

2007年3月28日(水) 日本物理学会 2007春季大会

@ 首都大学東京

J-PARCにおけるK中間子ヘリウム3原子

$3d \rightarrow 2p$ X線精密測定実験の計画

理研 岡田 信二

for J-PARC E17 collaboration

J-PARC E17 Collaboration

● 理化学研究所：

飯尾雅実, 板橋健太, 岩崎雅彦, 松田恭幸,
大西宏明, 岡田信二(Technical coordinator),
應田治彦(Co-spokesperson), 佐久間史典,
鈴木隆敏, 友野大, 山崎敏光

● 東京大学：

早野龍五(Spokesperson), 石川隆, 竜野秀行

● 高エネルギー加速器研究機構：

石元茂, 鈴木祥仁

● 東京工業大学：

福田芳之, 佐藤将春

● 東京理科大学：

千葉順成, 花木俊生

● ステファンマイヤー研究所 (オーストリア)：

P. Buehler, M. Cargnelli, A. Hirtl,
石渡智一, P. Kienle, J. Marton,
E. Widmann, J. Zmeskal

● LNF-INFN (イタリア)：

C. Curceanu, C. Guaraldo, M. Iliescu,
D. Pietreanu, D. Sirghi, F. Sirghi

● ソウル大学 (韓国)：

H. Bhang, S. Choi, H. Yim

● ヴィクトリア大学 (カナダ)：

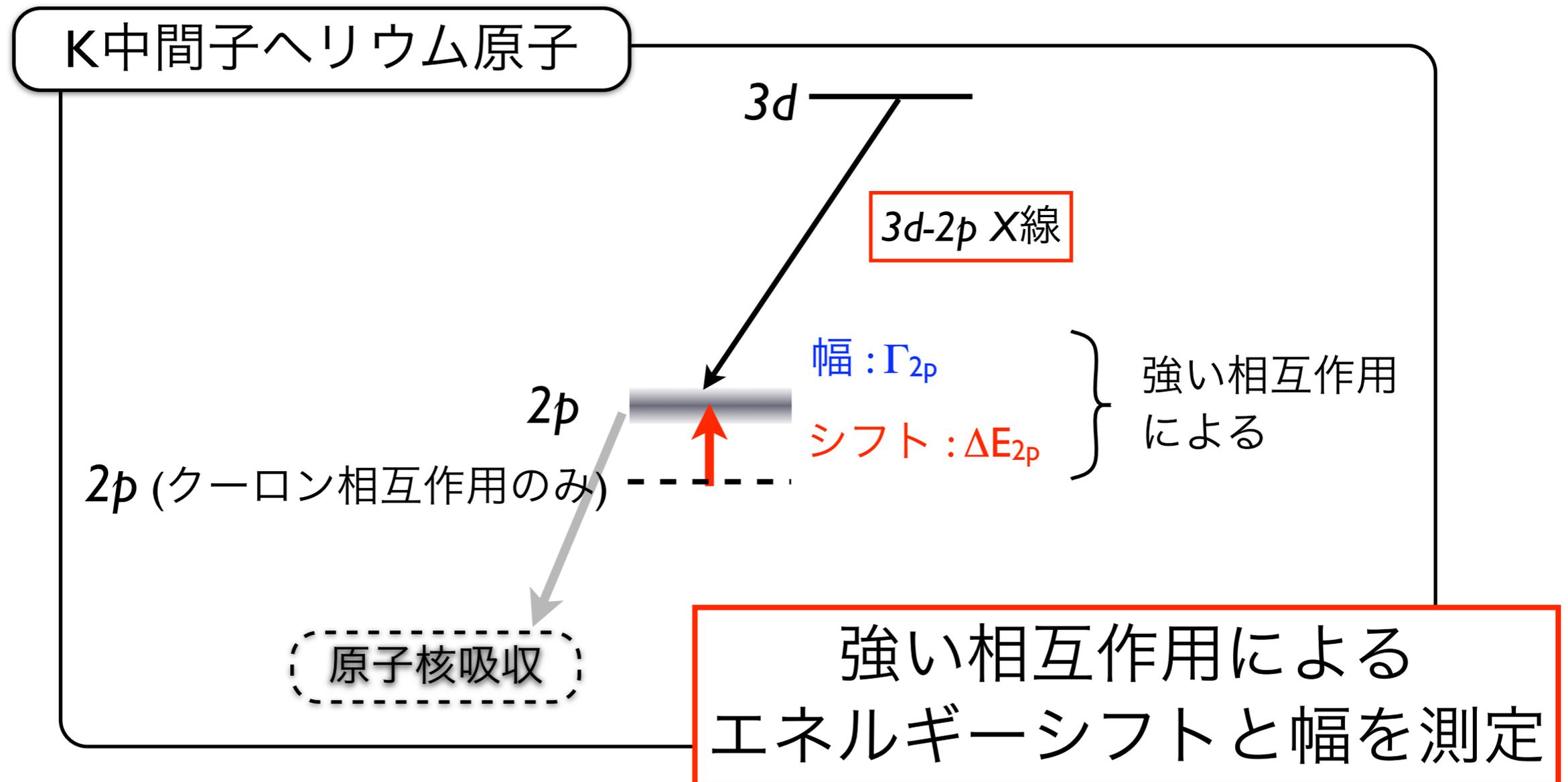
G. Beer

9機関 / 38名

Introduction

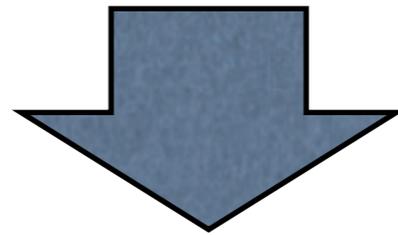
J-PARC E17 : 何を測定するか？

➔ K中間子ヘリウム3原子X線エネルギー



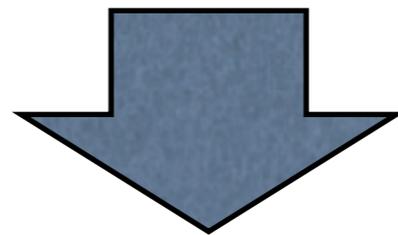
本実験の目的

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



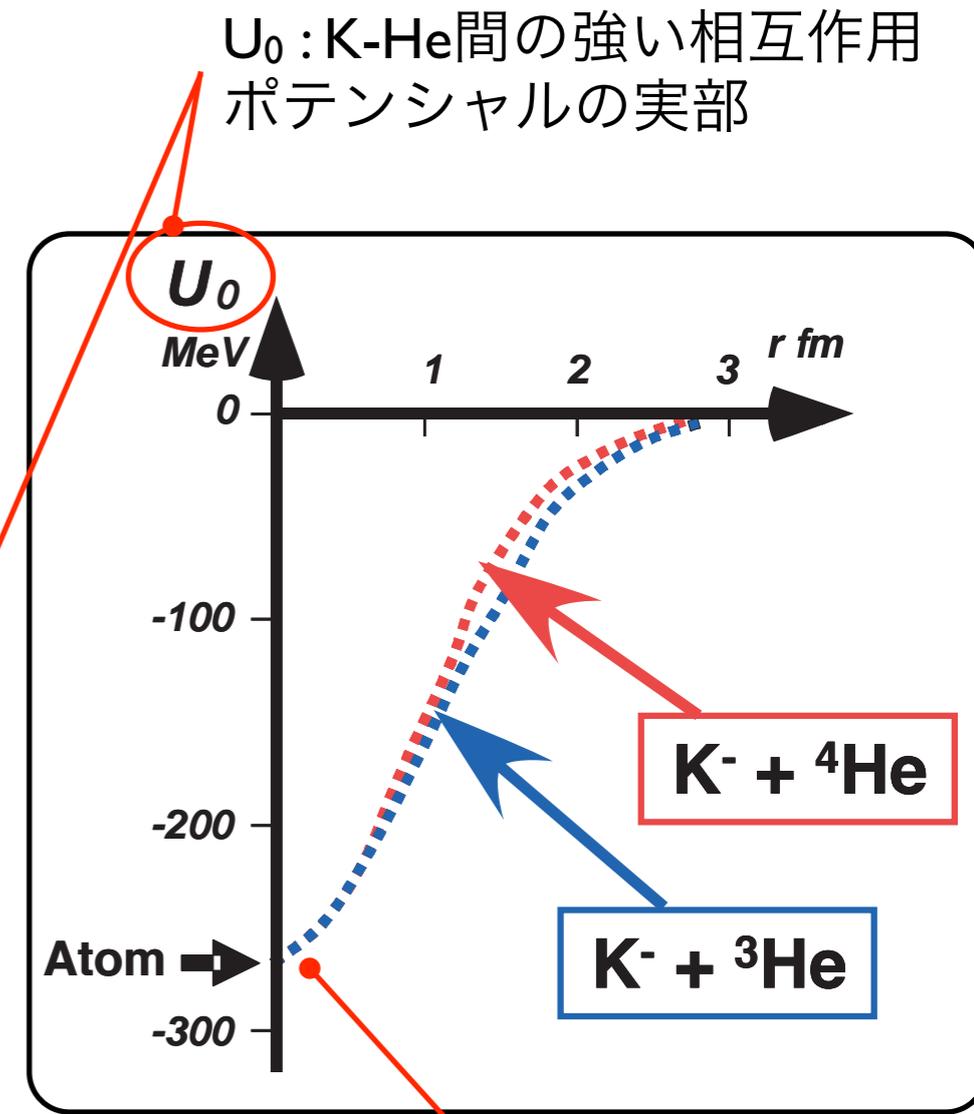
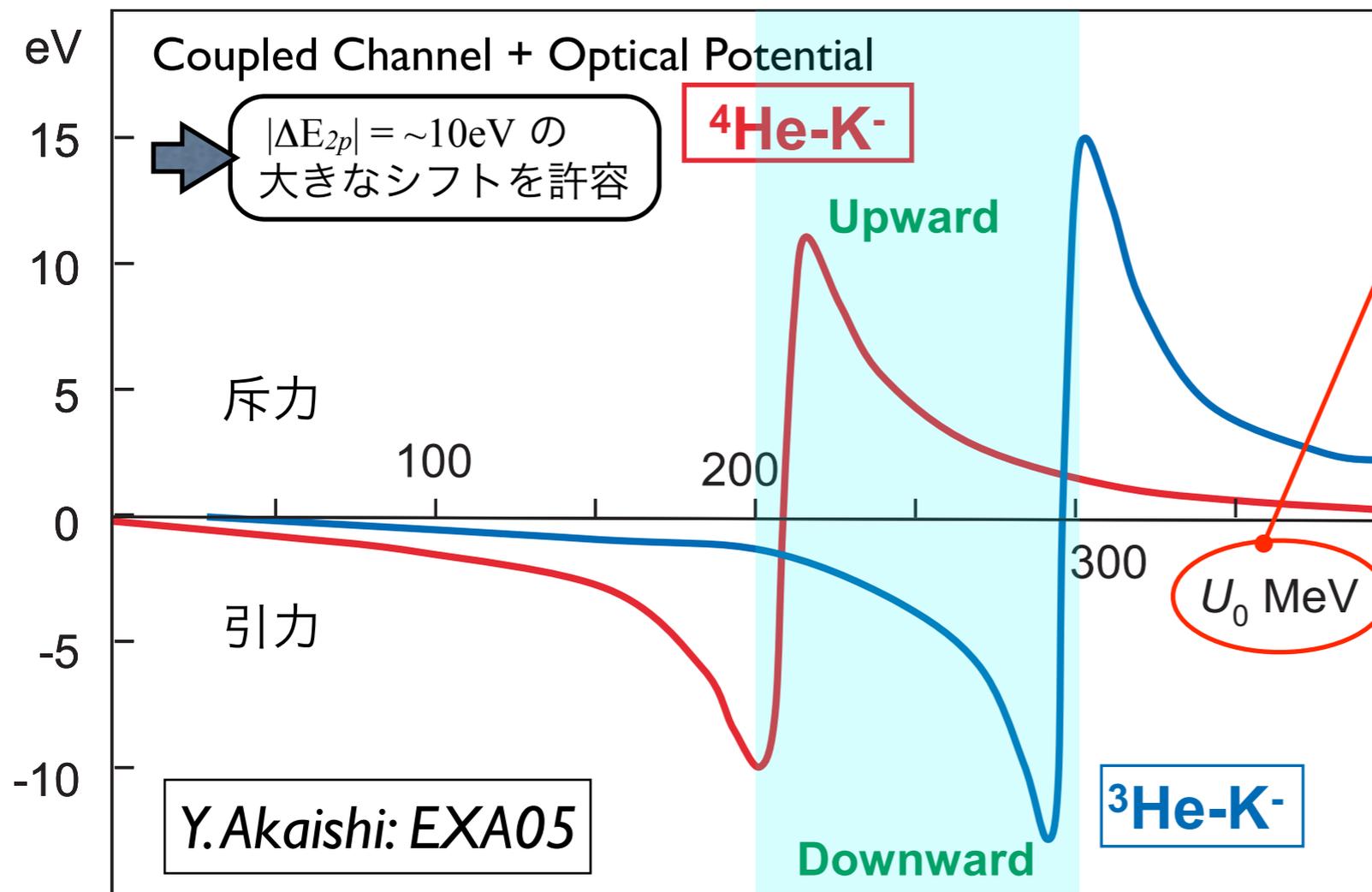
本実験の目的

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

K-³HeとK-⁴He : Coupled-channel 計算

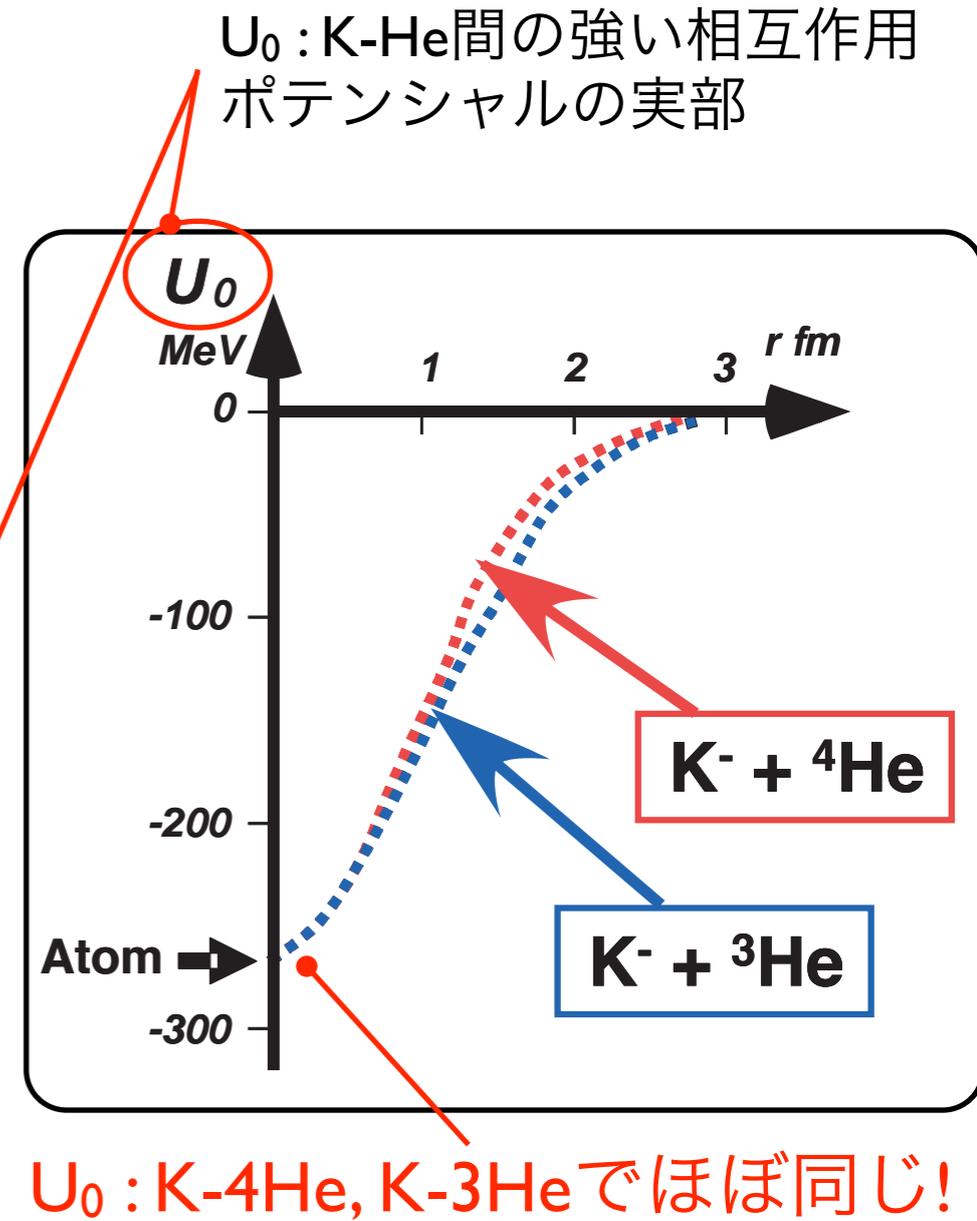
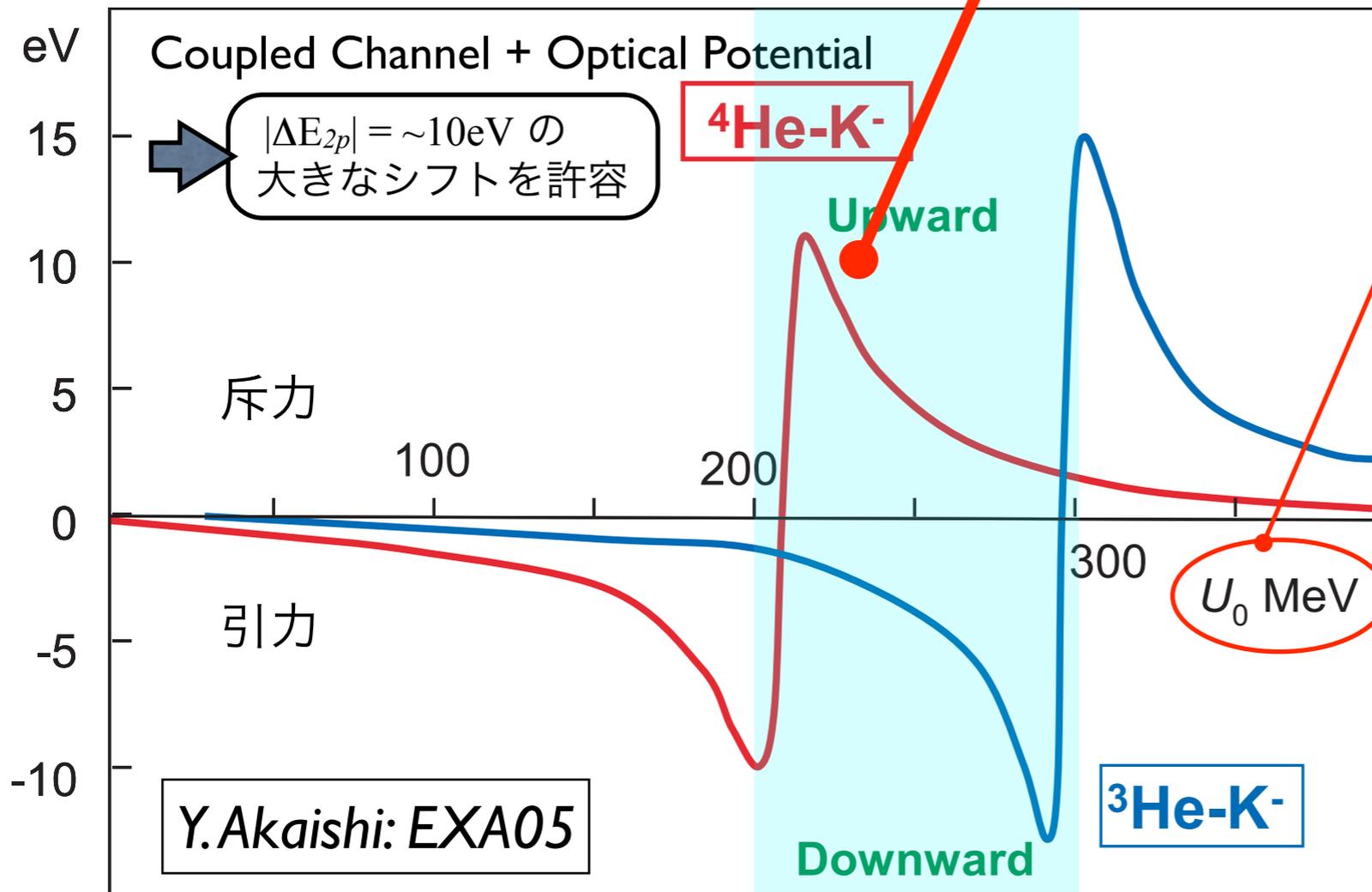


U_0 : K-4He, K-3Heでほぼ同じ!

K-³HeとK-⁴He : Coupled-channel 計算

KEK-PS E570で実験
(2005年10月~12月)

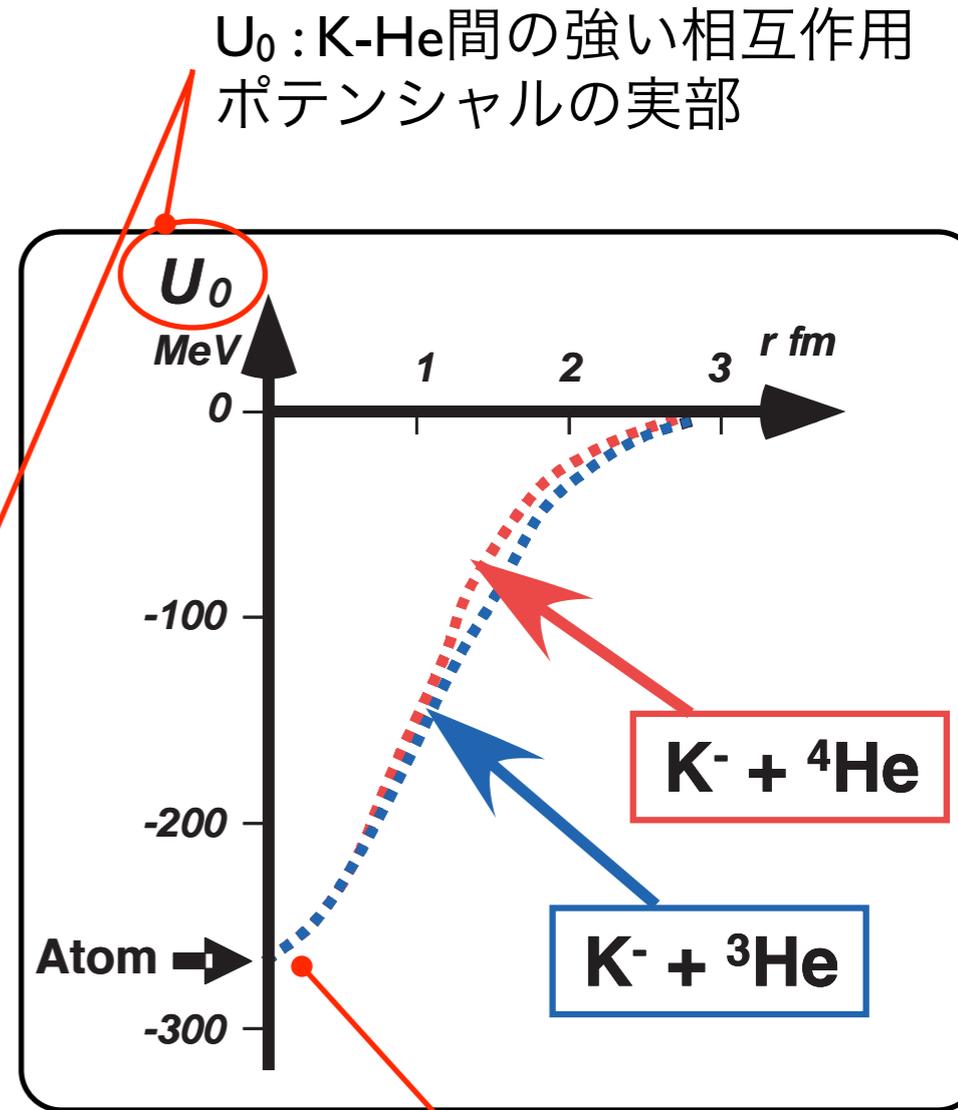
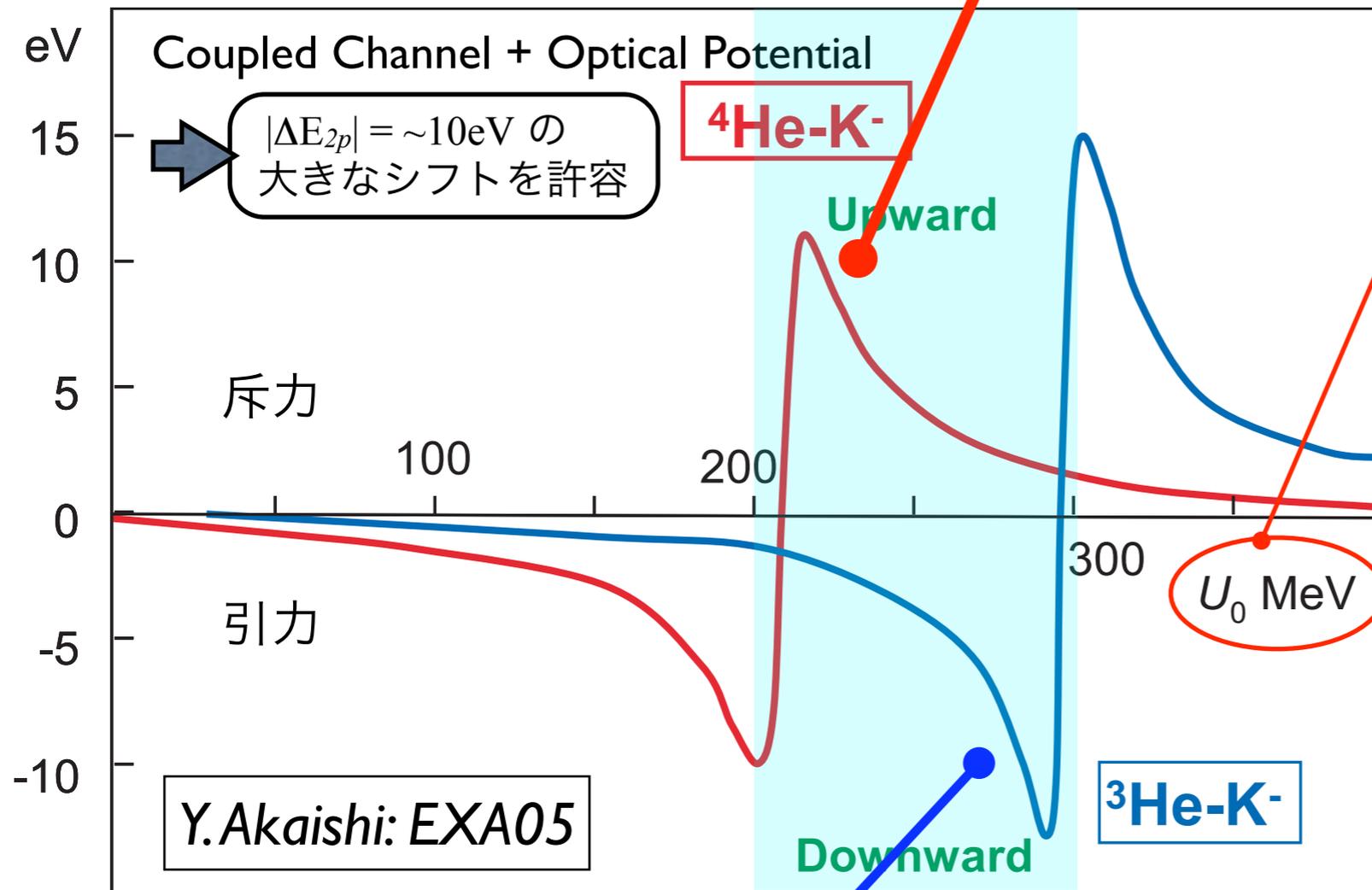
cf. 本日午前
竜野(28aSC8)



K-³HeとK-⁴He : Coupled-channel 計算

KEK-PS E570で実験
(2005年10月~12月)

cf. 本日午前
竜野(28aSC8)



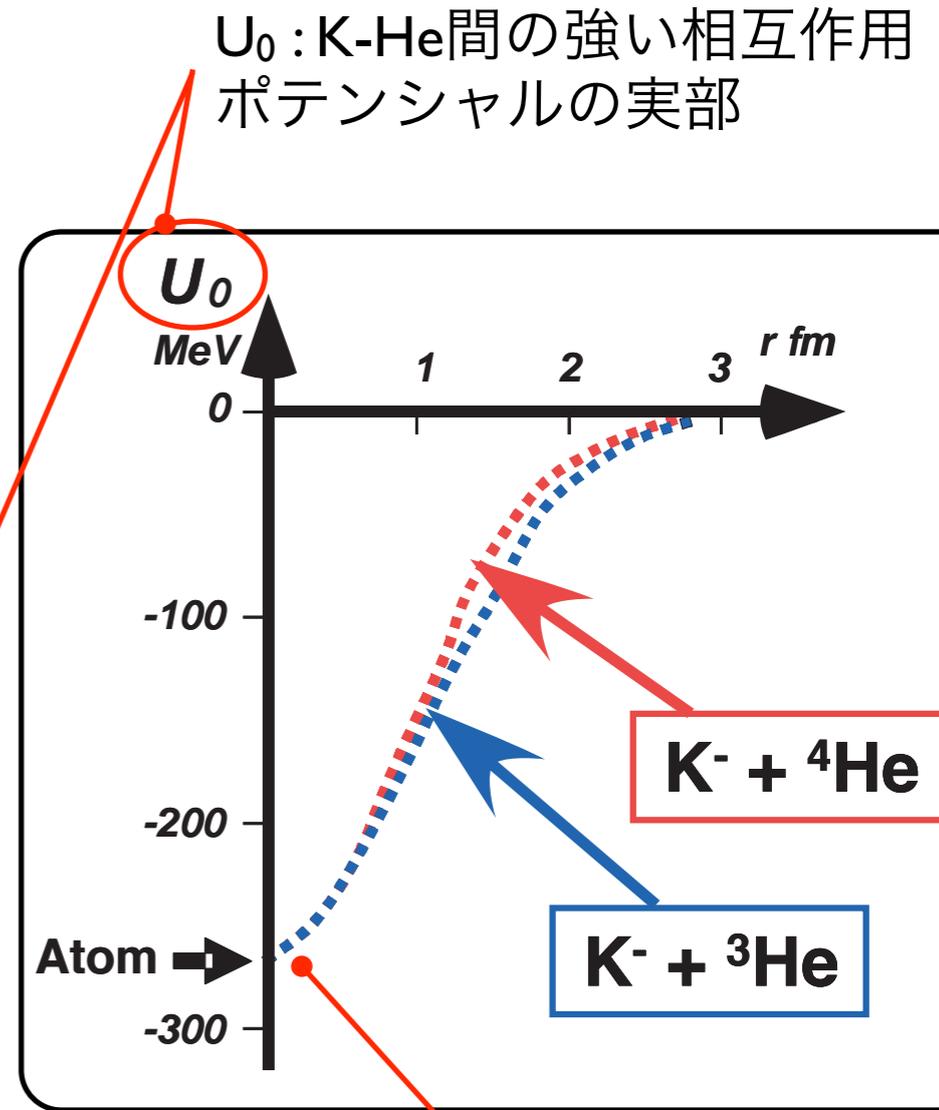
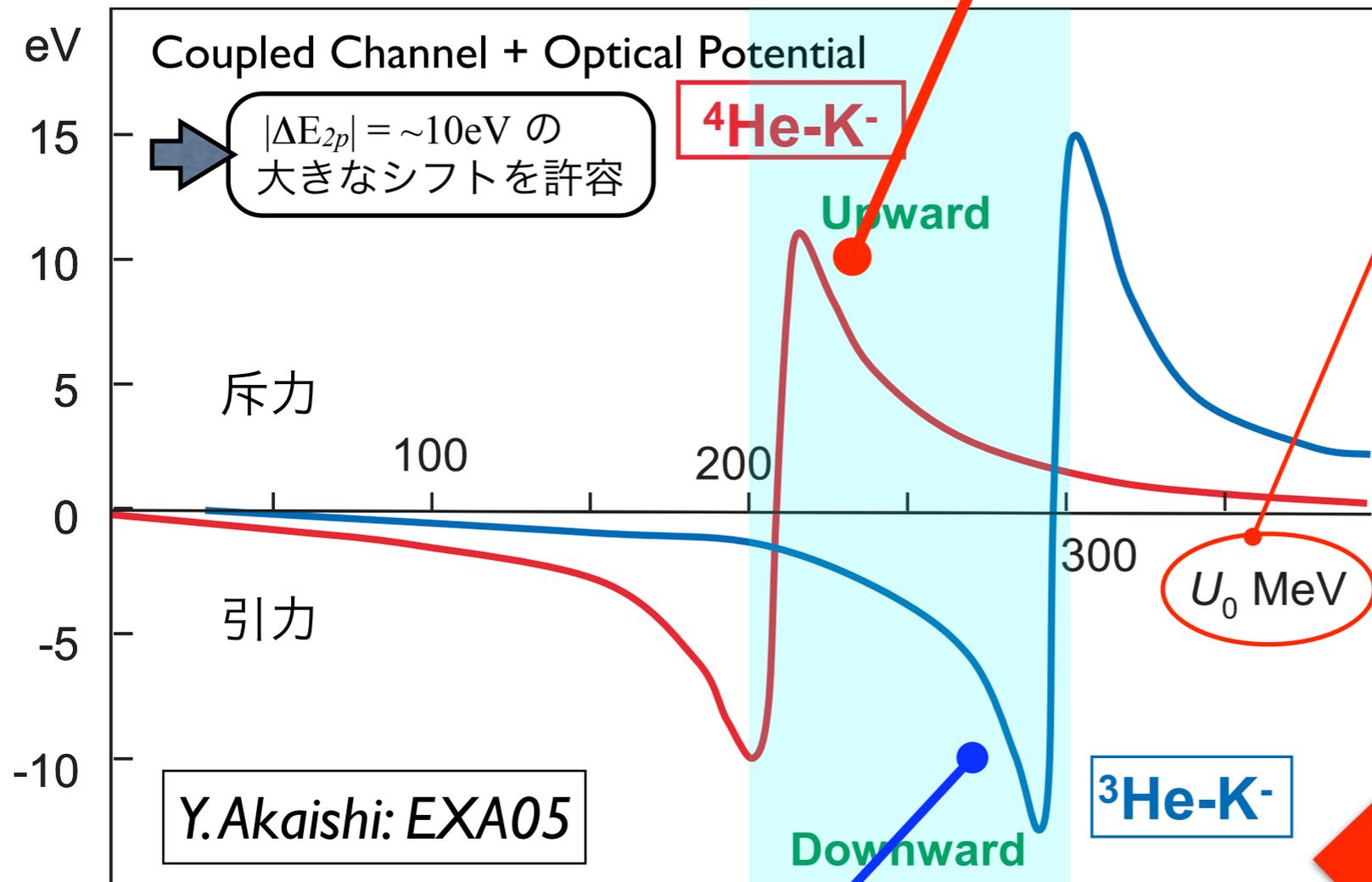
U_0 : K-⁴He, K-³Heでほぼ同じ!

J-PARC E17実験 (DAY-1)
K-³Heは本実験が初

K-³HeとK-⁴He : Coupled-channel 計算

KEK-PS E570で実験
(2005年10月~12月)

cf. 本日午前
竜野(28aSC8)



U_0 : K-4He, K-3Heでほぼ同じ!

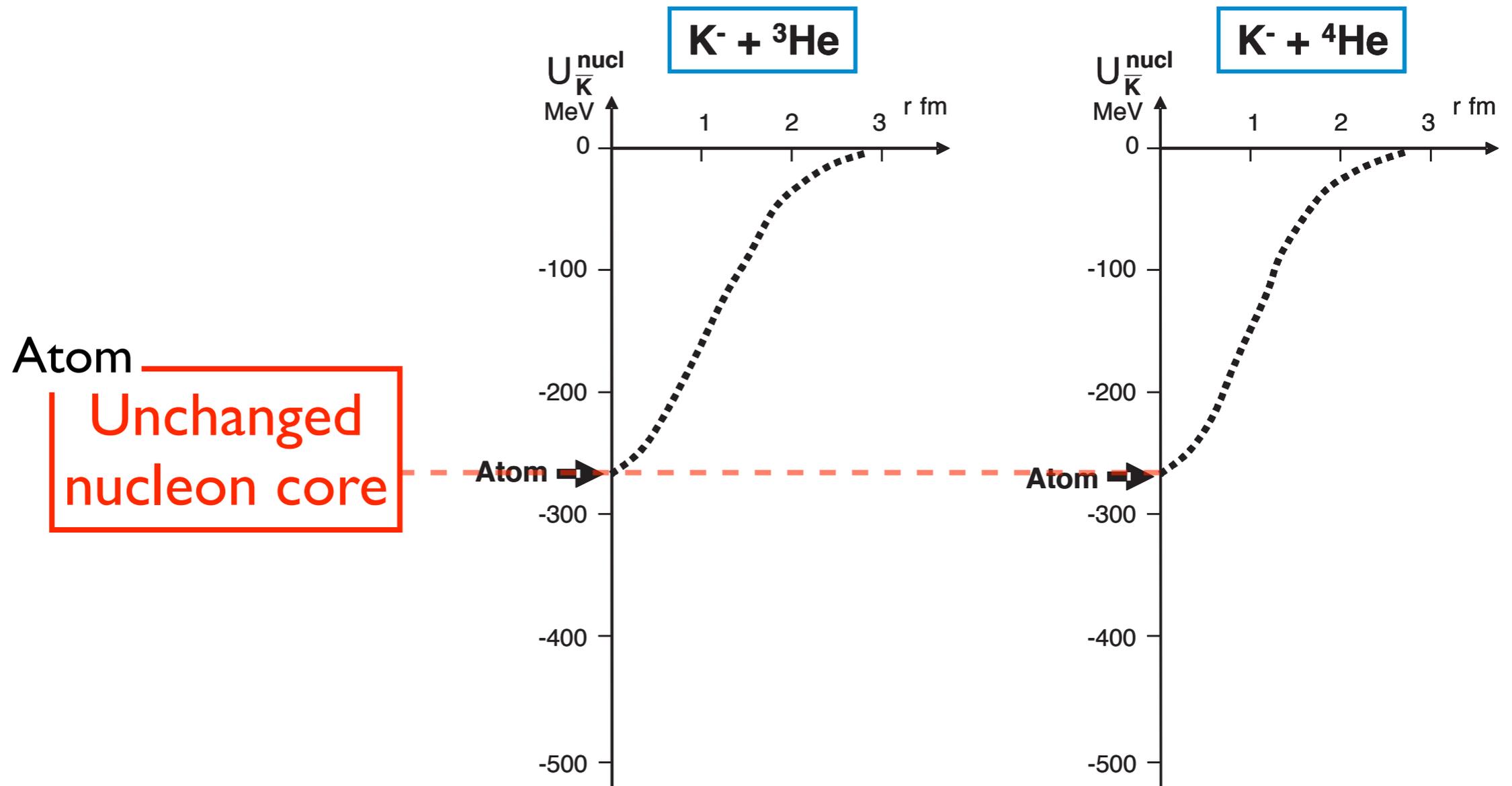
J-PARC E17実験 (DAY-1)
K-³Heは本実験が初

K-He間のポテンシャルの深さに関する情報

K中間子原子核の存在に関する重要な情報

赤石・山崎の計算：K中間子の深い束縛状態を予言

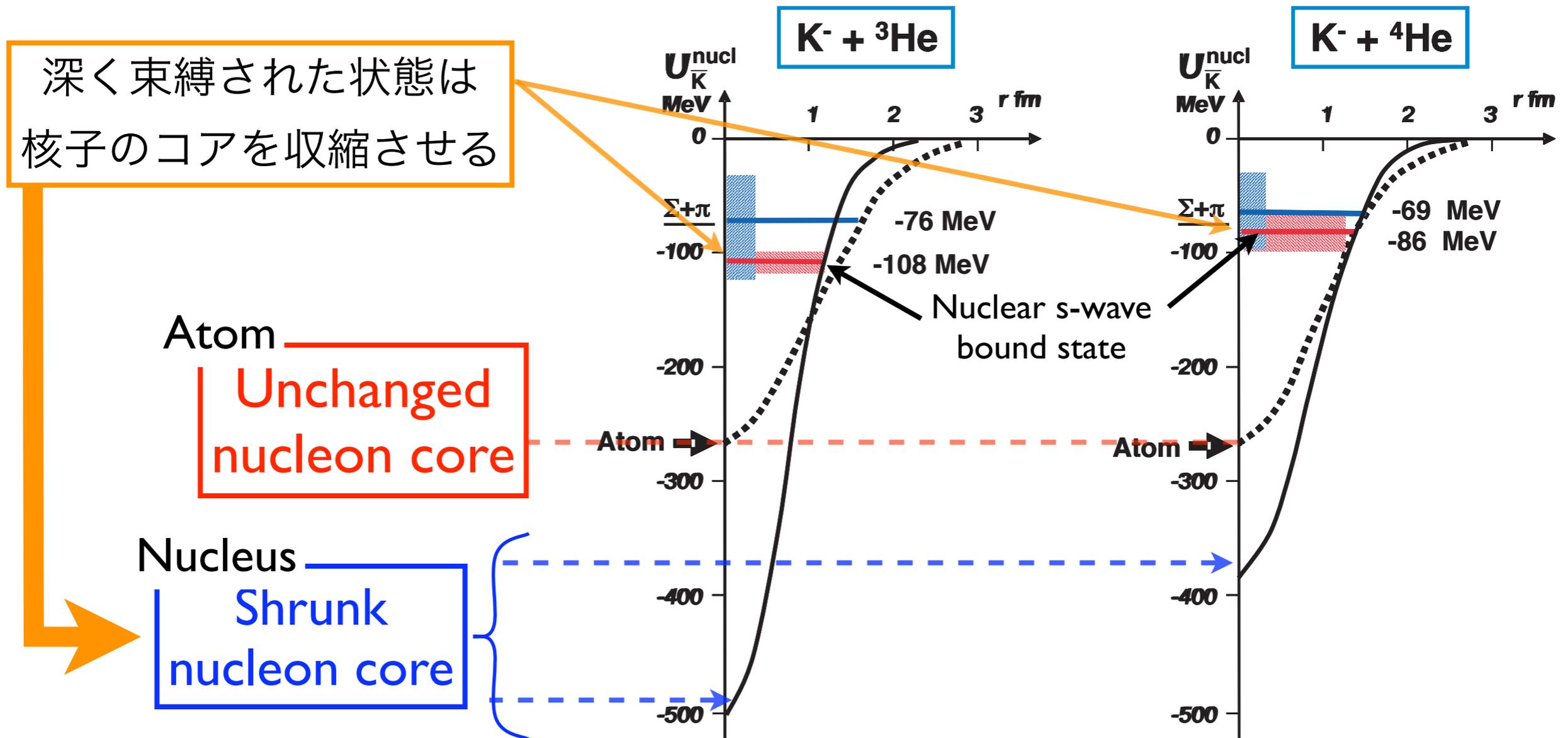
K-^{3,4}He間の(強い相互作用の)ポテンシャル実部



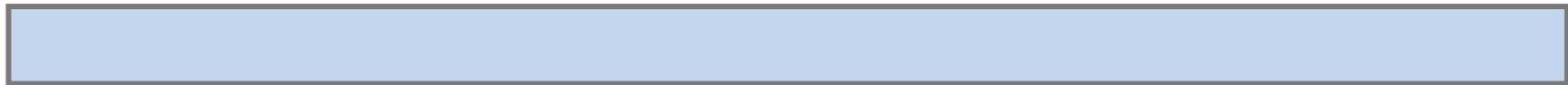
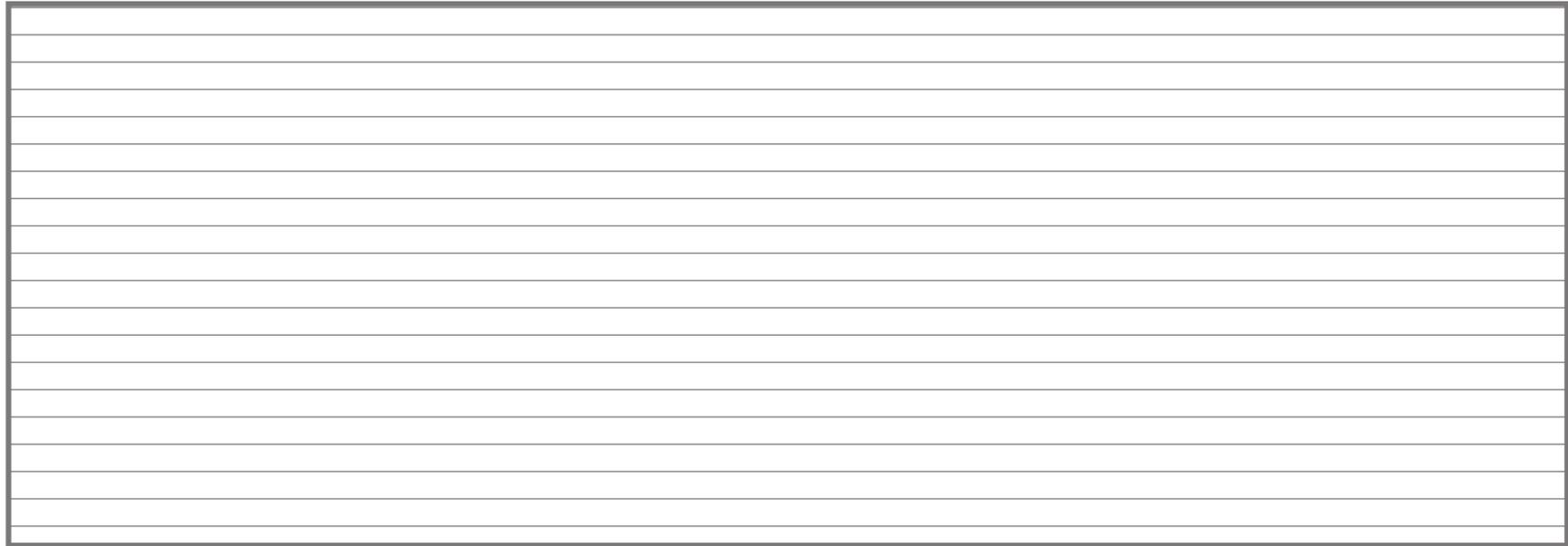
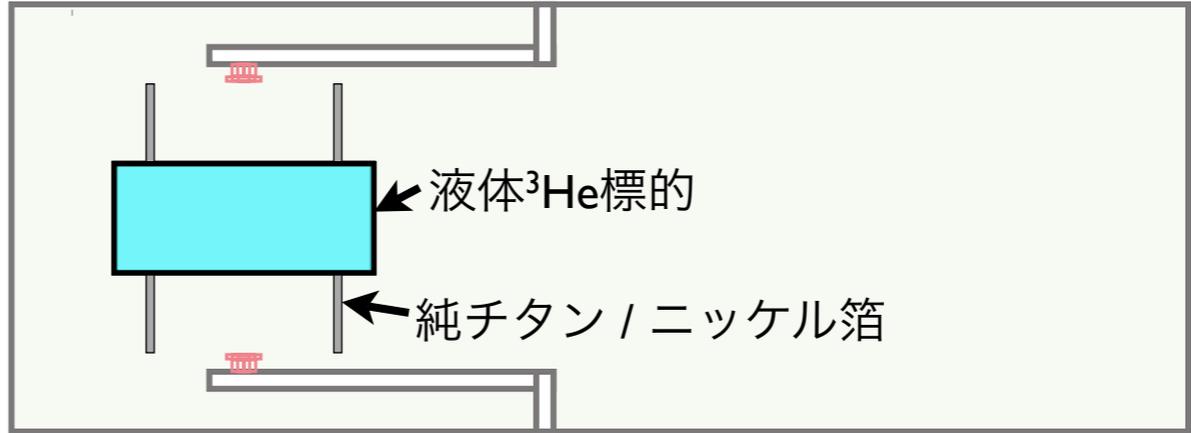
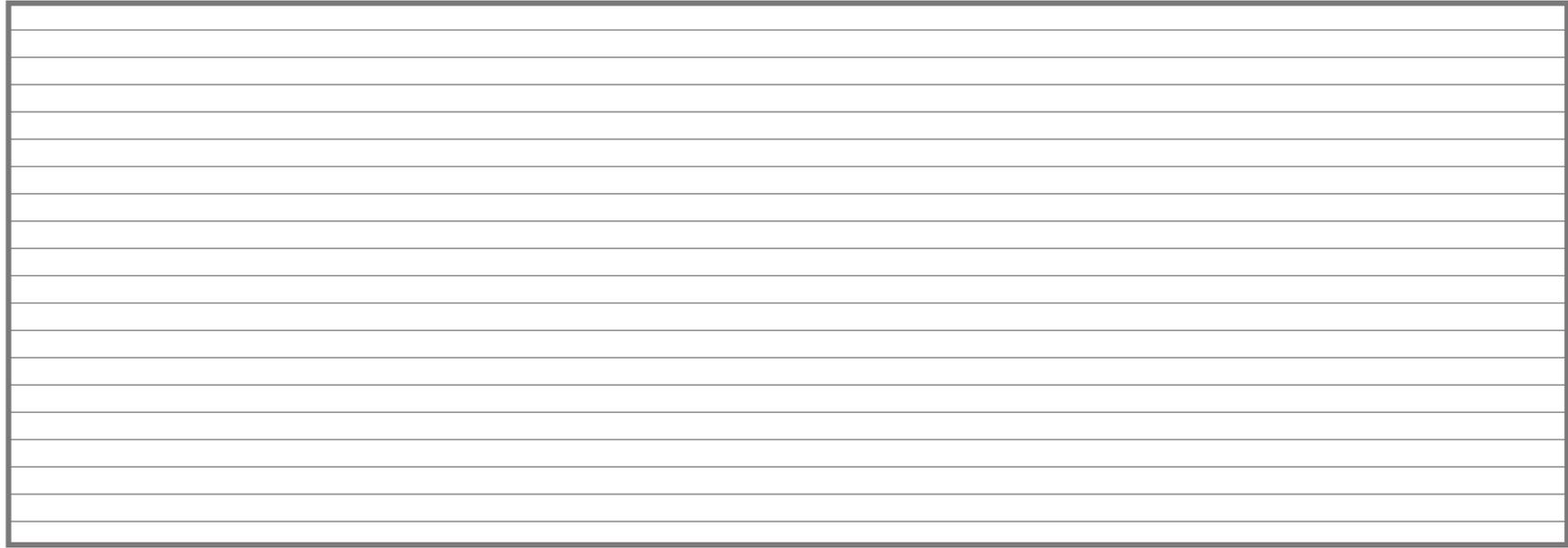
K中間子原子核の存在に関する重要な情報

赤石・山崎の計算：K中間子の深い束縛状態を予言

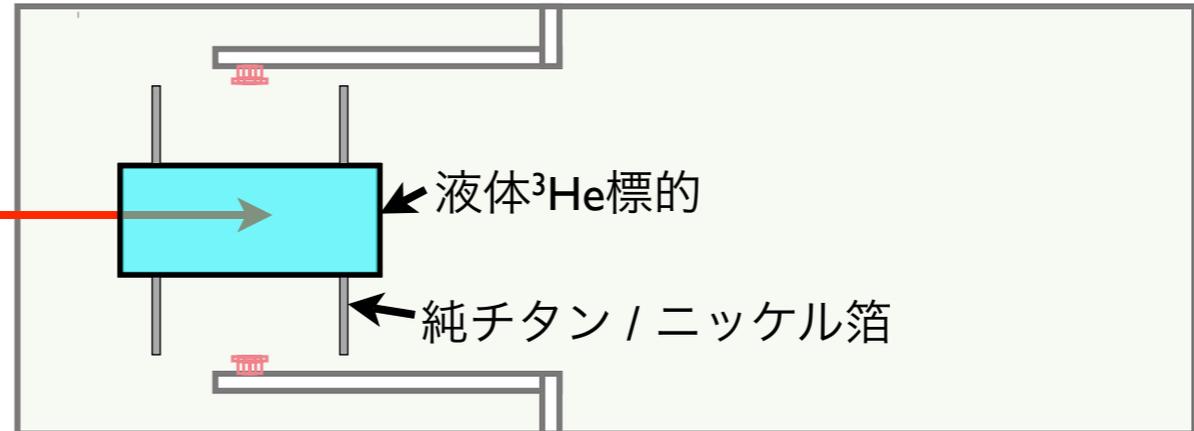
K-^{3,4}He間の(強い相互作用の)ポテンシャル実部



実験手法



K中間子ビーム



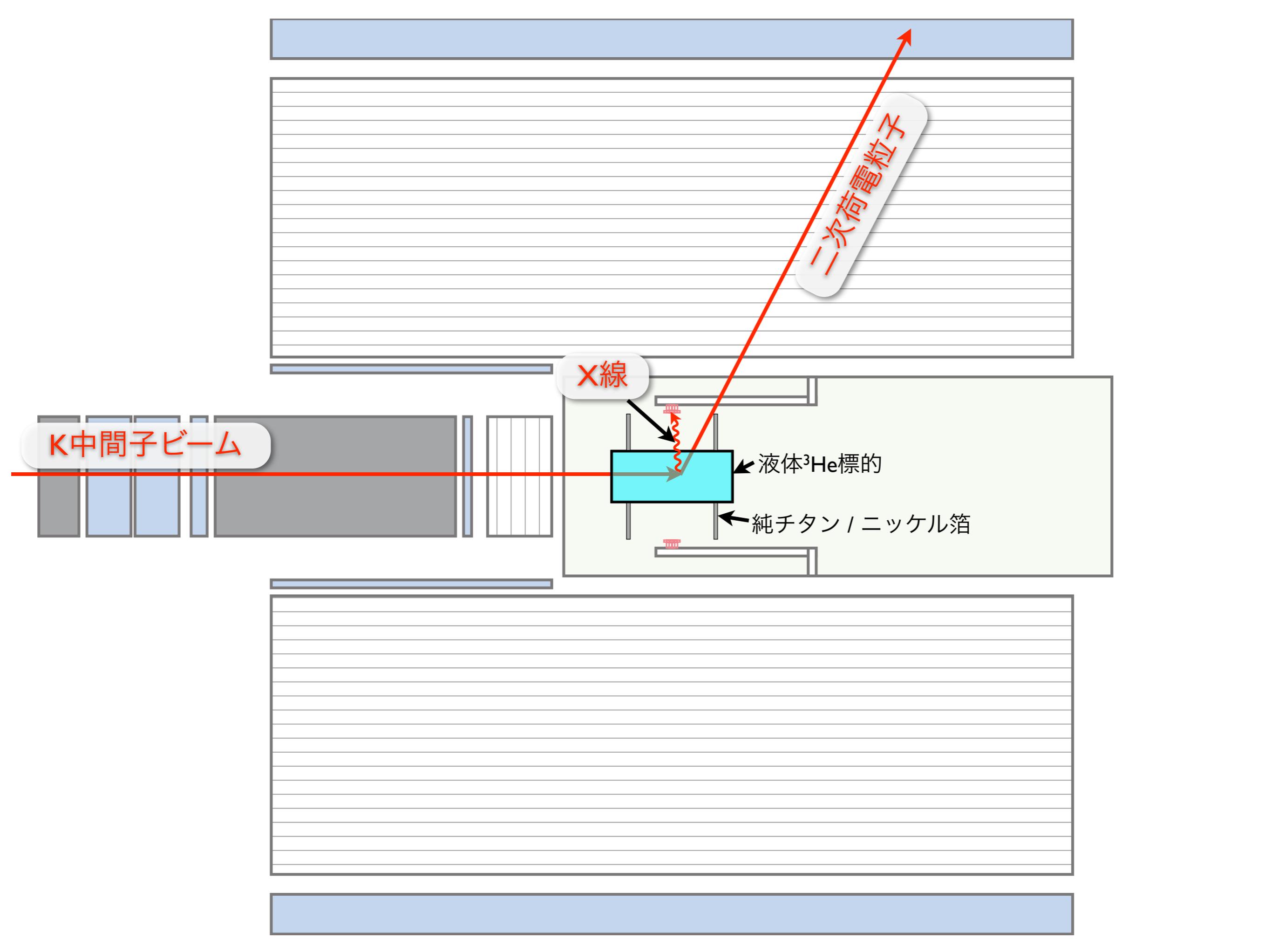
K中間子ビーム

X線

二次荷電粒子

液体 ^3He 標的

純チタン/ニッケル箔



K中間子ビーム

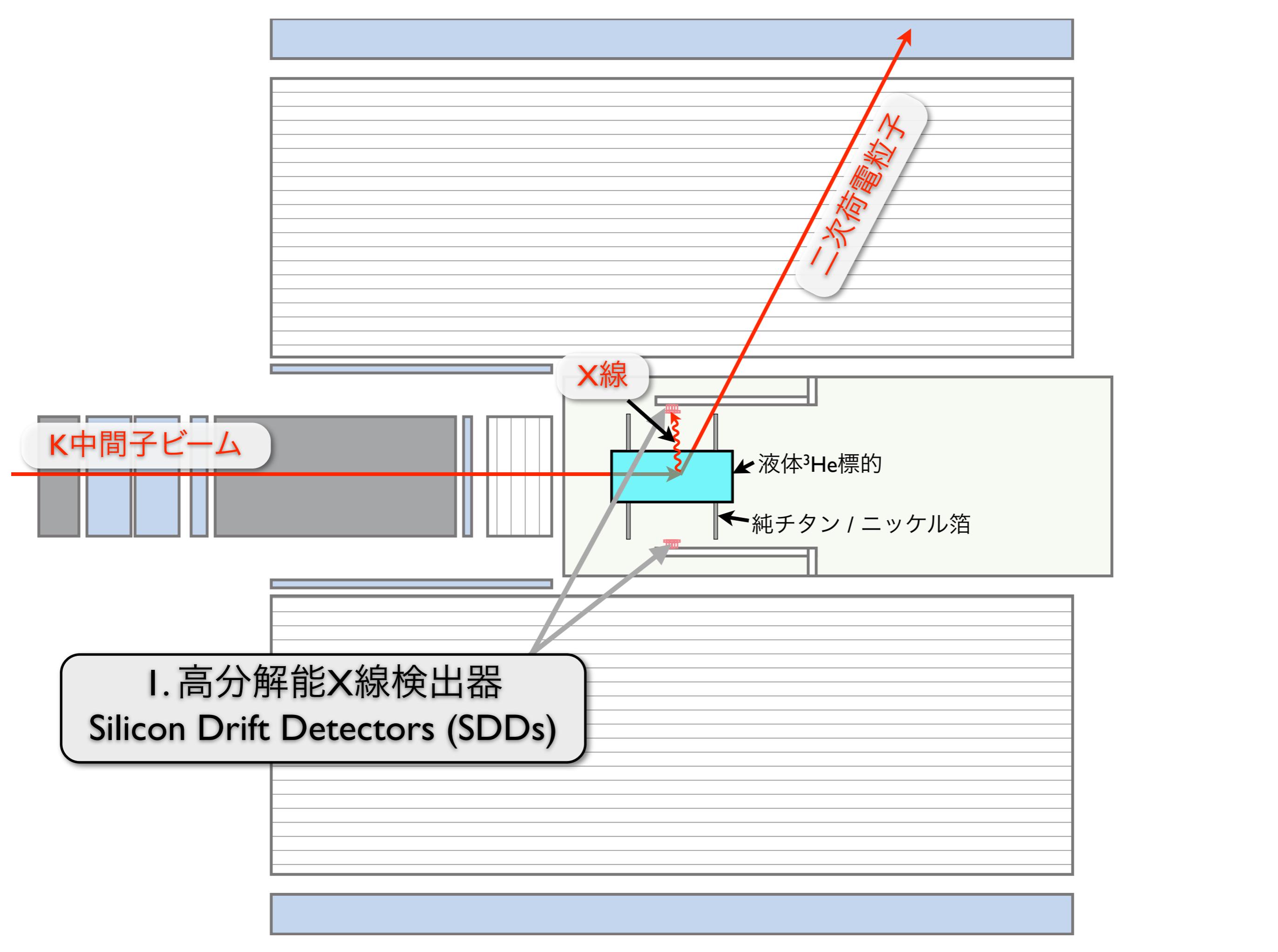
X線

二次荷電粒子

液体 ^3He 標的

純チタン/ニッケル箔

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



2. 標的静止事象の選択 (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

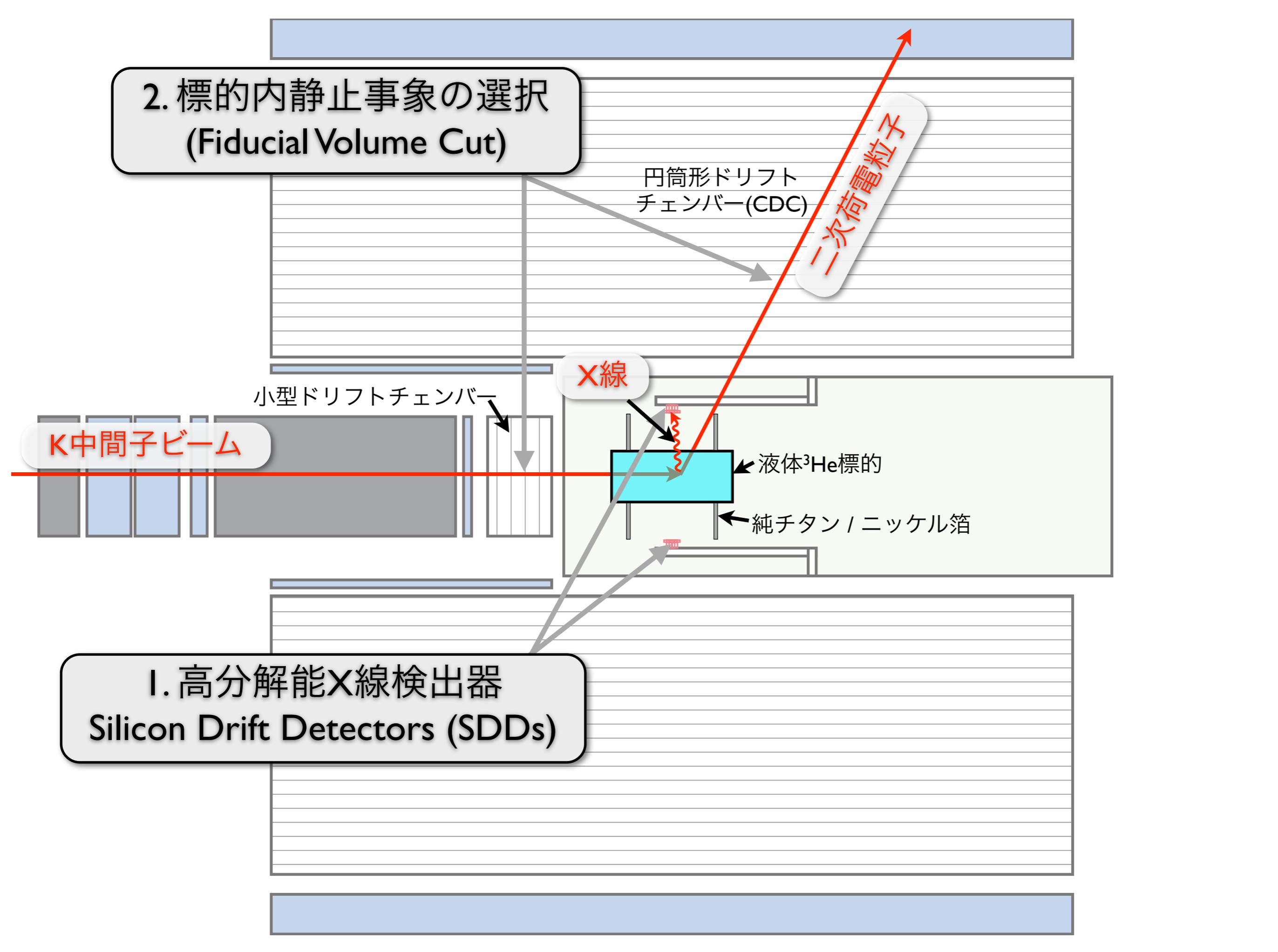
K中間子ビーム

X線

液体 ^3He 標的

純チタン/ニッケル箔

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



2. 標的静止事象の選択 (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

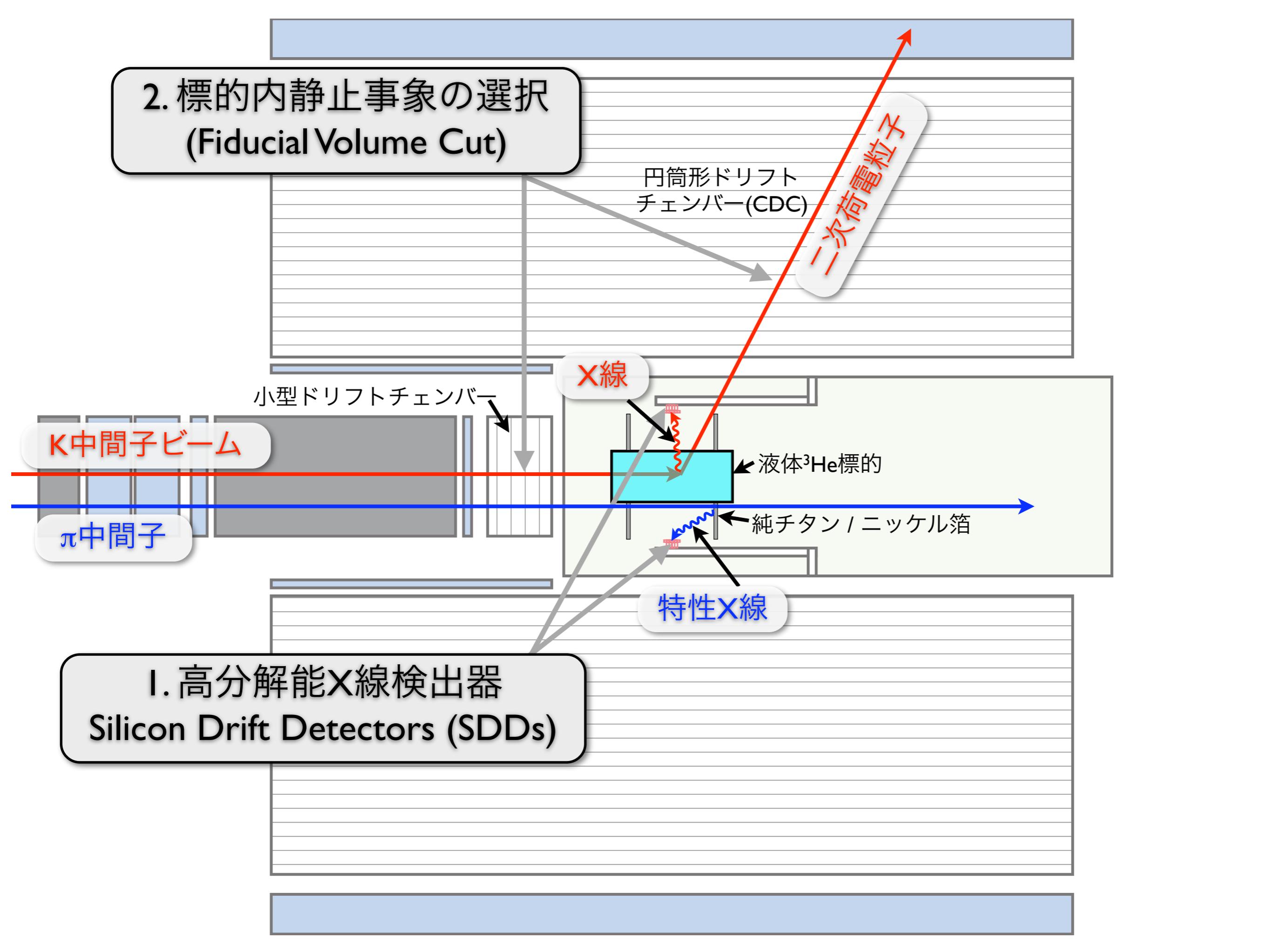
X線

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)



2. 標的の内静止事象の選択 (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

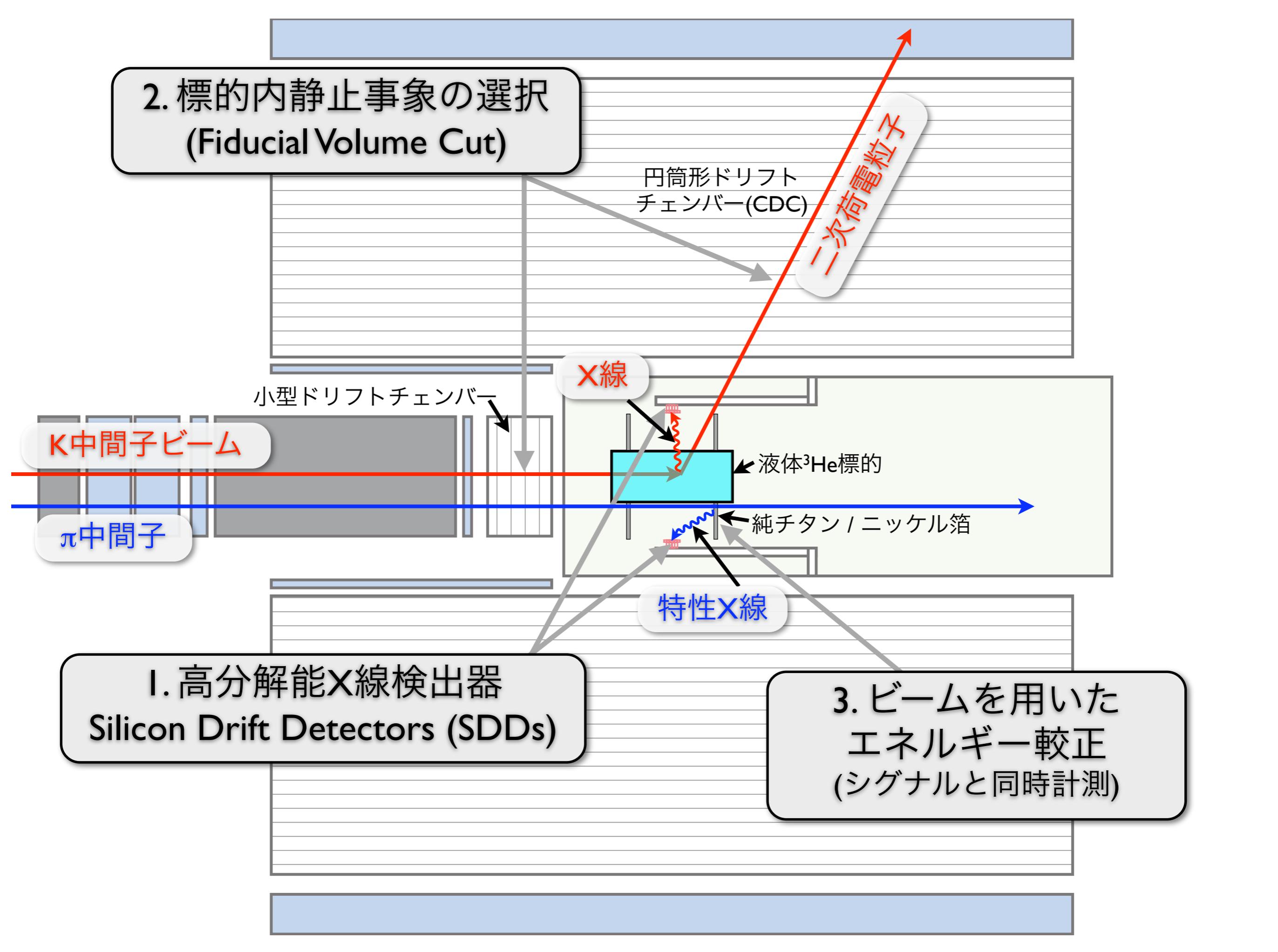
液体 ^3He 標的

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)



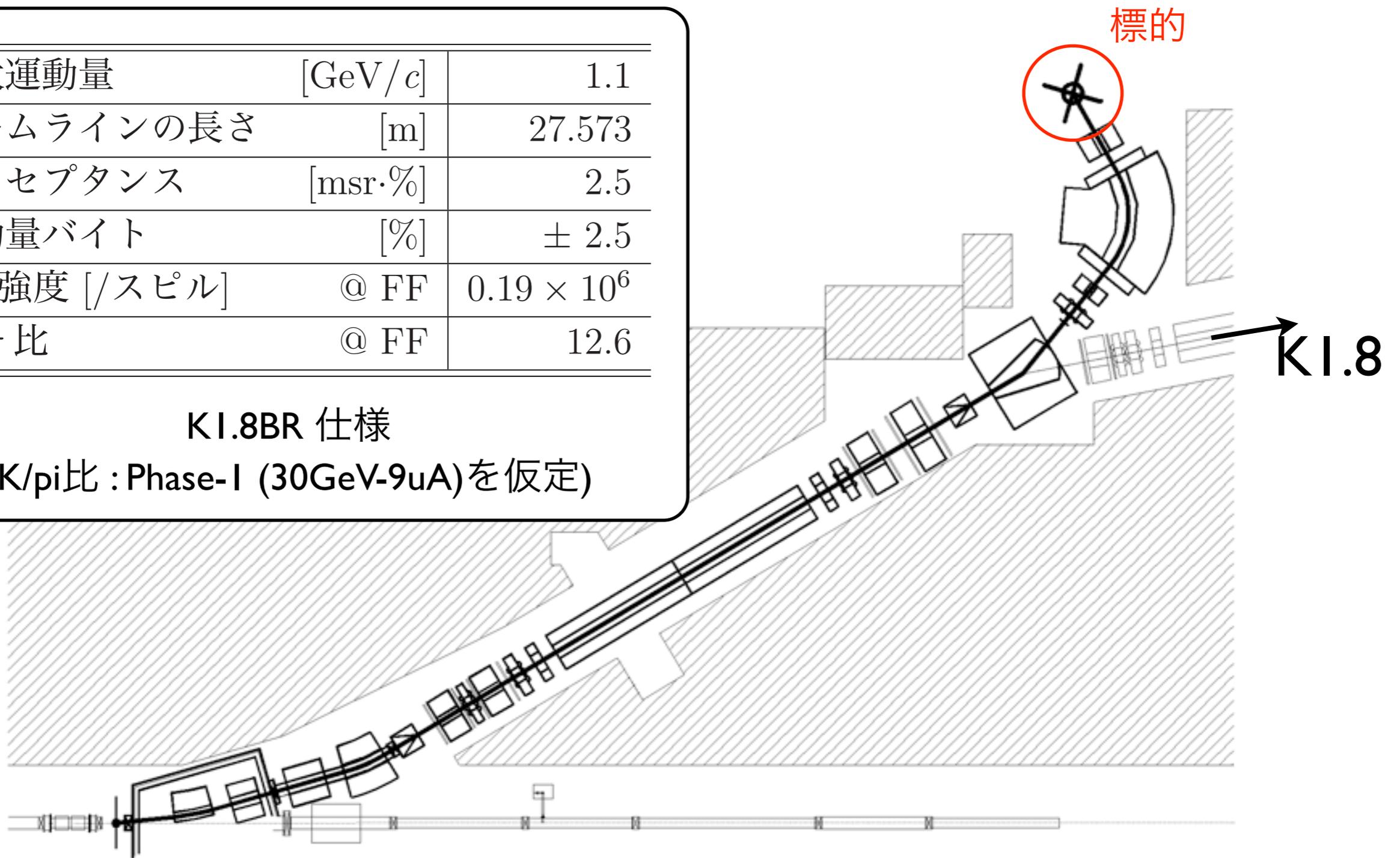
ビームライン

KI.8BR ビームライン

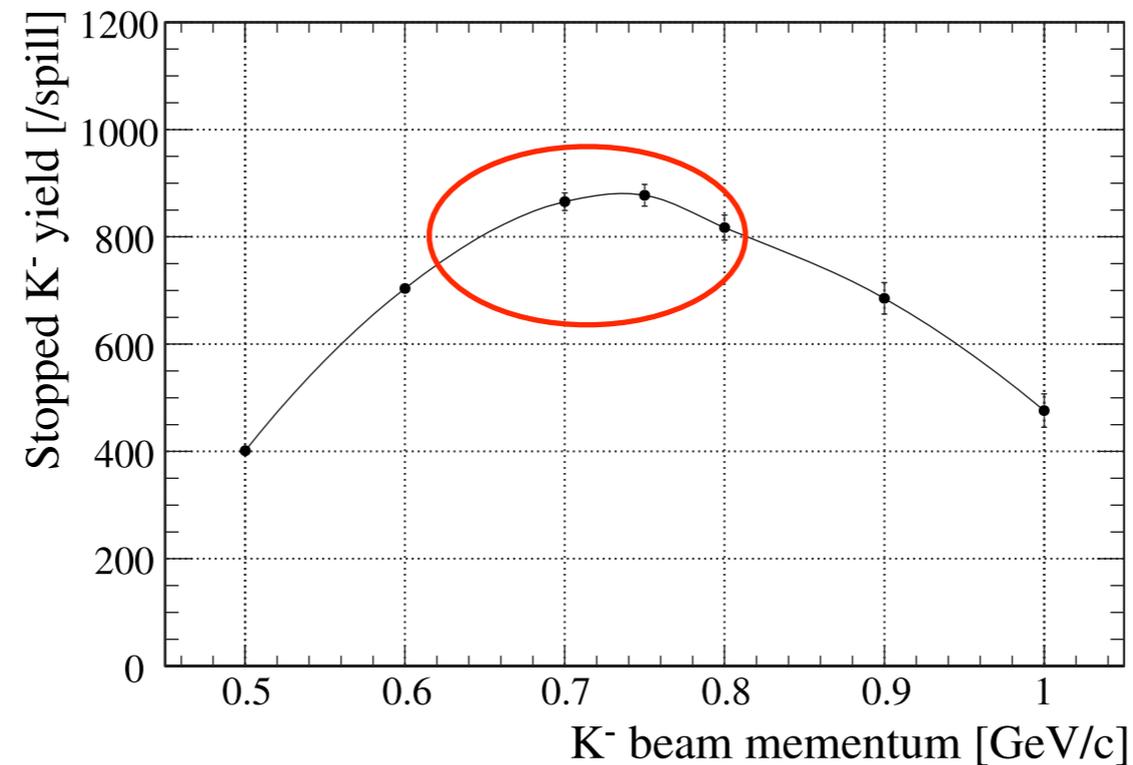
最大運動量	[GeV/c]	1.1
ビームラインの長さ	[m]	27.573
アクセプタンス	[msr·%]	2.5
運動量バイト	[%]	± 2.5
K^- 強度 [/スピル]	@ FF	0.19×10^6
K/π 比	@ FF	12.6

KI.8BR 仕様

(K/π 比 : Phase-I (30GeV-9uA)を仮定)



ビーム中心運動量の選択



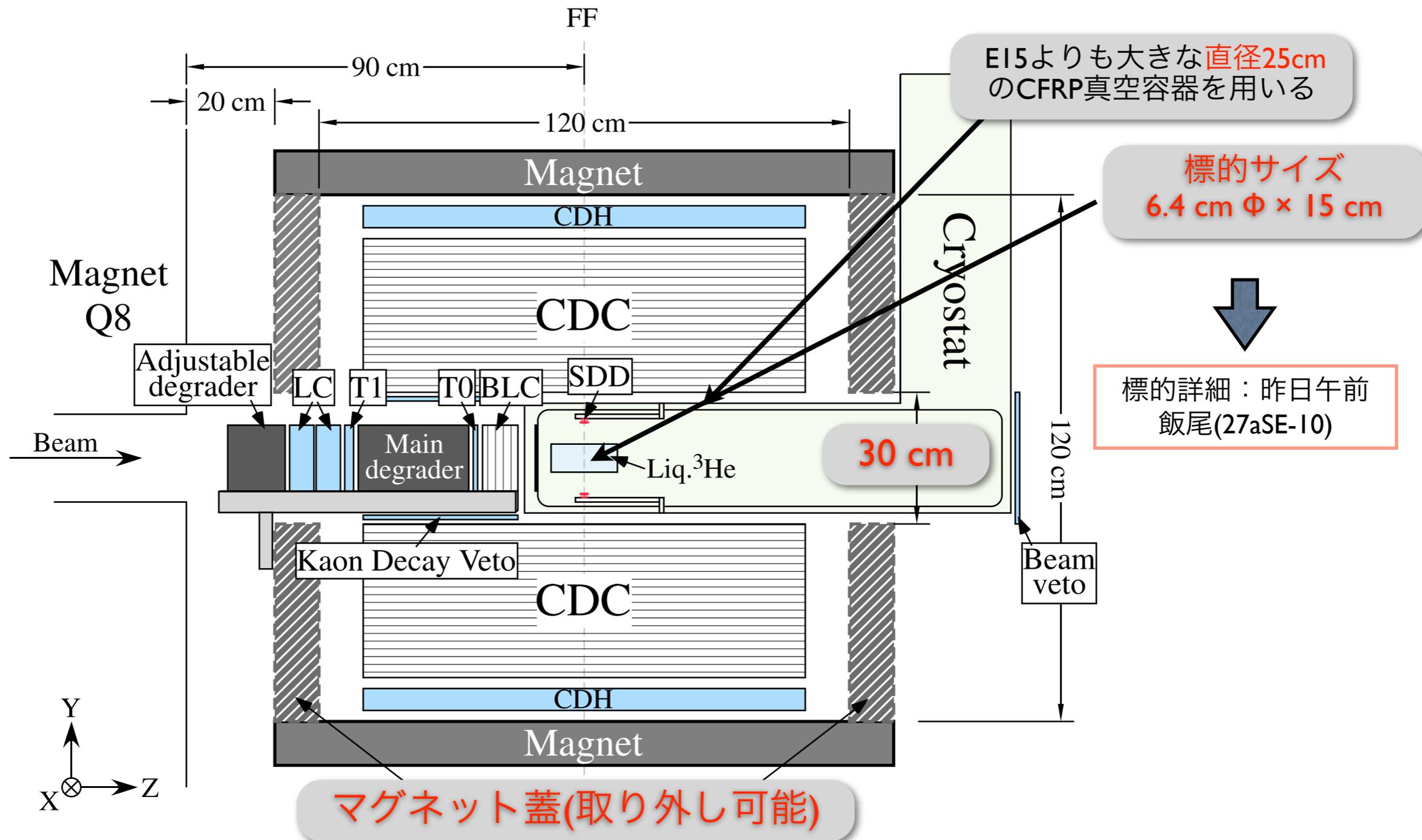
KI.8BRにおけるスピル当たりの
の静止K⁻の収量の計算結果
(TURTLE + Sanford-Wang)

750MeV/c付近を用いる

(E570で用いた650MeV/c入射からのK収量と大きな差はない)

実験装置

セットアップ概略図



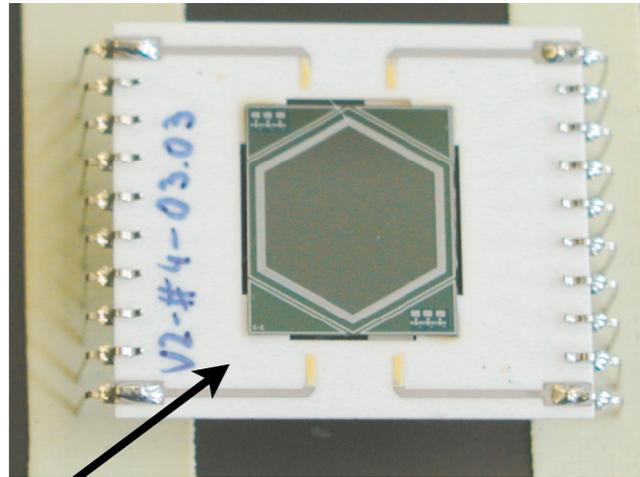
トリガーロジック：(K_{STOP} \otimes CDH \otimes SDD) \oplus (SDD_{self trig.})

$$(K_{\text{STOP}} = \overline{\text{LC}} \otimes \text{T1} \otimes \text{T0} \otimes \overline{\text{K}_{\text{DECAY VETO}}} \otimes \overline{\text{BEAMVETO}})$$

E570実験でのデータに基づき期待されるトリガーレートは、

- K_{STOP} \otimes CDH \otimes SDD = 数/spill
- SDD_{self trig.} = 数百/spill

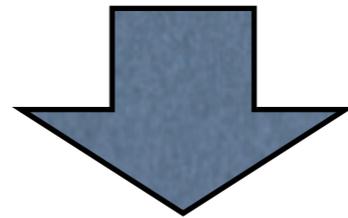
X線検出器 (SDD)



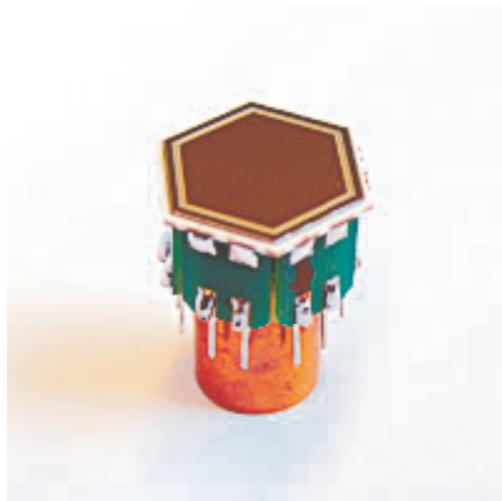
KETEK SDD プロトタイプ (100mm²):
E570で使用

(現在12台所有)

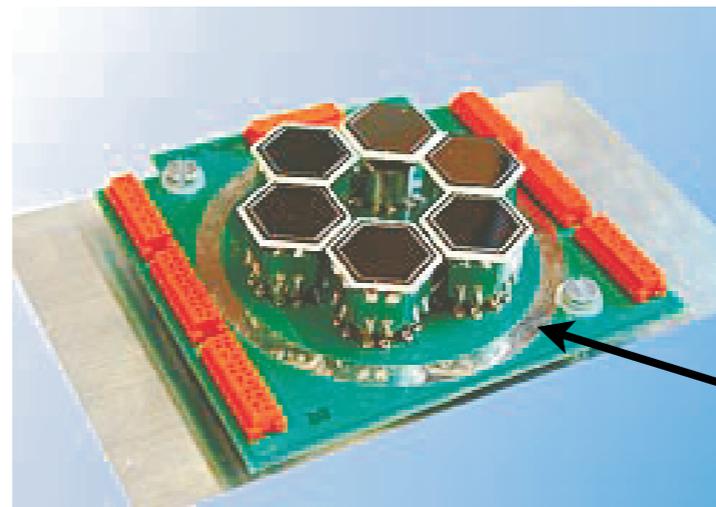
セラミック
(SDDサポートの熱収縮等
により、破壊されやすい)



パッケージ化



スリムライン
コンポーネント



KETEK VITUS SDD アレー

モジュール化
➡ 集積可能

読み出し部分も完全に
パッケージ化され、扱
いやすい

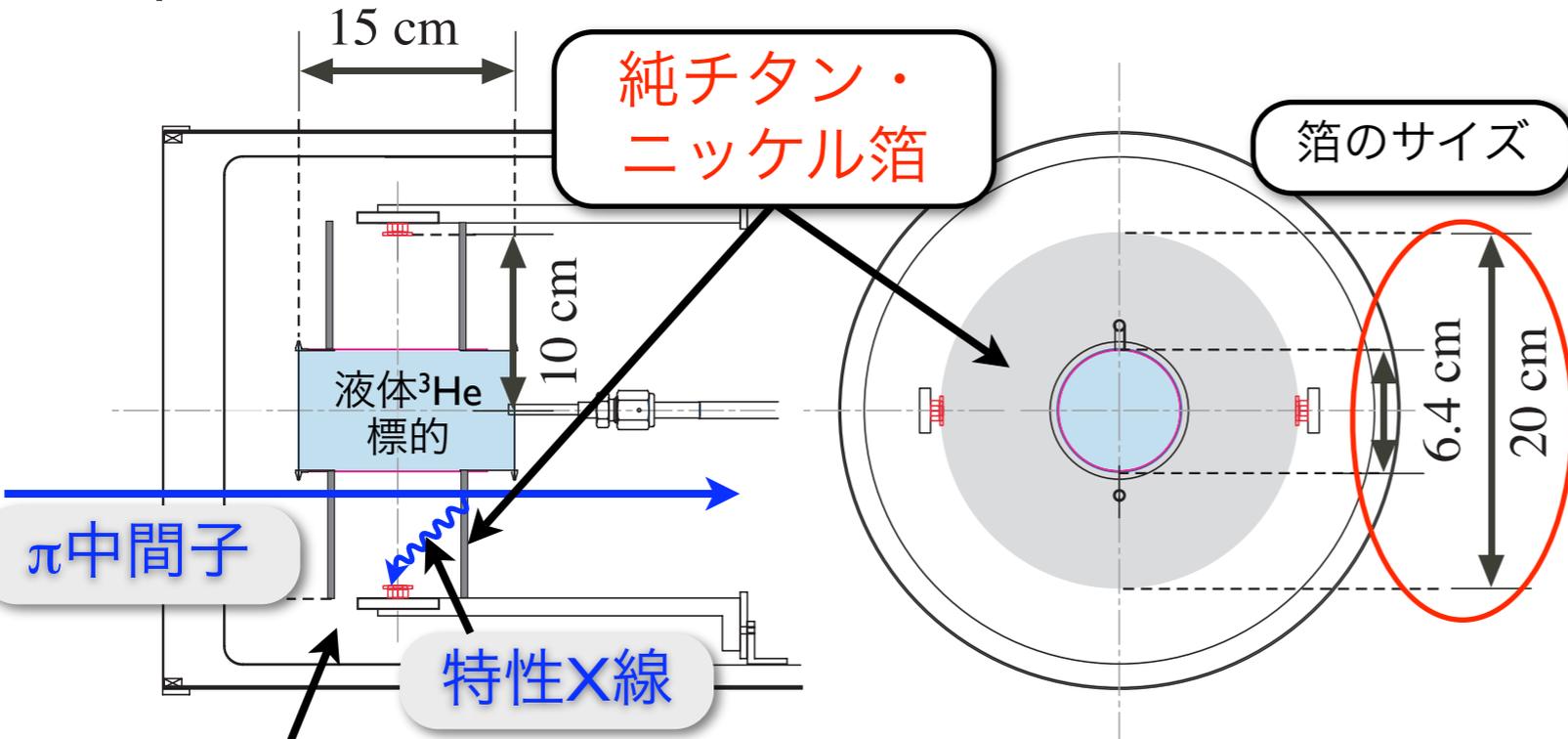
実験の特徴

2pのシフトを~2eVの精度で決定するために

ビームを用いたエネルギー較正

Top View

Side View



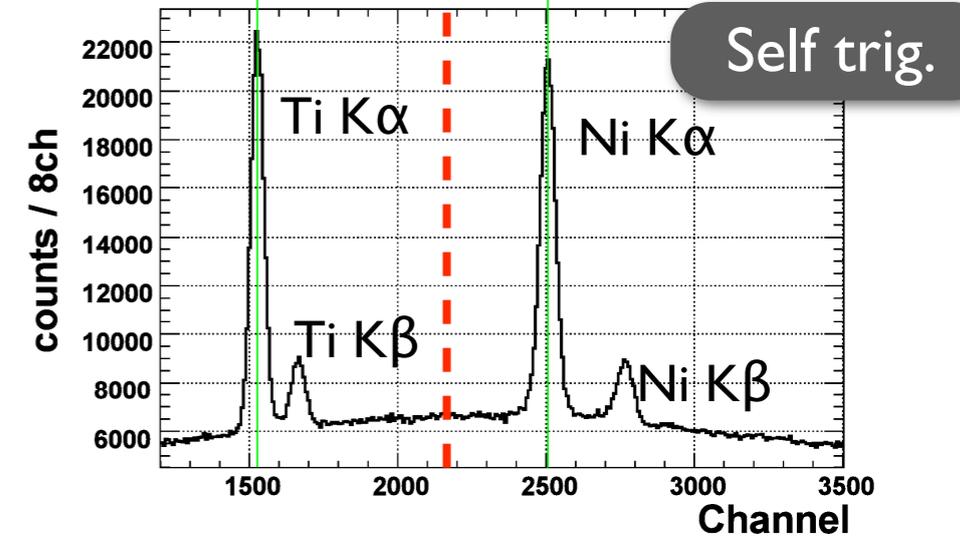
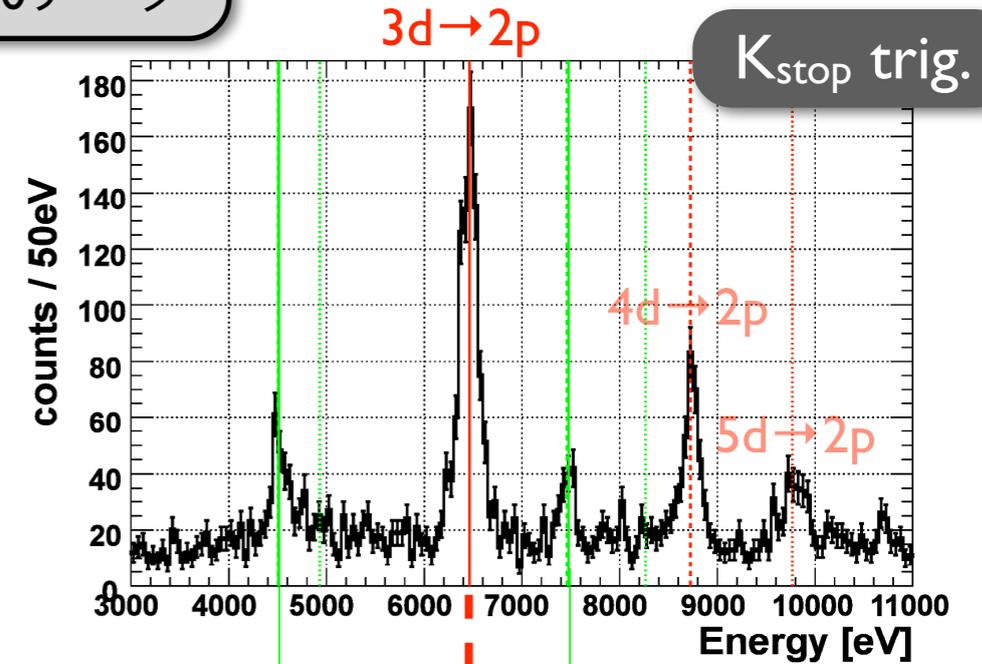
Ti・Ni箔を通過するMIPS粒子 π が生成する特性X線
 ➡ 良いエネルギー指標

シミュレーション

- E570実験からの求めたK殻電離断面積を使用
- TURTLEで求めた π の広がり・E17セットアップを考慮

π^- の絶対強度 $\sim 0.25 \times 10^6$ の場合：1シフト
 ISDD当たり ~ 4000 イベントの特性X線強度

E570データ



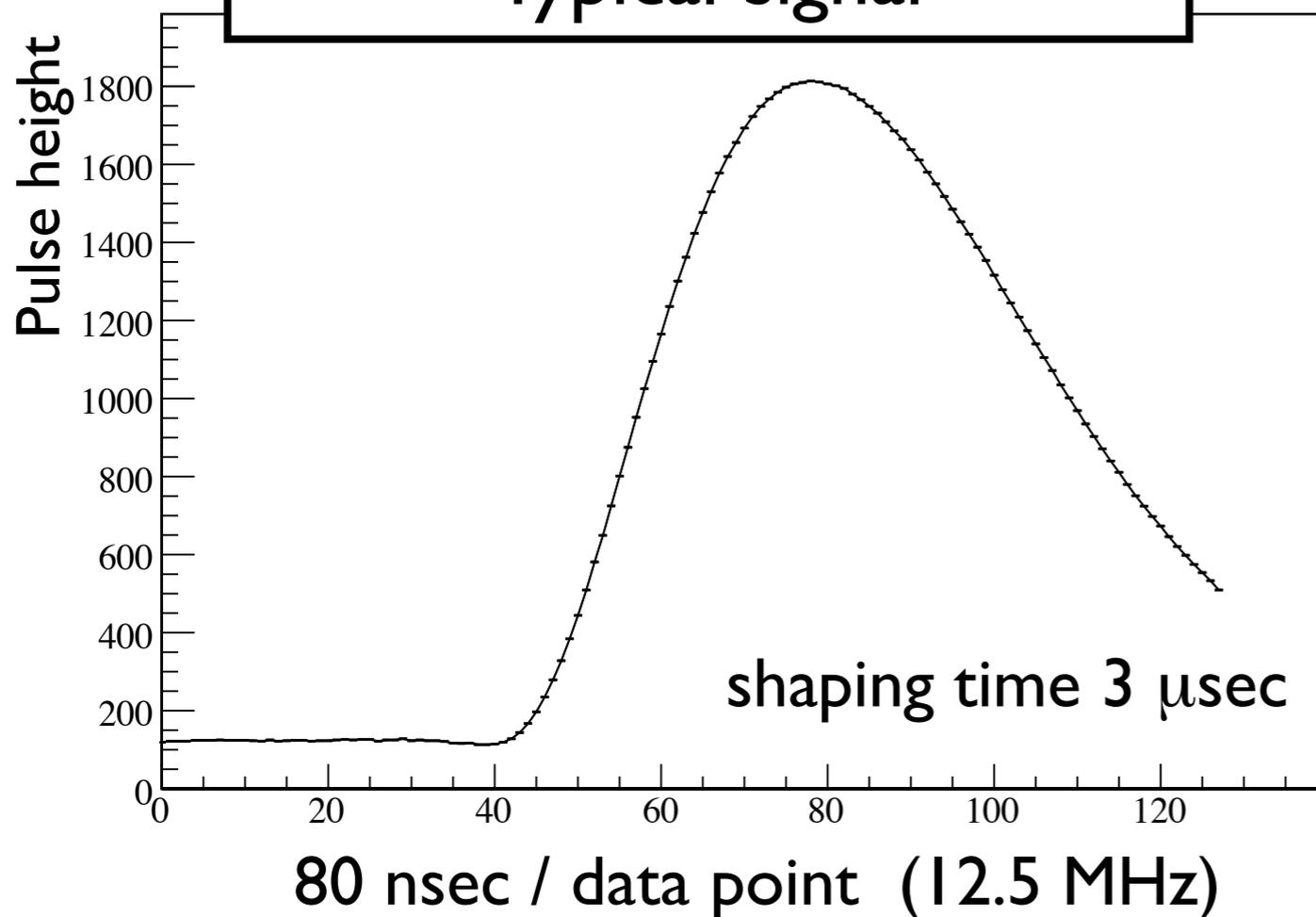
➡ in-situ キャリブレーション

- ➡ ゲイン等の長期ドリフトに強い
- ➡ 数eVの精度

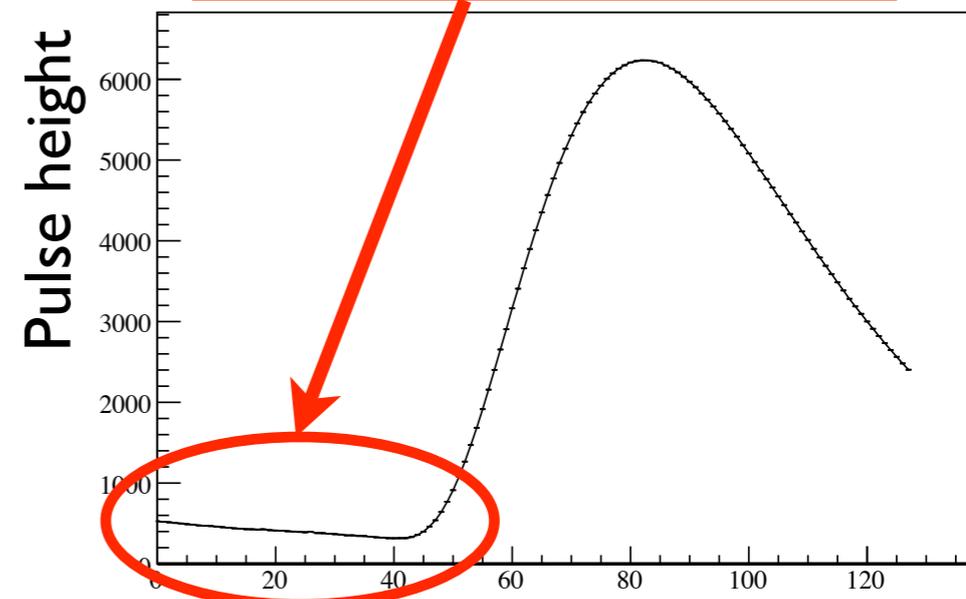
パイルアップ除去

フラッシュADCを用いたパイルアップ事象の除去

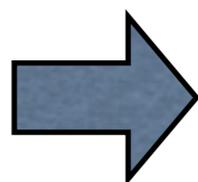
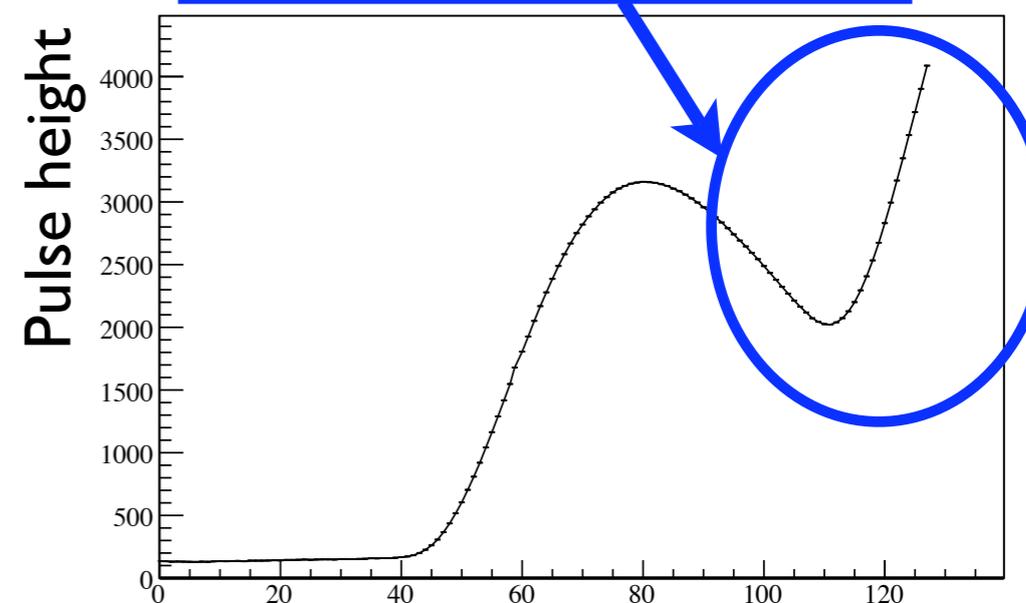
フラッシュADCデータ
Typical signal



pre-pileup event



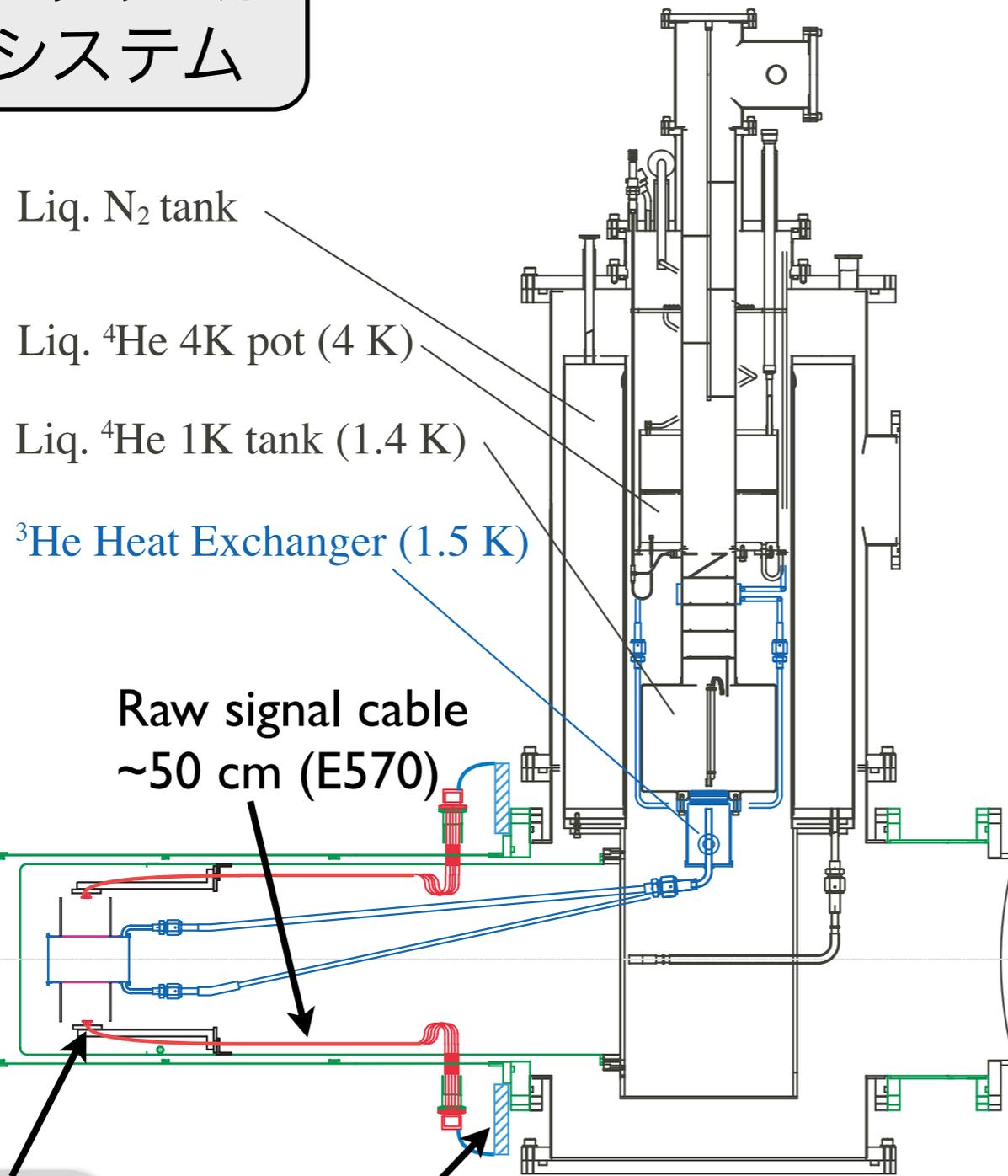
post-pileup event



本日午前
竜野(28aSC8)

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



SDDs

SDDプリアンプ
(外部からの操作を簡単にするため)

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

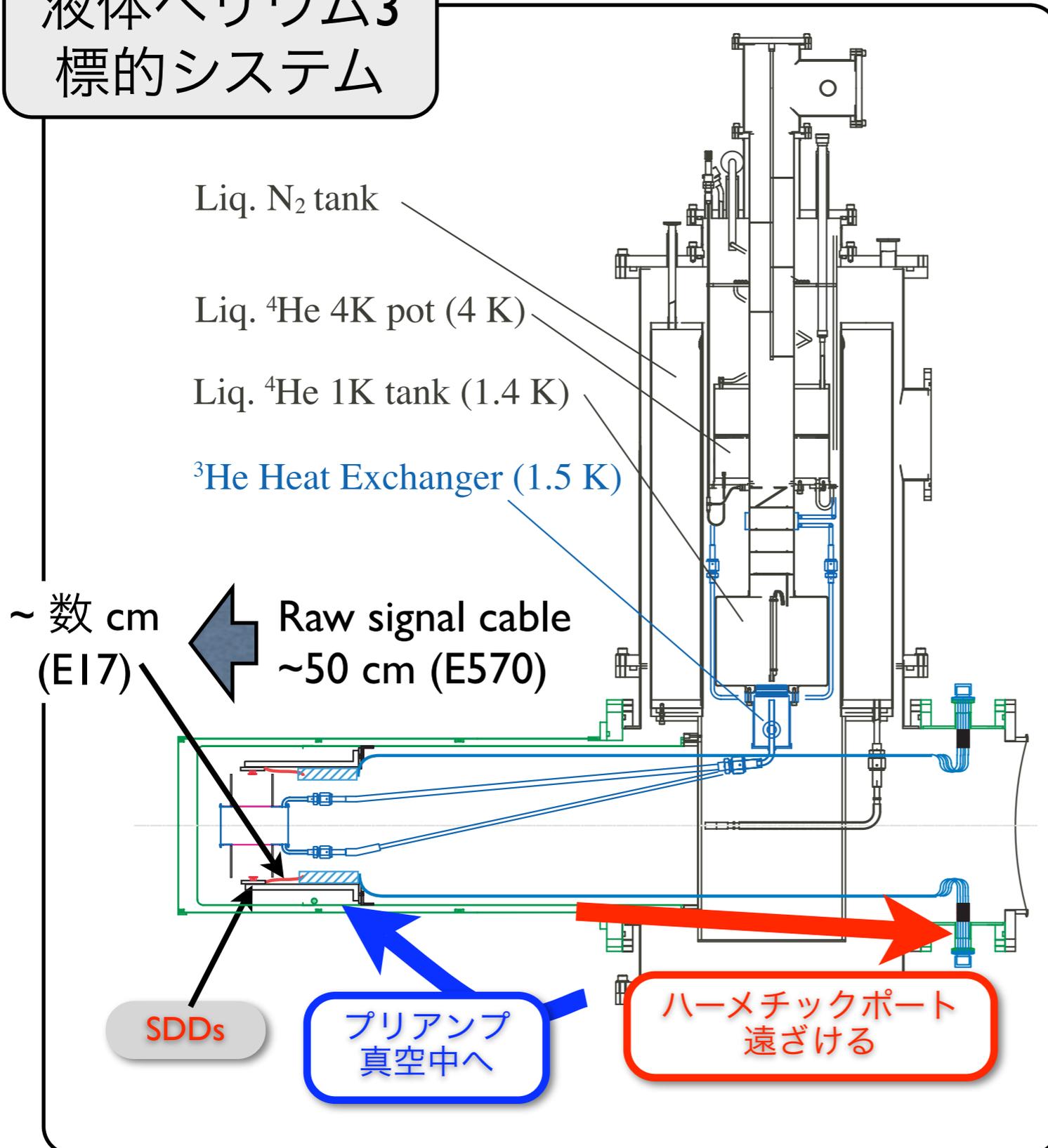
プリアンプの真空内における動作は既に確認済み

今後行う R & D

- ▶ プリアンプの外部制御について
- ▶ プリアンプから発熱はどの程度か

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

プリアンプの真空内における動作は既に確認済み

今後行う R & D

- ▶ プリアンプの外部制御について
- ▶ プリアンプから発熱はどの程度か

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”実験として申請
- ➡ E15実験より前に同ビームラインで行うことを提案

まとめ

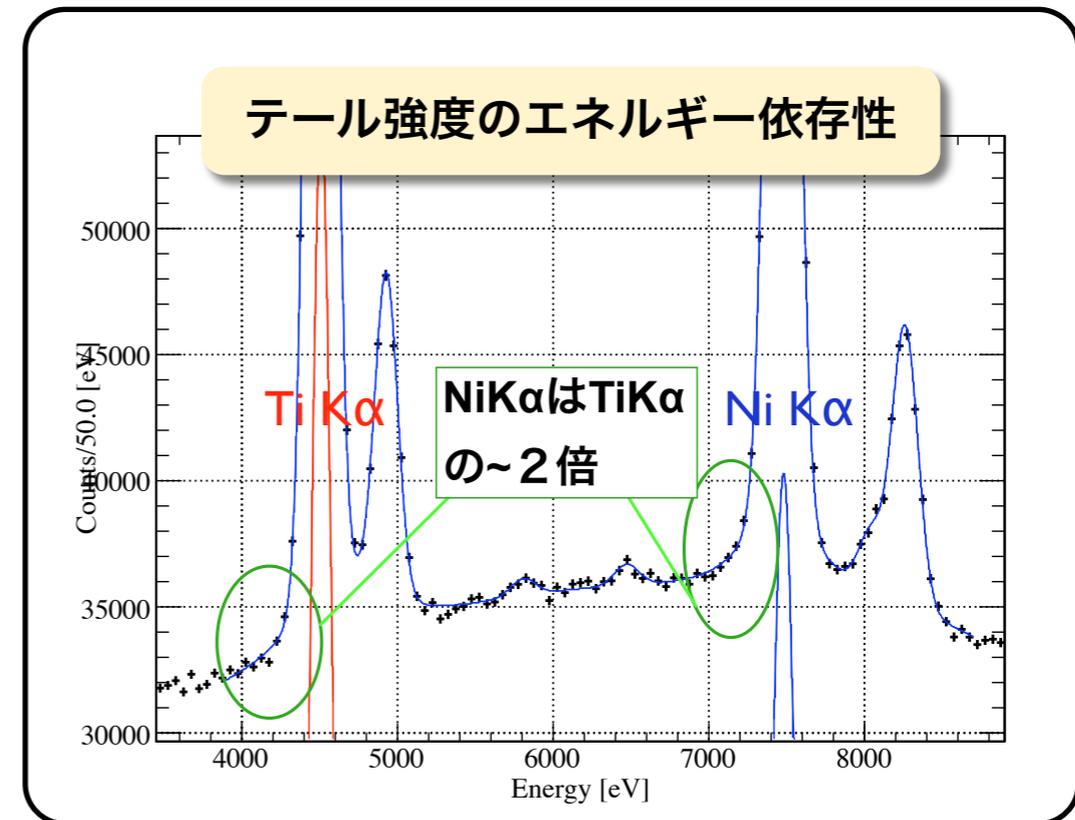
- E17実験：「K-³He原子の最終軌道(2p)のシフトを~2eVの精度で決定」
 - ▶ 1)オプティカルポテンシャルの深さ、2)K中間子原子核の存在、に関する重要な情報
 - ▶ K-原子核間 強相互作用のアイソスカラー / ベクターに関する新たな知見
- 現在、DAY-1に向けて準備している
 - ▶ E15実験の共有部分の開発
 - ▶ X線検出器系の改良
 - ▶ ビームライン検出器群設計

backup

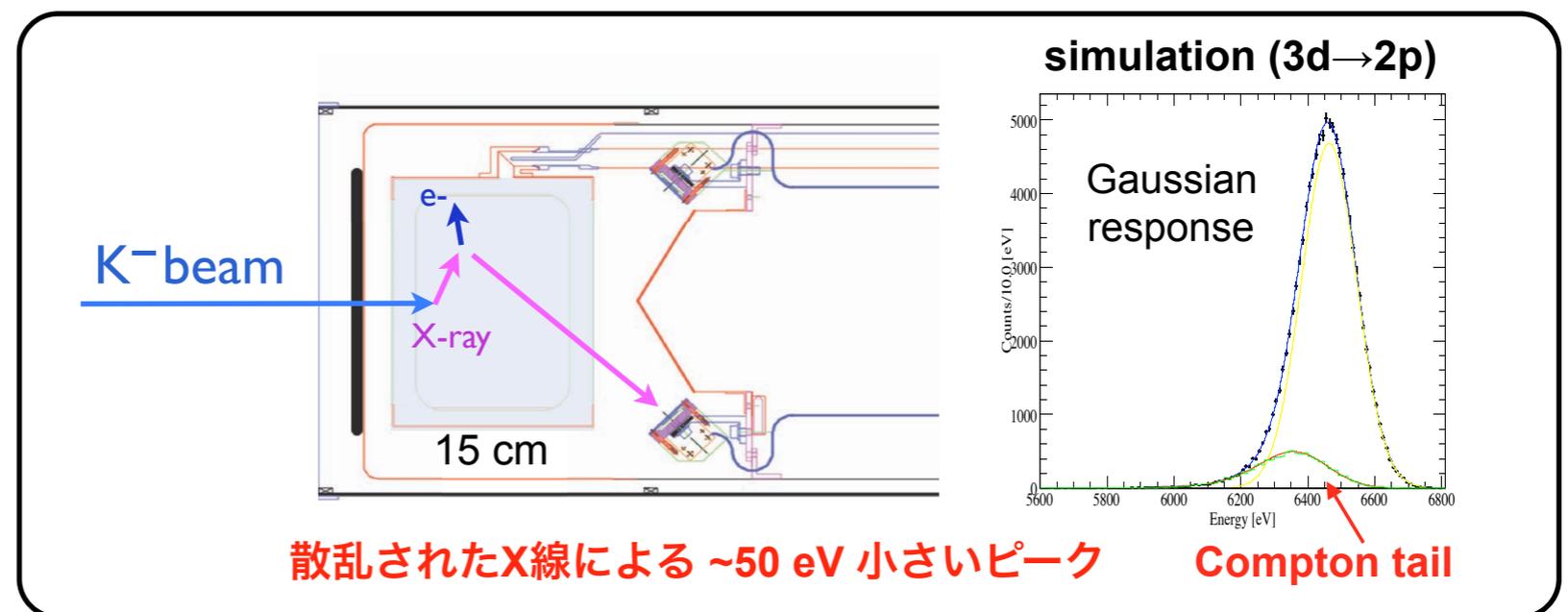
E570における主な系統誤差の原因

1. 応答関数

(低エネルギー側のテール)

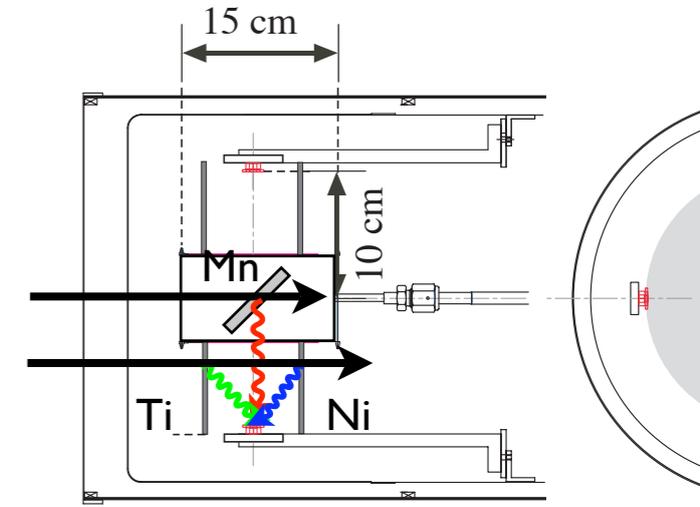


2. コンプトン散乱効果



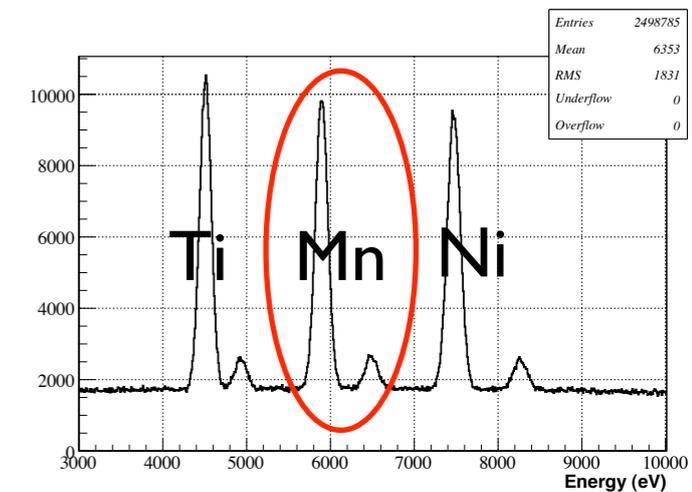
E17実験：

系統誤差を抑えるための対策



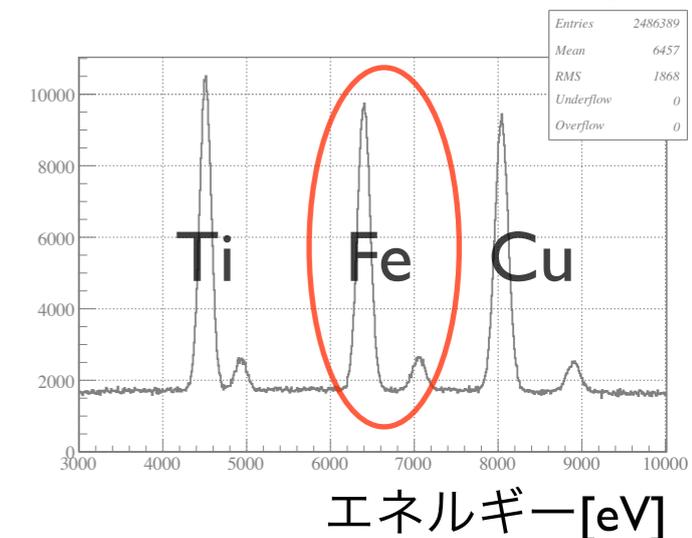
1. 応答関数 (テール強度のエネルギー依存性) 及び、エネルギー線形性

➡ 大強度のπビームを用いて、3点以上のキャリブレーションラインを高統計で測定 ...短時間で測定可能



2. コンプトン散乱効果

➡ ^3He 及び ^4He 標的両方のデータを取得(?) → ”双方シフトの差”においては、大部分の系統誤差を相殺



⇒ エネルギー依存の応答関数

⇒ エネルギー線形性

ガス標的？

- 利点：コンプトン散乱効果を大幅に低減可能
- 欠点：狭い領域にK中間子を静止させることが困難
 - 統計を稼ぐ為、多くのSDDを配置する必要がある
 - ➡ 全SDDに対する高統計のエネルギー較正が困難
 - ➡ 全SDDに対する(パイルアップ除去等の為の)FADCデータ収集は非現実的