

RCNP 研究会 「少数粒子系物理の現状と今後の展望」

2008年12月25日

# 中性子過剰ハイパー核におけるシグマ混合 とベータ遷移

梅谷 篤史 (大阪電気通信大学)

原田 融 (大阪電気通信大学)

“The  $\Lambda$ - $\Sigma$  coupling effect in the neutron-rich  $\Lambda$ -hypernucleus  ${}_{\Lambda}^{10}\text{Li}$   
by microscopic shell model”,  
A. Umeya and T. Harada, arXiv:0810.4591v1[nucl\_th]  
(Submitted for publication).

## 目的

$$|{}^{10}_{\Lambda}\text{Li}\rangle = \alpha |{}^9\text{Li} \otimes \Lambda\rangle + \beta |{}^9\text{Be} \otimes \Sigma^-\rangle + \gamma |{}^9\text{Li} \otimes \Sigma^0\rangle + \delta |{}^9\text{He} \otimes \Sigma^+\rangle$$

- 中性子過剰  $\Lambda$  ハイパー核  ${}^{10}_{\Lambda}\text{Li}$  における  $\Sigma$  混合率とエネルギーシフトがどのくらいになるか？  
(具体的な数値を出す。  ${}^7_{\Lambda}\text{Li}$ ,  ${}^{11}_{\Lambda}\text{B}$  の結果と比較する。)
- $\Sigma$  混合率についての考察
  - $\Sigma$  が原子核に加わることによって、核構造がどのように変化するか？  
( $S$ -factor を計算し、 $\Lambda$  の場合との比較を行う。)
  - $\Lambda$ - $\Sigma$  結合の強度分布にどのような特徴があるか？  
( $\Lambda$ - $\Sigma$  結合の相互作用を簡単に解析する。)  
(コア核の  $\beta$  遷移との関連を調べる。)

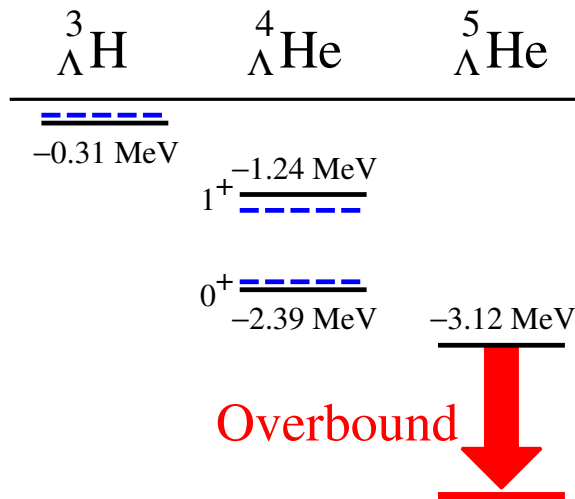
そのために....

$\Lambda$ - $\Sigma$  結合相互作用を摂動で取り扱った殻模型計算を行う。

## Λ ハイパー核における Σ 混合 (1)

### Coherent Λ-Σ coupling Akaishi *et al.*, PRL 84 (2000) 3539.

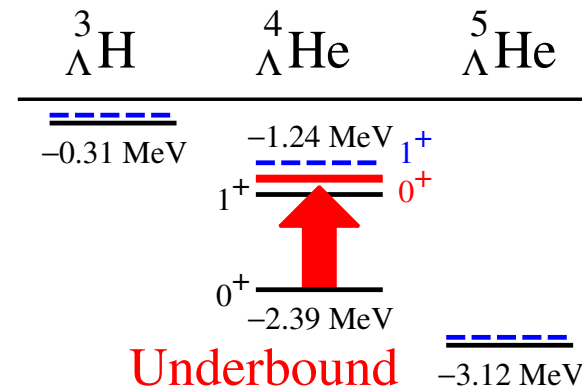
The Overbinding Problem



ΛN single-channel calc.

Dalitz *et al.*, NP B47 (1972) 109.

The Underbinding Problem



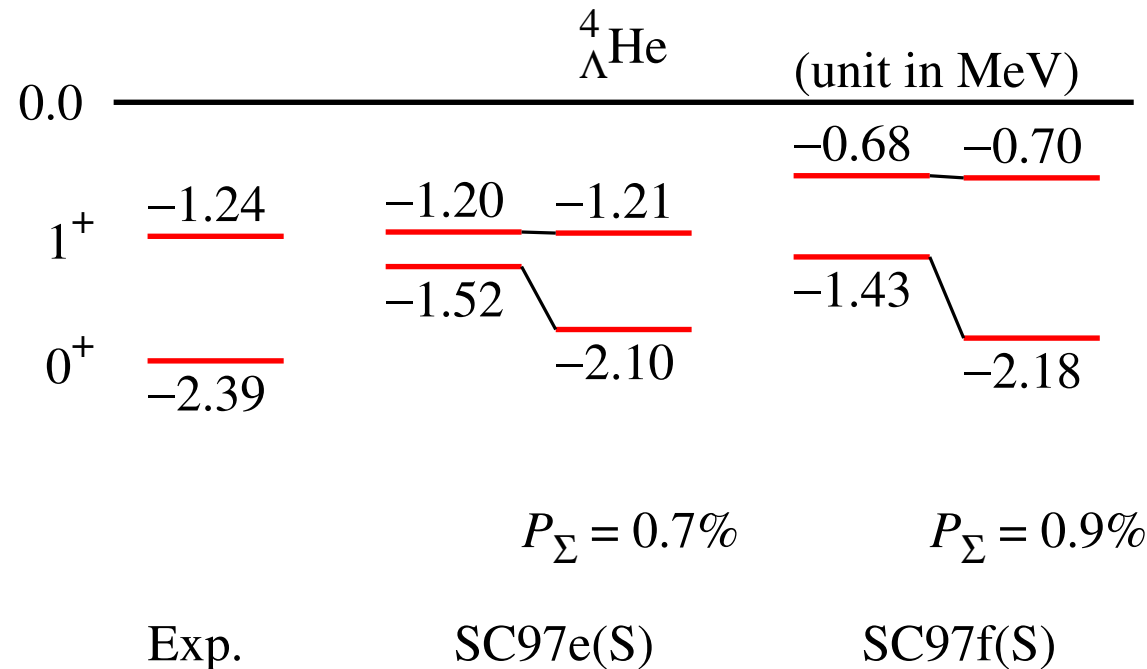
G-matrix calc. with ΛN-ΣN(D2)

Akaishi *et al.*, PRL 84 (2000) 3539.

- コヒーレントな Λ-Σ 結合によって、 ${}^5_{\Lambda}\text{He}$  の overbinding 問題もしくは  ${}^4_{\Lambda}\text{He}$  の underbinding 問題が解決する。
- コヒーレントな Λ-Σ 結合による引力は、中性子が過剰な環境でより大きくなると期待される。

## Λ ハイパー核における Σ 混合 (1)

**Coherent Λ-Σ coupling**     *Akaishi et al., PRL 84 (2000) 3539.*



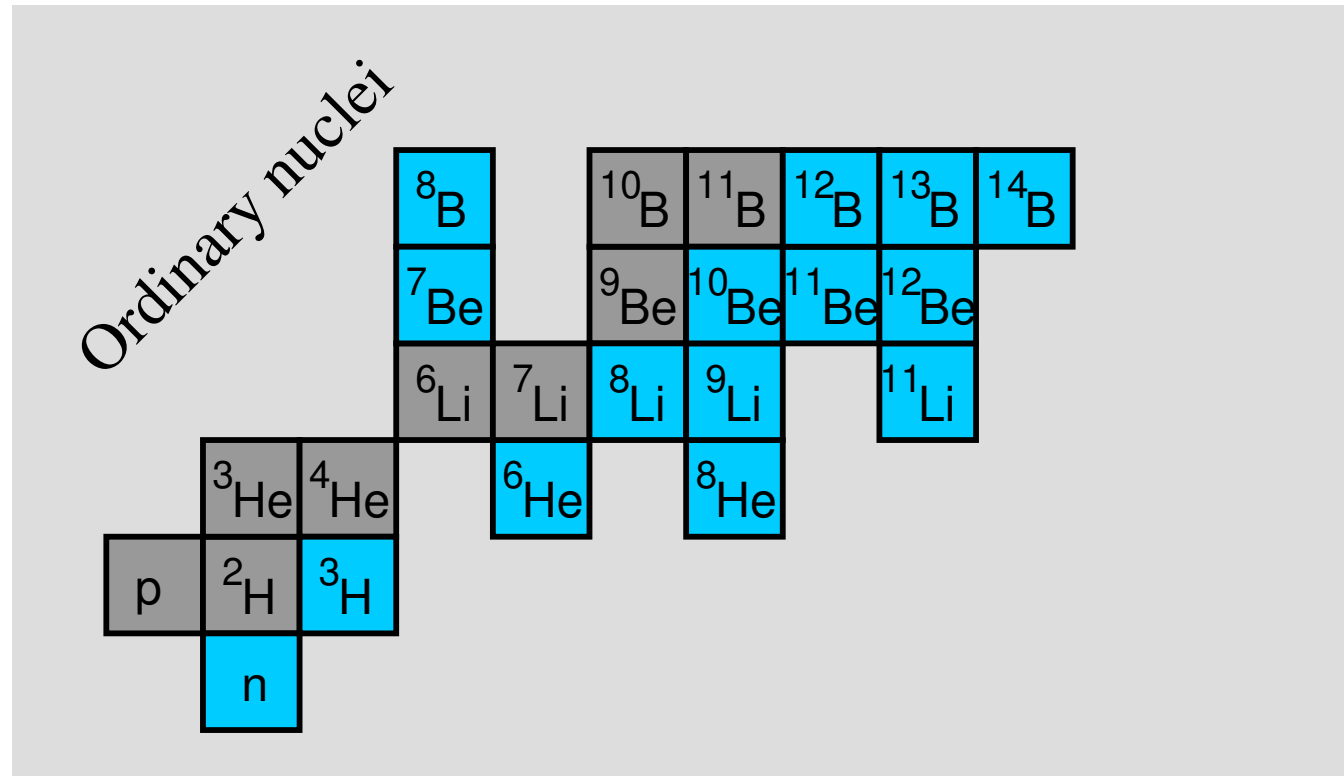
*Akaishi et al., PRL 84 (2000) 3539.*

- コヒーレントな Λ-Σ 結合によって、 ${}^5_{\Lambda}\text{He}$  の overbinding 問題もしくは  ${}^4_{\Lambda}\text{He}$  の underbinding 問題が解決する。
- コヒーレントな Λ-Σ 結合による引力は、中性子が過剰な環境でより大きくなると期待される。

## Λ ハイパー核における Σ 混合 (2)

### 中性子過剰ハイパー核の生成

#### Double Charge Exchange (DCX) Reactions ( $K^-$ , $\pi^+$ ), ( $\pi^-$ , $K^+$ )



**KEK**  $^9\text{Be} (K^-, \pi^+) \Lambda^9\text{He}$ ,  $^{12}\text{C} (K^-, \pi^+) \Lambda^{12}\text{Be}$ ,  $^{16}\text{O} (K^-, \pi^+) \Lambda^{16}\text{C}$  at rest. *K. Kubota et al., NPA602 (1996) 323.*

$^{10}\text{B} (\pi^-, K^+) \Lambda^{10}\text{Li}$  at  $p_\pi = 1.05, 1.20 \text{ GeV}/c$ . *P. K. Saha et al., PRL94 (2005) 052502.*

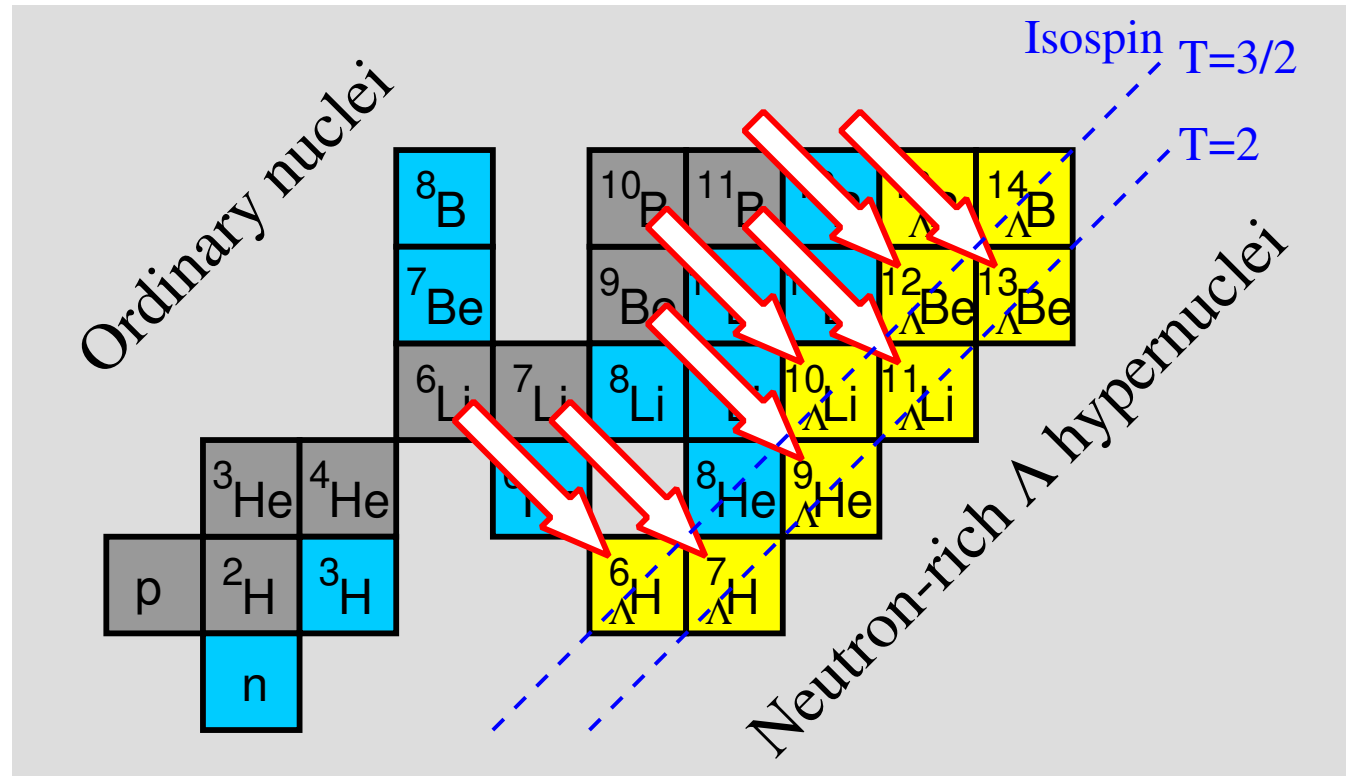
**DAΦNE**  $^6\text{Li} (K^-, \pi^+) \Lambda^6\text{H}$ ,  $^7\text{Li} (K^-, \pi^+) \Lambda^7\text{H}$  at rest. *M. Agnello et al., PLB640 (2006) 145.*

**J-PARC E10**  $^6\text{Li} (\pi^-, K^+) \Lambda^6\text{H}$ ,  $^9\text{Be} (\pi^-, K^+) \Lambda^9\text{He}$  at  $p_\pi = 1.20 \text{ GeV}/c$

## $\Lambda$ ハイパー核における $\Sigma$ 混合 (2)

### 中性子過剰ハイパー核の生成

### Double Charge Exchange (DCX) Reactions ( $K^-$ , $\pi^+$ ), ( $\pi^-$ , $K^+$ )



**KEK**  ${}^9\text{Be} (K^-, \pi^+) {}^9_{\Lambda}\text{He}$ ,  ${}^{12}\text{C} (K^-, \pi^+) {}^{12}_{\Lambda}\text{Be}$ ,  ${}^{16}\text{O} (K^-, \pi^+) {}^{16}_{\Lambda}\text{C}$  at rest. *K. Kubota et al.*, NPA602 (1996) 323.

${}^{10}\text{B} (\pi^-, K^+) {}^{10}_{\Lambda}\text{Li}$  at  $p_{\pi} = 1.05, 1.20 \text{ GeV}/c$ . *P. K. Saha et al.*, PRL94 (2005) 052502.

**DAΦNE**  ${}^6\text{Li} (K^-, \pi^+) {}^6_{\Lambda}\text{H}$ ,  ${}^7\text{Li} (K^-, \pi^+) {}^7_{\Lambda}\text{H}$  at rest. *M. Agnello et al.*, PLB640 (2006) 145.

**J-PARC E10**  ${}^6\text{Li} (\pi^-, K^+) {}^6_{\Lambda}\text{H}$ ,  ${}^9\text{Be} (\pi^-, K^+) {}^9_{\Lambda}\text{He}$  at  $p_{\pi} = 1.20 \text{ GeV}/c$

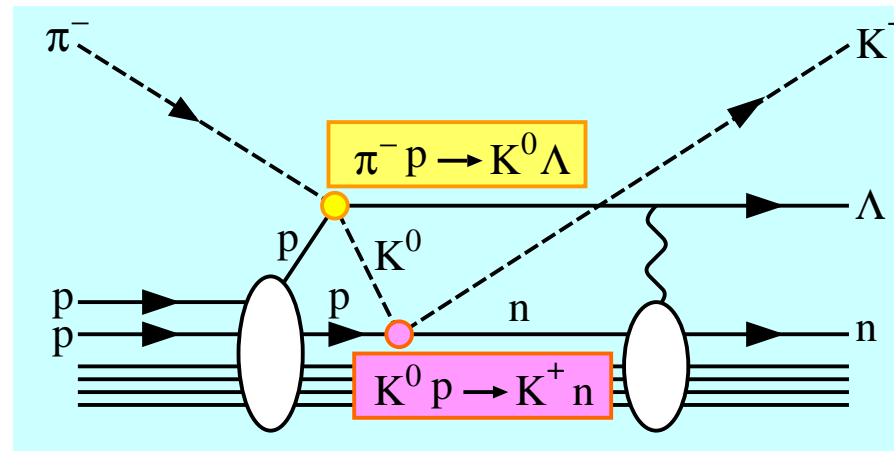
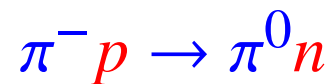
## $\Lambda$ ハイパー核における $\Sigma$ 混合 (2)

### $(\pi^-, K^+)$ -Double Charge Exchange Reaction

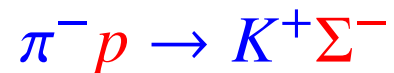
Two-step process:



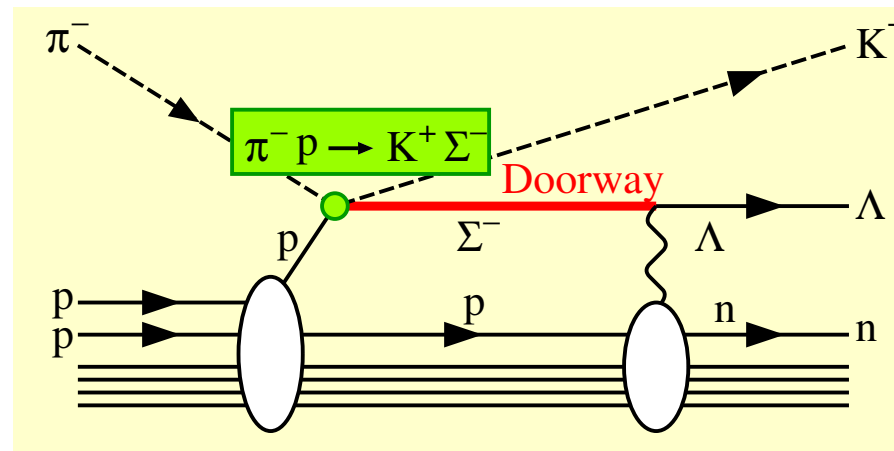
または



One-step process:

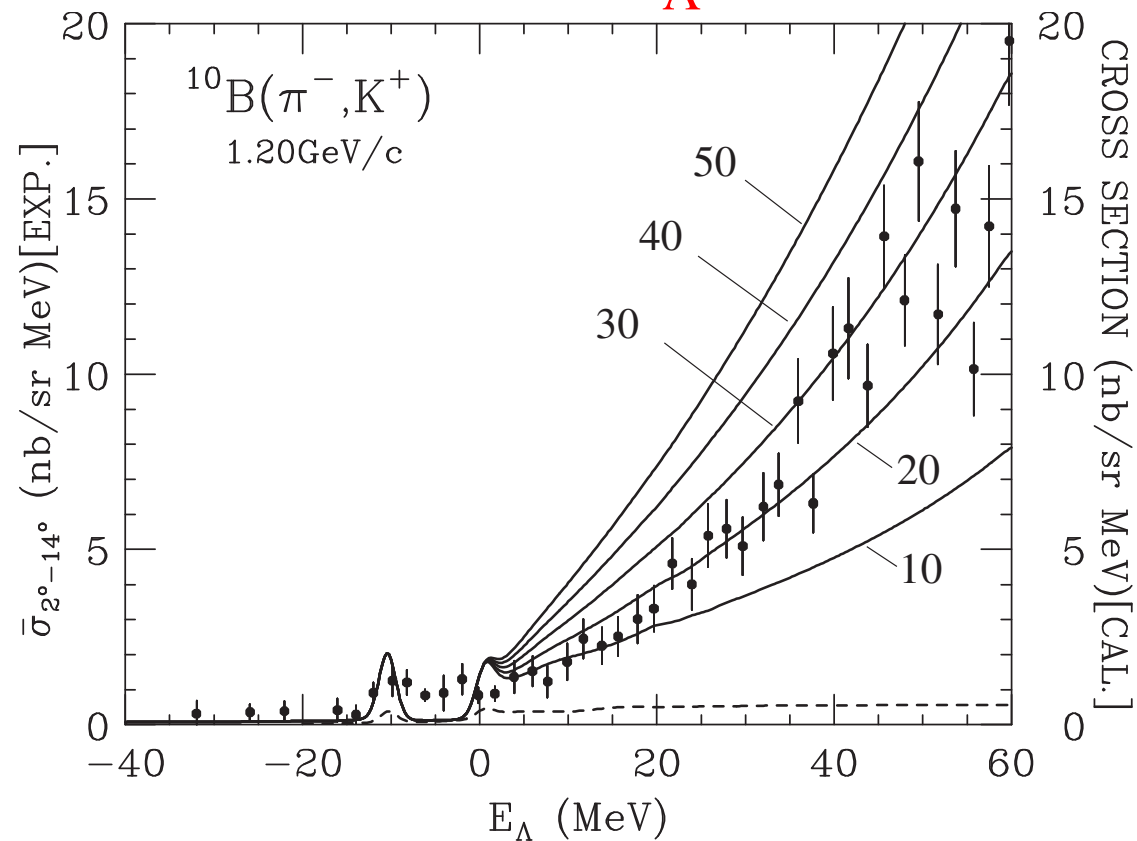


$\Sigma$ - $\Lambda$  coupling



## $\Lambda$ ハイパー核における $\Sigma$ 混合 (2)

### Coupled-channel DWIA 計算による $^{10}_{\Lambda}\text{Li}$ の生成スペクトル



(実験データ : P. K. Saha *et al.*, PRL94 (2005) 052502.)

“Feasibility of extracting a  $\Sigma^-$  admixture probability in the neutron-rich  $^{10}_{\Lambda}\text{Li}$  hypernucleus”,

T. Harada, A. Umeya, and Y. Hirabayashi, arXiv:0810.4997[nucl-th] (in press).



## Λ ハイパー核における Σ 混合 (2)

### Coupled-channel DWIA 計算による ${}^{10}_{\Lambda}\text{Li}$ の生成断面積

$p_{\pi}$ (GeV/c)	Two-step (nb/sr)	One-step (nb/sr)	Exp. (nb/sr)
1.05	~ 1.6	2.4	$5.8 \pm 2.2$
1.20	~ 1.2	5.4	$11.3 \pm 1.9$

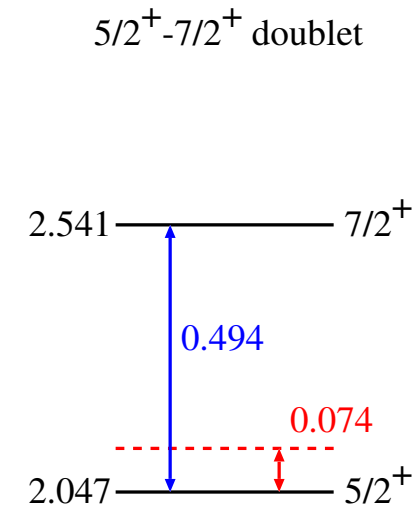
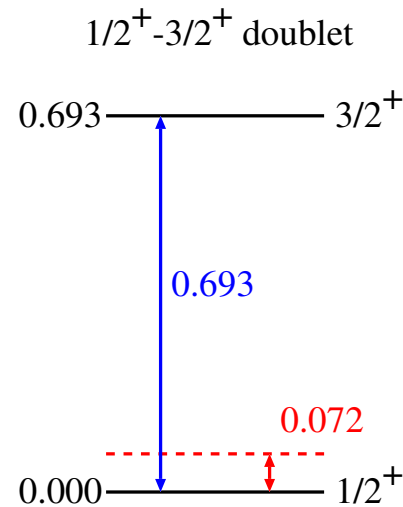
- Two-step では生成断面積の運動量依存があわない。
- One-step が起こるためには  ${}^{10}_{\Lambda}\text{Li}$  の中に  $\Sigma^{-}$  の成分がなければならない。

“Feasibility of extracting a  $\Sigma^{-}$  admixture probability in the neutron-rich  ${}^{10}_{\Lambda}\text{Li}$  hypernucleus”,

T. Harada, A. Umeya, and Y. Hirabayashi, arXiv:0810.4997[nucl-th] (in press).

$\Lambda$  ハイパー核における  $\Sigma$  混合 (3) $p$  殻ハイパー核におけるエネルギーシフト

$J^\pi$	$E$	$\Lambda$ - $\Sigma$
$1/2^+$	0.000	0.078
$3/2^+$	0.693	0.006
$5/2^+$	2.047	0.074
$7/2^+$	2.541	0.000



doublet	$\Delta$	$S_\Lambda$	$S_\Sigma$	$T$	$\Lambda$ - $\Sigma$	$\Delta E$
$3/2^+ - 1/2^+$	0.628	-0.001	-0.004	-0.009	0.072	0.693
$7/2^+ - 5/2^+$	0.557	-0.032	-0.008	-0.071	0.074	0.494

unit in MeV

D. J. Millener, Springer Lecture Notes in Physics 724 (2007) 31.

D. J. Millener, NPA804 (2008) 84.

## 計算方法

## コア核とハイペロン1粒子状態とのテンソル積の線形結合

$$\begin{aligned} \left| {}^A_{\Lambda} \text{Li}(v); T J \right\rangle &= \sum_k C_{kv}^{\Lambda} \left| {}^{A-1} \text{Li}(k) \otimes \Lambda(0s); T J \right\rangle \\ &+ \sum_h C_{hv}^{\Sigma} \left| {}^{A-1} \text{Be}(h) \otimes \Sigma^{-}(0s); T J \right\rangle + \dots \end{aligned}$$

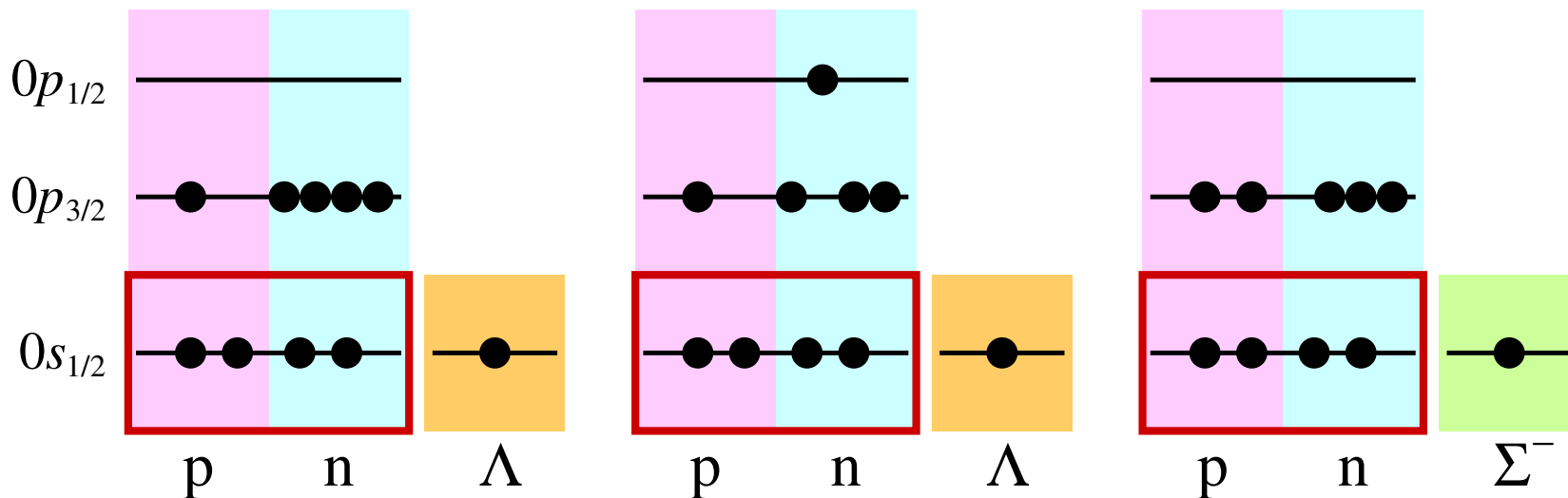
- コア核は殻模型計算 ( $p$  殻) で得られる基底状態, 励起状態
  - 4個の核子は  $0s_{1/2}$  軌道にあり  ${}^4\text{He}$  コアを形成
  - $A-5$ 個の核子 (valence nucleon) は  $0p_{3/2}$  もしくは  $0p_{1/2}$  にいる
- ハイペロン ( $\Lambda$  or  $\Sigma$ ) は  $0s_{1/2}$  軌道
- $m_{\Sigma} - m_{\Lambda} = 80 \text{ MeV}$

## 計算方法

## コア核とハイペロン1粒子状態とのテンソル積の線形結合

$$\begin{aligned}
 \left| {}^A_{\Lambda} \text{Li}(v); TJ \right\rangle &= \sum_k C_{kv}^{\Lambda} \left| A^{-1} \text{Li}(k) \otimes \Lambda(0s); TJ \right\rangle \\
 &+ \sum_h C_{hv}^{\Sigma} \left| A^{-1} \text{Be}(h) \otimes \Sigma^{-}(0s); TJ \right\rangle + \dots
 \end{aligned}$$

${}^{10}_{\Lambda} \text{Li}$  の場合:



## 相互作用

核子間相互作用 : Cohen-Kurath (8-16) 2BME, **NP73 (1965) 1**

ハイペロン-核子間相互作用 :

$$\langle N\Lambda | V_\Lambda | N\Lambda \rangle_{TJ} \quad \langle N\Sigma | V_\Sigma | N\Sigma \rangle_{TJ} \quad \langle N\Lambda | V_{\Lambda\Sigma} | N\Sigma \rangle_{TJ} \quad \langle N\Sigma | V_{\Sigma\Lambda} | N\Lambda \rangle_{TJ}$$

$$V_Y = \underbrace{V_0(r)}_{\bar{V}} + \underbrace{V_\sigma(r)}_{\Delta} s_N \cdot s_Y + \underbrace{V_{LS}(r)}_{S_+} \ell \cdot s_+ + \underbrace{V_{ALS}(r)}_{S_-} \ell \cdot s_- + \underbrace{V_T(r)}_T S_{12}$$

	Isospin	$\bar{V}$	$\Delta$	$S_+$	$S_-$	$T$
$V_\Lambda$	$T = 1/2$	-1.2200	0.4300	-0.2025	0.1875	0.0300
$V_\Sigma$	$T = 1/2$	1.0100	-7.2150	-0.0010	0.0000	-0.3640
	$T = 3/2$	-1.1070	2.2750	-0.2680	0.0000	0.1870
$V_{\Lambda\Sigma}, V_{\Sigma\Lambda}$	$T = 1/2$	1.4500	3.0400	-0.0850	0.0000	0.1570

← NSC97e, f(S)

 $V_\Lambda, V_{\Lambda\Sigma}, V_{\Sigma\Lambda}$  : **D. J. Millener, Springer Lecture Notes in Physics 724 (2007) 31.** $V_\Sigma$  : **D. J. Millener, private communication.**

## 結果 : $\Sigma$ 混合率 $P_\Sigma$ とエネルギーシフト $\Delta E_{\Lambda\Sigma}$

	$(J^\pi ; T)$	$E$ [MeV]	$P_\Sigma$ [%]	$\Delta E_{\Lambda\Sigma}$ [MeV]
${}^7_\Lambda\text{Li}$	$(\frac{1}{2}^+ ; 0)$	0.000	0.098	0.085
	$(\frac{3}{2}^+ ; 0)$	0.612	0.017	0.015
${}^{11}_\Lambda\text{B}$	$(\frac{5}{2}^+ ; 0)$	0.000	0.076	0.073
	$(\frac{7}{2}^+ ; 0)$	0.328	0.015	0.015

## 結果： $\Sigma$ 混合率 $P_\Sigma$ とエネルギーシフト $\Delta E_{\Lambda\Sigma}$

	$(J^\pi ; T)$	$E$ [MeV]	$P_\Sigma$ [%]	$\Delta E_{\Lambda\Sigma}$ [MeV]
${}^7_\Lambda\text{Li}$	$(\frac{1}{2}^+ ; 0)$	0.000	0.098	0.085 0.078
	$(\frac{3}{2}^+ ; 0)$	0.612	0.017	0.015 0.004
${}^{11}_\Lambda\text{B}$	$(\frac{5}{2}^+ ; 0)$	0.000	0.076	0.073 0.066
	$(\frac{7}{2}^+ ; 0)$	0.328	0.015	0.015 0.011

青：Millener による計算

## 結果 : $\Sigma$ 混合率 $P_\Sigma$ とエネルギーシフト $\Delta E_{\Lambda\Sigma}$

	$(J^\pi ; T)$	$E$ [MeV]	$P_\Sigma$ [%]	$\Delta E_{\Lambda\Sigma}$ [MeV]
${}^7_\Lambda\text{Li}$	$(\frac{1}{2}^+ ; 0)$	0.000	0.098	0.085 0.078
	$(\frac{3}{2}^+ ; 0)$	0.612	0.017	0.015 0.004
${}^{11}_\Lambda\text{B}$	$(\frac{5}{2}^+ ; 0)$	0.000	0.076	0.073 0.066
	$(\frac{7}{2}^+ ; 0)$	0.328	0.015	0.015 0.011
${}^{10}_\Lambda\text{Li}$	$(1^- ; \frac{3}{2})$	0.000	0.345	0.280
	$(2^- ; \frac{3}{2})$	0.395	0.166	0.134

青 : Millener による計算



結果 :  $\Sigma$  混合率  $P_\Sigma$  とエネルギーシフト  $\Delta E_{\Lambda\Sigma}$ 

	$(J^\pi ; T)$	$E$ [MeV]	$P_\Sigma$ [%]	$\Delta E_{\Lambda\Sigma}$ [MeV]	
${}^7_\Lambda\text{Li}$	$(\frac{1}{2}^+ ; 0)$	0.000	0.098	0.085	—
				0.078	
	$(\frac{3}{2}^+ ; 0)$	0.612	0.017	0.015	0.070
				0.004	
${}^{11}_\Lambda\text{B}$	$(\frac{5}{2}^+ ; 0)$	0.000	0.076	0.073	—
				0.066	
	$(\frac{7}{2}^+ ; 0)$	0.328	0.015	0.015	0.058
				0.011	
${}^{10}_\Lambda\text{Li}$	$(1^- ; \frac{3}{2})$	0.000	0.345	0.280	—
	$(2^- ; \frac{3}{2})$	0.395	0.166	0.134	0.146

青 : Millener による計算

## 摂動による取り扱い

### コア核とハイペロン1粒子状態とのテンソル積の線形結合

$$\begin{aligned}
 \left| \begin{smallmatrix} A \\ \Lambda \end{smallmatrix} \text{Li}(v); TJ \right\rangle &= \sum_k C_{kv}^{\Lambda} \left| \begin{smallmatrix} A-1 \\ \Lambda \end{smallmatrix} \text{Li}(k) \otimes \Lambda(0s); TJ \right\rangle \\
 &+ \sum_h C_{hv}^{\Sigma} \left| \begin{smallmatrix} A-1 \\ \Sigma \end{smallmatrix} \text{Be}(h) \otimes \Sigma^-(0s); TJ \right\rangle + \dots
 \end{aligned}$$

ハミルトニアン  $H$  の行列要素

$\Lambda$ - nuclear	$\Lambda$ - $\Sigma$ coupling
$\Lambda$ - $\Sigma$ coupling	$\Sigma$ -nuclear

## 摂動による取り扱い

### コア核とハイペロン1粒子状態とのテンソル積の線形結合

$$\begin{aligned}
 \left| \begin{matrix} A \\ \Lambda \end{matrix} \text{Li}(v); TJ \right\rangle &= \sum_k C_{kv}^{\Lambda} \left| \begin{matrix} A-1 \\ \Lambda \end{matrix} \text{Li}(k) \otimes \Lambda(0s); TJ \right\rangle \\
 &+ \sum_h C_{hv}^{\Sigma} \left| \begin{matrix} A-1 \\ \Sigma \end{matrix} \text{Be}(h) \otimes \Sigma^-(0s); TJ \right\rangle + \dots
 \end{aligned}$$

ハミルトニアン  $H$  の行列要素

$\Lambda$ - $\Sigma$  結合相互作用を摂動項として扱う

$\Lambda$ -nuclear zeroth-order	$\Lambda$ - $\Sigma$ coupling first-order
$\Lambda$ - $\Sigma$ coupling first-order	$\Sigma$ -nuclear zeroth-order

## 摂動による取り扱い

### コア核とハイペロン1粒子状態とのテンソル積の線形結合

$$\begin{aligned} \left| {}^A_{\Lambda}\text{Li}(\nu); TJ \right\rangle &= \sum_k C_{k\nu}^{\Lambda} \left| {}^{A-1}\text{Li}(k) \otimes \Lambda(0s); TJ \right\rangle \\ &+ \sum_h C_{h\nu}^{\Sigma} \left| {}^{A-1}\text{Be}(h) \otimes \Sigma^{-}(0s); TJ \right\rangle + \dots \end{aligned}$$

### ハミルトニアン $H$ の行列要素 摂動0次

#### (1) $\Lambda$ -nuclear states

$$H_{\Lambda} |\phi_{\Lambda}; \nu\rangle = E_{\Lambda; \nu} |\phi_{\Lambda}; \nu\rangle$$

#### (2) $\Sigma$ -nuclear states

$$H_{\Sigma} |\psi_{\Sigma}; \mu\rangle = E_{\Sigma; \mu} |\psi_{\Sigma}; \mu\rangle$$

$\Lambda$ -nuclear zeroth-order	$\Lambda$ - $\Sigma$ coupling first-order
$\Lambda$ - $\Sigma$ coupling first-order	$\Sigma$ -nuclear zeroth-order

## 摂動による取り扱い

### コア核とハイペロン1粒子状態とのテンソル積の線形結合

$$\begin{aligned} \left| {}^A_{\Lambda} \text{Li}(\nu); TJ \right\rangle &= \sum_k C_{k\nu}^{\Lambda} \left| {}^{A-1} \text{Li}(k) \otimes \Lambda(0s); TJ \right\rangle \\ &+ \sum_h C_{h\nu}^{\Sigma} \left| {}^{A-1} \text{Be}(h) \otimes \Sigma^{-}(0s); TJ \right\rangle + \dots \end{aligned}$$

## ハミルトニアン $H$ の行列要素

### 摂動1次

$$\left| {}^A_{\Lambda} \text{Li}(\nu) \right\rangle = \left| \phi_{\Lambda}; \nu \right\rangle + \sum_{\mu} \frac{\langle \psi_{\Sigma}; \mu | V_{\Sigma\Lambda} | \phi_{\Lambda}; \nu \rangle}{E_{\Lambda; \nu} - E_{\Sigma; \mu}} \left| \psi_{\Sigma}; \mu \right\rangle$$

$$H_{\Lambda} \left| \phi_{\Lambda}; \nu \right\rangle = E_{\Lambda; \nu} \left| \phi_{\Lambda}; \nu \right\rangle, \quad H_{\Sigma} \left| \psi_{\Sigma}; \mu \right\rangle = E_{\Sigma; \mu} \left| \psi_{\Sigma}; \mu \right\rangle$$

## 摂動による取り扱い

波動関数 ( $\Sigma$ -nuclear states を摂動の1次で取り入れた)

$$|{}^A_{\Lambda}\text{Li}(\nu)\rangle = |\phi_{\Lambda}; \nu\rangle + \sum_{\mu} \frac{\langle \psi_{\Sigma}; \mu | V_{\Sigma\Lambda} | \phi_{\Lambda}; \nu \rangle}{E_{\Lambda; \nu} - E_{\Sigma; \mu}} |\psi_{\Sigma}; \mu\rangle$$

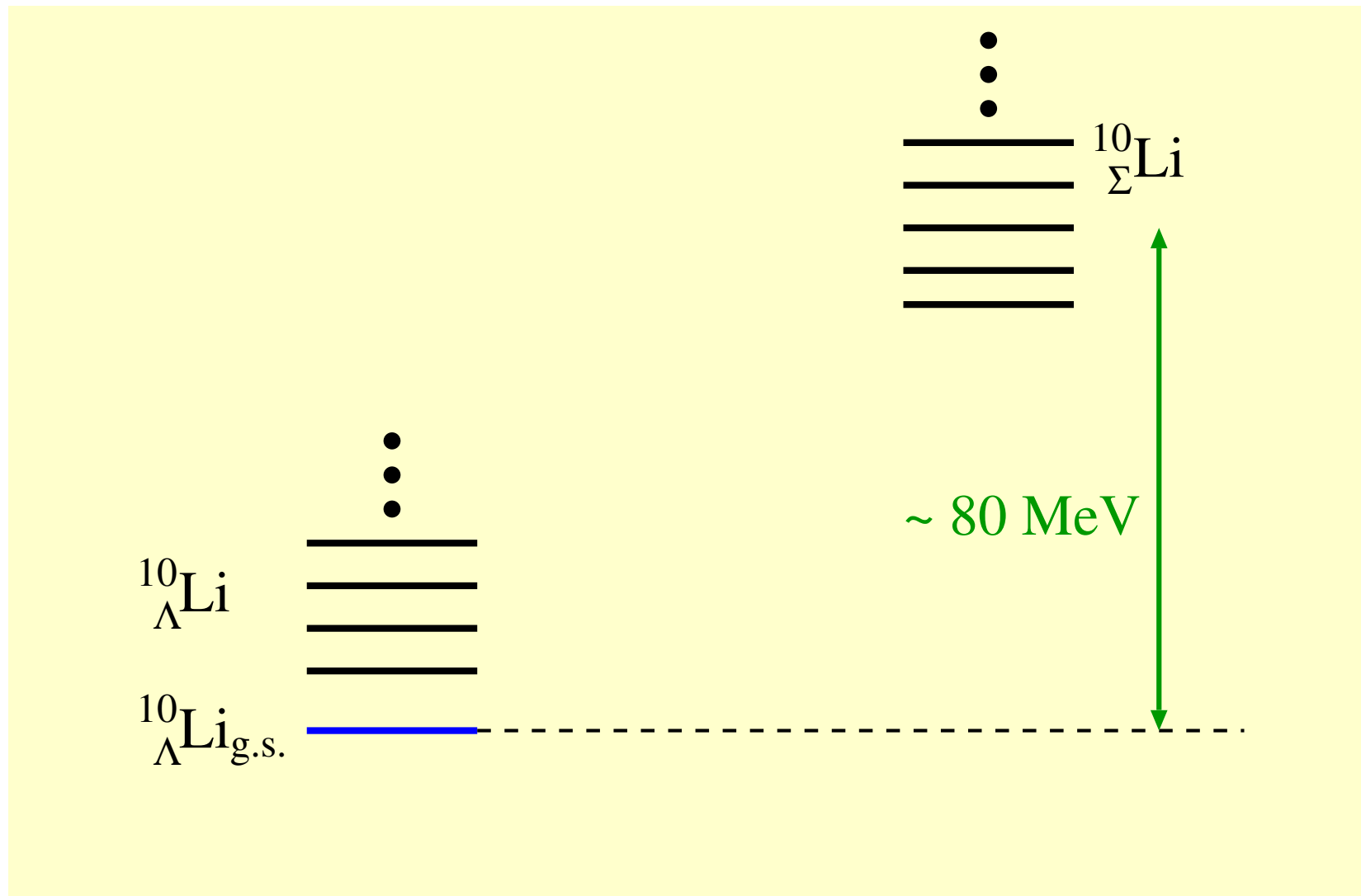
$\Sigma$  混合率 :  $P_{\Sigma}(\nu)$

$$P_{\Sigma}(\nu) = \sum_{\mu} \left| \frac{\langle \psi_{\Sigma}; \mu | V_{\Sigma\Lambda} | \phi_{\Lambda}; \nu \rangle}{E_{\Lambda; \nu} - E_{\Sigma; \mu}} \right|^2$$

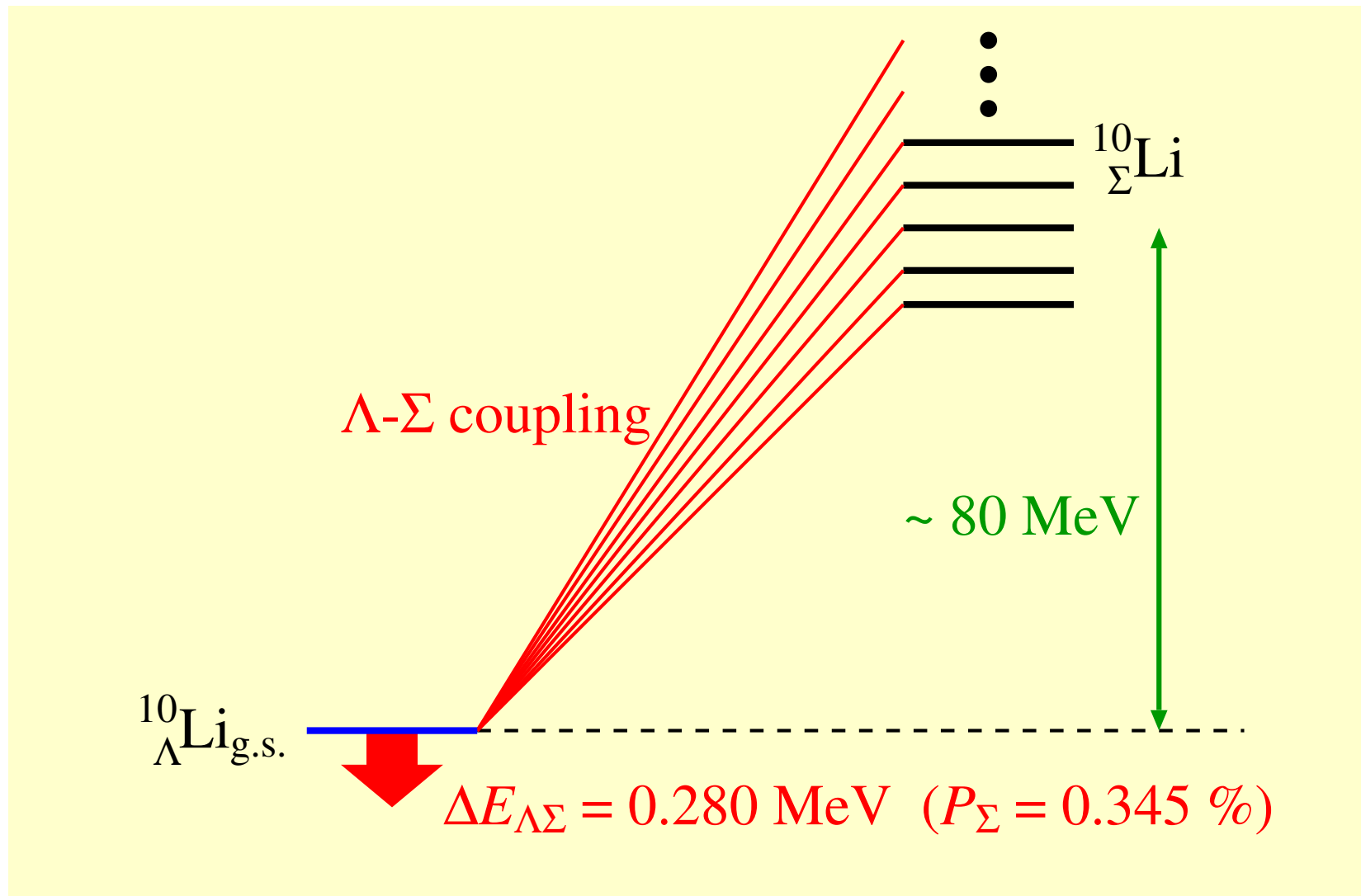
エネルギーシフト :  $E_{\Lambda\Sigma}(\nu)$

$$E_{\Lambda\Sigma}(\nu) = - \sum_{\mu} \frac{\left| \langle \psi_{\Sigma}; \mu | V_{\Sigma\Lambda} | \phi_{\Lambda}; \nu \rangle \right|^2}{E_{\Lambda; \nu} - E_{\Sigma; \mu}}$$

## 摂動による取り扱い

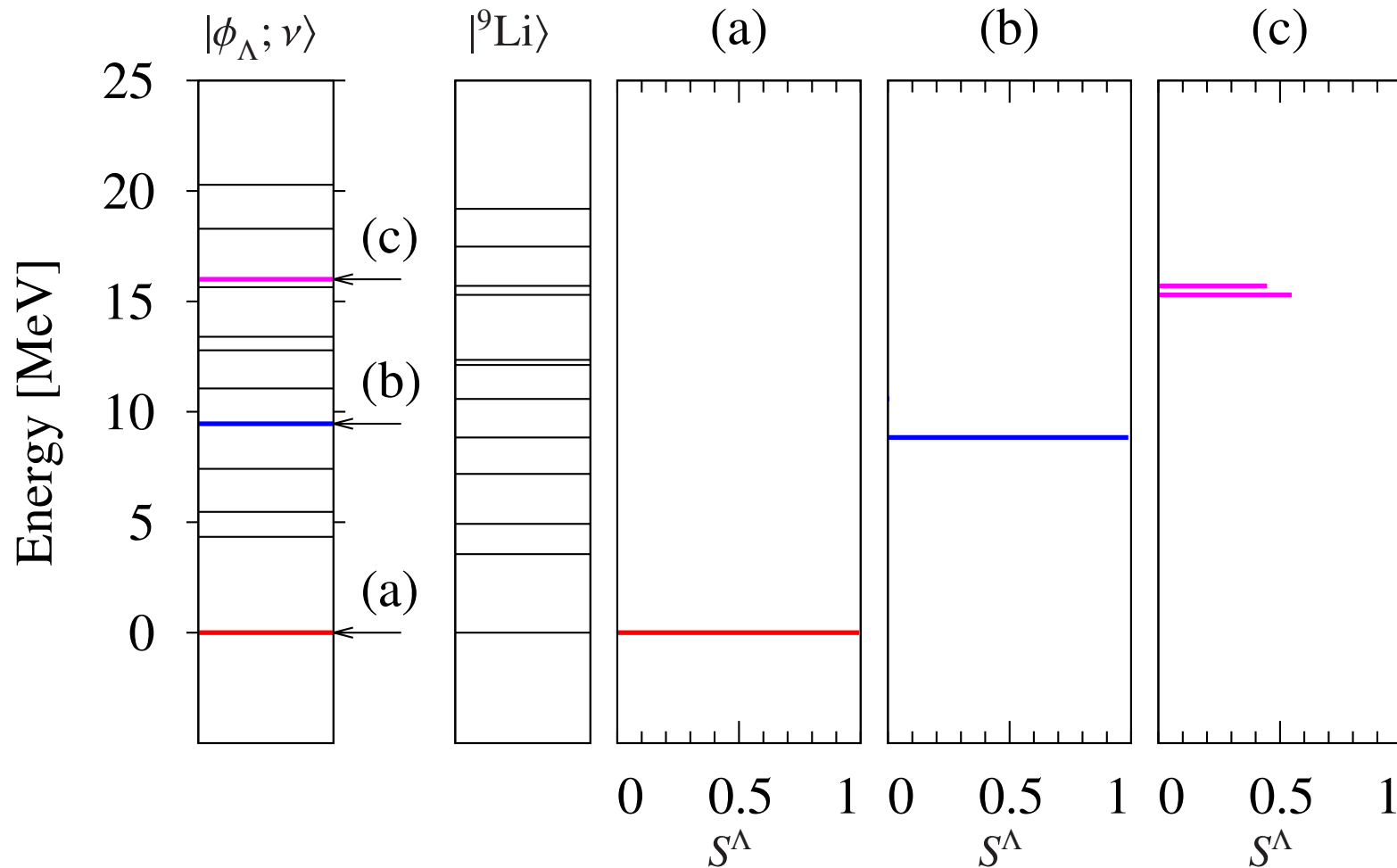


## 摂動による取り扱い





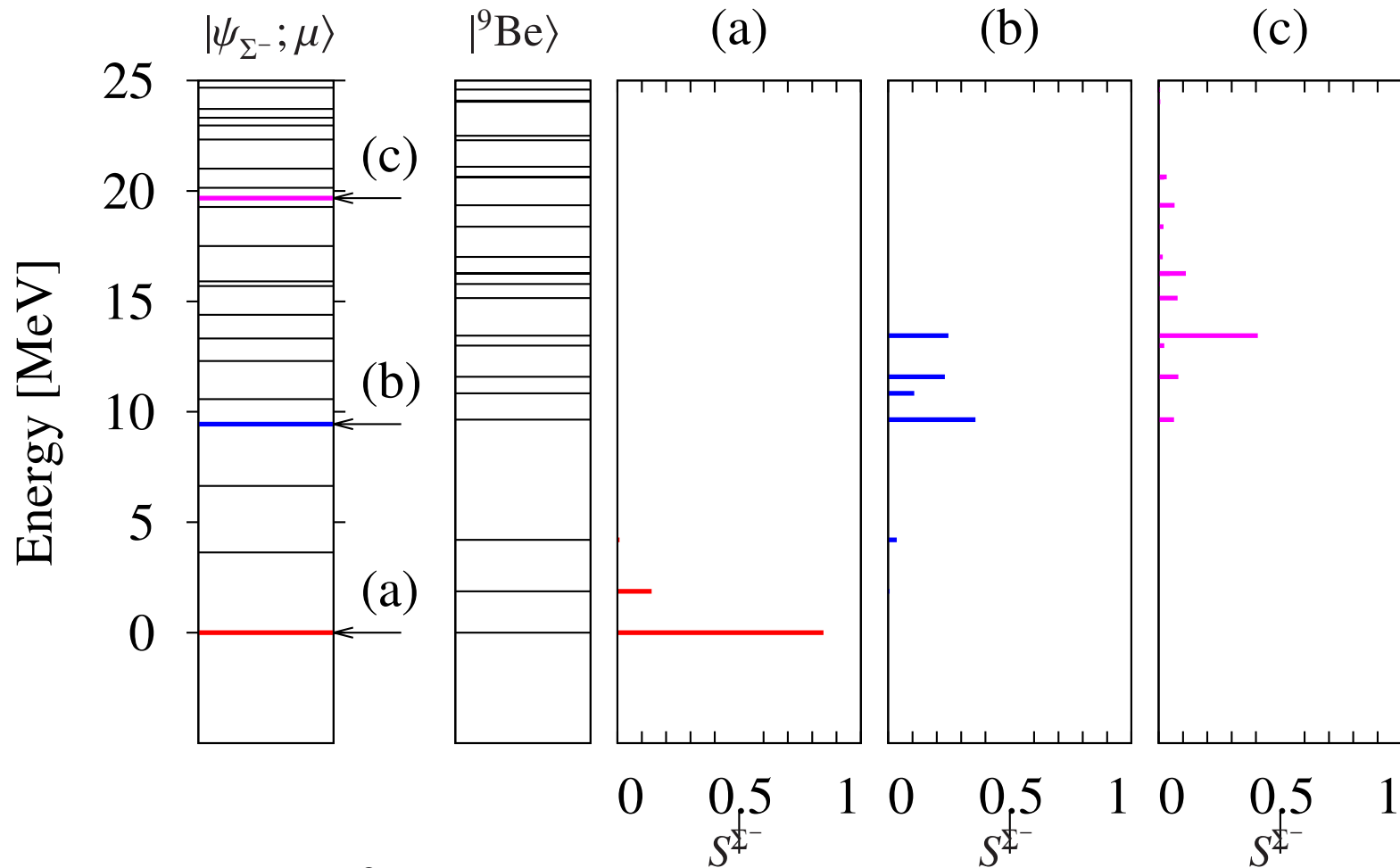
結果： $\Lambda$  が結合した固有状態（摂動0次）  $({}^{10}_{\Lambda}\text{Li}; T = 3/2, J = 1^-)$



$\Lambda$  が結合した固有状態  $|\phi_\Lambda; \nu\rangle$  のスペクトルは  
 ${}^9\text{Li}$  の固有状態のスペクトルに非常に近い。

$\Lambda$  粒子については1粒子描像がよく成り立つ。

結果： $\Sigma$  が結合した固有状態（摂動0次）  $({}^{10}_{\Lambda}\text{Li}; T = 3/2, J = 1^-)$

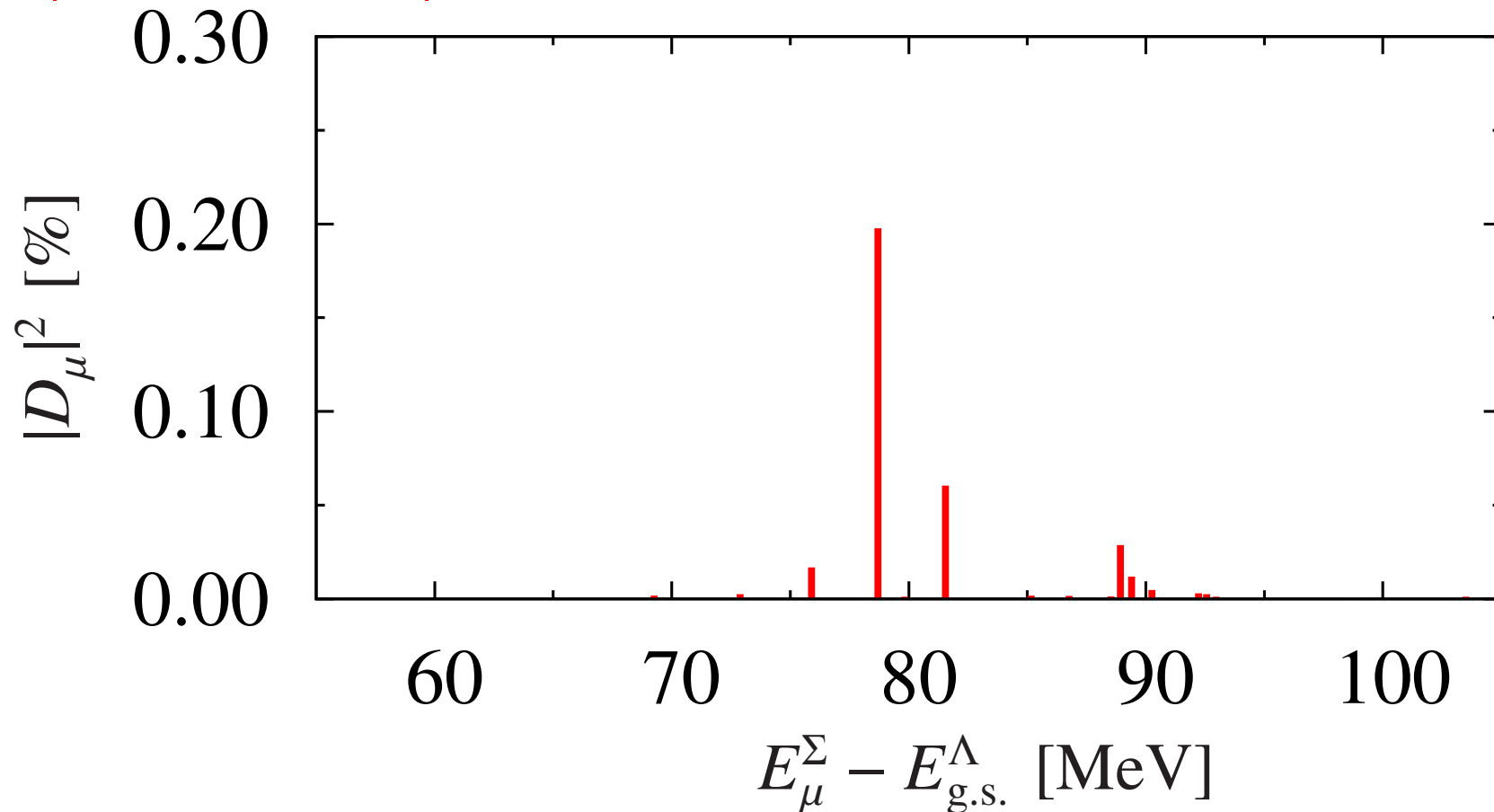


$\Sigma^-$  粒子が加わると  ${}^9\text{Be}$  の固有状態が混ざりあう。  
核子側の配位混合が大きく変わる。

結果： $\Lambda$ - $\Sigma$  結合強度  $|D_\mu|^2$

$$|{}^A_\Lambda\text{Li}(\nu)\rangle = |\phi_\Lambda; \nu\rangle + \sum_\mu \frac{\langle \psi_\Sigma; \mu | V_{\Sigma\Lambda} | \phi_\Lambda; \nu \rangle}{E_{\Lambda; \nu} - E_{\Sigma; \mu}} |\psi_\Sigma; \mu\rangle$$

$$|D_\mu|^2 = \left| \frac{\langle \psi_\Sigma; \mu | V_{\Sigma\Lambda} | \phi_\Lambda; \nu \rangle}{E_{\Lambda; \nu} - E_{\Sigma; \mu}} \right|^2, \quad P_\Sigma(\nu) = \sum_\mu |D_\mu|^2$$



## $\Lambda$ - $\Sigma$ 結合強度について

### $\Lambda$ - $\Sigma$ 結合の相互作用

$$V_{\Sigma\Lambda} \simeq \underbrace{V_F(r) t_N \cdot \Phi_{\Sigma\Lambda}}_{V_{\Sigma\Lambda}^F} + \underbrace{V_{GT}(r) (\sigma_N \cdot \sigma_{\Sigma\Lambda}) t_N \cdot \Phi_{\Sigma\Lambda}}_{V_{\Sigma\Lambda}^{GT}}$$

$V_F(r), V_{GT}(r)$  : ポテンシャル

$t_N$  : 核子に対するアイソスピン演算子

$\sigma_N$  : 核子に対するスピン演算子

$\sigma_{\Sigma\Lambda}$  : ハイペロンに対するスピン演算子

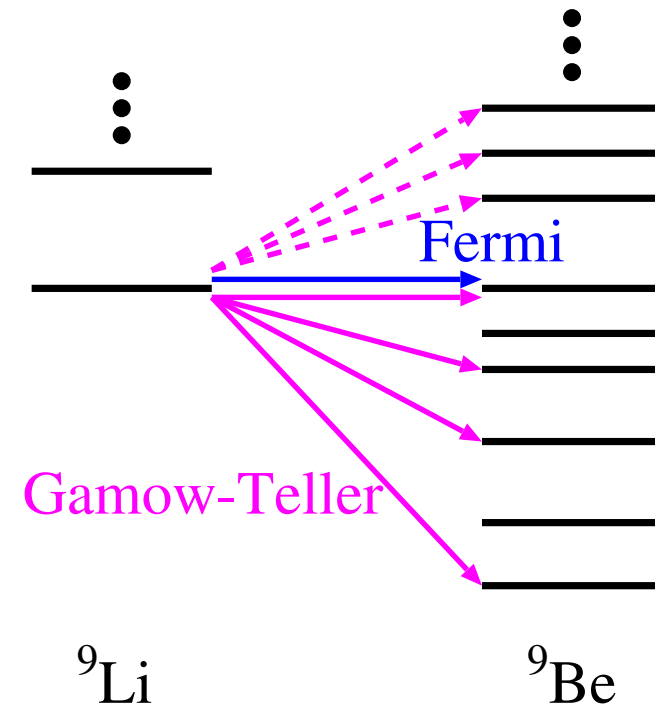
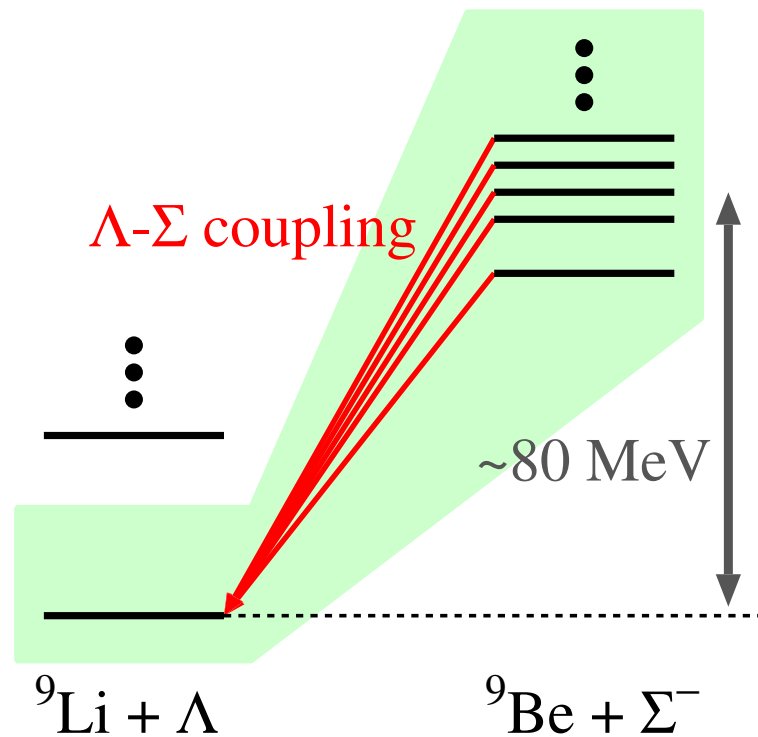
$\Phi_{\Sigma\Lambda}$  :  $\Lambda$  粒子を  $\Sigma$  粒子に変える演算子  $|j_\Sigma\rangle = \Phi_{\Sigma\Lambda} |j_\Lambda\rangle$

核子側の演算子に注目すると、  
 右辺第1項は **Fermi 型  $\beta$  遷移**、  
 右辺第2項は **Gamow-Teller 型  $\beta$  遷移**  
 の演算子になっている。

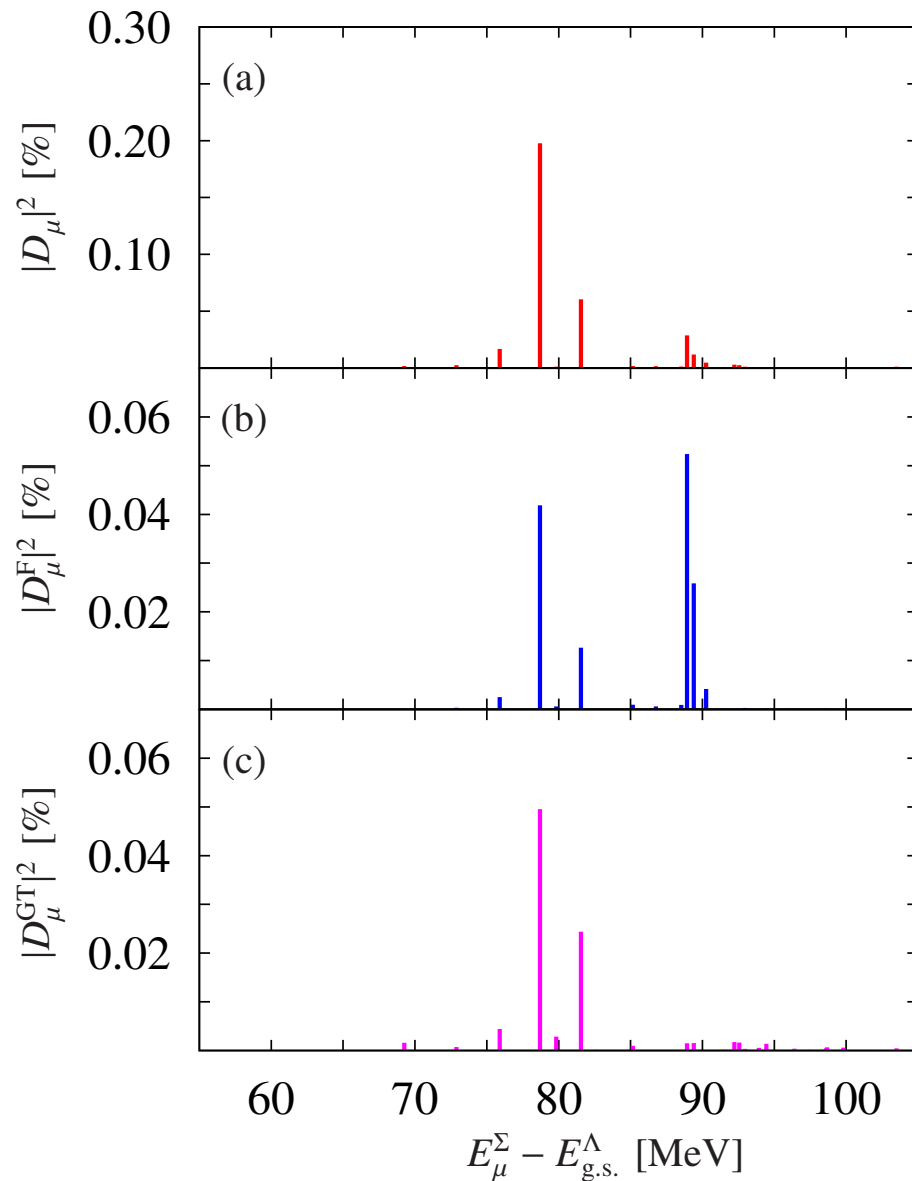
## $\Lambda$ - $\Sigma$ 結合強度について

### $\Lambda$ - $\Sigma$ 結合の相互作用

$$V_{\Sigma\Lambda} \simeq \underbrace{V_F(r) \mathbf{t}_N \cdot \boldsymbol{\Phi}_{\Sigma\Lambda}}_{V_{\Sigma\Lambda}^F} + \underbrace{V_{GT}(r) (\boldsymbol{\sigma}_N \cdot \boldsymbol{\sigma}_{\Sigma\Lambda}) \mathbf{t}_N \cdot \boldsymbol{\Phi}_{\Sigma\Lambda}}_{V_{\Sigma\Lambda}^{GT}}$$



## $\Lambda$ - $\Sigma$ 結合強度について



$$|D_\mu|^2 = \left| \frac{\langle \psi_\Sigma; \mu | V_{\Sigma\Lambda} | \phi_\Lambda; \nu \rangle}{E_{\Lambda; \nu} - E_{\Sigma; \mu}} \right|^2$$

$\rightarrow P_\Sigma = 0.345 \%$

$$|D_\mu^{F+GT}|^2 = \left| \frac{\langle \psi_\Sigma; \mu | (V_{\Sigma\Lambda}^F + V_{\Sigma\Lambda}^{GT}) | \phi_\Lambda; \nu \rangle}{E_{\Lambda; \nu} - E_{\Sigma; \mu}} \right|^2$$

$\rightarrow P_\Sigma^{F+GT} = 0.350 \%$

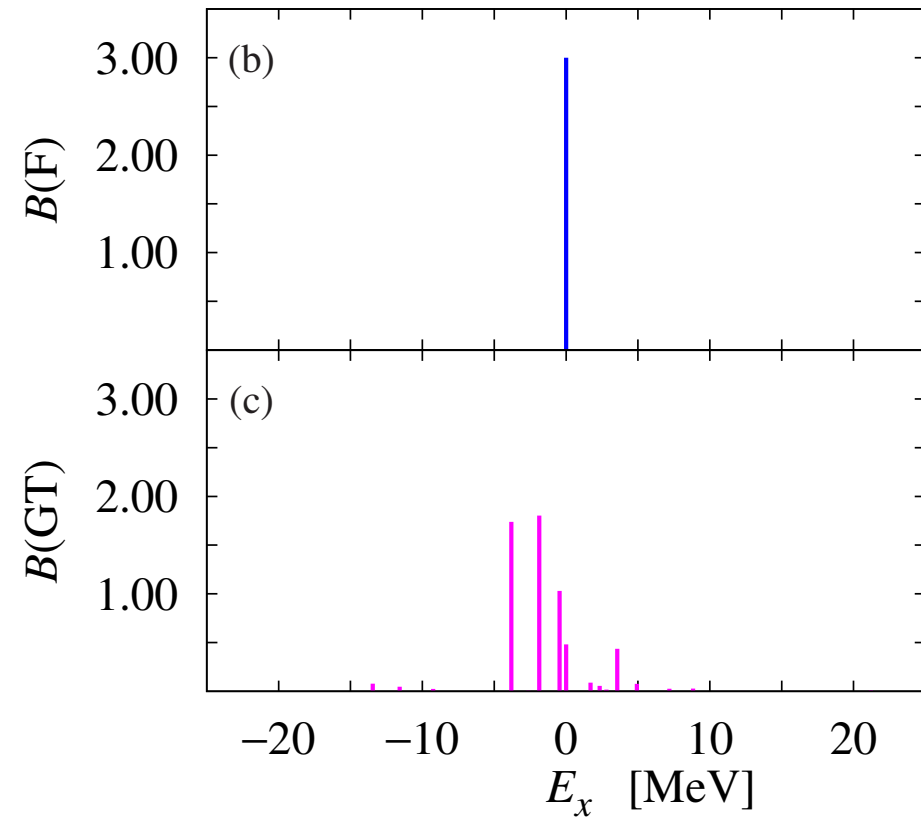
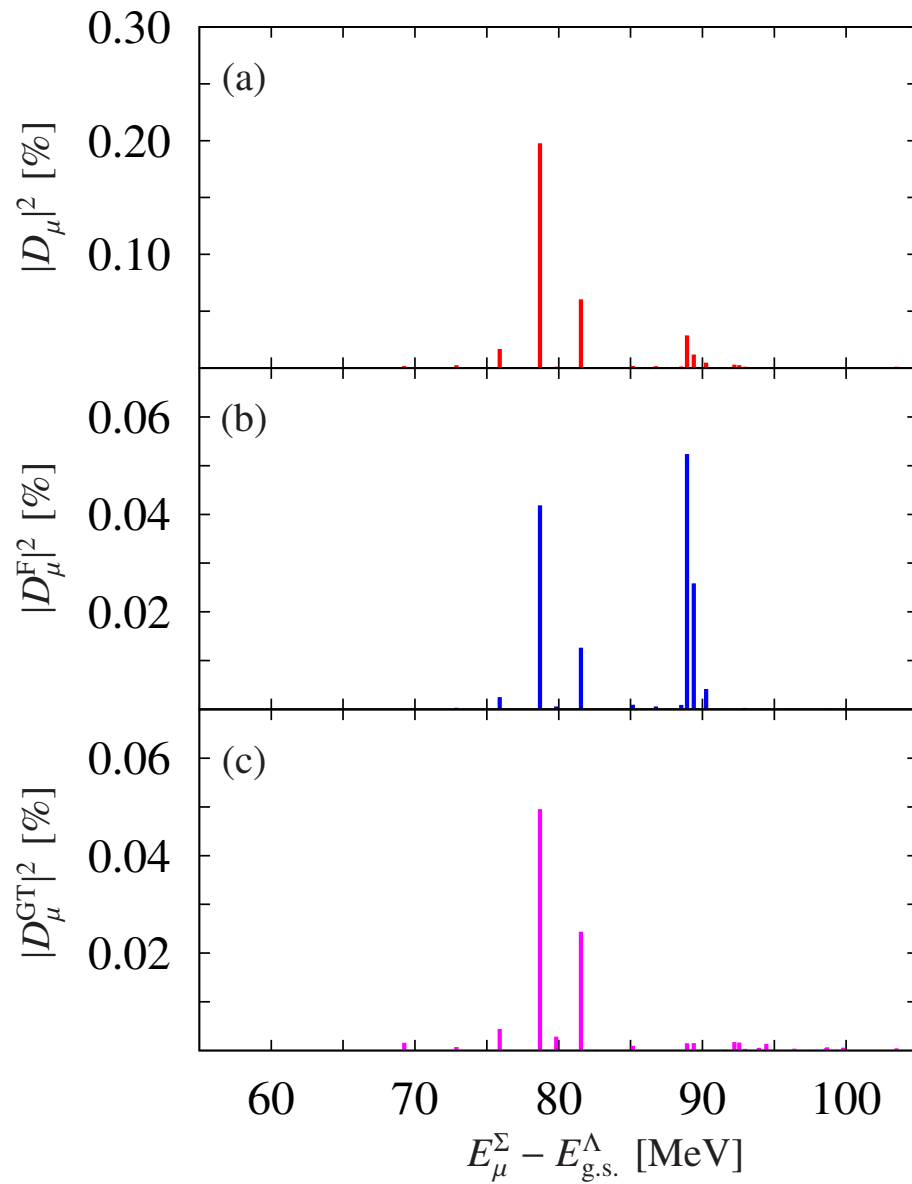
$$|D_\mu^F|^2 = \left| \frac{\langle \psi_\Sigma; \mu | V_{\Sigma\Lambda}^F | \phi_\Lambda; \nu \rangle}{E_{\Lambda; \nu} - E_{\Sigma; \mu}} \right|^2$$

$\rightarrow P_\Sigma^F = 0.144 \%$

$$|D_\mu^{GT}|^2 = \left| \frac{\langle \psi_\Sigma; \mu | V_{\Sigma\Lambda}^{GT} | \phi_\Lambda; \nu \rangle}{E_{\Lambda; \nu} - E_{\Sigma; \mu}} \right|^2$$

$\rightarrow P_\Sigma^{GT} = 0.098 \%$

## $\Lambda$ - $\Sigma$ 結合強度について



## $\Lambda$ - $\Sigma$ 結合強度について

### ● Fermi 型結合強度

- 通常の原子核における Fermi 型  $\beta$  遷移では、ある一つの状態にしか遷移できない。
- $\Sigma$  が結合することによりコア核の状態が混ざりあうので、強度が分散する。
- 簡単に評価すると  $P_{\Sigma}^F$  は  $T(T+1)$  に比例する。

### ● Gamow-Teller 型結合強度

- 通常の原子核における Gamow-Teller 型  $\beta$  遷移では、  
Ikeda Sum Rule

$$\sum B(\text{GT}-) - \sum B(\text{GT}+) = 3(N - Z)$$

が模型に依存せずに成り立つ。

- 中性子が過剰になるにつれて、 $\sum B(\text{GT}+)$  が小さくなるため、  
 $\sum B(\text{GT}-) \simeq 3(N - Z)$  で評価できるようになる。



## まとめと今後

$\Lambda$ - $\Sigma$  結合を摂動の1次で取り入れた殻模型波動関数を用いて、中性子過剰  $\Lambda$  ハイパー核  ${}^{10}_{\Lambda}\text{Li}$  ( $T = 3/2, J^{\pi} = 1^{-}$ ) のスペクトル,  $\Sigma$  混合率, エネルギーシフトを計算した。

$\Sigma$  混合率 0.345 %, エネルギーシフト 0.280 MeV

## 大きくなる要因

- $\Sigma$  がコア核の状態を混ぜる。
  - Fermi 型結合強度と Gamow-Teller 型結合強度がコヒーレントに寄与する。
  - Fermi 型結合強度は  $T(T + 1)$  に比例して大きくなる。
- 
- 他の中性子過剰ハイパー核の構造計算
  - 中性子過剰核における  $\beta$  遷移のデータ収集
  - 有効相互作用の検討
  - 殻模型波動関数の  $(\pi^{-}, K^{+})$  Double charge exchange reactions への応用