

軸対称Skyrme-HFB計算による 中性子過剰Cr同位体の四重極変形の解析

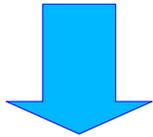
KEK原子核研究会「現代の原子核物理-多様化する原子核の描像」

大庭広士，松尾正之
新潟大自，新潟大理

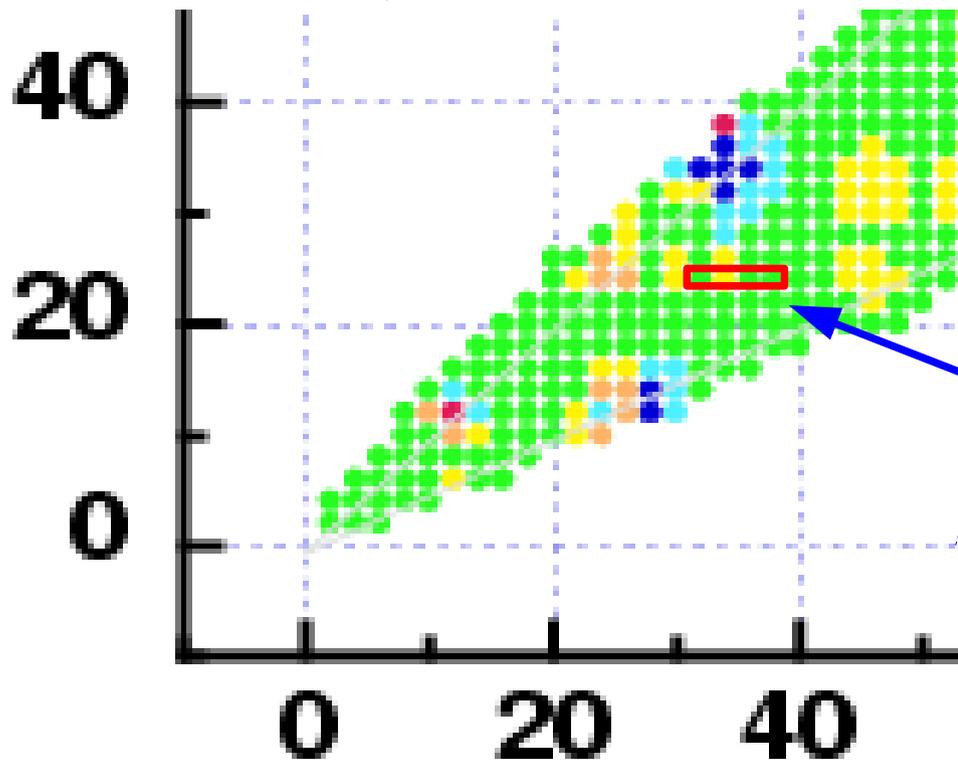
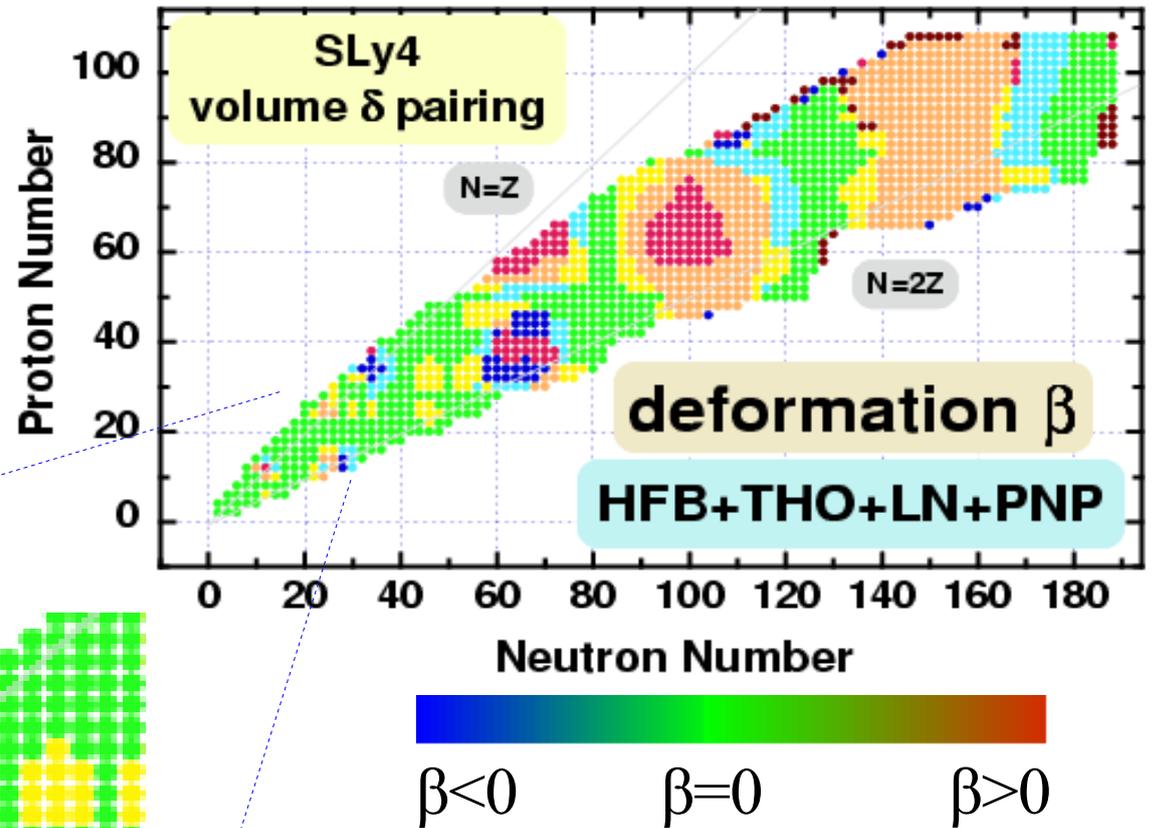
不安定核における新たな変形領域

Stoitsov et al. Phys. Rev. C68 (2003) 054312

不安定原子核 約3000個～



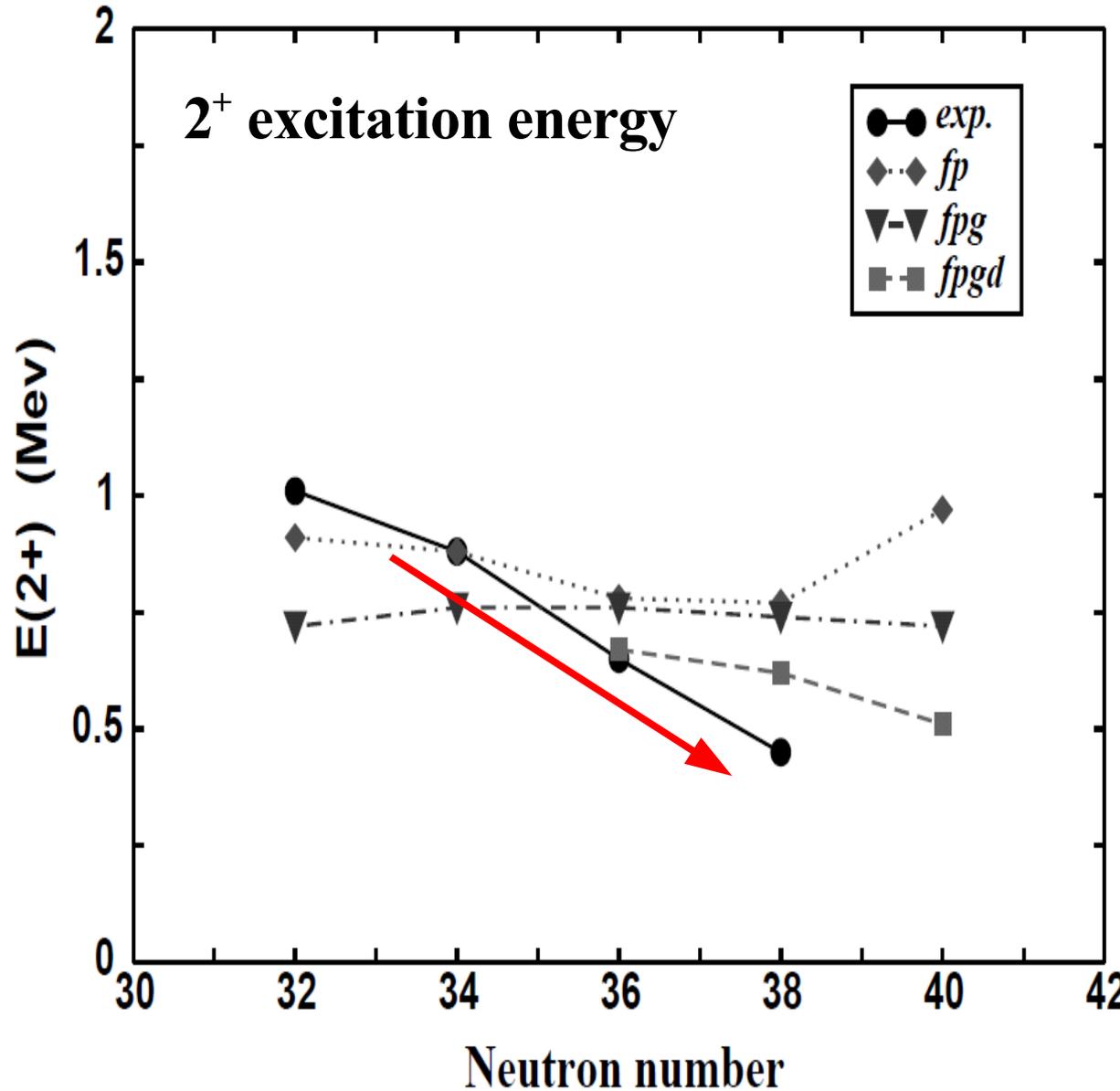
多数の変形原子核が存在



実験で新たな変形領域の可能性

中性子過剰Cr同位体領域
($Z=24$, $N=34 \sim 38$)

新たな変形領域の可能性 中性子過剰Cr領域



Sorlin et al. Eur.Phys.J.A16.55(2003)

cf. RIKENにおける実験では
 $^{60}\text{Cr} : E(4^+)/E(2^+) = 2.27$
 $^{62}\text{Cr} : E(4^+)/E(2^+) = 2.65$

球形核の振動 \Rightarrow 変形核
の回転バンド遷移を示唆



変形の発達メカニズムの解析



平均場理論によるアプローチ

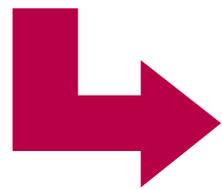
本研究の目的

中性子過剰Cr同位体領域の変形の発達



平均場法 Skyrme-Hartree-Fock-Bogoliubov理論 による理解

- Skyrme力を用いた自己無撞着性
- 対相関を残留相互作用として取り込み
- 2Dメッシュ表示による変形の取り扱い



不安定核を含む広い質量領域を取り扱えることを検証

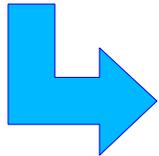
座標表示Hartree-Fock-Bogoliubov理論

全エネルギー \Rightarrow 密度と対密度の汎関数

$$E(\rho(\vec{r}), \kappa(\vec{r})) \quad \text{密度} \quad \rho(\vec{r}) = \langle \phi_{\uparrow}^{\dagger}(\vec{r}) \phi_{\downarrow}(\vec{r}) \rangle \quad \text{対密度} \quad \kappa(\vec{r}) = \langle \phi_{\uparrow}^{\dagger}(\vec{r}) \phi_{\downarrow}^{\dagger}(\vec{r}) \rangle$$



$\delta E(\rho(\vec{r}), \kappa(\vec{r})) = 0$ 変分原理により全エネルギーを極小化



座標表示Hartree-Fock-Bogoliubov方程式

$$\begin{pmatrix} h(\vec{r}) - \lambda & \Delta(\vec{r}) \\ -\Delta^*(\vec{r}) & -(h(\vec{r}) - \lambda)^* \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \psi_m^{(1)}(\vec{r}) \\ \psi_m^{(2)}(\vec{r}) \end{pmatrix} = E_m \begin{pmatrix} \psi_m^{(1)}(\vec{r}) \\ \psi_m^{(2)}(\vec{r}) \end{pmatrix}$$

有効相互作用

ph-channel : Skyrme相互作用(SkM* , SLy4ノパラメータ)

pp-channel : 密度非依存接触型 (Volume pairing) $V(\vec{r}_i, \vec{r}_j) = \frac{V_0}{2} \delta(\vec{r}_i - \vec{r}_j)$

円筒座標HFB方程式

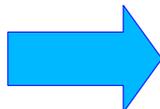
2D mesh representation

R=10fm

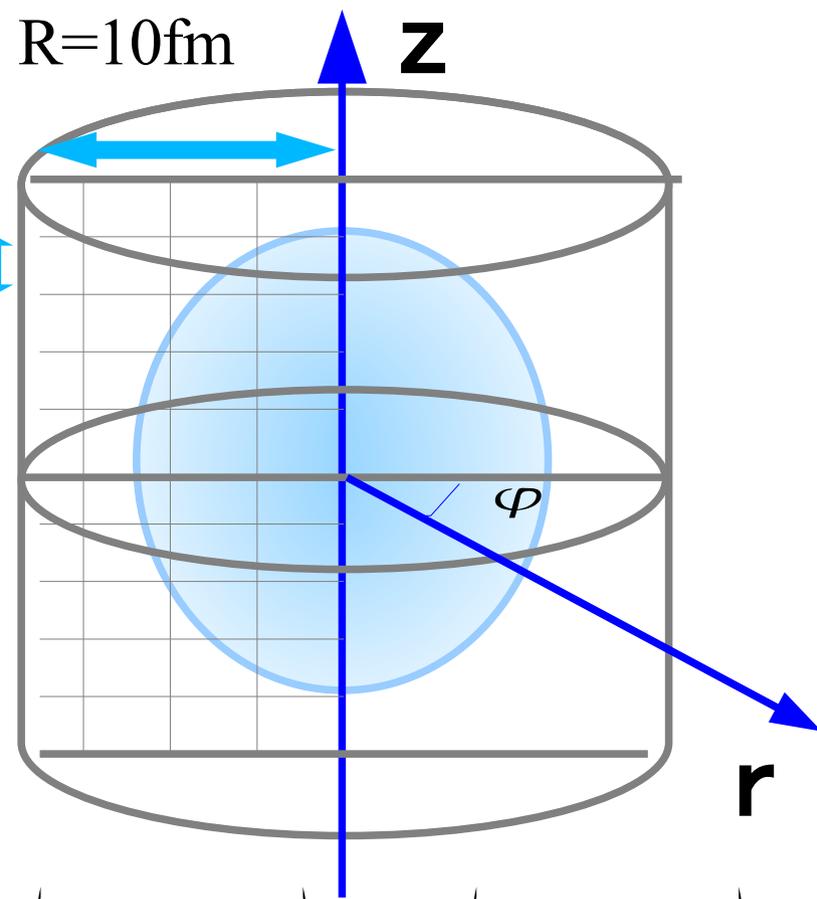
z

$\Delta R=0.8\text{fm}$



軸対称性  円筒座標表示

$$\begin{pmatrix} \Psi_{n,\Omega}^{(1)}(r,z,\varphi) \\ \Psi_{n,\Omega}^{(2)}(r,z,\varphi) \end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \begin{pmatrix} e^{i(\Omega-1/2)\varphi} \phi_{n,\Omega}^{(1)}(r,z,\uparrow) \\ e^{i(\Omega+1/2)\varphi} \phi_{n,\Omega}^{(1)}(r,z,\downarrow) \\ e^{i(\Omega-1/2)\varphi} \phi_{n,\Omega}^{(2)}(r,z,\uparrow) \\ e^{i(\Omega+1/2)\varphi} \phi_{n,\Omega}^{(2)}(r,z,\downarrow) \end{pmatrix}$$

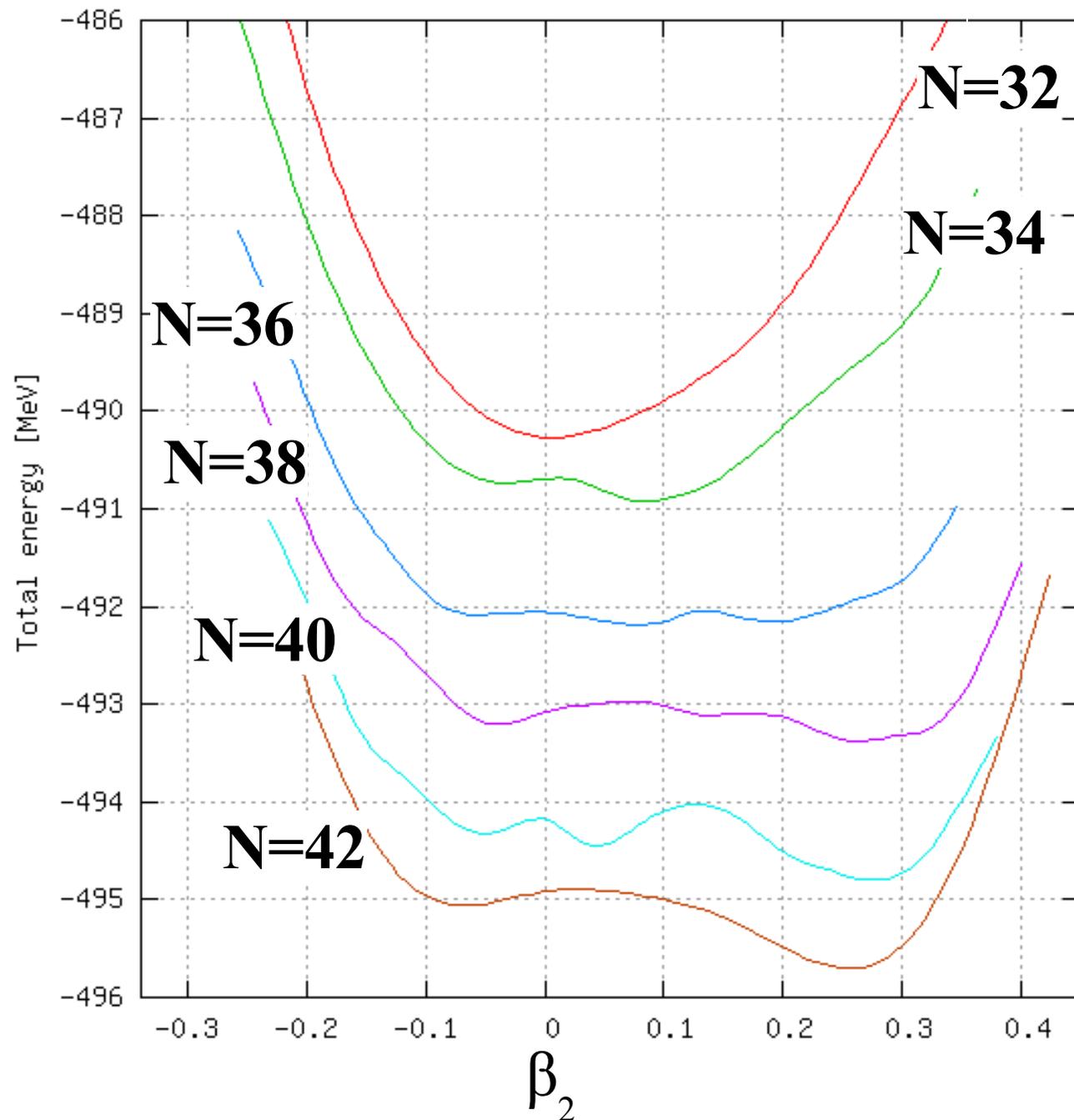


$$\begin{pmatrix} h_{\uparrow\uparrow}(r,z)-\lambda & h_{\uparrow\downarrow}(r,z) & \Delta_{\uparrow\uparrow}(r,z) & \Delta_{\uparrow\downarrow}(r,z) \\ h_{\downarrow\uparrow}(r,z) & h_{\downarrow\downarrow}(r,z)-\lambda & \Delta_{\downarrow\uparrow}(r,z) & \Delta_{\downarrow\downarrow}(r,z) \\ \Delta_{\uparrow\uparrow}(r,z) & \Delta_{\uparrow\downarrow}(r,z) & -h_{\uparrow\uparrow}(r,z)+\lambda & -h_{\uparrow\downarrow}(r,z) \\ \Delta_{\downarrow\uparrow}(r,z) & \Delta_{\downarrow\downarrow}(r,z) & -h_{\downarrow\uparrow}(r,z) & -h_{\downarrow\downarrow}(r,z)+\lambda \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \phi_{n,\Omega}^{(1)}(r,z,\uparrow) \\ \phi_{n,\Omega}^{(1)}(r,z,\downarrow) \\ \phi_{n,\Omega}^{(2)}(r,z,\uparrow) \\ \phi_{n,\Omega}^{(2)}(r,z,\downarrow) \end{pmatrix} = E_{n,\Omega} \begin{pmatrix} \phi_{n,\Omega}^{(1)}(r,z,\uparrow) \\ \phi_{n,\Omega}^{(1)}(r,z,\downarrow) \\ \phi_{n,\Omega}^{(2)}(r,z,\uparrow) \\ \phi_{n,\Omega}^{(2)}(r,z,\downarrow) \end{pmatrix}$$

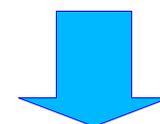
2Dメッシュ表現されたハミルトニアンを対角化

中性子過剰Cr同位体の四重極変形エネルギー

(SkM* パラメータ)



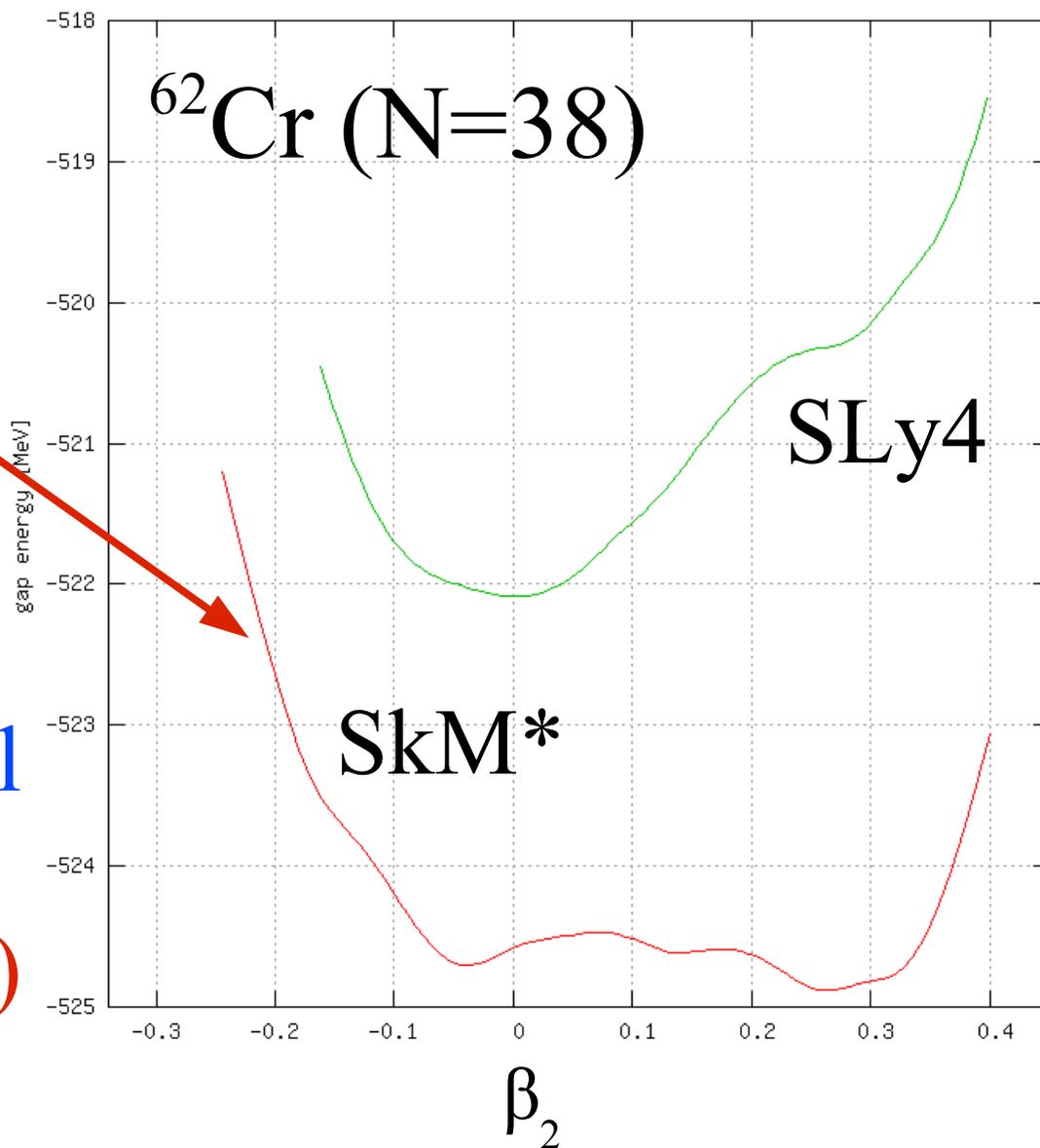
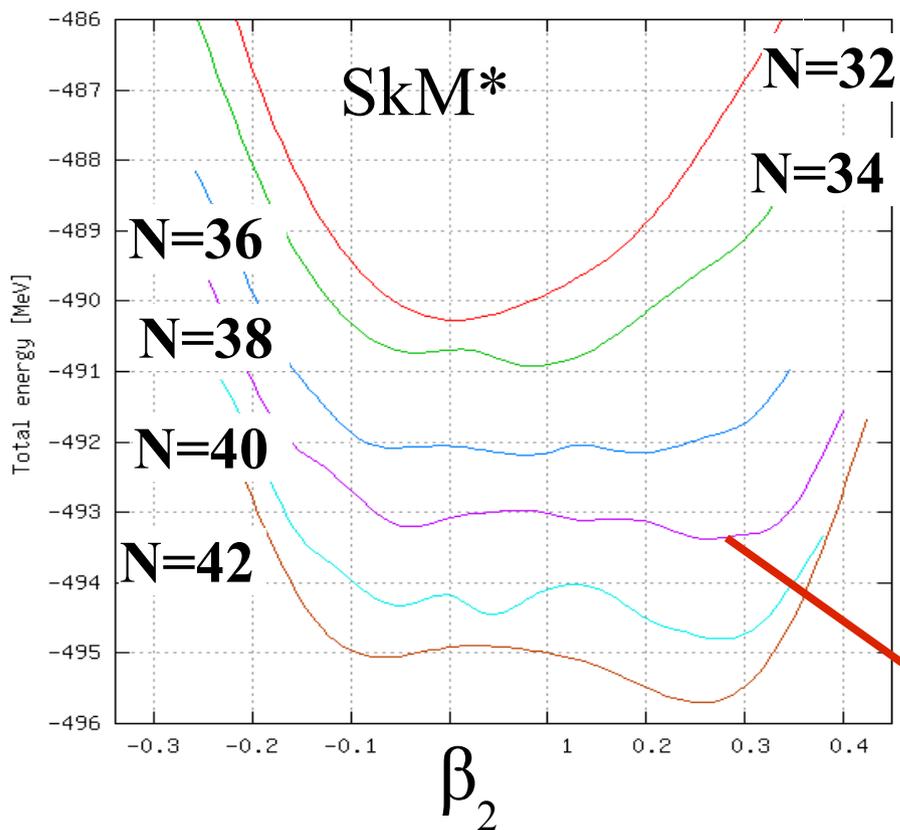
中性子数の増加



prolate変形の発達

実験の傾向を再現

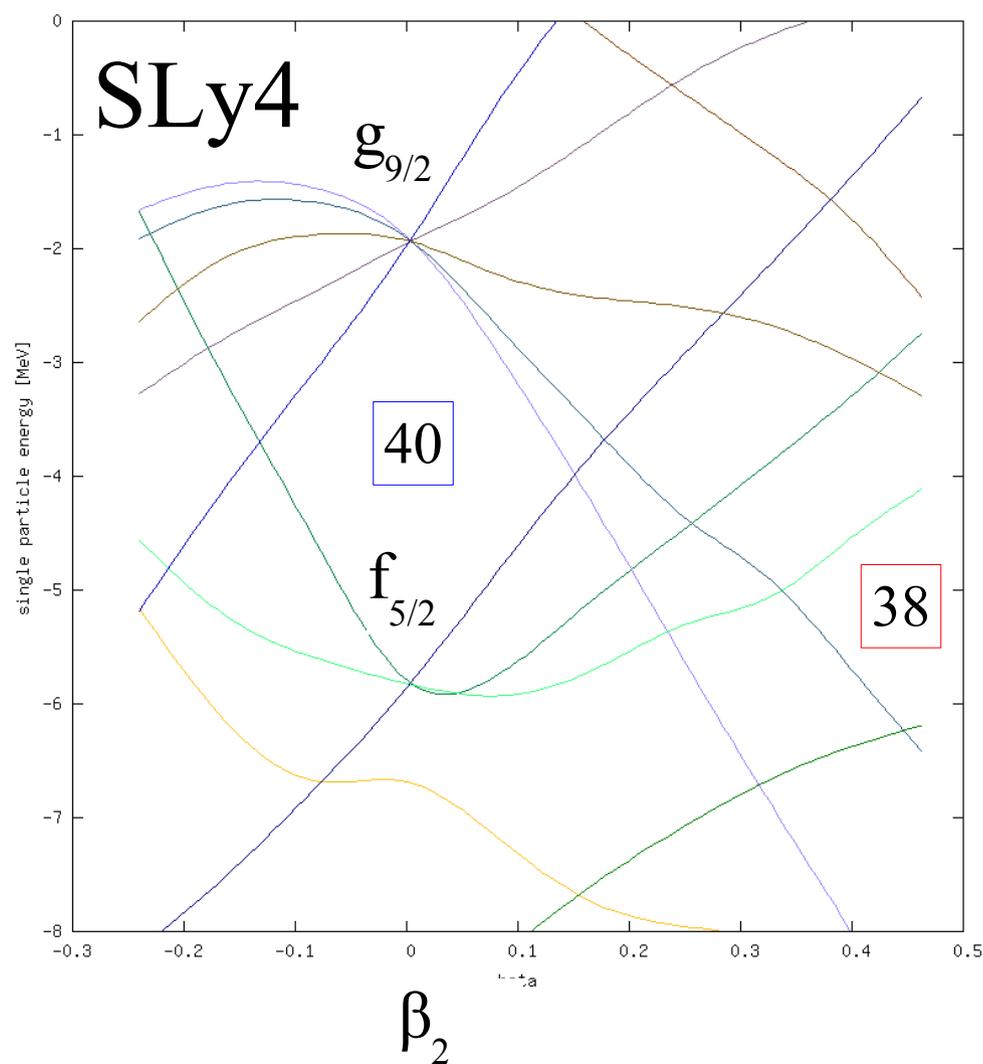
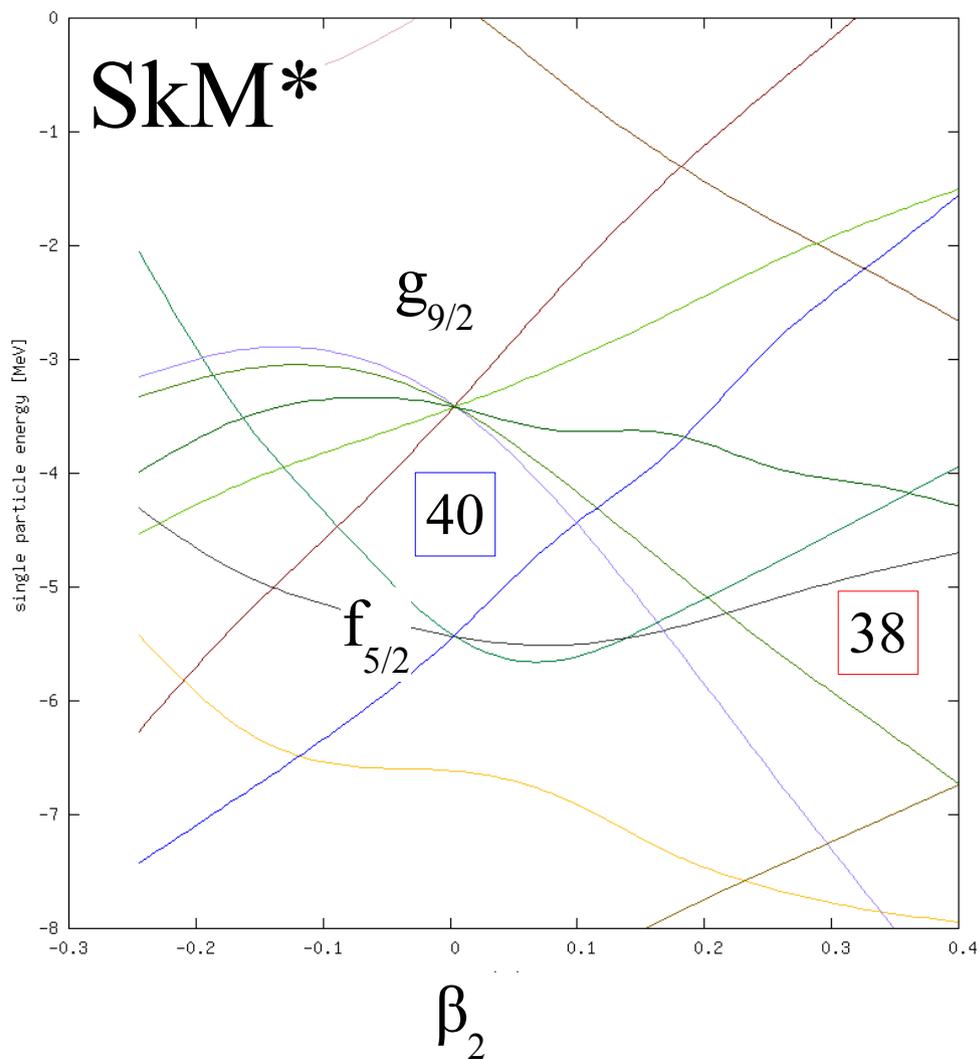
Skymeパラメータ依存性 (SkM* , SLy4)



SLy4 \Rightarrow g.s : spherical

SkM* \Rightarrow g.s : prolate
($\beta=0.25$)

SkM*とSLy4の $^{62}\text{Cr}(N=38)$ におけるNillson図

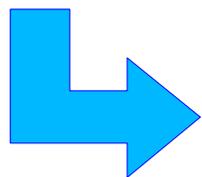


$\beta_2 = 0.25$ における $g_{9/2}$ の占有数

SkM* $1/2^+ : 1.76$ $3/2^+ : 1.00$ SLy4 $1/2^+ : 1.53$ $3/2^+ : 0.56$

まとめ

中性子過剰Cr同位体の四重極変形を
円筒座標表示Skyrme-HFB法によって解析

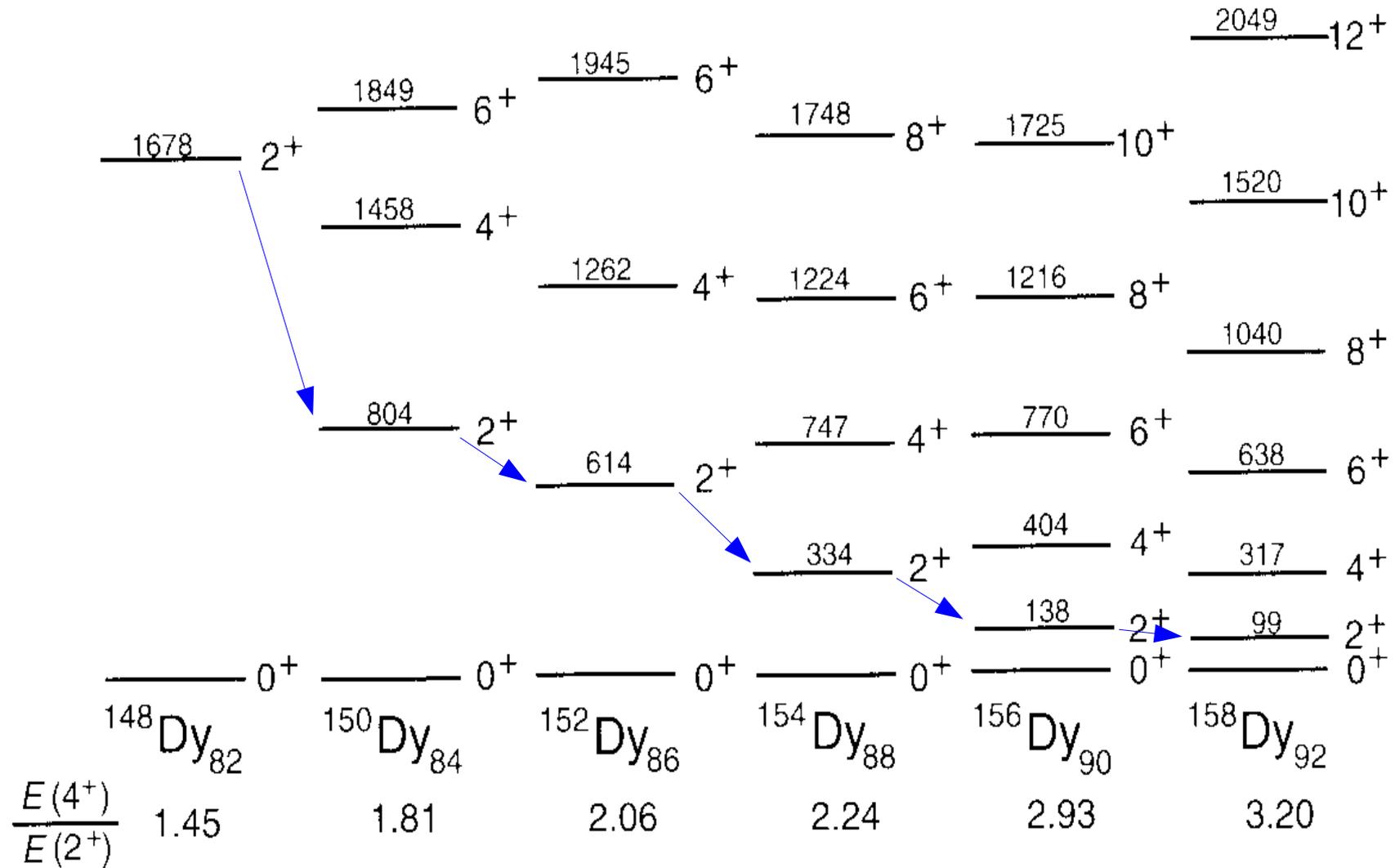


- 中性子過剰Cr同位体の変形の発達を再現
- N=32領域では $g_{9/2}$ $f_{5/2}$ ギャップ間隔が重要
(変形状態では $g_{9/2}$ に2.76個の粒子が占有)

今後は

安定核と不安定核で $g_{9/2}$ $f_{5/2}$ ギャップの差異は
⇒ 不安定核特有の殻構造の変化は

励起エネルギーの振動・変形遷移 (例: Dyアイソトープ)

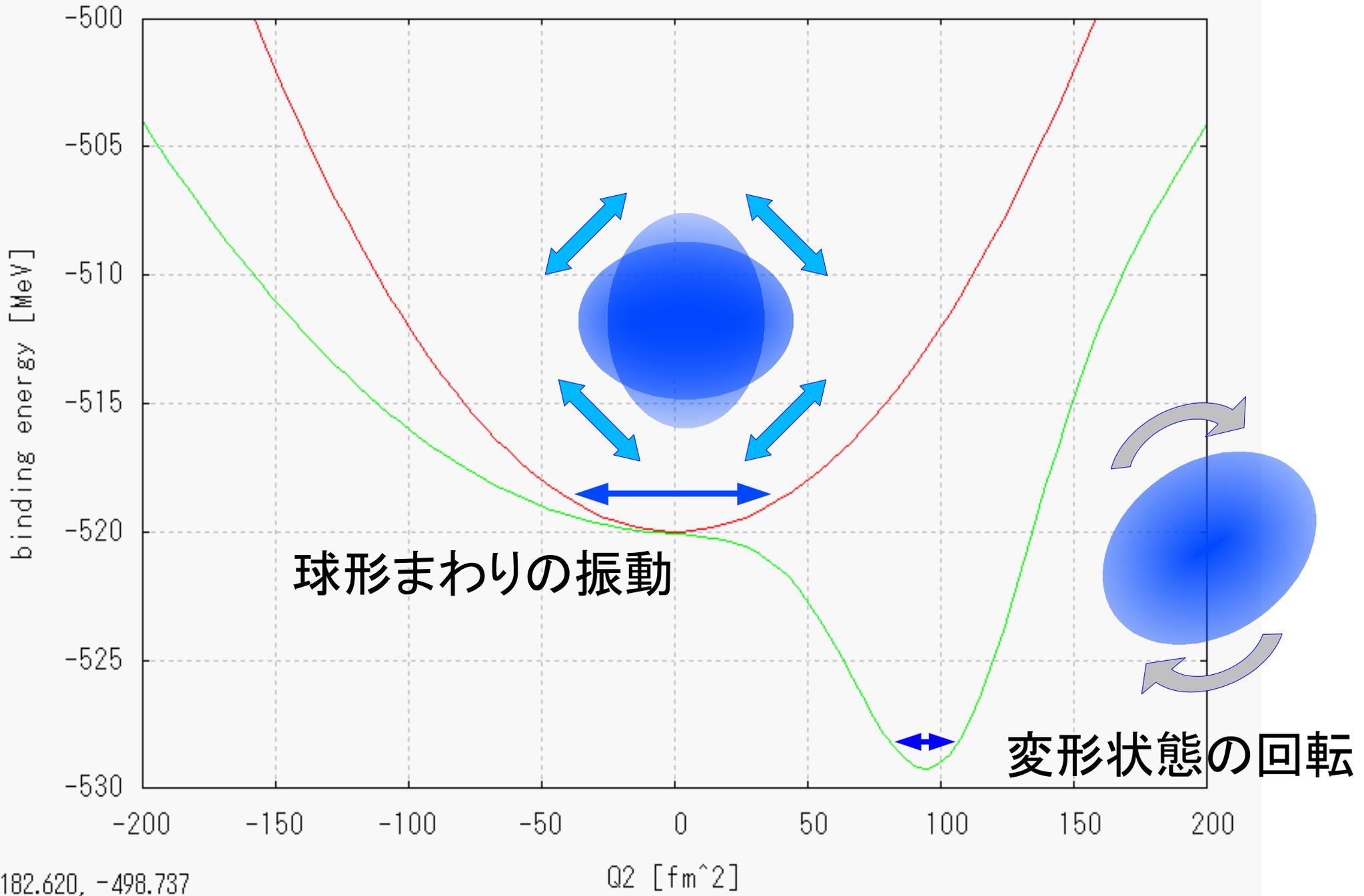


球形周りの振動バンド



変形核の回転バンド

全エネルギーの変形依存性



^{62}Cr の四重極変形とペアリングギャップ

