陽子－中性子過剰ヘリウム同位体弾性散乱の偏極分解能測定

東大CNS　坂口 聡志

2009 / 2 / 21

「広い意味での核反応研究のこれから」

陽子弾性散乱

- 陽子弾性散乱
  - 最も基礎的な反応過程
    → 反応機構の理解の第一歩
  - 光学ポテンシャル
    → 非弾性散乱や荷電交換反応の理論解析
  - 中性子分布に対する優れたプローブ
    反応機構の理解は核構造研究にも重要

⇔ 弱束縛系である不安定核の弾性散乱・光学ポテンシャルについては限られた理解しか得られていない

- 弾性散乱測定の困難（イベント識別）
- 偏極物理量の測定の困難 ⇒ スピン軌道ポテンシャルは未知

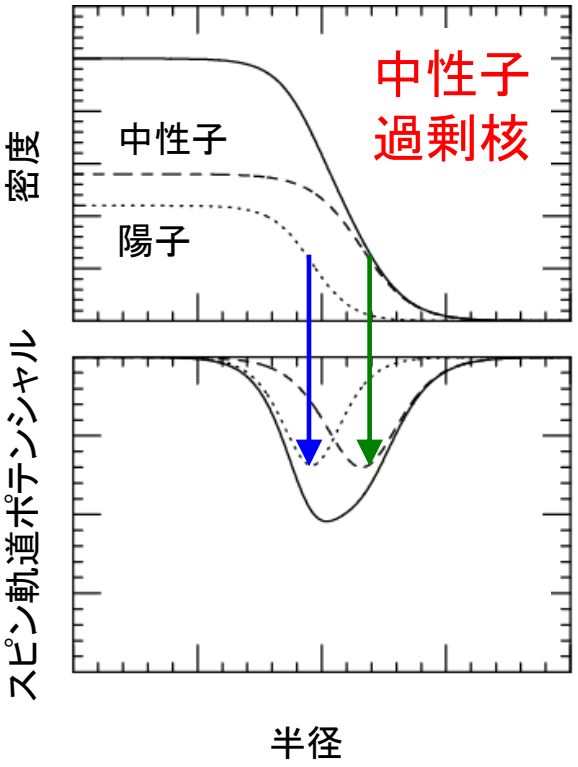
中性子過剰核のスピン軌道ポテンシャル

- スピン軌道ポテンシャル
  - 密度の微分形(⇒ 表面ピーク)

$$U_{ls}(r) = \hbar^{-1}(\boldsymbol{l}\cdot\boldsymbol{s})\,\frac{1}{r}\boxed{\frac{\partial\rho(r)}{\partial r}}$$

  - 安定核:
    質量数・入射エネルギーによらず
    ほぼ一定の振幅(～5 MeV)
  - 中性子過剰核:
    安定核と異なる形状？

中性子過剰核のスピン軌道ポテンシャルの形状を明らかにする



陽子－中性子過剰ヘリウム同位体弾性散乱

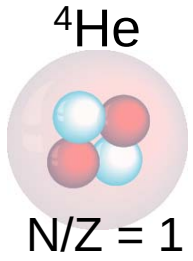
- 中性子過剰ヘリウム同位体
  - 大きなN/Z比
  - 中性子スキン / ハローの存在

⇒ 空間的に広がった中性子分布がスピン軌道ポテンシャルに与える影響は？

  - 束縛励起状態を持たない

- スピン軌道ポテンシャル
  - p-^{6}He, p-^{8}He 弾性散乱の偏極分解能測定

⇒ ・現象論的解析
・微視的計算



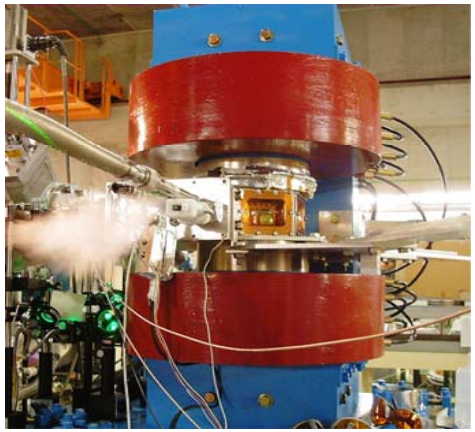
p-^{8}He偏極分解能測定

測定

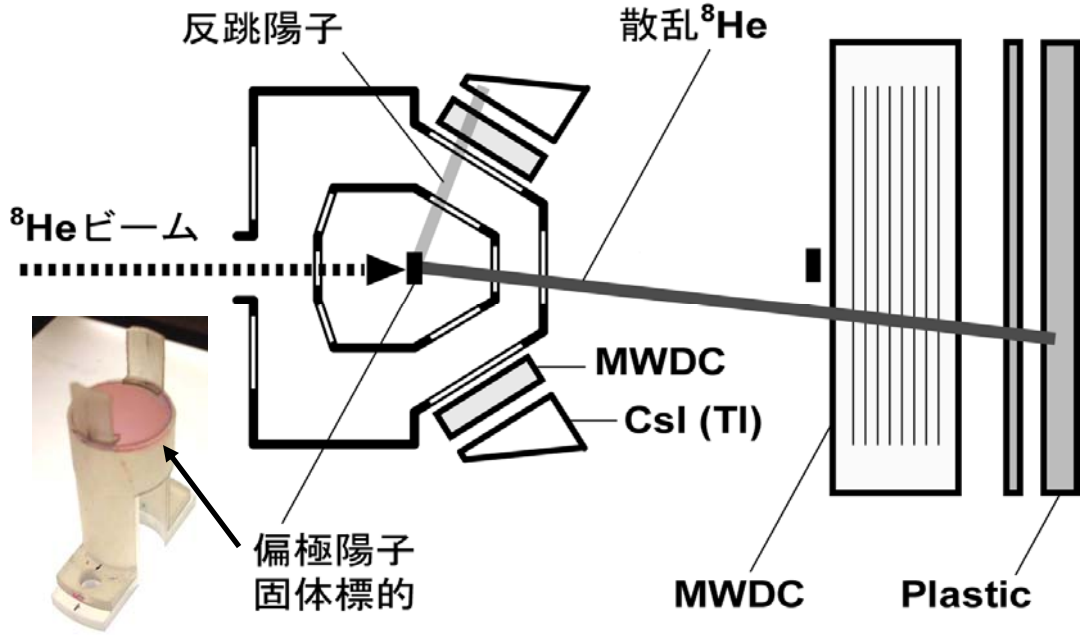
- 測定量
  - 反応：陽子－^{8}He弾性散乱
  - エネルギー：71 MeV/A
  - 測定量：微分断面積
    偏極分解能
  - 角度領域：35－80°

- 偏極陽子固体標的
  - 不安定核ビーム実験に特化
  - 高温（100 K）・低磁場（0.1 T）
  - ナフタレン結晶（1 mm^{t}, ϕ14 mm）
  - 偏極度：20%（平均）

- 検出器
  - 散乱粒子・反跳陽子の同時検出



偏極陽子固体標的



実験データ

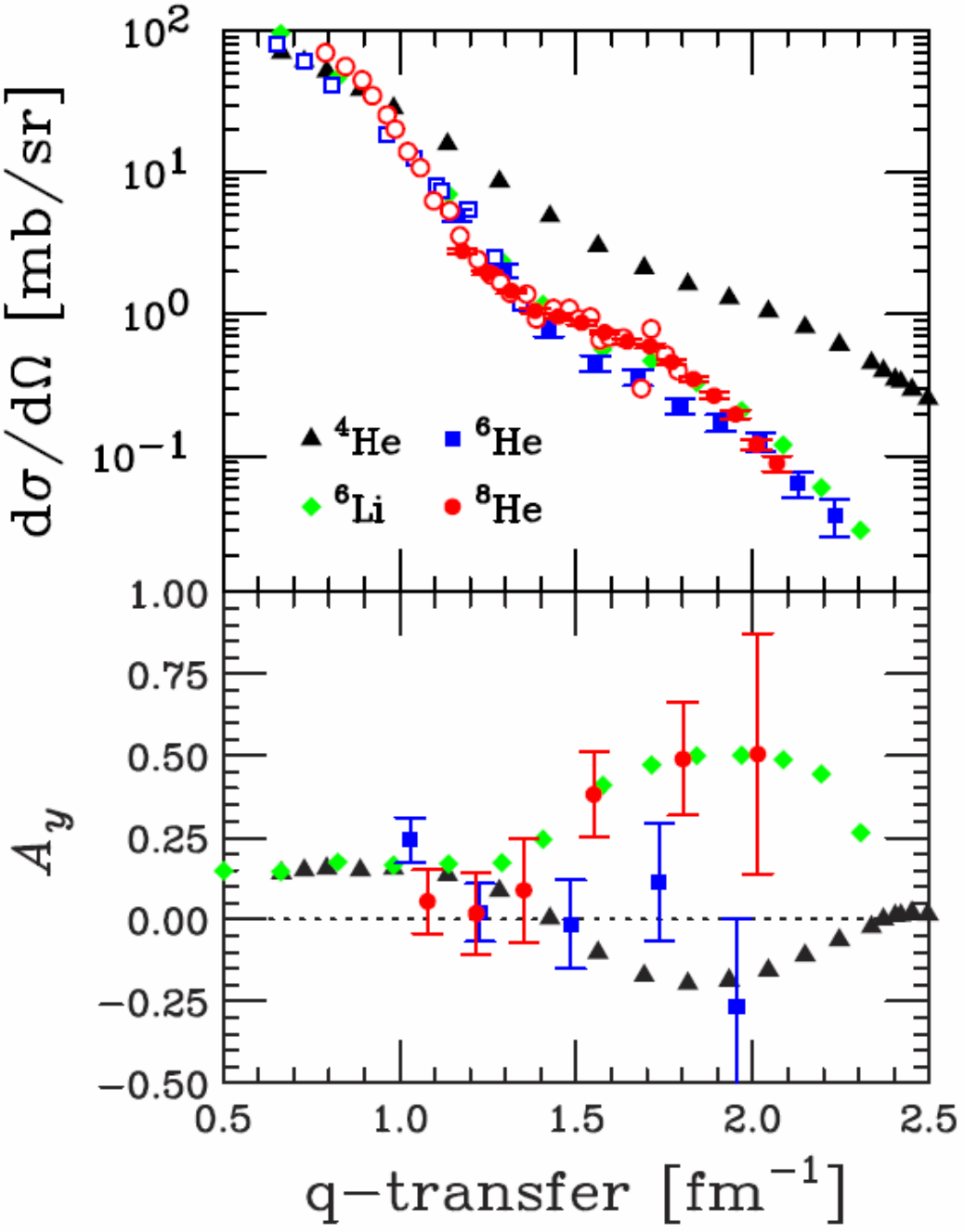
- 微分断面積
  - 既存のデータと consistent
  - 傾き：半径を反映

    ^{6}He, ^{6}Li, ^{8}He: ～2.5 fm

    ⇔ ^{4}He: ～1.7 fm

- 偏極分解能
  - 後方（q > 1.3 fm^{-1}）で特徴的な挙動

⇒ 現象論的解析



t-matrix folding calculation

- 微分断面積
  - *t* 行列畳み込み計算

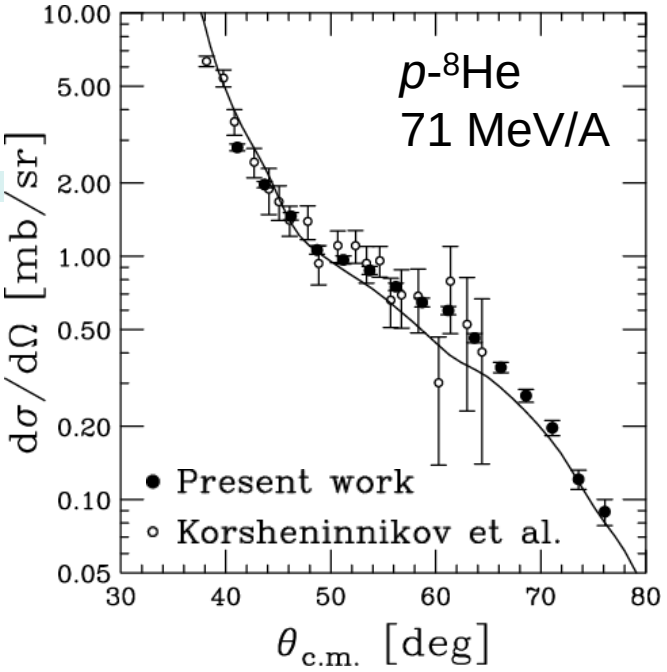
    S. P. Weppner et al.,

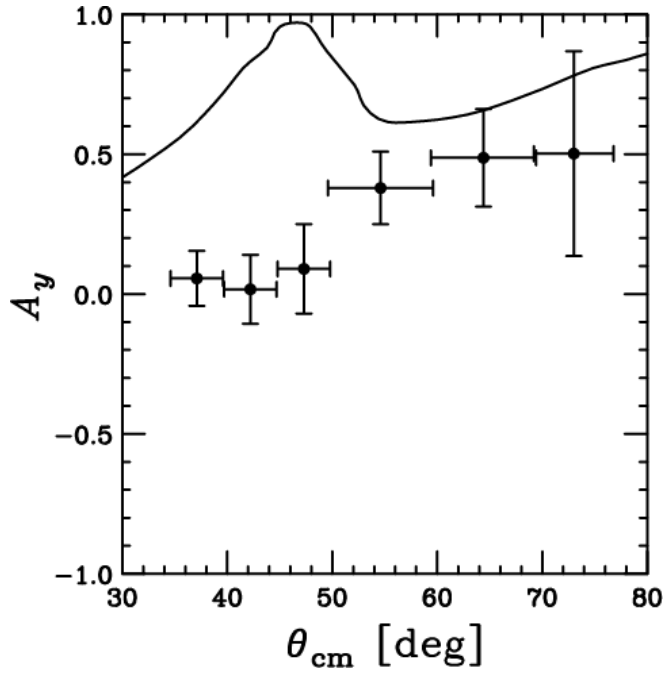
    Phys. Rev. C 61 (2000) 044601.
  - 理論予想と概ねconsistent

- 偏極分解能

陽子－不安定核弾性散乱の
初の偏極分解能データ

  - 理論予想と大きく異なる挙動





現象論的光学模型解析

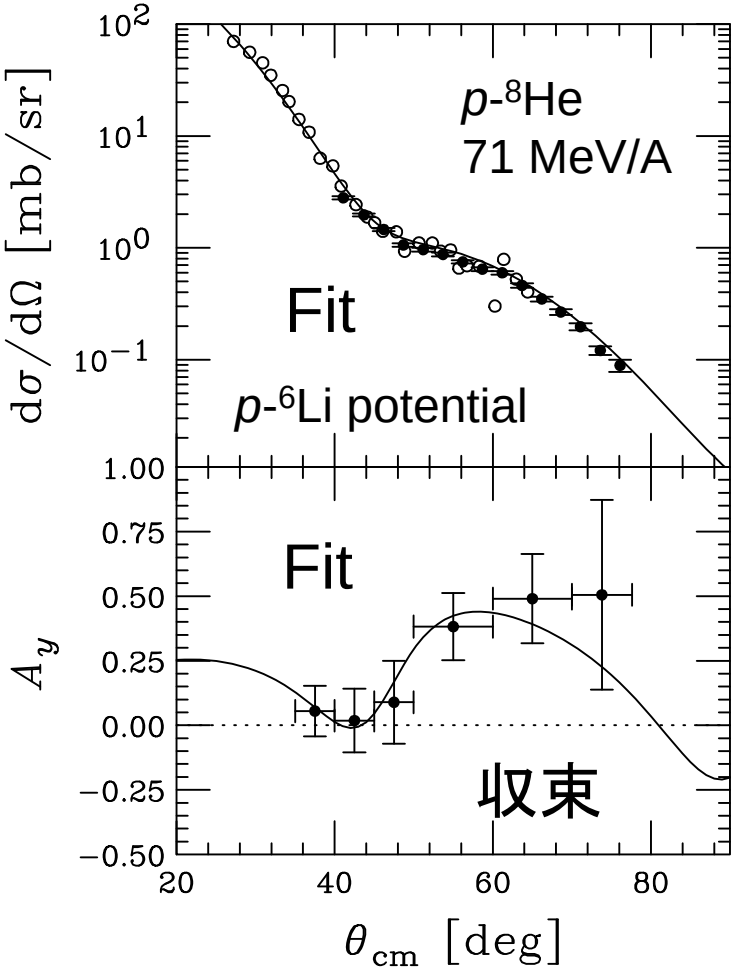
現象論的解析

- 現象論的光学ポテンシャル
  - 中心項: WS型
  - スピン軌道項: Thomas型
- パラメータサーチ
  - 初期値: p-^{6}Liポテンシャル

① 微分断面積 → 中心項

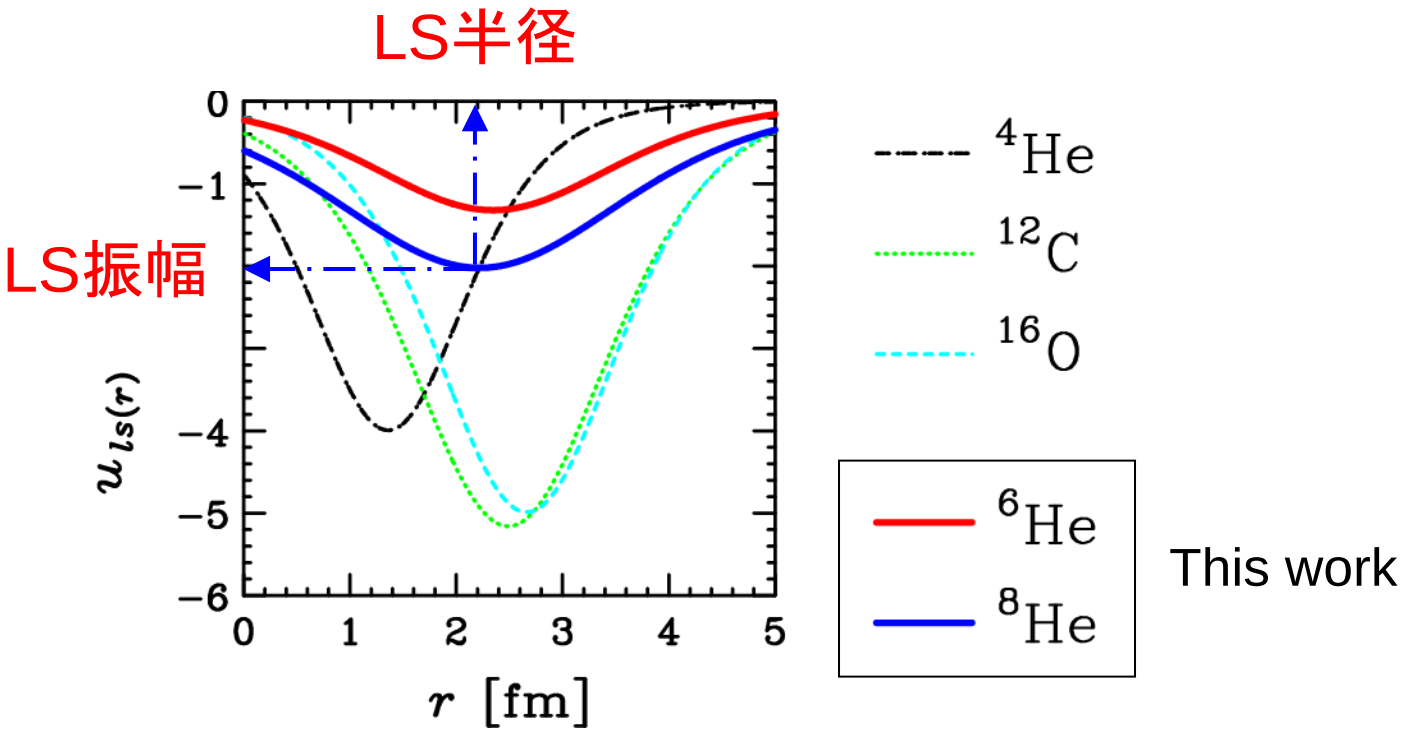
② 偏極分解能 → スピン軌道項

陽子ー ^{6}He / ^{8}He間のスピン軌道ポテンシャルを決定



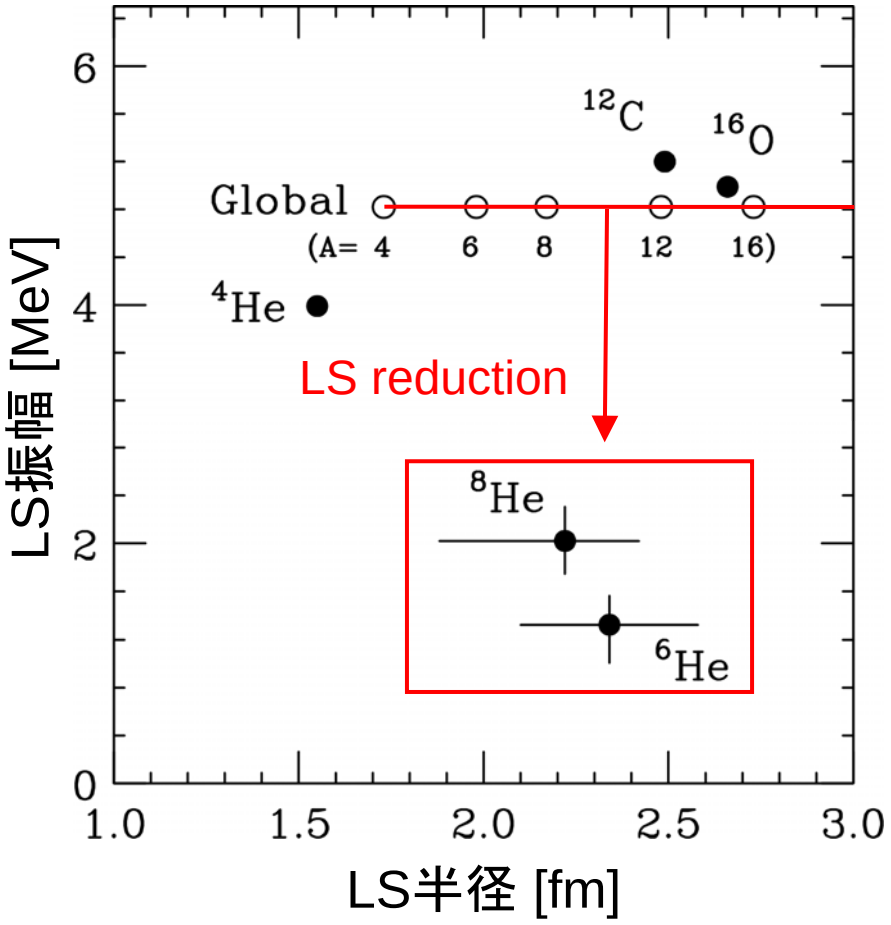
スピン軌道ポテンシャル

- スピン軌道ポテンシャル



	深さ		半径		ぼやけ	
	V_{ls} (fm)	ΔV_{ls} (fm)	r_{ls} (fm)	Δr_{ls} (fm)	a_{ls} (fm)	Δa_{ls} (fm)
^{6}He	2.017	$+0.801/-0.835$	1.294	$+0.124/-0.130$	0.760	$+0.148/-0.182$
^{8}He	3.675	$+0.396/-0.432$	1.108	$+0.104/-0.164$	0.910	$+0.102/-0.078$

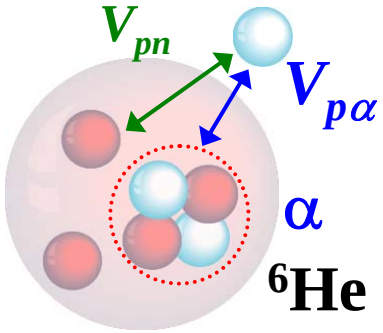
安定核との比較



^{6}He, ^{8}Heのスピン軌道ポテンシャルが安定核と比べて著しく浅いことが明らかになった。

微視的光学模型計算

α+xn畳み込み計算

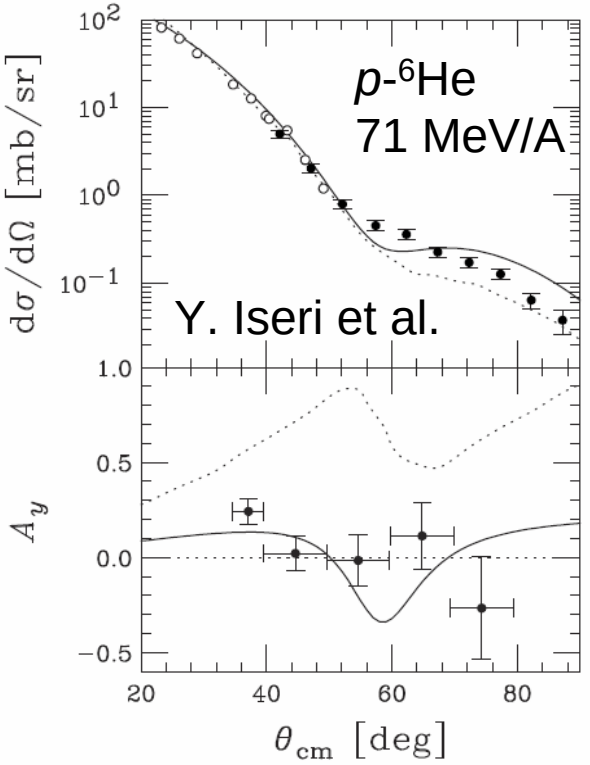


- α+xn畳み込み計算

$$U_{\mathrm{CF}} = \int V_{pn_1}\,\rho_n(r_1)\,d\boldsymbol{r}_1 + \int V_{pn_2}\,\rho_n(r_2)\,d\boldsymbol{r}_2 + \int V_{p\alpha}\,\rho_\alpha(r_\alpha)\,d\boldsymbol{r}_\alpha$$

  - 入力
    - ρ_n, ρ_α: E. Hiyama et al., PRC 53 (1996) 2075.
    - V_{pn}: g-matrix (CEG)
    - $V_{p\alpha}$: 現象論的光学ポテンシャル
  - αコア, n の寄与を分けて評価

- 結果
  - 偏極分解能をreasonableに再現
    ⇔ t-folding 計算（点線）



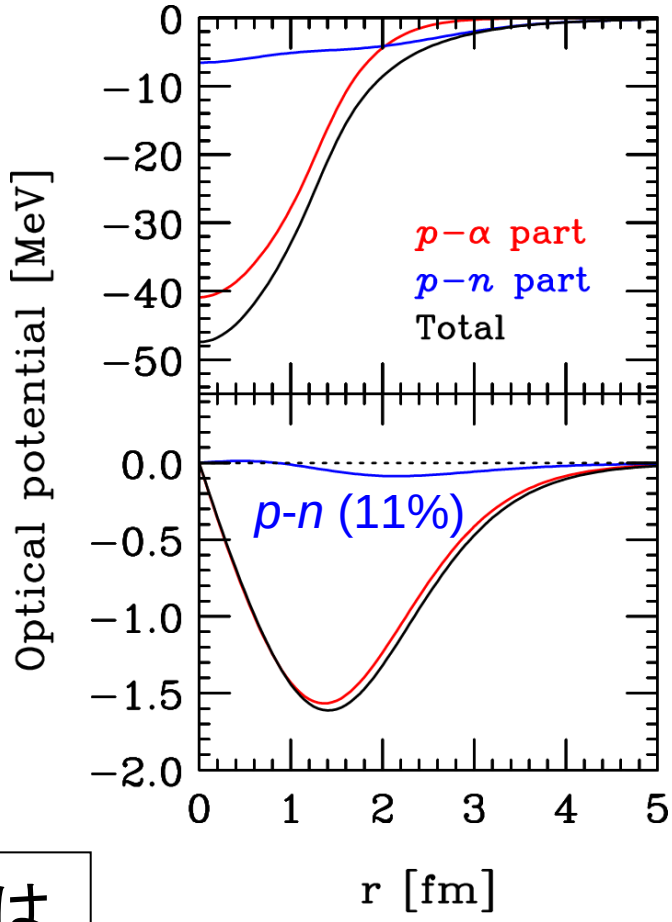
α+xn畳み込み計算

- 光学ポテンシャルの成分

$$U_{CF}(r) = U_{CF}^{p\alpha}(r) + U_{CF}^{pn}(r)$$

p-α part　　*p*-*n* part

  - 中心項:
    p-α (44%) ≒ *p*-*n* (56%)
  - スピン軌道項:
    p-α (89%) ≫ *p*-*n* (11%)
    Valence n の広がった密度分布



p-^{6}He間のスピン軌道ポテンシャルには
p-α間の成分が寄与の大部分を占める

Non-local *g*-matrix folding calculation

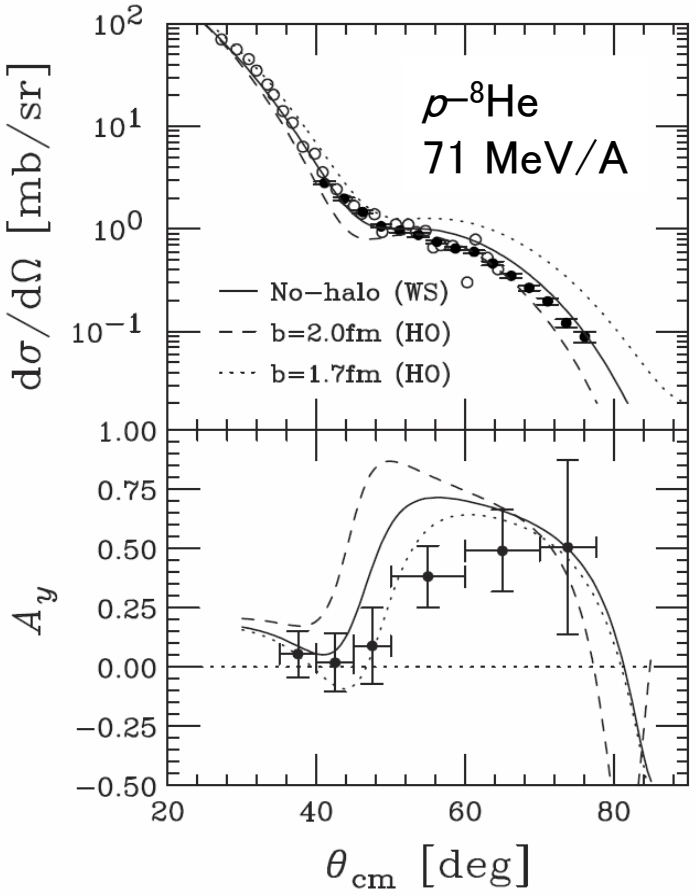
- Non-local g-matrix folding

  K. Amos et al., Adv. Nucl. Phys. A 25, (2000) 275.

  S. Karataglidis et al., PRC 61, (2000) 024319.

  - 交換項に起因するnonlocalityを厳密に取り扱う。
  - ポテンシャルを経由しない。

- *p*-^{6}He, ^{8}He への適用
  - 微分断面積・偏極分解能をreasonableに再現する。



まとめ

- 陽子－中性子過剰ヘリウム同位体(^{6}He, ^{8}He)弾性散乱の偏極分解能を測定した。t 行列畳み込み計算と大きく異なる結果を得た。

- p-^{6}He, p-^{8}He 間のスピン軌道ポテンシャルが、安定核と比べて著しく浅い形状を持つことが明らかになった。

- p-^{6}He, ^{8}He間のスピン軌道ポテンシャルには、陽子とαコアの間の相互作用が大部分の寄与を果たすことがα+xnクラスター畳み込み計算から示唆される。

- 理研RIBFにおいて偏極陽子標的と高分解能スペクトロメータSHARAQを用いることで、不安定核の弾性散乱におけるスピン軌道結合の理解を進める。

Collaborator

東大CNS
上坂友洋, 清水陽平, 笹本良子

京大
川畑貴裕

東北大CYRIC
涌井崇志, 伊藤正俊, 松尾亮

阪大RCNP
岡村弘之, 民井淳

東邦大理
河原朋美

宮崎大
前田幸重

東大理
酒井英行, 矢向謙太郎, 岩崎弘典,
笹野匡紀, 鈴木大介, 高橋良幸,
中尾太郎, 野地俊平

東工大理
中村隆司, 佐藤義輝, 篠原摩有子,
島村智之, 橋本佳子, 中山佳晃

理研
青井考, 須田健嗣, 関口仁子, 山口充孝,
市川雄一, 久保木浩功

埼玉大理
伊藤圭介