

# 超高分解能測定による $\Theta$ の探索

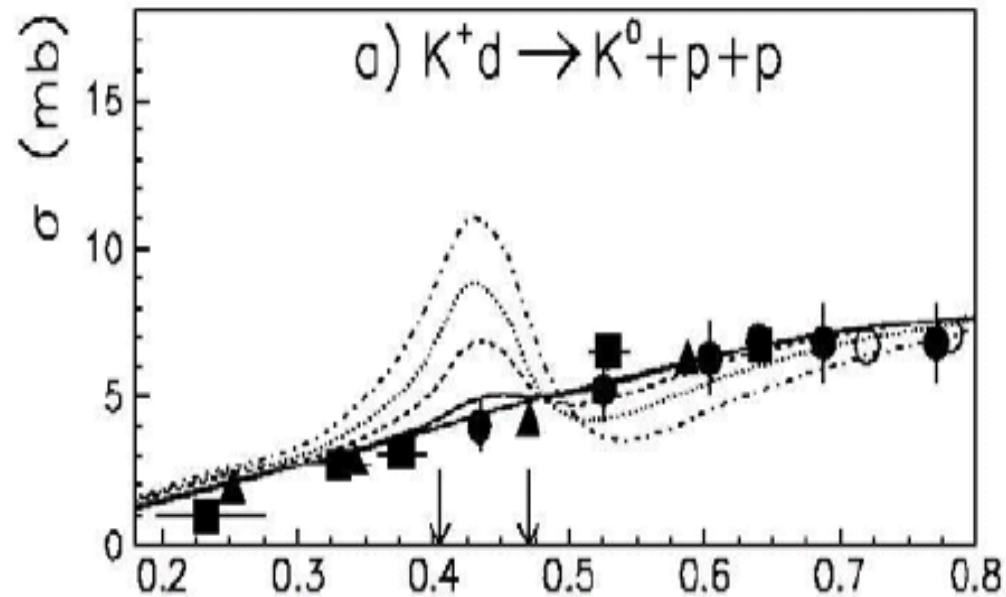
$\Theta$  (もしあるなら)のハイパー核は  
作れるか？

谷田 聖(京大理)

2007.11.11 RCNPワークショップ

# Pentaquark $\Theta$ に関する謎

- 本当に存在するのか？
  - とりあえずYESと思うことにする。
- 幅は？なぜ細いのか？
  - 1 MeV以下はほぼ間違いない。
  - $K^+n$  弾性散乱、荷電交換反応断面積に盛り上がりなし
- Spin-Parityは？
  - $1/2^+?$ ,  $3/2^+?$ ,  $1/2^-?$ , ....
- その正体は？



# Part I.

超高分解能測定による $\theta$ の  
~~探索~~ 幅の測定

# 幅はどうやって測る？

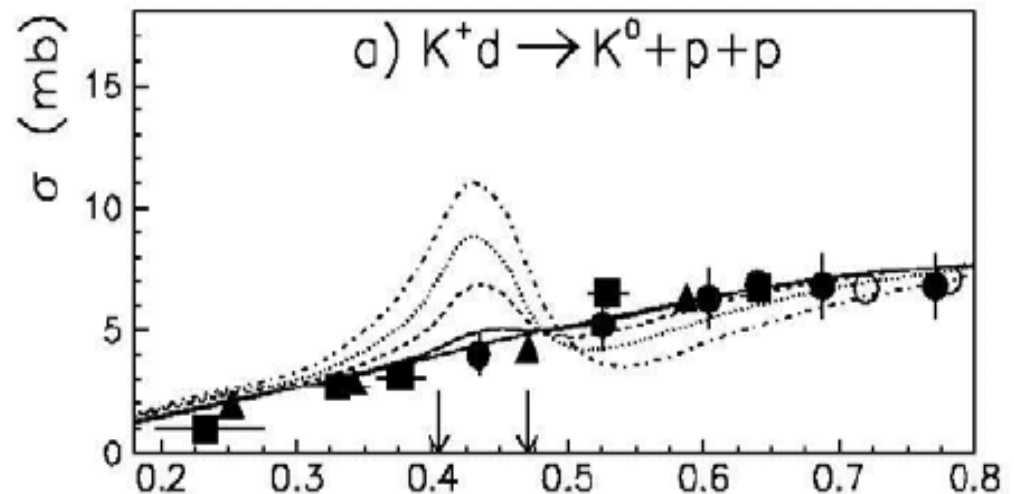
- $K^+n$ の弾性散乱、荷電交換反応( $K^0+p$ )

[T. Nakano et al., J-PARC P09]

- $\theta$ の共鳴ピークが現れる
- 共鳴断面積が $\theta$ の幅に比例。
  - ピークにおいて16.8 mb
  - エネルギーで積分して、26.4  $\Gamma$  mb/MeV

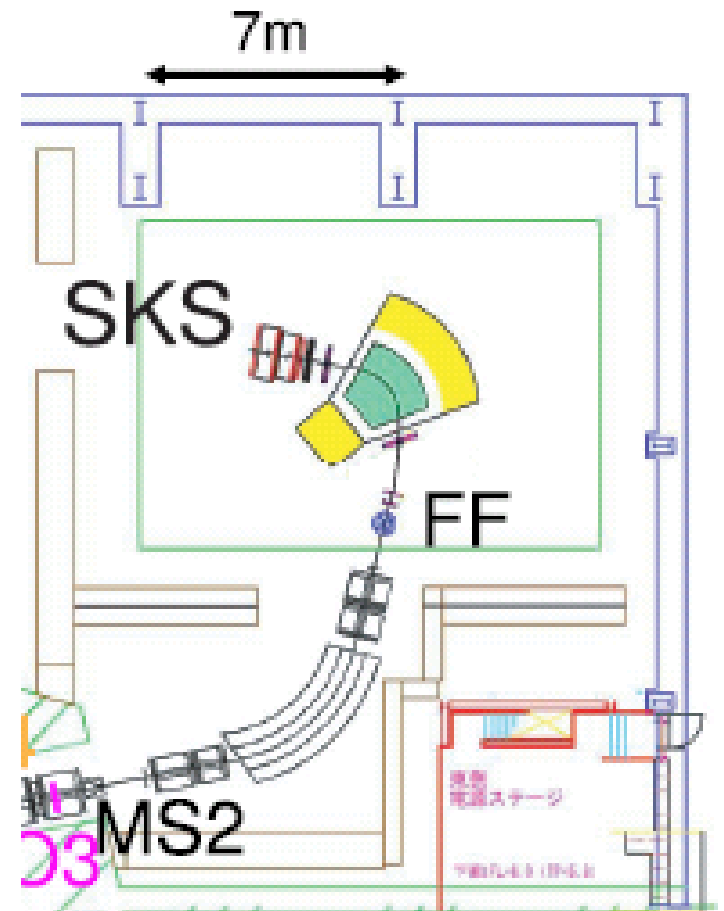
- 有限の分解能では  
S/Nは大丈夫か？

- BGは  $\sim 4$ mb
- $\Gamma < 1$ MeVでは  
10MeV以下の分解能  
でないと精度が心配



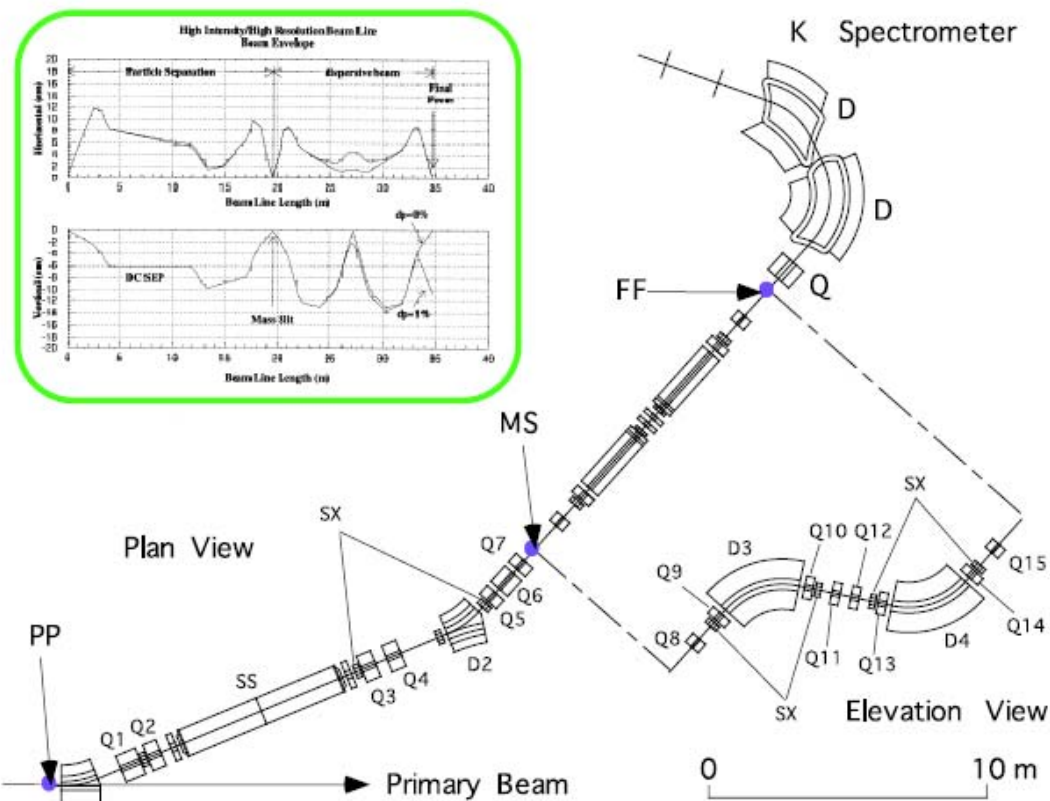
# 幅の直接測定

- Brute force: **超高分解能測定**をすればいい。
  - S/N比は自動的に良くなる。
- J-PARC E19
  - $p(\pi^-, K^-)\theta$  反応
  - K1.8 + SKS を使って、  
2 MeV程度の分解能
  - 感度: 100 nb/sr まで観測可能



# さらなる高分解能は？

- Tracking detector を置くと、multiple scattering の影響から、あまり向上が見込めない。
- Dispersion matching が必要。
  - 野海氏提案の  
ビームライン
  - 200 keVが可能？
- 「大吟醸」ビーム
  - 削りに削って  
高品質ビームを
  - 1/1000 に削っても  
仕事ができる。
    - 1% → 0.01%
    - なお大きさも削れる



# 統計は？感度は？

- 試しに  $1 \mu\text{b}/\text{sr}$  の生成断面積を仮定すると・・・
  - ビーム強度:  $10^8 \pi^-/\text{spill}$  ( $10^{11}/\text{hour}$ )
  - ターゲット  $0.1 \text{ g}/\text{cm}^2$  水素
  - Spectrometer acceptance:  $5 \text{ msr}$ 、efficiency 0.1 (decay込)  
→ 100時間で、300カウント
- バックグラウンドは、 $\sim 0.8 \mu\text{b}/\text{sr}/\text{MeV}$   
(KEK-PS E522より)
  - S/N比も十分取れる。
- 感度としては、 $\Gamma = 0.5 \text{ MeV}$ として $0.2 \mu\text{b}/\text{sr}$  くらいまでは行ける。
  - E19よりは劣るので、実験可能かどうかはE19でわかる。
  - 分解能を犠牲にせずに、どこまでビーム強度を上げられるか

## Part II.

① ハイパー核はつくれるか？



# $\Theta$ ハイパー核

- ハイペロンの相互作用をさらに拡大して、 $\Theta$  N相互作用を。
- $\Theta$ とは何か、に対するヒントにもなる。
  - 例えば、[D. Cabrera et. al., nucl-th/0407007]によると、 $\Theta$ -KNのみを考慮したSelf-energy計算(早い話がK交換)では、弱すぎて束縛しない。
  - $\Theta$ -K $\pi$ Nを考慮すると、強い引力が得られる。(N(1710)がN $\pi\pi$ に強くcoupleすることを考慮)
  - 他にもいろいろなシナリオがあり得る。
- まあ、あるなら作ってみたい。

# どうやって作ろう？

- 断面積 = (素過程の断面積) × (有効核子数) × (運動量移行のマッチングファクター)
  - 素過程の断面積が大きいこと
  - 運動量移行が小さいこと
- バックグラウンドや分解能も考える必要がある。
- 例えば  $\Lambda$  ハイパー核では、

|  | ( $K^-$ , $\pi^-$ )    | ( $\pi^+$ , $K^+$ )     |
|--|------------------------|-------------------------|
| 素過程                                    | $\sim 3\text{mb/sr}$   | $\sim 0.5\text{mb/sr}$  |
| 運動量移行                                  | $50\text{ MeV}/c \sim$ | $350\text{ MeV}/c \sim$ |
| $^{12}_{\Lambda}\text{C}(\text{g.s.})$ | $200\ \mu\text{b/sr}$  | $15\ \mu\text{b/sr}$    |

# いろいろな反応

- $\gamma$  入射: 素過程断面積、運動量移行ともに  $\times$
- $(K^+, \pi^+)$  反応: Nagahiro et al.による提案・計算あり  
[nucl-th/0408002]
  - 運動量移行  $\sim 500$  MeV/c
  - 素過程の断面積:  $< 3.5$   $\mu\text{b/sr}$  (KEK-PS E559)  
(ハイパー核での計算値より低い!)
  - やっぱりダメ
- $(\pi^-, K^-)$ : 運動量移行  $\sim 1$  GeV/c  $\rightarrow$  論外

**$(K^+, p)$  反応を提案**

# (K<sup>+</sup>,p) 反応

- 素過程:  $d(K^+, p) \Theta$
- 運動量移行: 前方ではほぼ0にできる。
  - Magic momentum:  $p_K \sim 600 \text{ MeV}/c$
  - $p_K \sim 1 \text{ GeV}/c$  くらいでも  $\sim 120 \text{ MeV}/c$



- 高分解能測定が可能
- 素過程の断面積は？
  - 保坂さん、永廣さんをお願いして計算
  - [nucl-th/0705.3965]には0.1-0.5 mbとあるが、根拠は不明

# $d(K^+, p) \Theta$ 反応

- on-shell 近似

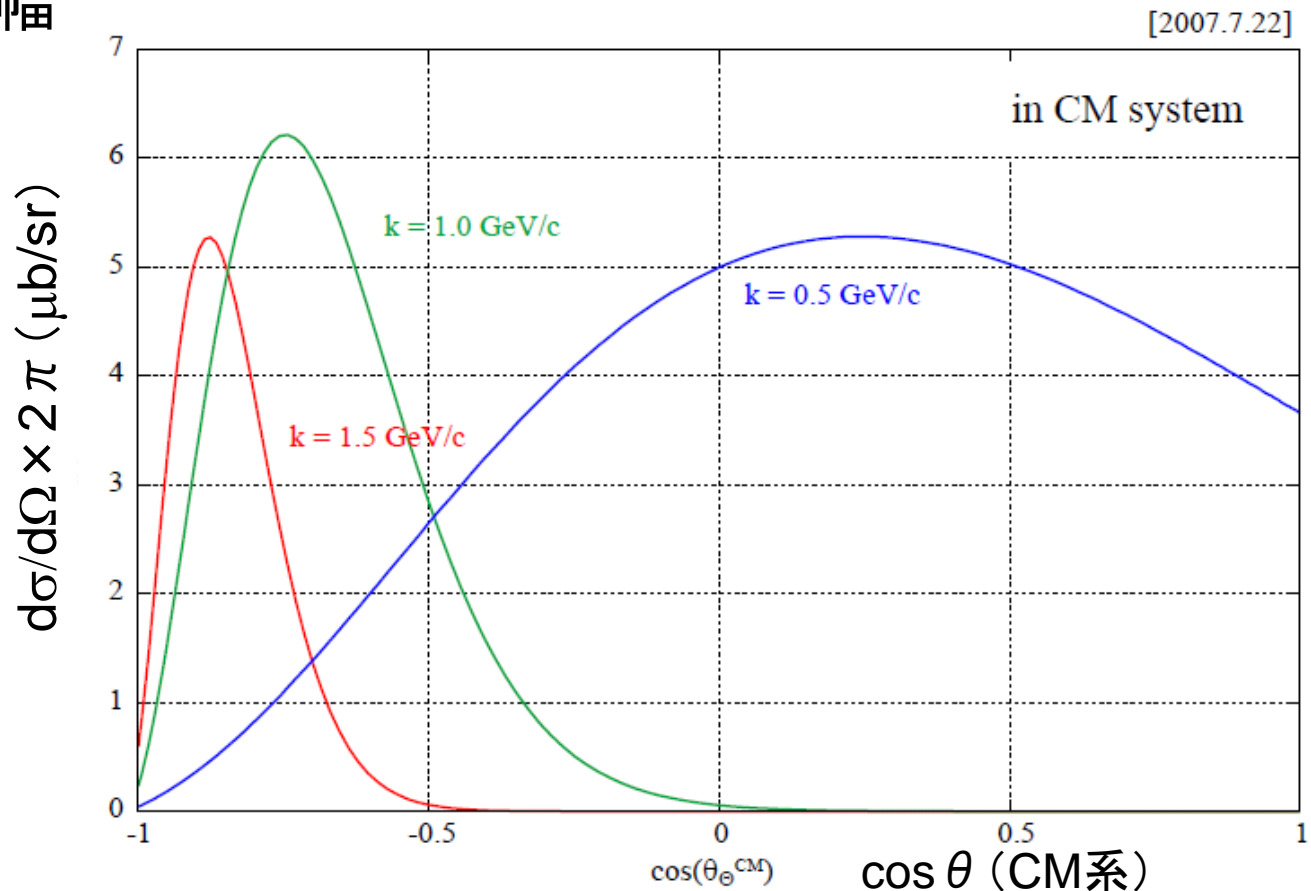
- 陽子のポストプレイによって、遅い $K^+$ を供給。それと $n$ が共鳴を作る。

- 断面積は $\theta$ の幅に比例

- Kinematicsは共鳴条件で決まる

→有限角度でピークを持つ

$\Gamma = 1 \text{ MeV}$ だと、  
 $\sim 1 \mu\text{b}/\text{sr}$



# $d(K^+, p) \Theta$ 反応 (つづき)

- 有限角でピーク  $\rightarrow$  運動量移行が小さくならない
  - 実はピーク角度では一定値 ( $\sim 480 \text{ MeV}/c$ )
- 断面積の絶対値もあまり大きくない
  - 特に0度で。原子核ターゲットではFermi運動量が大きいのので、状況はマシだが...
  - off-shell の効果はどれだけあるか？
- バックグラウンド
  - Kのdecayはバックグラウンドにならない。
  - $K^+p$ の準弾性散乱 /  $K^+n$  荷電交換反応
    - 文献から概算すると、0度では  $20 \mu\text{b}/\text{sr}/\text{MeV}$  くらい
    - この場合、核子がspectatorで残る
      - $\rightarrow$  陽子・ $K^0$ を横方向で捕まえることで激減するはず。

# バックグラウンド対策

準弾性散乱 (バックグラウンド)



$\theta$  生成



# 見積もり

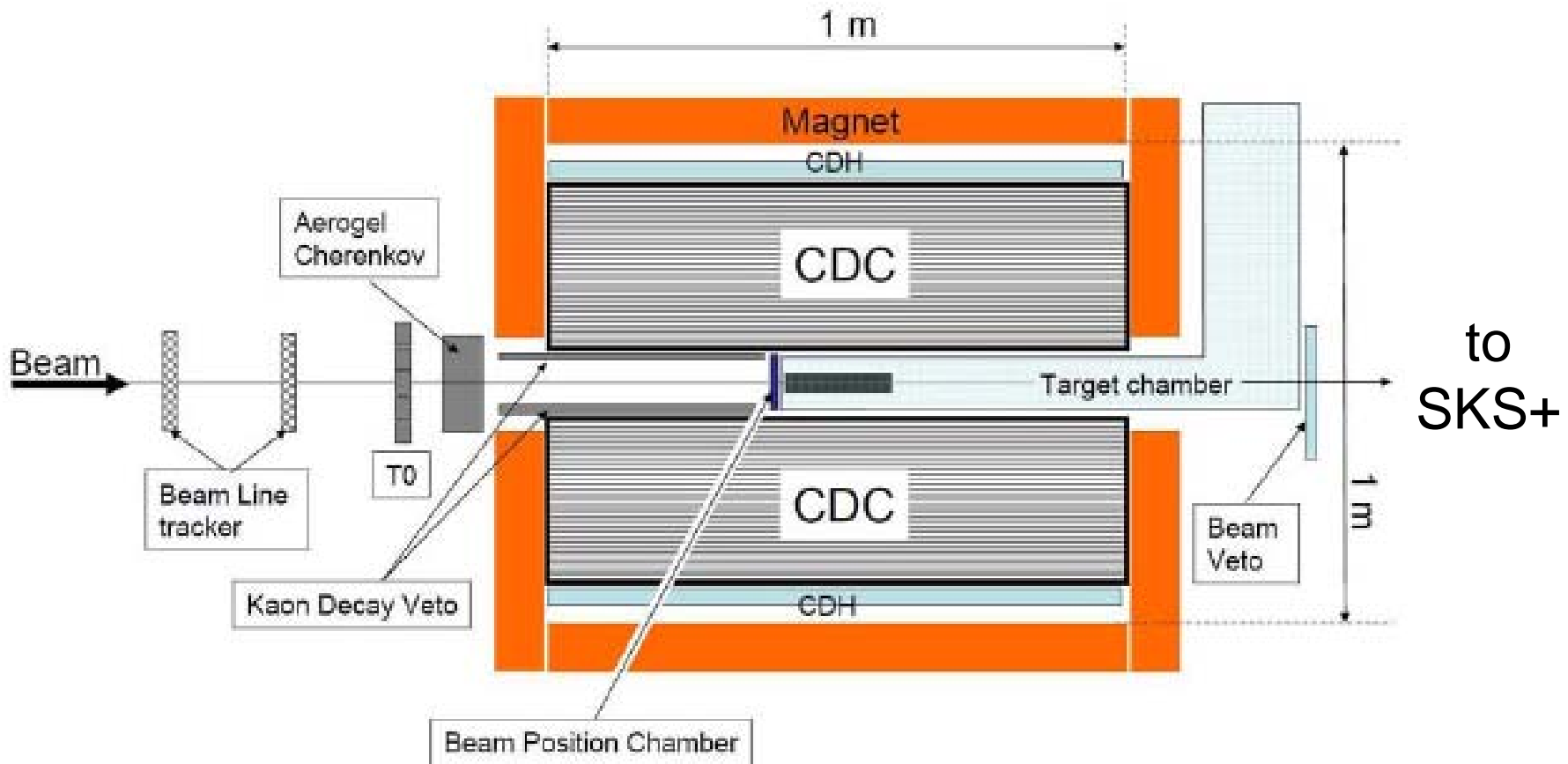
- ビーム運動量  $1 \text{ GeV}/c$  で、前方で  $1 \text{ } \mu\text{b}/\text{sr}$  を仮定。
  - ビーム強度:  $10^7 \text{ K}^+/\text{spill}$  ( $10^{10}/\text{hour}$ )
  - ターゲット  $1.6 \text{ g}/\text{cm}^2$  重水素
  - Spectrometer acceptance:  $30 \text{ msr}$ 、efficiency 0.5

→100時間で、3600カウント
- 陽子・ $\text{K}^0$ を横方向で要求することで行けそう。
- 分解能:  $2\text{MeV}$ 程度
- まずはとにかく重水素を使った測定をしたい。
  - 断面積は十分か？
  - バックグラウンドは十分落とせるか？
  - 角度依存性はどうか？



# 実験セットアップ

- E15とSKSplusを組み合わせたようなセットアップ  
– K1.1+ビームスペクトロメータが必要



# 原子核ターゲットでは？

- 核子による散乱、別の核子による吸収の両方とも増加
- distortionも弱い
- s-shell核 ( $^4\text{He}$ )なら recoilless で効率よく生成可能  
→ dターゲットの場合と同じくらいの統計が得られる？
- 重い核は難しい
  - 断面積の減少
  - バックグラウンド増加
  - 崩壊後の  $p/K^0$  が抜けて来なくなる。
- ハイパー核の状態幅は？
  - パウリ効果、phase spaceの減少によって free-space よりも細くなる

# まとめ

$\Theta$  は存在すると仮定して...

- High-resolution beamline:  $\Theta$  の幅の直接測定
  - $(\pi^-, K^-)$  を使って、 $\Gamma = 0.2$  MeV くらいまで直接測れる
- K1.1 beamline:  $\Theta$  ハイパー核への挑戦
  - $(K^+, p)$  反応: 思いつく限り唯一 recoilless に近い
  - まずは素過程の  $d(K^+, p)$  反応の断面積測定を
  - 横方向の  $p/K^0$  を捕まえることで、感度が出せる
  - 素過程が測定できるなら、 ${}^4\text{He}$  ターゲットを使って  ${}^3_{\Theta}\text{He}$  探索実験が可能