

「核子交換反応で探る ${}^6\text{He}$ 核内2中性子の空間分布」

世話人：理研 須田利美
北大 加藤幾芳

- 実験の目的
 - $\alpha + 2N$ のクラスター構造を持つ ${}^6\text{He}$ 核の α コア外2核子の空間広がりに関する情報を得る
 - 2核子間の相対運動量に敏感な測定量（核子交換反応）
 - ${}^6\text{Li}$ 核内 $2N$ (pn) との比較で ${}^6\text{He}$ 核内 $2N$ (nn) を議論。
- 現状
 - 実験、データ解析ほぼ終了
 - ${}^6\text{He}/{}^6\text{Li}$ 核子交換反応の断面積比
- 本ミニワークショップの目的
 - 実験グループの勉強会
 - 実験データと核内2核子系の関係（理論：波動関数、反応）
 - 今後の共同作業、展開

プログラム

[座長：小林 俊雄]

- | | | |
|-------|--|-------|
| 10:00 | 本ミニワークショップの目的について | 須田 利美 |
| 10:10 | 核子交換反応と核内2核子系(30+10) | 須田 利美 |
| 10:50 | $p+{}^6\text{He}({}^6\text{Li})\rightarrow n(p)+d+\alpha_{(\text{spectator})}$ 実験(30+10) | 吉田 敦 |
| 11:30 | 実験に関する議論(20) | |

11:50~13:00 昼食

[座長：井芹 康統]

- | | | |
|-------|--|-------|
| 13:00 | CSMによる反応の記述 $pn(p,p)d, nn(p,n)d$ (30+10) | 加藤 幾芳 |
| 13:40 | ${}^6\text{He}$ と ${}^{11}\text{Li}$ の neutron 間の相関(30+10) | 菊池 右馬 |
| 14:20 | ${}^6\text{He}(p,d)$ 反応の DWBA 解析(30+10) | 高階 正彰 |

15:00~15:20 コーヒーブレイク

[座長：加藤 幾芳]

- | | | |
|-------|----------------------------------|-------|
| 15:20 | di-neutron 相関におけるテンソル力の役割(30+10) | 明 孝之 |
| 16:00 | 一粒子軌道の広がりについて(30+10) | 池田 清美 |
| 16:40 | 議論、今後の宿題の設定 | 須田 利美 |

核子交換反応と核内2核子系

$${}^6\text{He}(p, dn) \alpha_{\text{spect}}$$

コアメンバー： Ngyen Thuan Khai、吉田敦、須田利美、谷畑勇夫

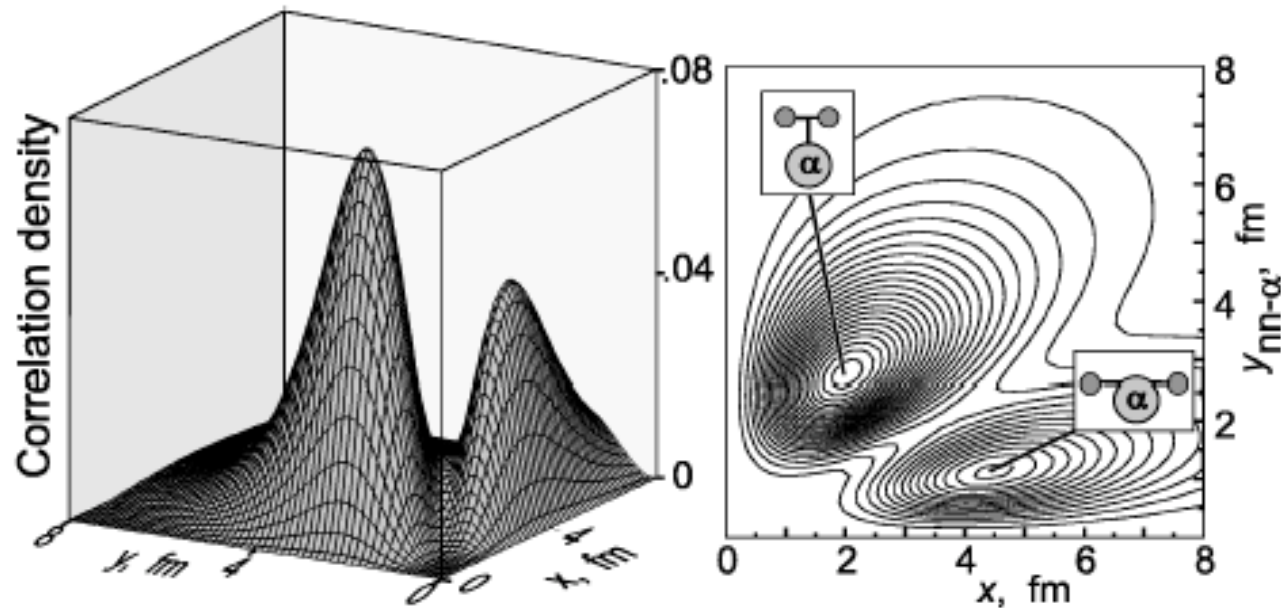
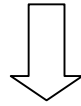


FIG. 1. Spatial correlation density plot for the 0^+ ground state of ${}^6\text{He}$. Two components — di-neutron and cigarlike — are shown schematically.

PRL82('99)4996.

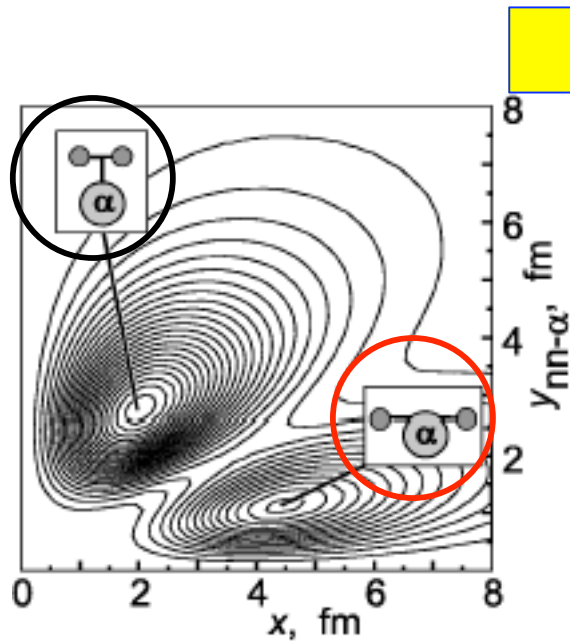
di-neutron 相関を見る新しい実験方法の開拓

配位の違いをどう見るか？

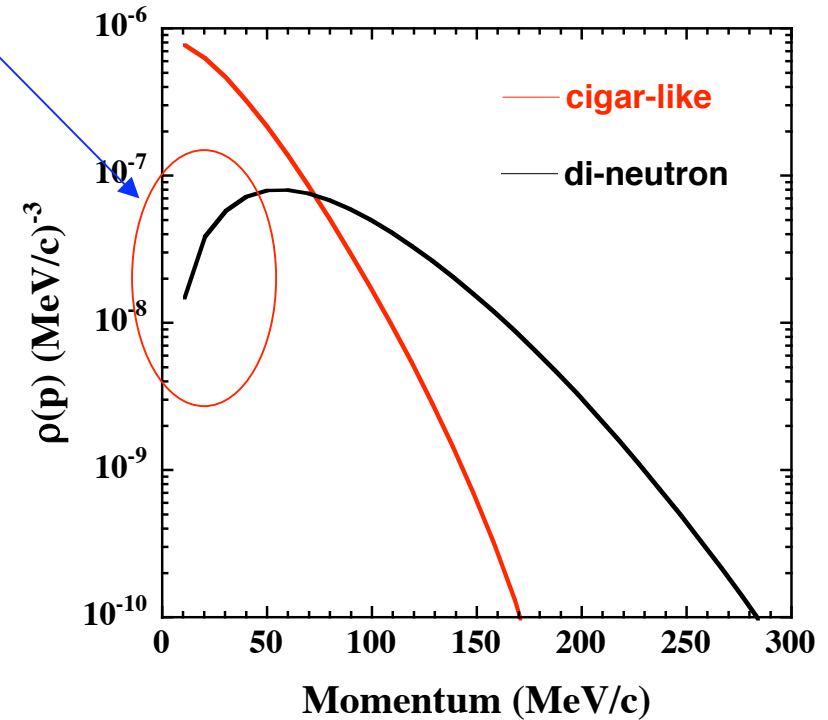


直感的には $\Delta p \cdot \Delta r \sim 1$

相対運動量密度分布に大きな違い！



核内2中性子間の運動量分布



Q : $4\pi r^2$??

Q : $\rho_{np}(p)$ of ${}^6\text{Li}$

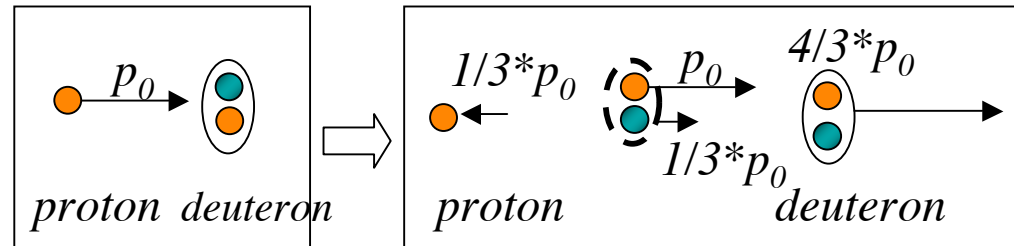
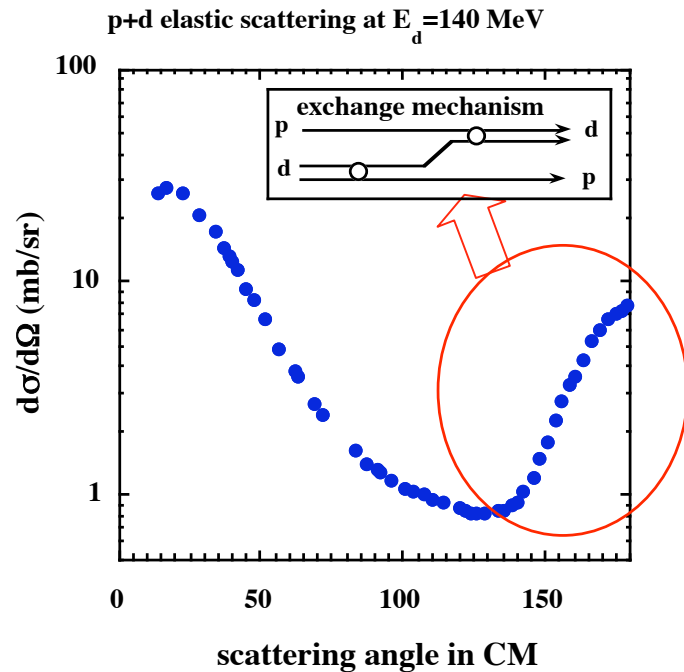
核内2核子間の相対運動量分布に敏感な物理量を捜せ

p+d 後方弾性散乱



核内核子運動量分布

- 後方での弾性散乱は、核子交換過程が主
 - 断面積は陽子・中性子間の相対運動量密度で決まる。

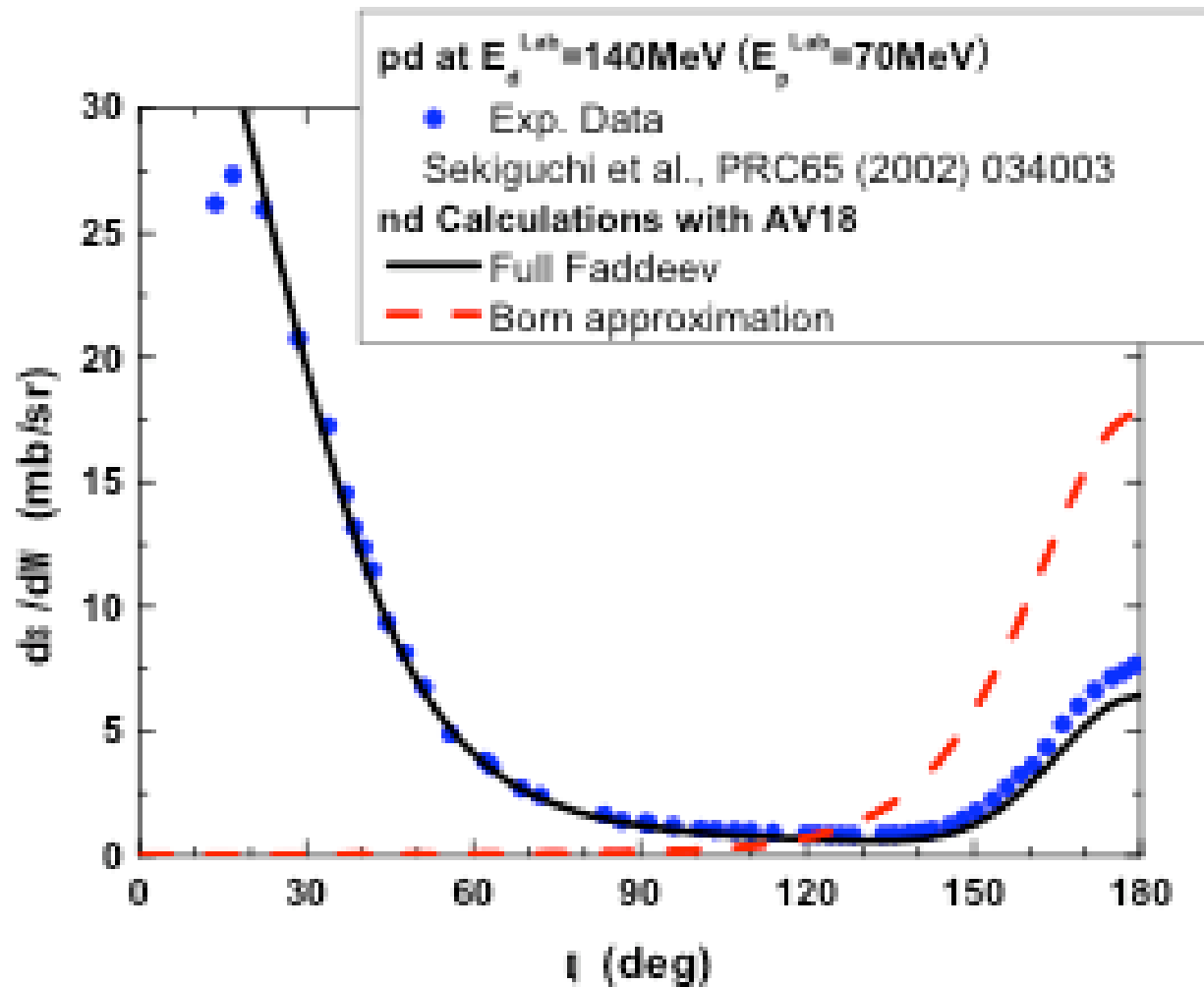


PWIA

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} \propto \kappa \cdot [\rho(p)]^2 \quad p = \frac{1}{3} p_0$$

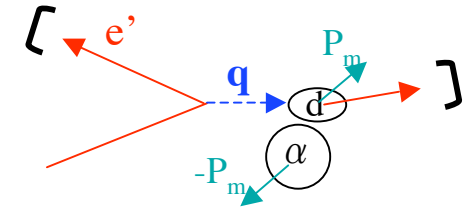
Faddeev 計算 (by S. Ishikawa)

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} \propto \kappa \cdot [\rho(p)]^2$$



${}^6\text{Li}$ 核中の”重陽子”について

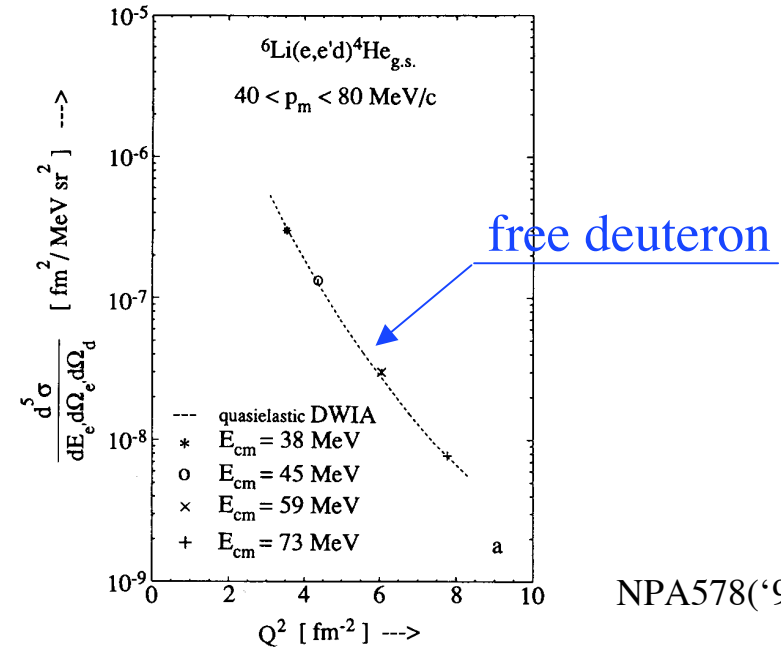
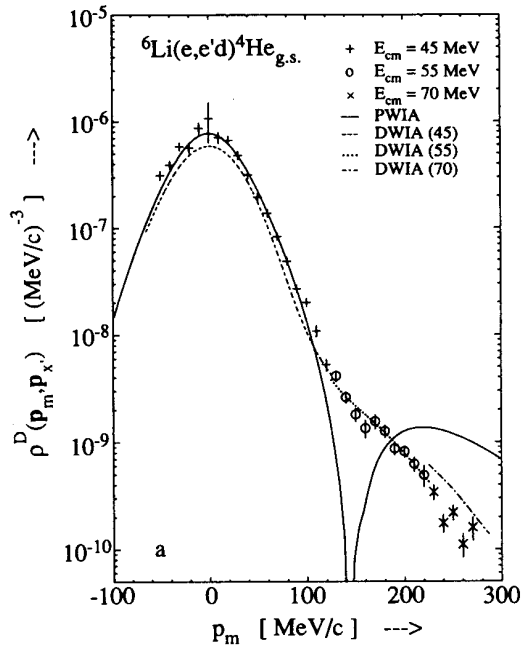
- ${}^6\text{Li}$ 核内の”重陽子”の運動量分布、”形状因子”



– 準弾性散乱運動学での ${}^6\text{Li}(e,e'd)\alpha$

- 運動量分布 : 核内 d の運動量分布
- 形状因子 : ${}^6\text{Li}$ 核内”重陽子”の大きさ

$$\frac{d^6\sigma}{dp_e dp_d} = K \sigma_{ed}(q) |\phi(p_m)|^2$$



NPA578('94)93.

運動量分布 ($\sigma \sim 34 \text{ MeV}/c$) \longleftrightarrow

${}^6\text{He}$: $60 \text{ MeV}/c$

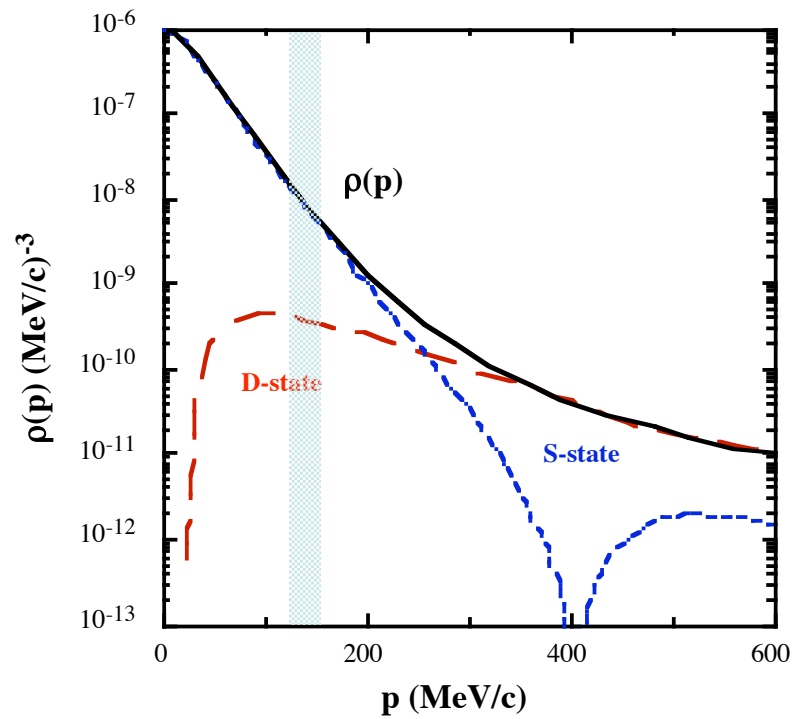
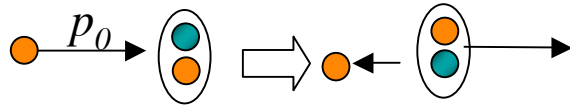
重陽子の形状因子とほぼ同じ

$S = 0.73 \pm 0.14$

Q: ${}^6\text{Li}$ 核はこんな単純な描像で良い??

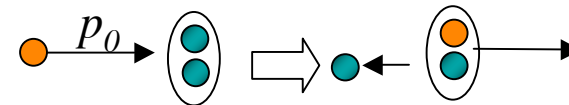
p+d 後方散乱 @ $E_p = 70$ MeV
 $\theta_p = 150 - 180^\circ$

p+d -> p + d
 後方では核子交換反応

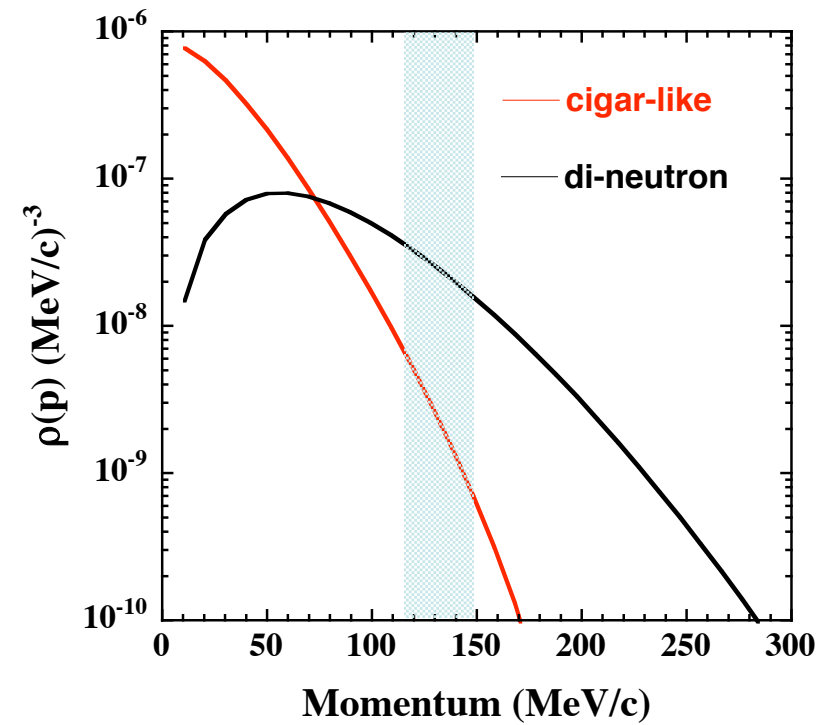


p+'nn' 後方散乱 @ $E_p = 70$ MeV
 $\theta_n = 150 - 180^\circ$

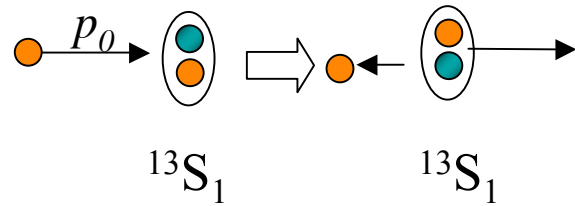
p+'nn' -> n + d
 核子交換反応



核内2中性子間の運動量分布

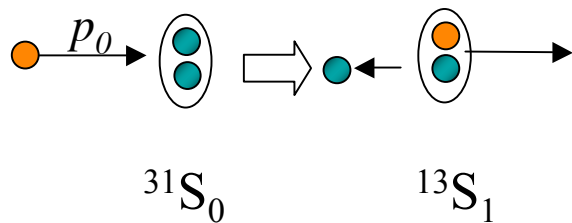


p+'d', p+'nn'



Spin $\frac{\vec{1}}{2} + \vec{1} \rightarrow \frac{\vec{1}}{2}, \frac{\vec{3}}{2} \rightarrow \frac{\vec{1}}{2} + \vec{1}$

Isospin $\frac{\vec{1}}{2} + 0 \rightarrow \frac{\vec{1}}{2} \rightarrow \frac{\vec{1}}{2} + 0$



Spin $\frac{\vec{1}}{2} + 0 \rightarrow \frac{\vec{1}}{2} \rightarrow \frac{\vec{1}}{2} + \vec{1}$

Isospin $\frac{\vec{1}}{2} + \vec{1} \rightarrow \frac{\vec{1}}{2}, \frac{\vec{3}}{2} \rightarrow \frac{\vec{1}}{2} + 0$

pn,nn系の動径方向の波動関数が同じと仮定

菊池さん

$$\frac{|\langle nd | \hat{O} | p(nn) \rangle|^2}{|\langle pd | \hat{O} | pd \rangle|^2} = 0.4444$$

$$\hat{O} = V(\sigma_1 \cdot \sigma_2)(\tau_1 \cdot \tau_2)$$

核子交換反応 (ONE) 過程断面積の比

$$\frac{\sigma_{ONE}(p+{}^1nn' \rightarrow nd)}{\sigma_{ONE}(p+{}^1pn' \rightarrow pd)} = \frac{|\langle spin \cdot isospin \rangle|^2 [\rho_{nn}(p)]^2}{|\langle spin \cdot isospin \rangle|^2 [\rho_{pn}(p)]^2}$$

${}^6\text{He}$ 核内 nn 系運動量密度

$$= \frac{|\langle nd | \hat{O} | p(nn) \rangle|^2 [\rho_{nn}(p)]^2}{|\langle pd | \hat{O} | pd \rangle|^2 [\rho_{pn}(p)]^2} = 0.4444 \frac{[\rho_{nn}(p)]^2}{[\rho_{pn}(p)]^2}$$

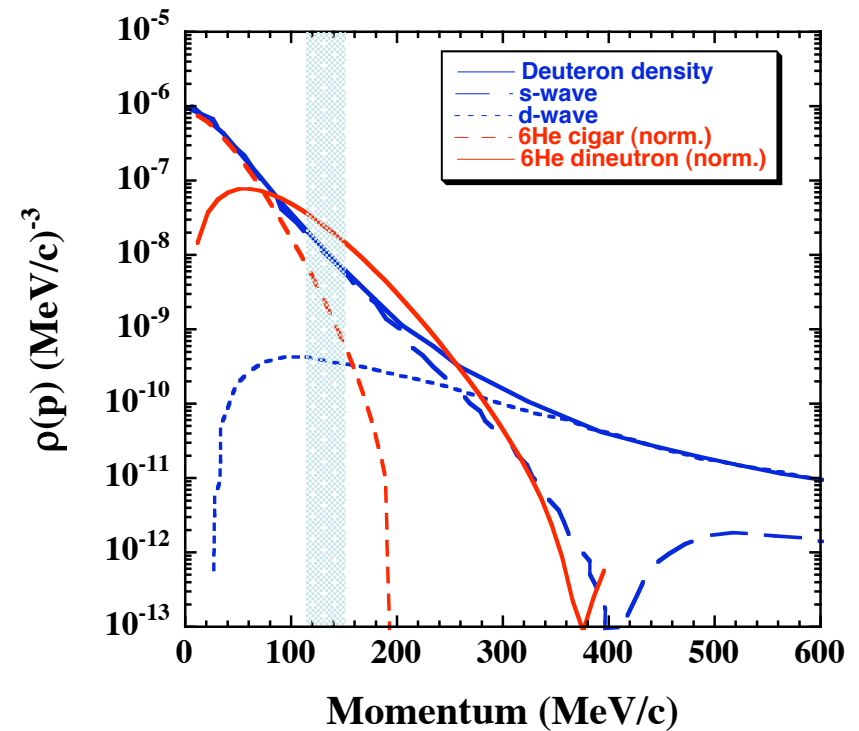
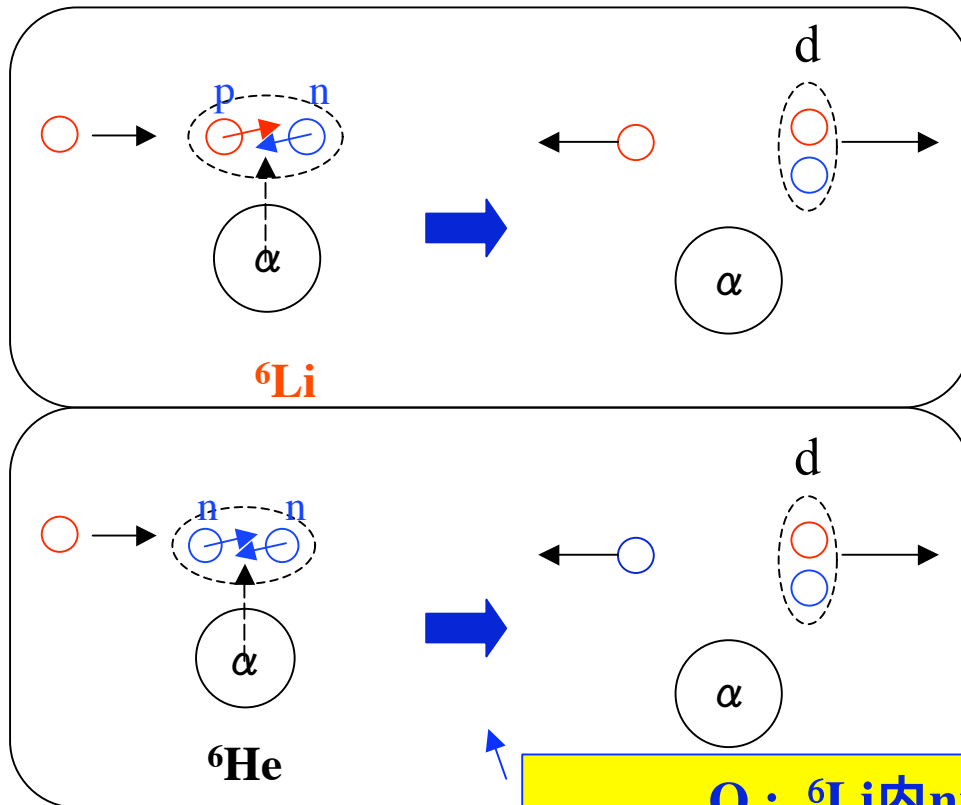
${}^6\text{Li}$ 核内 pn 系運動量密度



Q: この比にdistortionはどの程度深刻な影響を与える?

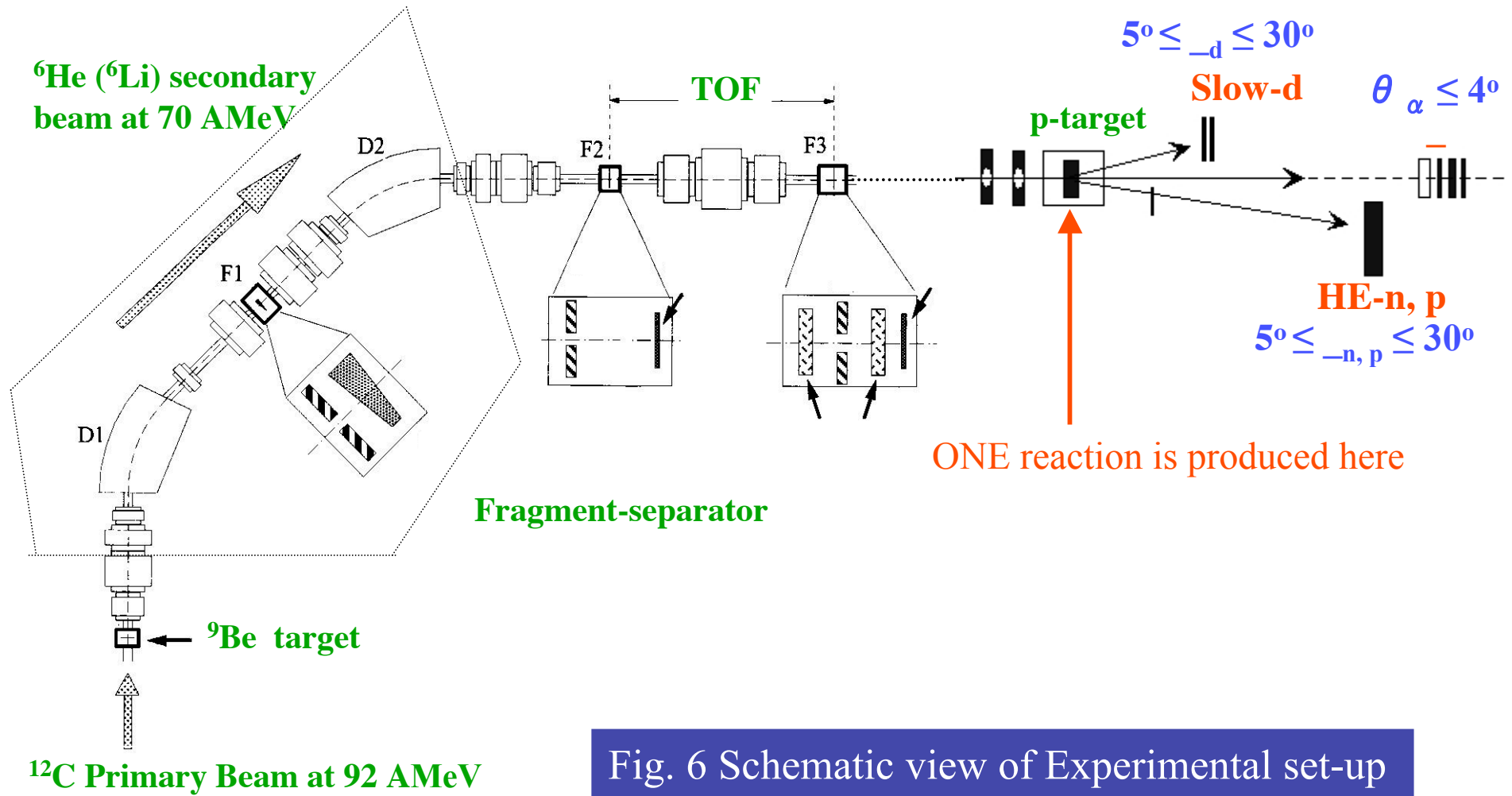
まとめると。。。。

1. ${}^6\text{Li}$ 核内の”重陽子”は、自由な重陽子とほぼ同じ大きさ
⇒ 運動量密度分布もほぼ同じ
2. $E_p=70\text{MeV}$ での $p+d$ 後方弾性散乱
⇒ 相対運動量 120 - 150 MeV/cに対応
3. ${}^6\text{He}$ 核内の2中性子の相対運動量分布も同様

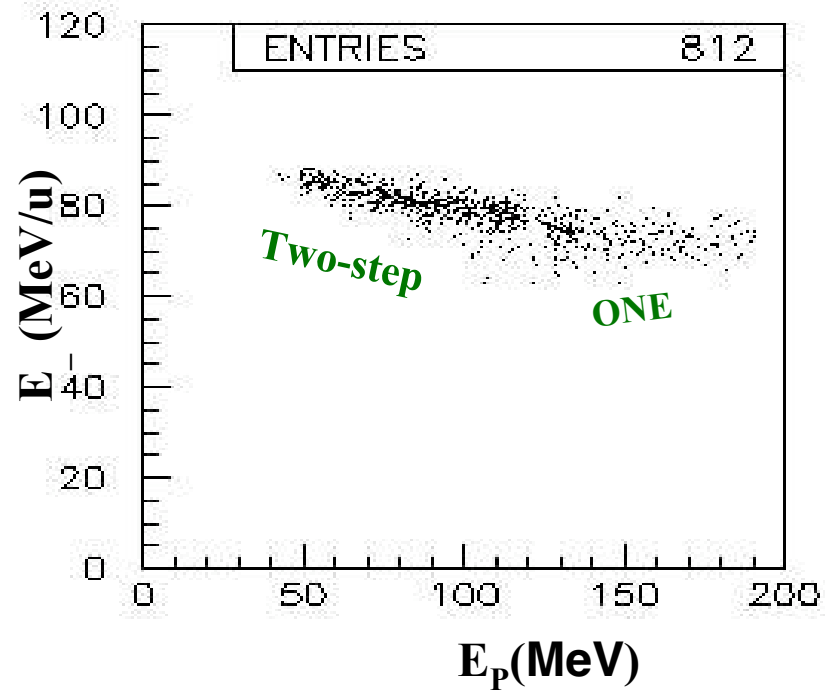


Q: ${}^6\text{Li}$ 内 np と ${}^6\text{He}$ 内 nn を直接比較したい

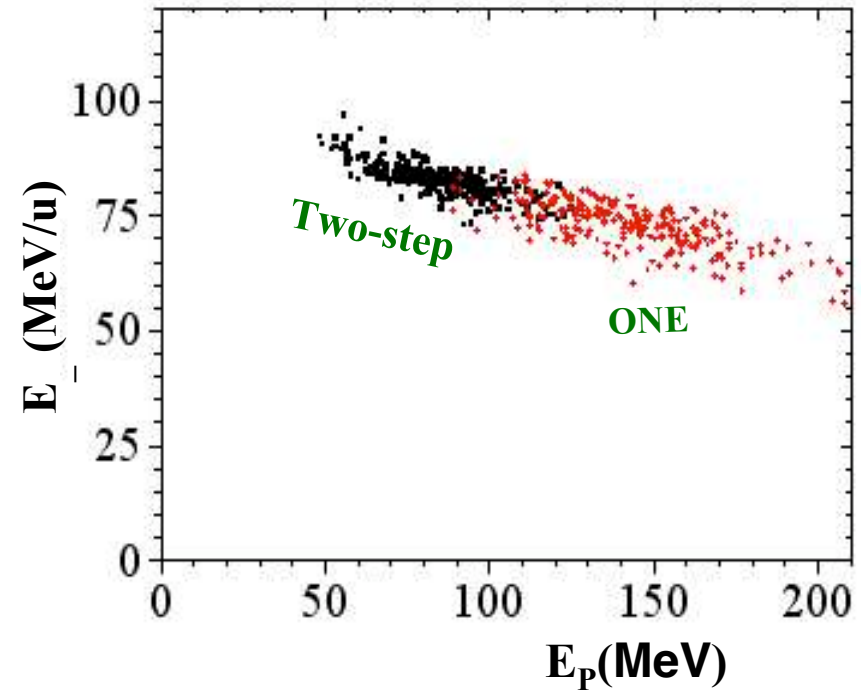
3. Experimental set-up (あ吉田さん)



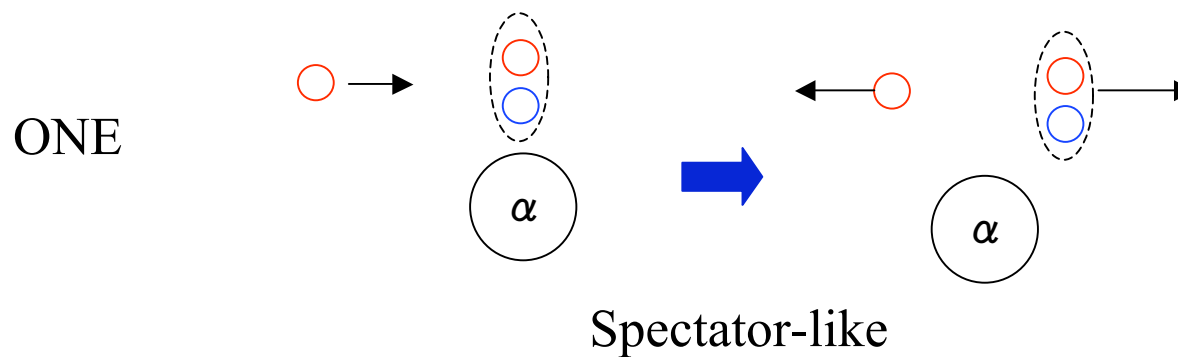
Identification for ONE and “two-step” reactions



Experimental analysis

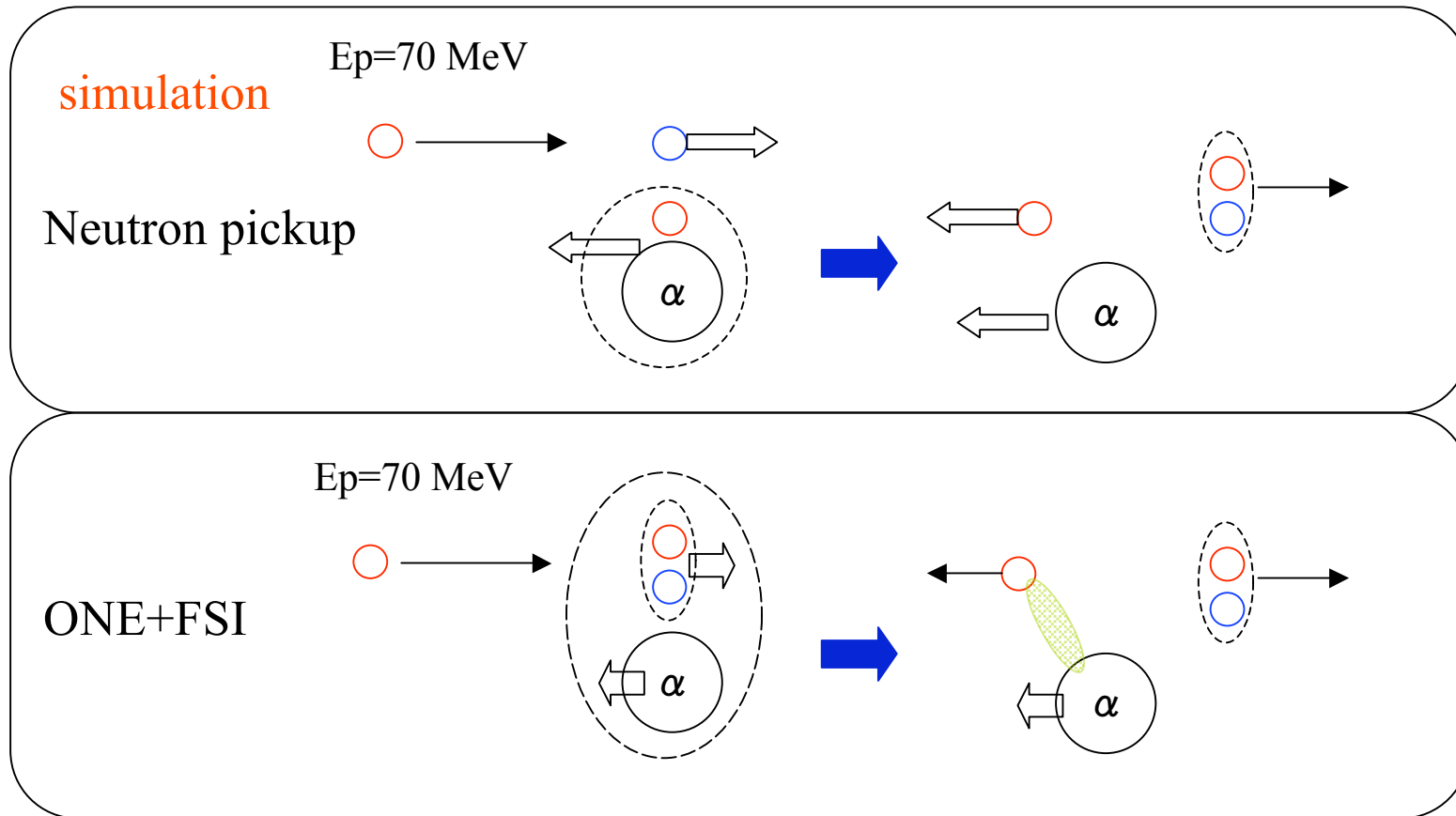


Kinematical simulation

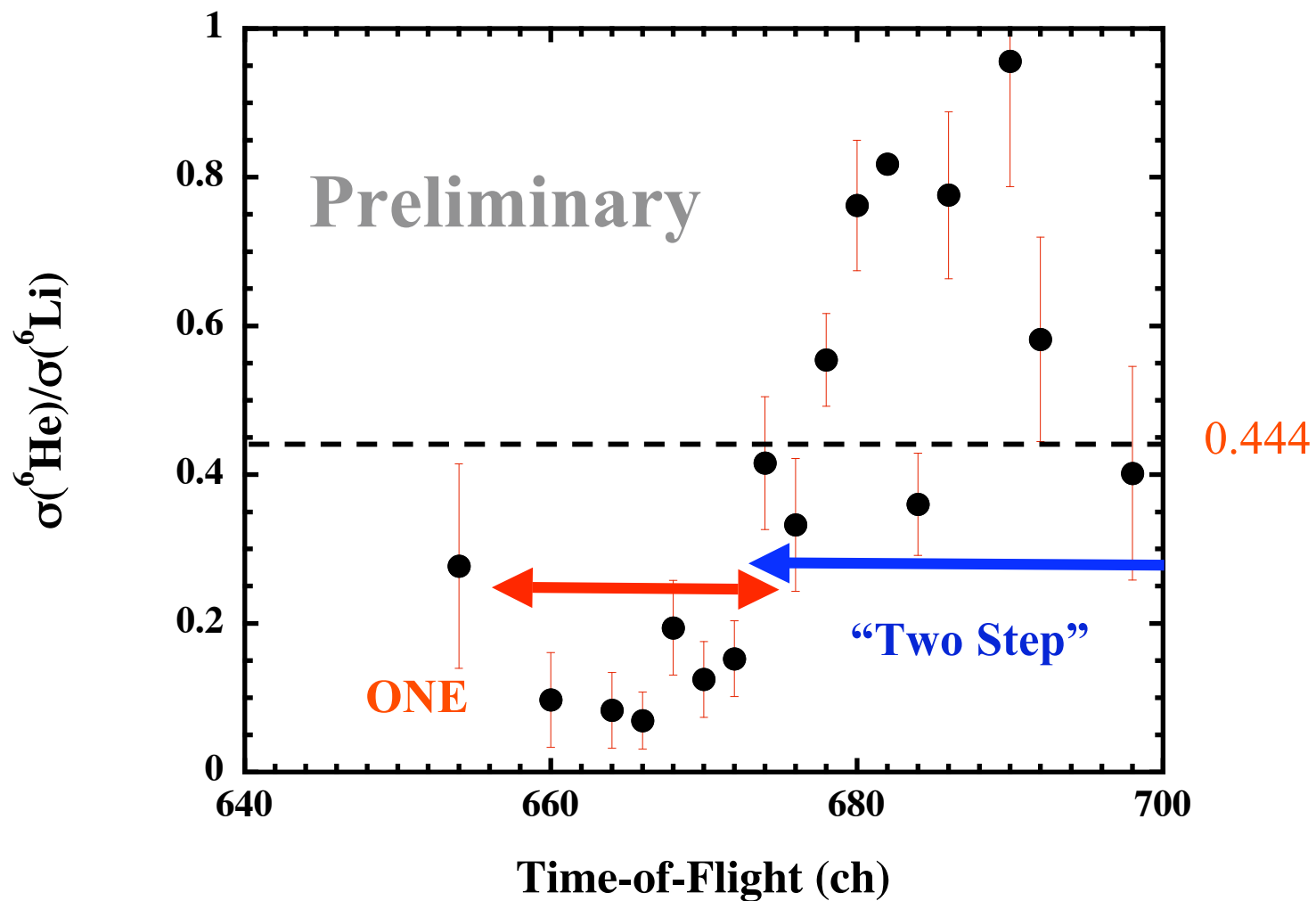


What is “Two-step” reaction ?

- 1) α does not have spectator-like momentum
- 2) back-scattered proton has lower energy



${}^6\text{He}/{}^6\text{Li}$ Ratio



di-neutron 的な成分が ${}^6\text{He}$ 内には必要

反応理論

将来の展開

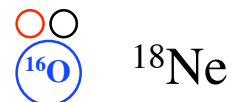
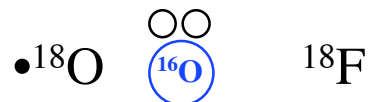
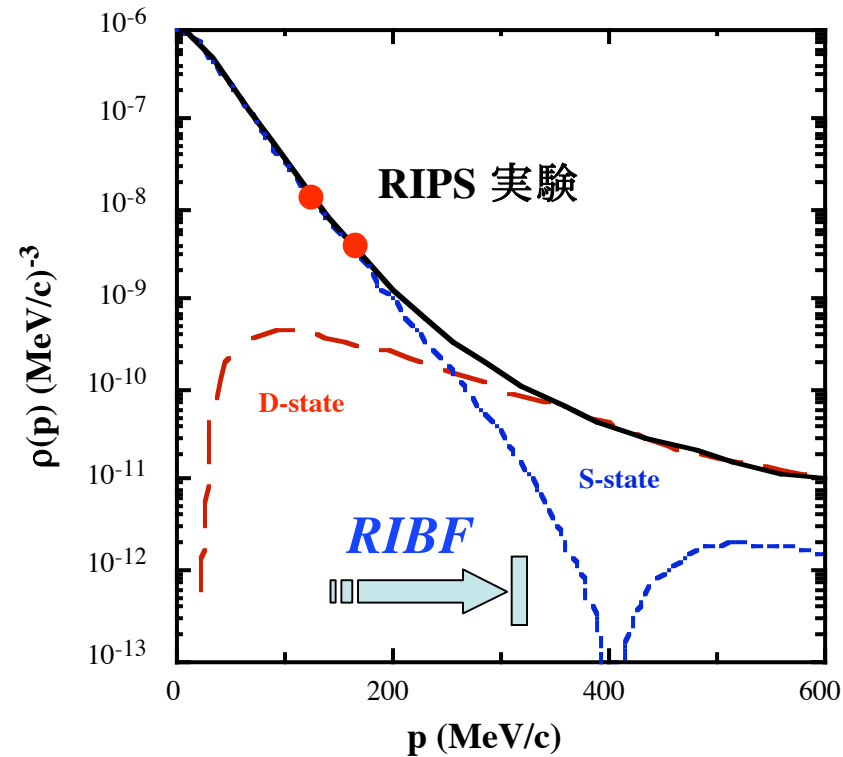
より高いエネルギー (@RIBF or GSI)

- 核内2核子系

- $^{31}\text{S}_0$ (S-wave only)

- $^{13}\text{S}_1$ (S-wave and D-wave)

違いはD-wave



結論

- 核子交換反応を利用し、 ${}^6\text{He}$ 核内の2中性子間の相対運動量密度に敏感な反応断面積を測定
 - $p + {}^6\text{He} \rightarrow n + d$
 - $E_p = 70 \text{ MeV}$
 - ${}^6\text{Li}$ 核内の pn 系との比較
- 核子交換反応の断面積
 - $\sigma({}^6\text{He}) / \sigma({}^6\text{Li}) \sim 0.1 - 0.2$
 - ${}^6\text{Li}$ 核内 p n 対程度の空間的広がりを持つ2中性子対
- 今後
 - $\sigma({}^6\text{He}) / \sigma({}^6\text{Li})$ 解釈
 - $\sigma(p + {}^6\text{He} \rightarrow nd) / \sigma(p + {}^6\text{Li} \rightarrow pd)$
 - 反応計算
 - ${}^6\text{He}$ 内の2中性子の空間分布に関する知見
 - より高いエネルギーでの実験@RIBF (&@GSI)