

K中間子ヘリウム4原子 X線の精密測定 (IV)

東京大学 竜野 秀行
for KEK-PS E570
collaboration

2007年9月21日(金) 日本物理学会@北海道大学, 21pZD11



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

Contents

- **導入** K中間子ヘリウムパズル, 動機

- **実験** KEK-PS E570 実験

- **解析**

前半：本講演

後半：次講演（岡田）

- **スペクトルフィット**

- **系統誤差**

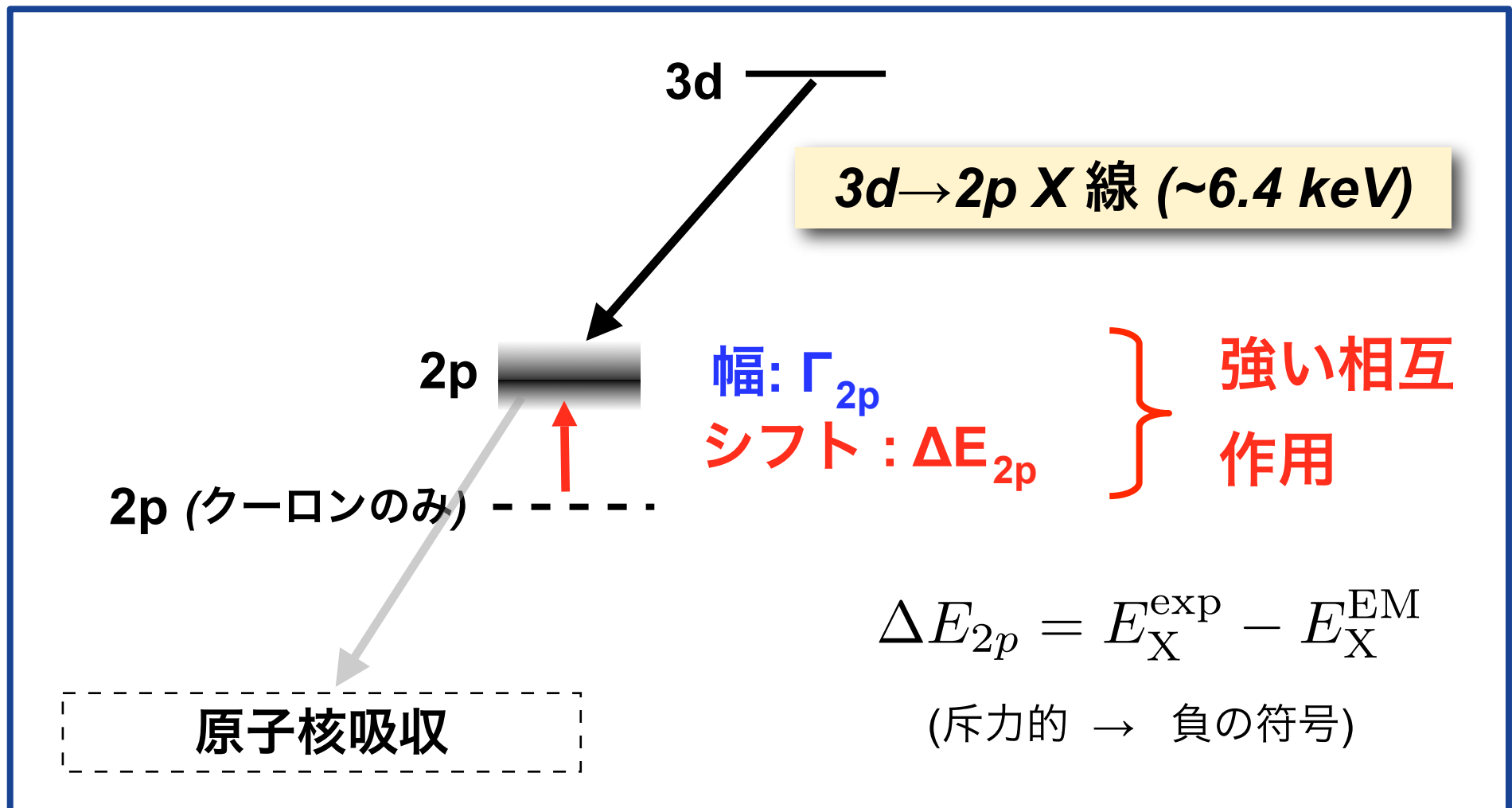
- **最終結果と考察**



導入

K^- - ^4He $3d \rightarrow 2p$ X-ray

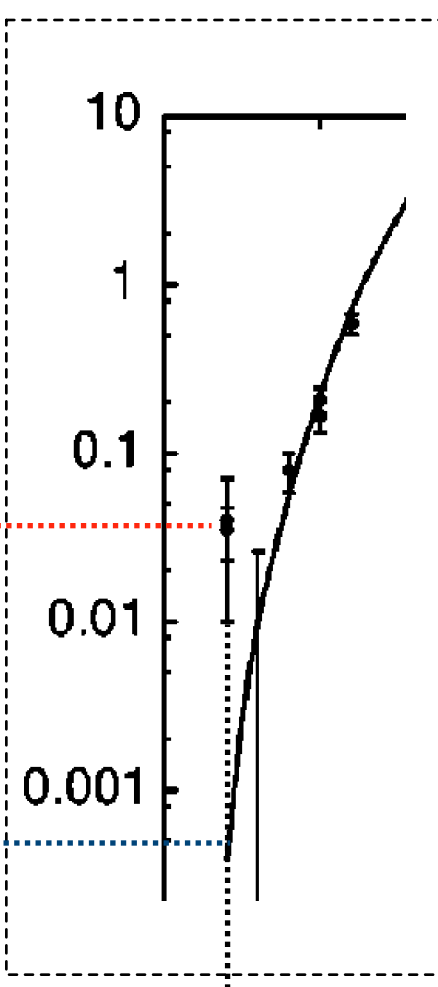
K^- 中間子とヘリウム4 原子核の
強い相互作用によるエネルギー準位のシフトと幅



Kaonic helium puzzle

SU(3) カイラル・ユニタリーモデル

- 2p shift (keV)



過去の実験値

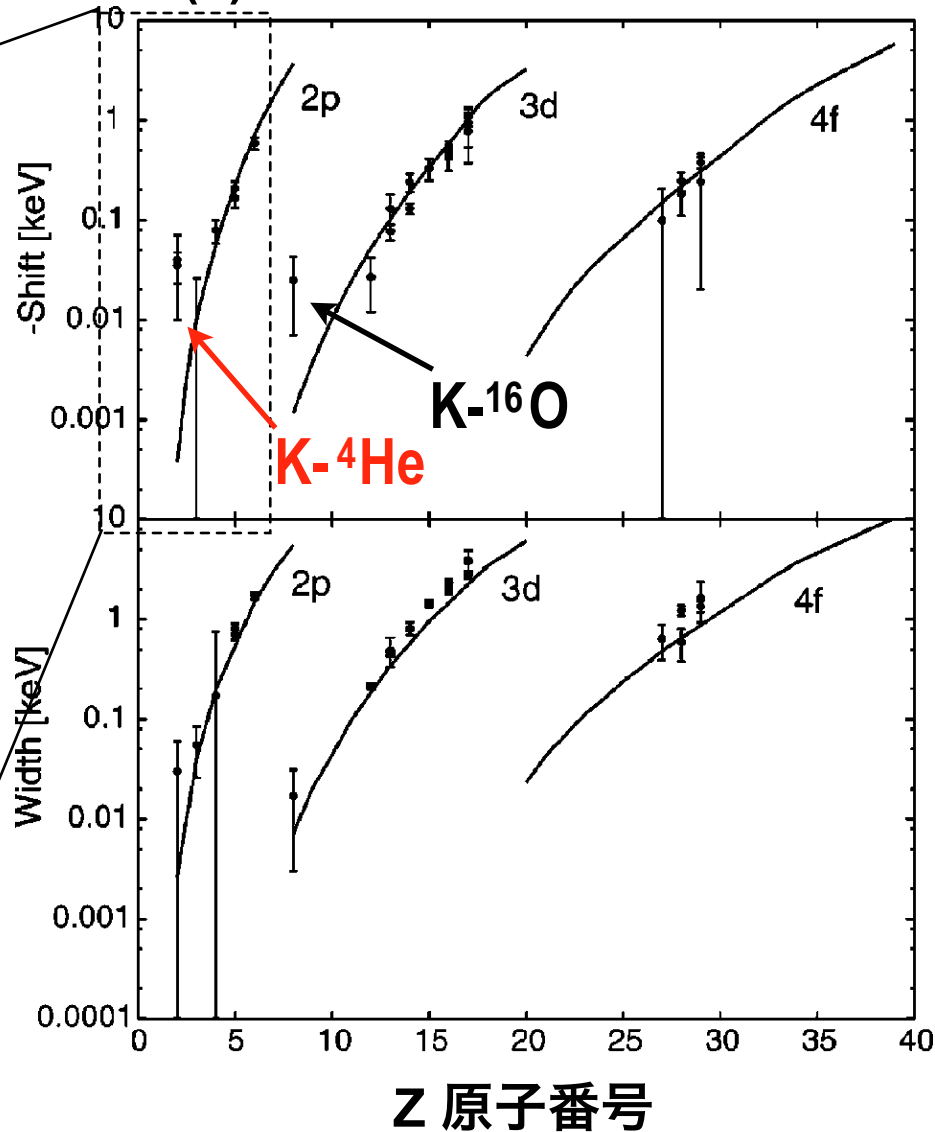
~40eV

理論値

~0eV

どの理論も過去の実験
値を再現できない

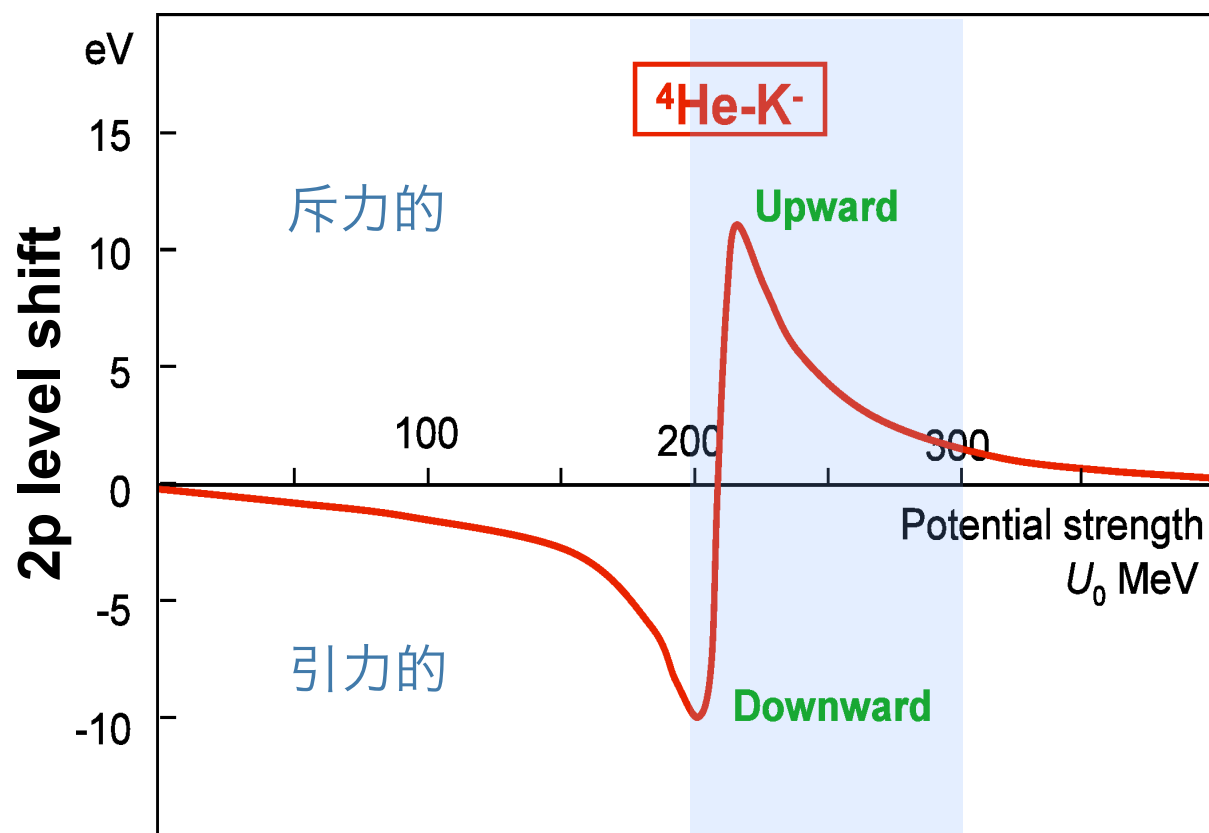
Z=2



S.Hirenzaki et al. Phys. Rev. C 61 055205

A possible large shift

赤石によるチャンネルカップリング計算
($\bar{K}N$ チャンネル - $\Sigma\pi$ 崩壊チャンネル)



$|\Delta E_{2p}| < \sim 10 \text{ eV}$
最大10 eVという
有限のシフトを予言

Y.Akaishi, EXA05
proceedings (2005)

↔
K中間子原子核を予言する
強い引力ポテンシャル領域

Motivation

- K中間子原子ヘリウムパズル

シフト ~ 0 eV \Rightarrow パズル解決

シフト ~ -40 eV \Rightarrow 未知なる構造？

- K中間子原子核 (deeply bound \bar{K})

$|\text{シフト}| 10$ eV \Rightarrow K中間子原子核を示唆

KEK-PS E570実験 目標：統計誤差 2 eV

世界最高精度で2p準位のシフトを測定

E570 実験

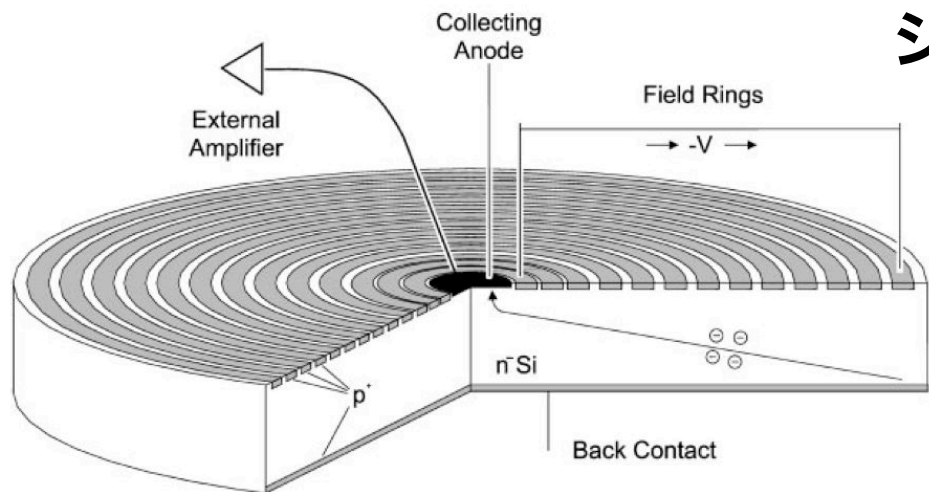
1st cycle : 2005年10月 ~520 時間

2nd cycle : 2005年12月 ~260 時間

実験手法

1. 高エネルギー分解能
2. 低バックグラウンド (高S/N比)
3. In-situ エネルギー較正

1. High energy resolution

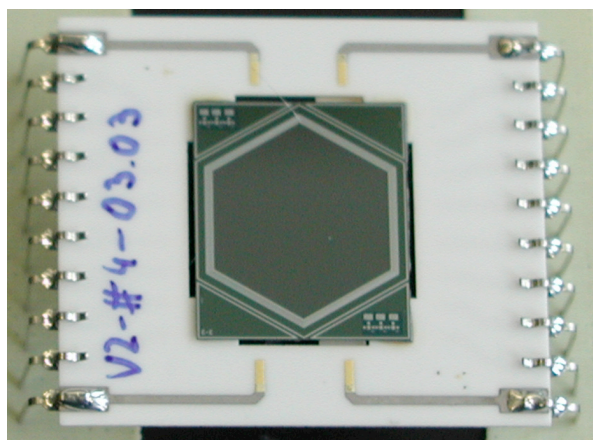


シリコンドリフトX線検出器 (SDDs) KETEK GmbH 社製

- 極小アノード
→ 検出器キャパシタンスが小さい

大きな有効面積 100 mm²
厚さ 0.26 mm

- 高分解能
190 eV FWHM @ 6.4 keV



2. low background

3. in-situ energy calibration

2. 静止Kイベント選別

反応点再構成
エネルギー損失@T0

Drift chamber

2次荷電粒子

プリアンプ

液体 ^4He 標的

高純度 Ti/Ni 箔

SDDs

3. *In-situ*
エネルギー較正

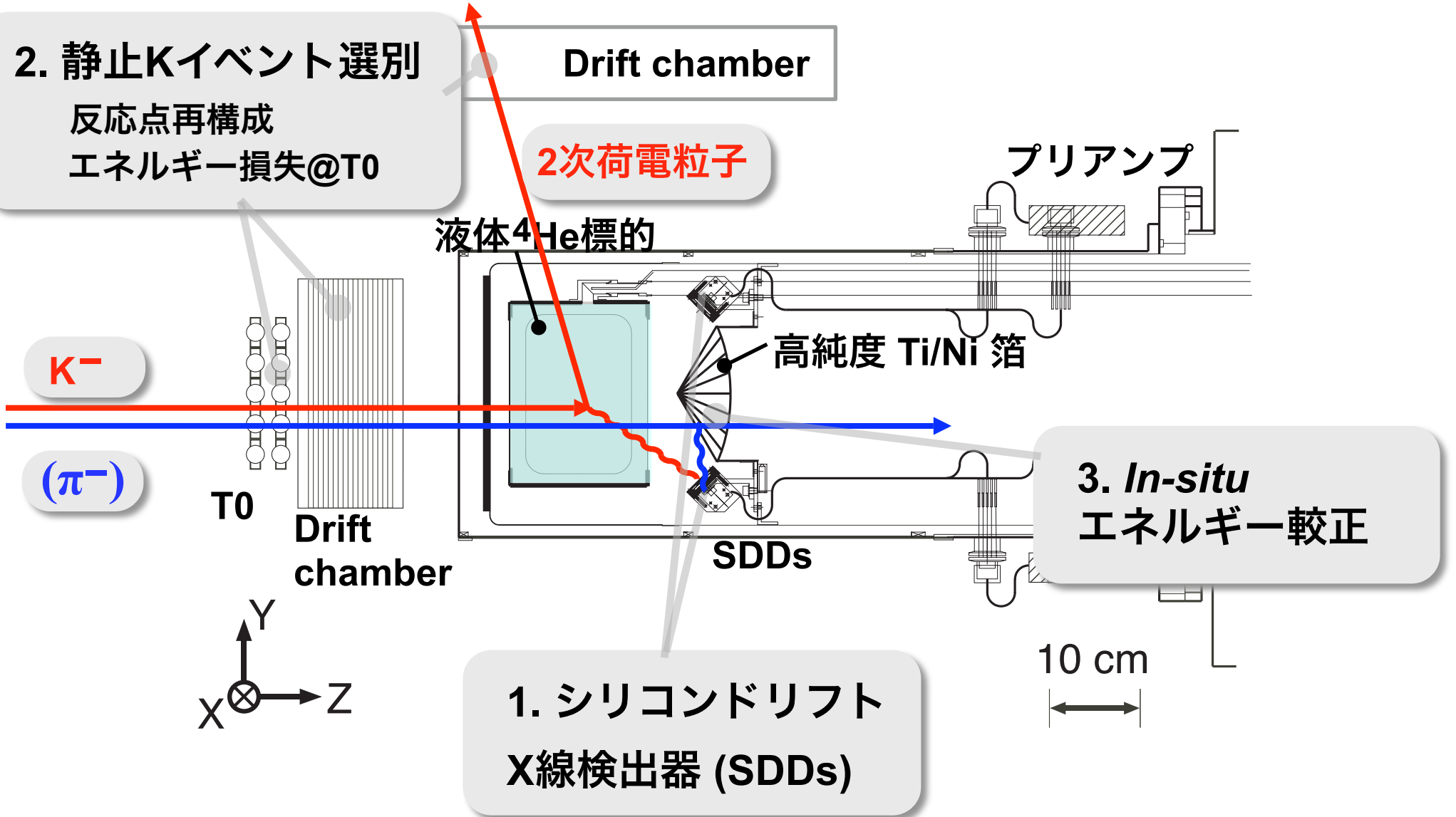
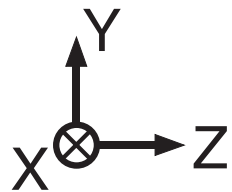
10 cm

1. シリコンドリフト
X線検出器 (SDDs)

K^-

(π^-)

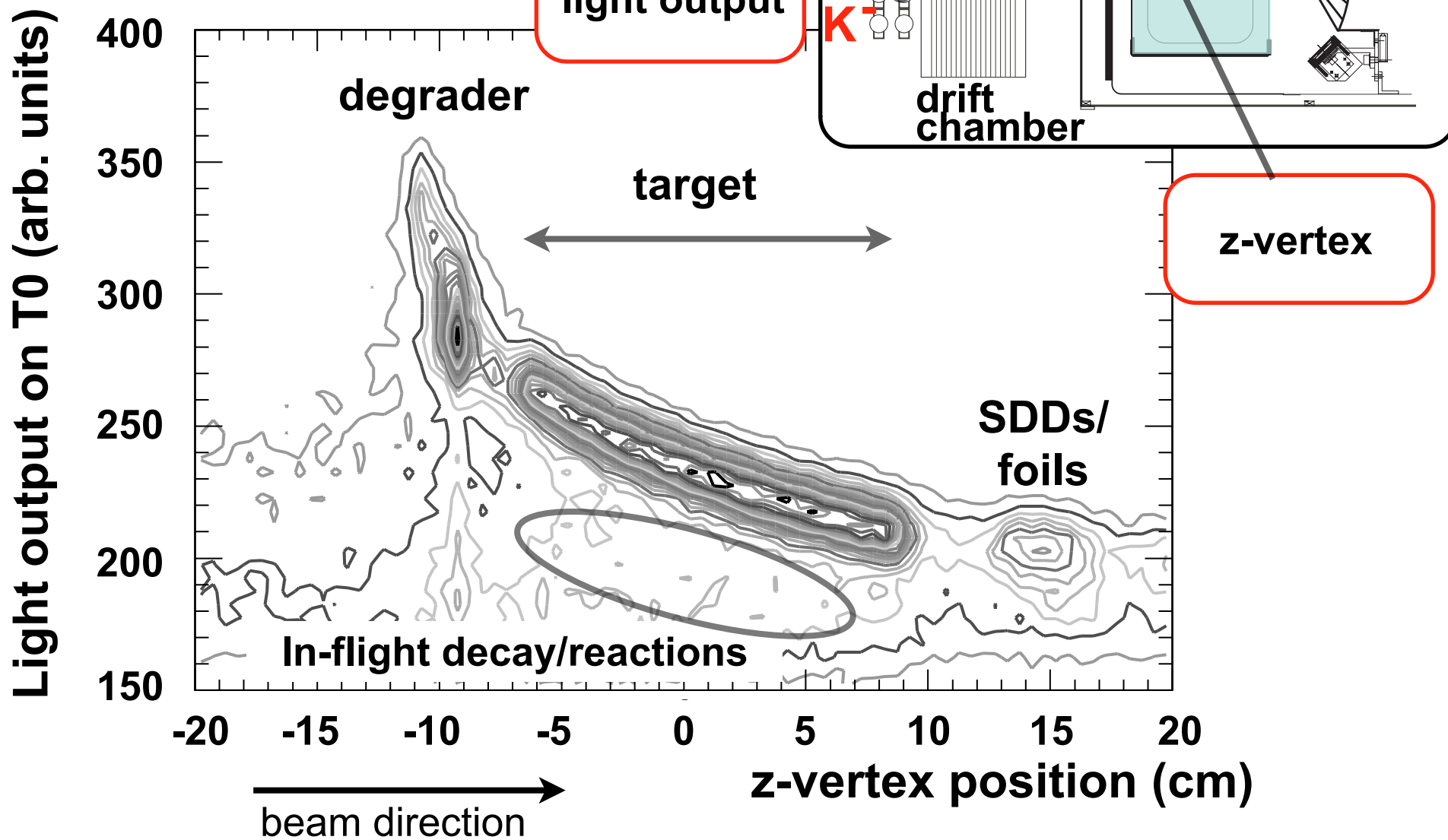
T0
Drift chamber



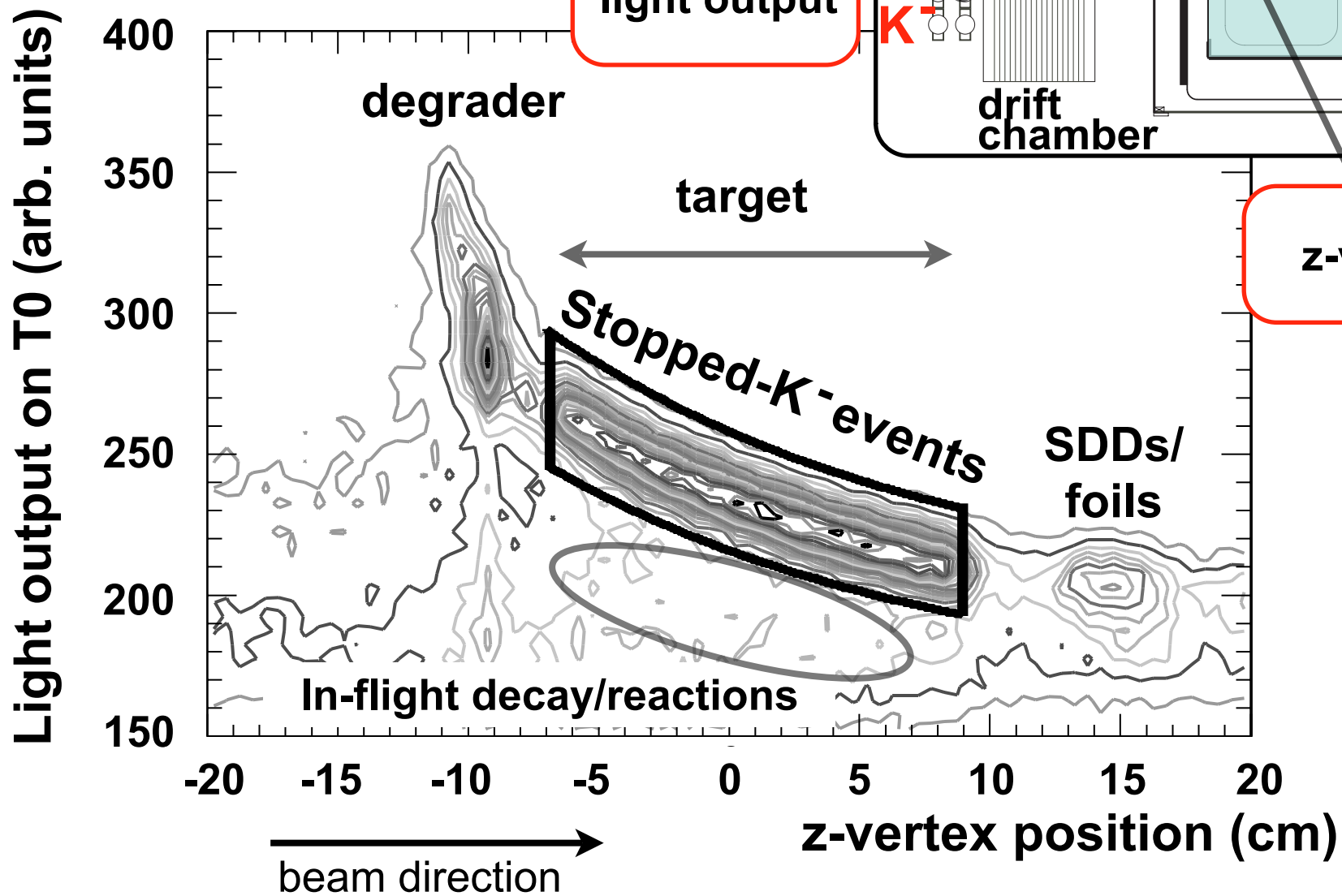
解析 I

1. 静止 K^- イベントの選別
2. エネルギー較正

Stopped- K^- selection



Stopped- K^- selection



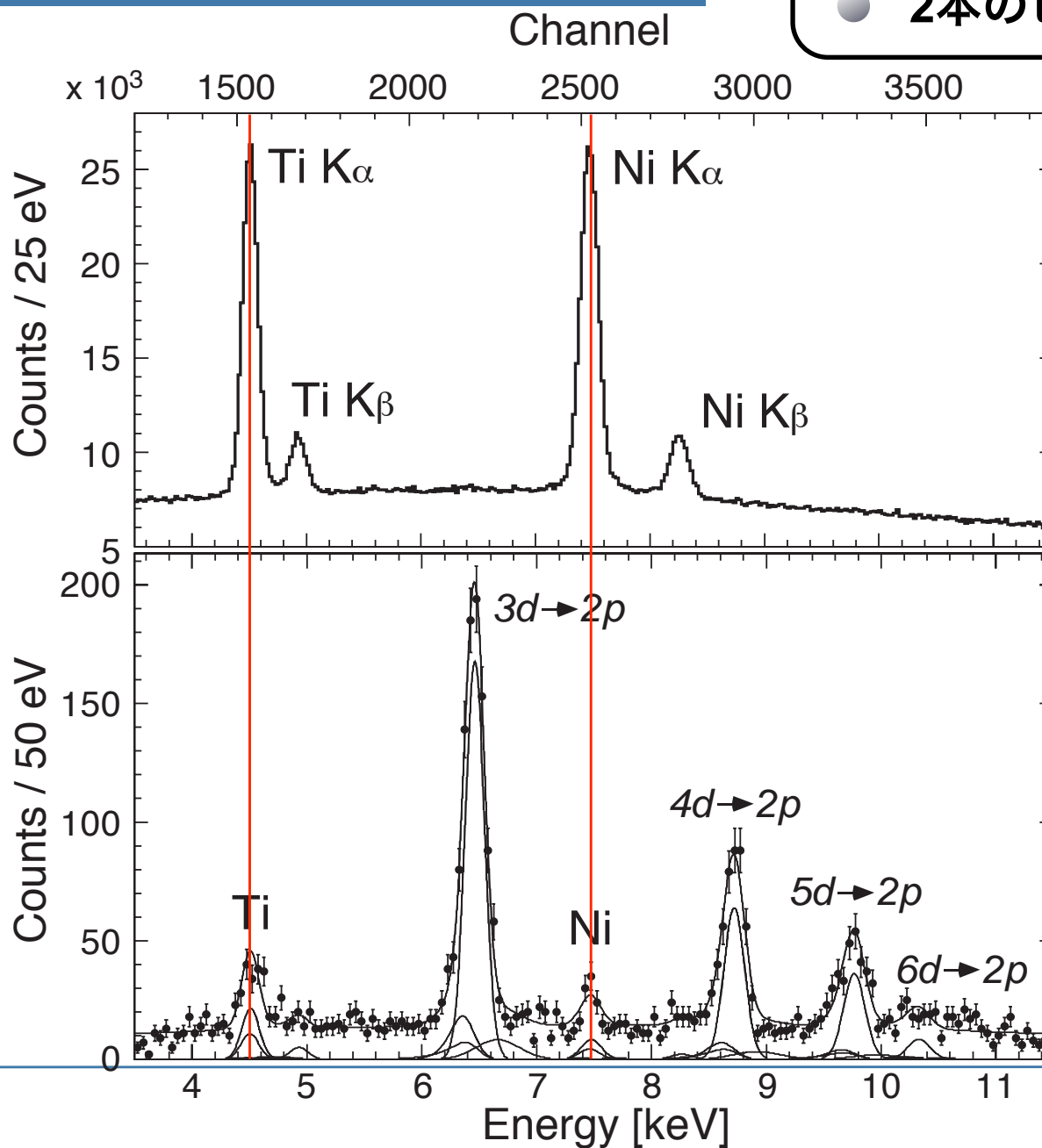
Energy calibration

- 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-トリガー
イベント

- 静止K選別
- タイミング
カット



Channel

Energy
calibration

Energy

解析 II

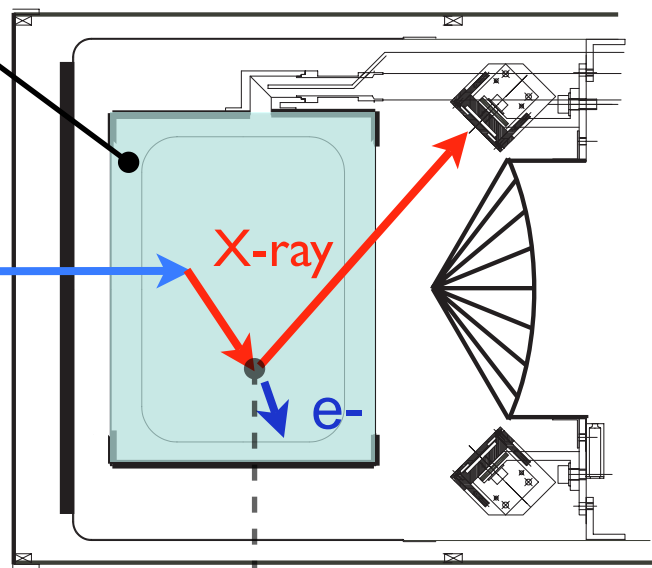
スペクトルの解釈

3. 標的内での Compton 散乱
4. パイルアップの効果
5. SDDの応答関数

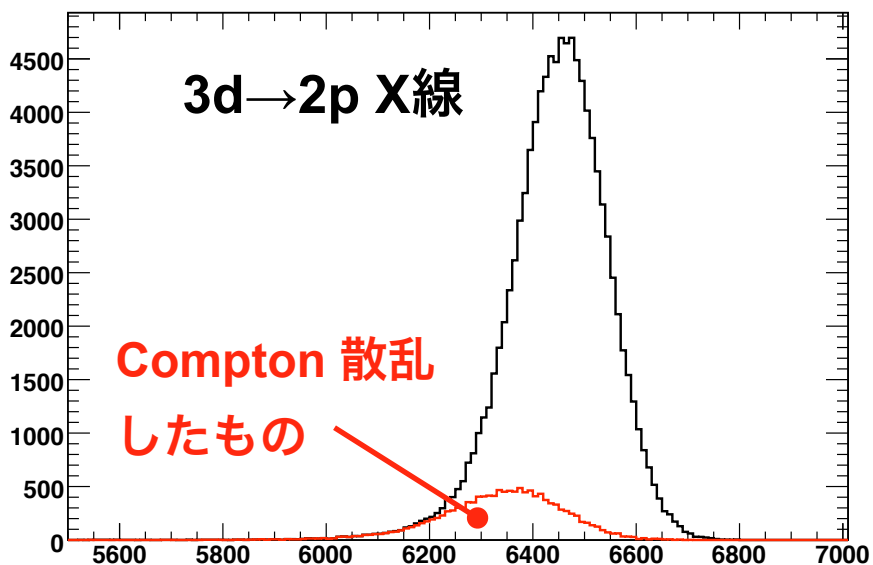
Compton scattering

液体 ^4He 標的
密度(0.145 g/cm^3)

K^-



非コヒーレント散乱



非コヒーレント散乱

散乱断面積 (液体 ^4He)

$\sim 1 \text{ barn/Atom @ } 10\text{keV}$

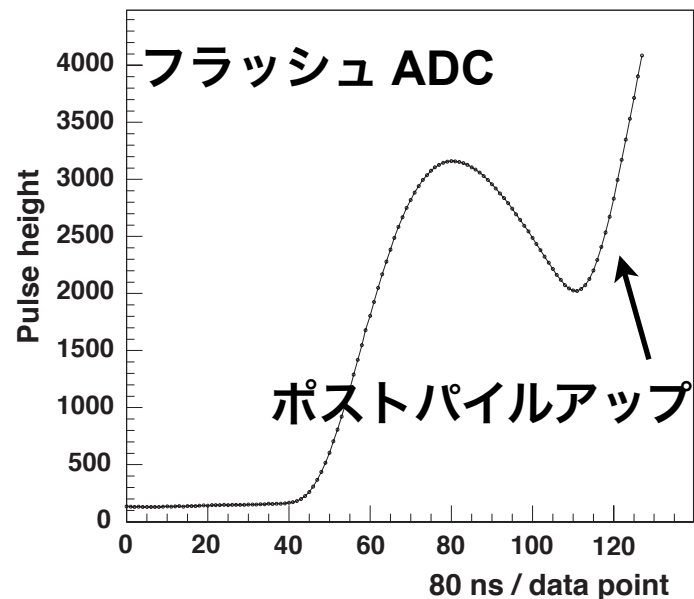
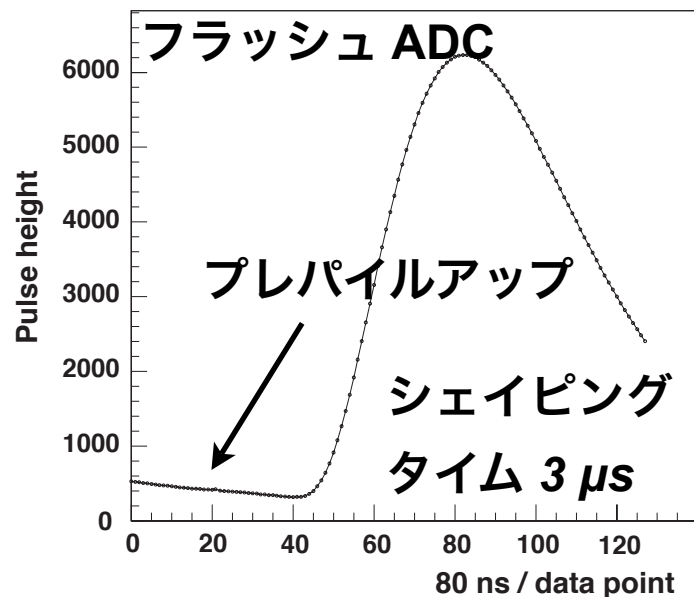
- モンテカルロ シミュレーションによる推定

GEANT4 Low Energy
Compton Scattering
パッケージ

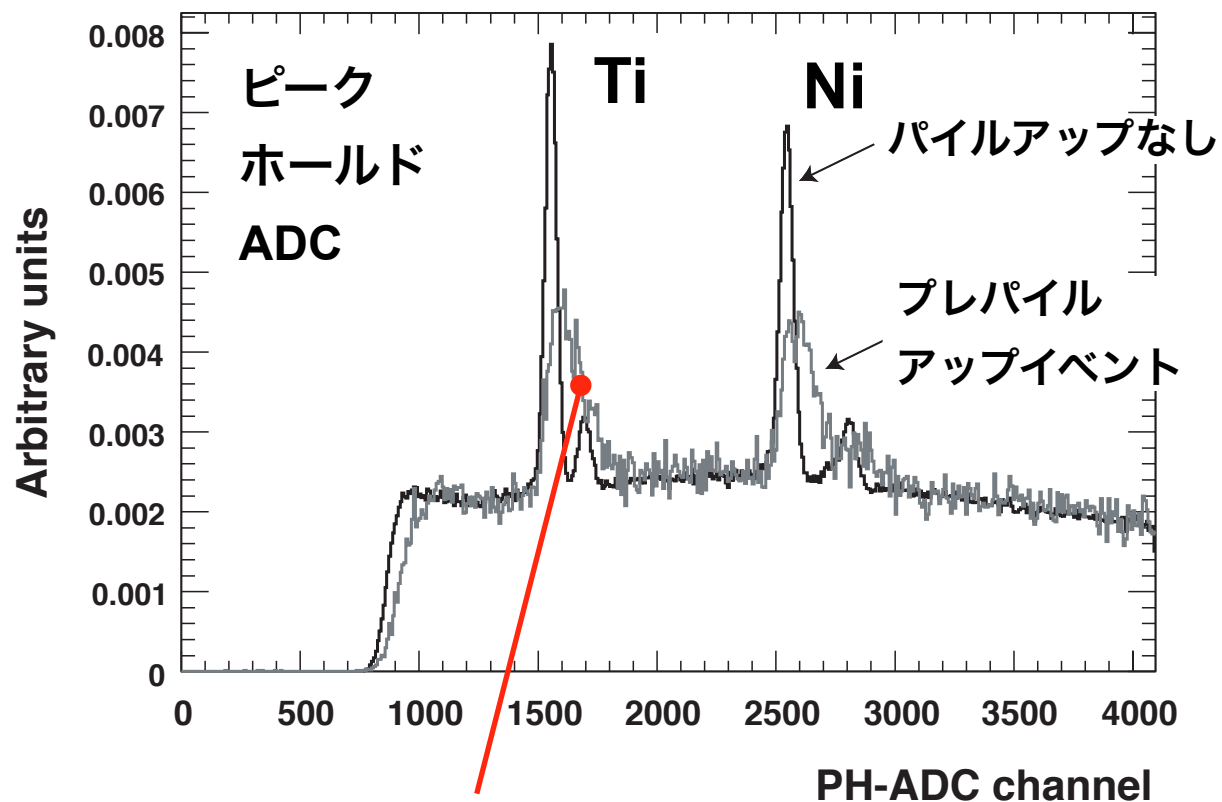
インプット: 静止 K^- 分布

- 強度比とスペクトル形状を
フィット関数として採用

Pileup effect



π^- などの荷電粒子が $\sim 1\text{k}/\text{spill}$
でSDDを通過!

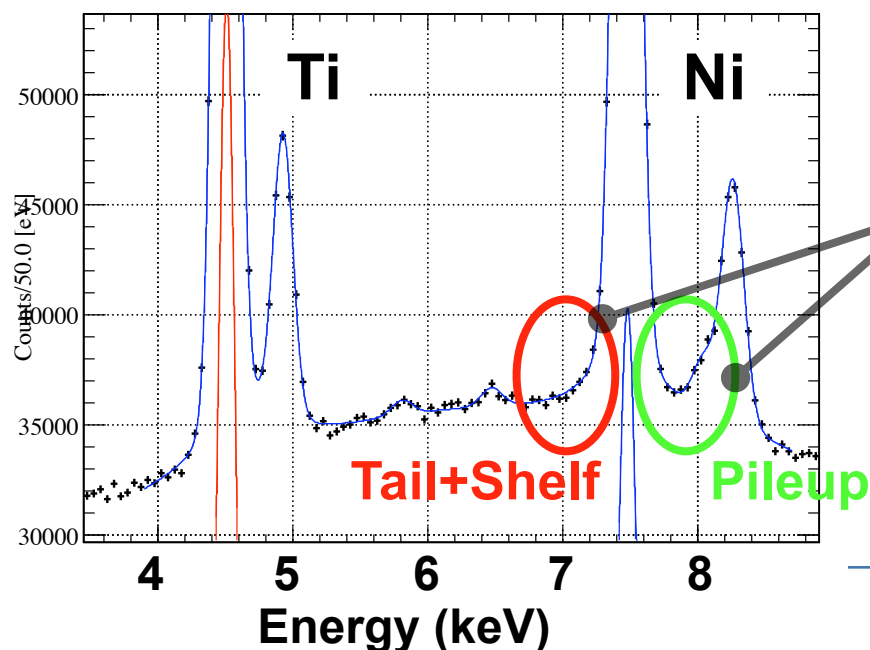


- 形状をガウス関数で近似し
フィットパラメータとして採用

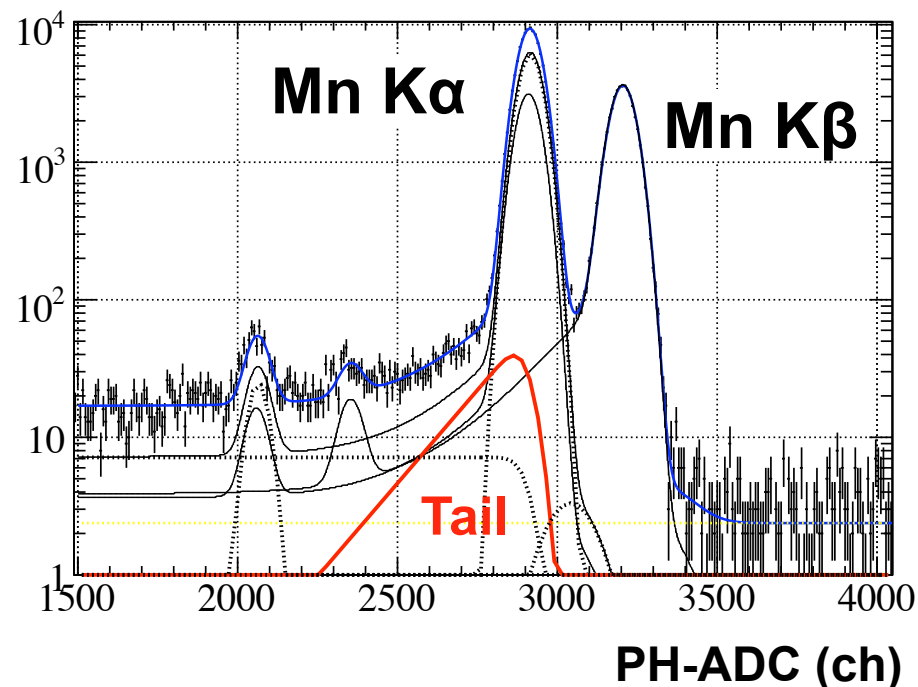
Response function

SDD内でのCompton散乱や
ドリフト電子の非完全収集
が原因とされる テール構造

- Tail : 指数関数とガウス関数の畳み込み
- Shelf : ステップ関数とガウス関数の畳み込み



55Fe 線源のデータ



高統計の較正用データを用いて“Tail, Shelf, Pileup”のパラメータをフィットにより得る

Summary

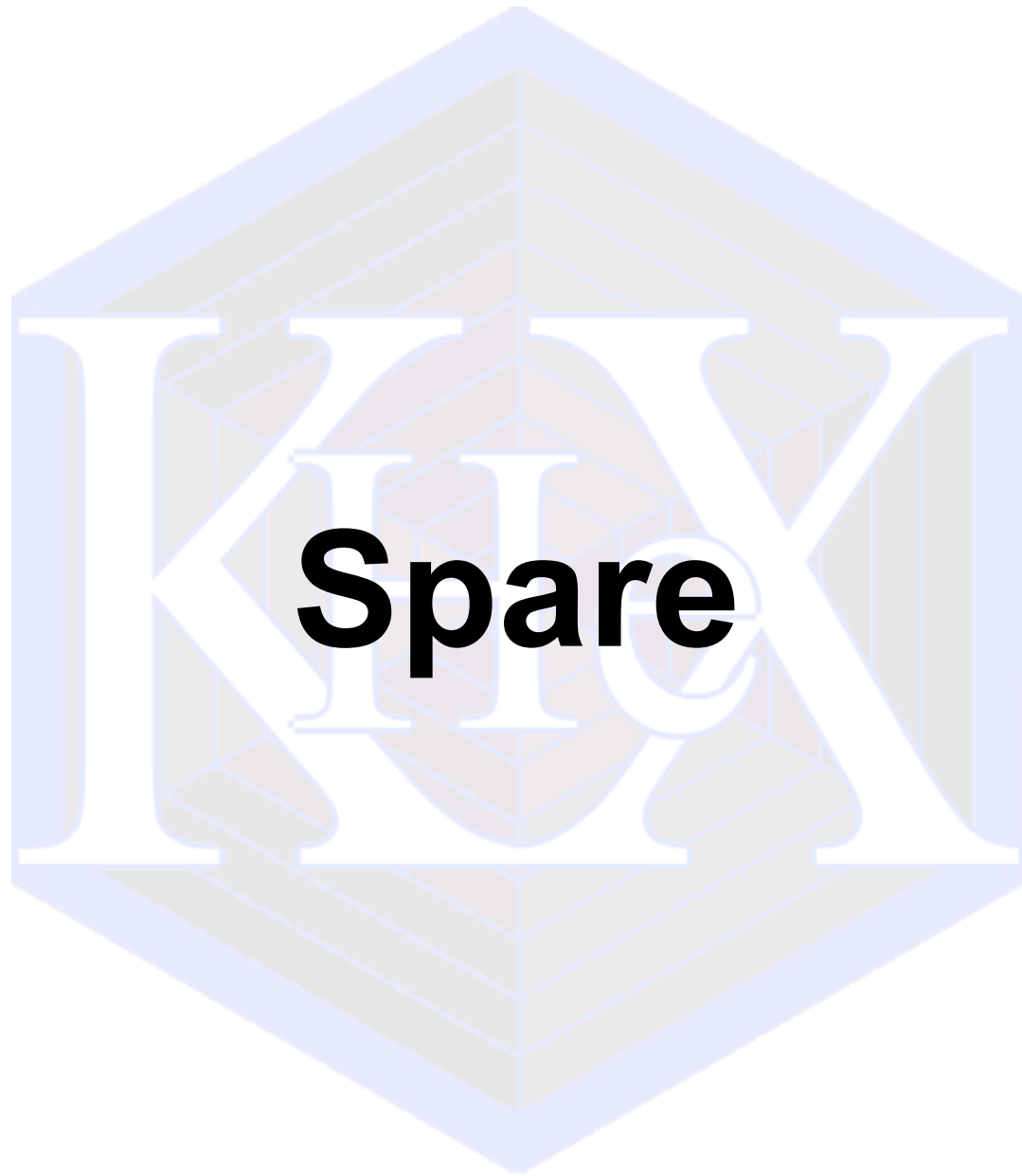
- **E570 実験**

1. 高エネルギー分解能：シリコンドリフトX線検出器
2. 高 S/N 比：反応点再構成、静止 K^- イベント選別
3. In-situ エネルギー較正

- **解析 (スペクトルの解釈)**

1. 液体ヘリウム標的内でのCompton散乱：
静止 K^- の位置をインプットにしたモンテカルロシミュレーション
2. 高レート荷電粒子によるパイルアップ：
フラッシュADCを用いた解析と高統計較正データのフィット
3. SDD の応答関数：Tail + Shelf

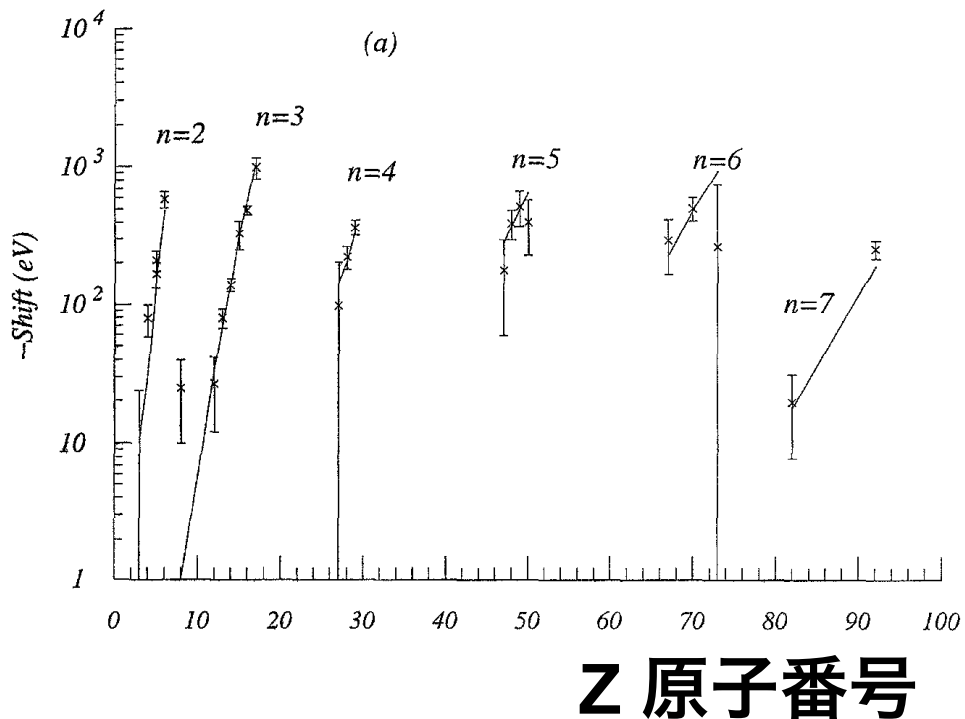
 次の講演に続く



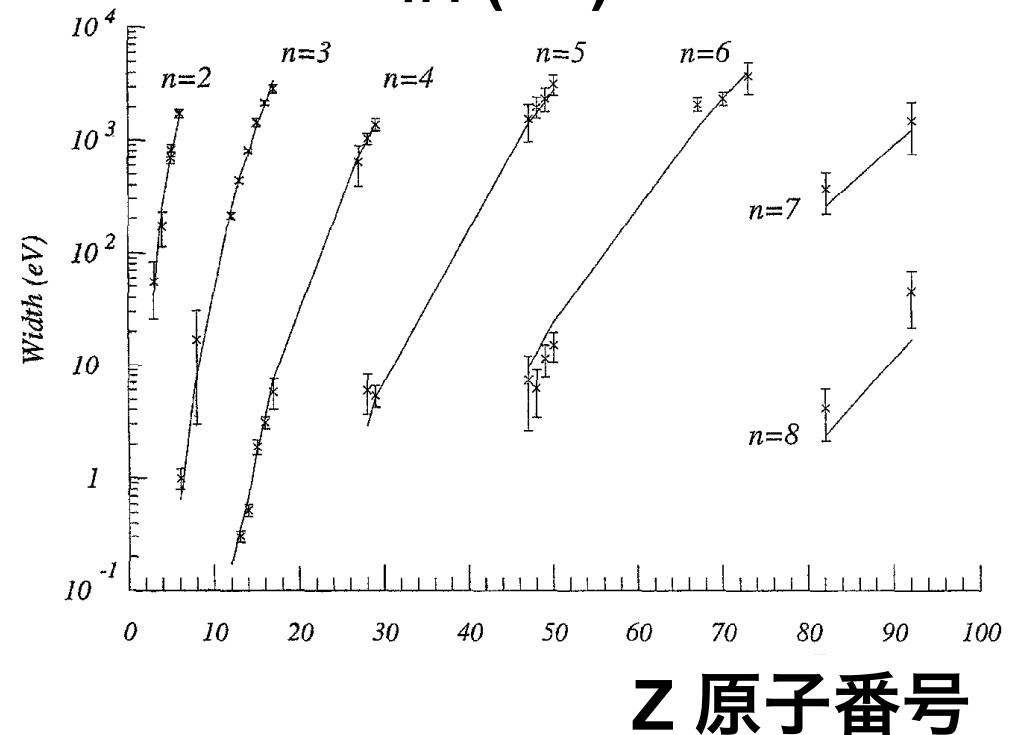
Spare

Kaonic atoms

シフト (eV)



幅 (eV)



オプティカル・ポテンシャルモデルでよくフィットできる

Batty, Friedman and Gal, Phys. Rep. 287 (1997) 385

Past Experiments

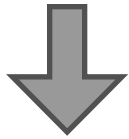
測定器：Si(Li)

分解能 (FWHM) ~ 300 eV

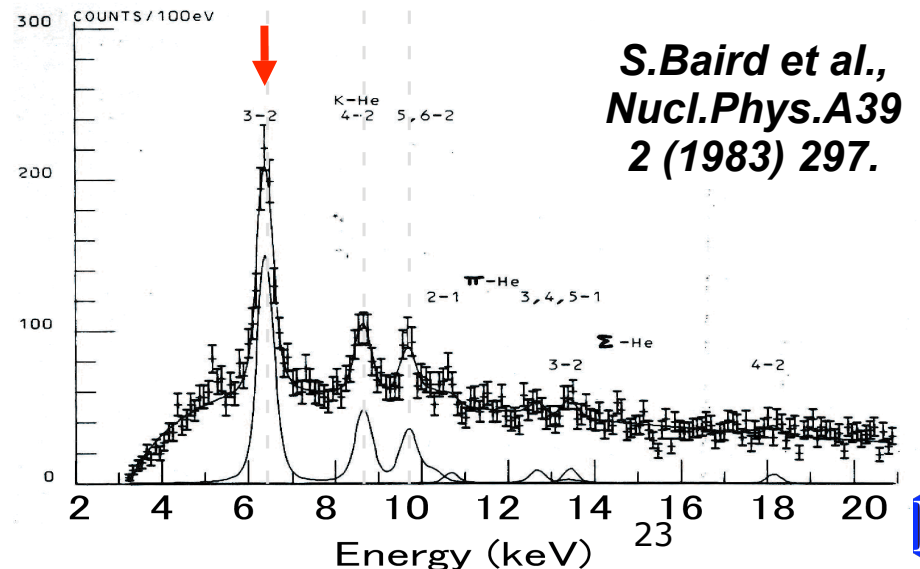
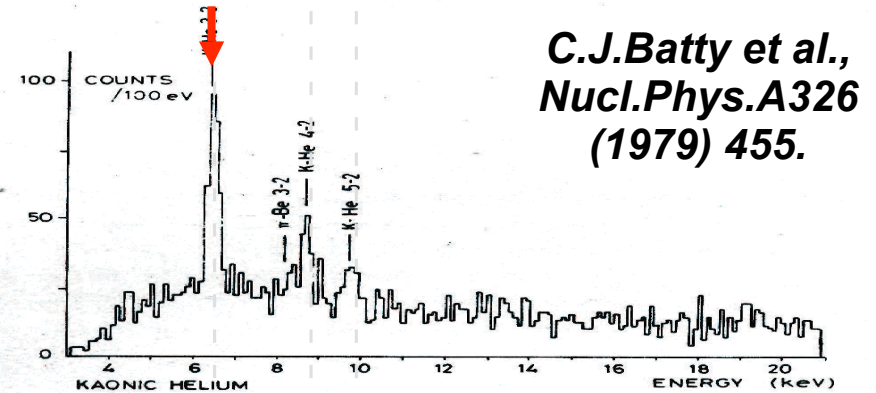
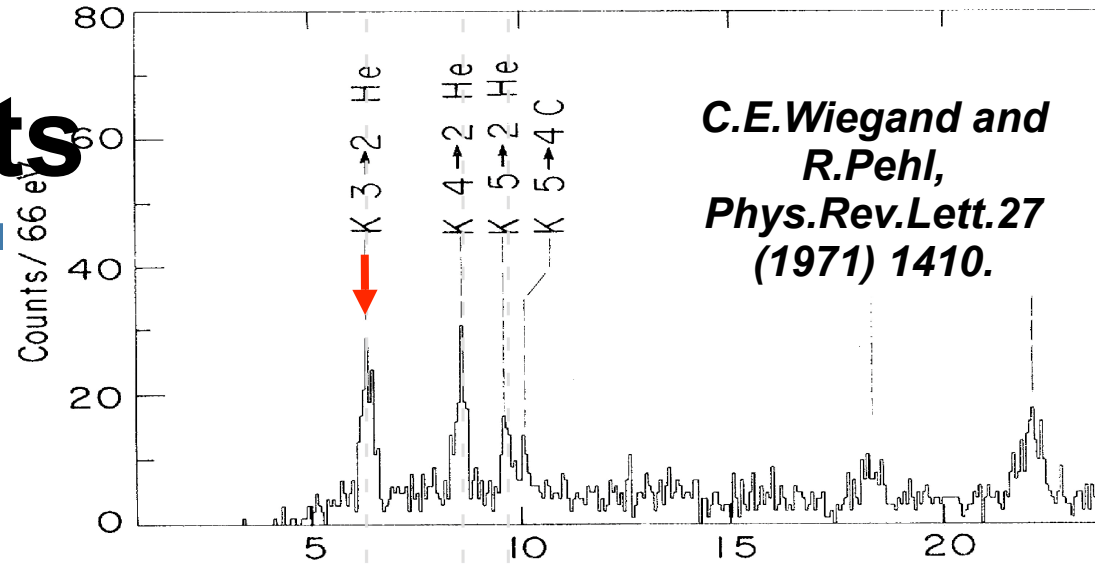
@ 6.4 keV

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



E570 experiment

場所: KEK-PS K5 ビームライン

セットアップは E549 とほぼ同じ (21pZD-4,5)

K⁻運動量 ~660 MeV/c

K⁻収量 ~5k/spill, π/K 比 ~200

トリガー ~1k/spill, アクセプト ~76%

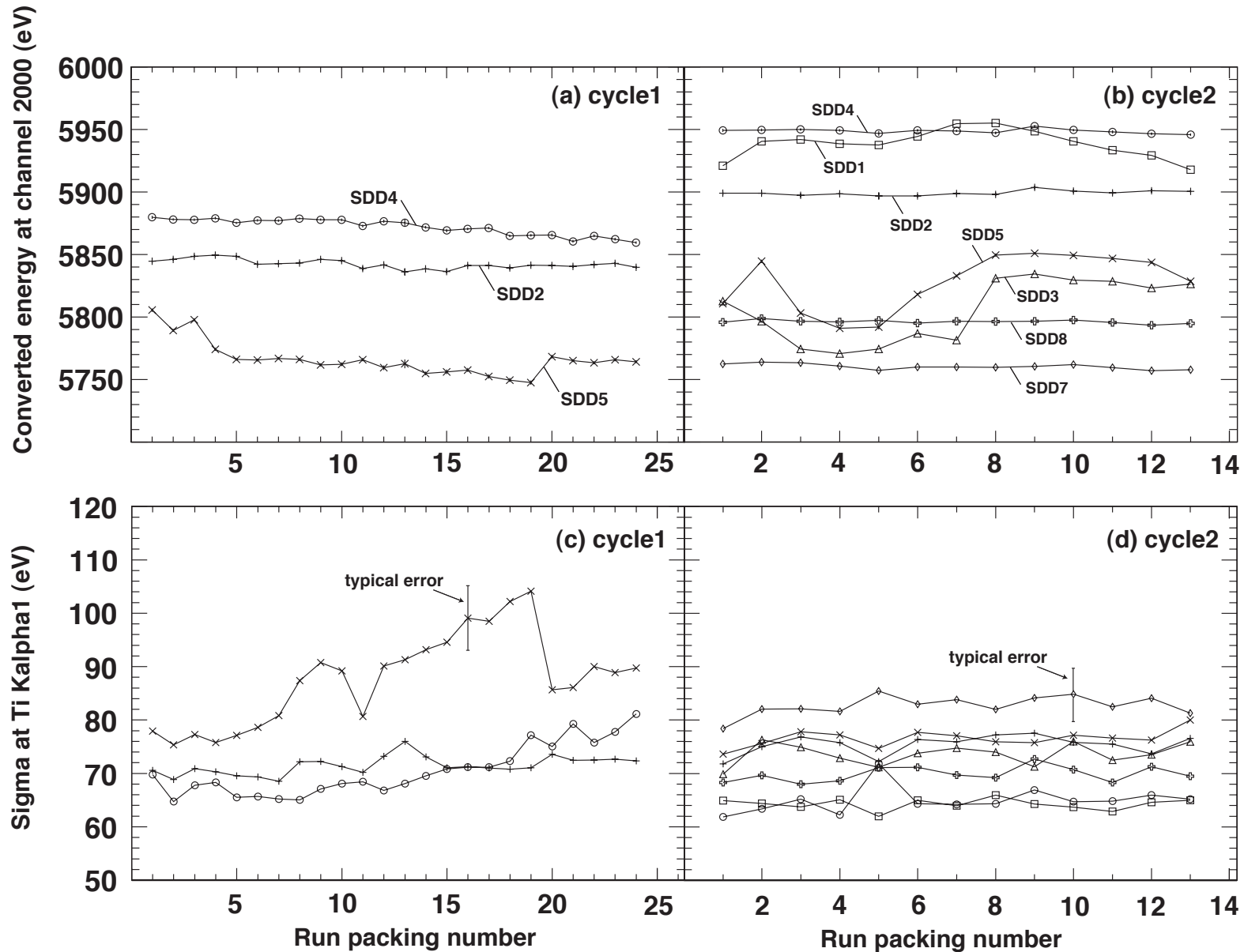
期間

K-⁴He 3d→2p

1st cycle : 2005年10月 ~520 時間, (X線収量 900)

2nd cycle : 2005年12月 ~260 時間, (X線収量 950)

Gain drifts



Stopped-K⁻ selection

