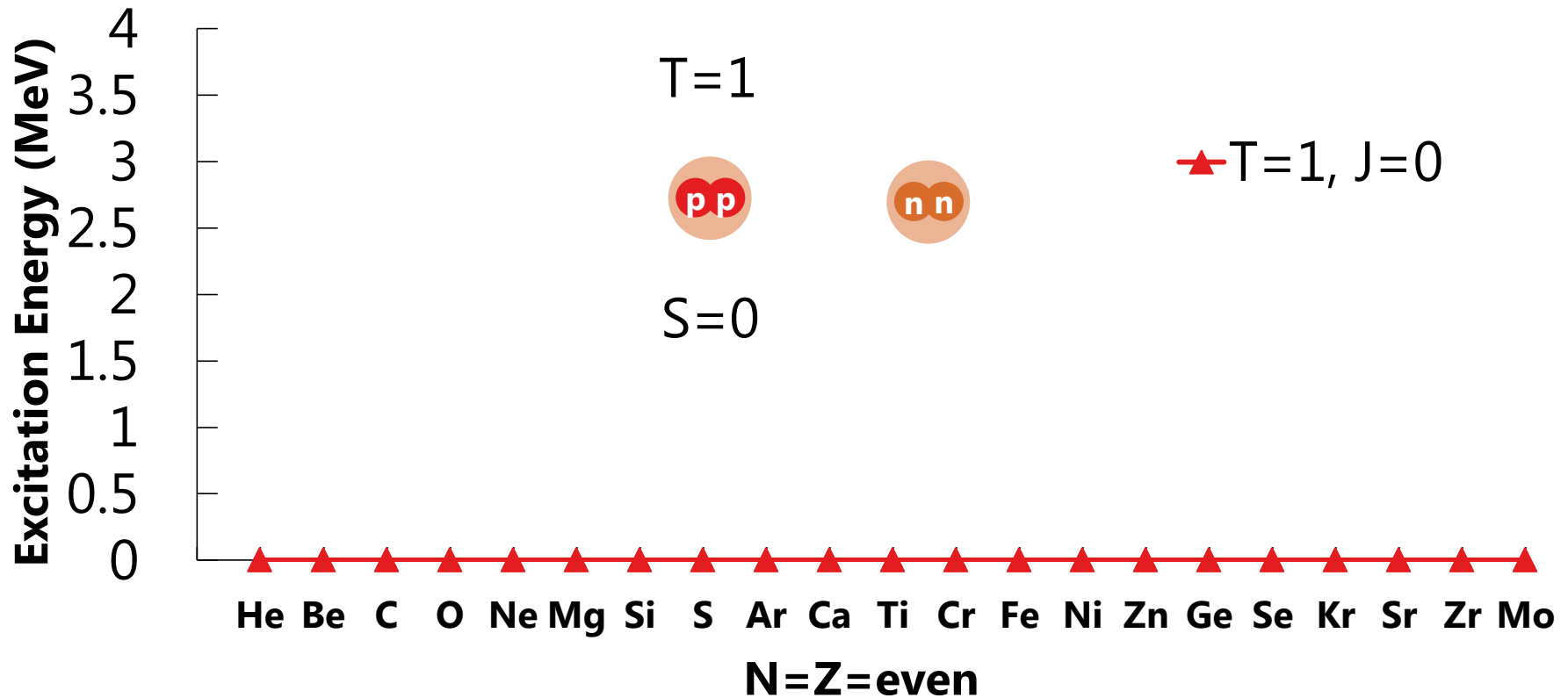


反対称化分子動力学を用いた $N=Z=\text{odd}$ 核での陽子中性子間相関の研究

京都大学 森田皓之

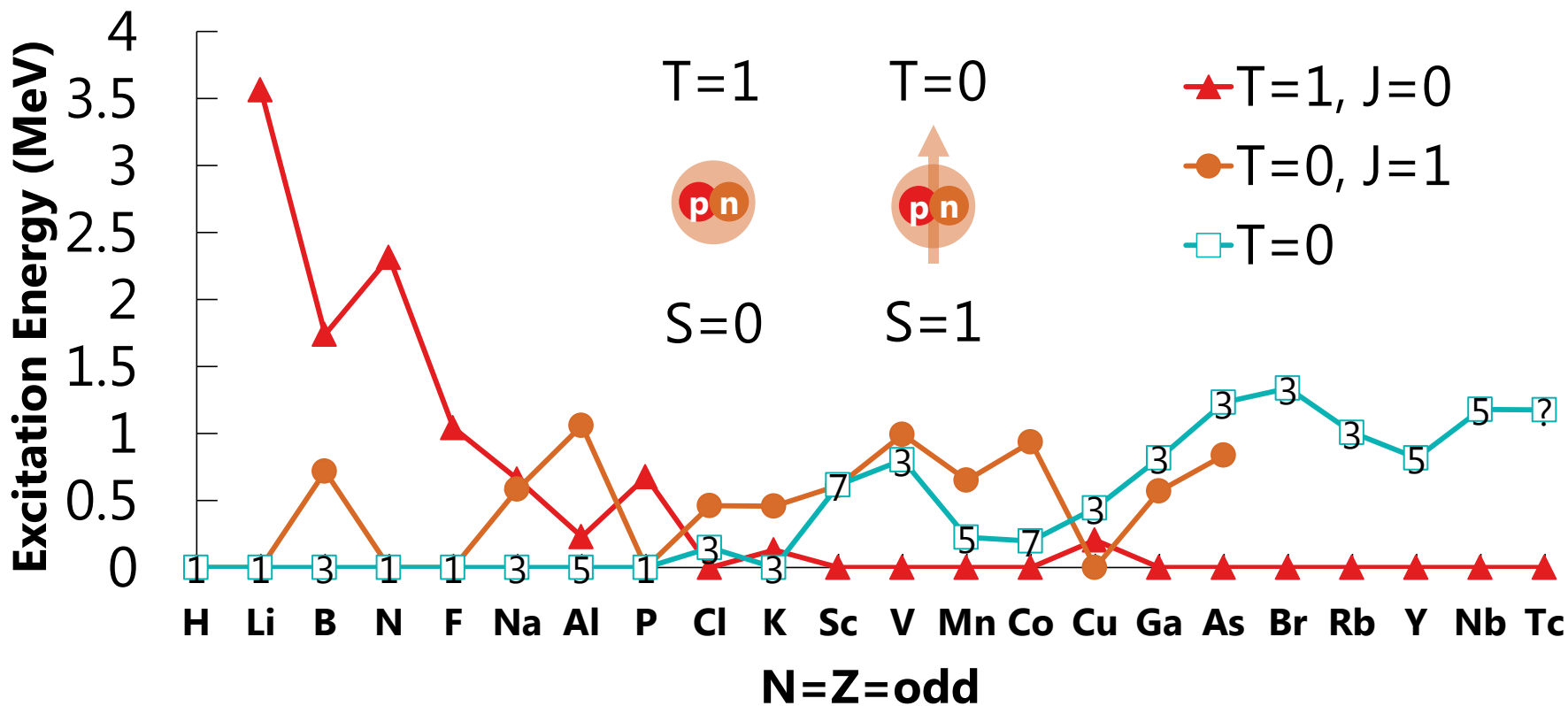
京都大学 延與佳子

$N=Z=\text{even}$ 核と2核子対相関



$N=Z=\text{even}$ 核ではnn/ppが対を組み $J=0$ 状態が安定

pn対相関とアイソスピンの競合



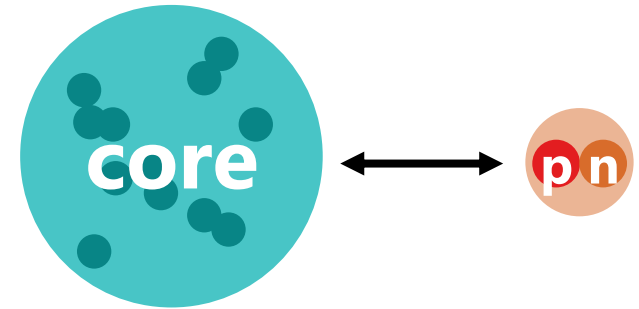
$N=Z=odd$ 核ではpn対が余る

➡ T=0, 1状態のpn対に対応した状態が出現

(アイソスピンの競合)

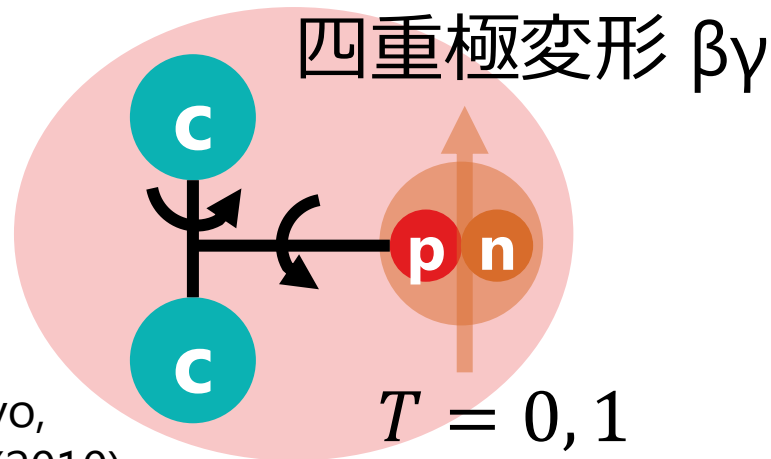
$N=Z=\text{odd}$ 核の構造と pn 対

core: 変形・回転、**クラスター形成**
core- pn : pn 対の軌道運動
 pn : D-wave



- $N=Z=\text{odd}$ 核の構造を議論するには
コアと pn 対の間の運動や pn 対自身の励起に加えて、**コア自体**を、 pn 対と同時に記述することが必要
- 核子の自由度での第一原理的な取り扱いが有効

空間的pn対相関とクラスター状態



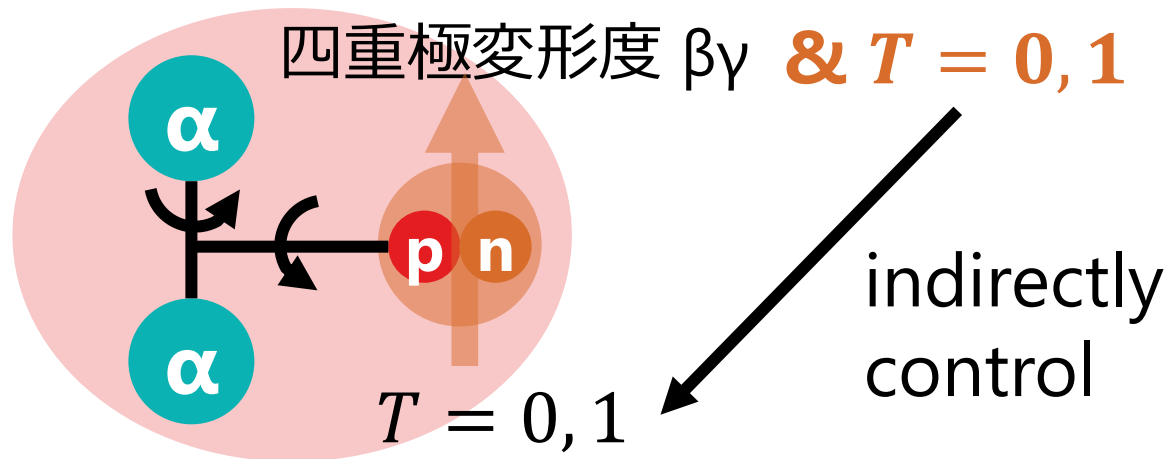
T. Suhara and Y. Kanada-En'yo,
Prog. Theor. Phys. **123**, 303 (2010)

- クラスター状態
 - » Fermi面がない
 - » **軸**の形成と核の**変形**
- 空間的対相関
 - » コンパクトな核子対
 - » クラスターの**相対運動**
- $T = 1$ 状態
 - » nn/pp対と全く同様
- $T = 0$ 状態
 - » スピンを持ったpn対が**軸に対する回転と結合**
 - » LS力が引き起こす運動

Framework(isospin projected AMD)

Antisymmetrized molecular dynamics
with **$\beta\gamma$ constraint** and **isospin projection ($T\beta\gamma$ -AMD)**

arxiv.org/1604.07131



- pn対の形成に最適化された計算の枠組み
 - » pn対の空間的形成を記述する($\beta\gamma$ -AMD+GCM)
 - » **アイソスピン射影がアイソスピンの競合を解決し、核子のスピン配位を記述する**

アイソスピン射影AMDの枠組

波動関数

$$|\Phi\rangle = \mathcal{A}|\phi_1\rangle|\phi_2\rangle \dots |\phi_A\rangle$$

$$|\phi_i\rangle = \left(\frac{2\nu}{\pi}\right)^{\frac{4}{3}} \exp\left[-\nu\left(\mathbf{r}_i - \frac{\mathbf{z}_i}{\sqrt{\nu}}\right)^2\right] |\xi_i\rangle |n_i\rangle$$

$$|n_i\rangle = |p\rangle \text{ or } |n\rangle \quad \nu = 0.235 \text{ fm}^{-2}$$

AMD

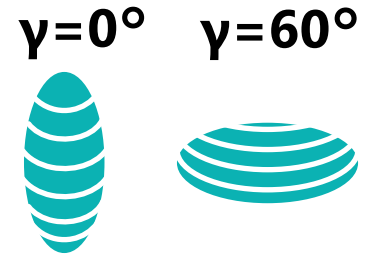
(Antisymmetrized Molecular Dynamics)

A. Ono, H. Horiuchi, T. Maruyama and A. Onishi,
Phys. Rev. Lett. 68 2898 (1992).

ハミルトニアン

$$H = H_{\text{phys}} + H_{\text{const}}$$

$$H_{\text{const}} = \eta_1 [(\beta \cos \gamma - X)^2 + (\beta \sin \gamma - Y)^2] + \eta_2 [I_{xy}^2 + I_{yz}^2 + I_{zx}^2]$$



エネルギー変分

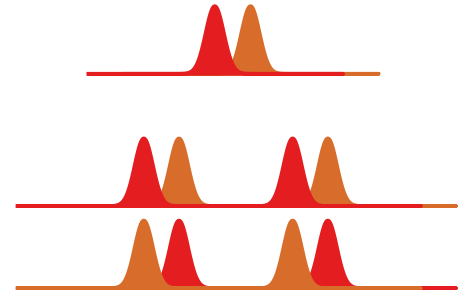
$$\delta \frac{\langle \Phi | H P^\pi \mathbf{P}^T | \Phi \rangle}{\langle \Phi | P^\pi \mathbf{P}^T | \Phi \rangle} = 0$$

$\beta\gamma$ -AMD

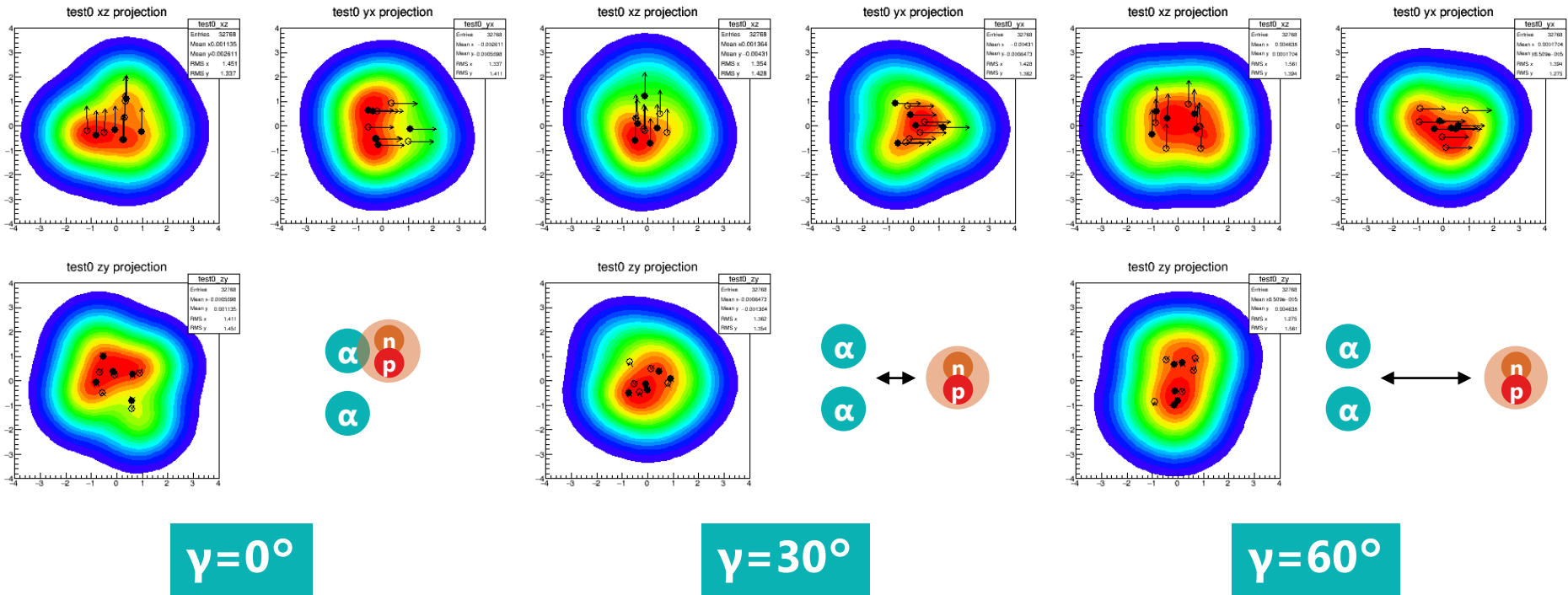
T. Suhara and Y. Kanada-En'yo,
Prog. Theor. Phys. 123, 303 (2010).

アイソスピン射影AMD

Gauss波束



エネルギー変分 with アイソスピン射影



$\gamma = 0^\circ$

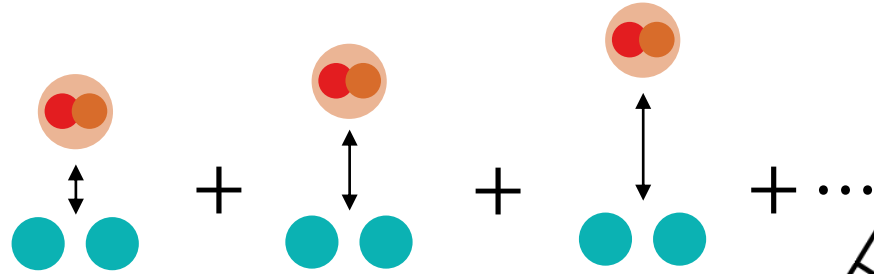
$\gamma = 30^\circ$

$\gamma = 60^\circ$

核子対の運動とGCM

波動関数

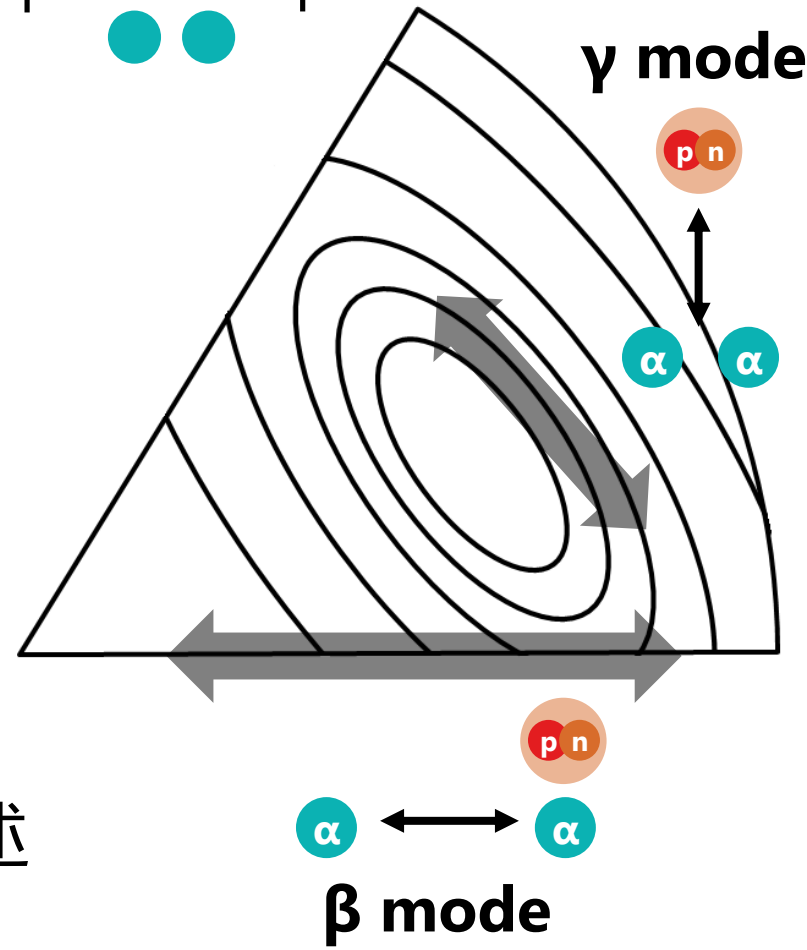
$$|\Psi\rangle = \sum_i c_i |\Phi_i\rangle = \sum_{i = (\beta, \gamma, K)}$$



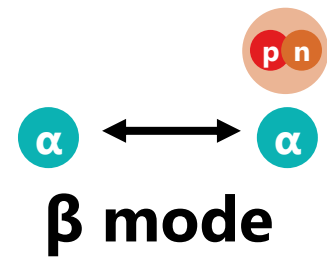
エネルギー変分

$$\delta \frac{\langle \Psi | H_{\text{phys}} | \Psi \rangle}{\langle \Psi | \Psi \rangle} = 0$$

$$\Leftrightarrow \sum_j [\langle \Phi_i | H_{\text{phys}} | \Phi_j \rangle - E \langle \Phi_i | \Phi_j \rangle] c_j = 0$$

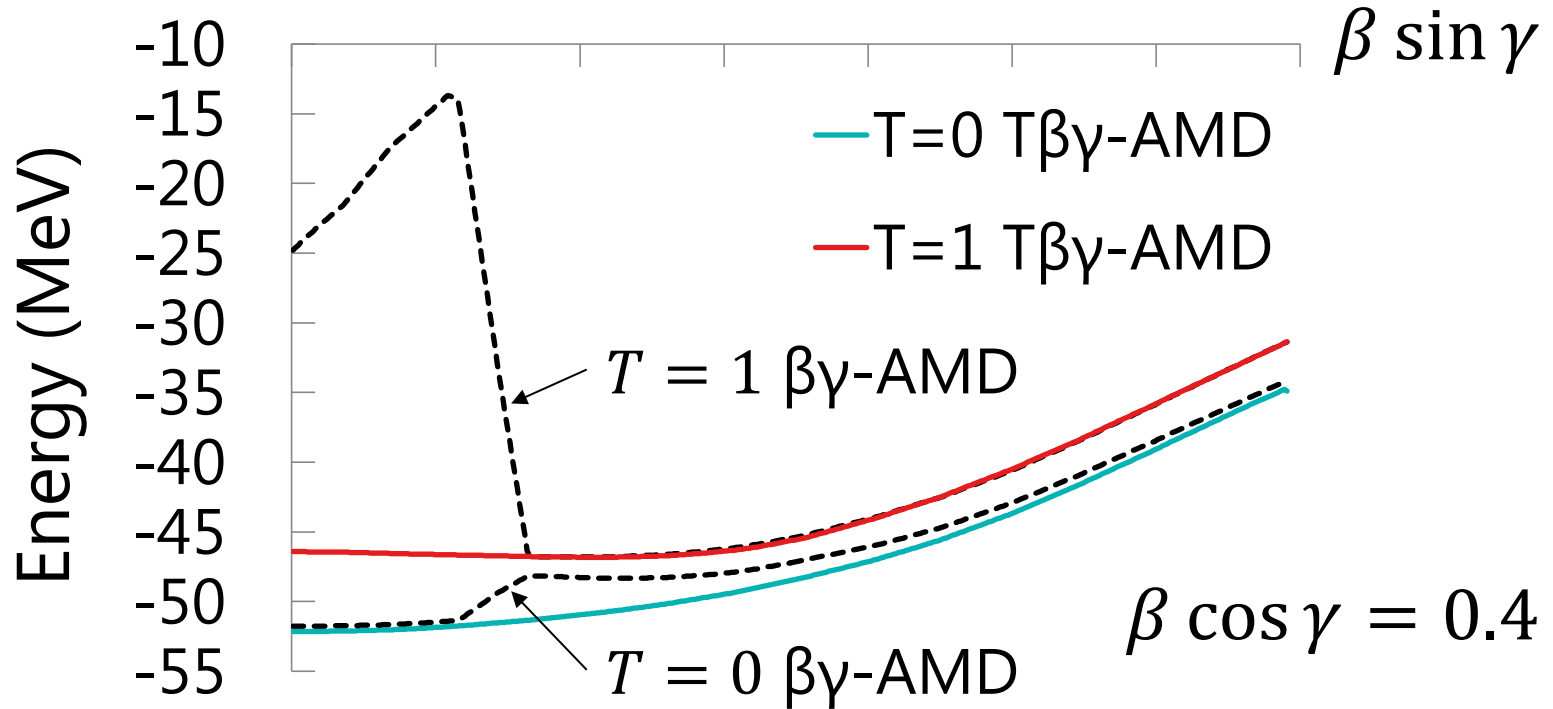
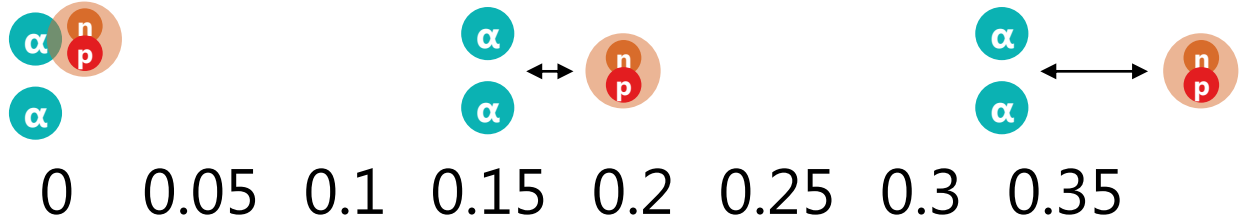


波動関数の重ねあわせ(GCM)
→ クラスターの相対運動を記述



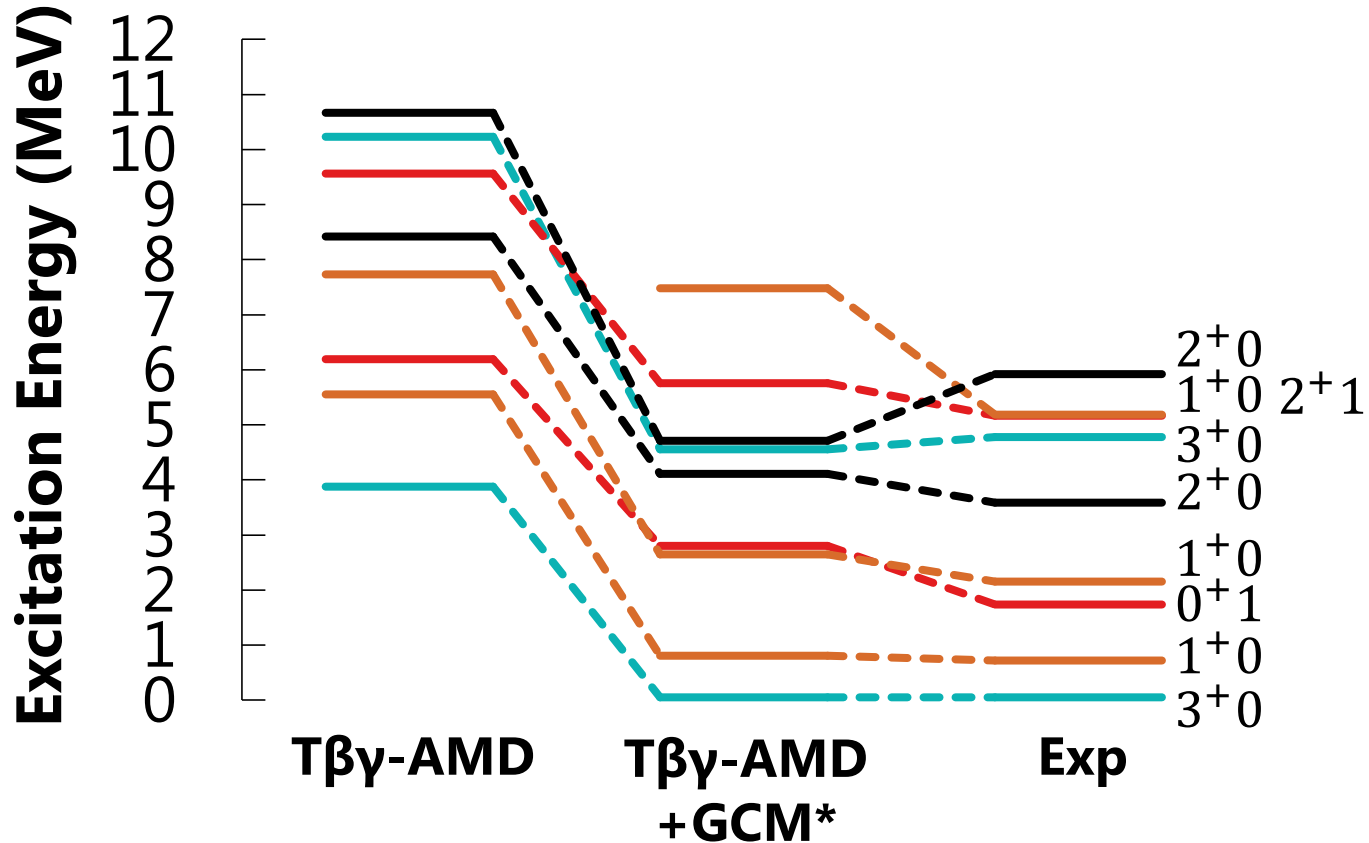
アイソスピン射影の効果

^{10}B



アイソスピン射影は $T = 0, 1$ 状態の競合を解決

^{10}B spectra

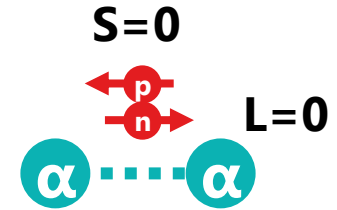
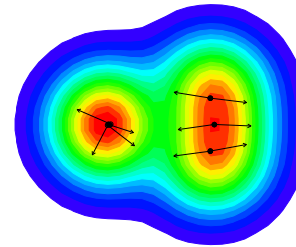
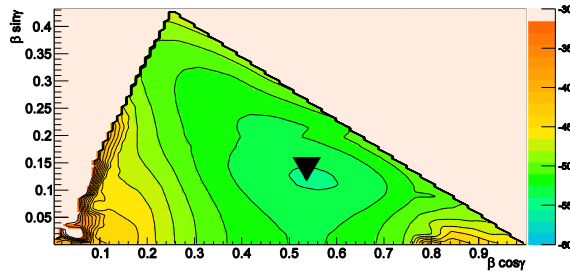


- 3-4 MeV のエネルギーを稼ぐ
 - » $\text{pn}(T = 0, 1)$ 対の運動が ^{10}B の構造に寄与
- それぞれのアイソスピン ($T = 0, 1$) で準位順序と準位間隔が再現

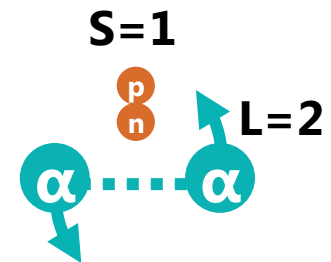
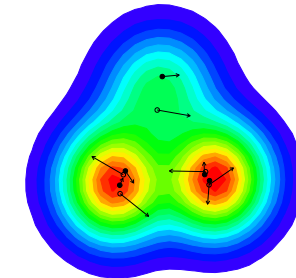
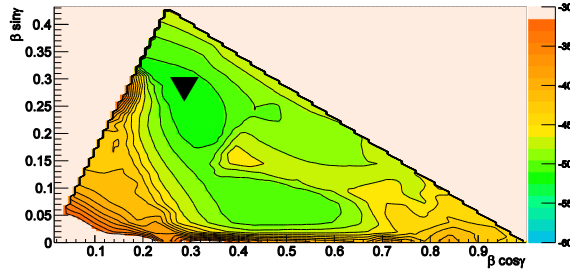
*Energy of ground states are adjusted to experimental value

Density and structure on the $\beta\gamma$ surface

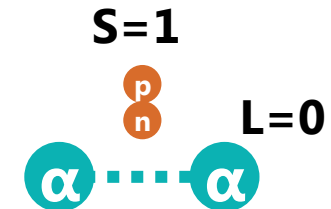
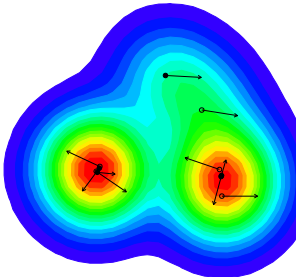
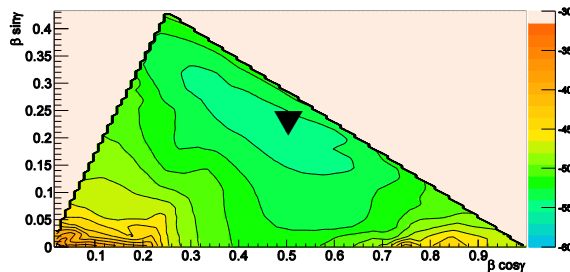
0^+1



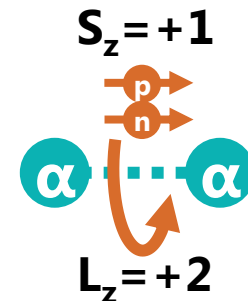
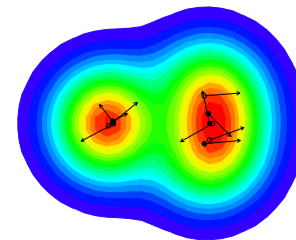
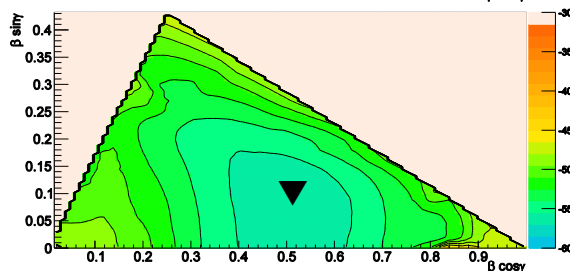
1^+_{20}



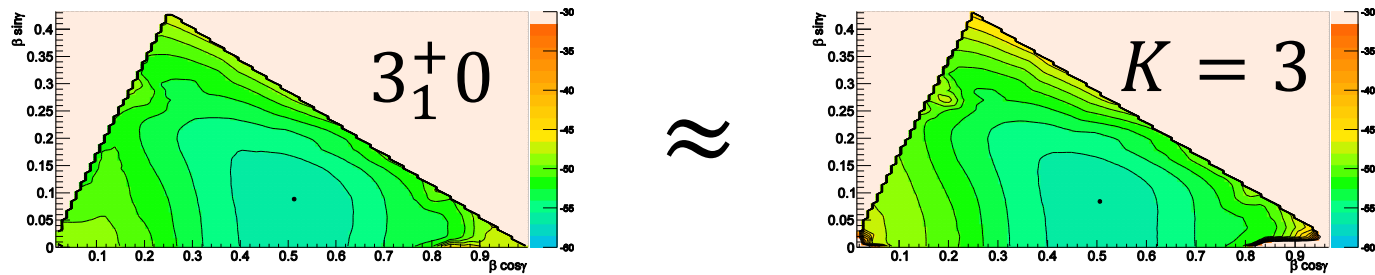
1^+_{10}



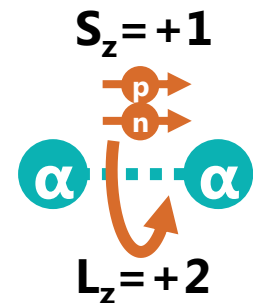
3^+_{10}



Assign(3_1^+0)



- 3_1^+0 状態のエネルギー表面は $K=3$ 状態のエネルギー表面にほぼ一致
- $K=3$ 状態は pn 対のスピン $S_z=1$ が pn 対の軌道運動 $L_z=2$ と揃うことで形成
- この状態が、強いスピン軌道力を受けることで安定化する



^{10}B structures and pn pair

IAS $^{10}\text{Be}(0_1^+)$

0_1^+ $S=0$ $L=0$ $[L = 0 \otimes S = 0]_{J=0}$

1_2^+ $S=1$ $L=2$ $[L = 2 \otimes S = 1]_{J=1}$

1_1^+ $S=1$ $L=0$ $[L = 0 \otimes S = 1]_{J=1}$

3_1^+ $S_z = +1$ $L_z = +2$

$B_{\text{th}}(\text{E2}) = 9.23 e^2 \text{fm}^4$
 $\text{exp} \sim 15.6 e^2 \text{fm}^4$

$B_{\text{th}}(\text{M1}) = 15.0 \mu_N^2$
 $\text{exp} \sim 7.5 \mu_N^2$

No Core Shell Model

P. Navratil, V. G. Gueorguiev, J. P. Vary, W. E. Ormand and A. Nogga, Phys. Rev. Lett. **99** 042501 (2007).

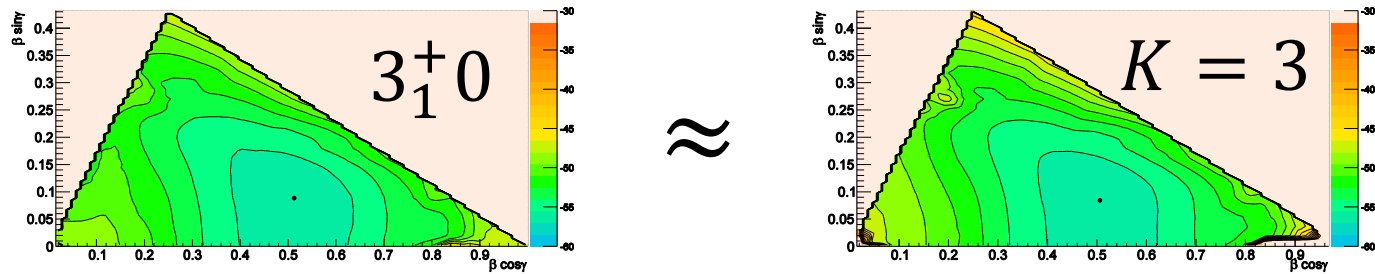
Molecular Orbital Model

M. Seya, M. Kohno and S. Nagata, Prog. Theor. Phys. **65**, 204 (2010).

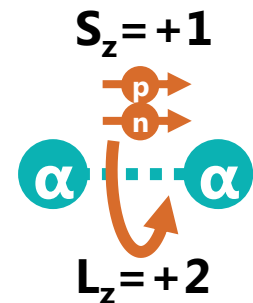
Summary

- $N=Z=\text{odd}$ 核を取り扱う手法として
アイソスピン射影後変分を行うAMDを開発した
 - » コアに近い状態でのpn対の運動をうまく記述する
 - » pn対のspin状態をアイソスピンを介して操作
 - » コア自身のクラスター形成を記述する
- ホウ素10原子核に適用した
 - » 基底状態(3_1^+0)ではpn対のspinと軌道運動が揃う
 - » 1_1^+0 状態では $T=0$ pn対が形成されるが $L=0$
 - » 1_2^+0 状態ではコアの運動とpn対のspinが結合
 - » 0_1^+1 状態は 1_1^+0 状態のspinパートナーであり
pn対のspin・アイソスピン状態を除いて
空間構造が似ている

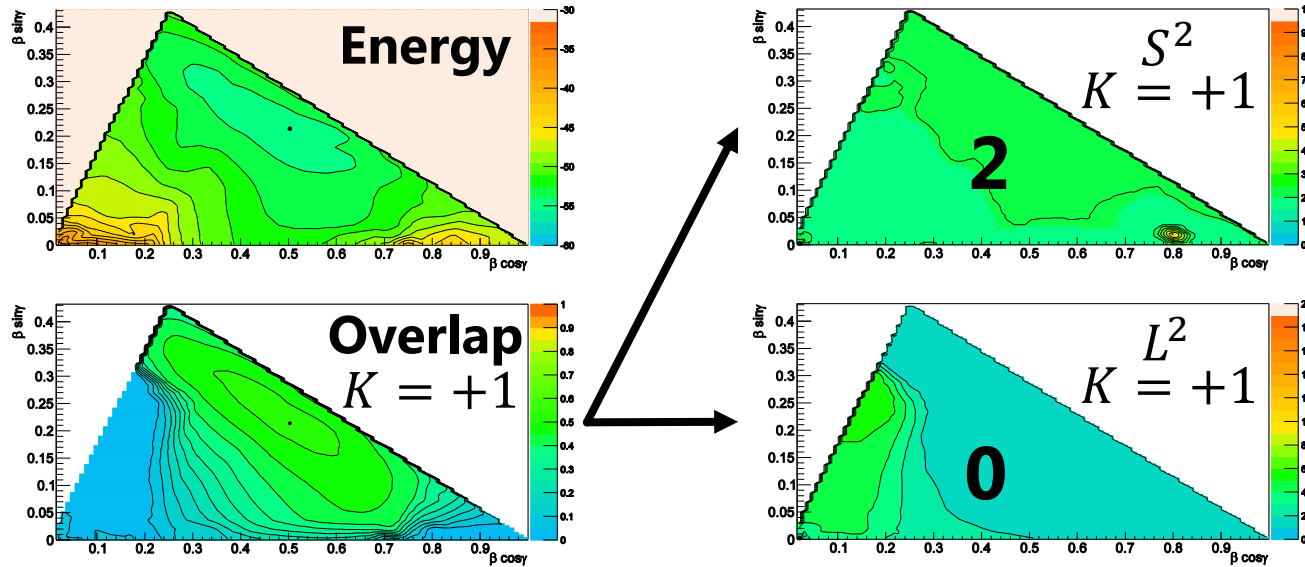
Assign(3_1^+0)



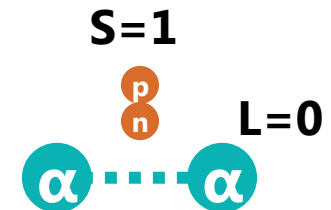
- 3_1^+0 状態のエネルギー表面は $K=3$ 状態のエネルギー表面にほぼ一致
- $K=3$ 状態は pn 対のスピンスピン $S_z=1$ が pn 対の軌道運動 $L_z=2$ と揃うことで形成
- この状態が、強いスピンスピン軌道力を受けることで安定化する



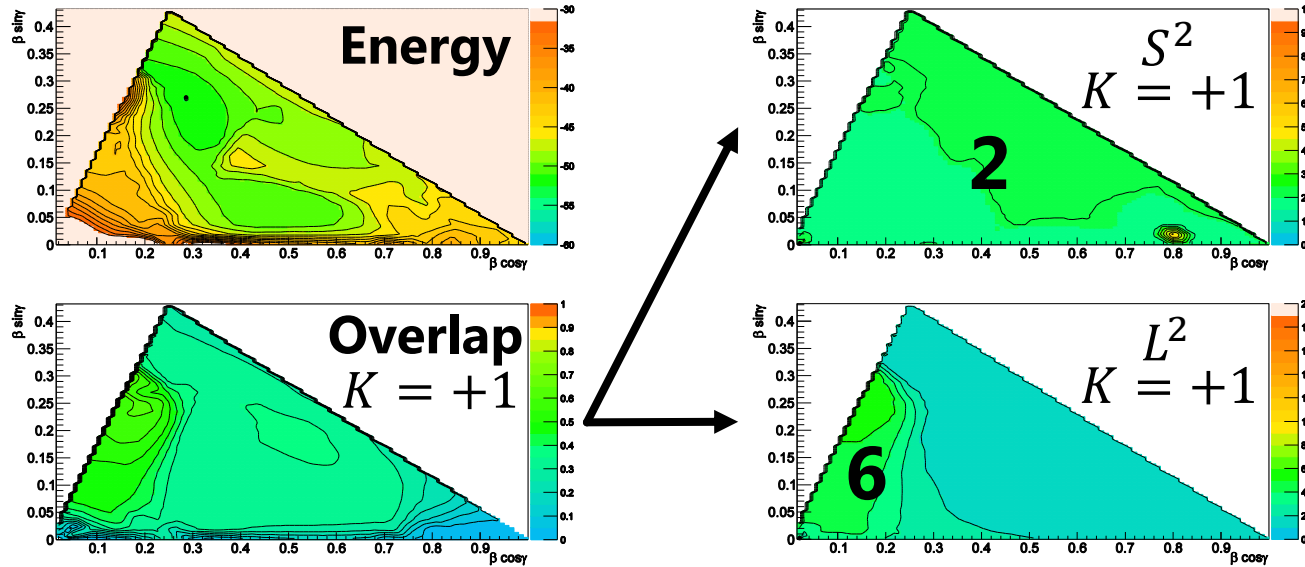
Assign(1_1^+0)



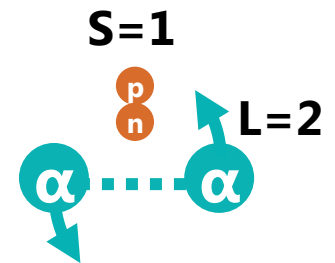
- エネルギー表面の最小点に overlap の最大点が一致.
- 1 Slater の結果では $2\alpha + pn$ が形成.
- 軌道角運動量は $L^2=0$, スピンは $S^2=2$.



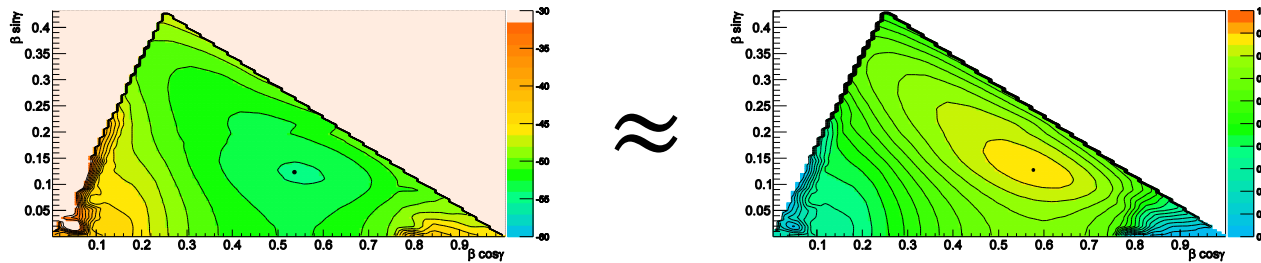
Assign(1_2^+0)



- スピンは $S^2=2$, 軌道角運動量は $L^2=6$ で
軌道角運動量は 2α の回転運動に由来
 » pn 対が運動した状態は 3_1^+0 状態



Assign(0_1^+1)



- エネルギー表面の最小点に overlap の最大点が一致.
- 1 Slater の結果では $2\alpha + pn$ が形成.
- 軌道角運動量は $L^2=0$, スピンは $S^2=0$.

