

KEK 理論センター研究会
『ハドロン・原子核物理の理論研究最前線 2017』

2017年11月20日～22日於KEK

パリティ混合モデルによる
 ${}_{\Lambda}^{12}\text{B}$ と ${}_{\Lambda}^{10}\text{Be}$ の構造分析および生成断面積

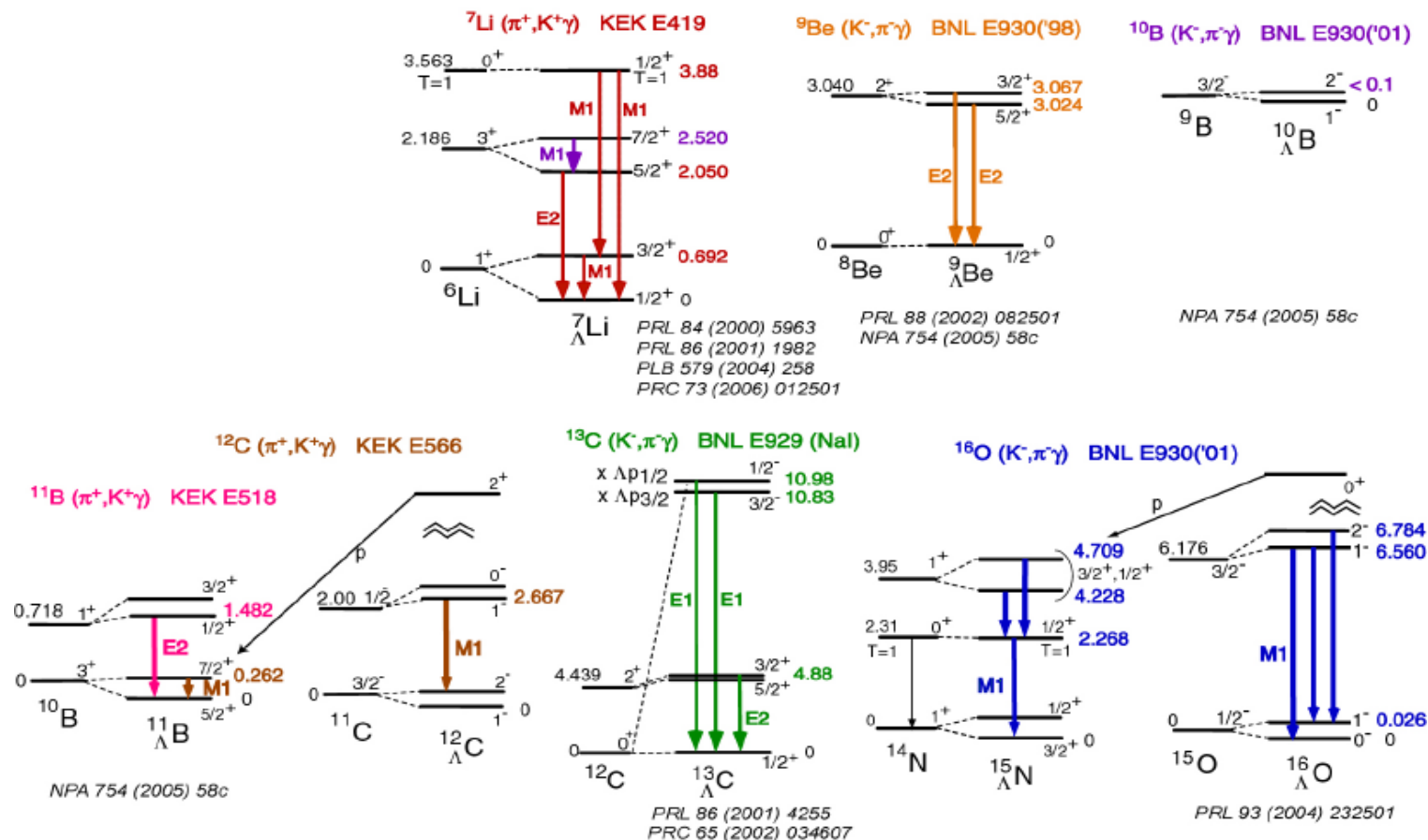
梅谷 篤史 (日本工業大学)

元場 俊雄 (大阪電気通信大学)

糸永 一憲 (岐阜大学)

最近の p 殻 Λ ハイパー核の生成実験 (1)

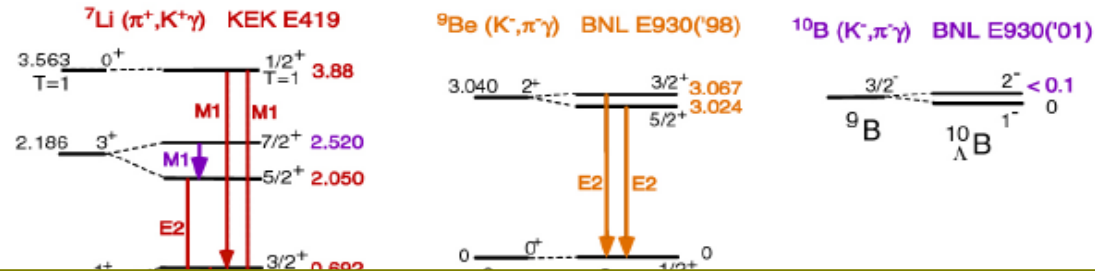
γ 線分光



from **H. Tamura et al., NPA914 (2013).**

最近の p 殻 Λ ハイパー核の生成実験 (1)

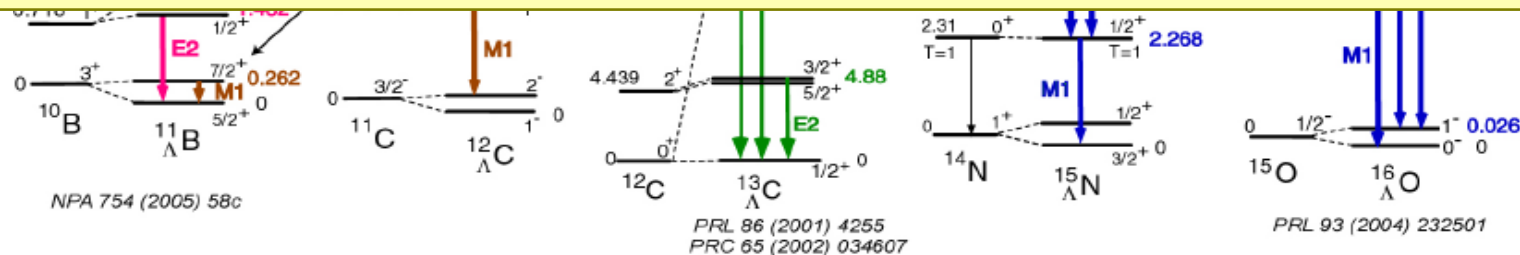
γ 線分光



有効 ΛN 相互作用 (s 殻, p 殻のハイパー核に対して)

$$V_{\Lambda N}^{\text{eff}} = V_0 + V_{\sigma\sigma} \sigma_N \cdot \sigma_\Lambda + V_{\text{SLS}} \ell_{\Lambda N} \cdot (s_\Lambda + s_N) + V_{\text{ALS}} \ell_{\Lambda N} \cdot (s_\Lambda - s_N) + V_{\text{Tensor}} S_{12}$$

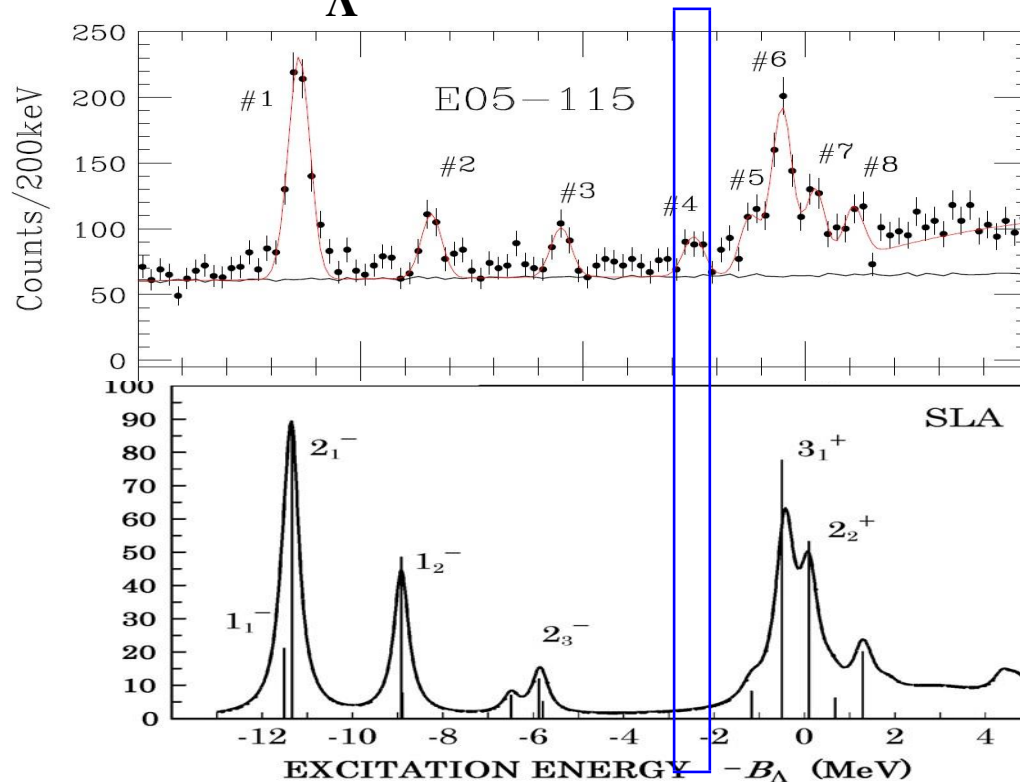
- p -shell model **D.J. Millener, Nucl. Phys. A 804, 84 (2008).**
- **Few-body E. Hiyama, Prog. Part. Nucl. Phys. 63, 339 (2009).**



from **H. Tamura et al., NPA914 (2013).**

最近の p 殻 Λ ハイパー核の生成実験 (2)

$^{12}\text{C}(e, e' K^+)_{\Lambda}^{12}\text{B}$ 反応



JLab Hall C, E05-115

L. Tang *et al.*, PRC90, 034320 (2014)
 remarkably high resolution data

Theoretical calculation

T. Motoba *et al.*, PTPS185, 224 (2010)

DWIA 計算

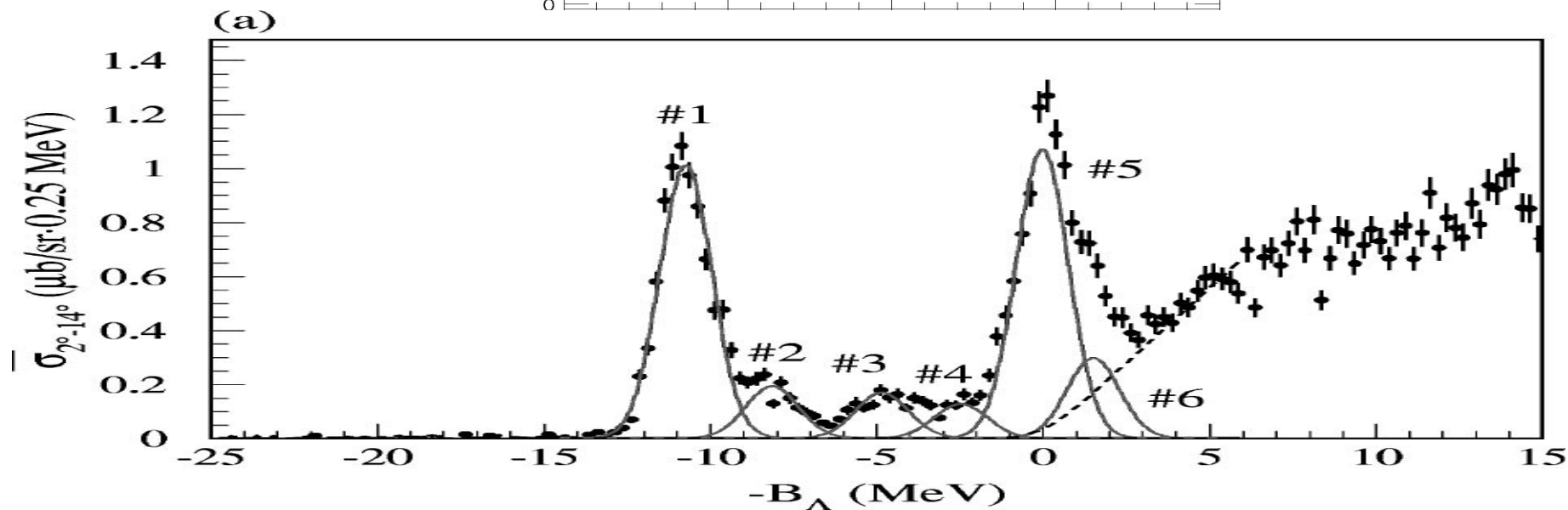
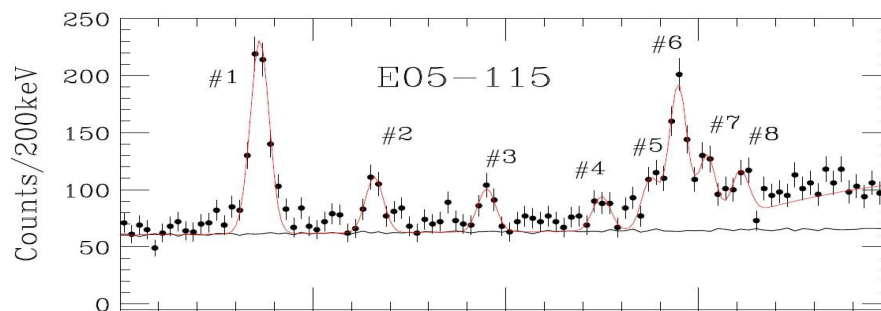
従来の p 殻配位で構成されたコア核
 Λ 粒子は s 軌道または p 軌道

DWIA 計算で予言された major peaks と subpeaks が実験で確認できる

しかし $E_x \simeq 9$ MeV の励起エネルギーの領域に extra strengths が見られる

→ コア核に対する模型空間の拡張が必要

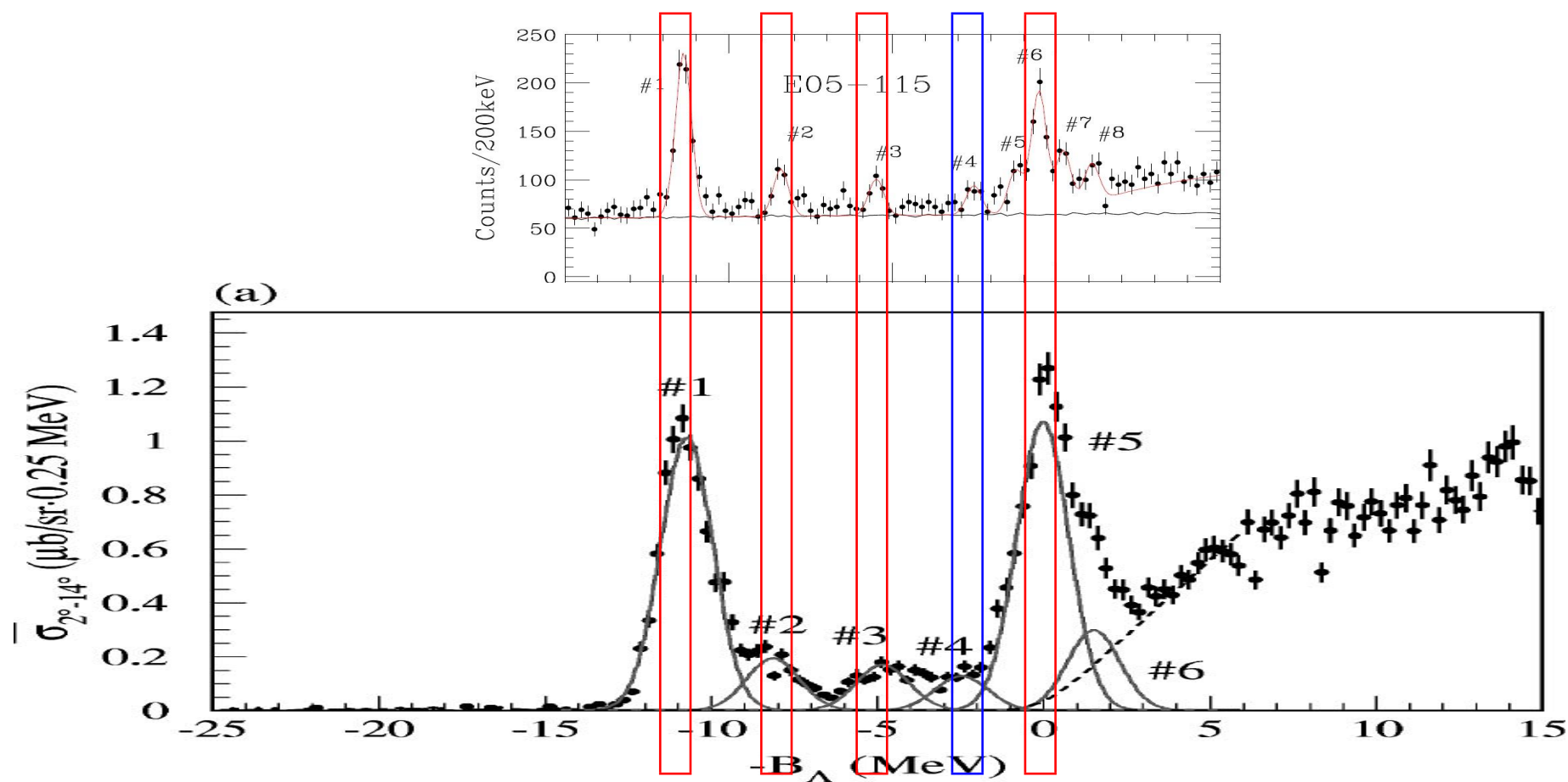
最近の p 殻 Λ ハイパー核の生成実験 (2)



(π^+, K^+) 反応 (H. Hotchi *et al.*, PRC64, 044302 (2001)) でも

(γ, K^+) 反応と同じエネルギーの領域に extra strengths が見られる

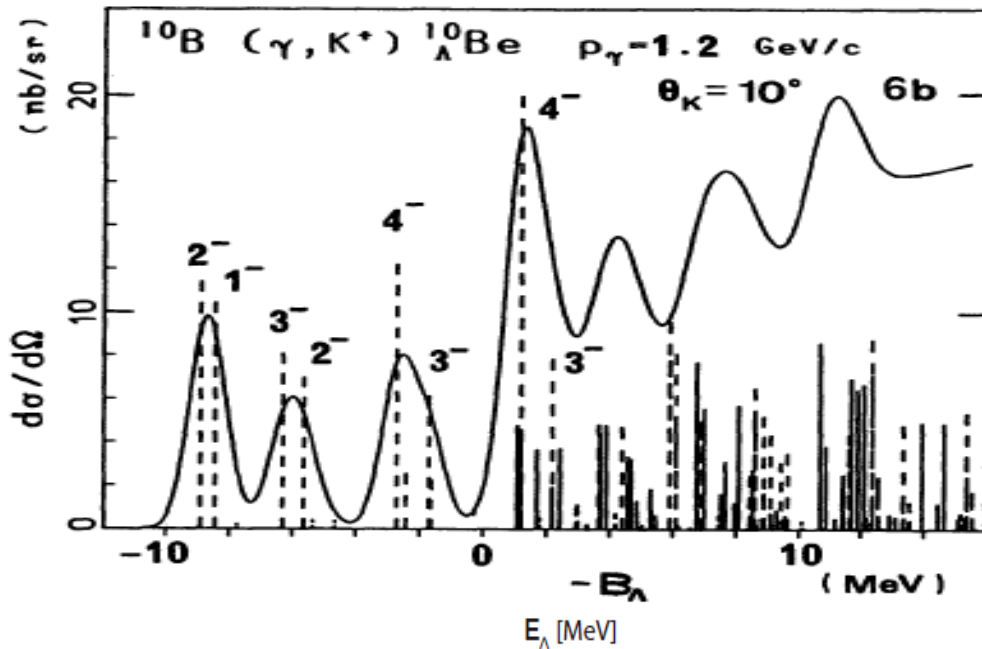
最近の p 殻 Λ ハイパー核の生成実験 (2)



(π^+, K^+) 反応 (H. Hotchi *et al.*, PRC64, 044302 (2001)) でも

(γ, K^+) 反応と同じエネルギーの領域に extra strengths が見られる

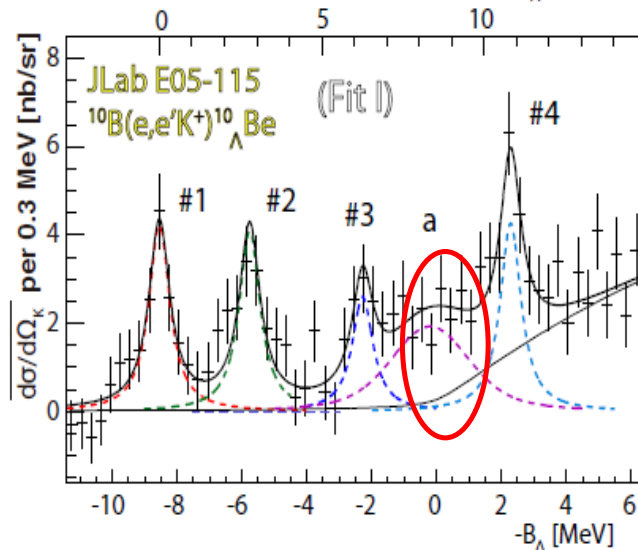
最近の p 殻 Λ ハイパー核の生成実験 (3)



$^{10}\text{B} (\gamma, K^+) ^{10}_{\Lambda}\text{Be}$ 反応

First theoretical prediction

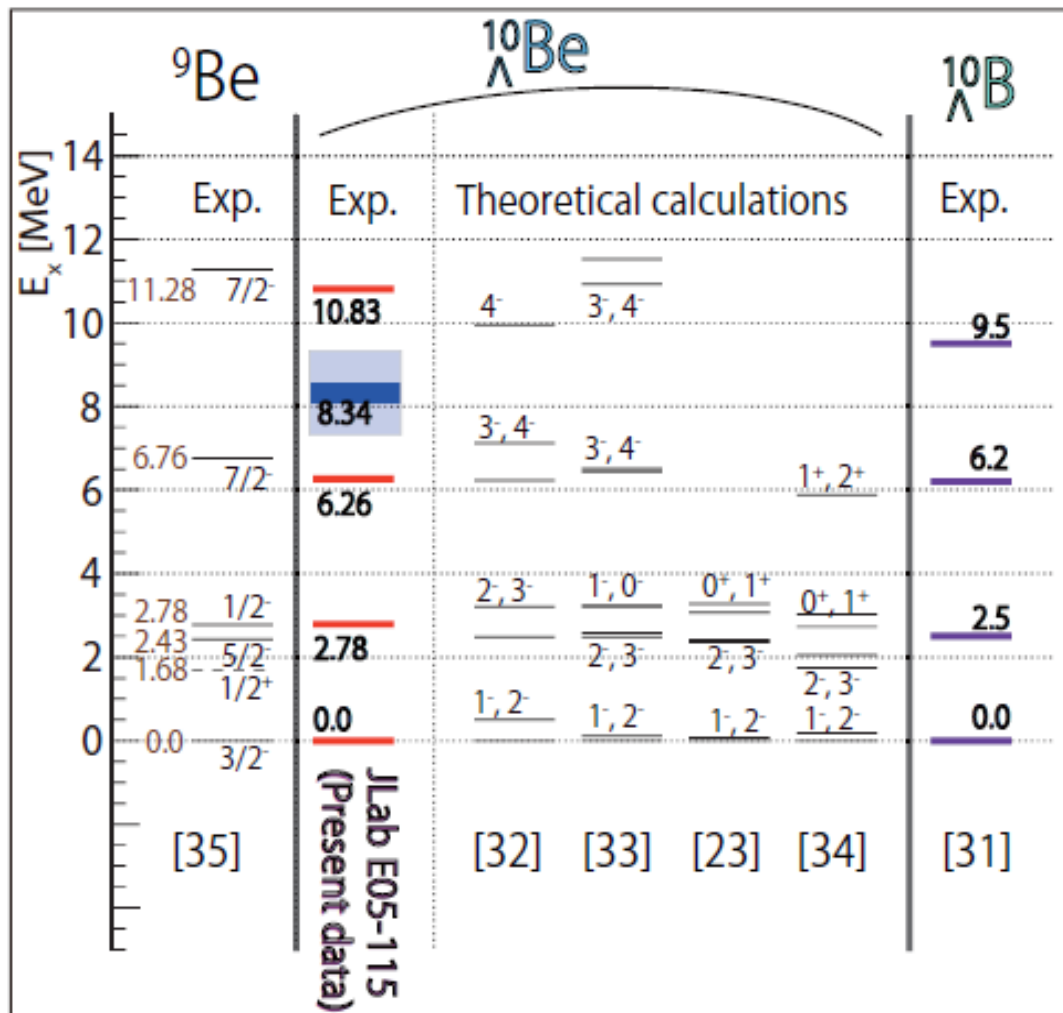
T. Motoba, M. Sotona, K. Itonaga, PTPS117, 123 (1994).



Recent and first experiment

T. Gogami *et al.*, PRC93, 034314 (2006).

赤丸でかこった部分に extra peak が見られる

最近の p 殻 Λ ハイパー核の生成実験 (4)

[32] shell model

T. Motoba, M. Sotona, K. Itonaga, PTPS117, 123 (1994).

T. Motoba, P. Bydzovsky, M. Sotona, K. Itonaga, PTPS185 (2010).

[33] shell model

D.J. Millener, NPA881, 298 (2012).

[23] cluster model

E. Hiyama, Y. Yamamoto, PTP128, 105 (2012).

[34] AMD model

M. Isaka *et al.*, Few-Body Syst. 54, 1219 (2013).T. Gogami *et al.*, PRC93, 034314 (2016).

殻模型計算における模型空間の拡張 (${}^{12}_{\Lambda}\text{B}$ の場合)

${}^{11}\text{B}$ コアに対して

(A) 従来の殻模型空間 $J_{\text{core}}^- \boxed{(0s)^4 (0p)^7} (0p-0h)$

(B) 拡張した殻模型空間 $J_{\text{core}}^+ \boxed{(0s)^3 (0p)^8} \oplus \boxed{(0s)^4 (0p)^6 (sd)^1} (1p-1h)$

${}^{12}_{\Lambda}\text{B}$ ハイパー核に対する従来の模型空間

(a) $\boxed{J_{\text{core}}^- \otimes 0s^{\Lambda}} \Rightarrow {}^{12}_{\Lambda}\text{B}(J^-)$ (b) $\boxed{J_{\text{core}}^- \otimes 0p^{\Lambda}} \Rightarrow {}^{12}_{\Lambda}\text{B}(J^+)$

拡張 (1) $1p-1h$ ($1\hbar\omega$) のコア励起を考慮

(a) $\boxed{J_{\text{core}}^- \otimes 0s^{\Lambda}} \Rightarrow {}^{12}_{\Lambda}\text{B}(J^-)$ (b) $\boxed{J_{\text{core}}^- \otimes 0p^{\Lambda}} \Rightarrow {}^{12}_{\Lambda}\text{B}(J^+)$

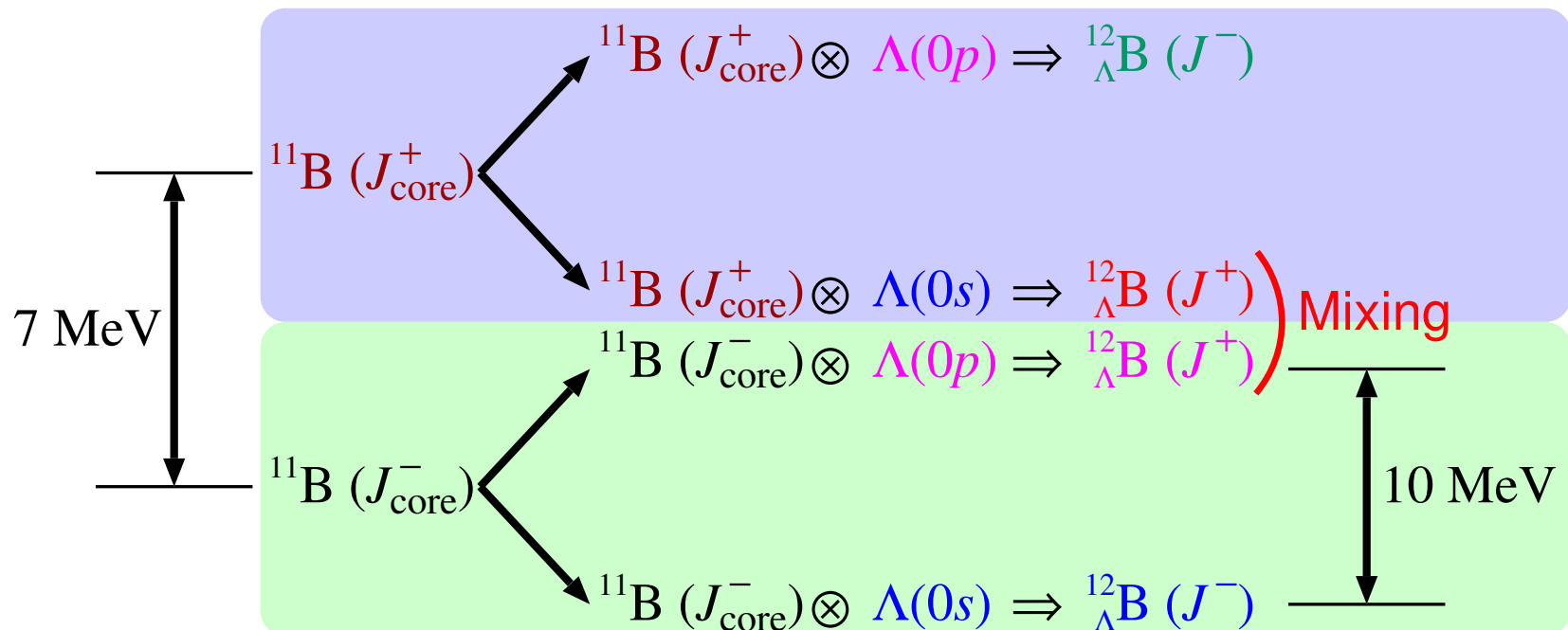
(c) $\boxed{J_{\text{core}}^+ \otimes 0s^{\Lambda}} \Rightarrow {}^{12}_{\Lambda}\text{B}(J^+)$ (d) $\boxed{J_{\text{core}}^+ \otimes 0p^{\Lambda}} \Rightarrow {}^{12}_{\Lambda}\text{B}(J^-)$

拡張 (2) ΛN 相互作用による配位混合

(a) $\boxed{J_{\text{core}}^- \otimes 0s^{\Lambda}} \oplus \boxed{J_{\text{core}}^+ \otimes 0p^{\Lambda}} \Rightarrow {}^{12}_{\Lambda}\text{B}(J^-)$

(b) $\boxed{J_{\text{core}}^- \otimes 0p^{\Lambda}} \oplus \boxed{J_{\text{core}}^+ \otimes 0s^{\Lambda}} \Rightarrow {}^{12}_{\Lambda}\text{B}(J^+)$

${}_{\Lambda}^{12}\text{B}$ の unnatural parity 状態における配位混合



今までの殻模型計算ではコア核は natural parity のみ

${}_{\Lambda}^{12}\text{B}(J^-)$ は Λ が $0s$ にいる状態, ${}_{\Lambda}^{12}\text{B}(J^+)$ は Λ が $0p$ にいる状態

しかし

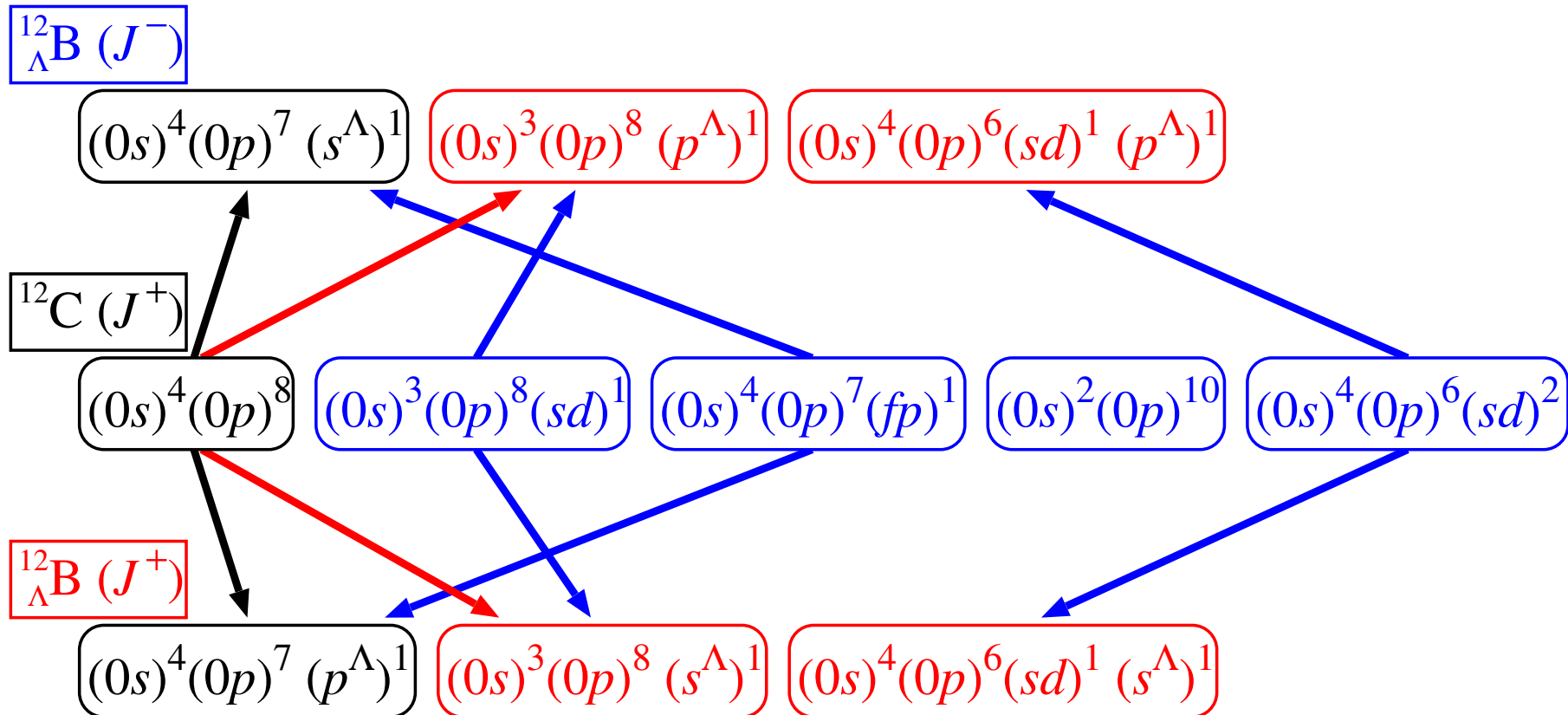
$\Lambda(0s)$, $\Lambda(0p)$ のエネルギー差と ${}^{11}\text{B}(J_{\text{core}}^-)$, ${}^{11}\text{B}(J_{\text{core}}^+)$ のエネルギー差は同程度

コア核が unnatural parity の状態に励起したものも考えられる

ΛN 相互作用によってコア核が natural parity の状態と

コア核が unnatural parity に励起した状態とが混合する

標的核 ^{12}C に対する模型空間の拡張



標的核 ^{12}C に対して模型空間を $2p-2h$ ($2\hbar\omega$) まで拡張 ^{12}C

→ 様々な配位を通して $^{12}_{\Lambda}\text{B}$ が生成される

殻模型ハミルトニアン

NN 相互作用

- $\langle p^2 | V | p^2 \rangle$ Cohen-Kurath (6-16) TBME
S. Cohen, D. Kurath, NP73, 1 (1965)
- $\langle (sd)^2 | V | (sd)^2 \rangle$ modified Kuo-Brown G-matrix
T. T. S. Kuo, G. E. Brown, NP85, 40 (1966)
- $\langle p(sd) | V | p(sd) \rangle$ Millener-Kurath
D. J. Millener, D. Kurath, NPA255, 315 (1975)
- $\langle p^2 | V | (sd)^2 \rangle$ modified Kuo-Brown G-matrix
T. T. S. Kuo, G. E. Brown, NP85, 40 (1966)
- Others Anantaraman-Toki-Bertsch G-matrix
N. Anantaraman, H. Toki, G. F. Bertsch, NPA398, 269 (1983)

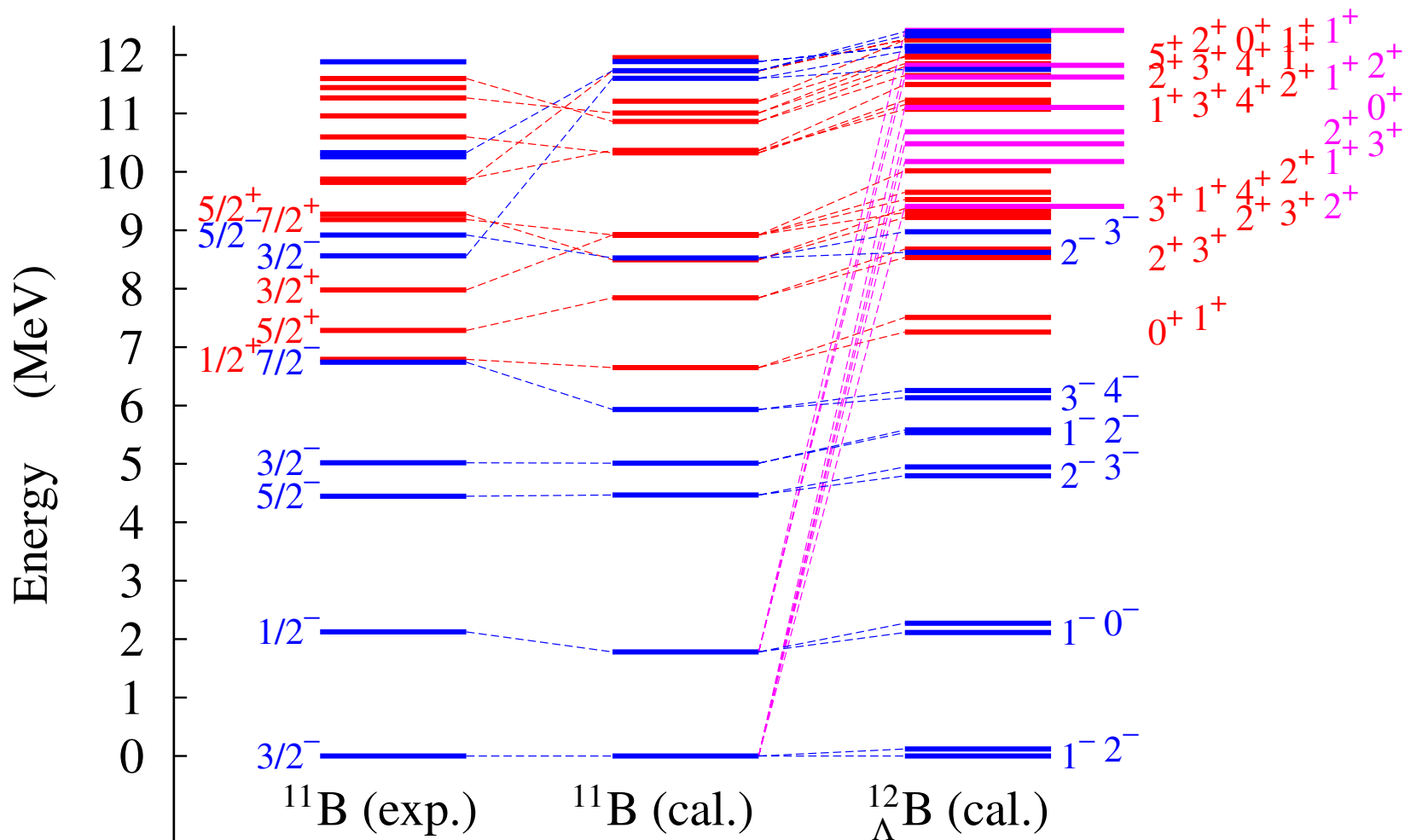
 ΛN 相互作用

- $\langle N\Lambda | V | N\Lambda \rangle$ Nijmegen NSC97e
Th. A. Rijken, V. G. J. Stoks, Y. Yamamoto, PRC59, 21 (1999)

1 粒子エネルギー

low-lying energy levels の実験値を再現するように調整

結果： ^{11}B と $^{12}_{\Lambda}\text{B}$ のエネルギーレベル



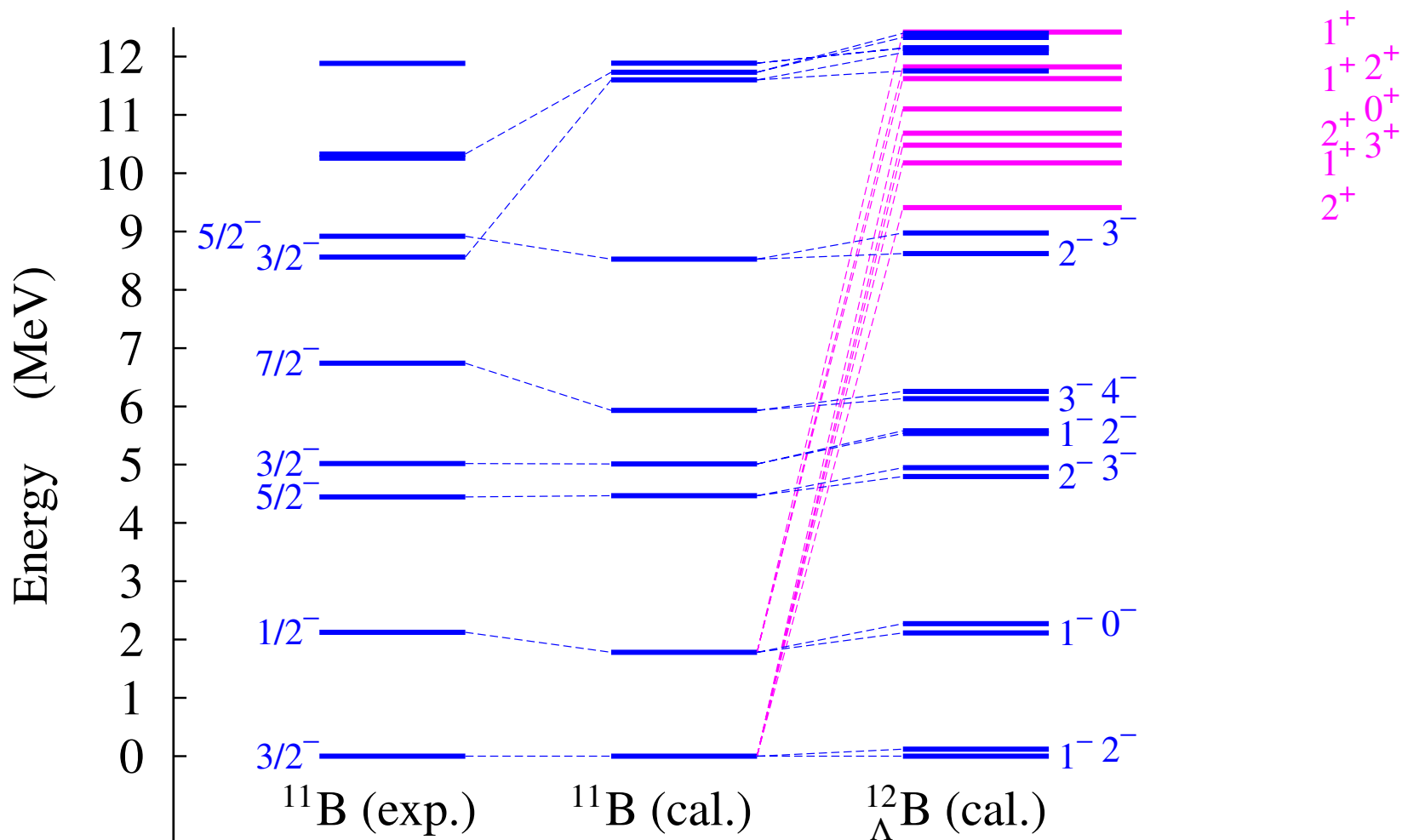
おもな配位

J^- 状態 (青) $^{11}\text{B}(J_{\text{core}}^-) \otimes \Lambda(0s)$

J^+ 状態 (紫) $^{11}\text{B}(J_{\text{core}}^-) \otimes \Lambda(0p)$

J^+ 状態 (赤) $^{11}\text{B}(J_{\text{core}}^+) \otimes \Lambda(0s)$

結果： ^{11}B と $^{12}_{\Lambda}\text{B}$ のエネルギーレベル



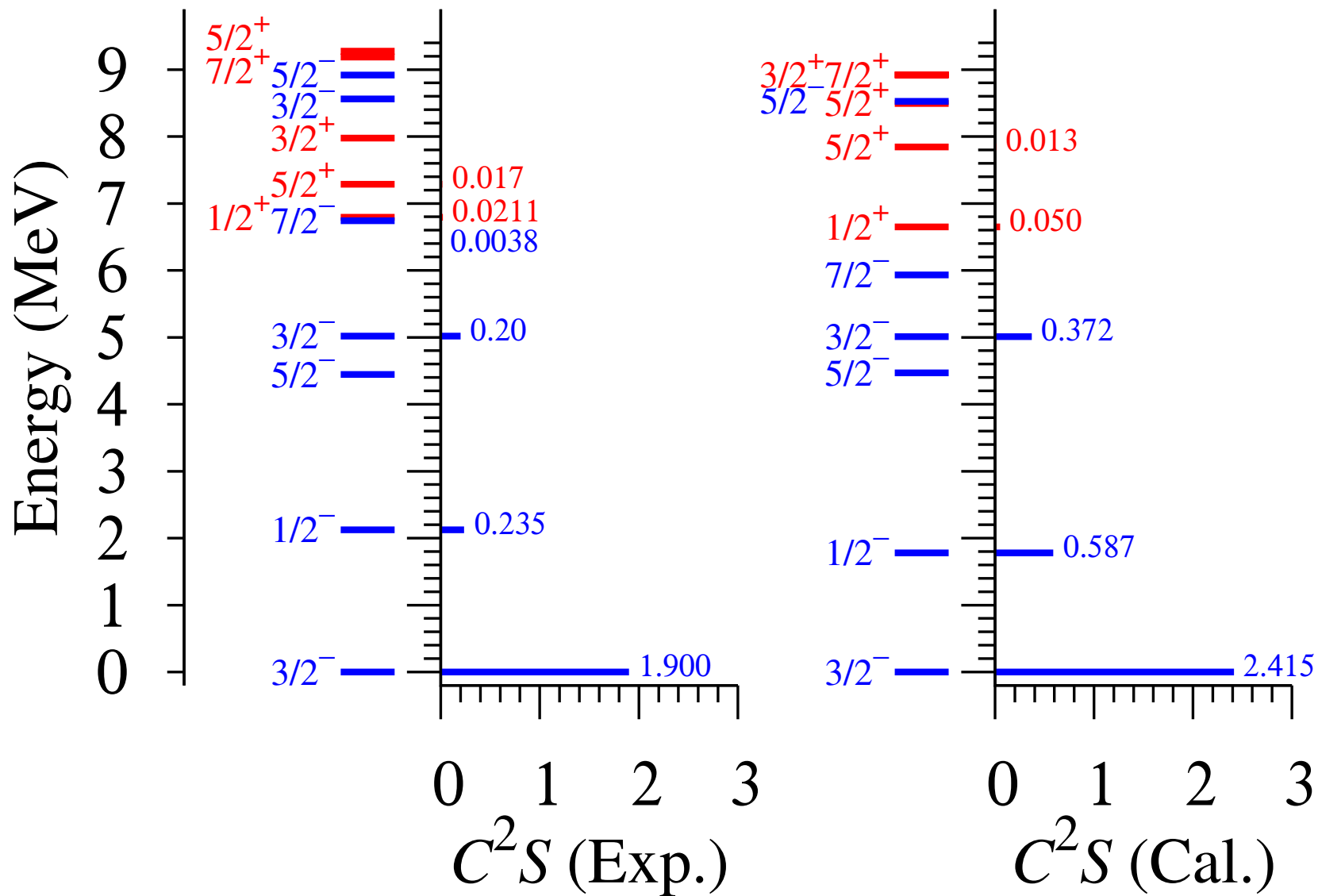
おもな配位

J^- 状態 (青) $^{11}\text{B}(J_{\text{core}}^-) \otimes \Lambda(0s)$

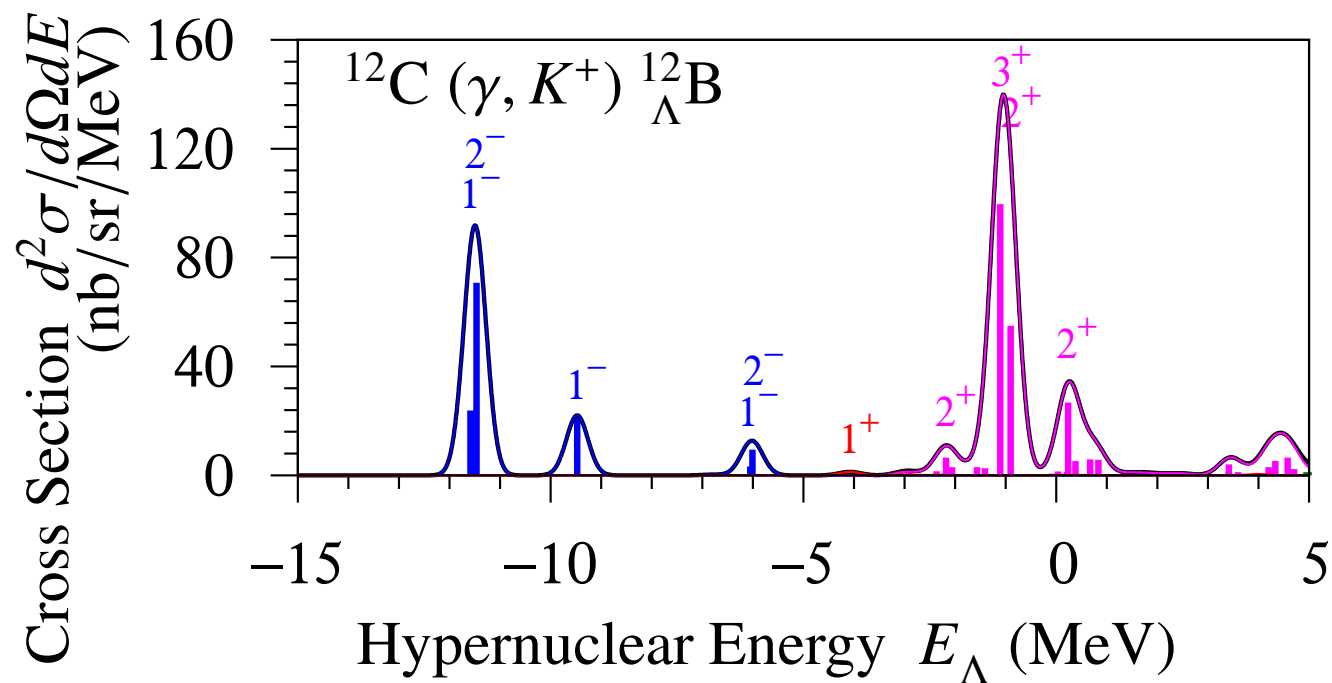
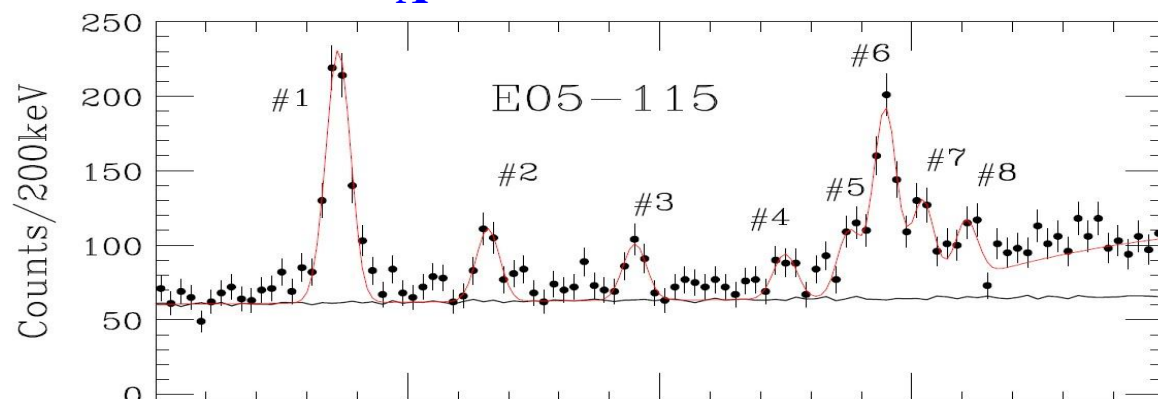
J^+ 状態 (紫) $^{11}\text{B}(J_{\text{core}}^-) \otimes \Lambda(0p)$

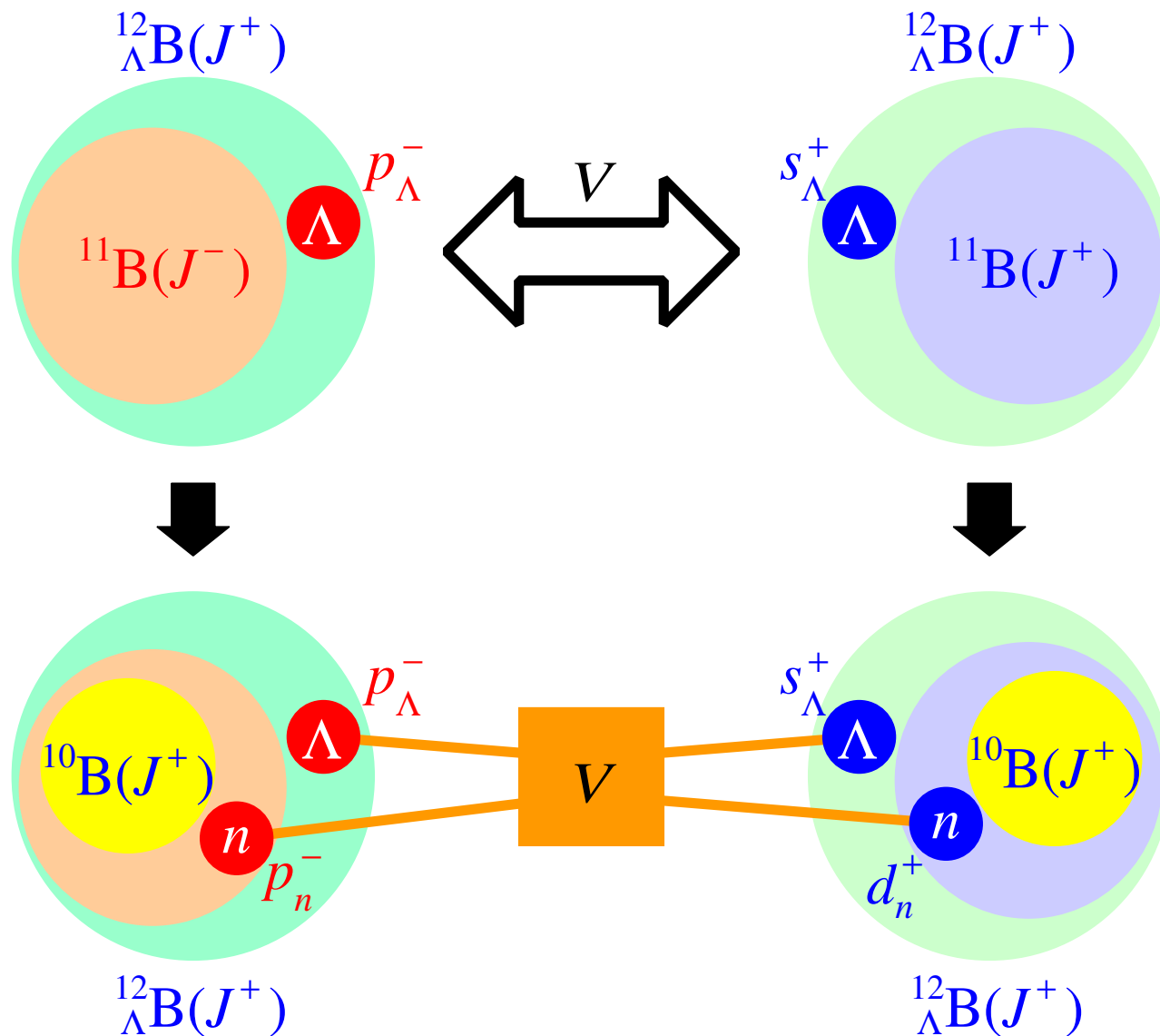
J^+ 状態 (赤) $^{11}\text{B}(J_{\text{core}}^+) \otimes \Lambda(0s)$

結果 : Pickup 反応 (^{12}C から ^{11}B) の Spectroscopic factor



結果： $^{12}\text{C}(\pi^+, K^+)^{12}_{\Lambda}\text{B}$ 反応の生成断面積



コアのパリティ混合を起こす ΛN 相互作用

${}^{10}_{\Lambda}\text{Be}$ の場合

core の parity-mixing を考慮した配位

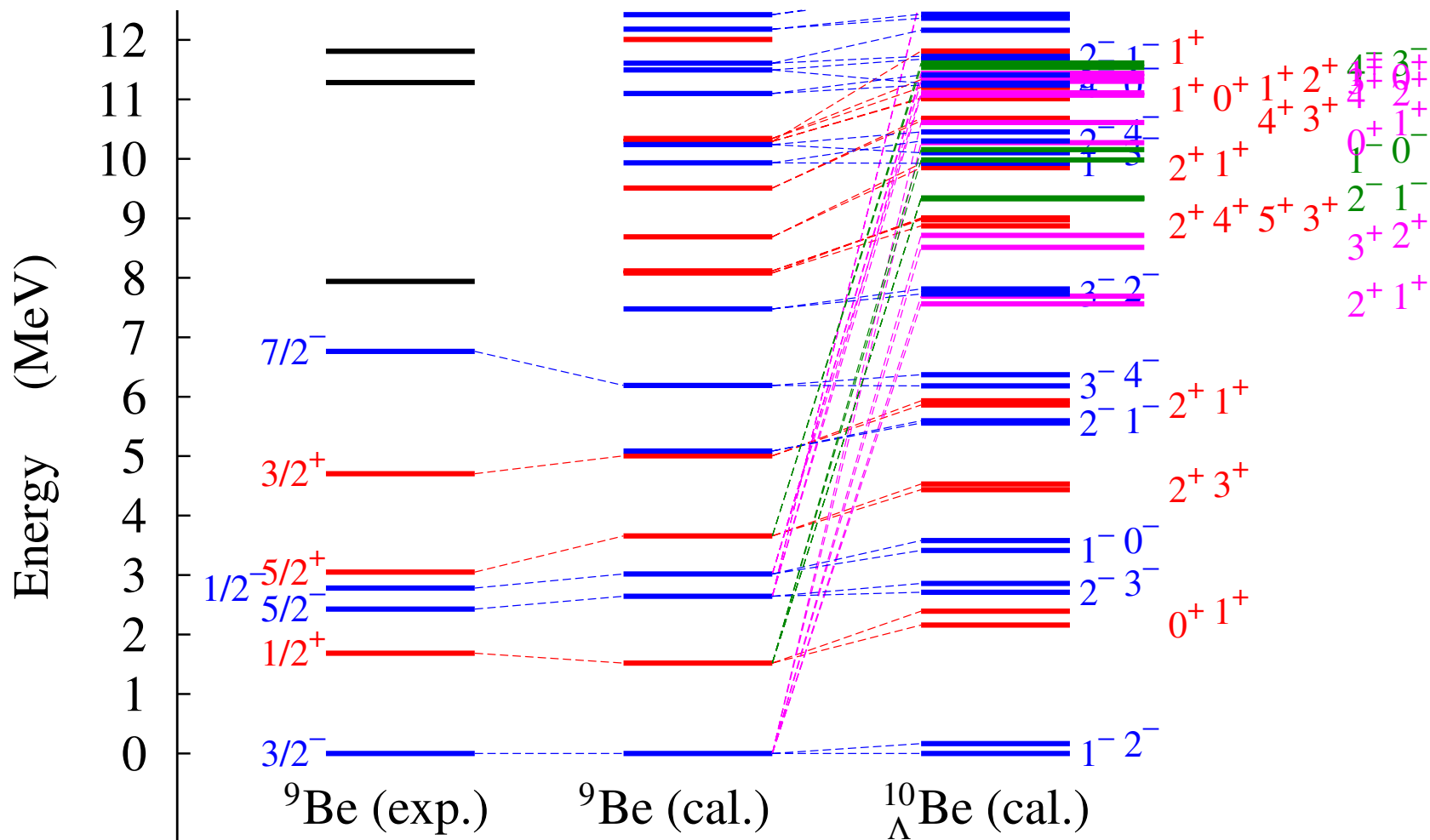
$${}^{10}_{\Lambda}\text{Be}(J^-) = \sum \left[{}^9\text{Be}(J_c^-) \otimes s_{\Lambda} \right] + \sum \left[{}^9\text{Be}(J_c^+) \otimes p_{\Lambda} \right],$$

$${}^{10}_{\Lambda}\text{Be}(J^+) = \sum \left[{}^9\text{Be}(J_c^-) \otimes p_{\Lambda} \right] + \sum \left[{}^9\text{Be}(J_c^+) \otimes s_{\Lambda} \right]$$

標的核の配位

$${}^{10}\text{B}(J_{\text{g.s.}}^+) = \sum \left[{}^9\text{Be}(J_c^-) \otimes j_p^N \right] + \sum \left[{}^9\text{Be}(J_c^+) \otimes j_{s, sd}^N \right]$$

結果： ${}^9\text{Be}$ と ${}^{10}_{\Lambda}\text{Be}$ のエネルギーレベル



おもな配位

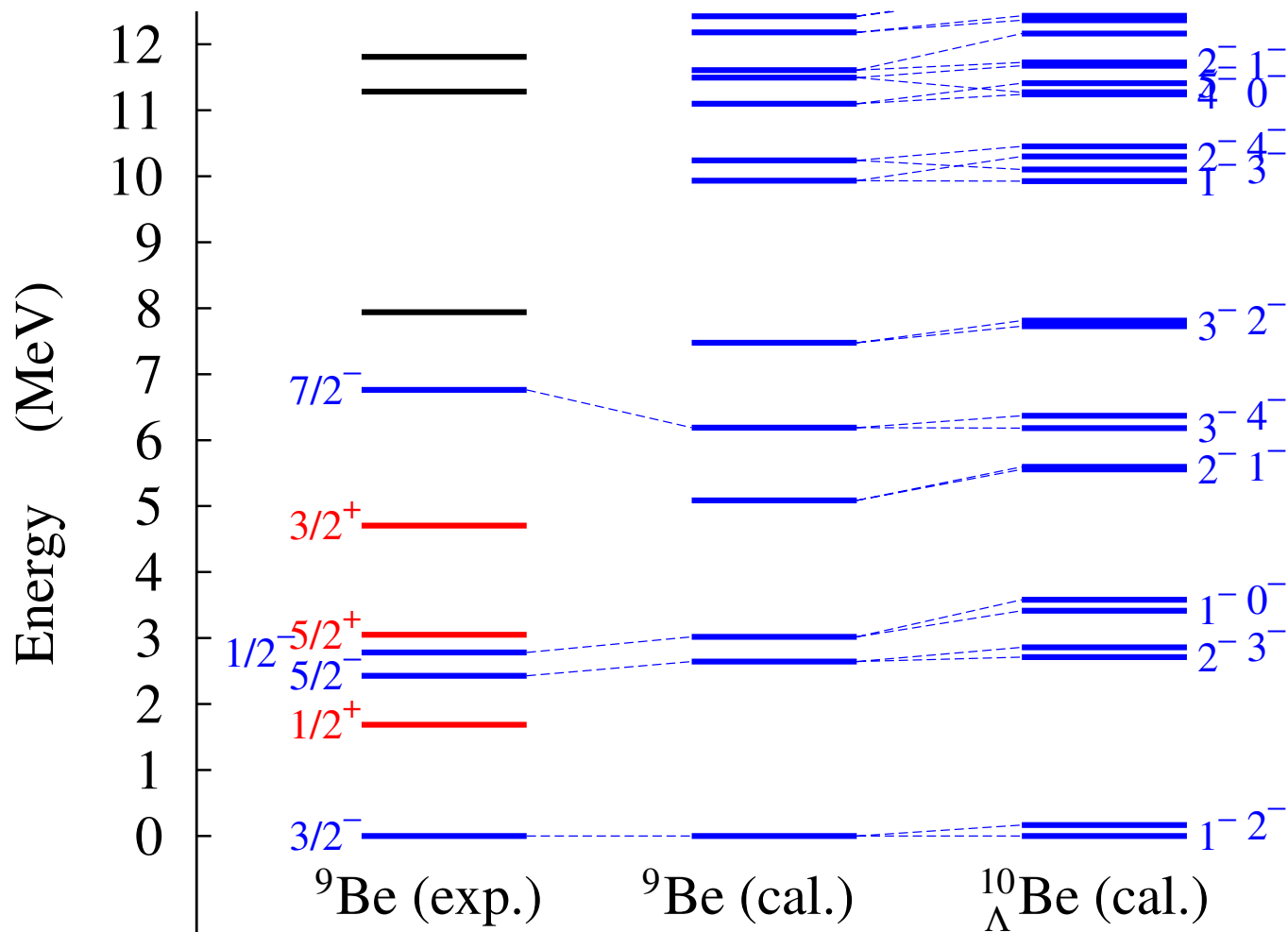
J^- 状態 (青) ${}^{11}\text{B}(J_{\text{core}}^-) \otimes \Lambda(0s)$

J^- 状態 (緑) ${}^{11}\text{B}(J_{\text{core}}^+) \otimes \Lambda(0p)$

J^+ 状態 (紫) ${}^{11}\text{B}(J_{\text{core}}^-) \otimes \Lambda(0p)$

J^+ 状態 (赤) ${}^{11}\text{B}(J_{\text{core}}^+) \otimes \Lambda(0s)$

結果： ${}^9\text{Be}$ と ${}^{10}_{\Lambda}\text{Be}$ のエネルギーレベル



おもな配位

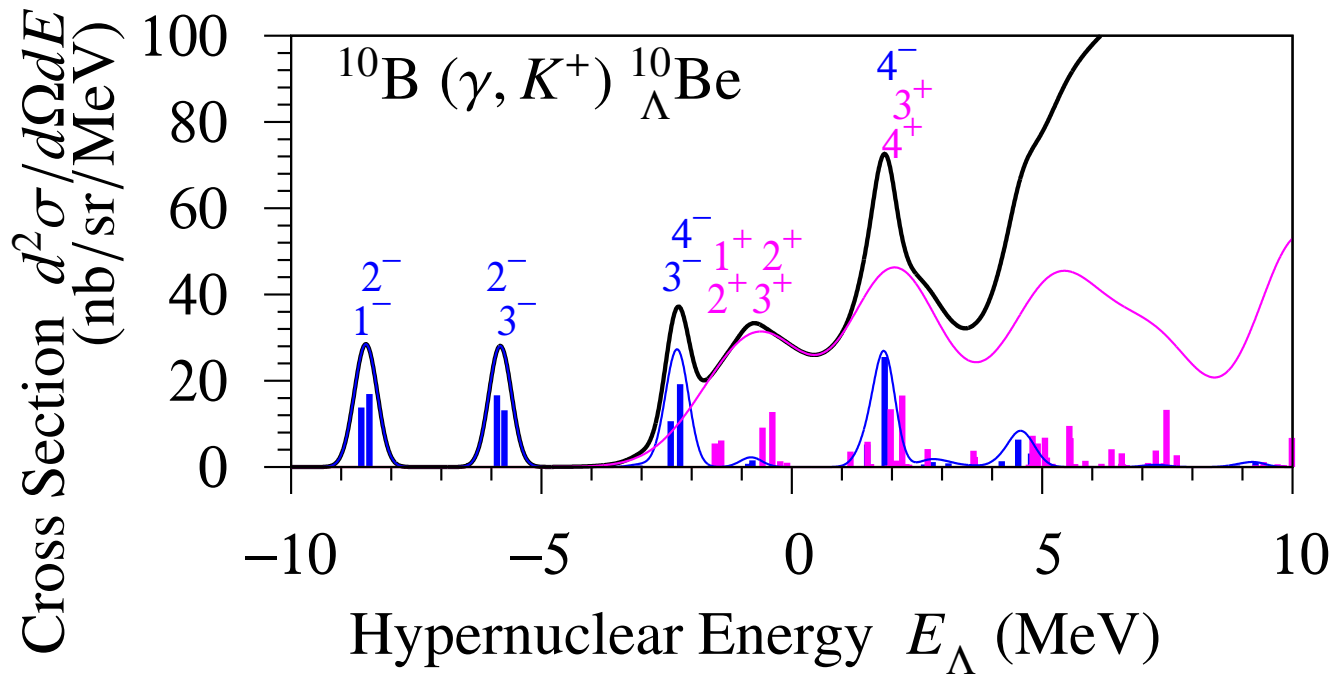
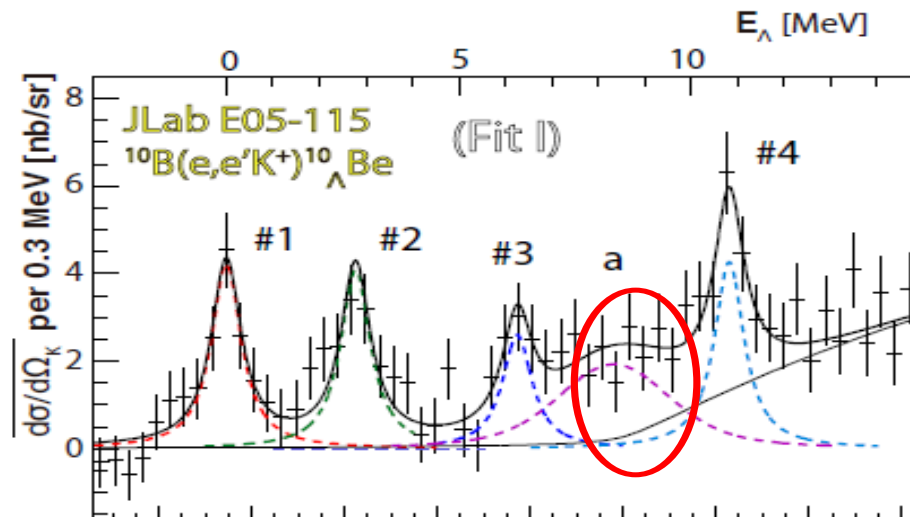
J^- 状態 (青) ${}^{11}\text{B}(J_{\text{core}}^-) \otimes \Lambda(0s)$

J^- 状態 (緑) ${}^{11}\text{B}(J_{\text{core}}^+) \otimes \Lambda(0p)$

J^+ 状態 (紫) ${}^{11}\text{B}(J_{\text{core}}^-) \otimes \Lambda(0p)$

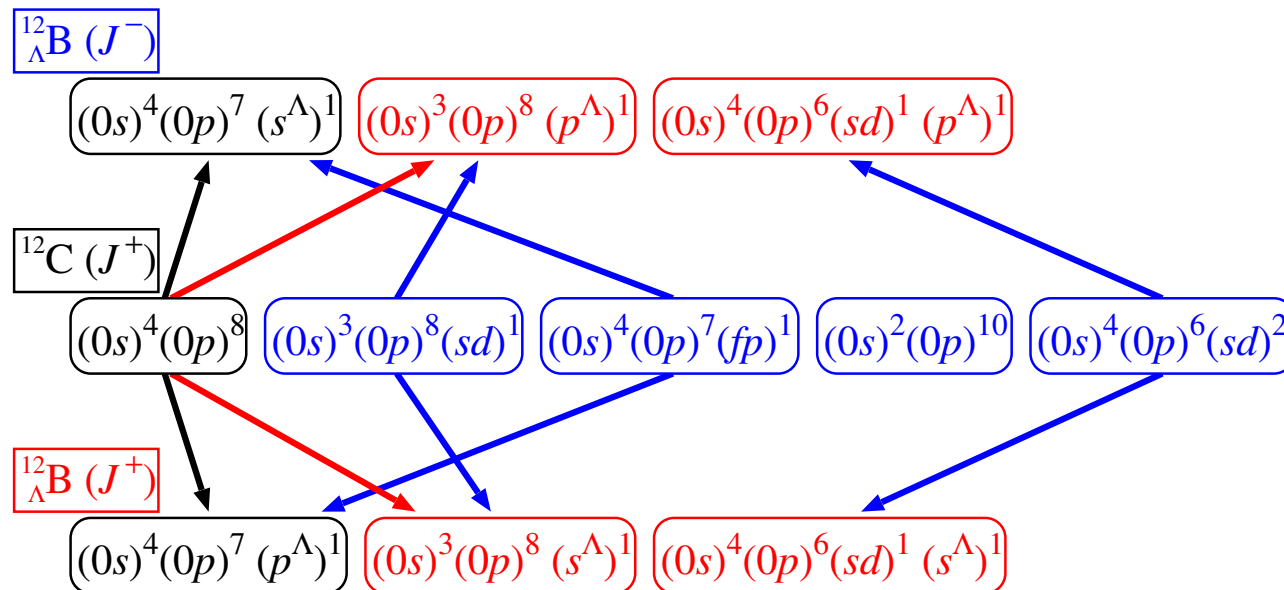
J^+ 状態 (赤) ${}^{11}\text{B}(J_{\text{core}}^+) \otimes \Lambda(0s)$

結果： $^{10}\text{B} (\gamma, K^+) ^{10}_{\Lambda}\text{Be}$ 反応の生成断面積



まとめと今後

Unnatural parity の状態に励起したコア核を記述できるように拡張した殻模型空間で Λ ハイパー核 ${}_{\Lambda}^{12}\text{B}$ と ${}_{\Lambda}^{10}\text{Be}$ の生成断面積を計算した



- Unnatural parity の状態に励起したコア核を持つ状態が Λ が p 殻の軌道に入った状態の周辺に現れる
- 拡張した模型空間に対応した NN , ΛN 相互作用の検討を行う
- 新たに現れた状態についてどのような成分を持つのか調べる
- ${}_{\Lambda}^{11}\text{Be}$ に対しても計算を行う