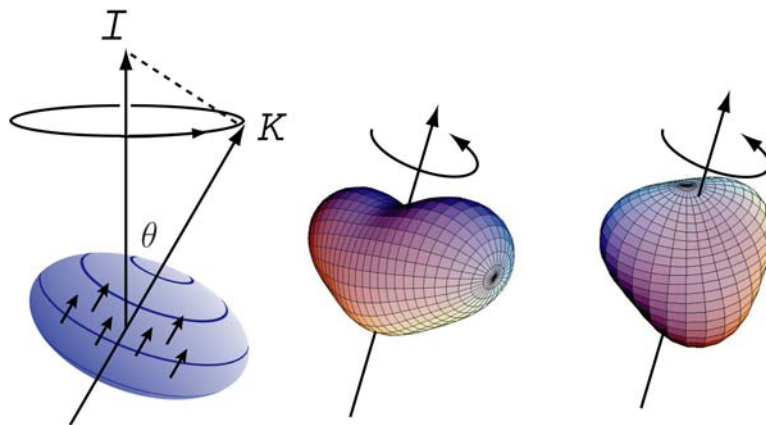


高スピン状態に特有な集団モードの探求

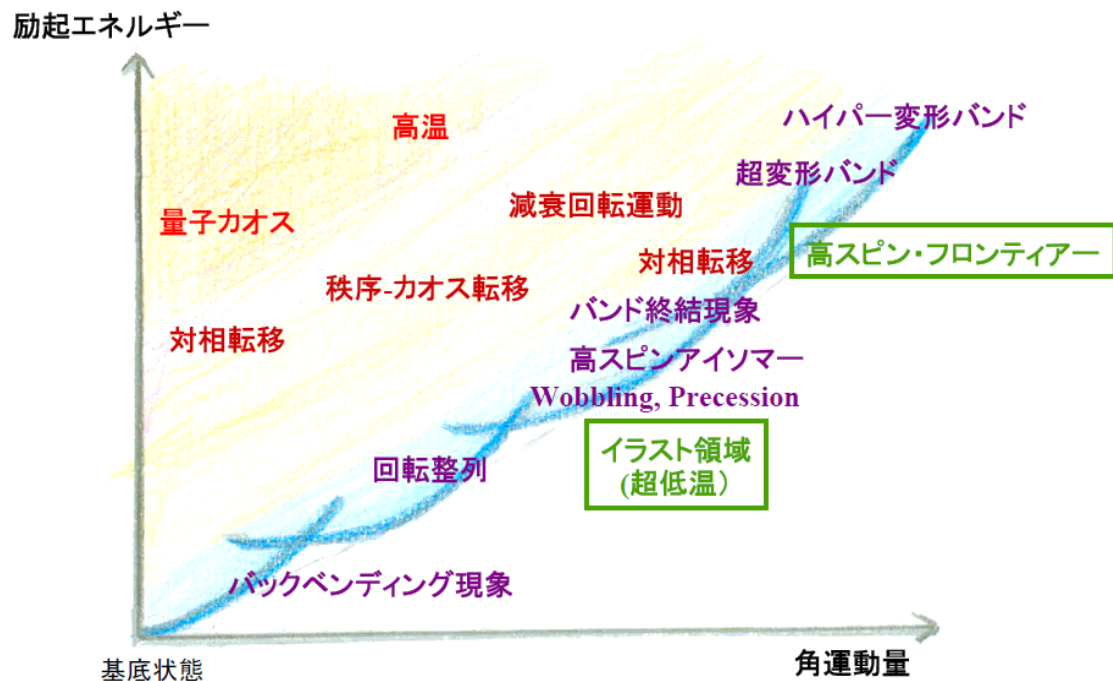
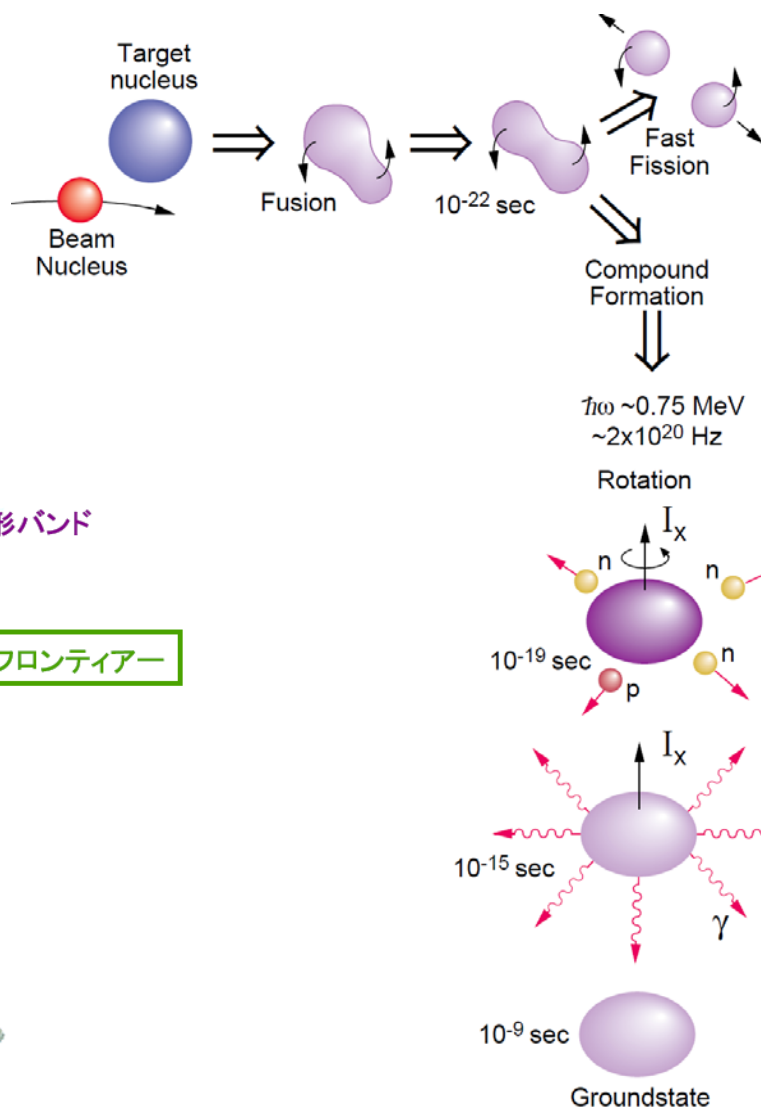


高速回転は新しい型の振動モードを生み出すだろうか

ソフトな集団励起モードの集団性(コヒーレンス)が生み出される
微視的メカニズムを基礎に立ち戻って考えてみよう。

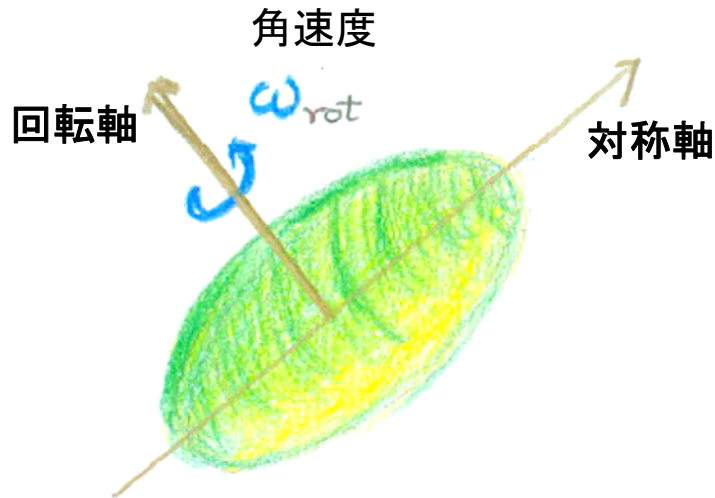
- ♥ Soft octupole vibration built on superdeformed bands
- ♥ Wobbling and Precession
- ♥ Chiral doublets, Triaxial vibrations

70年代以降、
 高スピンフロンティアは著しく拡大したが
 高スピンでの振動モードはごく僅かしか
 分かっていない



高スピン状態の作り方

1. 集団的回転運動



角運動量(スピン)の向きは
平均場の**対称軸と垂直方向**

2. 個別核子のスピン整列

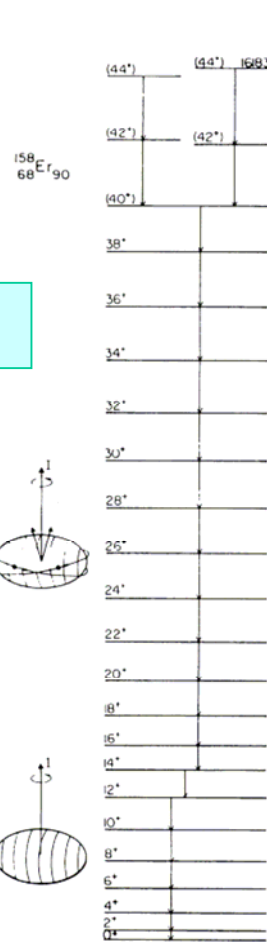


角運動量(スピン)の向きは
平均場の**対称軸方向**

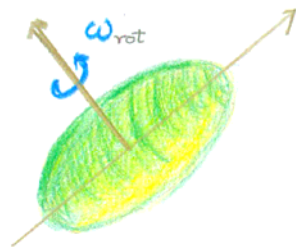
これらの組み合わせで極めて豊富な構造が作られる

対照的な高スピン・スペクトル

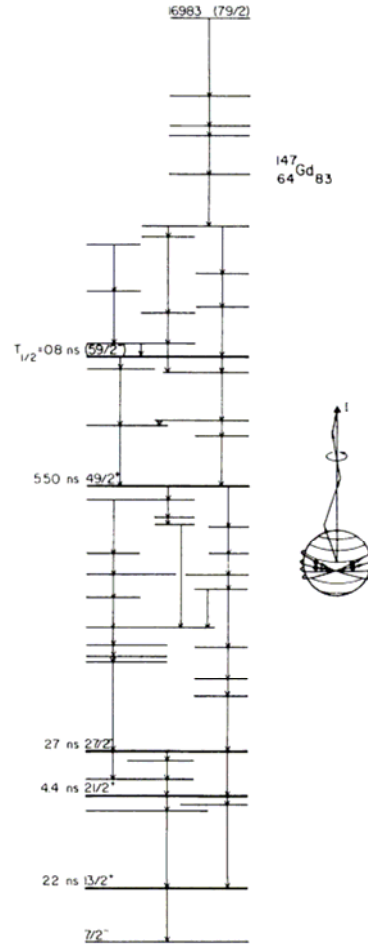
集団回転スペクトル



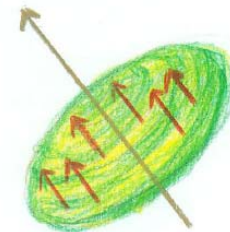
プロレート変形



高スピン・アイソマー

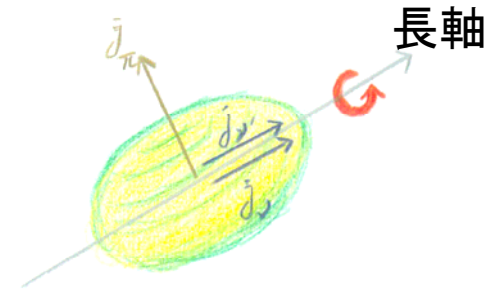
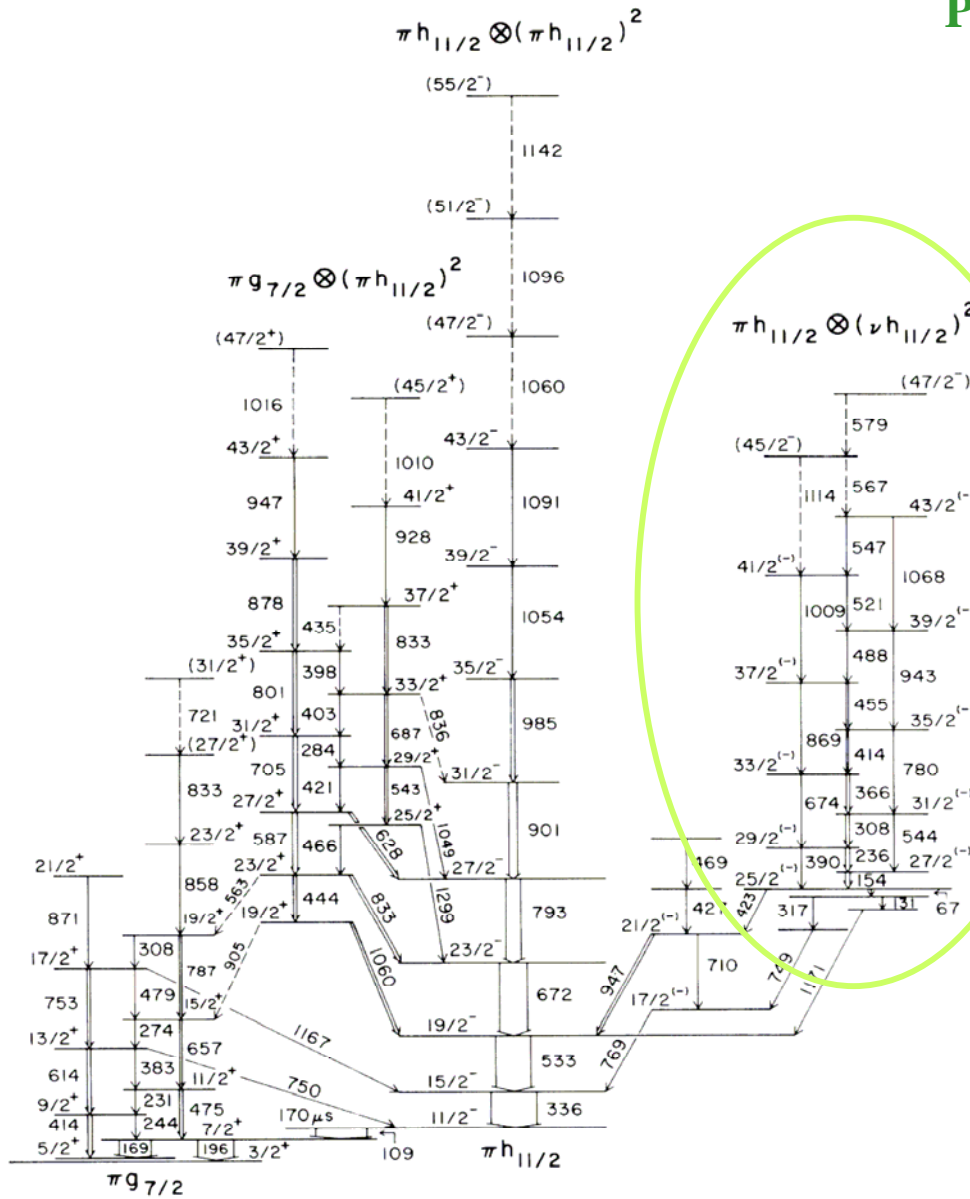


オブレート変形

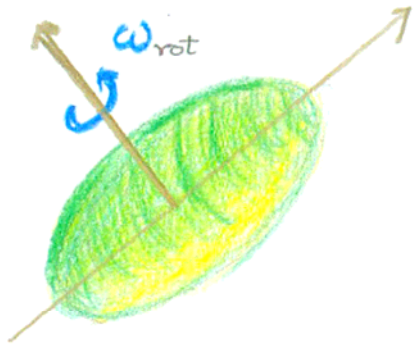


Collective Oblate Band in ^{131}La

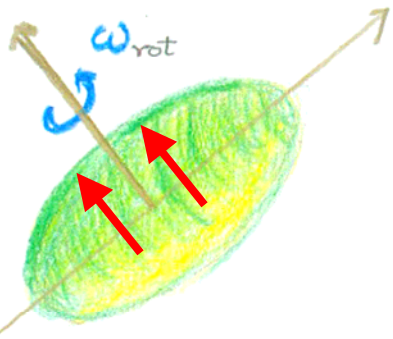
E.S. Paul et al.,
 Phys. Rev. Lett , 58 (1987) 984



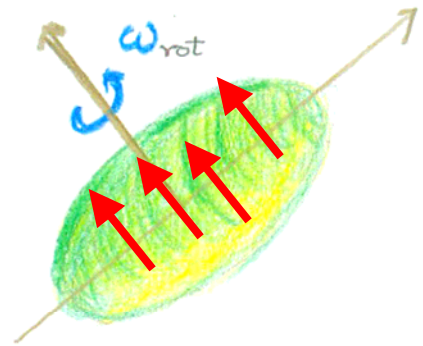
イラスト線に沿っての内部構造の変化



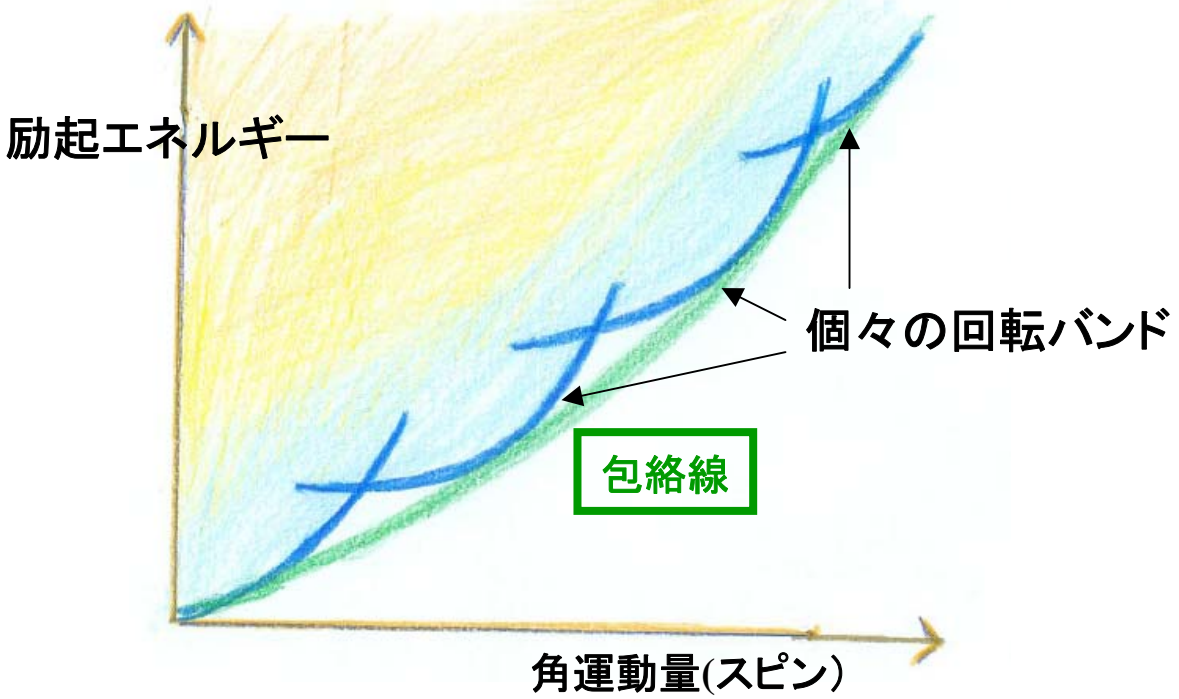
プロレート変形



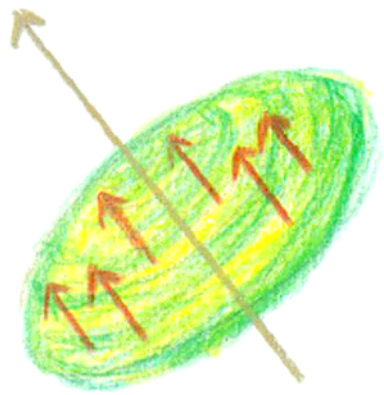
2準粒子のスピンの整列



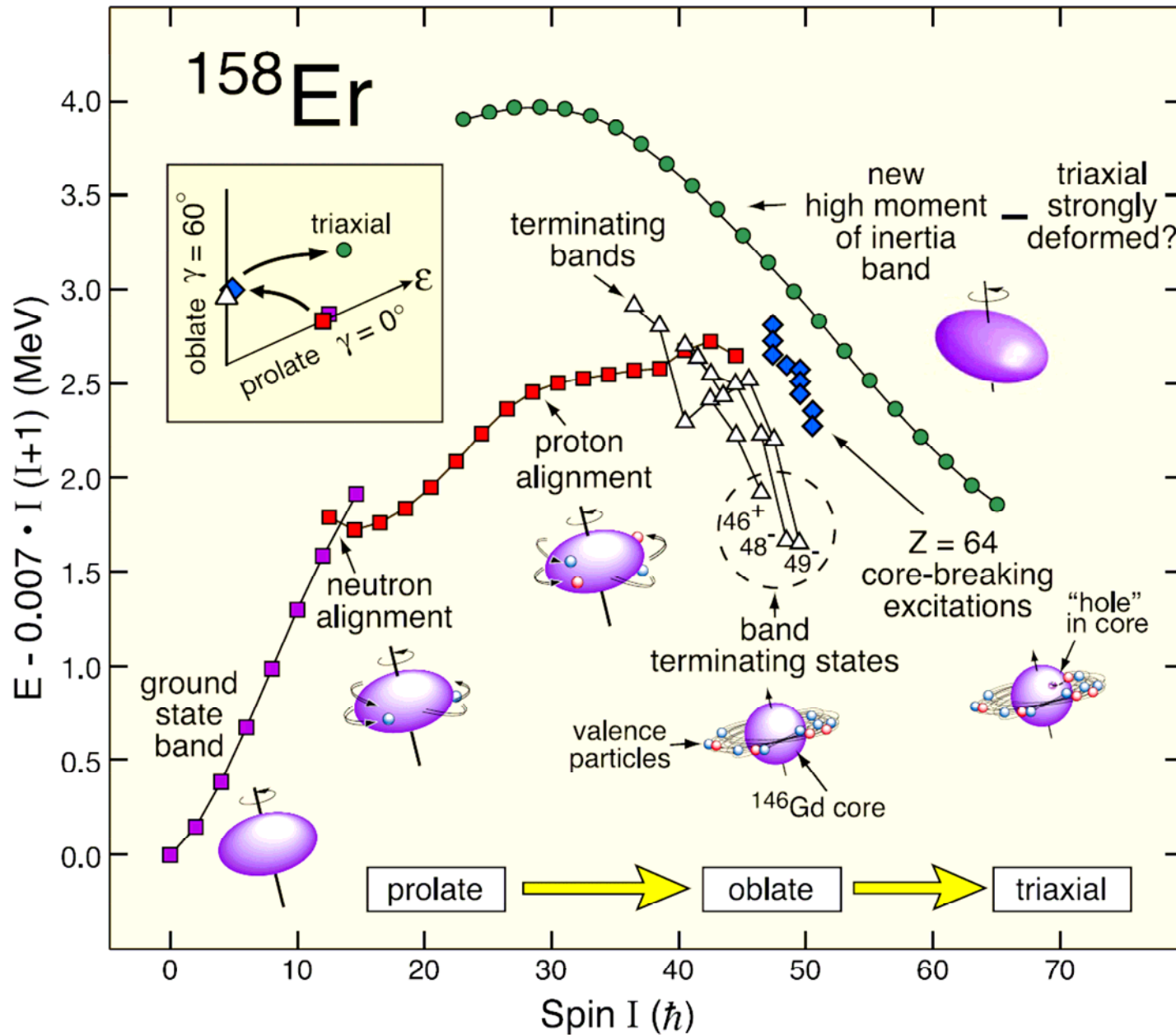
4準粒子のスピンの整列



非軸対称変形の成長

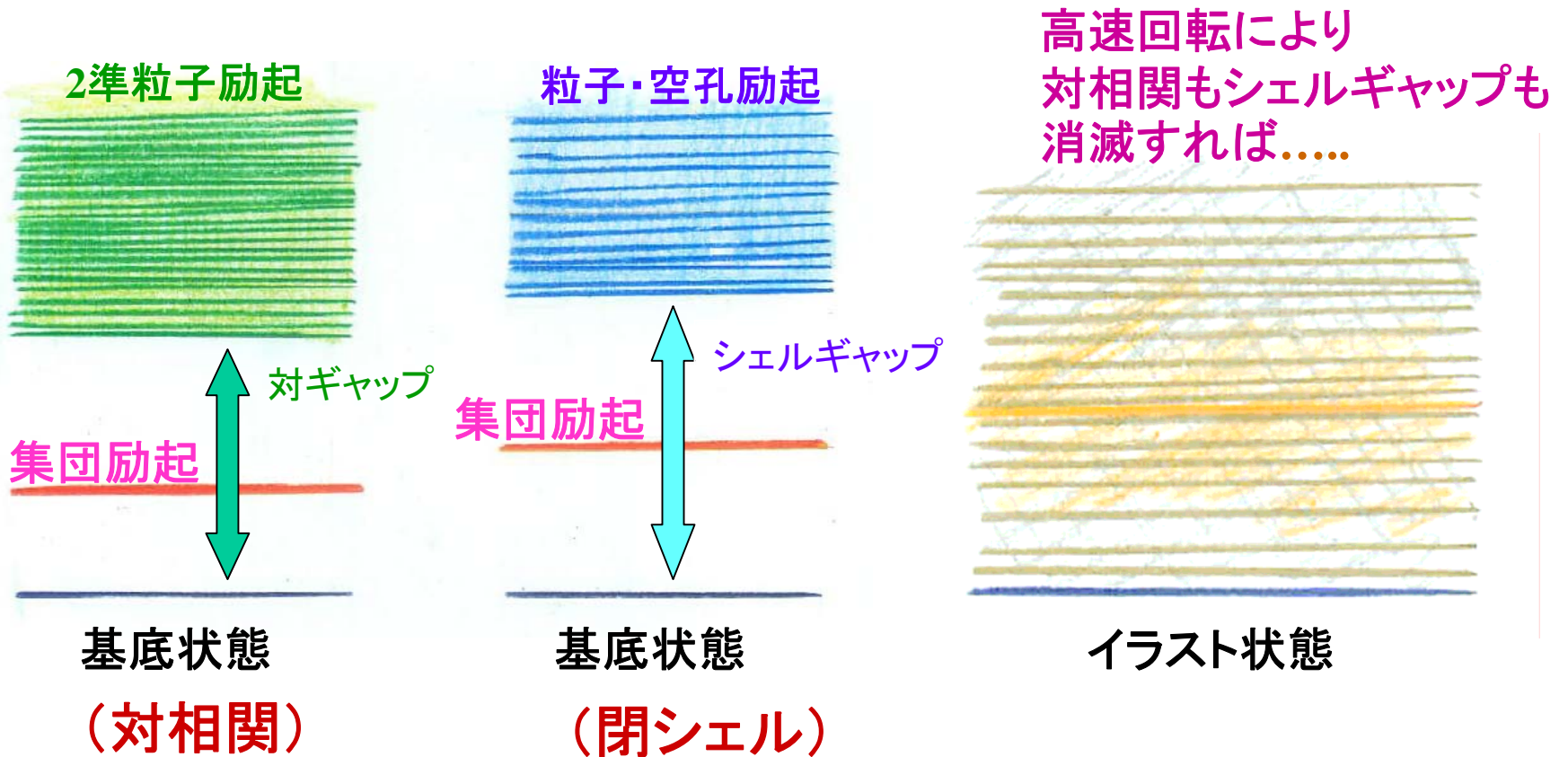


多数の核子のスピンの整列
オブレート変形



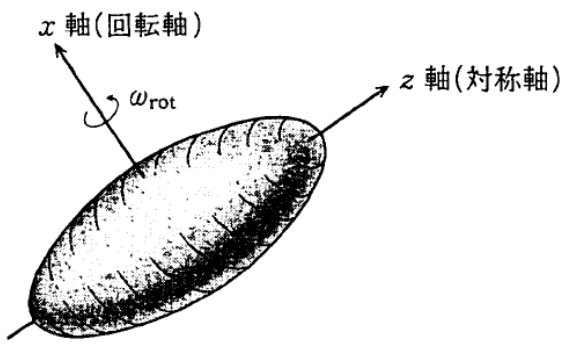
1970年代-1980年代

高スピンスペクトルはすべて回転系での準粒子励起によって説明でき、
低振動数の集団振動モードは高スピんで消滅しているように見えた



回転座標系での準粒子シェルモデル

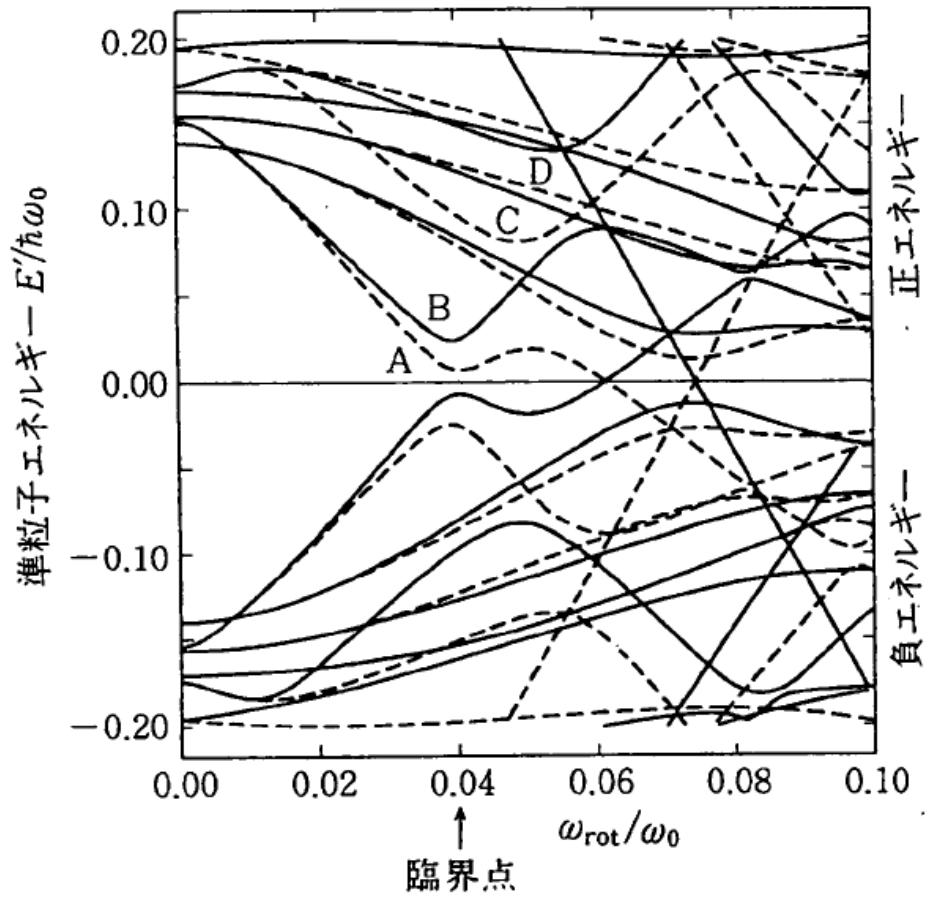
$$\begin{aligned}
 H &= \sum_i (e_i - \lambda) c_i^\dagger c_i - \Delta \sum_i (c_i^\dagger c_i^\dagger + c_i c_i) - \omega_{\text{rot}} \sum_{i,j} \langle i | J_x | j \rangle c_i^\dagger c_j \\
 &= \sum_\mu E_\mu a_\mu^\dagger a_\mu + \sum_{\bar{\mu}} E_{\bar{\mu}} a_{\bar{\mu}}^\dagger a_{\bar{\mu}}
 \end{aligned}$$



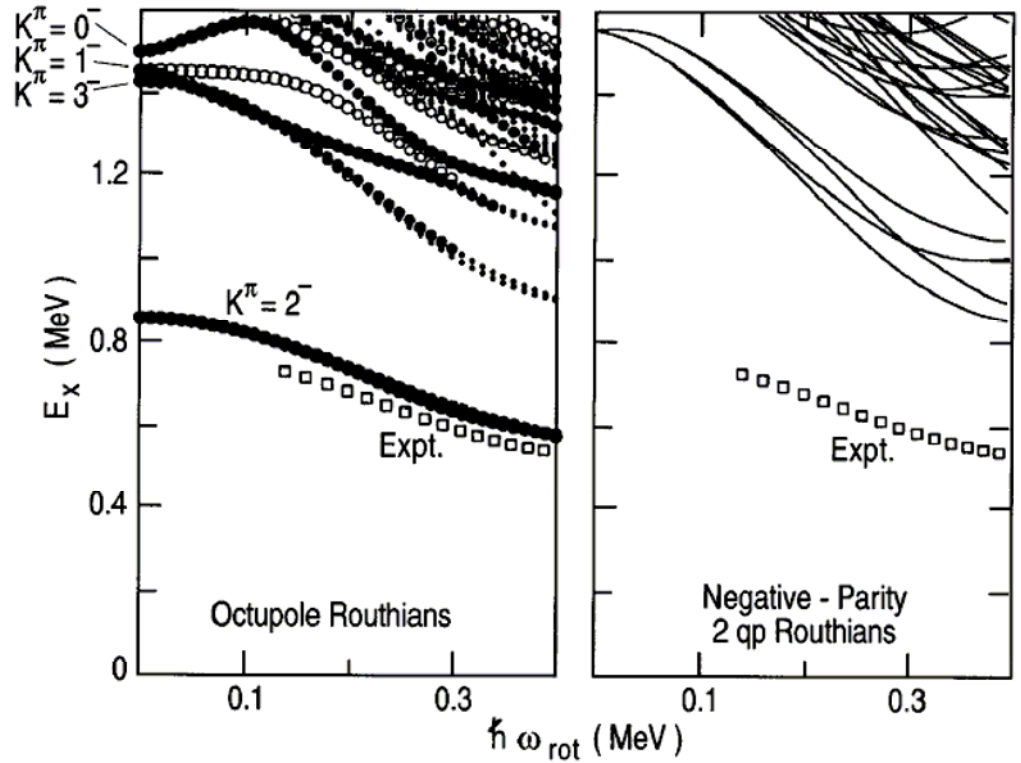
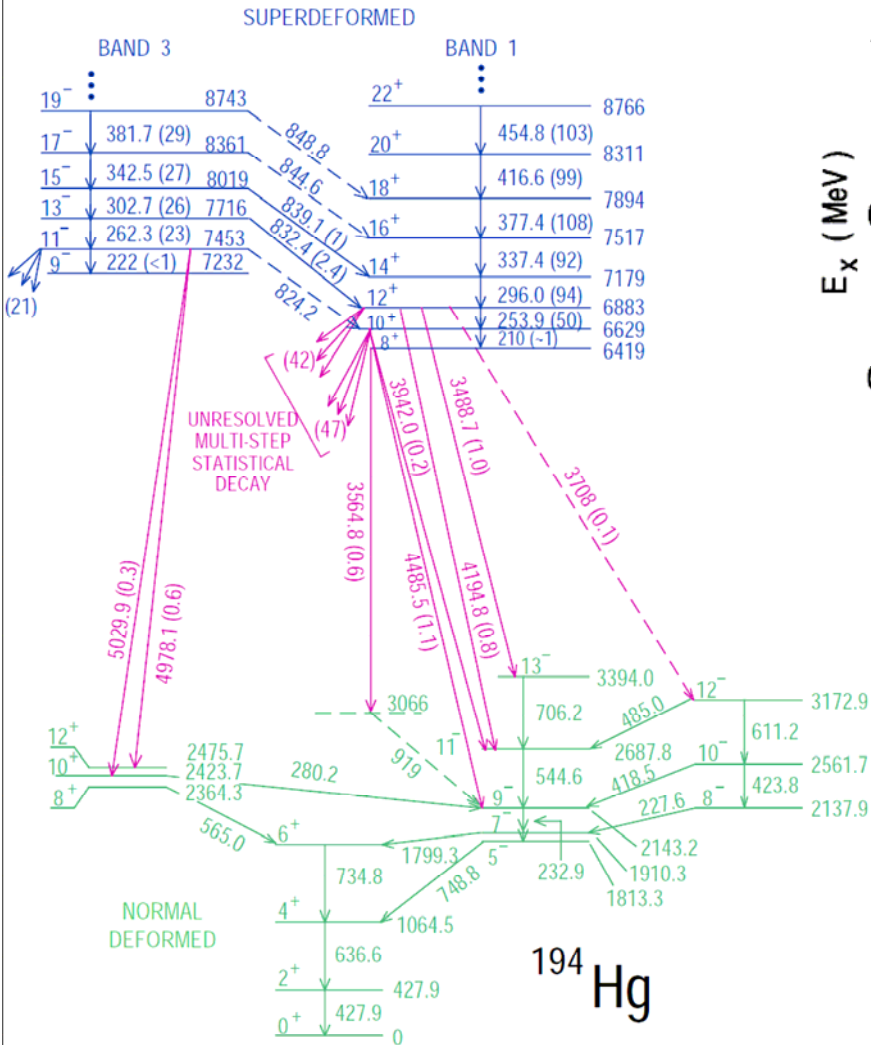
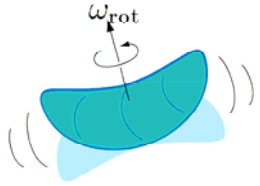
変形、対凝縮、回転による
対称性の破れ



一般化された1粒子運動モード



超変形状態の上のソフトOctupole振動モード



理論: T. Nakatsukasa et al.,
Phys. Rev. C 53 (1996) 2213

回転系での準粒子RPA

実験: G. Hackman et al.,
Phys. Rev. Lett. 79 (1997) 4100

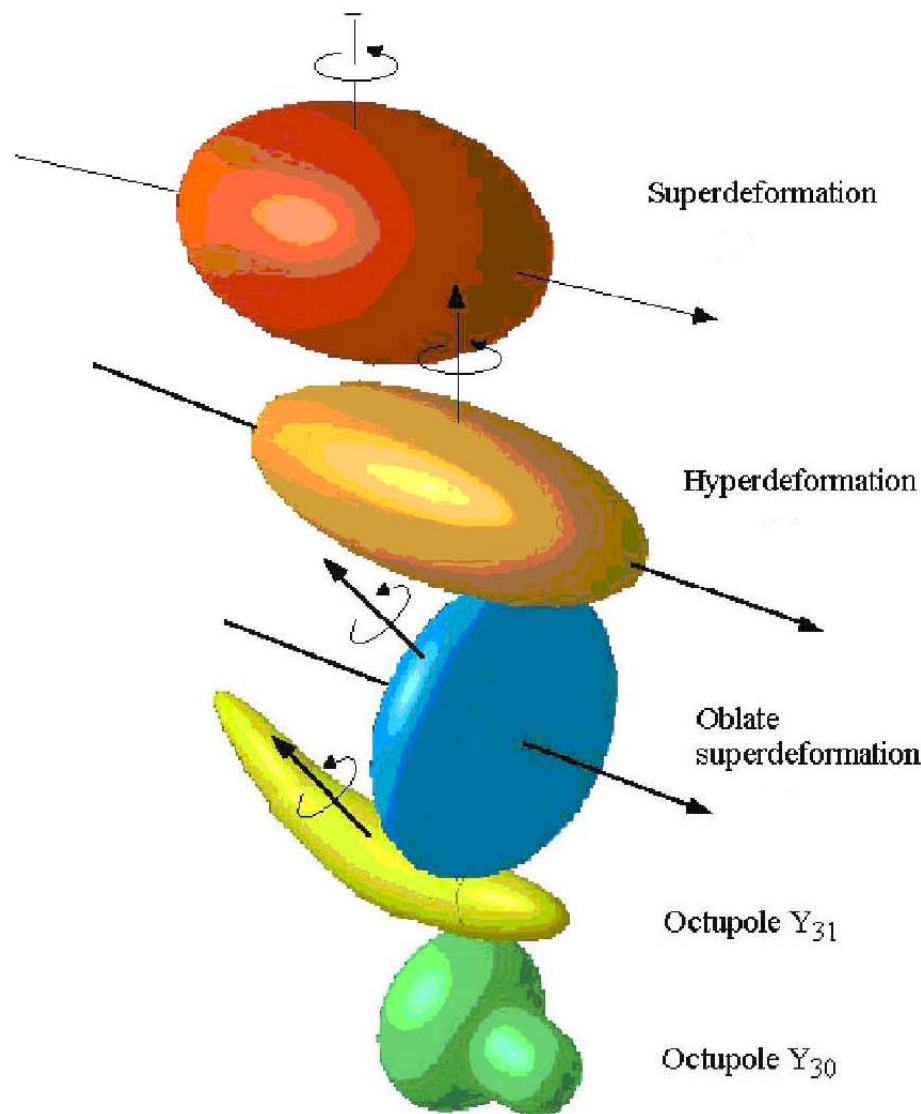
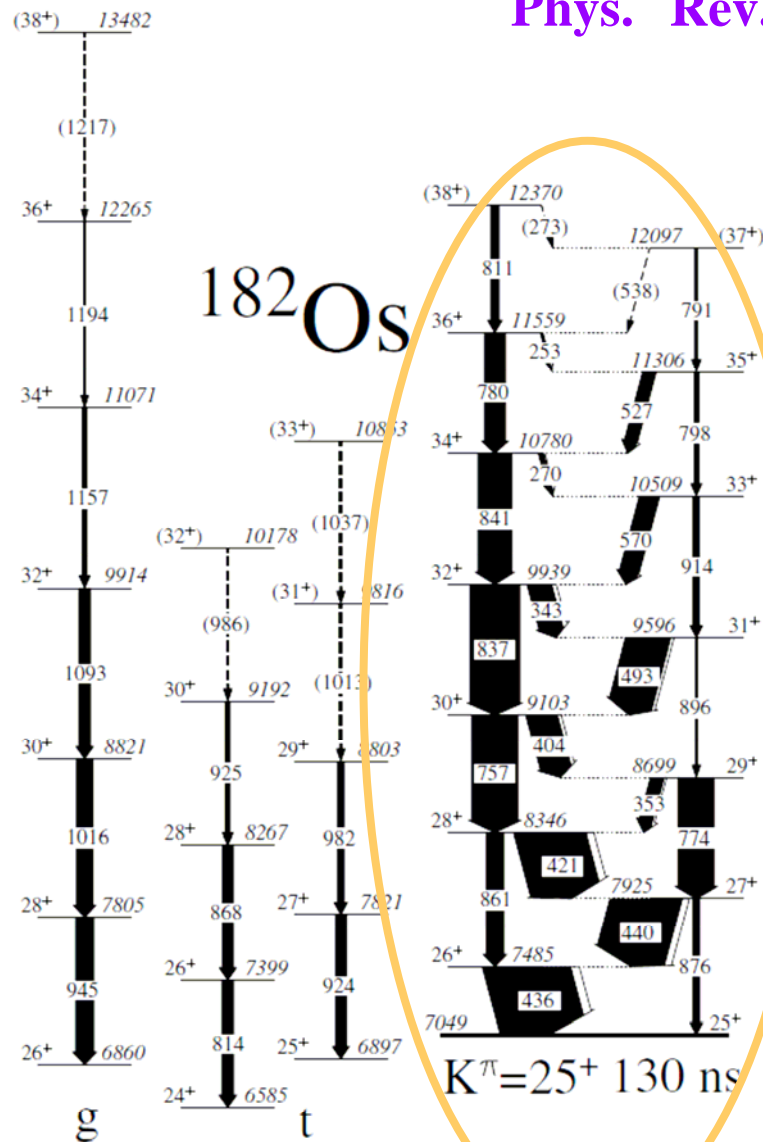


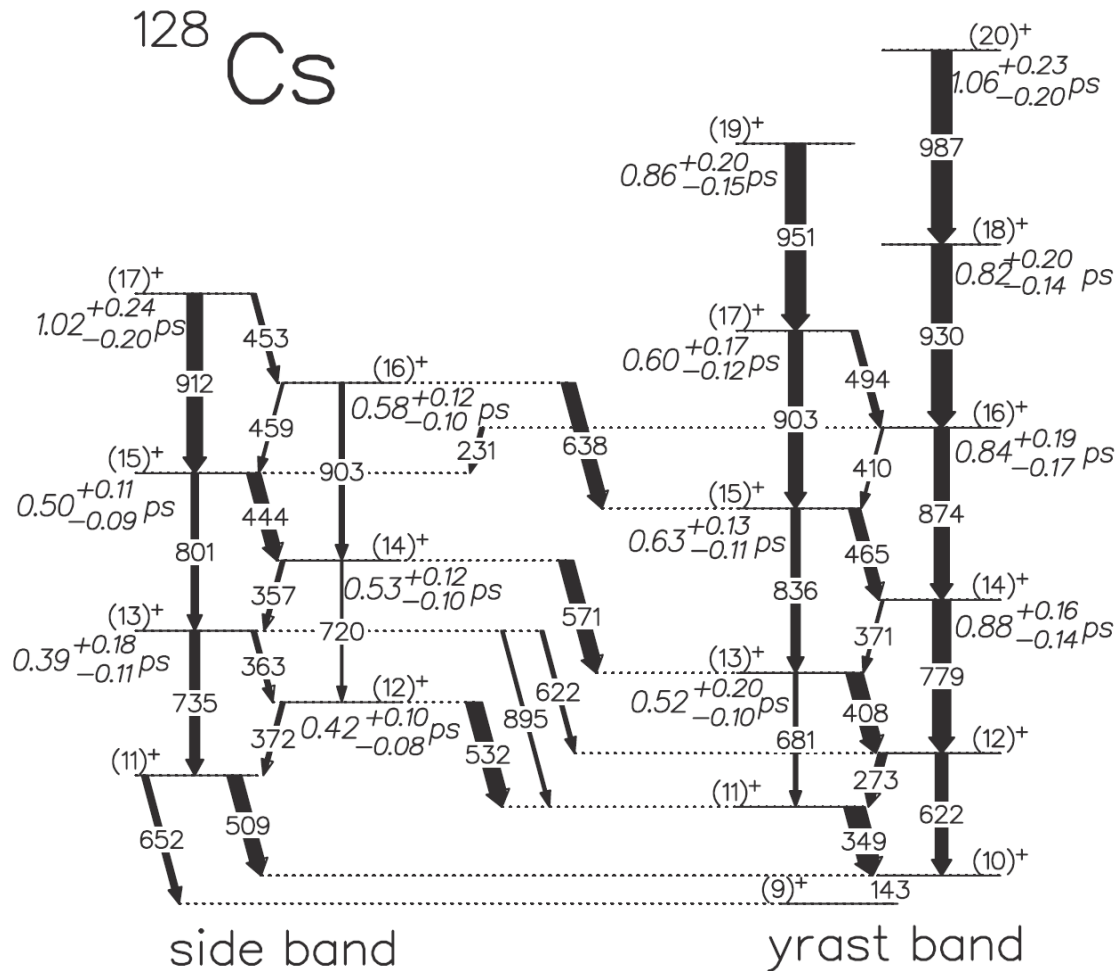
Figure 1.2. Various shapes observed or expected in nuclei. Exotic orbitals that appear in regions far from the stability line may provide some new types of deformation. The superdeformation (top) and pear shape (bottom) have been observed experimentally; the oblate superdeformation has been predicted but not observed—less deformed oblate shapes are, however, quite common. The hyperdeformation (second from the top) has been seen in certain nuclei. The octupole banana-type deformation has not been observed in such extreme form, but vibrations of this kind are well known.

High-K アイソマー上に形成された γ 振動の多フォノン状態？

Phys. Rev. Lett. 91 (2003) 182501



カイラル2重項



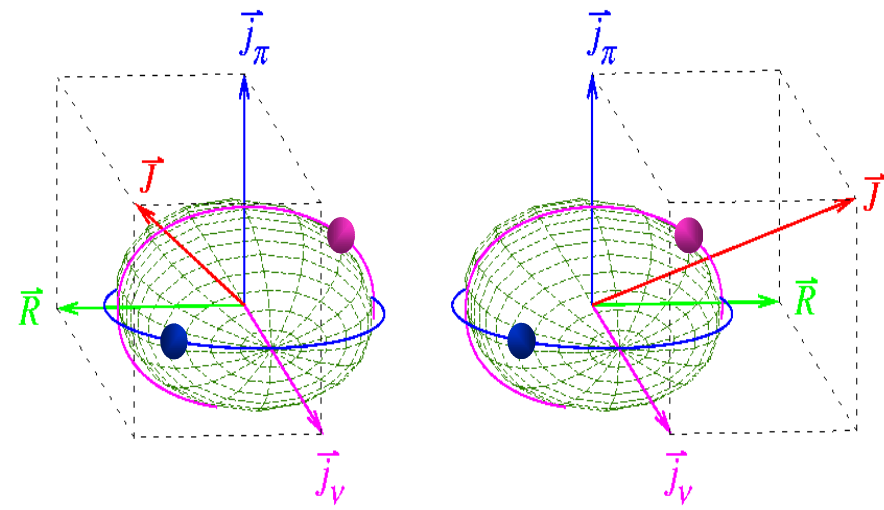
Chirality

$$[O, H] = 0, O = TR_y(\pi)$$

$$H |R\rangle = \varepsilon_R |R\rangle, H |L\rangle = \varepsilon_L |L\rangle,$$

$$|R\rangle = O |L\rangle, |L\rangle = O |R\rangle,$$

$$\varepsilon_R = \varepsilon_L$$



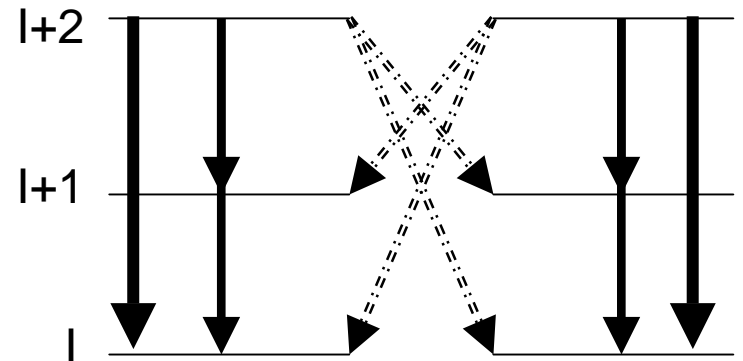
$$|IM +\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|R\rangle + |L\rangle),$$

$$|IM -\rangle = \frac{i}{\sqrt{2}} (|R\rangle - |L\rangle),$$

$$H |IM \pm\rangle = \varepsilon_{\pm}^{IM} |IM \pm\rangle,$$

$$O |IM \pm\rangle = |IM \pm\rangle,$$

$$\varepsilon_{+}^{IM} = \varepsilon_{-}^{IM}$$

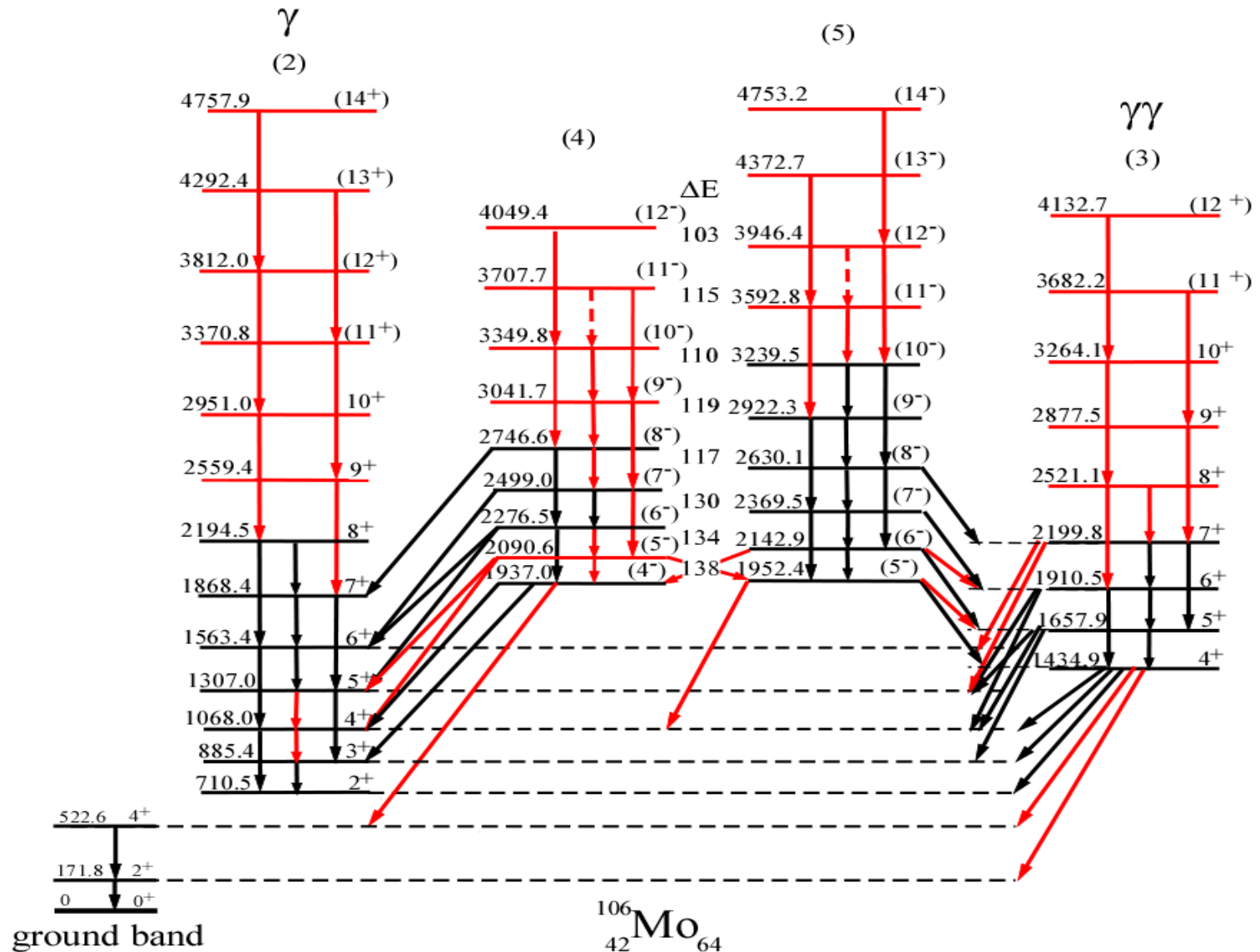


Different from Parity
T: time reversal operator anti-linear

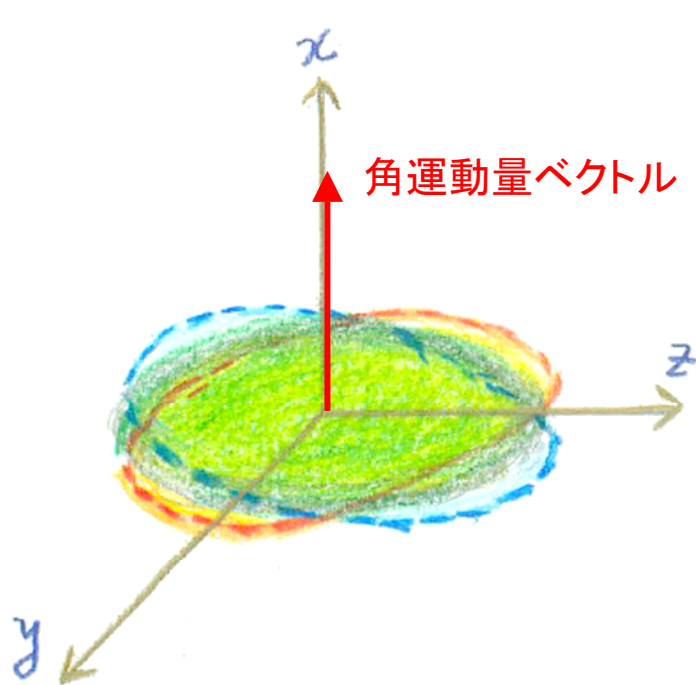
Soft Chiral Vibrations ?

Talk by J.H. Hamilton at ENAM04

Eur. Phys. J. A direct (2005)

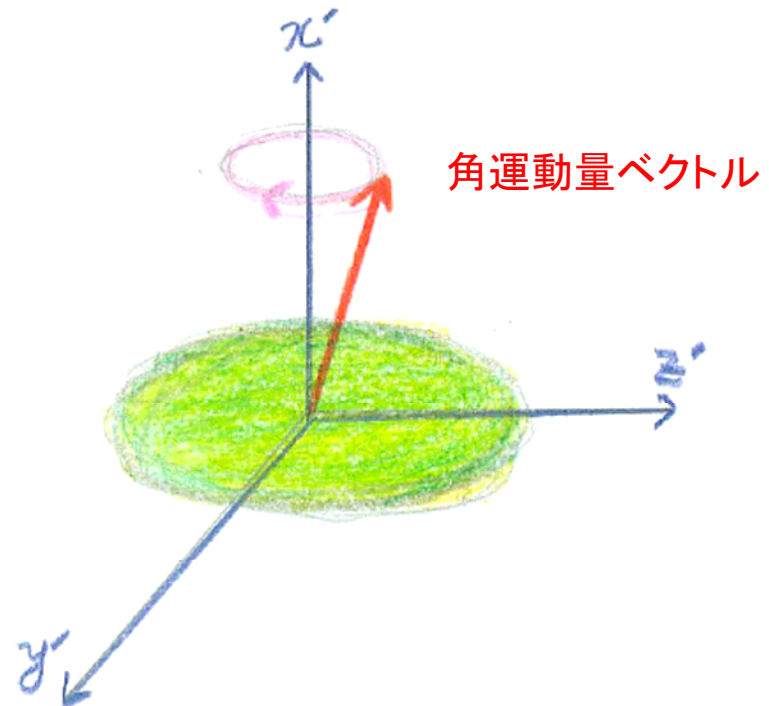


Wobbling Motion の2つの描像



一様回転する座標系からみると
形が振動しているように見える

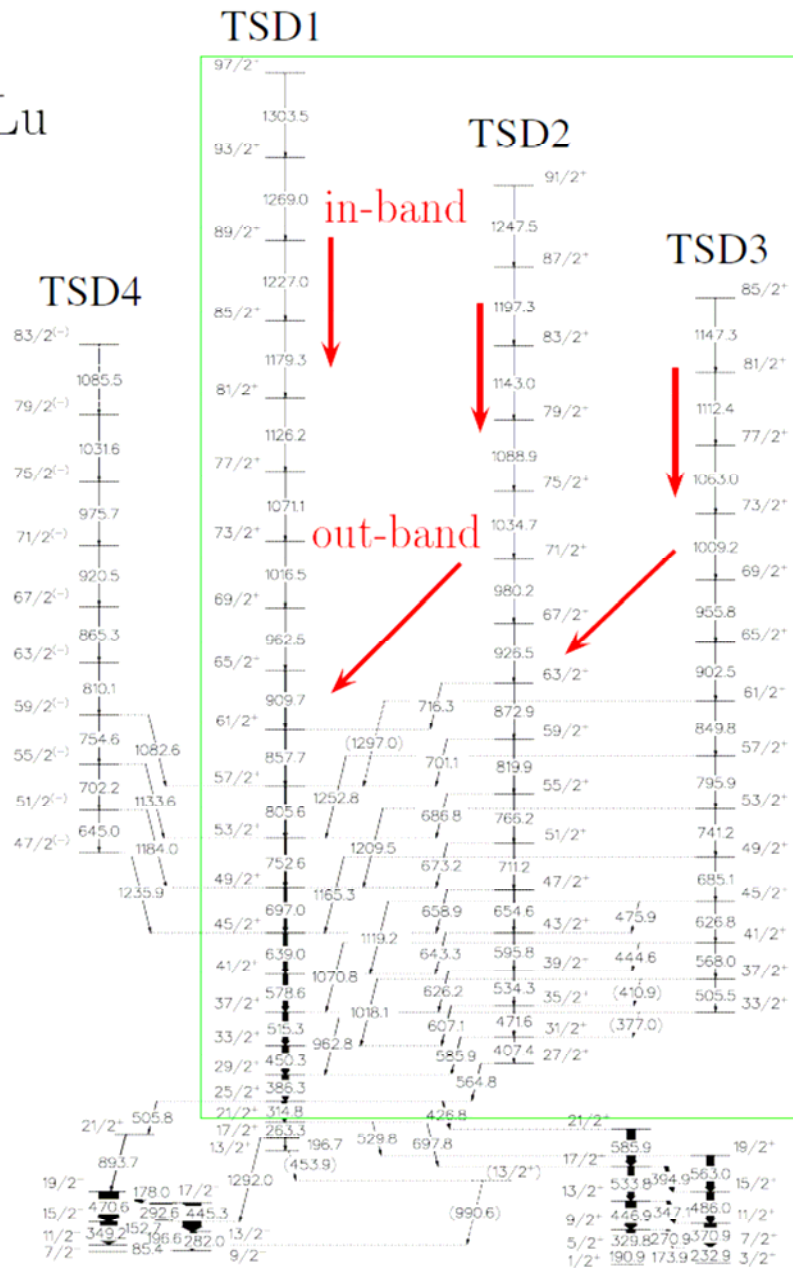
(角運動量ベクトルの方向をx軸と定義)



原子核の
主軸に固定された座標系から見ると
角運動量ベクトルが周期運動
しているように見える

非軸対称な原子核

^{163}Lu

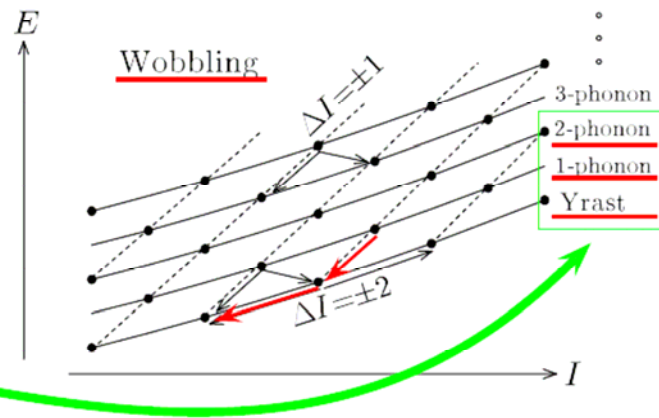


Wobbling Spectra

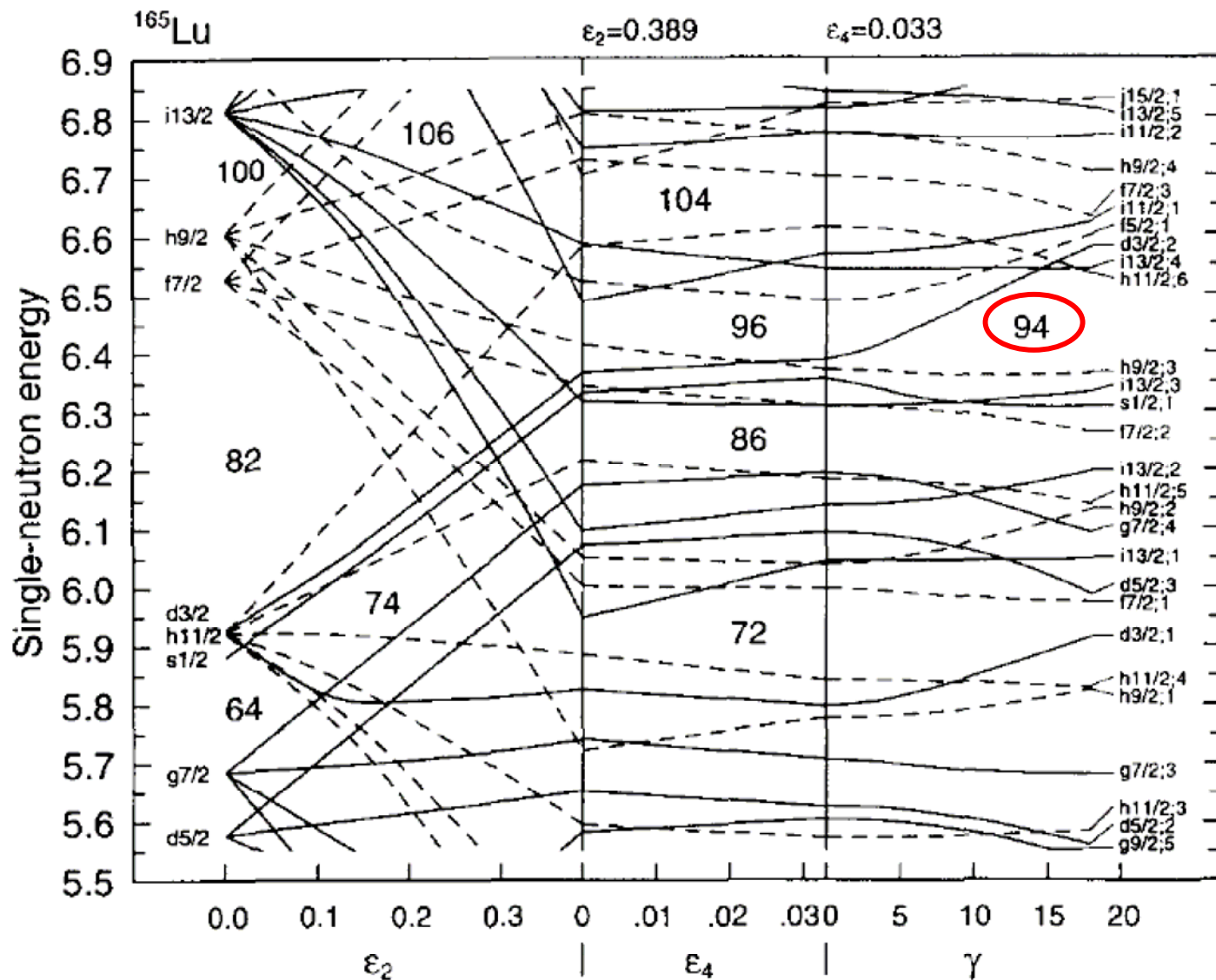
D. R. Jensen et al., Eur. Phys. J. **A19** (2004), 173

First identified by
Ødegård et al. (2001)

なぜか
Odd-A核でしか発見されていない



非軸対称4重極変形に関する魔法の数



軸対称変形 β

非軸対称変形 γ

Wobbling Motionの振動数

$$H = \frac{I_x^2}{2\mathcal{J}_x} + \frac{I_y^2}{2\mathcal{J}_y} + \frac{I_z^2}{2\mathcal{J}_z}$$



for $I_x \gg I_y, I_z$

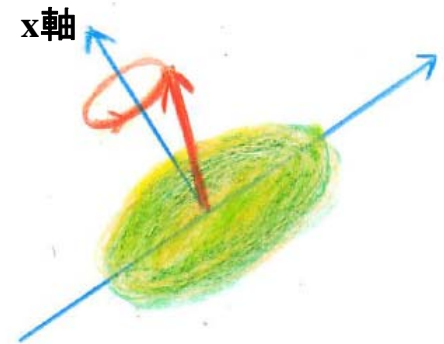
$$E(n, I) = \frac{I(I+1)}{2\mathcal{J}_x} + \hbar\omega\left(n + \frac{1}{2}\right), \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

$$\hbar\omega = I \sqrt{\left(\frac{1}{\mathcal{J}_y} - \frac{1}{\mathcal{J}_x}\right)\left(\frac{1}{\mathcal{J}_z} - \frac{1}{\mathcal{J}_x}\right)}$$

このモードが存在するためには $\mathcal{J}_x \geq \mathcal{J}_y, \mathcal{J}_x$ が必要

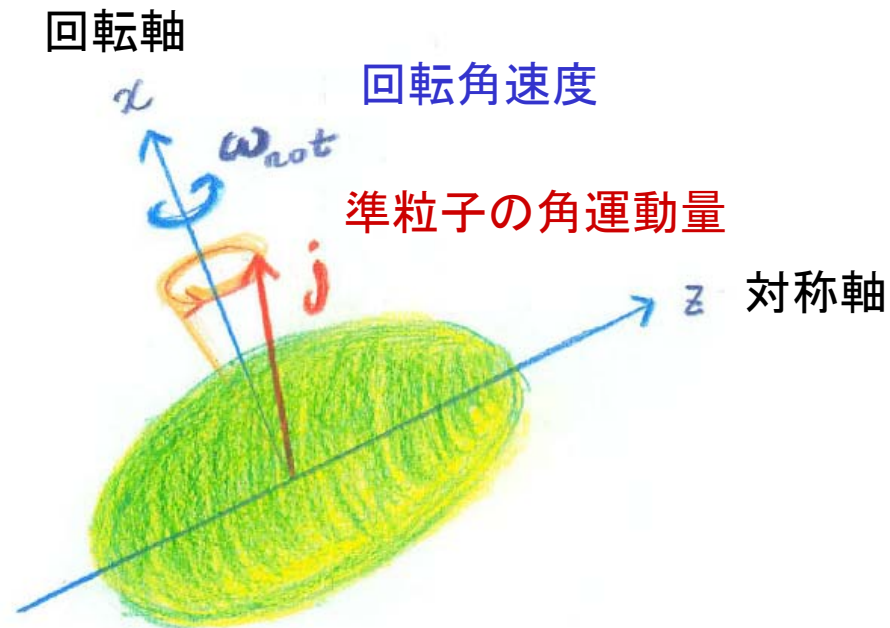
3つの主軸まわりの慣性モーメント $\mathcal{J}_x, \mathcal{J}_y, \mathcal{J}_z$
を回転系RPAを用いて微視的に計算できる

M. Matsuzaki et al., Phys. Rev. C 69 (2004) 034325

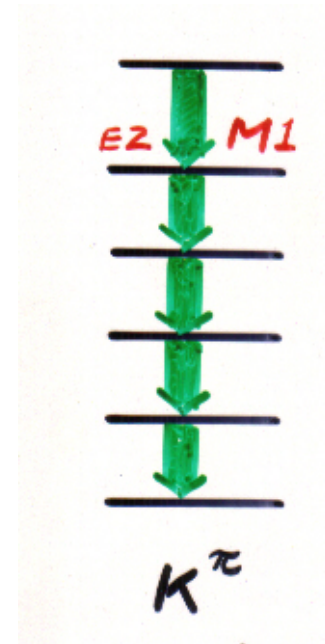
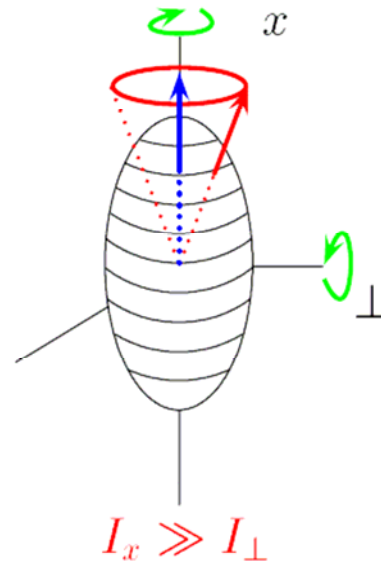
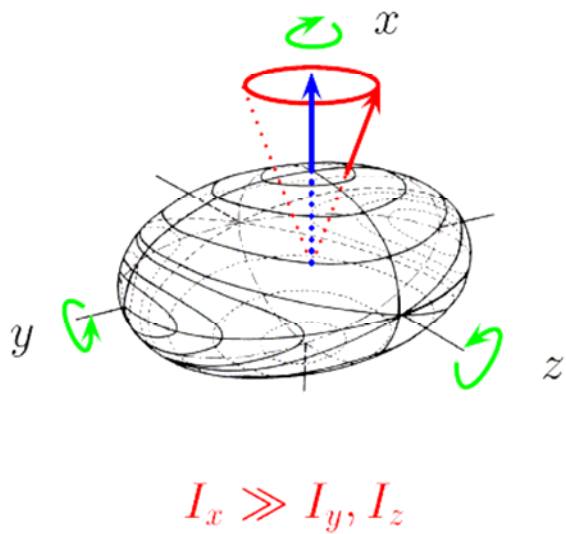


重要な結論

シェル構造と準粒子の角運動量整列という
ミクロ構造が本質的な役割を果たしている。
古典的・現象論的モデルでは説明できない。



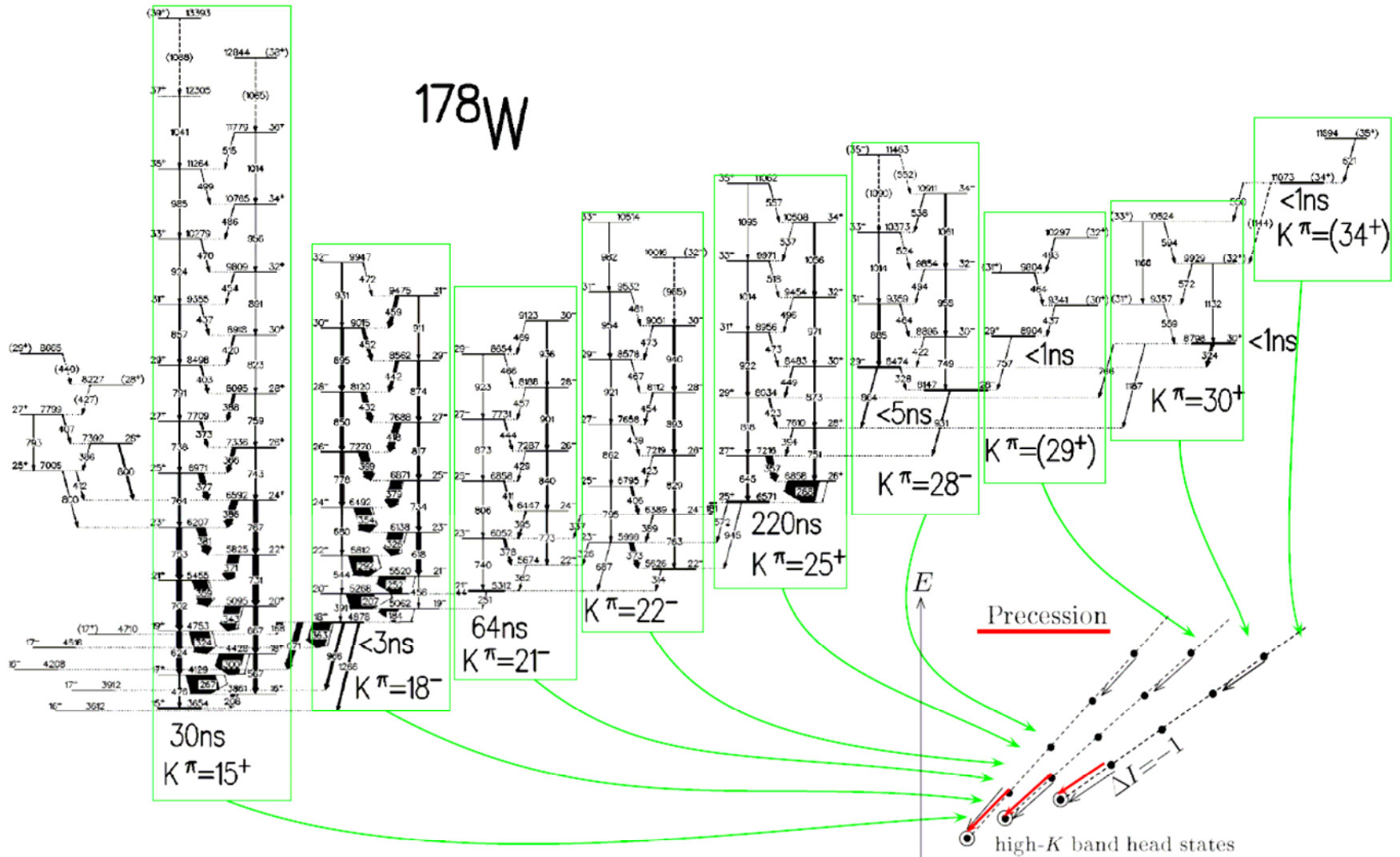
Wobbling と Precession



High-K アイソマーの上に立つ回転バンド

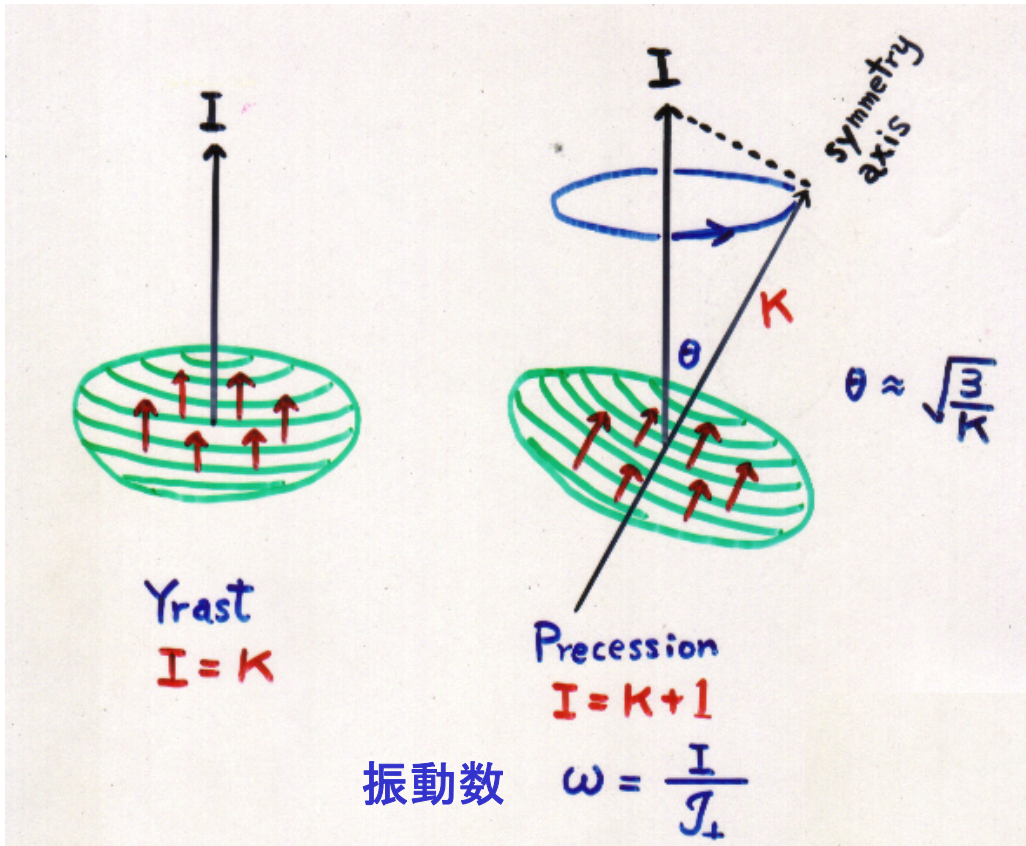
Precession Spectra

D. M. Cullen et al., Phys. Rev. **C60** (1990), 064301.

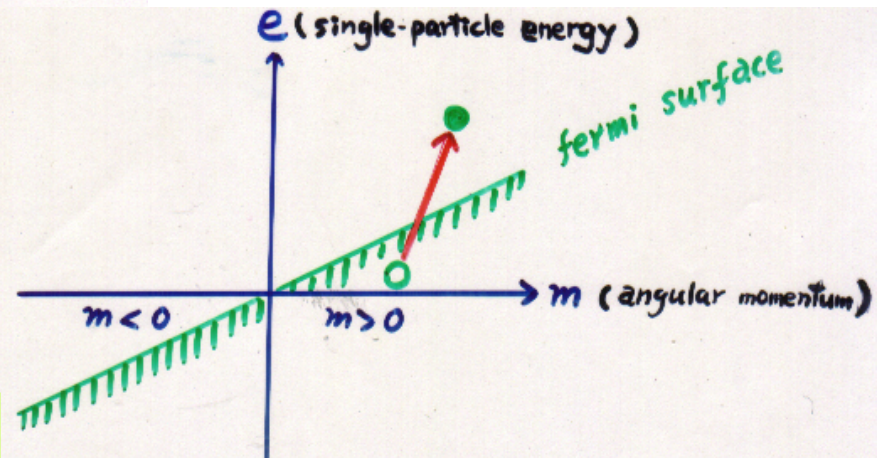


high- K rotational bands: known for many years

歳差(Precession)運動のRPA

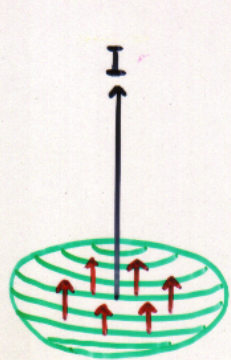


微視的構造

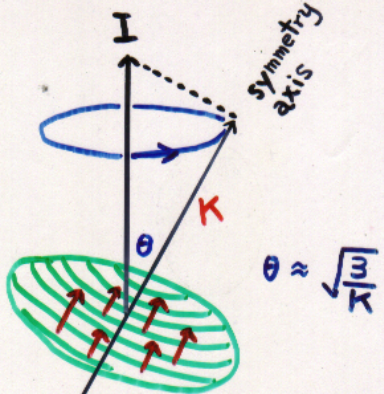


傾斜したフェルミ面

高スピン・オブレート・アイソマーの上に 歳差運動(Precession) バンドは形成されるだろうか



Yrast
 $I = K$



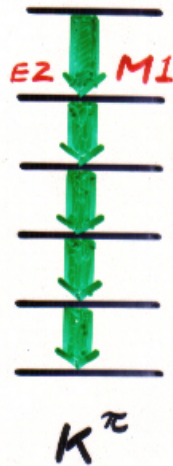
Precession

$I = K + 1$

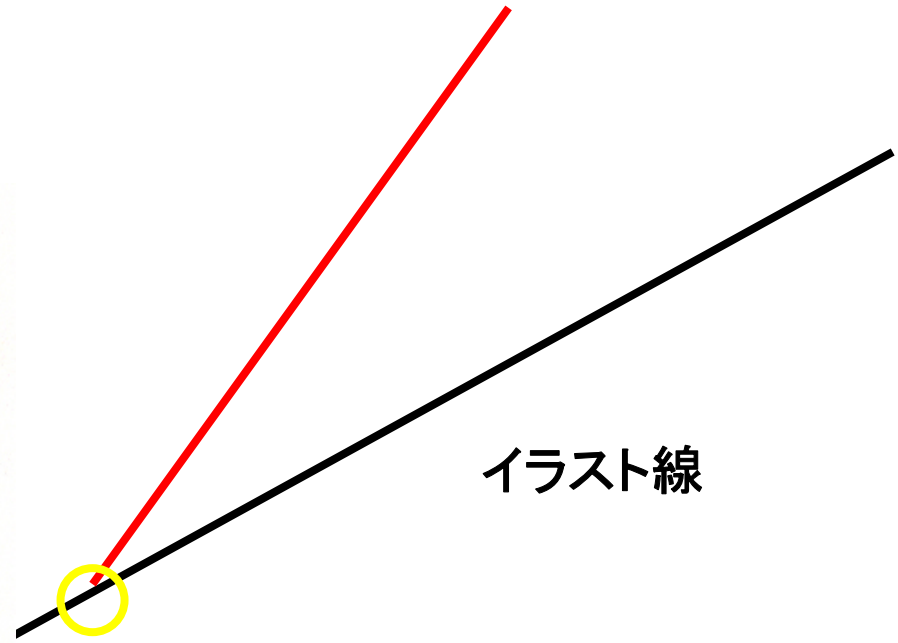
$$\omega = \frac{I}{J_{\perp}}$$

$$\theta \approx \sqrt{\frac{J_{\perp}}{K}}$$

慣性モーメント vs 準位密度



Precession Band



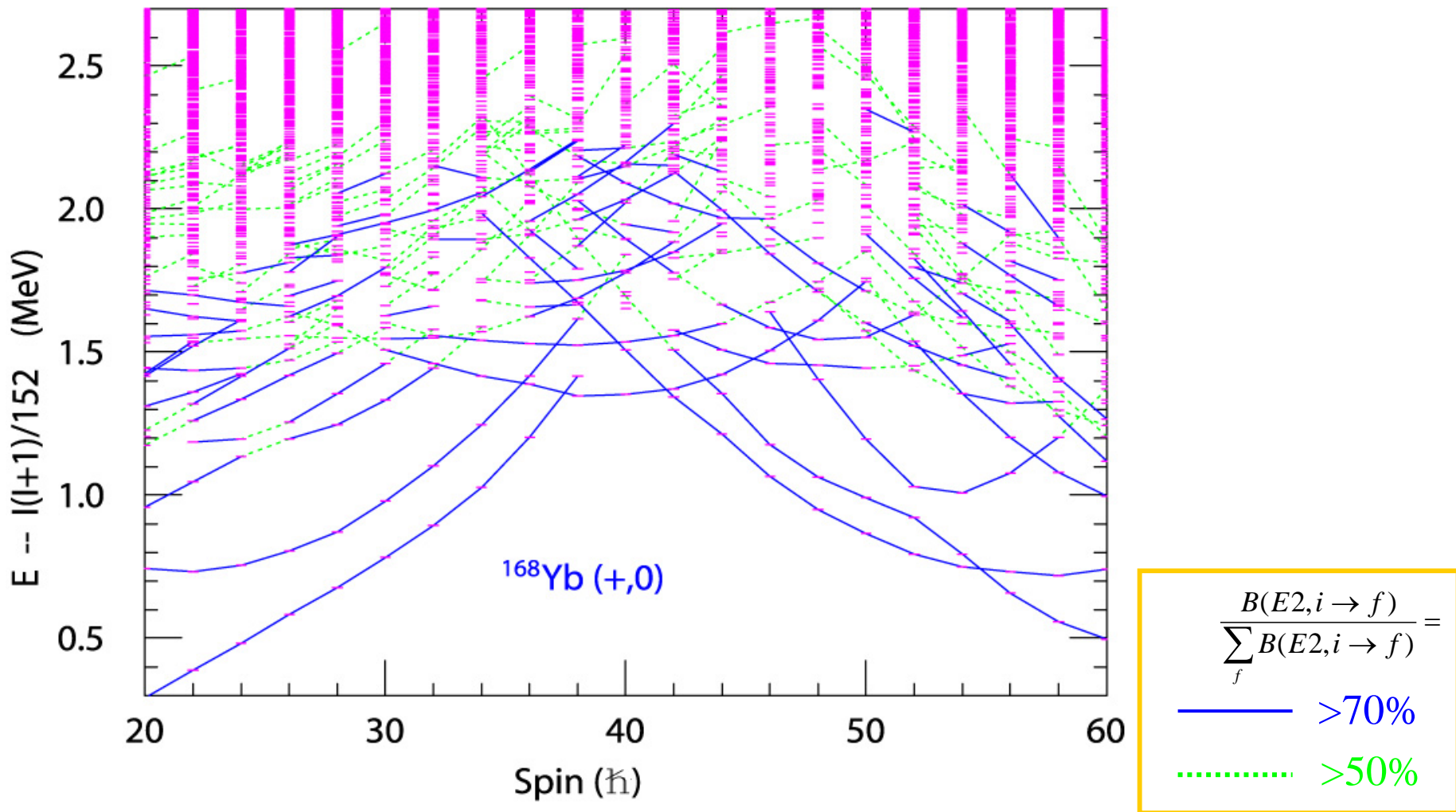
オブレートアイソマー

イラスト線

角運動量



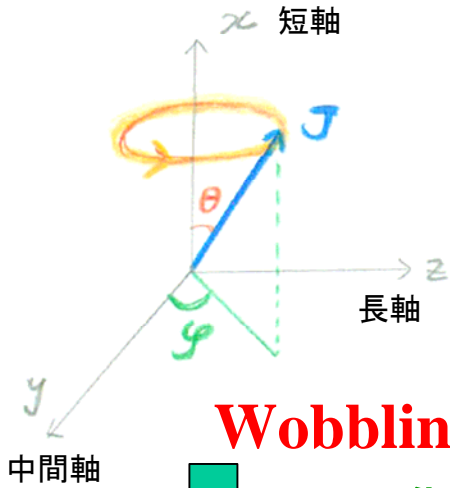
エネルギー準位と回転バンド構造



非軸対称変形の主軸系からみた角運動量ベクトルのダイナミクス

角運動量の向きの時間変化

$\theta(t), \varphi(t)$



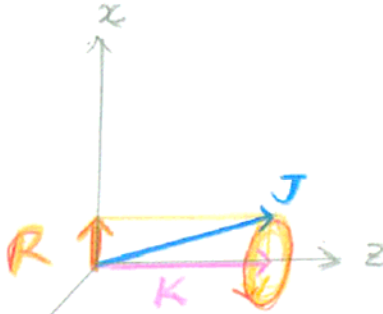
Wobbling

ソフト化

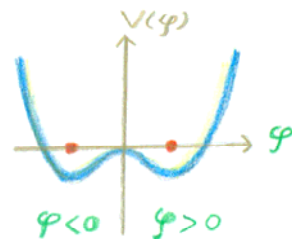
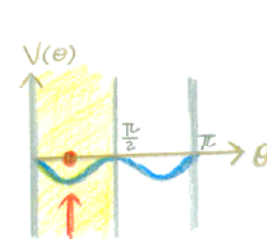
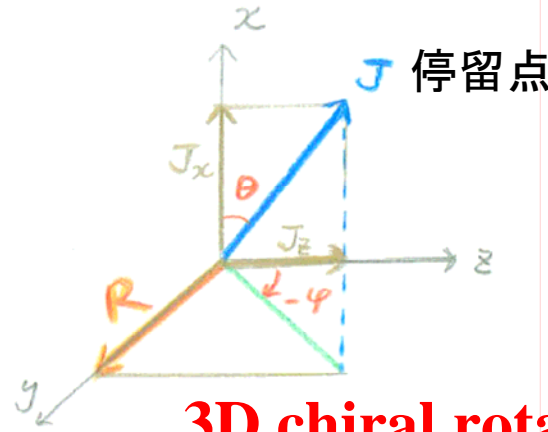
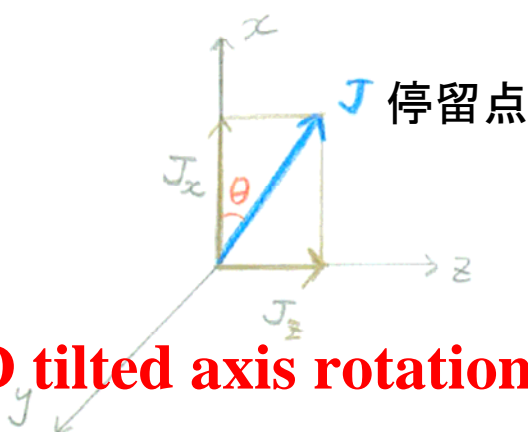
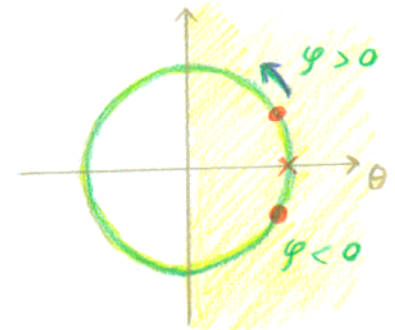


軸対称極限

High-K precession



Chiral doubletの概念



Rの方向が
逆向きのペア

Concluding Remarks

高スピンフロンティアの著しい進展にもかかわらず
まだあまり分かっていないこと: 幾つかの具体例



オブレート変形状態とその回転運動

- ・Oblate-Prolate変形共存現象
- ・高スピンオブレートアイソマーの歳差運動



非軸対称変形と角運動量ダイナミクス

- ・Wobbling motionの微視的構造
- ・Wobbling不安定性とtilted axis rotationの関係
- ・カイラル二重項とカイラル振動
- ・高スピンでの γ 振動モード

これらの解明のためには

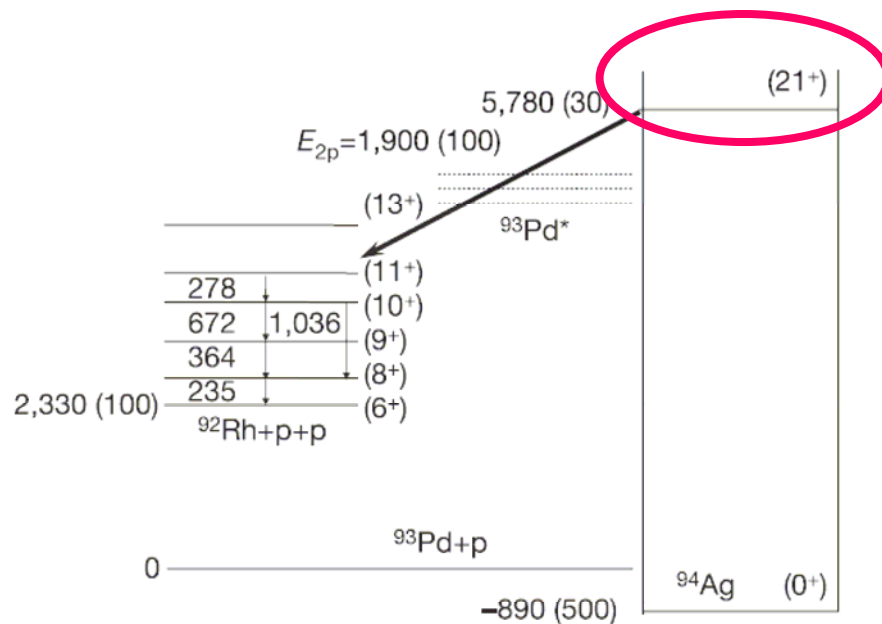
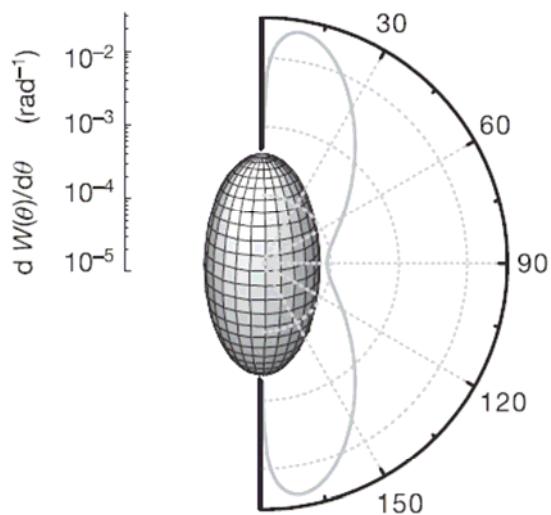
理論: 回転系での準粒子RPA

実験: スペクトルだけでなく $B(E2)$ や $B(M1)$

LETTERS

Proton-proton correlations observed in two-proton radioactivity of ^{94}Ag

Ivan Mukha^{1,2,3†}, Ernst Roeckl¹, Leonid Batist⁴, Andrey Blazhev^{1,5}, Joachim Döring¹, Hubert Grawe¹, Leonid Grigorenko⁶, Mark Huyse², Zenon Janas⁷, Reinhard Kirchner¹, Marco La Commara⁸, Chiara Mazzocchi¹, Sam L. Tabor⁹ & Piet Van Duppen²



Which candidates are truly chiral? Experimental confirmation

Bottom line:

Ideally identical and practically very similar characters between chiral pairs → **TWINS**

- Degeneracy
- Single particle configuration
 - Unique parity (experimentally pure)
 - q.p alignment
- Collective aspects
 - Moment of inertia
 - Shape/deformation
- Electromagnetic properties (most sensitive to wave functions)

$$B(EM; I_i+ \rightarrow I_f+) \approx B(EM; I_i- \rightarrow I_f-)$$

$$B(EM; I_i+ \rightarrow I_f-) \approx B(EM; I_i- \rightarrow I_f+)$$
- Small Coriolis interaction
 - Smooth and identical variation of $S(I)=[E(I)-E(I-1)]/2$

