

# $sd$ 及び $pf$ 殻領域における 超変形状態とクラスター相関

～ $^{33-36}\text{S}$  同位体の超変形状態の安定性と  $^{16}\text{O}$ - $^{16}\text{O}$  分子軌道～

谷口 億宇

筑波大学



計算科学研究センター

Center for Computational Sciences

平成 25 年 7 月 26-27 日

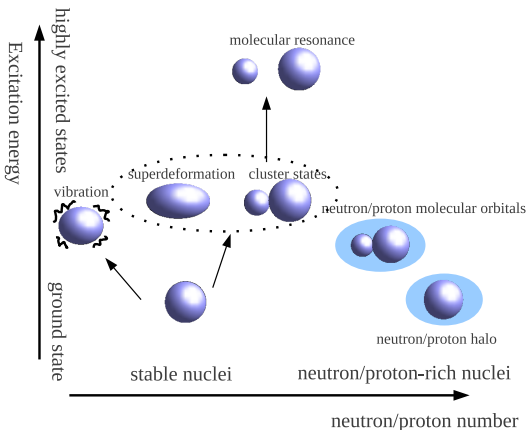
KGU 関内メディアセンター

RCNP 研究会

核子・ハイペロン多体系におけるクラスター現象

# Introduction

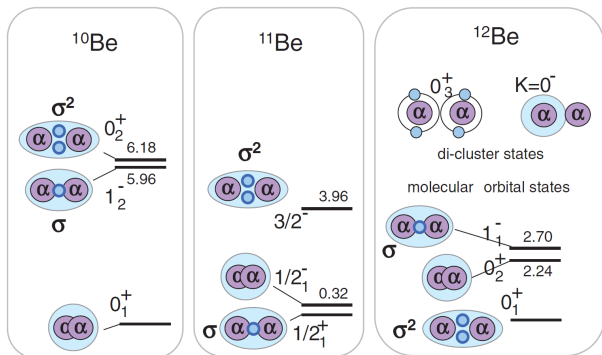
## Drastic changes of nuclear structure



- Clustering and deformations are typical drastic structure changes.
- Cluster correlations in largely deformed states.

# Introduction

## Clustering in Be isotopes



[Y. Kanada-En'yo, M. Kimura, and A. Ono, PTEP 01A202 (2012)]

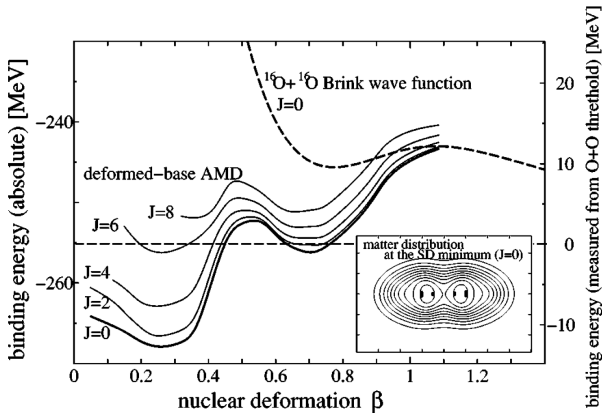
- $^8\text{Be} = 2\alpha$
- $\alpha + \alpha + \text{neutrons}$  structures are developed in Be isotopes.

# Introduction

$^{16}\text{O}$ - $^{16}\text{O}$  correlations in SD states in  $^{32}\text{S}$

- Existence of superdeformed states that contain  $^{16}\text{O}$ - $^{16}\text{O}$  cluster structure components in  $^{32}\text{S}$  is predicted.

[S. Ohkubo et al, PRC66, 021301(R) (2002), M. Kimura et al, PRC69, 051304(R) (2004)]

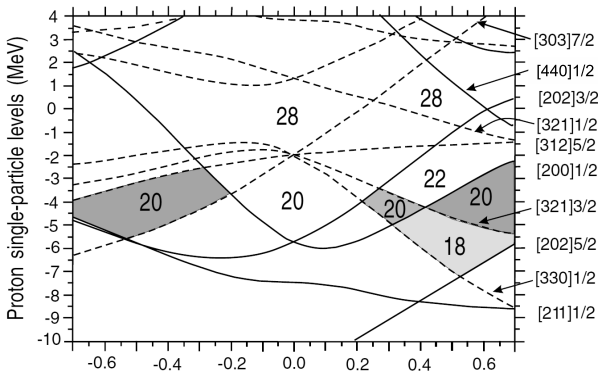


[M. Kimura and H. Horiuchi, PRC69, 051304(R) (2004)]

S 同位体の超変形状態で  $^{16}\text{O}$ - $^{16}\text{O}$  芯構造が発達する?

# Introduction

## Nilsson 軌道



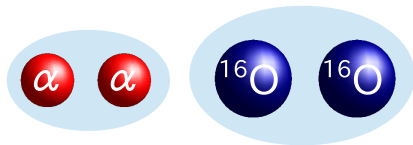
[original: E. Ideguchi et al, PRL87, 222501 (2001)]

- 変形状態の理解には Nilsson 軌道が便利。
- $Z = 16$  は超変形魔法数。
- Nilsson 軌道と分子軌道の関係は？

### Aim

$^{33-36}\text{S}$  の超変形状態について、Nilsson 軌道と  $^{16}\text{O}-^{16}\text{O}$  + 分子軌道の両面から理解する。

- Candidates of strong E2 transitions from a negative-parity state has been observed in  $^{35}\text{S}$ . (Ideguchi et al, JPS meeting)  
⇒ Negative-parity superdeformed states?
- S isotopes are analogues of Be isotopes because  $\alpha$  and  $^{16}\text{O}$  are double-closed shell nuclei.



# Framework

Wave functions: deformed-basis antisymmetrized molecular dynamics (AMD)

$$|\Phi\rangle = \hat{A} |\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_A\rangle.$$

$\varphi$  = single-particle wave function: triaxially deformed Gaussian wave packet

Energy variation imposing constraints (PBV: parity, PAV: angular momentum)

$$\delta \langle \Phi^\pi | (\hat{H} + V_{\text{cnst}}) | \Phi^\pi \rangle = 0$$

effective interaction  $\hat{H}$ : Gogny D1S

constraint  $V_{\text{cnst}}$ :

quadrupole deformation parameter  $\beta$

共役勾配法。

HF 一粒子軌道

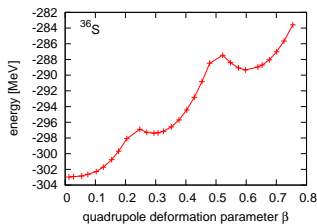
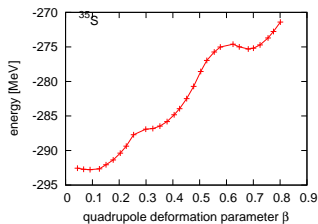
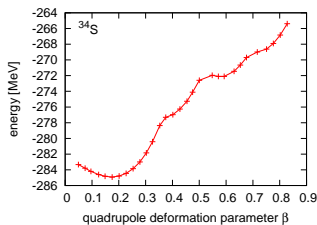
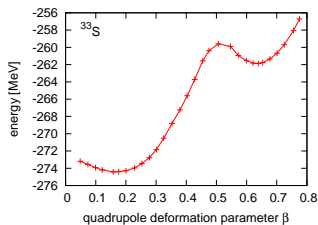
一粒子ハミルトニアンを対角化する直交関数。

$$\tilde{\varphi}_i = \sum_j \varphi_j c_{ji},$$

$$\langle \tilde{\varphi}_i | \tilde{\varphi}_j \rangle = \delta_{ij},$$

$$\langle \tilde{\varphi}_i | \hat{t} | \tilde{\varphi}_j \rangle + \sum_k \langle \tilde{\varphi}_i \tilde{\varphi}_k | \hat{v} (|\tilde{\varphi}_j \tilde{\varphi}_k\rangle - |\tilde{\varphi}_k \tilde{\varphi}_j\rangle) = \varepsilon_i \delta_{ij}.$$

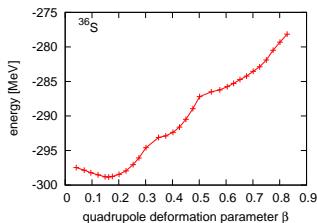
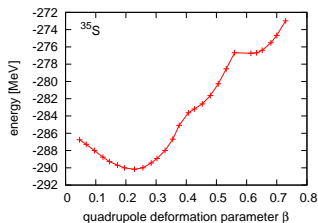
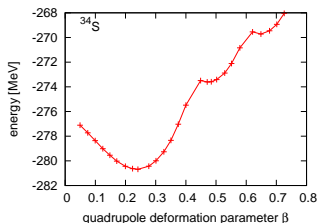
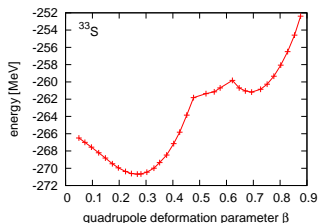
# $^{33-36}\text{S}$ の正パリティの $\beta$ -エネルギー面



- $\beta = 0.6-0.7$  に極小点がある。
- 超変形状態が存在することを示唆。



# $^{33-36}\text{S}$ の負パリティの $\beta$ -エネルギー面

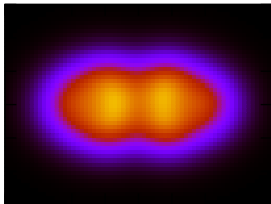


- $^{33-35}\text{S}$  には  $\beta = 0.6-0.7$  に極小点があり、超変形状態が存在することを示唆。
- $^{36}\text{S}$  の超変形領域に極小点は存在しない。

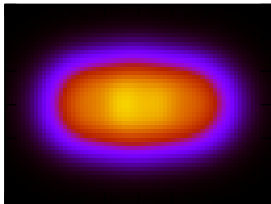
# 超変形状態の密度分布

$^{36}\text{S}$  の正パリティの超変形極小点

陽子



中性子

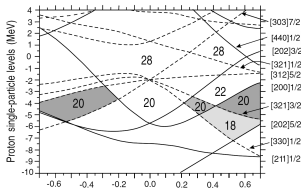
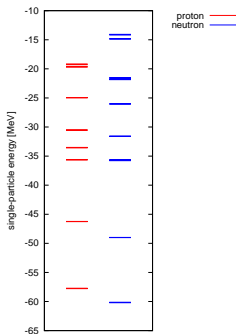


- 陽子の密度分布に  $^{32}\text{S}$  の超変形状態と同じ括れが有る。
- $^{16}\text{O}$ - $^{16}\text{O}$  芯構造を示唆。
- $^{33}$ - $^{35}\text{S}$  も同様。

# 超変形状態のHF 一粒子軌道

$^{36}\text{S}$  の正パリティの超変形極小点

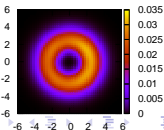
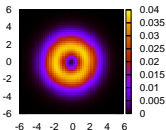
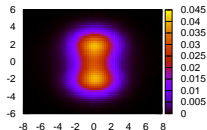
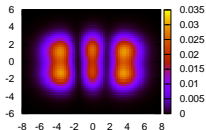
- 中性子に2種類のエネルギーの高い軌道がある (それぞれ2軌道が縮退)。
- それぞれ、Nilsson 軌道の表示で [321] と [202]。



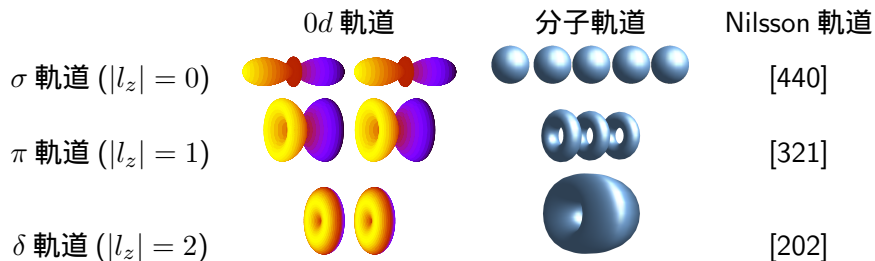
密度分布

[321]

[202]



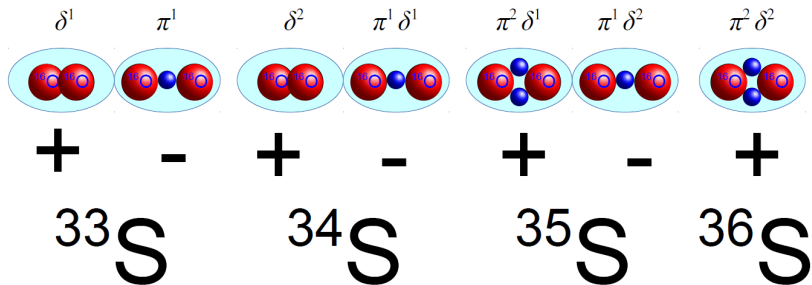
# Nilsson 軌道と $^{16}\text{O}$ - $^{16}\text{O}$ 周りの分子軌道との対応



- $^{16}\text{O}$  の外側の  $0d$  軌道から作られる  $\sigma$ ,  $\pi$ ,  $\delta$  分子軌道と、[440], [321], [202] Nilsson 軌道がそれぞれ対応する。
- 対称軸方向に節のある  $\sigma$  及び  $\pi$  軌道がクラスタ間距離を発達させる。

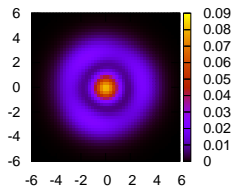
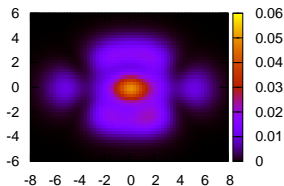
# S 同位体の超変形状態の配位

●  $\pi$  軌道

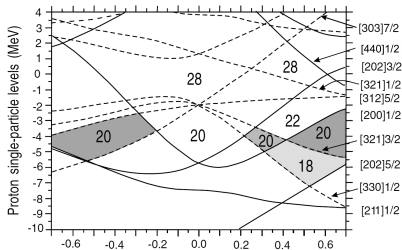


- $^{36}\text{S}$  の負パリティ以外は  $^{16}\text{O}-^{16}\text{O} + \pi$  または  $\delta$  分子軌道と解釈される。
- それらの配位は Nilsson 軌道の観点とも一致 ( $\pi = [321], \delta = [202]$ )。

# $^{36}\text{S}$ の負パリティ超変形状態の不安定性

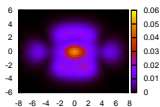


- 中性子の配位は  $[202]^2[321]^1[200]^1$ 。
- $[200]$  軌道は分子軌道に現れない。  
 $\Rightarrow$   $^{16}\text{O}$ - $^{16}\text{O}$  芯構造を作りたがる  $^{32}\text{S}$  芯と競合。

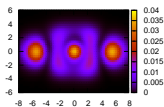


# $^{36}\text{S}$ の負パリティ変形領域の配位の変化

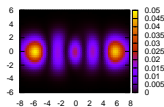
$\beta \sim 0.6$



$\beta \sim 0.7$

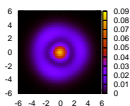


$\beta \sim 0.8$

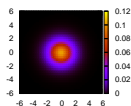
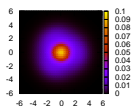


→

→



[200]



[440]

- 変形が大きくなると [200] 軌道は [440] 軌道 ( $\sigma$  軌道) に変化。

# まとめ

- 反対称化分子動力学を用いて、 $^{33-36}\text{S}$  の超変形状態の研究をした。
- 正負パリティともに変形すると  $^{16}\text{O}-^{16}\text{O}$  芯が現れた。
- Nilsson 軌道が  $^{16}\text{O}-^{16}\text{O}$  芯まわりの分子軌道 ( $\pi$  及び  $\delta$  軌道) と一致するときに超変形状態は安定化される ( $^{36}\text{S}$  の負パリティ以外)。
- $N \neq Z$  核の変形状態のクラスタ構造の発達には、分子軌道と Nilsson 軌道がどちらも重要。