

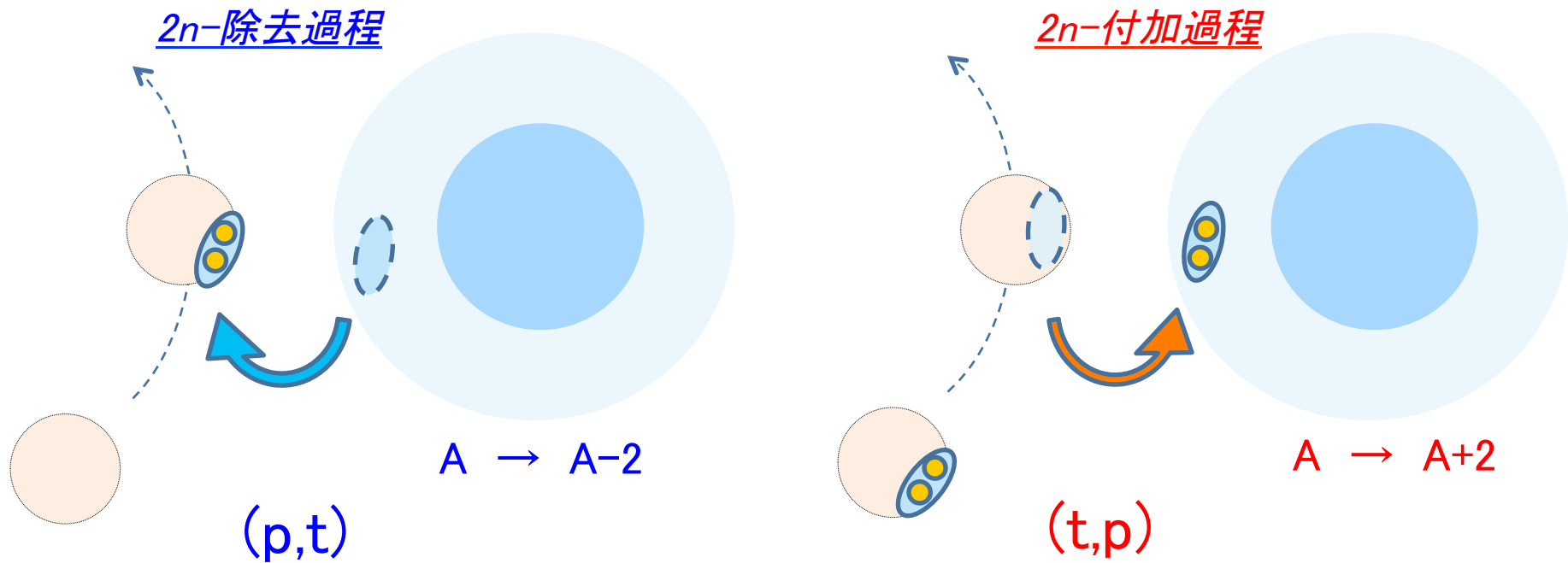
# 中性子過剰核における中性子対移行： 弱束縛配位と集団性

発表者： 下山 裕考

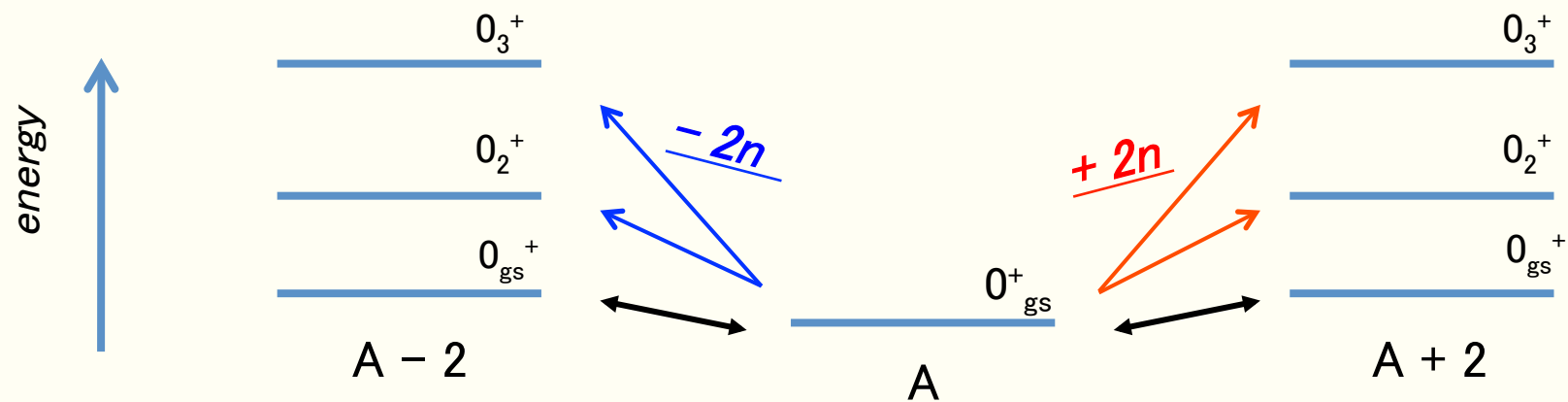
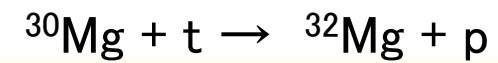
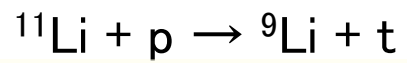
共同研究者： 松尾 正之

新潟大学原子核理論研究室

# 中性子对移行



Example)



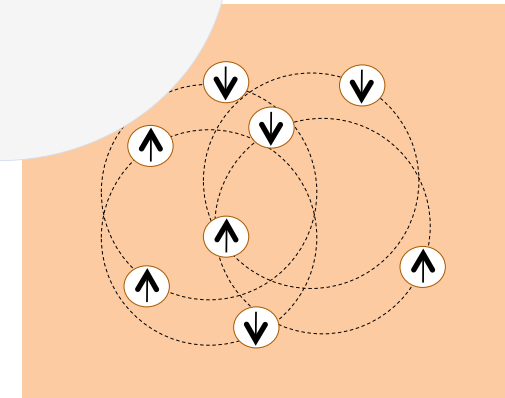
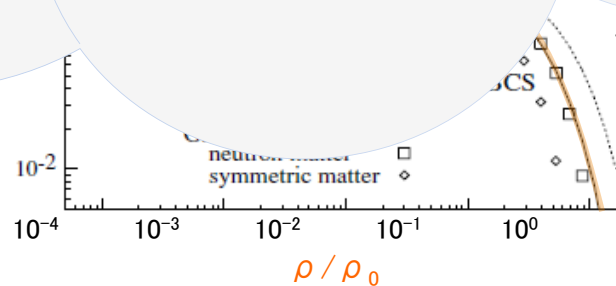
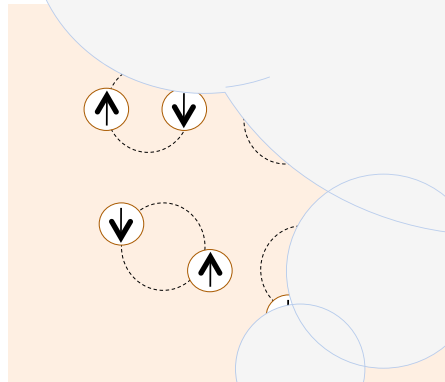
# 中性子過剰核の特異性

低密度

核

## 目的 !!!

中性子対が核表面付近で強結合対相関を示すなら“対”の付加や除去が  
起こりやすくなるだろう!!!



# 対移行の研究背景

## 安定核が対象

( 対相関の性質を探る方法の1つとして研究 )

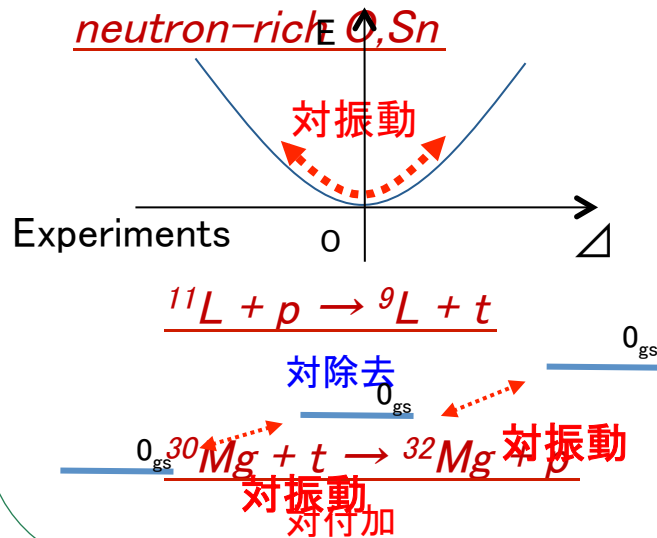
D. R. Bes , et. Al,(1966)

R. A. Broglia , et. al,(1973)

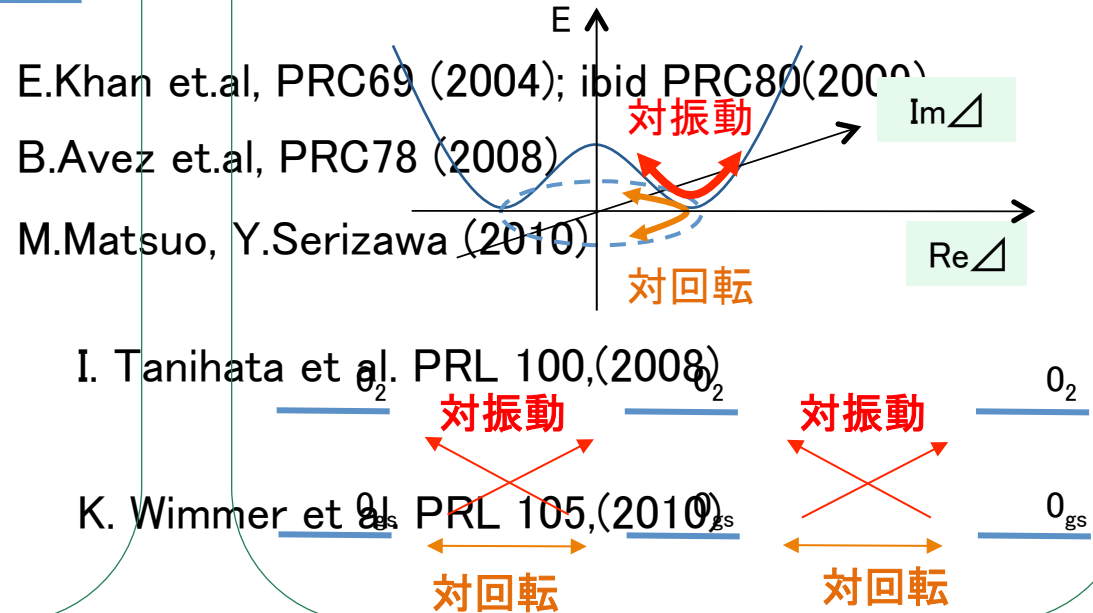
対移行における集団運動として…対回転、対振動

### 不安定核が対象 $\Delta = 0$ の場合

(閉殻 (陽子・中性子の魔法数) 安定核とは異なる性質を不安定核は持っている)

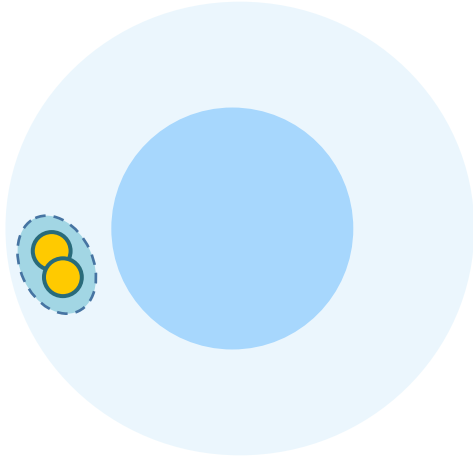


### ペアリングギャップ $\Delta \neq 0$ の場合

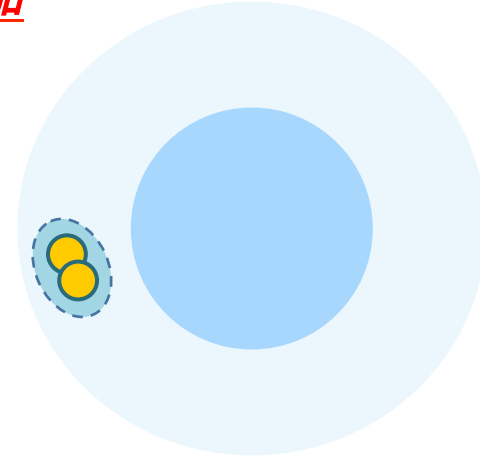


# 対生成・消滅演算子による記述

2n-除去



2n-付加



対除去演算子 / 対生成演算子

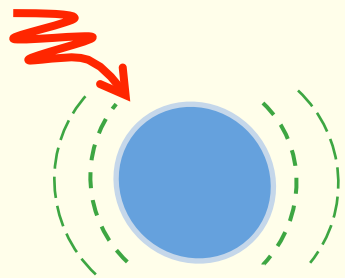
$$P_{00} = \int d\mathbf{r} Y_{00}(\hat{r}) \underline{\psi(\mathbf{r} \downarrow) \psi(\mathbf{r} \uparrow)}$$

$$P_{00}^\dagger = \int d\mathbf{r} Y_{00}(\hat{r}) \underline{\psi^\dagger(\mathbf{r} \downarrow) \psi^\dagger(\mathbf{r} \uparrow)}$$

# 対移行 in QRPA

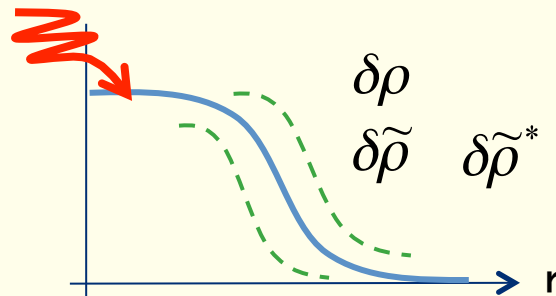
Skyrme Hartree-Fock-Bogoliubov mean-field  
+ continuum Quasiparticle Random Phase Approximation

外場 (微小振動)



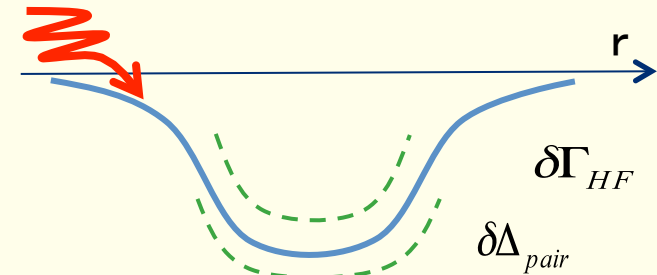
外場による応答

密度



外場による密度の揺らぎ

場



密度の揺らぎによる場の揺らぎ

線形応答方程式

$$\delta\rho_\alpha(\vec{r}, \omega) = \int d^3\vec{r}' R_0^{\alpha\beta}(\vec{r}, \vec{r}', \omega) \left[ \kappa \delta\rho_\gamma(\vec{r}', \omega) + v_\beta^{ext}(\vec{r}', \omega) \right]$$

3つの密度について解く

pair-additive density

$$\delta\tilde{\rho}^*(r, t) = \langle \psi^\dagger(r \downarrow) \psi^\dagger(r \uparrow) \rangle$$

pair-removal density

$$\delta\tilde{\rho}(r, t) = \langle \psi(r \uparrow) \psi(r \downarrow) \rangle$$

particle-hole density

$$\delta\rho(r, t) = \sum \langle \psi^\dagger(r\sigma) \psi(r\sigma) \rangle$$

# 対移行の強度関数 (蛇足)

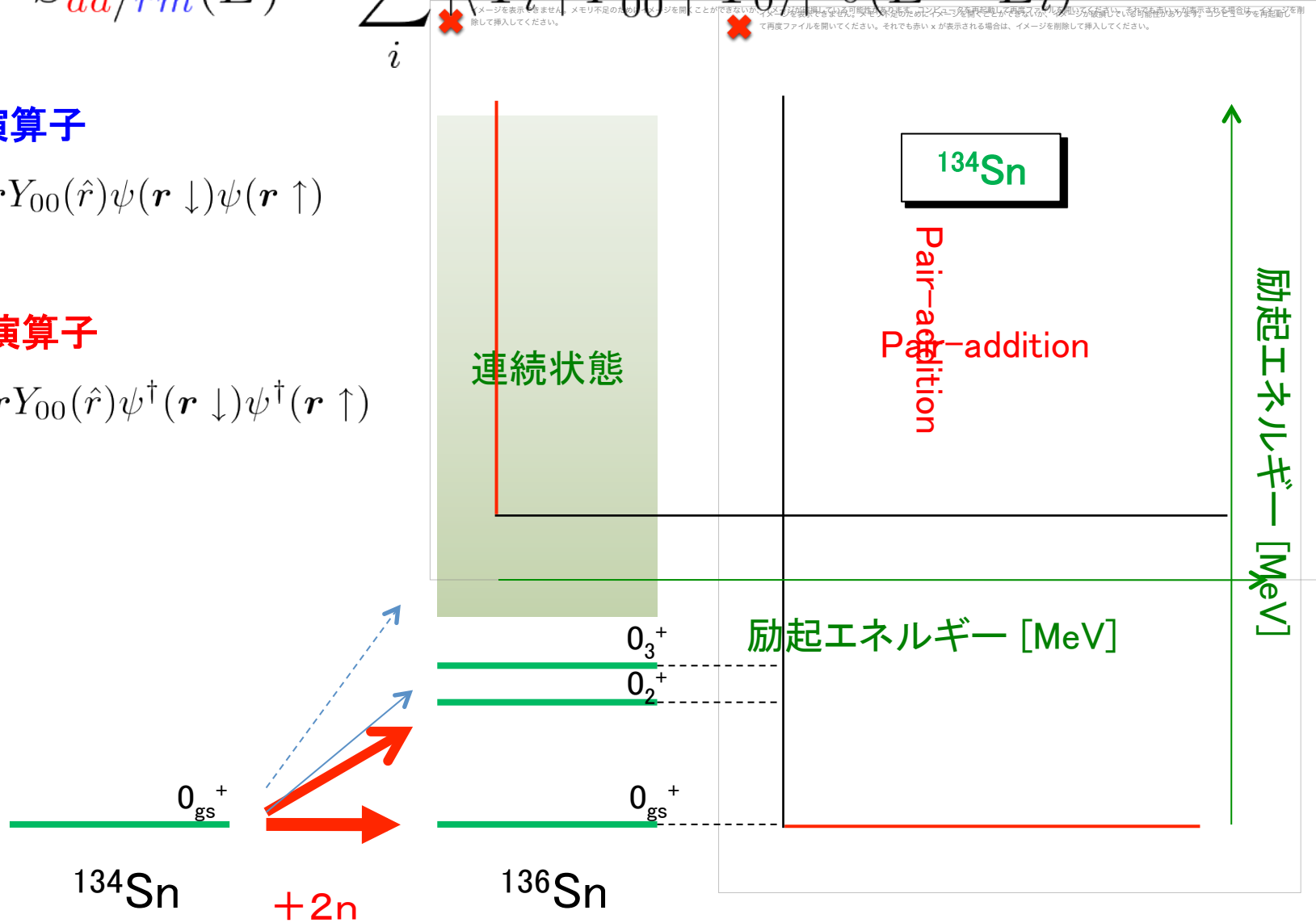
$$S_{ad/rm}(E) = \sum_i |\langle \Psi_i | P_{00}^\dagger | \Psi_0 \rangle|^2 \delta(E - E_i)$$

対除去演算子

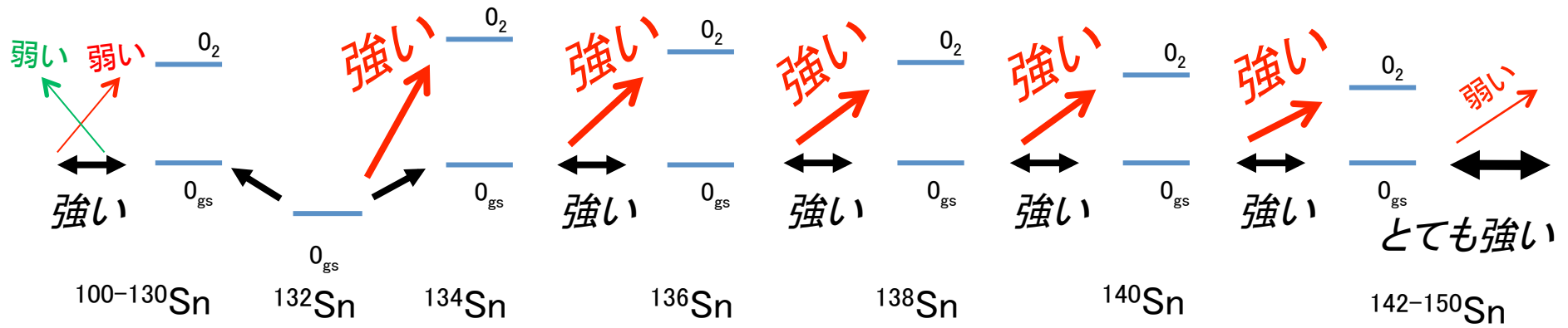
$$P_{00} = \int d\mathbf{r} Y_{00}(\hat{r}) \psi(\mathbf{r} \downarrow) \psi(\mathbf{r} \uparrow)$$

対生成演算子

$$P_{00}^\dagger = \int d\mathbf{r} Y_{00}(\hat{r}) \psi^\dagger(\mathbf{r} \downarrow) \psi^\dagger(\mathbf{r} \uparrow)$$



# 前回の夏の学校まで

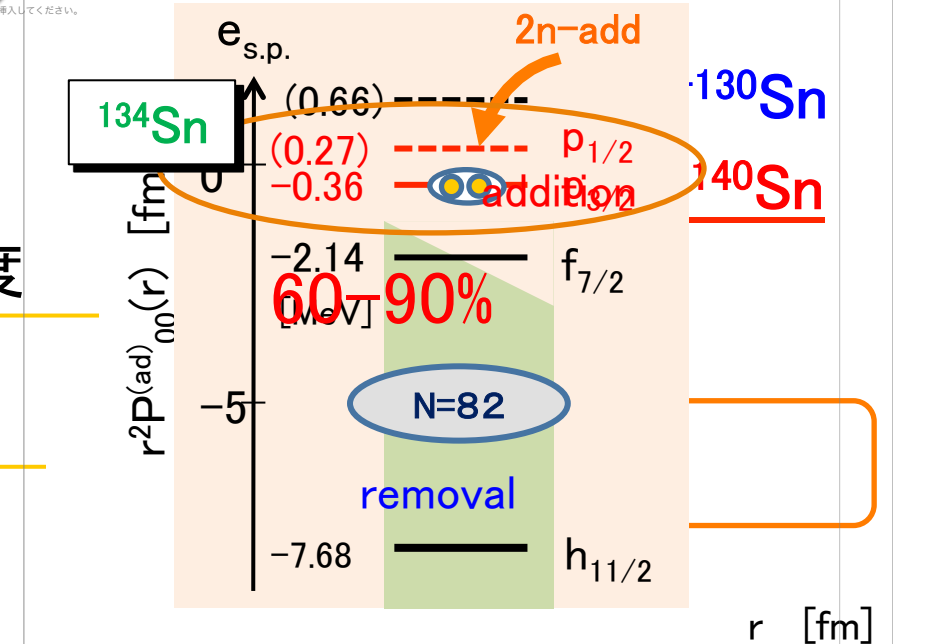


## 中性子過剰( $A > 132$ )Sn同位体の monopole 中性子対移行について

➡ 対付加の遷移強度が非常に大きな  $0_2^+$  対振動状態!

さらに、この  $120\text{Sn}$  動状態の特徴として addition

- 基底状態間遷移と同じ程度の強度
- 対遷移密度は外側で長いテール
- 弱束縛p配位が重要



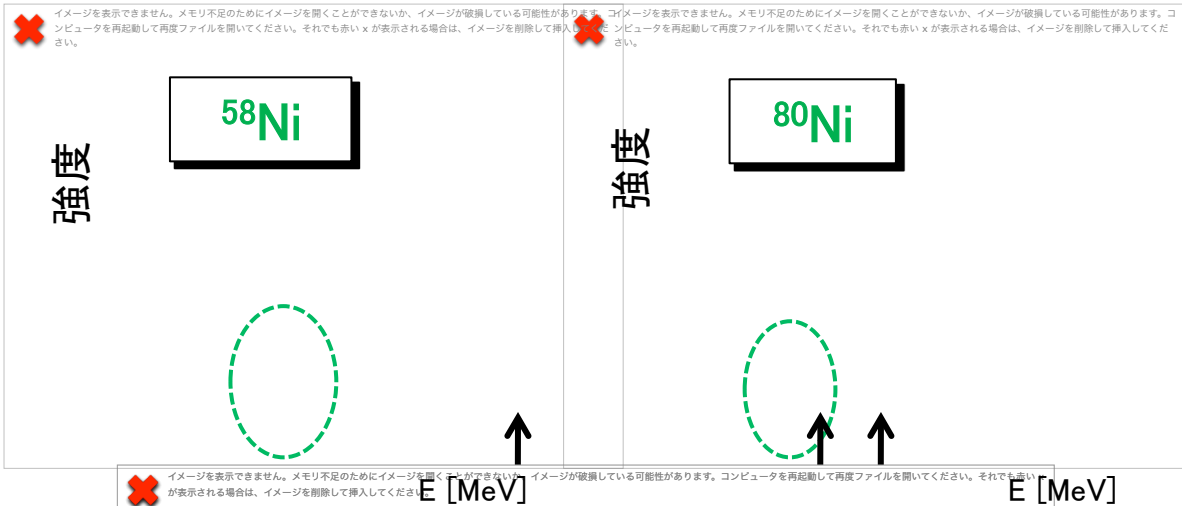


質問 !!!

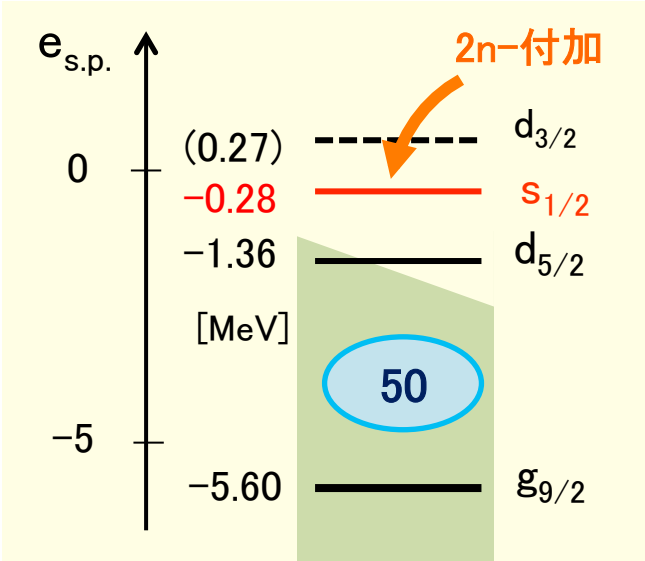
Sn以外の同位体では  
どうなの !?

# 中性子過剰 Ni 同位体における対振動状態

## 対付加遷移強度関数



## Hartree-Fock 一粒子エネルギー in <sup>80</sup>Ni



## 遷移密度

### 対振動状態 in <sup>78-84</sup>Ni



外側まで延びる長いテール ~15fm

振幅(集団性)は低い

⇒ 弱束縛軌道は s 軌道

# Giant Pairing Vibration(GPV) in 安定Sn同位体

× イメージを表示できません。メモリ不足のためにイメージを開くことができないか、イメージが破損している可能性があります。コンピュータを再起動して再度ファイルを開いてください。それでも赤い×が表示される場合は、イメージを削除して再入力してください。

## 巨大対振動

### 対付加強度関数



$^{122}\text{Sn}$

E (MeV)

### 異常な対振動状態

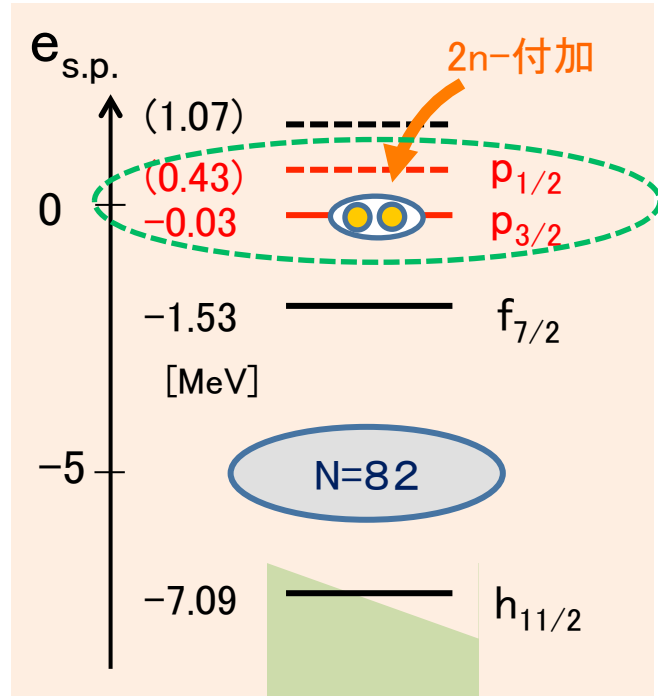
$^{134}\text{Sn}$

0

E (MeV)

× イメージを表示できません。メモリ不足のためにイメージを開くことができないか、イメージが破損している可能性があります。コンピュータを再起動して再度ファイルを開いてください。それでも赤い×が表示される場合は、イメージを削除して再入力してください。

## Hartree-Fock 一粒子エネルギー in $^{122}\text{Sn}$



### 遷移密度

### 異常な対振動 of $^{132-140}\text{Sn}$

### 2nd-GPV of $^{122-130}\text{Sn}$

$r^2P_{00}^{(ad)} \text{ [fm}^{-1}\text{]}$

$^{134}\text{Sn}$

$^{122}\text{Sn}$

r [fm]

× イメージを表示できません。メモリ不足のためにイメージを開くことができないか、イメージが破損している可能性があります。コンピュータを再起動して再度ファイルを開いてください。それでも赤い×が表示される場合は、イメージを削除して再入力してください。

Sn同位体に加え、Ni,Ca 同位体に対して対振動状態を調べた。

中性子過剰 Ni 同位体(中性子数  $> 50$ )の対振動状態の遷移強度は大きくはなかった。

遷移密度を調べると、長いテールはある。

中性子過剰Ni同位体の場合、弱束縛はs軌道である。

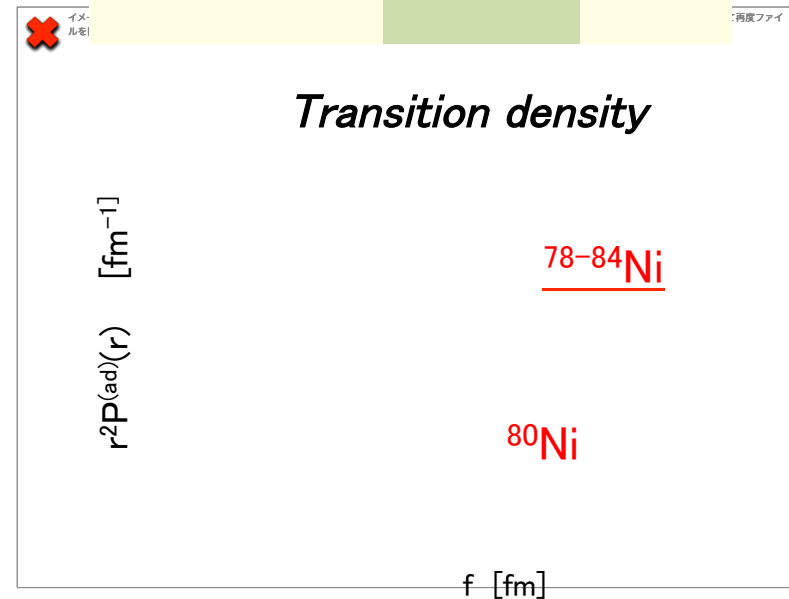
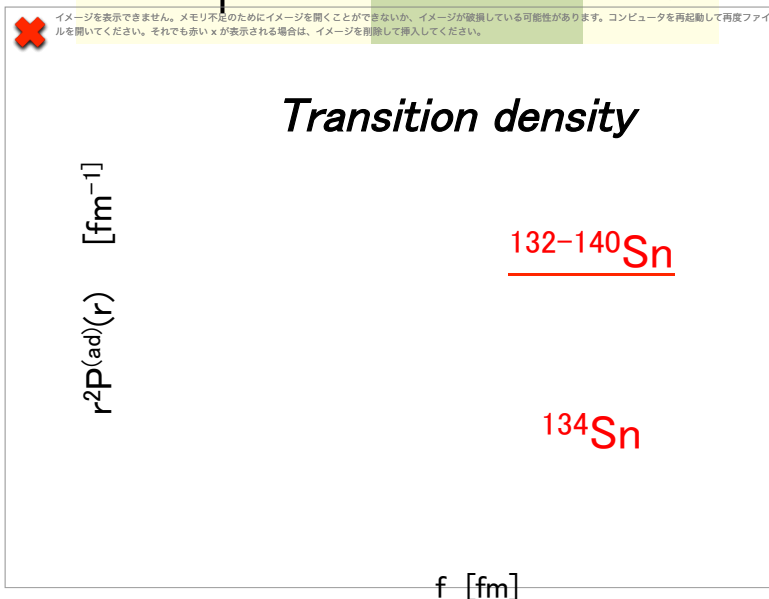
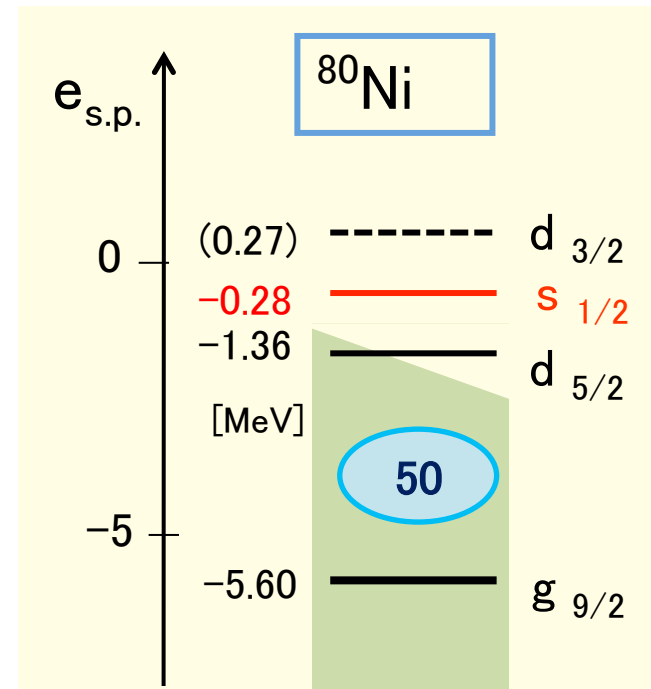
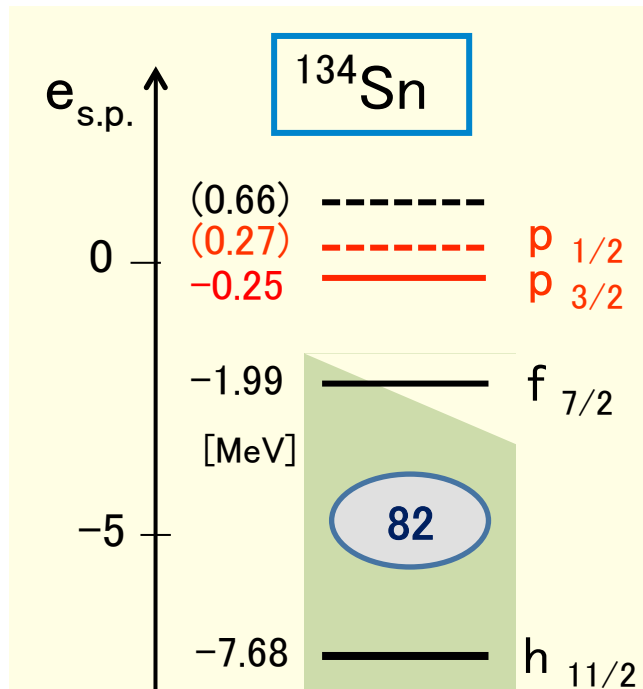
s軌道では集団性が失われてしまうため強度が低くなると考えられる。

Sn同位体の安定核領域ではGPVとして高い励起状態に大きな強度をもつ励起状態がある。

しかし、異常な対振動に比べ、集団性は低い。

END

# Hartree-Fock single-particle energy



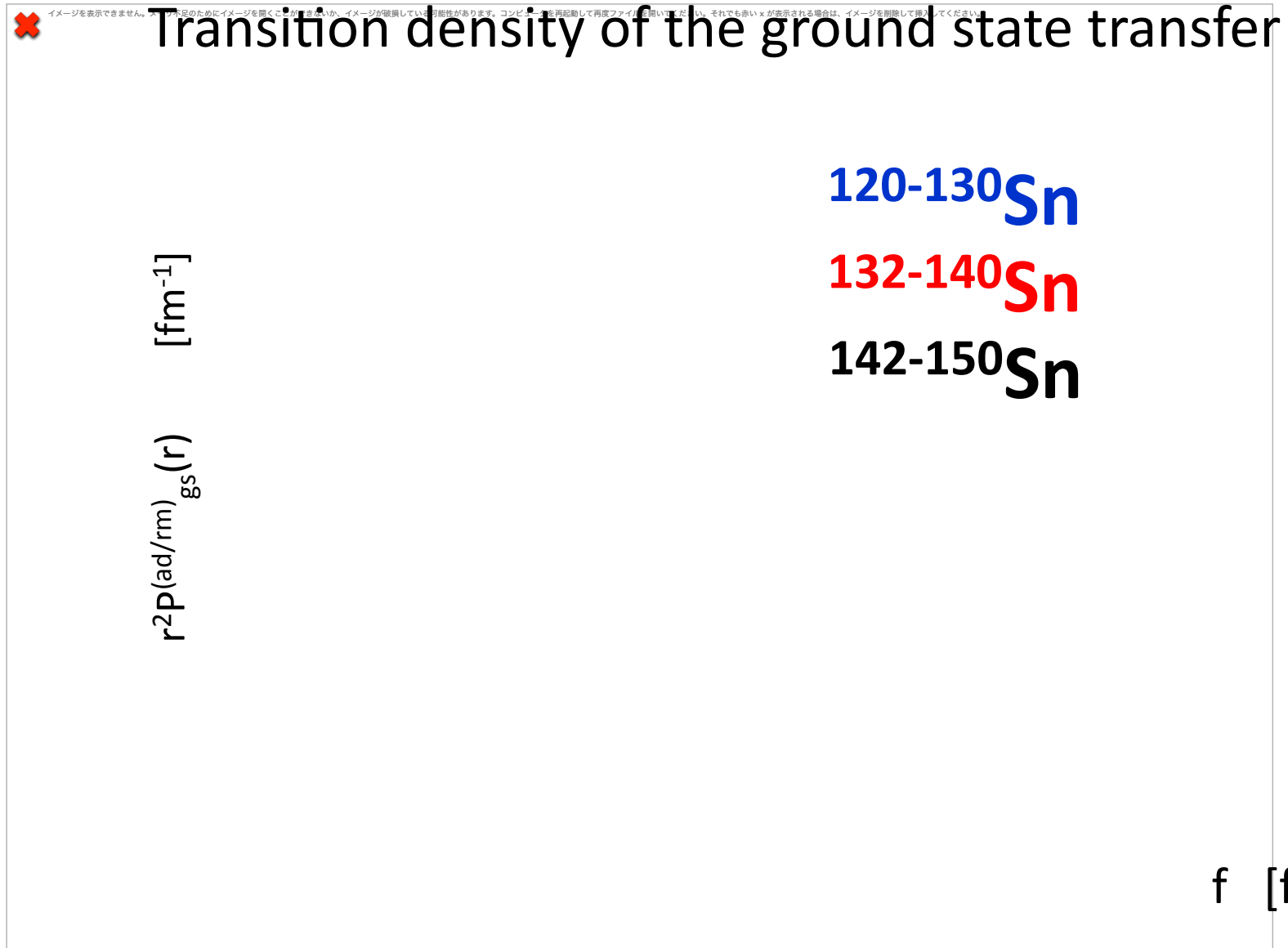
# GRPUND STATE PROPERTIES AND THE PARING ROTATION

Strength of the ground state transfer

[Pairing gap]<sup>2</sup>

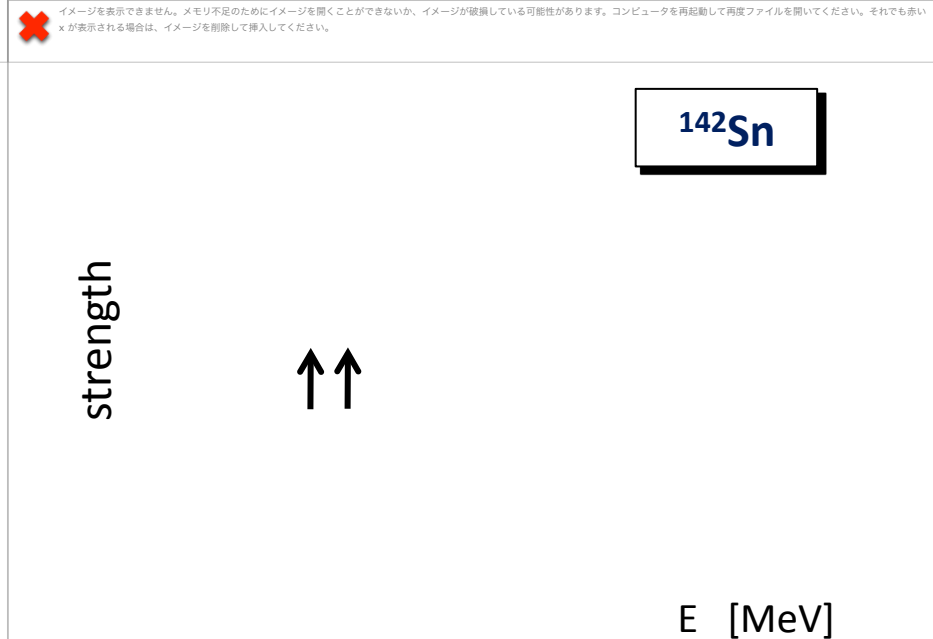
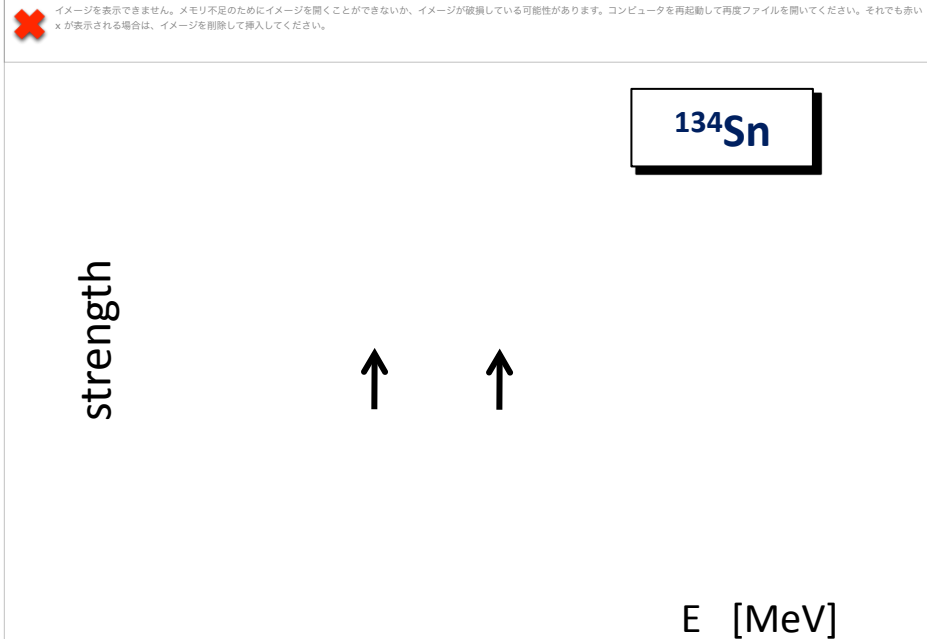
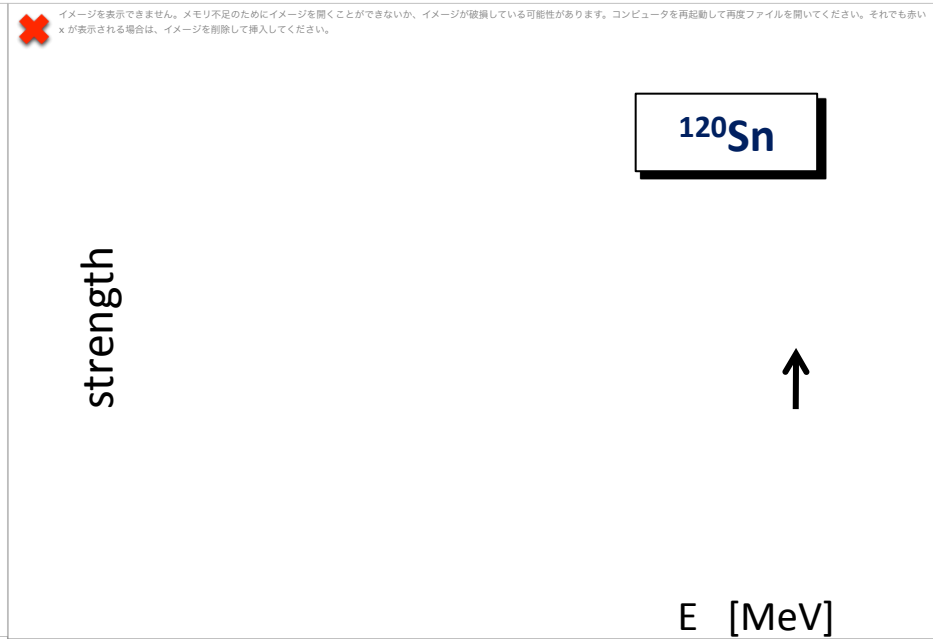
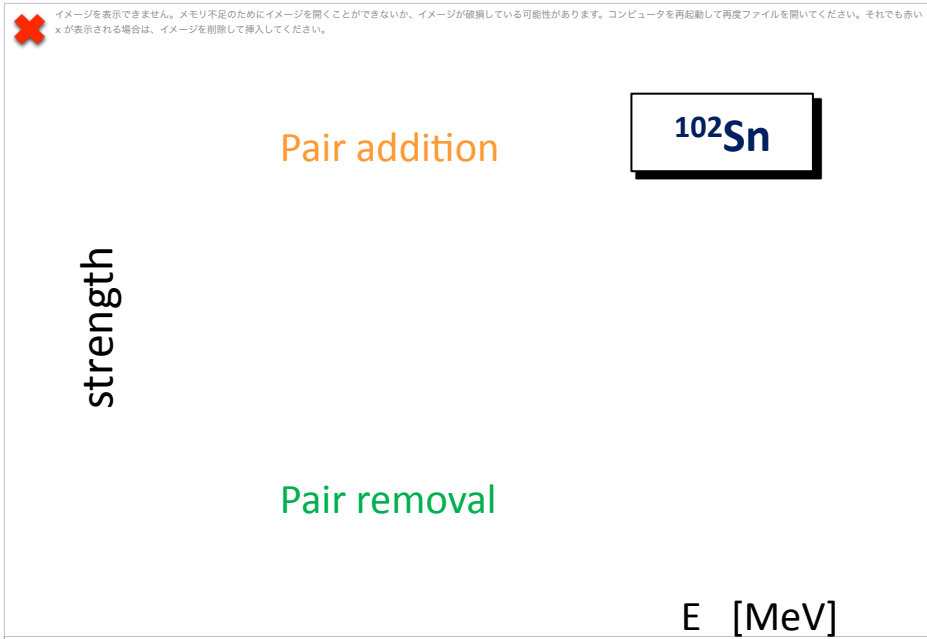


# GRPUND STATE PROPERTIES AND THE PARING ROTATION





# PAIRING VIBRATION ( strength function )



# PAIRING VIBRATION ( transition density )

✖ xが表示される場合は、イメージを削除して挿入してください。

(Transition density) $\times r^2$

**$^{102}\text{Sn}$**

Pair addition  
Pair removal  
Normal N



f [fm]

✖ xが表示される場合は、イメージを削除して挿入してください。

(Transition density) $\times r^2$

**$^{120}\text{Sn}$**

Pair addition  
Pair removal  
Normal N



r [fm]

✖ xが表示される場合は、イメージを削除して挿入してください。

(Transition density) $\times r^2$

**$^{134}\text{Sn}$**

Pair addition  
Pair removal  
Normal N



f [fm]

✖ xが表示される場合は、イメージを削除して挿入してください。

(Transition density) $\times r^2$

**$^{142}\text{Sn}$**

Pair addition  
Pair removal  
Normal N



r [fm]

# PAIRING VIBRATION ( Microscopic origin )

✖ イメージを表示できません。メモリ不足のためにイメージを開くことができないか、イメージが破損している可能性があります。コンピュータを再起動して再度ファイルを開いてください。それでも赤い x が表示される場合は、イメージを削除して挿入してください。

## Pair addition

strength

full QRPA  
unperturbed

**$^{134}\text{Sn}$**

✖ イメージを表示できません。メモリ不足のためにイメージを開くことができないか、イメージが破損している可能性があります。コンピュータを再起動して再度ファイルを開いてください。それでも赤い x が表示される場合は、イメージを削除して挿入してください。

## Pair removal

strength

full QRPA  
unperturbed

**$^{142}\text{Sn}$**

E [MeV]

E [MeV]

✖ イメージを表示できません。メモリ不足のためにイメージを開くことができないか、イメージが破損している可能性があります。コンピュータを再起動して再度ファイルを開いてください。それでも赤い x が表示される場合は、イメージを削除して挿入してください。

✖ イメージを表示できません。メモリ不足のためにイメージを開くことができないか、イメージが破損している可能性があります。コンピュータを再起動して再度ファイルを開いてください。それでも赤い x が表示される場合は、イメージを削除して挿入してください。

(Transition density) $\times r^2$

**$^{134}\text{Sn}$**

pairing vibration

$[f7/2]^2$

$[p3/2]^2$

(Transition density) $\times r^2$

**$^{142}\text{Sn}$**

pairing vibration

$[f7/2]^2$

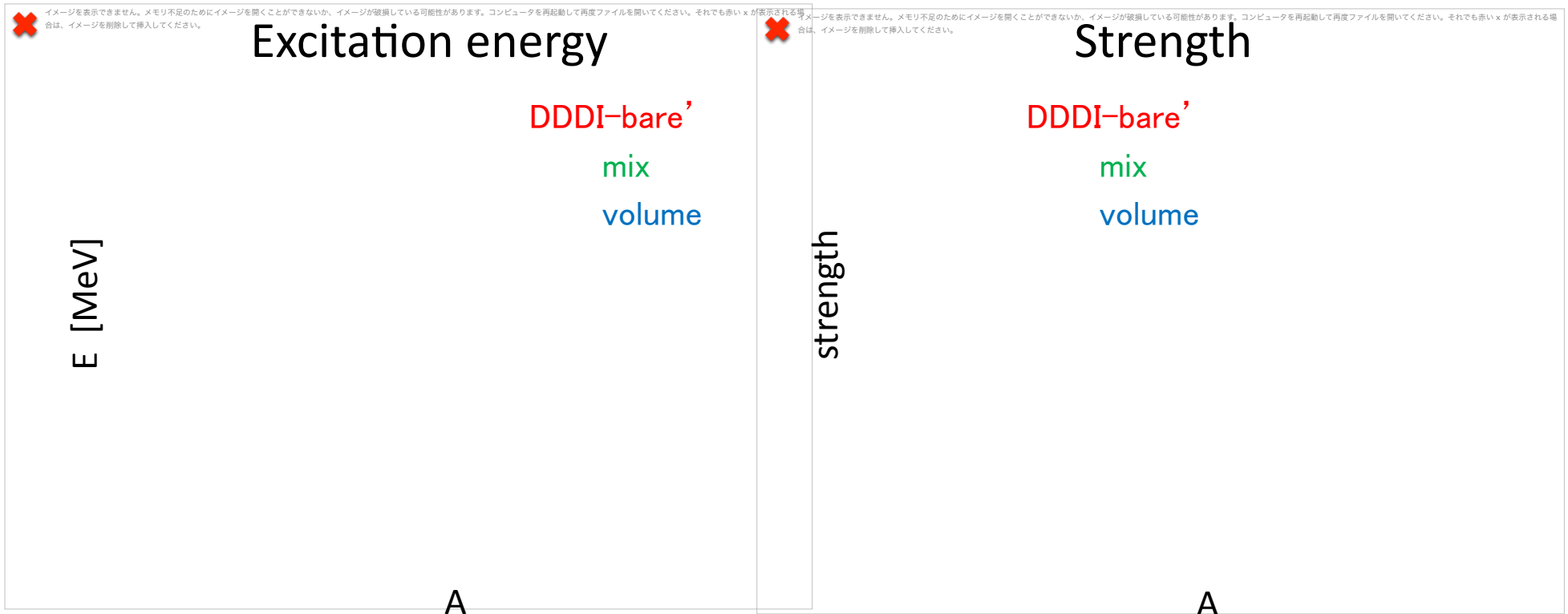
$[p3/2]^2$

f [fm]

f [fm]

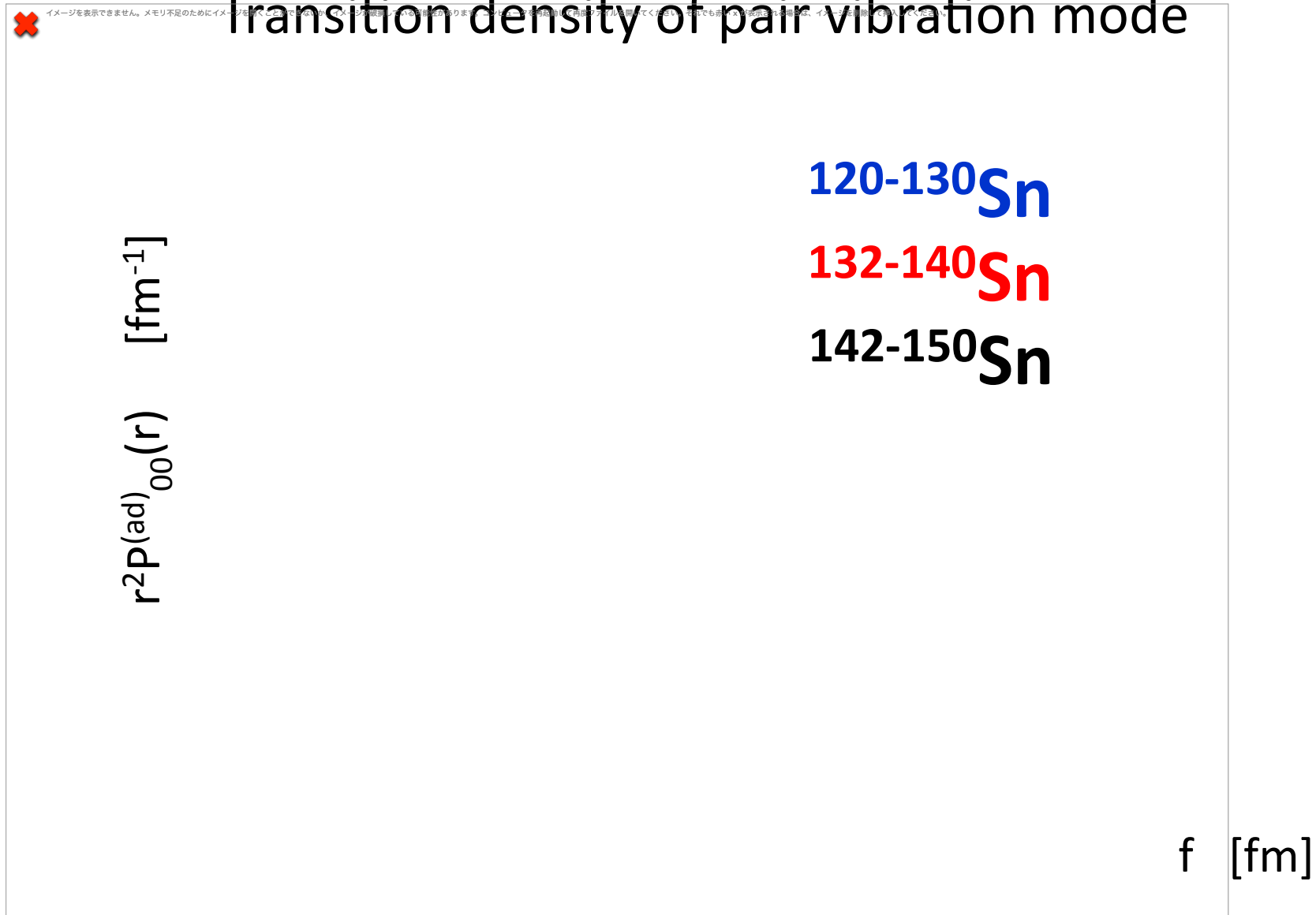
# PAIRING VIBRATION (systematics)

## Pair addition mode



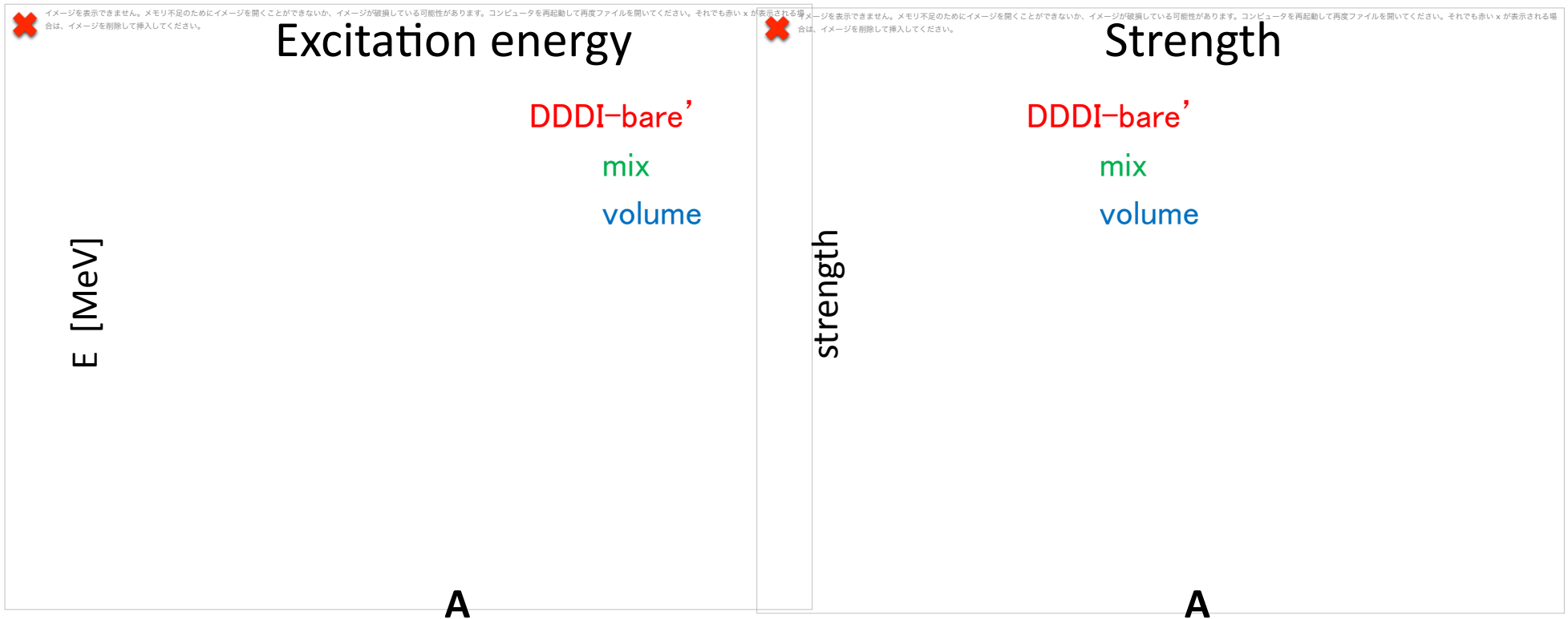
# PAIRING VIBRATION (systematics)

## Transition density of pair vibration mode



# PAIRING VIBRATION (systematics)

## Pair removal mode



# PAIRING VIBRATION ( comparison with the ground state transfer )

Ratio

✖ イメージを表示できません。メモリ不足のためにイメージを開くことができないか、イメージが破損している可能性があります。コンピュータを再起動して再度ファイルを開いてください。それでも赤い x が表示される場合は、イメージを削除して挿入してください。

Pair addition

✖ イメージを表示できません。メモリ不足のためにイメージを開くことができないか、イメージが破損している可能性があります。コンピュータを再起動して再度ファイルを開いてください。それでも赤い x が表示される場合は、イメージを削除して挿入してください。

Pair removal

A

A

# 対相互作用の対遷移強度への寄与



イメージを表示できません。メモリ不足のためにイメージを開くことができないか、イメージが破損している可能性があります。コンピュータを再起動して再度ファイルを開いてください。それでも赤い x が表示される場合は、イメージを削除して挿入してください。

低密度で強い作用 > DDDI - matter  $V_n[\rho_n, \rho_p] = v_0 (1 - 0.71(\rho_n/0.8)^{0.59})$   
(ここまでの数値計算に採用)

DDDI - mix  $V_n[\rho_n, \rho_p] = v_0 (1 - 0.5(\rho_n + \rho_p/0.16)^1)$

密度に依存しない > DDDI - volume  $V_n[\rho_n, \rho_p] = v_0$

## 対生成演算子による対付加の遷移強度

2n addition strength

DDDI - matter

DDDI - mix

DDDI - volume

中性子過剰領域 (A>132) で  
対相互作用の違いがはっきりする

低密度領域での対相互作用の強さも  
遷移強度の増大に役割を担っている

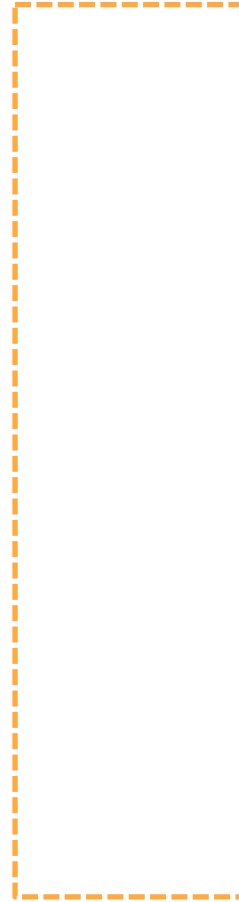


# SENSITIVITY TO DENSITY-DEPENDENT PARING



イメージを表示できません。メモリ不足のためにイメージを開くことができないか、イメージが破損している可能性があります。コンピュータを再起動して再度ファイルを開いてください。それでも赤い x が表示される場合は、イメージを削除して挿入してください。

strength



DDDI-bare'  
mix  
volume



E [MeV]

✖ イメージを表示できません。メモリ不足のためにイメージを開くことができないか、イメージが破損している可能性があります。コンピュータを再起動して再度ファイルを開いてください。それでも赤い x が表示される場合は、イメージを削除して挿入してください。

## Ground state transfer

strength

$0_{gs}^+$

A

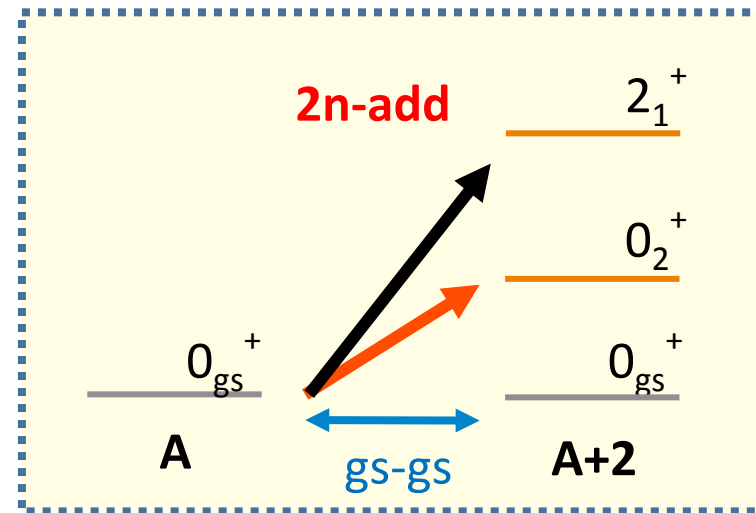
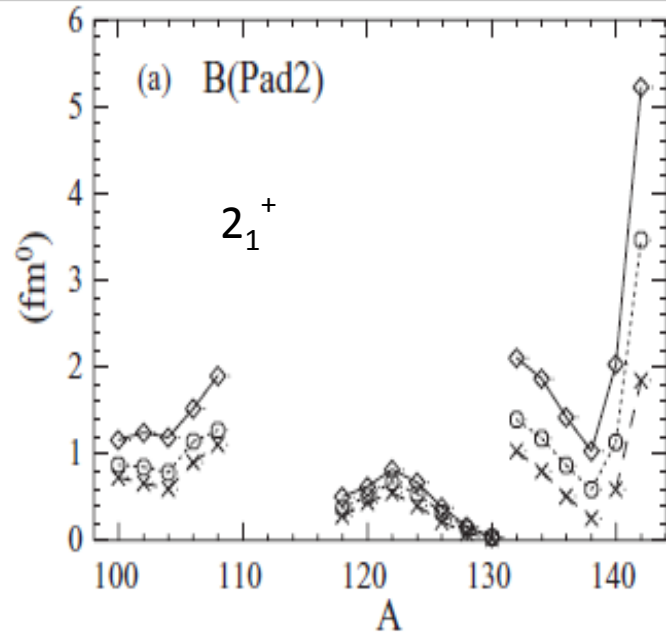
✖ イメージを表示できません。メモリ不足のためにイメージを開くことができないか、イメージが破損している可能性があります。コンピュータを再起動して再度ファイルを開いてください。それでも赤い x が表示される場合は、イメージを削除して挿入してください。

## B(Pad0)

strength

$0_2^+$

A



✖ イメージを表示できません。メモリ不足のためにイメージを開くことができないか、イメージが破損している可能性があります。コンピュータを再起動して再度ファイルを開いてください。xが表示される場合は、イメージを削除して挿入してください。

$r^2 p^{(ad)}_{gs}(r)$  [fm<sup>-1</sup>]

$0_{gs}^+$

✖ イメージを表示できません。メモリ不足のためにイメージを開くことができないか、イメージが破損している可能性があります。コンピュータを再起動して再度ファイルを開いてください。それでも赤いxが表示される場合は、イメージを削除して挿入してください。

$r^2 p^{(ad)}_{00}(r)$  [fm<sup>-1</sup>]

$0_2^+$

