

NNA の 3 体共鳴状態の研究

宮本亮祐^A、肥山詠美子^{A,B}

九大院理^A、理研^B

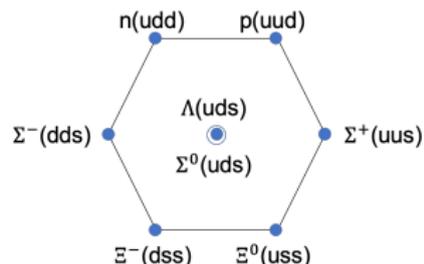
Λ 粒子

クォーク (質量 [MeV/c²])

電荷	第一世代	第二世代	第三世代
+2/3	u	c	t
-1/3	d	s	b

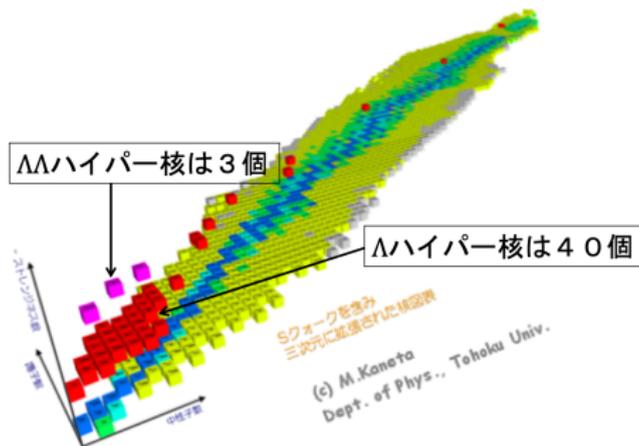
ハイペロン s を含むバリオン (ex. Λ , Ξ , Ω , ...)

ハイパー核 ハイペロンを含む原子核



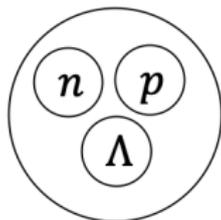
Λ ハイパー核

- Λ 粒子 (uds) の入った原子核を Λ ハイパー核と呼ぶ
- 現在見つかっている Λ ハイパー核は 40 個

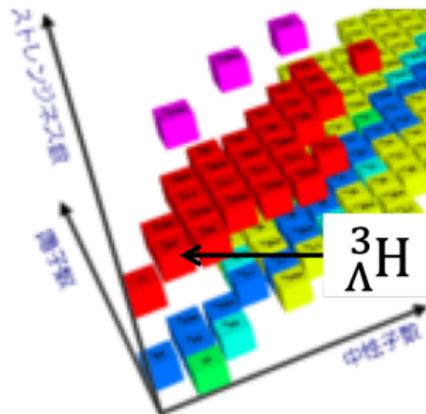


${}^3_{\Lambda}\text{H}$

- hypertriton
- n, p, Λ の3つのバリオンで構成される
- 束縛エネルギーは -0.13MeV



${}^3_{\Lambda}\text{H}$

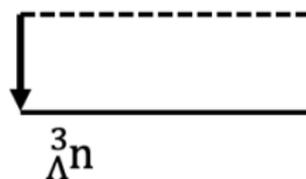


$n + p + \Lambda$	0MeV	

$d + \Lambda$	-2.22MeV	

${}^3_{\Lambda}\text{H}$	-2.35MeV	$J^{\pi} = 1/2^{+}$

- GSI の実験により $nn\Lambda$ の束縛状態があると報告された [1]
- 理論計算の結果からは束縛状態が見つからなかった [2,3,4]

 $n + n + \Lambda$ 

- [1]C. Rappold *et al.* (HypHI Collaboration), Phys. Rev. C 88, 041001(R) (2013)
[2]H. Garcilazo and A. Valcarce, Phys. Rev. C 89, 057001 (2014)
[3]E. Hiyama, S. Ohnishi, B. F. Gibson, Phys. Rev. C 88, 061302(R) (2014)
[4]A. Gal and H. Garcilazo, Phys. Lett. B 736, 93 (2014)

$nn\Lambda$ の束縛状態 (先行研究)

ポテンシャルを調節して、 $nn\Lambda$ が束縛する状態を実現すると同時に、そのポテンシャルで他の系の束縛エネルギーを正しく計算できるか確認する

- $n\Lambda$ 間相互作用 : ${}^3_{\Lambda}\text{H}$, ${}^4_{\Lambda}\text{H}$, ${}^4_{\Lambda}\text{He}$
- nn 間相互作用 : ${}^3\text{H}$

E. Hiyama, S. Ohnishi, B. F. Gibson, Phys. Rev. C 88, 061302(R) (2014)

$nn\Lambda$ の束縛状態 (先行研究)

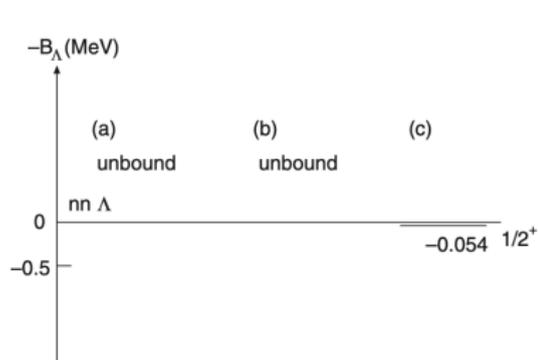


図 1: ${}^3_{\Lambda}n$

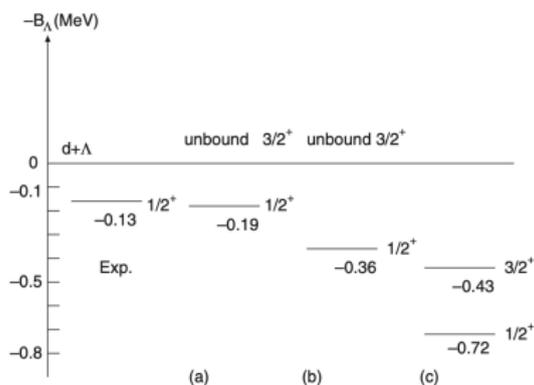


図 2: ${}^3_{\Lambda}H$

(a) ${}^3V_{\Lambda N-\Sigma N}^T \times 1.00$, (b) ${}^3V_{\Lambda N-\Sigma N}^T \times 1.10$, (c) ${}^3V_{\Lambda N-\Sigma N}^T \times 1.20$

$nn\Lambda$ の束縛状態 (先行研究)

x	a_{nn} (fm)	r_{eff} (fm)	ϵ_{nn} (MeV)	$E_{3\text{H}}$ (MeV)	$E_{\Lambda n}^3$ (MeV)
1.0	-23.7	2.78	Unbound	-7.77	Unbound
1.13	25.1	2.40	-0.066	-9.75	Unbound
1.35	6.88	1.96	-1.269	-13.93	-1.272

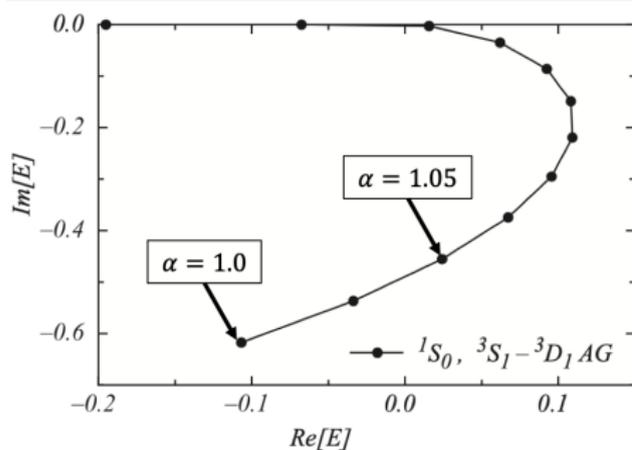
$$V_{nn}(^1S_0) \times x$$

$$E_{\text{exp}}(^3\text{H}) = -8.48\text{MeV}$$

$$\begin{array}{r}
 n + n + \Lambda \quad 0\text{MeV} \\
 \hline
 nn + \Lambda \quad -1.269\text{MeV} \\
 \hline
 {}^3_{\Lambda}n \quad -1.272\text{MeV} \quad J^{\pi} = 1/2^{+}
 \end{array}$$

☒ 3: $x = 1.35$

$nn\Lambda$ の共鳴状態 (先行研究)



$V_{\Lambda N} \times \alpha$ ($\alpha = 1.0, 1.025, \dots, 1.275$)

→ ポテンシャルをより引力的にする
と共鳴状態になる

I. R. Afnan, B. F. Gibson, Phys. Rev. C 92, 054608 (2015)

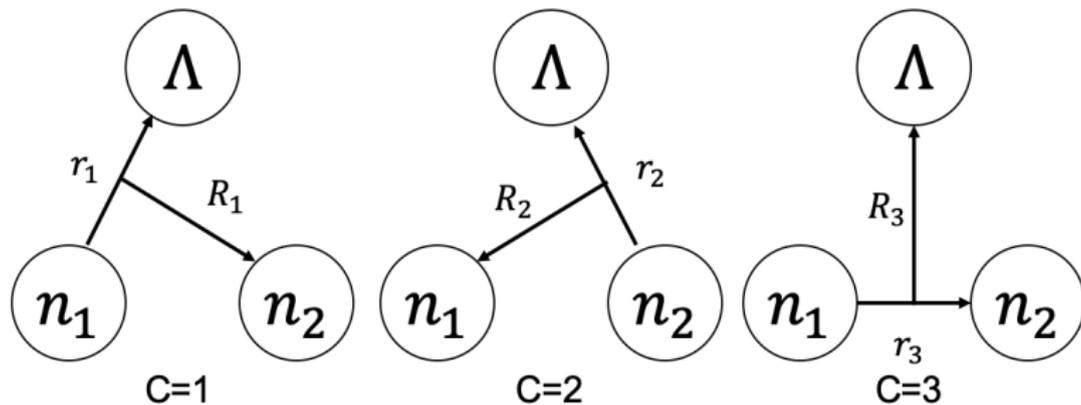
→ **共鳴状態の可能性**

LS 力およびテンソル力は考慮されていない

研究の目的・手法

- より現実的なポテンシャルを用いて $nn\Lambda$ の共鳴状態について研究することを目的とした
- 今回は all S wave で計算した結果を発表する
 - ▶ LS 力やテンソル力は考慮しない
- 先行研究にならうと今回の条件では共鳴状態は見られないと予想
- ポテンシャルにファクターをかけて束縛状態を確認したのちに、ファクターを小さくして共鳴状態を調べた
- ガウス展開法により固有値を求め、複素座標回転法を用いて共鳴状態を調べた

ガウス展開法



$nn\Lambda 3$ 体系のヤコビ座標

ガウス展開法

波動関数

$$\Psi_{JM}(\mathbf{r}) = \sum_{C=1}^3 \sum_{n,N} \mathcal{A} [\eta_{\frac{1}{2}}(n_1)\eta_{\frac{1}{2}}(n_2)]_1 [[[\chi_{\frac{1}{2}}(n_1)\chi_{\frac{1}{2}}(n_2)]_0 \chi_{\frac{1}{2}}(\Lambda)]_{\frac{1}{2}}] \\ \times [\phi_{n,l=0}^{(c)}(\mathbf{r}_c)\psi_{N,L=0}^{(c)}(\mathbf{R}_c)]_0]_{J=\frac{1}{2}}$$

$$\phi_{nl}^{(c)}(\mathbf{r}_c) = r_c^l e^{-\nu_n r_c^2} Y_{lm}(\hat{\mathbf{r}}_c)$$

$$\nu_n = \frac{1}{r_n^2}, \quad r_n = r_1 a^{n-1} (n = 1, \dots, n_{\max})$$

複素座標回転法

複素エネルギー固有値は $E = E_r - i\Gamma/2$ と表され、 E_r が共鳴エネルギー、 Γ が崩壊幅となる。

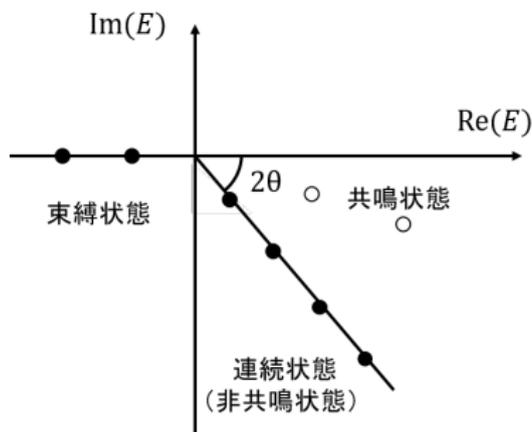


図 4: 固有値分布

θ を変えたとき、その角度に依存せずに現れる点○が共鳴状態である。

用いたポテンシャル

V_{nn} : AV8	$n + p + \Lambda$	0MeV	
$V_{n\Lambda}$: ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ の束縛エネルギーを再現するポテンシャル	$d + \Lambda$	-2.22MeV	
	${}^3_{\Lambda}\text{H}$	-2.35MeV	$J^{\pi} = 1/2^{+}$

それぞれのポテンシャルにファクター倍する

$$\rightarrow V_{nn} \times \alpha_{nn}, \quad V_{n\Lambda} \times \alpha_{n\Lambda}$$

束縛状態の確認

$$V_{nn} \times \alpha_{nn}$$

α_{nn}	E_{nn} (MeV)	$E_{nn\Lambda}$ (MeV)
1.0	Unbound	Unbound
1.13	-0.048	Unbound
1.80	-7.613	-7.624

表 1: E_{nn} と $E_{nn\Lambda}$ の比較

$$V_{n\Lambda} \times \alpha_{n\Lambda}$$

$\alpha_{n\Lambda}$	$E_{n\Lambda}$ (MeV)	$E_{nn\Lambda}$ (MeV)
1.0	Unbound	Unbound
1.25	0.000	Unbound
1.38	0.000	-0.065

表 2: $E_{n\Lambda}$ と $E_{nn\Lambda}$ の比較

共鳴状態

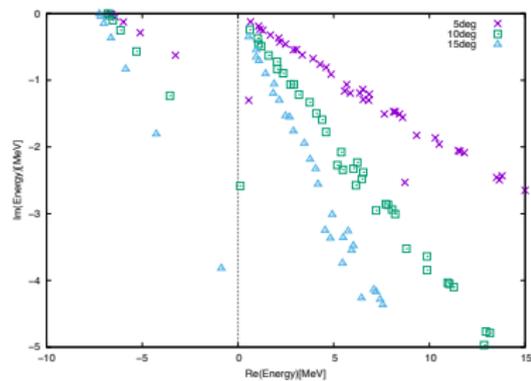


図 5: $\alpha_{nn}=1.75$ での固有値分布

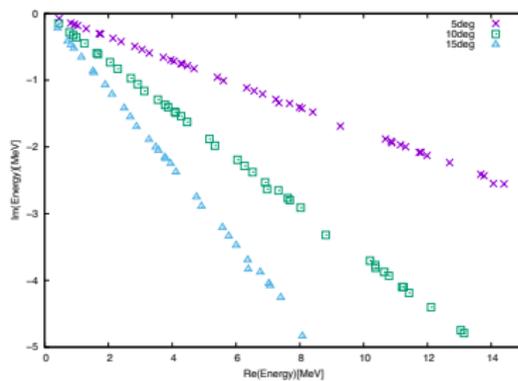
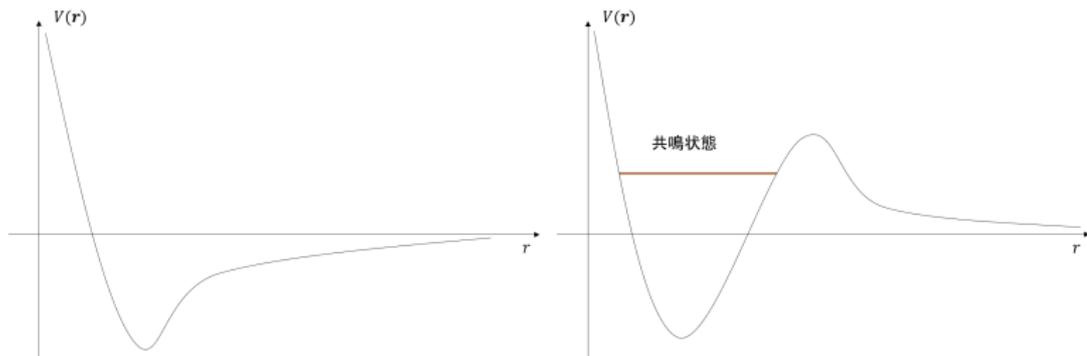


図 6: $\alpha_{n\Lambda}=1.35$ での固有値分布

まとめと考察

- $nn\Lambda 3$ 体系における共鳴状態を調べた
- ポテンシャルにファクター倍するも、先行研究とは異なり共鳴状態を確認することはできなかった
- 今回は s wave しか考慮していないことも原因の一つと考えられる
 - ▶ ポテンシャル障壁がないために共鳴状態が現れなかった可能性
 - ▶ p wave 以降を入れることで遠心力によるポテンシャル障壁が立つ



展望

- $l \geq 0$ で計算を行い、遠心力の効果で共鳴状態が現れるのかを確認する
- LS 力、テンソル力なども考慮し、より現実的なポテンシャルでの計算を行う