

軽い中性子過剰核の構造・反応の統一的研究

— $^{10,12}\text{Be} = \alpha + \alpha + \text{XN}$ 系の分析現状と将来的な展望—

伊藤 誠

理化学研究所 仁科加速器研究センター 原子核理論研究室

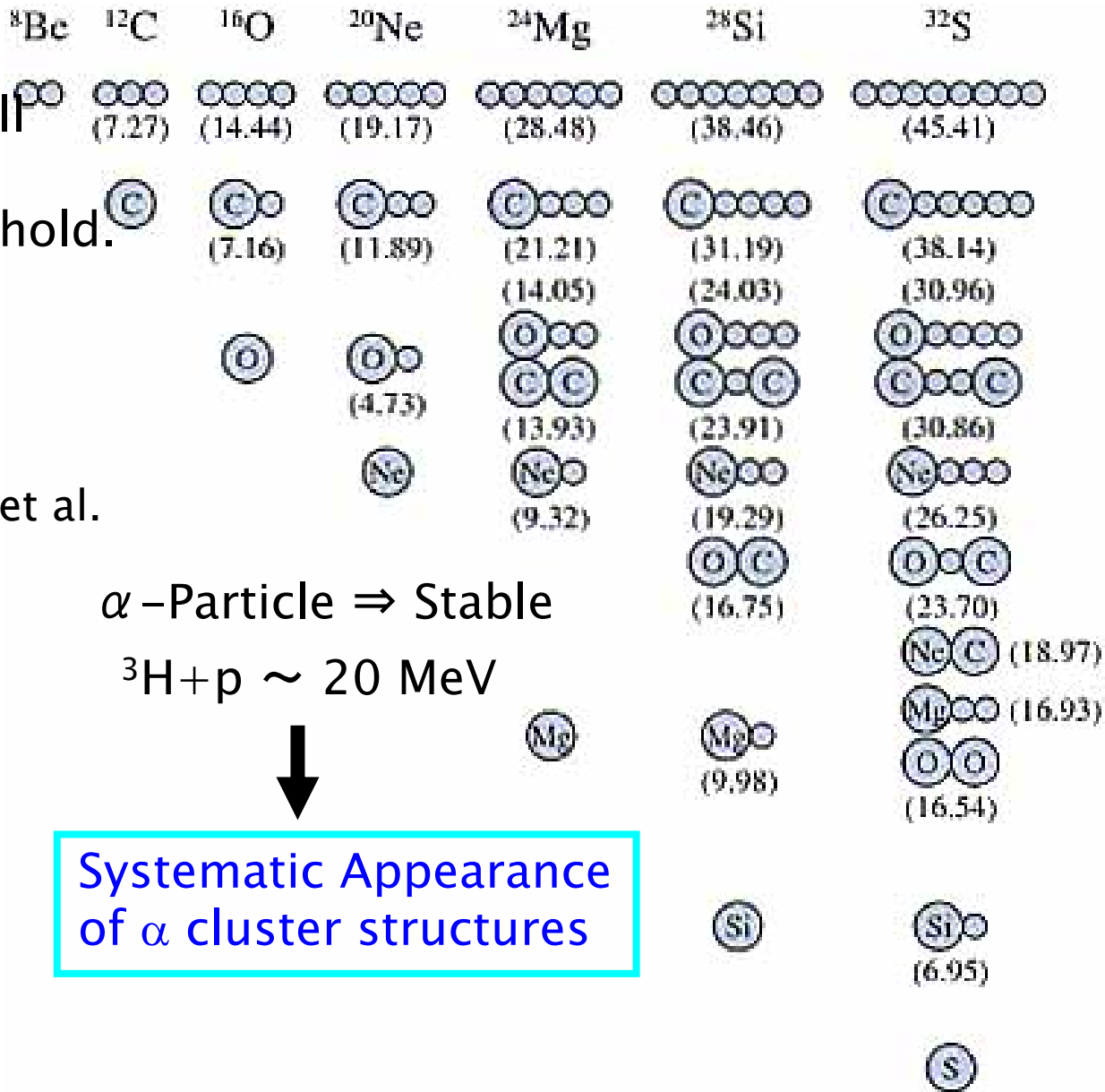
- I. 導入と理論的枠組み
- II. ^{12}Be 系への適用
構造転移と $\alpha + ^8\text{He}$ 反応の統一的处理
- III. $^{10,12}\text{Be}$ における単極遷移
- VI. まとめと今後の展望

Cluster structures in 4N nuclei

IKEDA Diagram

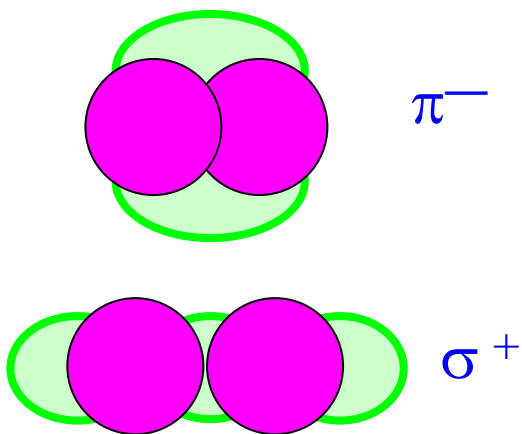
Ikeda's Threshold rules

Molecular structures will appear close to the respective cluster threshold.



Be isotopes

Molecular Orbital : Itagaki et al.



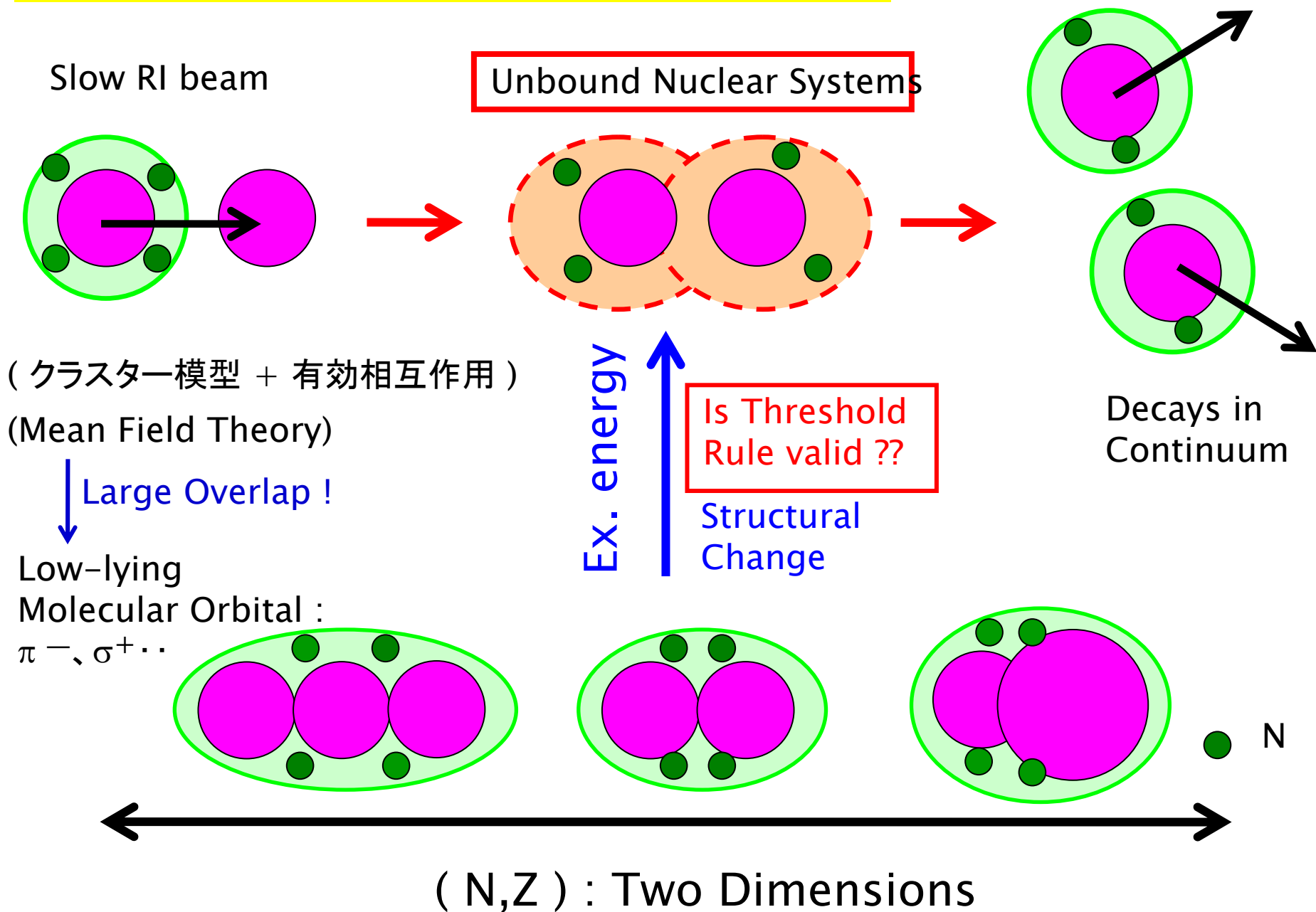
α -Particle \Rightarrow Stable

${}^3\text{H} + \text{p} \sim 20 \text{ MeV}$



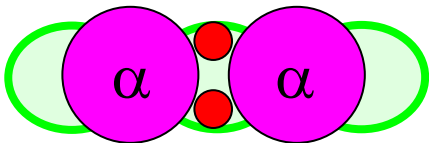
Systematic Appearance of α cluster structures

Studies on Exotic Nuclear Systems in (E_x, N, Z, J) Space



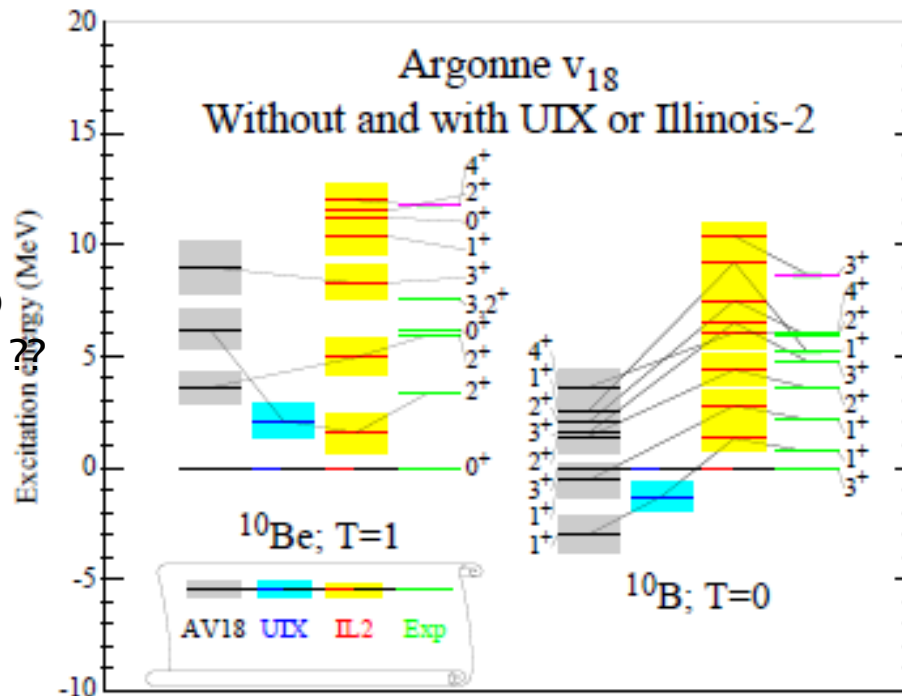
ORDERING OF STATES IN ^{10}Be AND ^{10}B

- NN potentials with no NNN predict 1^+ ground state for ^{10}B
 - Illinois-2 NNN potential fixes this and gives correct 3^+ ground state
- First two excited states in ^{10}Be are both 2^+
 - VMC and GFMC calculations predict large positive and negative quadrupole moments
 - VMC also predicts large $B(E2)$ to the g.s. for only one of them
 - GFMC calculations predict that UIX or Illinois-2 changes the ordering of the states



$^{10}\text{Be}(0_2^+)$

$(\sigma^+)^2 \sim$ Large overlap
with Nilsson?



$^{10}\text{Be}(0_2^+)$ is
still missing !!

No-core shell
model is also
similar situation.

Cluster states in excited states are still impossible to describe by ab-initio calcula

^{12}Be (experiments) (Important system before proceeding systematic study)

Low-lying (Breaking of N=8 Magicity)

High-lying states (Atomic)

$^{11}\text{Be}+n$: 3.17MeV

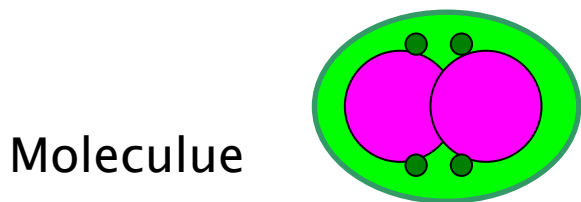
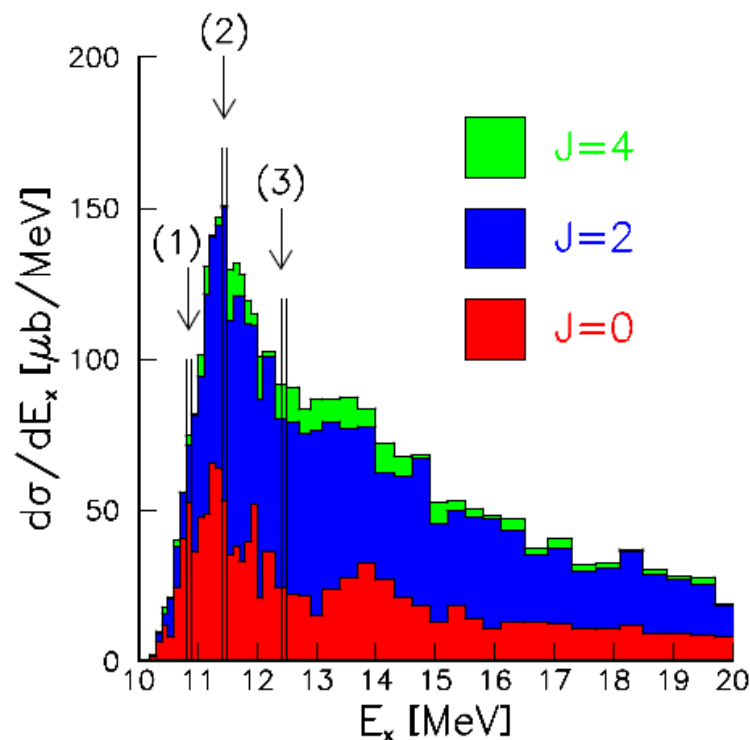
| | | |
|---|-------------|-------|
| $E(\text{sd-0p})$ $\sim 1\text{MeV}$ | <u>2.70</u> | 1^- |
| | <u>2.24</u> | 0^+ |
| | <u>2.10</u> | 2^+ |

Def. Length $\sim 2\text{fm}$

Scattering of
 $^8\text{He} + ^4\text{He} (= ^{12}\text{Be})$
(Exp. at GANIL)

g.s. 0^+

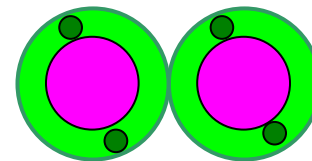
$^{12}\text{Be} + \alpha \rightarrow (^6\text{He} + ^6\text{He}) + \alpha$: A. Saito et al



Structural changes

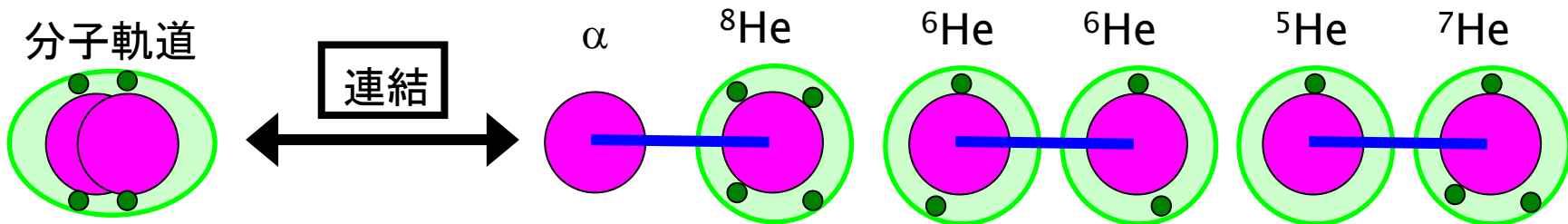


Monopole Transition



$^6\text{He} + ^6\text{He}$ (Atomic)

$$^{12}\text{Be} = \alpha + \alpha + 4\text{N}$$



分子軌道とHeクラスター状態の融合模型

$$\Psi = c_1 \left[\begin{array}{c} \text{green} \\ \text{green} \\ \text{green} \\ \text{green} \end{array} \right] + c_2 \left[\begin{array}{c} \text{green} \\ \text{green} \\ \text{green} \\ \text{green} \end{array} \right] + c_3 \left[\begin{array}{c} \text{green} \\ \text{green} \\ \text{green} \\ \text{green} \end{array} \right] + \dots$$

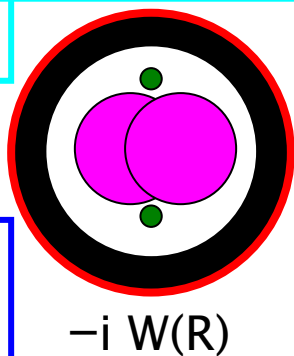
$0P_i$ ($i=x,y,z$) 原子軌道状態のチャンネル結合法 S, C_i : 変分パラメータ

吸収境界条件

散乱境界条件

遷移密度

共鳴の崩壊幅
PTP113 (05)



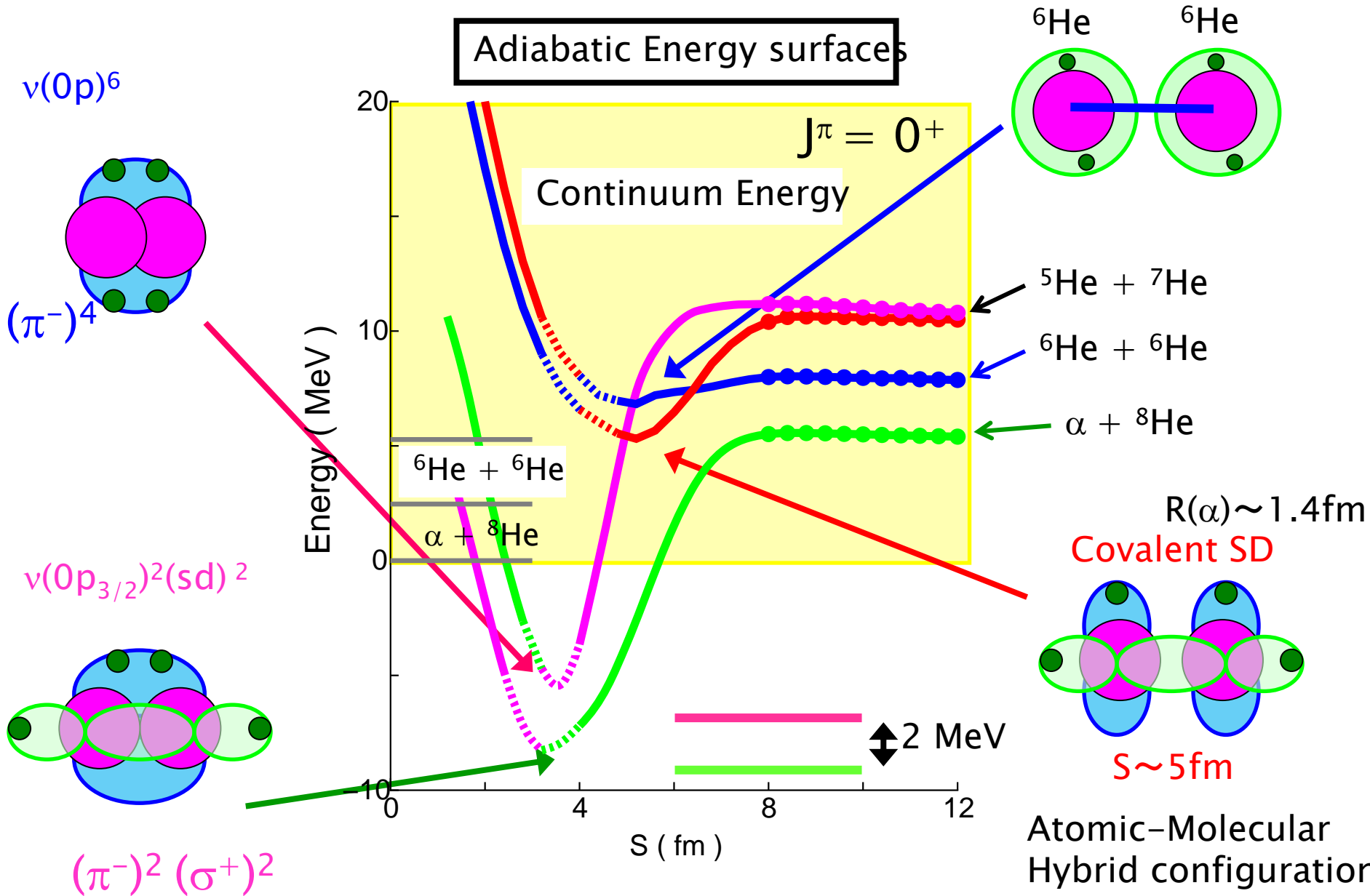
$\alpha + ^8\text{He}$ 反応断面積
PRC78(R) (08)

$$\langle \Psi_f | \rho | \Psi_i \rangle$$

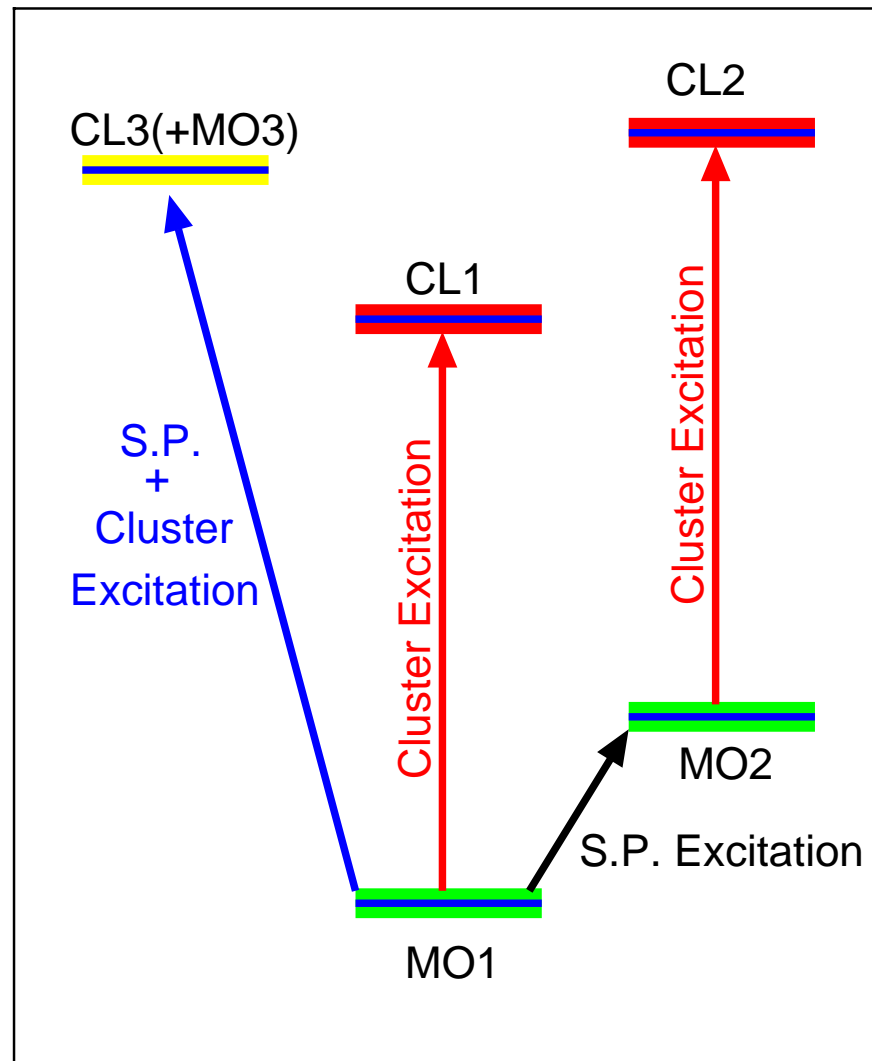
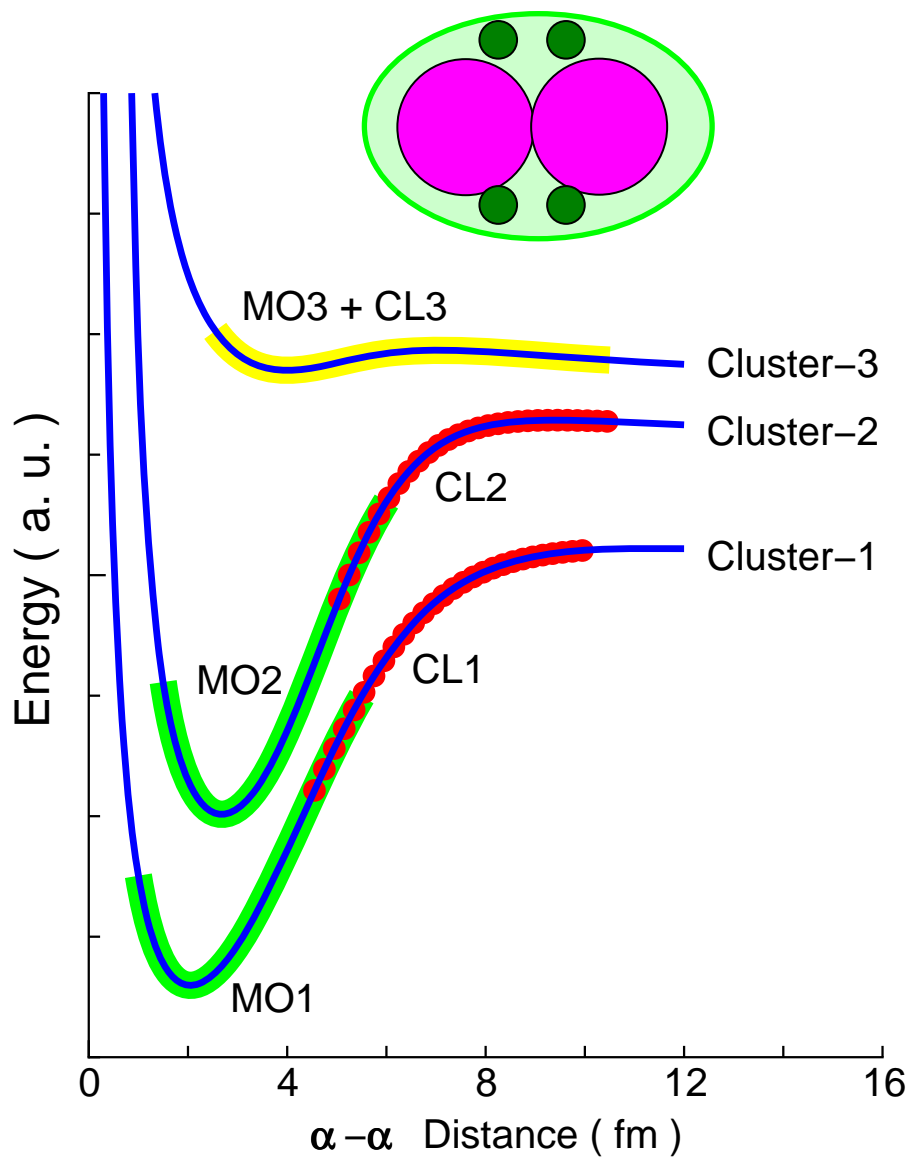
$^{12}\text{Be}(0_1^+) \rightarrow ^{12}\text{Be}(0_{ex}^+)$
単極遷移強度

Energy surfaces in $^{12}\text{Be} = \alpha + \alpha + 4N$

V_{NN} : Volkov No.2+G3RS

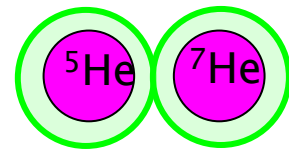


Schematic picture of excitation modes

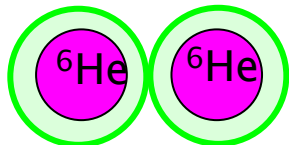


Excitation modes in ^{12}Be

α - α REL. + S.P. of 4N

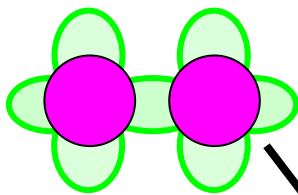


Excitation from the 0_2^+ state.

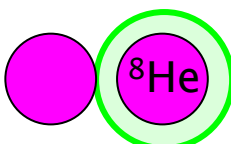


Cluster + S.P. Excitation

Covalent SD
($0p_R$)($0p_L$) (σ^+)²

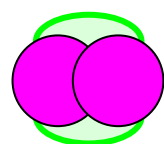


Single particle Excitation

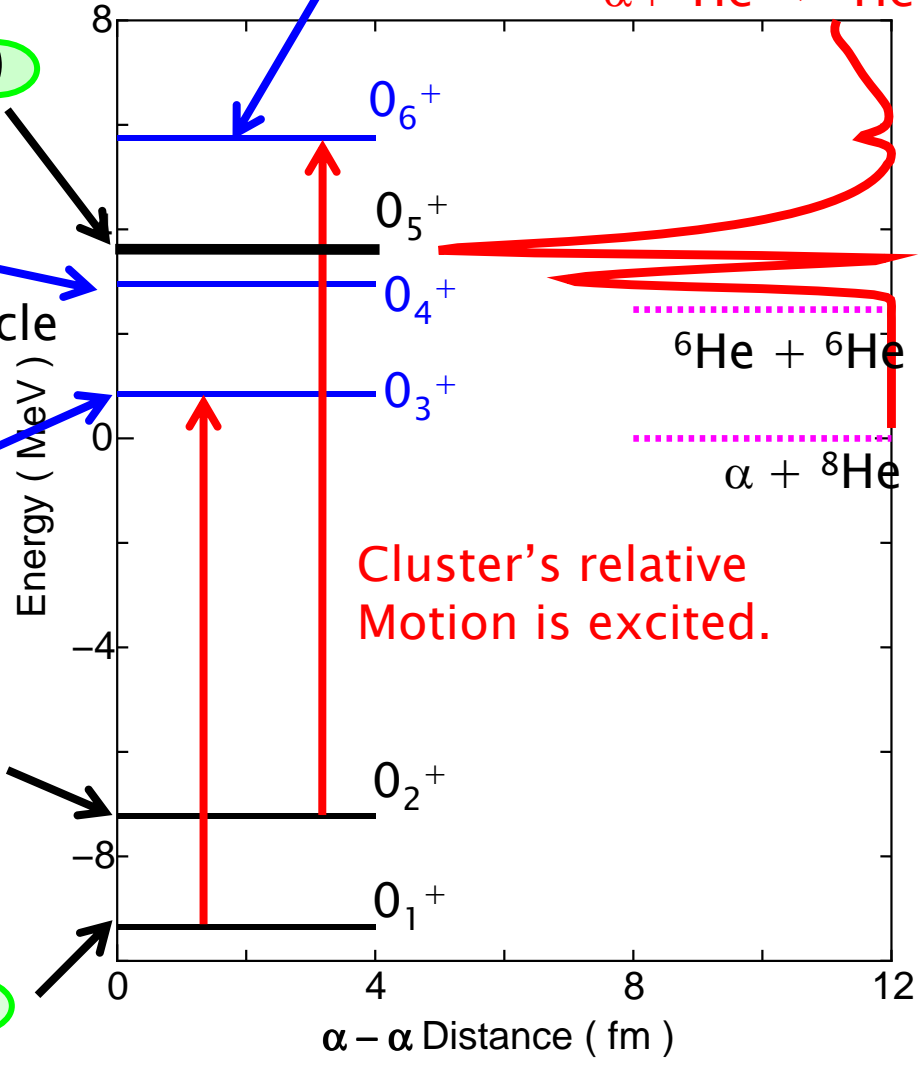
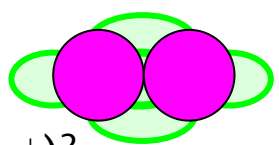


Excitation from the 0_1^+ state.

(π^-)²(π^-)²



(π^-)² (σ^+)²



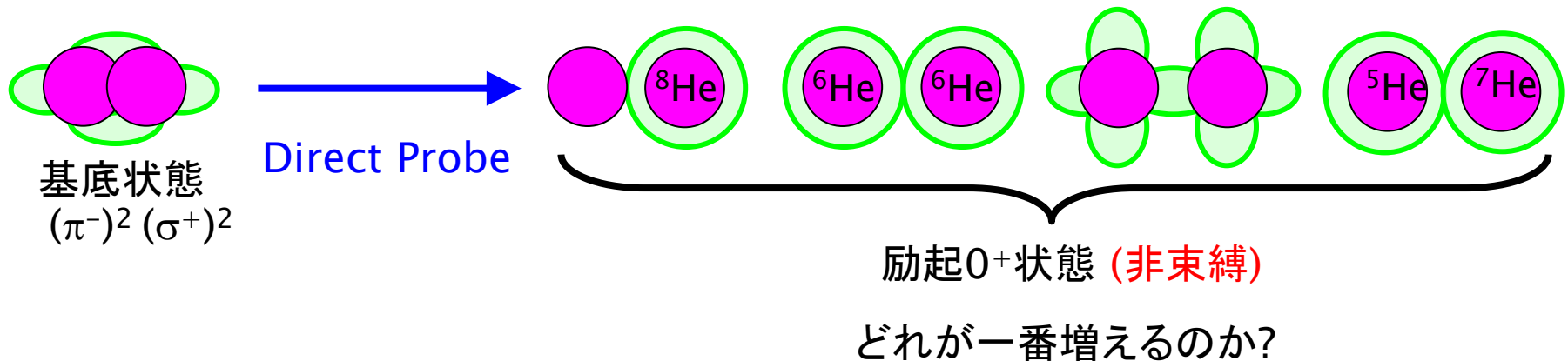
クラスター構造と単極遷移の増大現象 (N~Z核、山田他、PTP)

クラスター構造の発達 ⇒ 低励起領域の単極遷移の増大をもたらす。(Ex < 10 MeV)

$$M(E0, IS) = \left\langle 0_1^+ \left| \sum_{i=1}^A r_i^2 \right| 0_{ex}^+ \right\rangle \longleftarrow \text{Cluster structure}$$

¹²Beの構造に関する結果

中性子過剰核、¹²Beでは多様なクラスター構造が発達する。



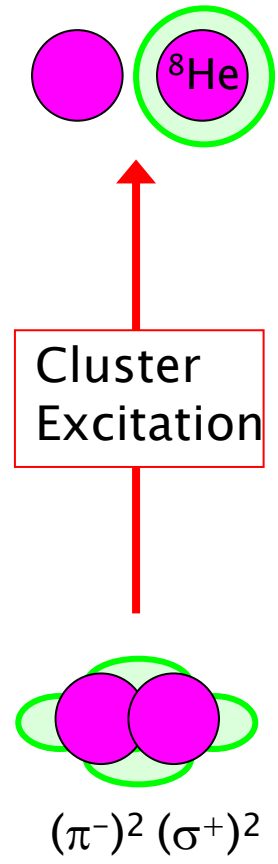
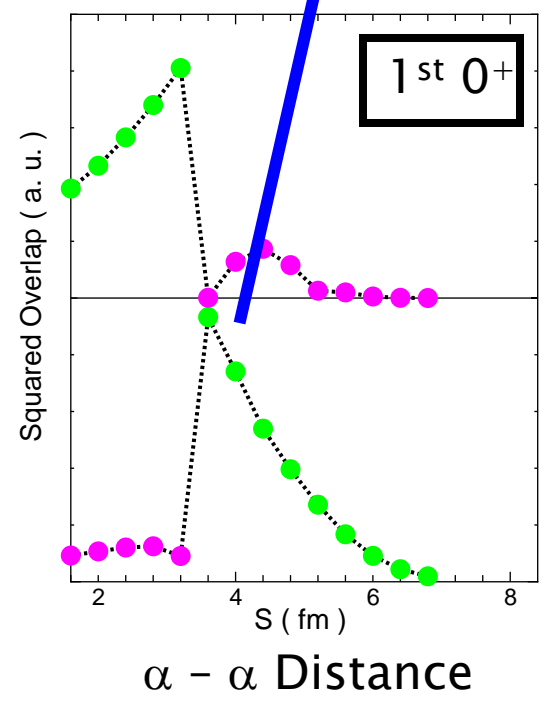
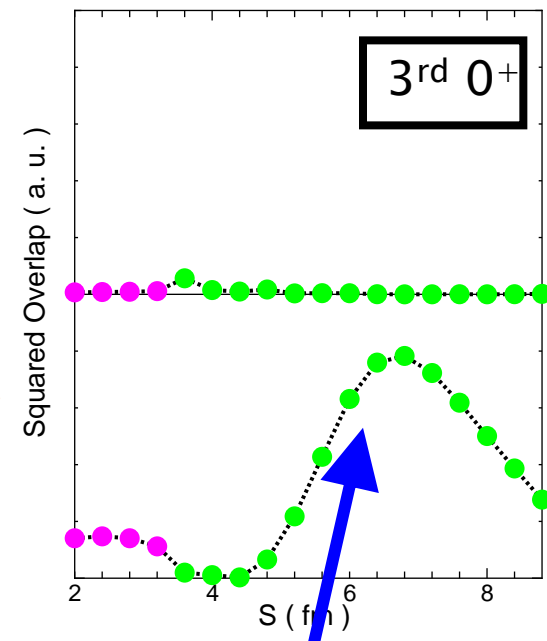
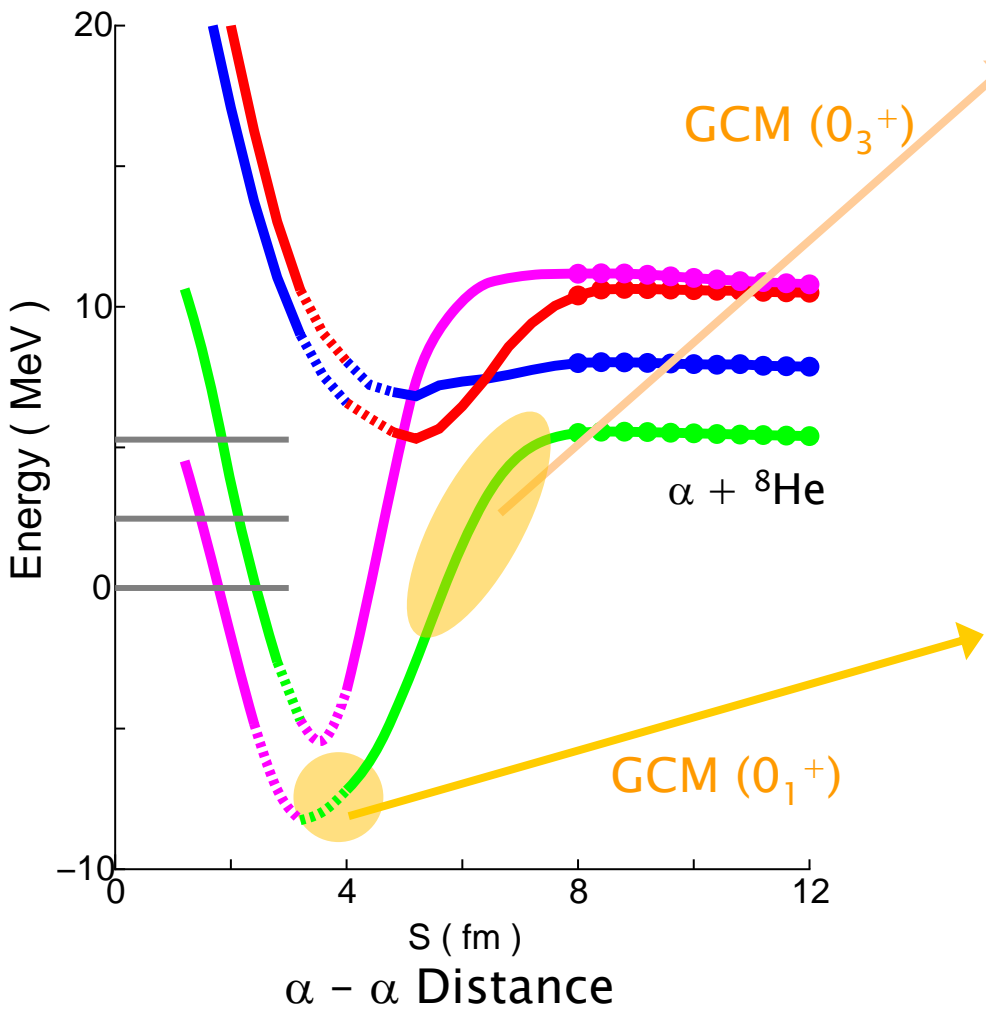
^{10,12}Beにおける単極遷移の分析

単極遷移増大の条件を断熱エネルギー一曲線の構造から議論する。

Adiabatic energy surfaces in ^{12}Be

V_{NN} : Volkov No.2+G3RS

Adiabatic Energy surfaces

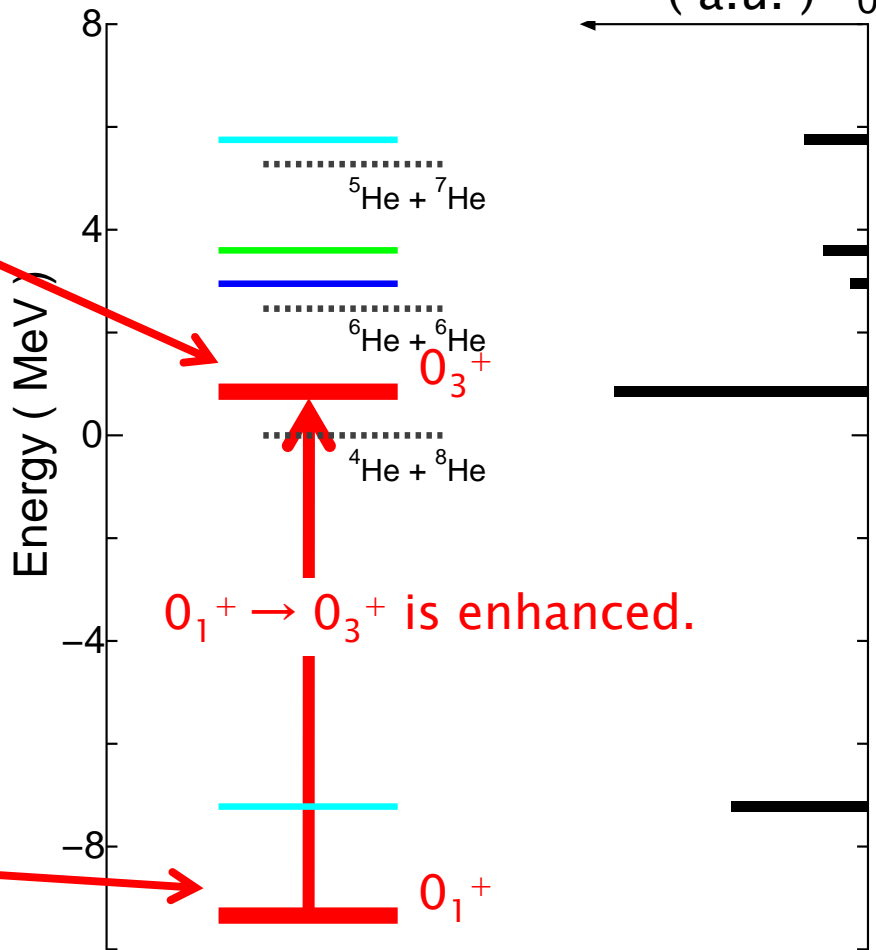
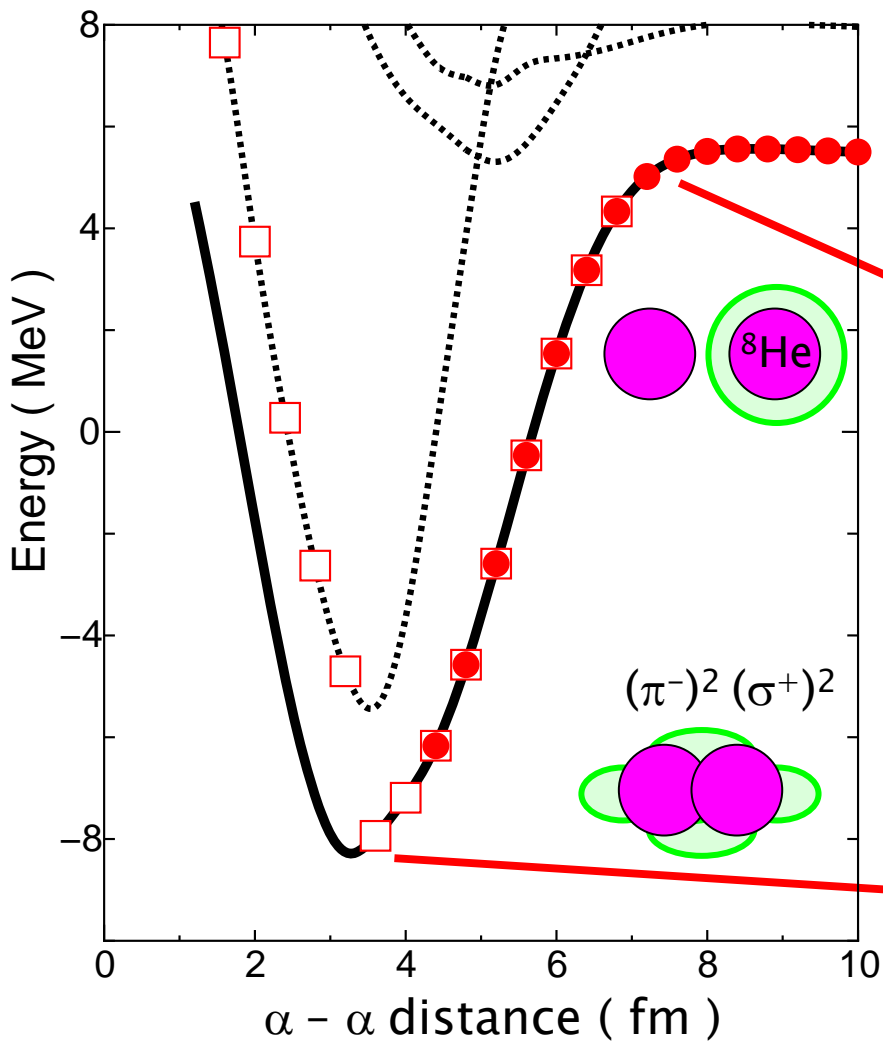


Monopole transition of ^{12}Be

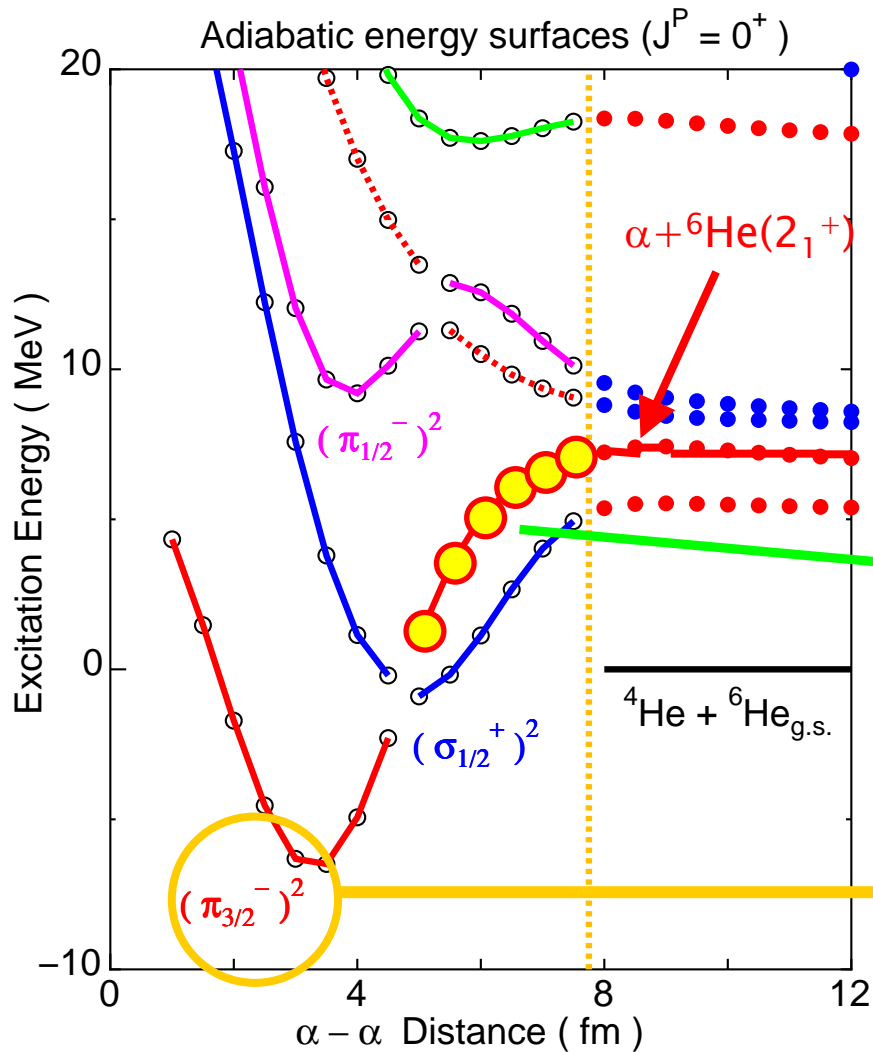
Adiabatic connection enhances the Monopole transition !

$$M(E0, IS) = \left\langle 0_f^+ \left| \sum_{i=1}^A r_i^2 \right| 0_1^+ \right\rangle$$

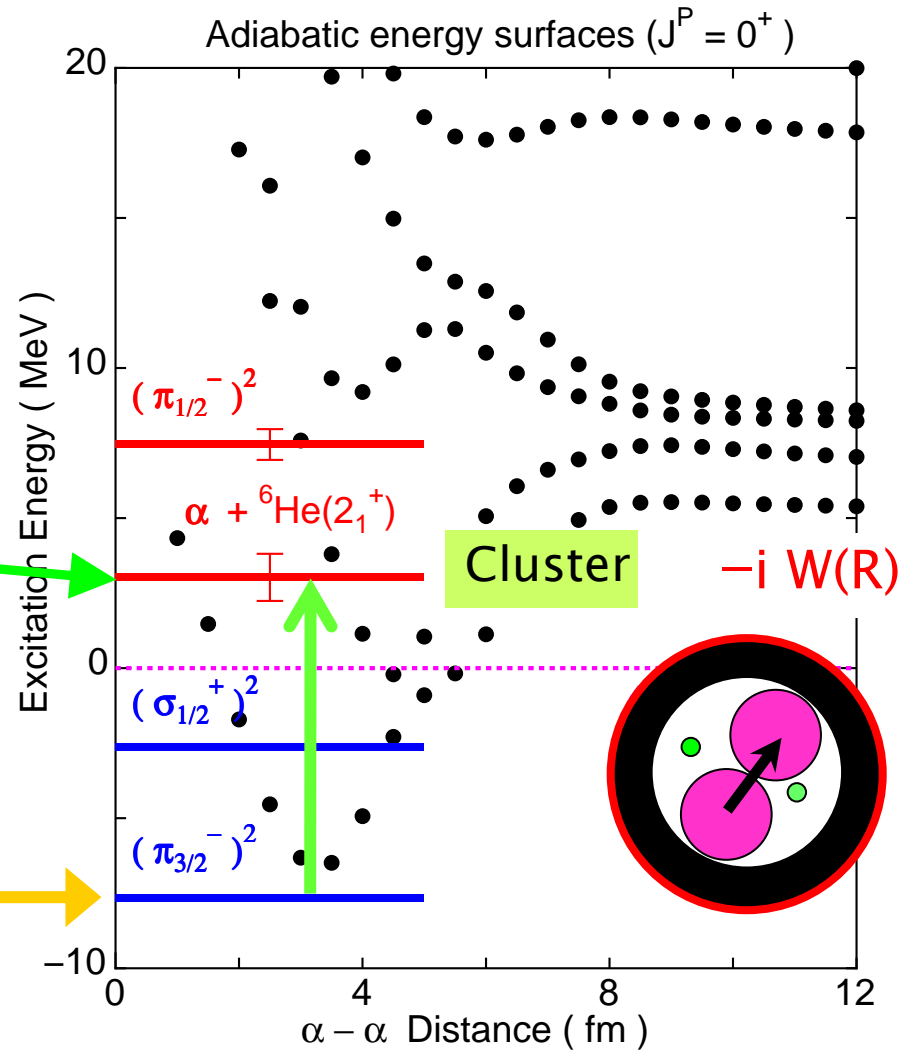
$$|M(E0, IS)|^2$$



Adiabatic surfaces ($J^\pi = 0^+$)



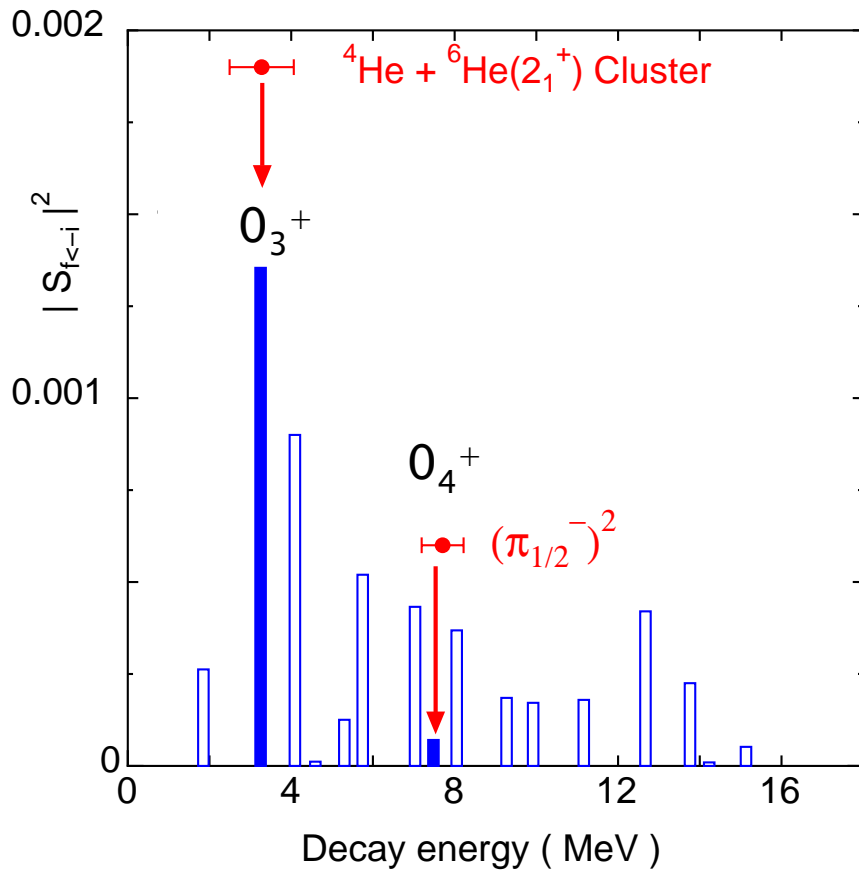
Energy spectra ($J^\pi = 0^+$)



Nuclea breakup : $^{10}\text{Be} + ^{12}\text{C} \Rightarrow ^{10}\text{Be}(0^+ \text{ conti.}) + ^{12}\text{C}$ (CDCC)

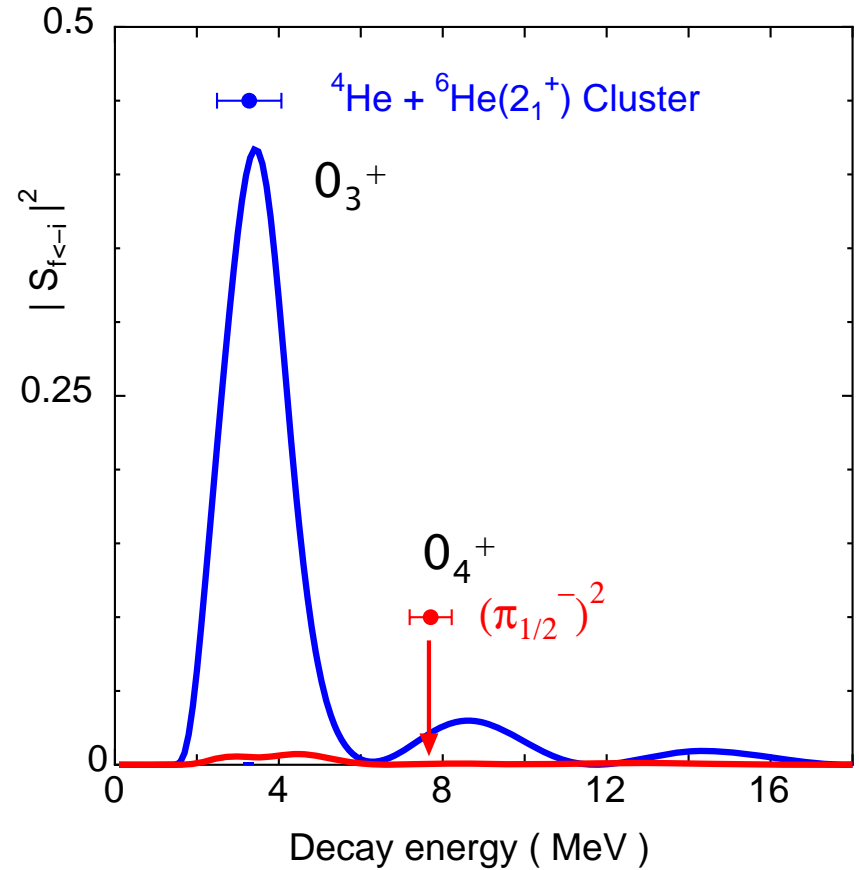
Smatrix (Conti. \leftarrow G.S.)

S-matrices to continuums



Smatrix (Poles \leftarrow G.S.)

S-matrices to Poles



数値計算の本質的に新しい点

PRL100 (2008), PRC78(R) (2008)

二中心系の構造・散乱問題について大規模チャンネル結合GCM計算を行った。

本計算のチャンネル数: 38ch ⇔ これまでの計算: 数チャンネル

数値計算から得られた結果と新しい描像

1. 励起モードは、基底状態が内包する自由度の活性化により形成される。
⇒ 基底状態には、(活性化しうる) α クラスタと一粒子運動の自由度が共存していると考えるべきである。(中性子過剰系では初めての結果。)
2. 基底状態と断熱的に連結する励起状態への単極遷移が最も増大する。
⇒ 断熱的に連結する状態は、基底状態からのクラスタ相対運動の励起モードに対応している。

今後の展開

(Cluster Cores + Neutrons)

クラスタが安定核で確立された系の同位体: Be、Ne、O同位体...

⇒ 連続エネルギー領域には、同様な現象が発現するであろう。

現在、系統的な計算を機械的に行うシステムを構築中。