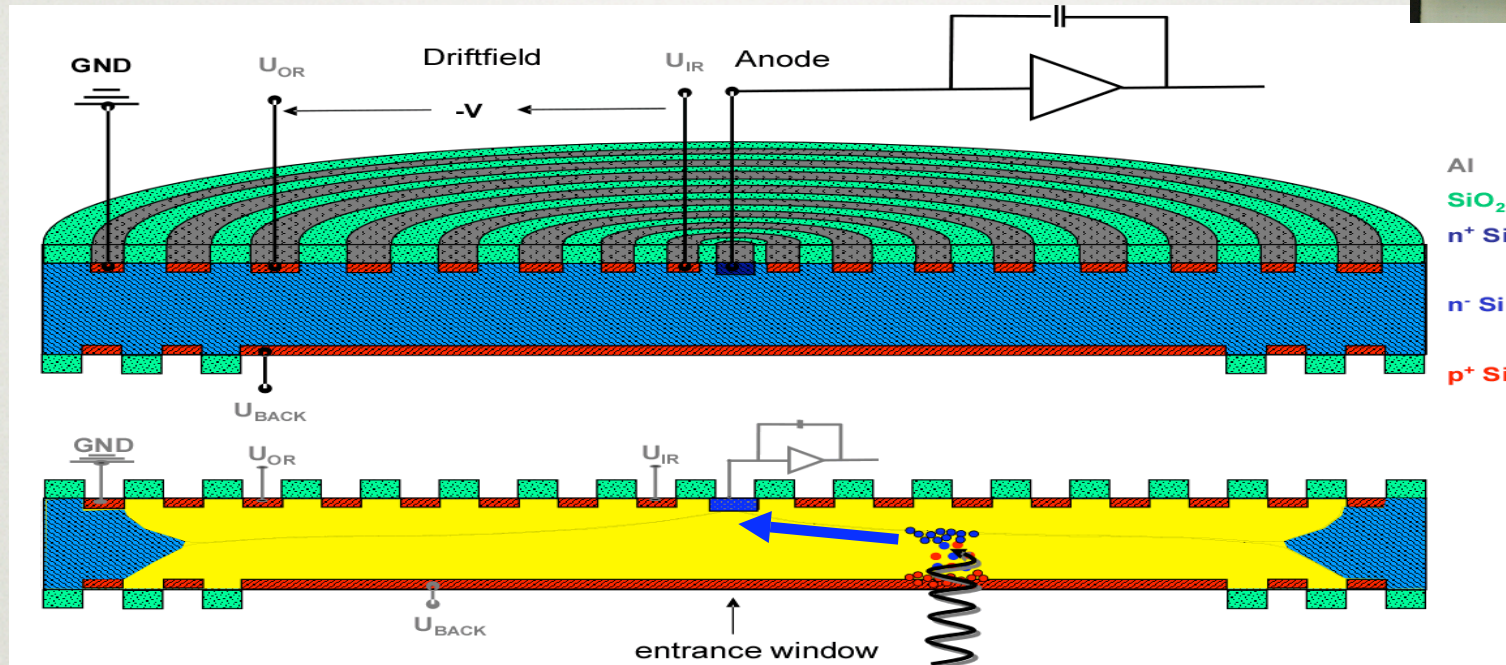
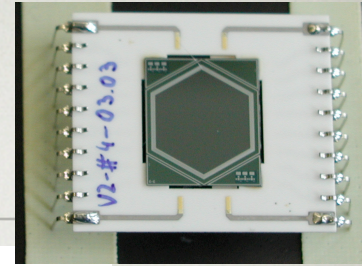
実験方法

- ▷ X線測定：液体ヘリウム4 中での静止 K^- 反応
- ▷ K^- ビームと 2 次荷電粒子のトラッキングにより反応点を再構成

⇒ fiducial volume cut

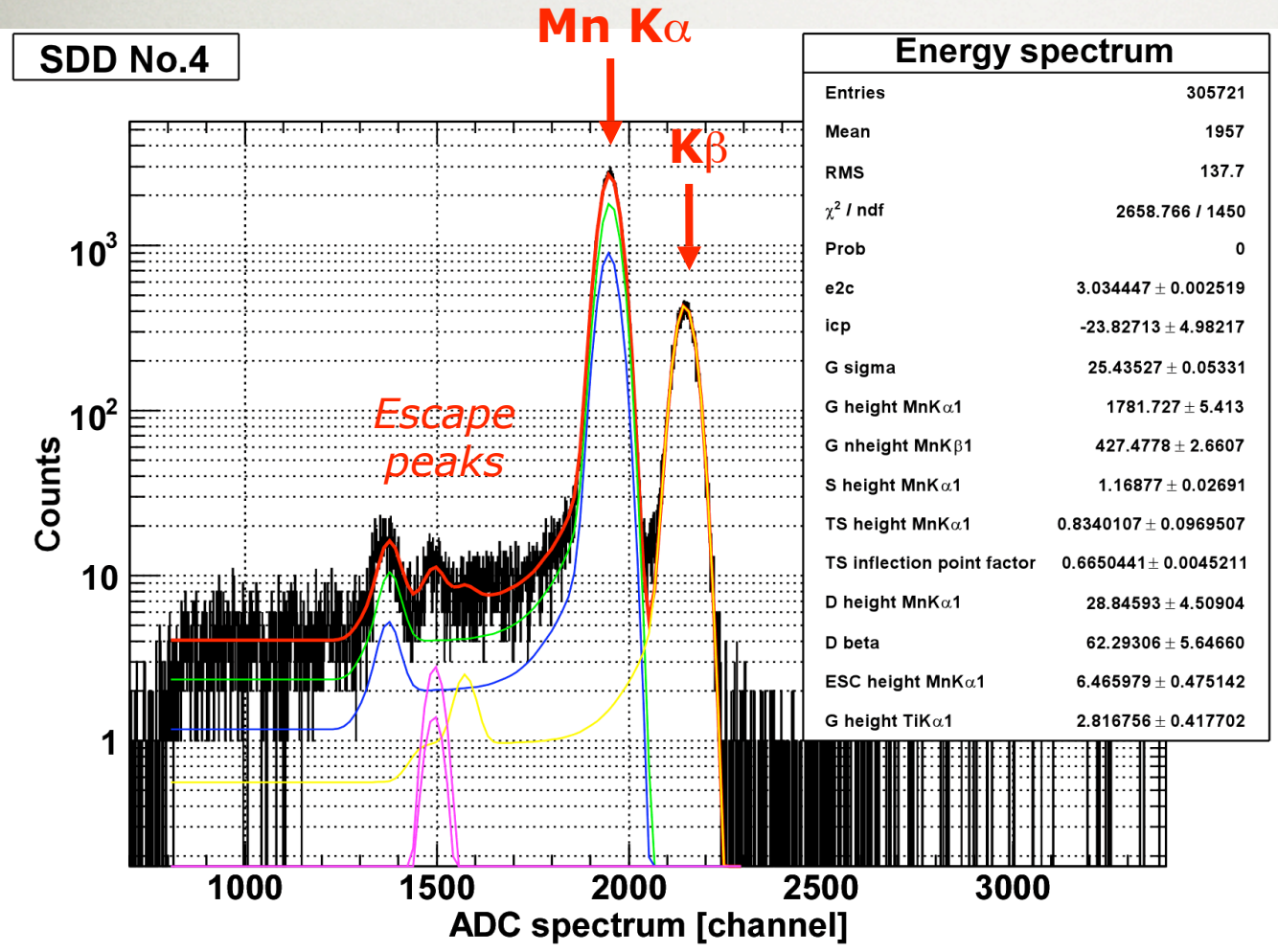


Silicon Drift Detector (SDD)



- ▷ 小キャパシタンス $C = \epsilon S/d$
→ 100 mm² の有効面積を維持しながら良い分解能を実現
- ▷ 測定器の厚さを Si(Li) の1/10 に (0.26 mm)
→ γ 線や他のX線が引き起こすソフトコンプトン散乱からなるバックグラウンドを抑制

エネルギー分解能 (^{55}Fe 線源)



1ch = 3.034 eV, $\sigma = 25.43$ ch

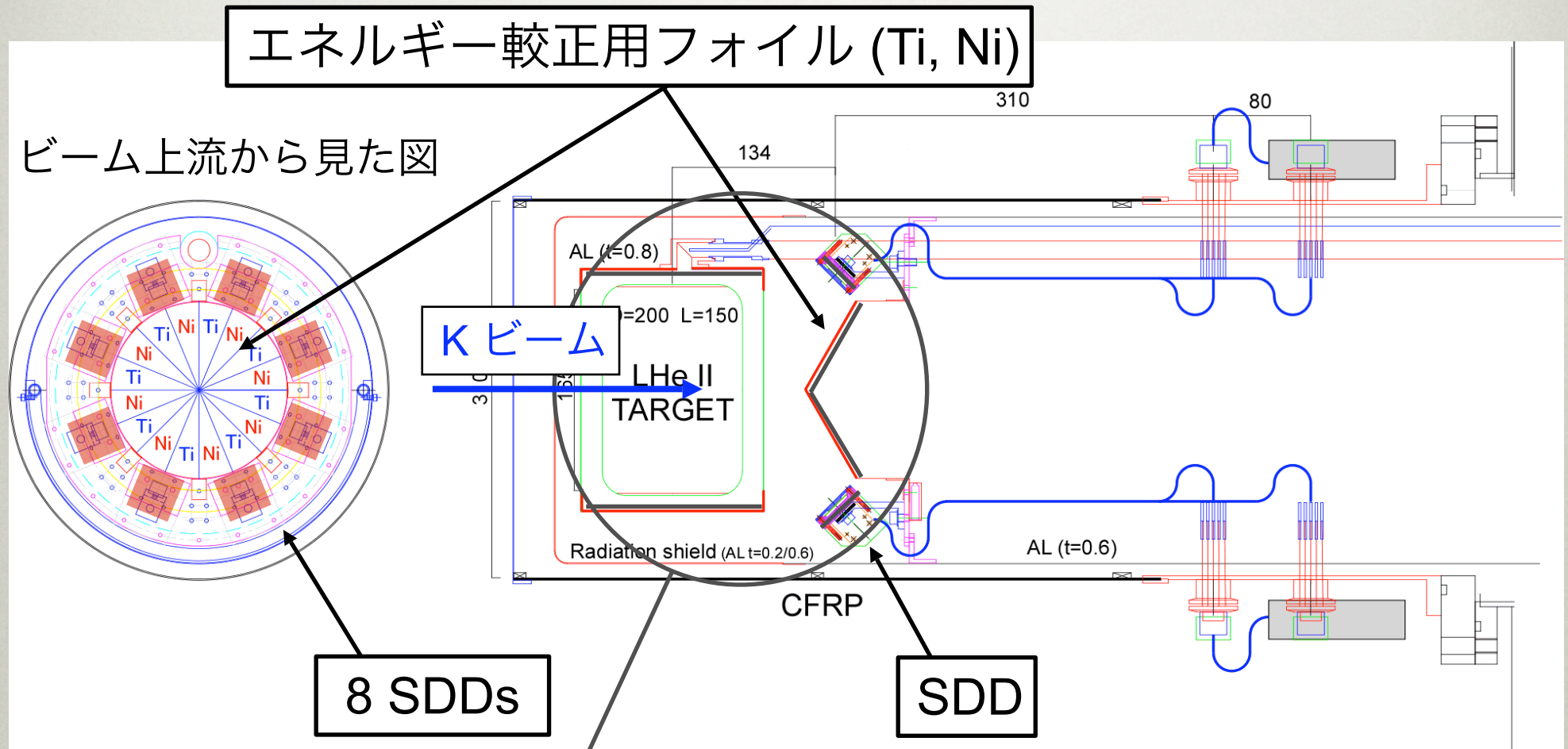
SDD 温度 : 85K

E570と同じセットアップ

FWHM =
181.8 ± 0.41 eV
 at MnK α_1 5.9 keV

→ 185 eV at 6.5 keV

E570 セットアップ



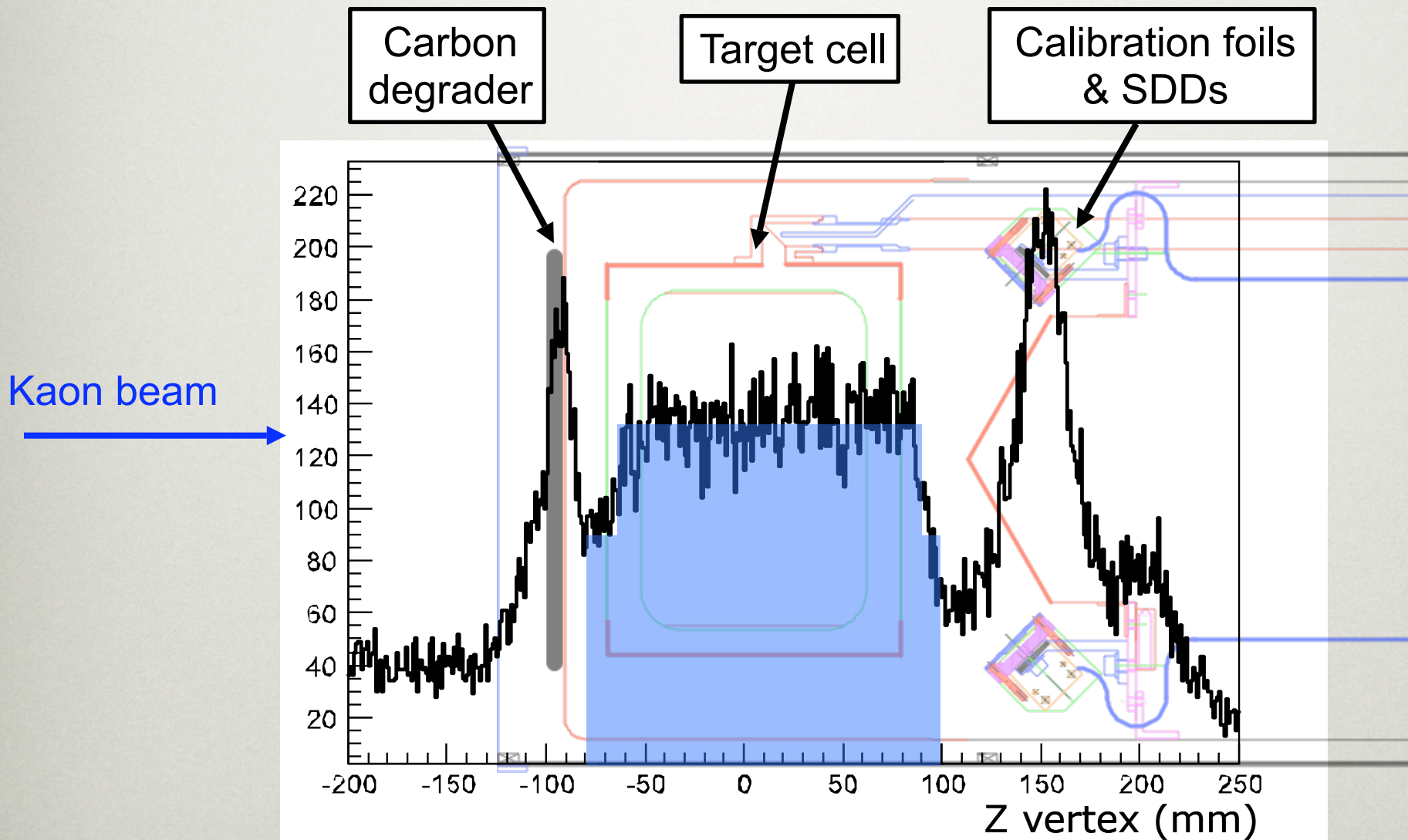
- ▷ 不純物からのX線によるバックグラウンドを防ぐため、純アルミニウム箔をヘリウム標的とSDDの周りに貼った

過去の実験条件との比較

	過去の実験	E570
分解能 (FHWM) @ 6.5 keV	~300 eV Si(Li)	~ 185 eV SDD
有効領域	300 mm ²	100 mm ² * 8 SDDs
ディテクターの厚さ	~4 mm	0.26 mm
エネルギー較正	No in-beam	In-beam (Ti and Ni)
Fiducial volume cut	No	Yes

3. 解析結果 (preliminary)

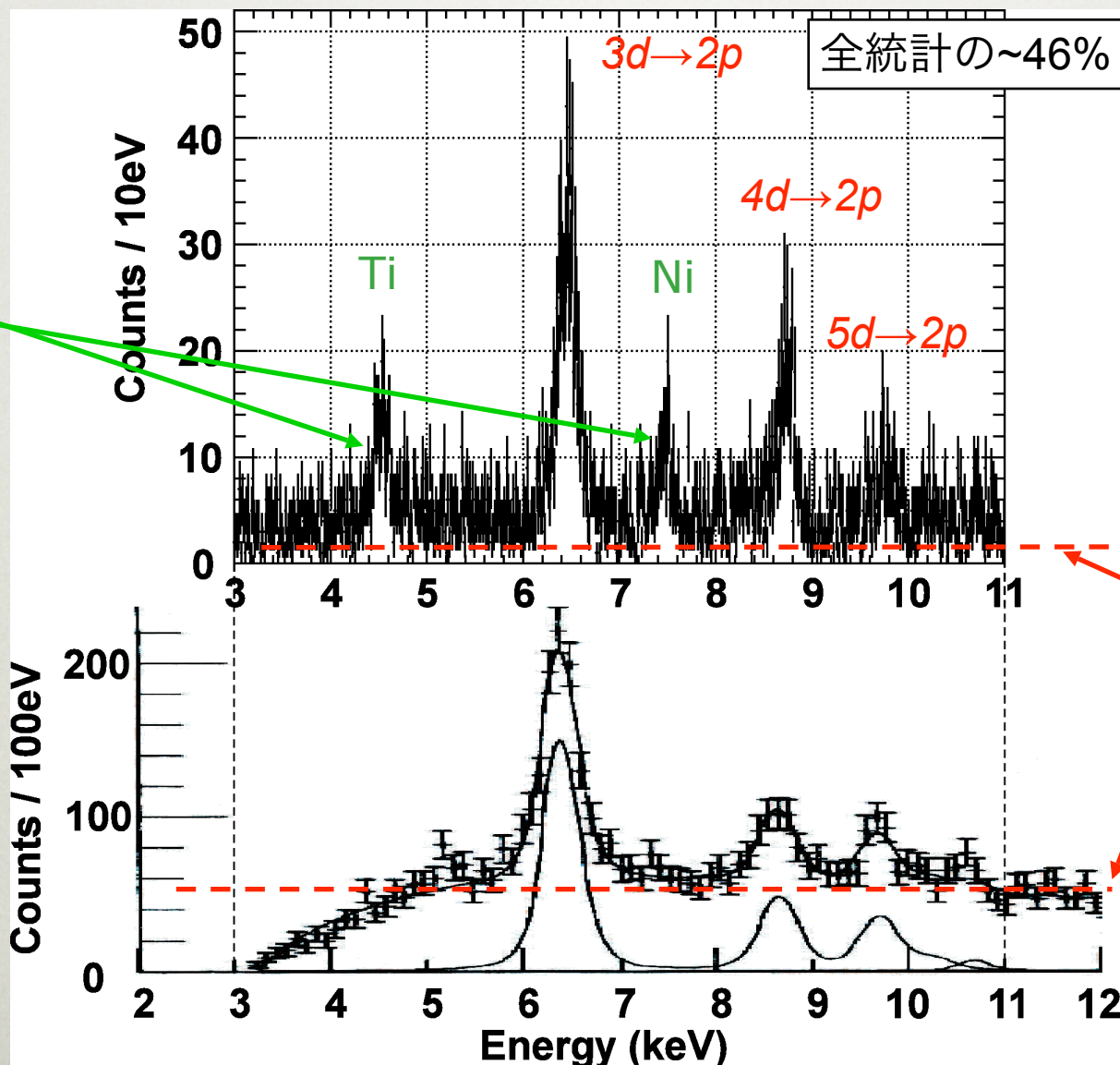
Fiducial volume cut



fiducial volume cut

過去の実験との比較 I

エネルギー
較正ピーク



シグナル統計

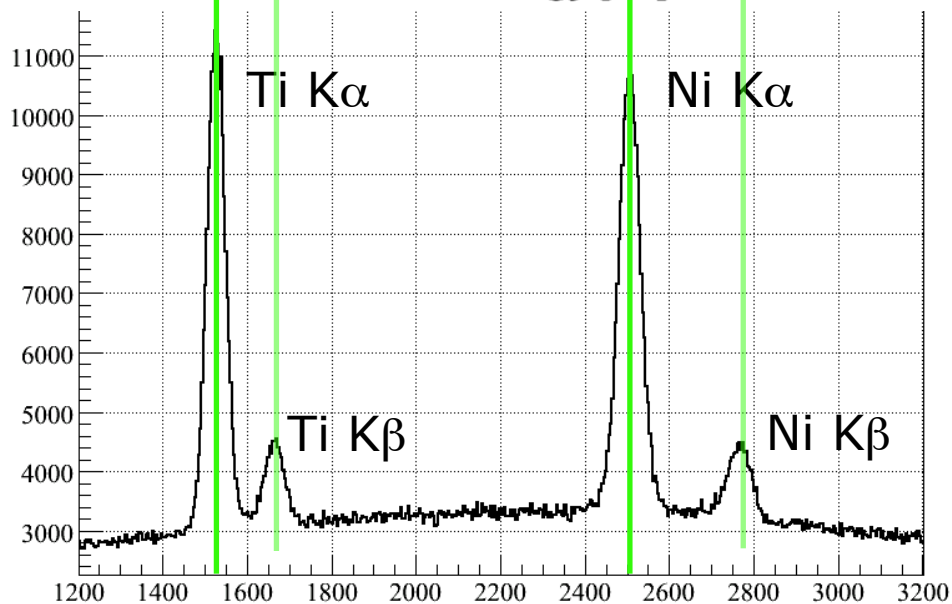
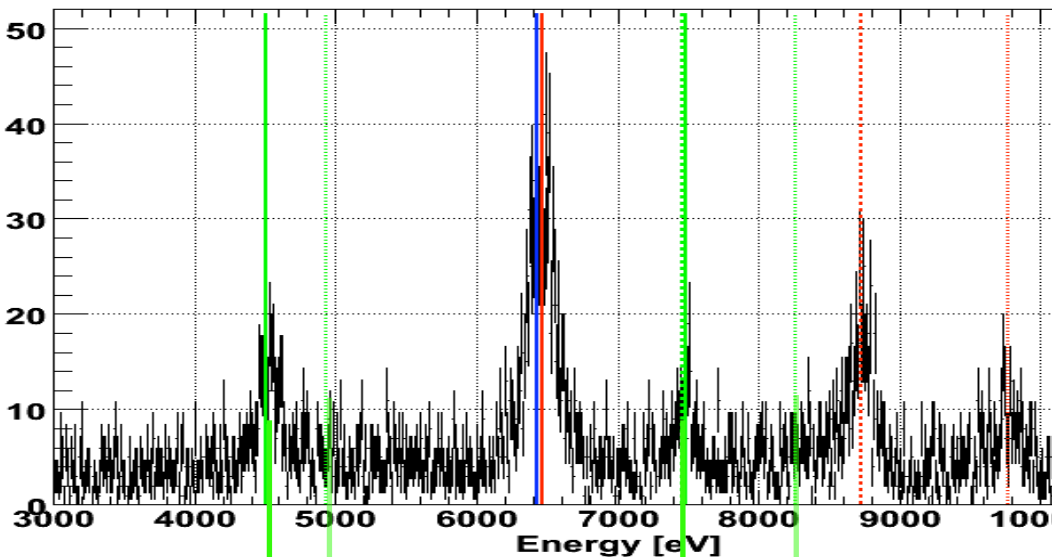
~2.5倍

S/N比

~8倍改善

過去の実験との比較 II

インビームエネルギー較正

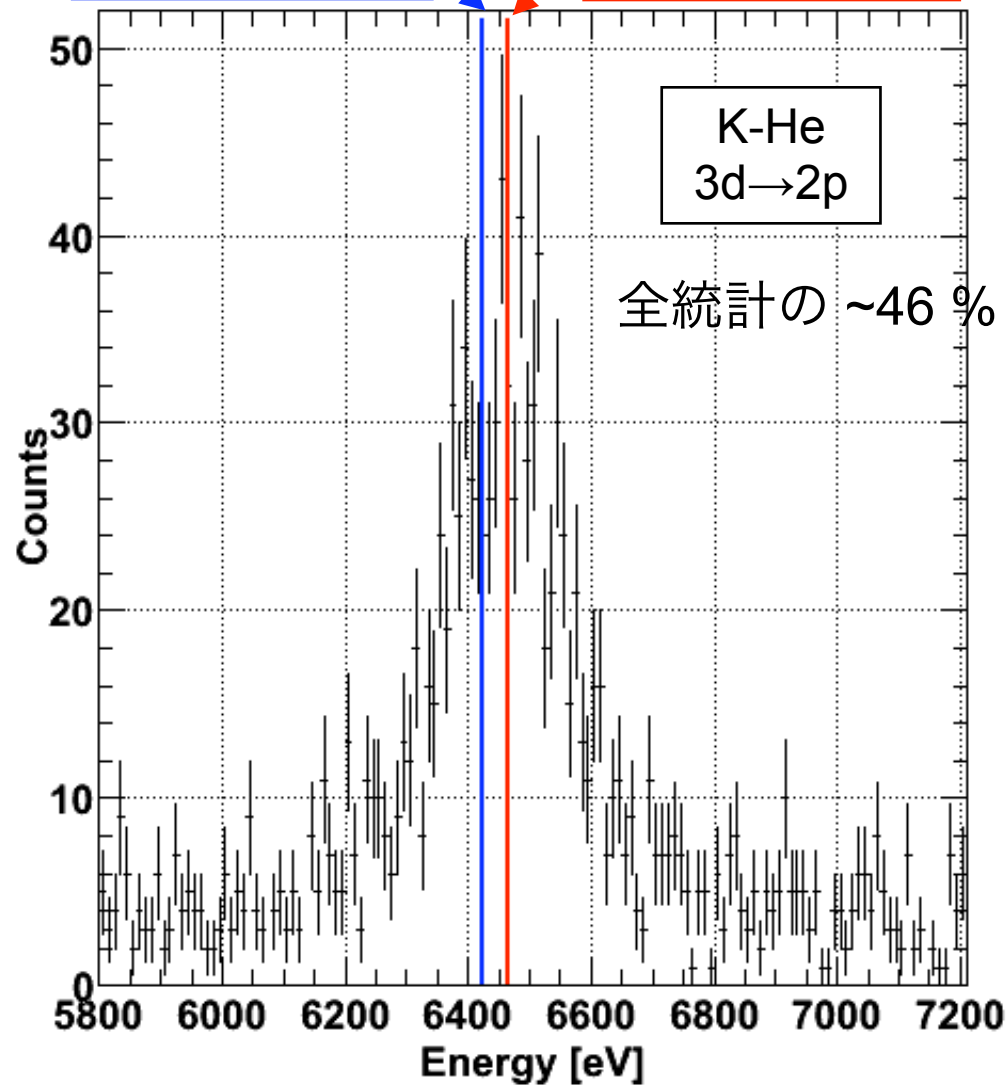


過去の実験値

-40 eV

クーロンのみ

の場合



統計誤差と系統誤差

▷ 期待される統計誤差 2~3 eV

$$\frac{\sigma}{\sqrt{N}} \sim \frac{185/2.355}{\sqrt{1500}} = 2.03$$

バックグラウンドフリー
を仮定したときの計算

▷ 系統誤差 (見積もり中)

- エネルギー較正とゲイン補正
- ADCの非線形性
- 測定器の応答関数によるフィット

まとめ

- ▷ K中間子ヘリウム原子 $3d \rightarrow 2p$ X線を測定した
 - 分解能 ~ 185 eV at 6.5 keV ← SDD
 - シグナル統計 ~ 2.5 倍、S/N ~ 8 倍改善
← Fiducial volume cut
 - シグナルをとりながらのエネルギー較正
- ▷ 過去の実験の 40 eV という大きな斥力的シフトは得られなかった
- ▷ 最終的な結論を出すための解析は進行中