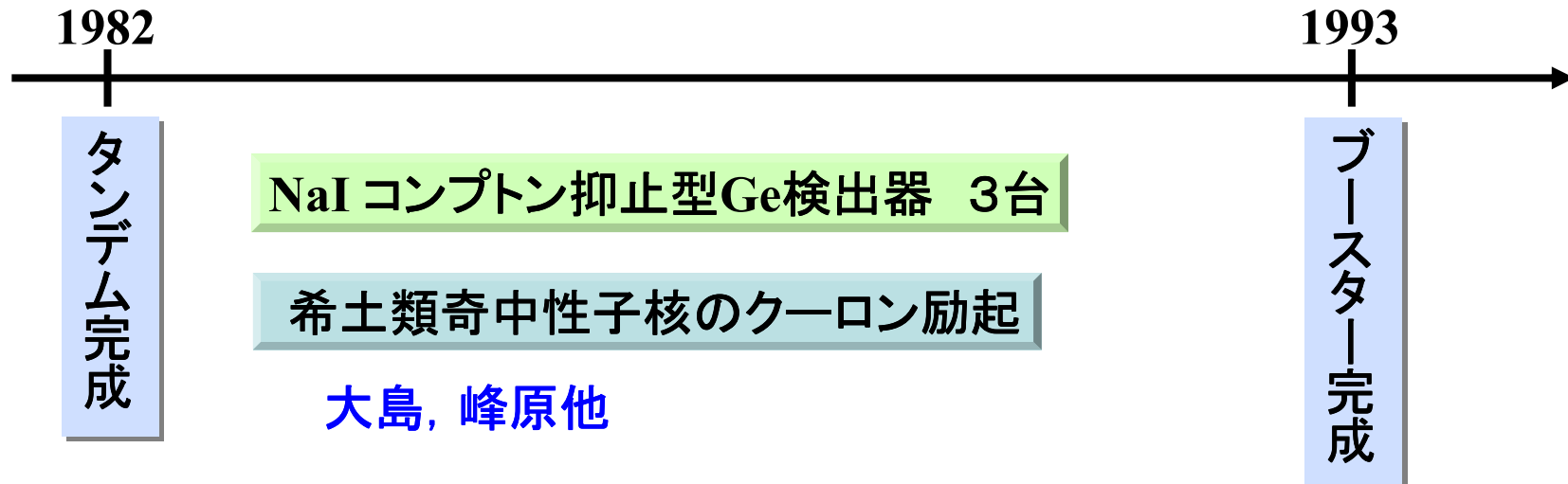


タンデム加速器におけるCoulomb励起・in-beam γ 線実験の20年 — GEMINI, GEMINI-IIの稼動時期を中心に—

千葉工大: 菅原 昌彦

History



Coulomb 励起を**選択的な励起手法**として用いる

Clean spectra }
角度分布 } → mixing ratio δ

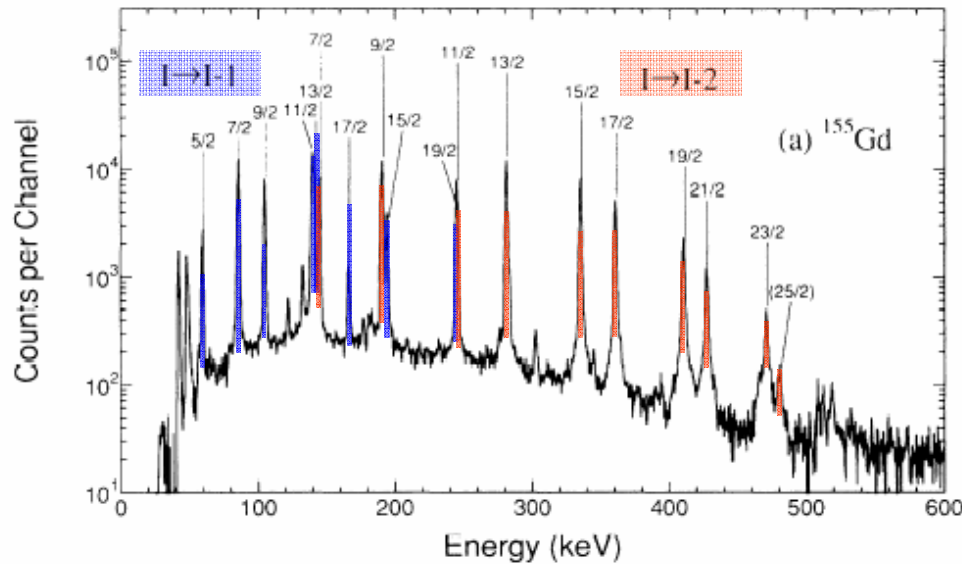
No side-feeding effects

Recoil distance,
Doppler Shift Attenuation 法 } → lifetime 測定

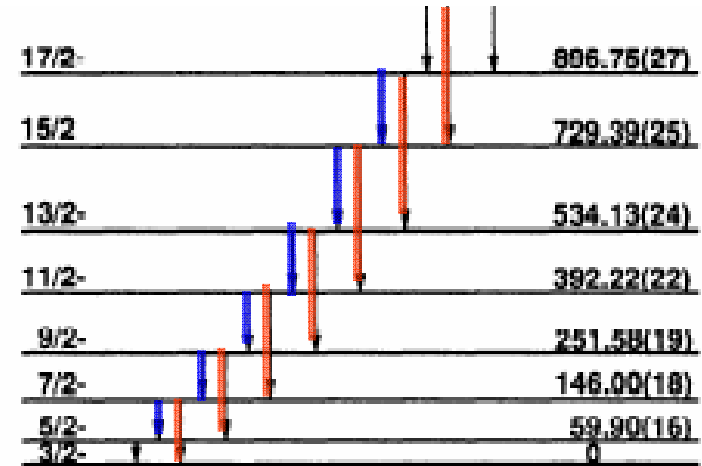
B(M1), B(E2) が精度良く求められる

Coulomb excitation of odd- N nuclei with 240-MeV ^{58}Ni beam ($^{155,157}\text{Gd}$, ^{163}Dy , ^{173}Yb)

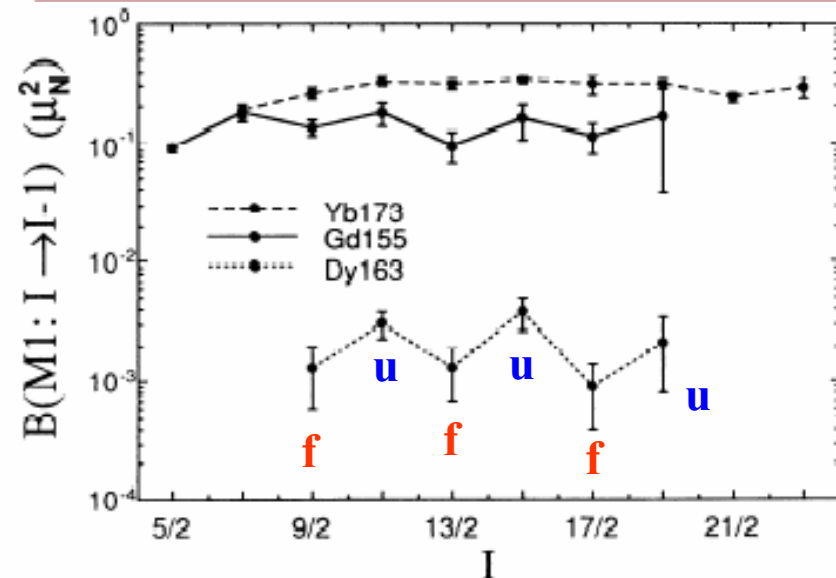
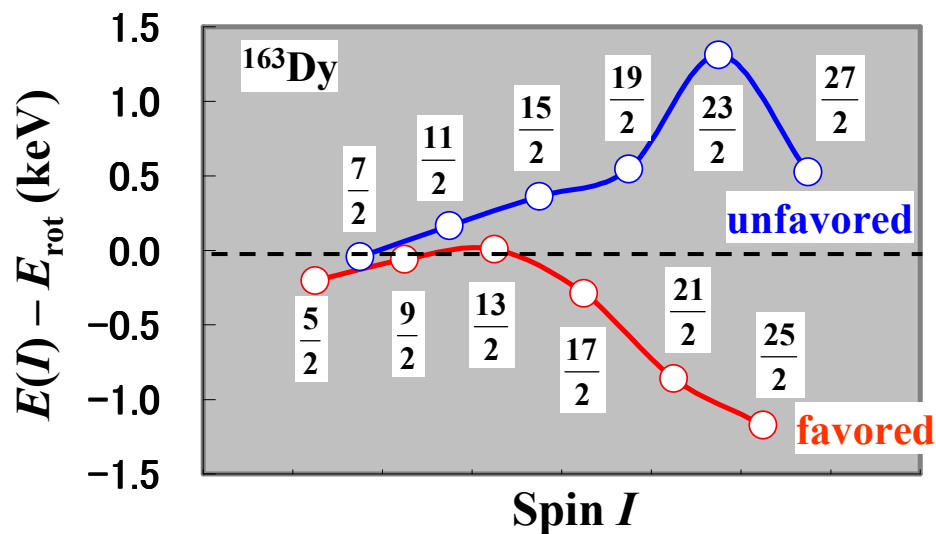
H. Kusakari, M. Oshima et al. Phys. Rev. C46 1257(1992)



^{155}Gd



Inverted signature dependence of $B(M1)$



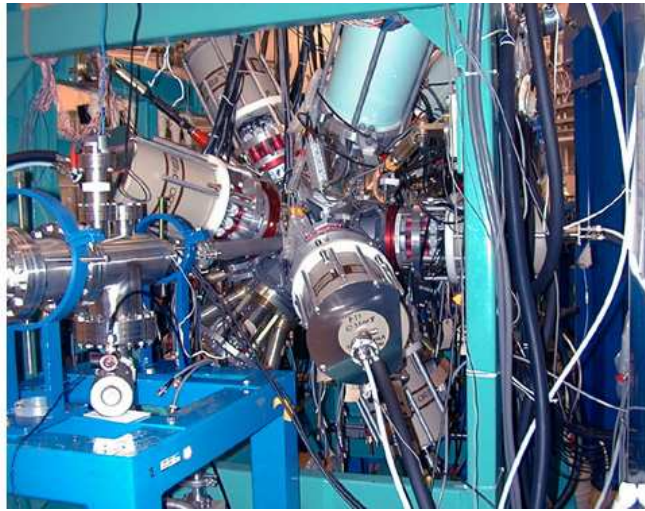
History

1993 1995

ブー
スター
完成

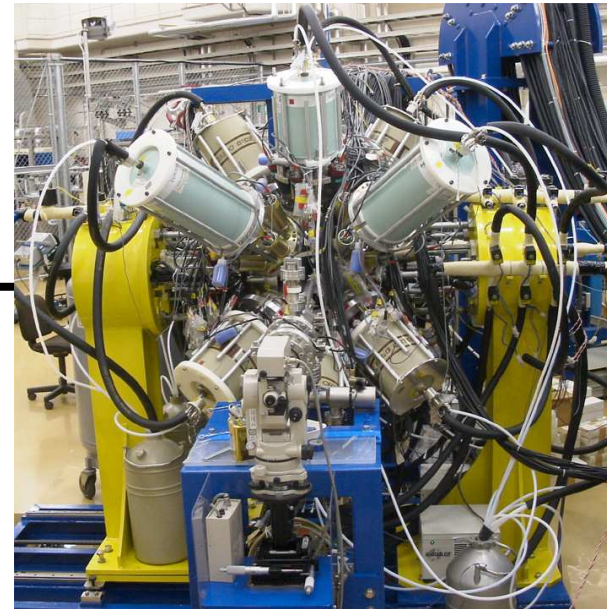
GEMINI
設置

1m



2002

GEMINI-II
設置



2008



核分光国内共同実験

(原研, 筑波大, 千葉大,
千葉工大, 九大)

筑波大の6台 + 原子力機構5台
→ 12 BGOACS later on

Auxiliary Detectors

Position -sensitive
Particle Detector



16 BGOACS + 3 LOAX

Si-Ball (4π Charged-
Particle Detector)



GEMINI, GEMINI-IIを用いてこれまで行われた主な研究

I. GOSIA を用いたクーロン励起による完全核分光 (大島, 藤, 小泉 他)

II. Si-ball を用いた in-beam γ 線分光

1. 質量数 60 領域核の高スピン状態 (古高, 初川 他)

2. 質量数 140 領域における M1 バンドの探索 (菅原, 草刈 他)

3. 質量数150希土類領域の核構造 (早川, 菅原 他)

4. 質量数 30~40 領域核の高スピン状態 (森川, 井手口 他)

III. GEMINI 単独での in-beam γ 線分光

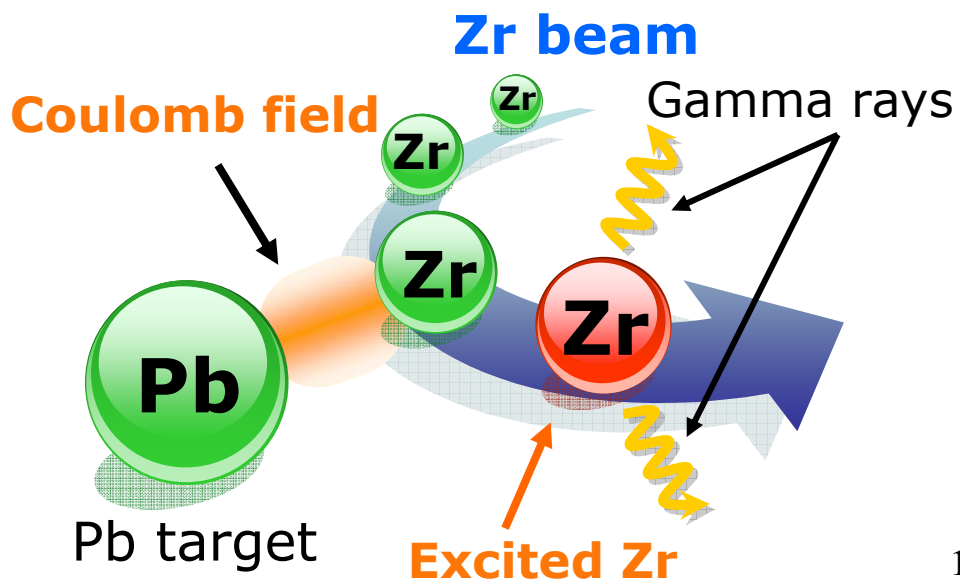
1. 質量数 140 領域における Anti-magnetic Rotorの探索 (菅原, 草刈他)

2. 中性子欠損希土類奇奇核の構造 (Zhang, Zhou et al. from IMP in China)

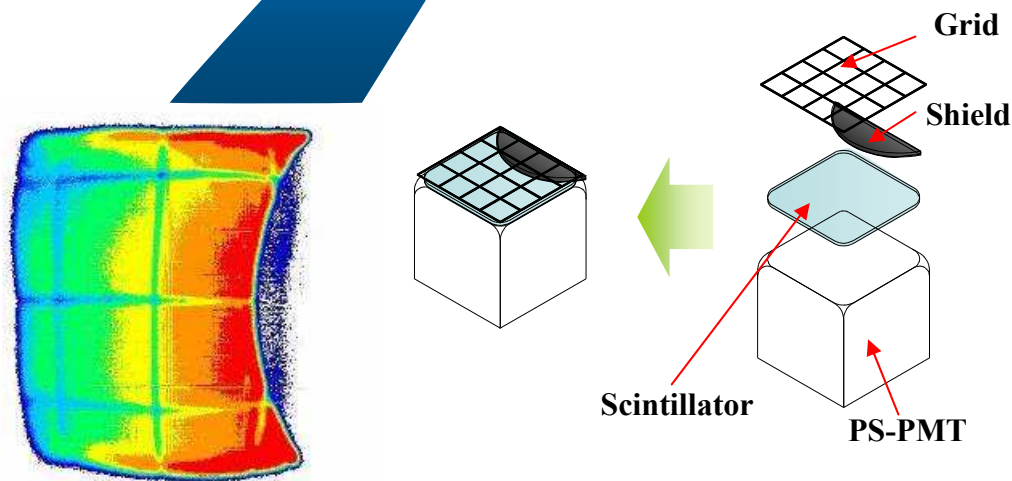
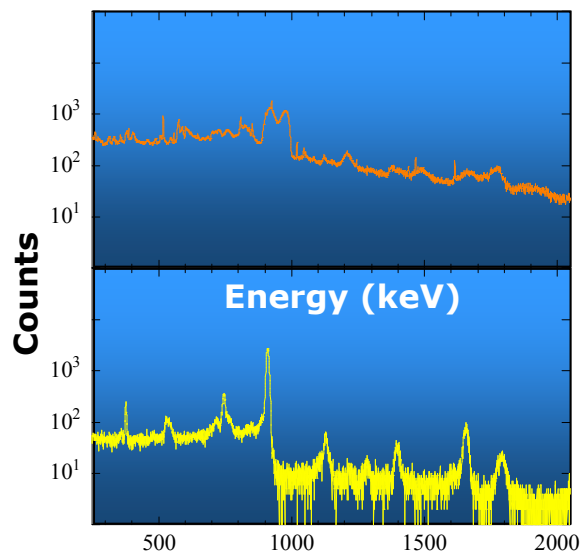
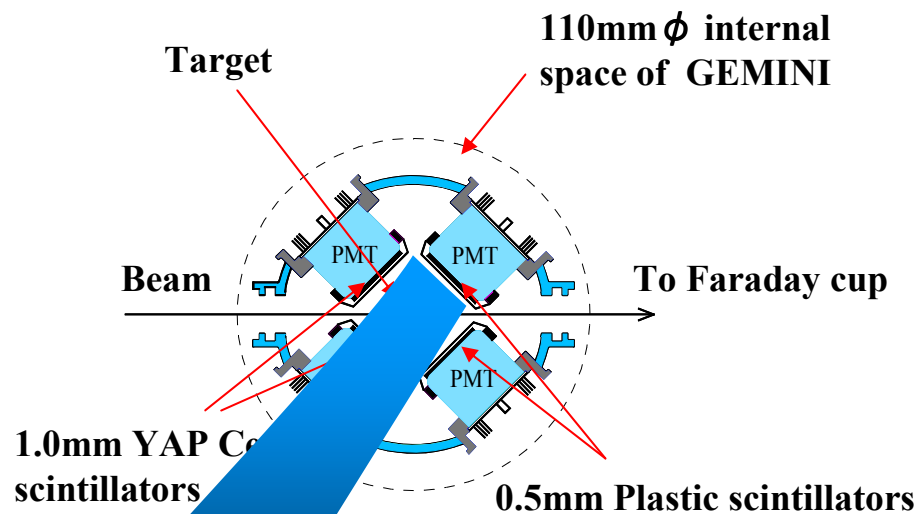
IV. 多重 γ 線による微量元素分析 (大島, 藤 他)

I. クーロン励起による完全核分光

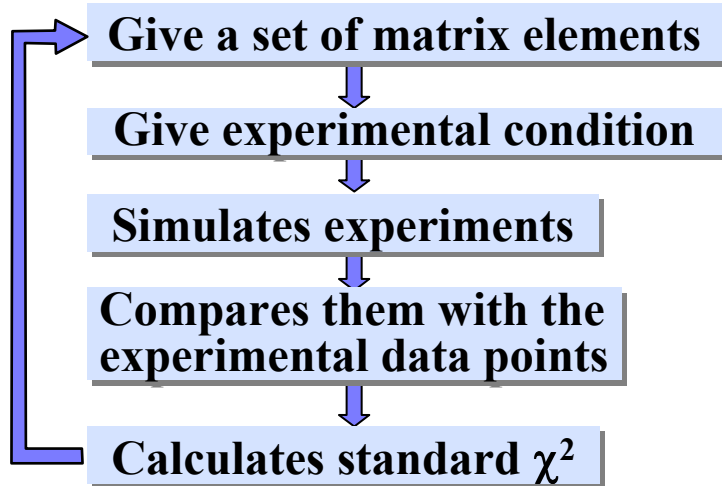
Projectile Excitation Method



Position-sensitive Particle Detector

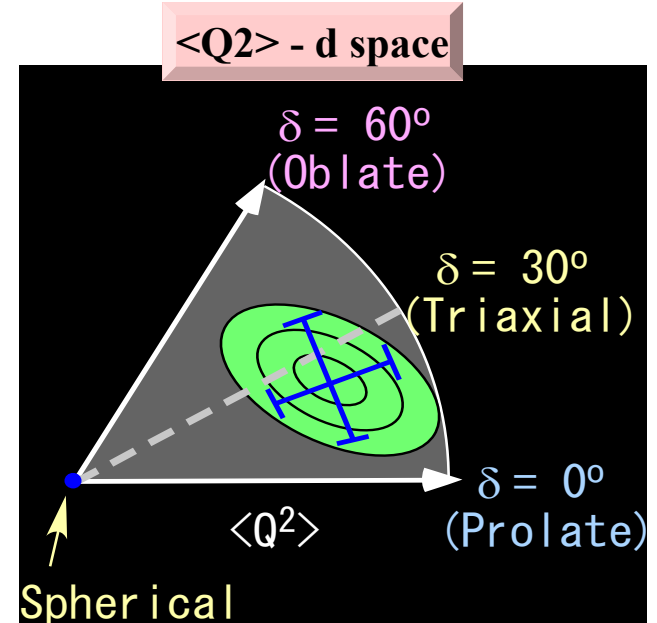


The procedure of analysis with GOSIA

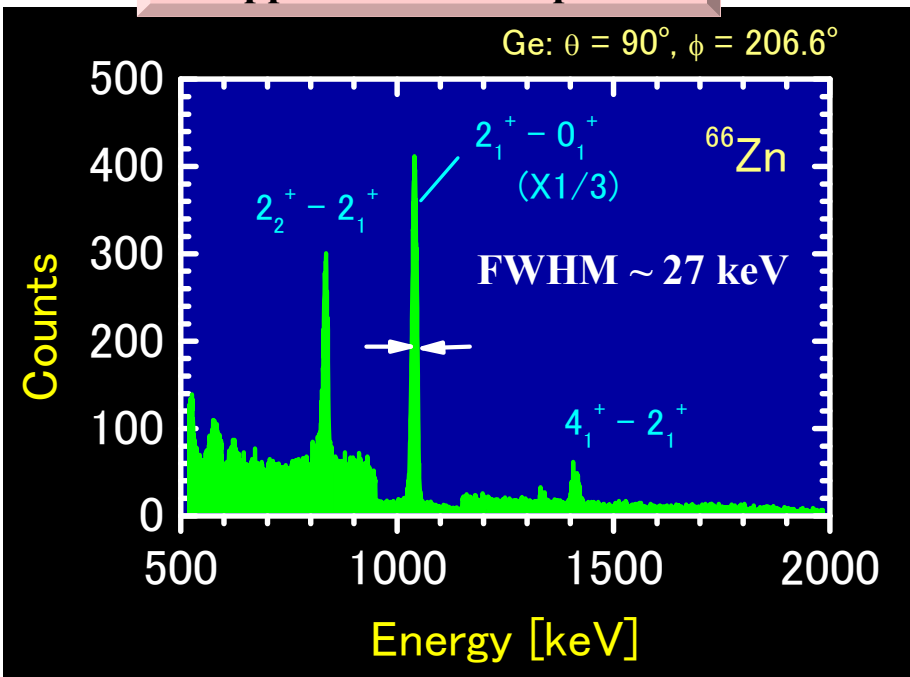


励起エネルギー約2MeV以下の準位間の電磁遷移行列要素を完全セットで求めることができる

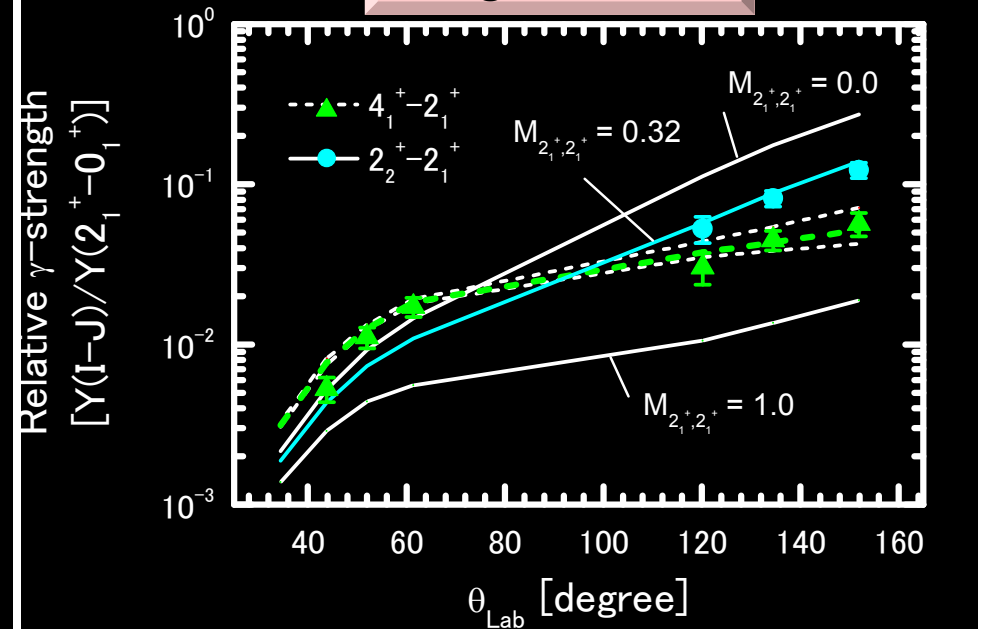
Quadrupole sum rule



A Doppler corrected spectrum



Fitting with GOSIA



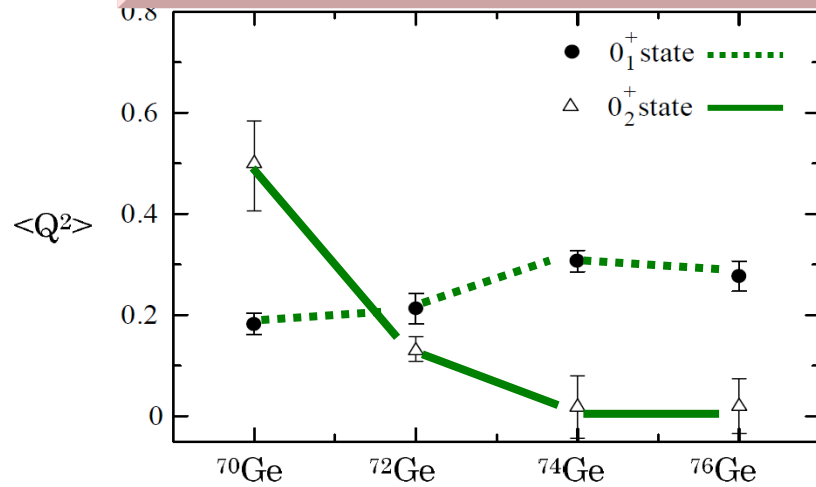
Ge同位体における変形共存

Y. Toh et al. Eur. Phys. J. A9 353(2000)

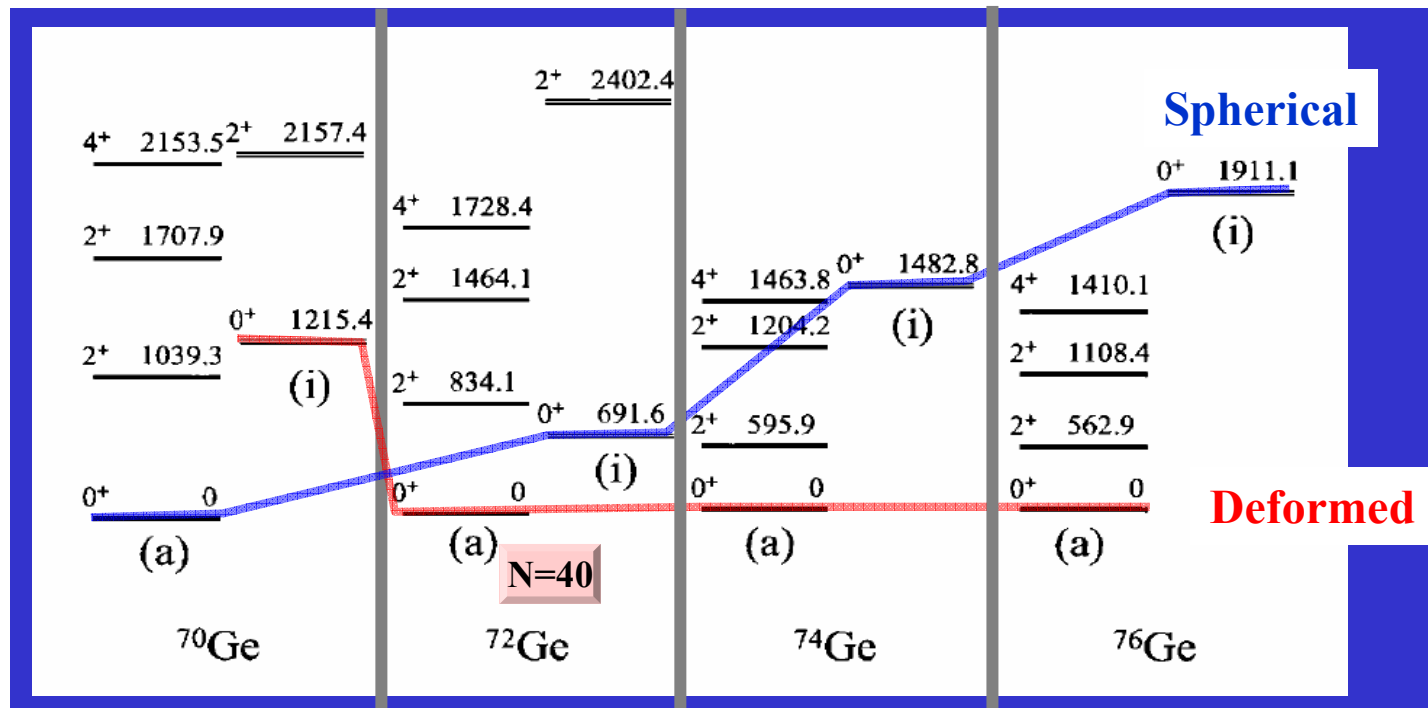
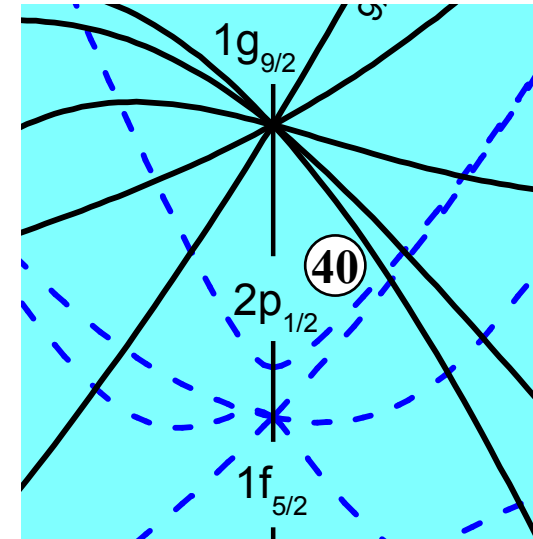
Y. Toh et al. J. Phys. G27 1475(2001)

M. Sugawara et al. Eur. Phys. J. A16 409(2003)

Isotope dependence of $\langle Q^2 \rangle$ of Ge



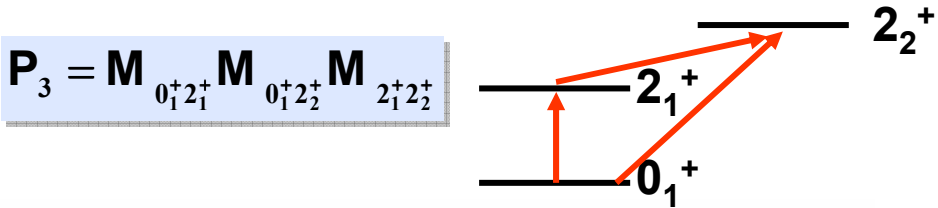
Shape driving effect of $1g_{9/2}$ orbital



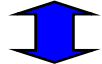
$^{84}\text{Kr } 2_1^+$ のQモーメントの測定

A. Osa et al. Phys. Lett. B546 48(2002)

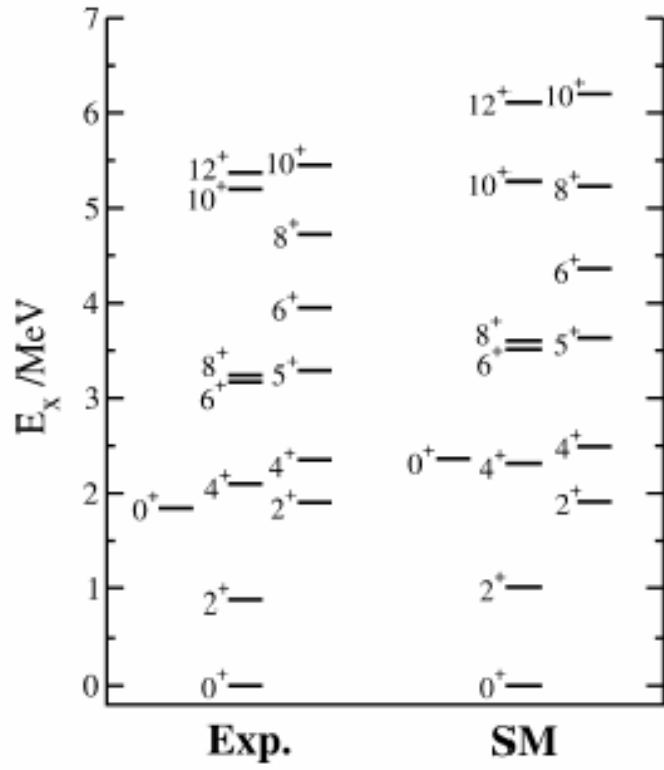
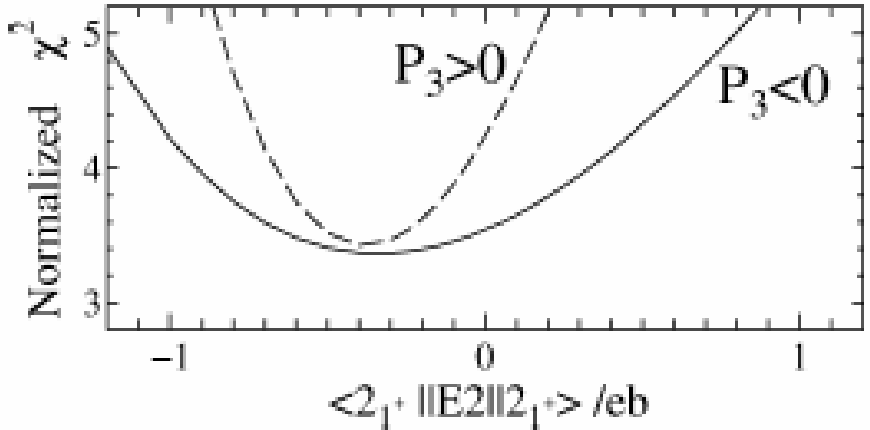
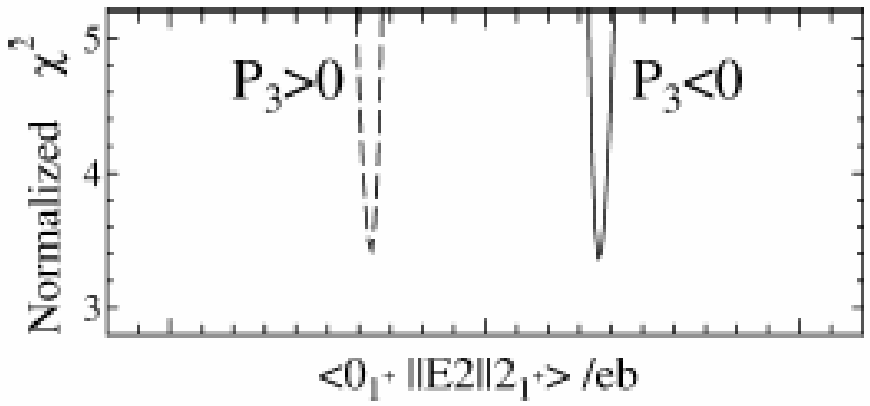
多重クーロン励起の確率は、干渉効果によって、遷移行列要素の相対的符号に敏感



$$Q_{2_1^+}^{\text{exp}} = -0.26 \pm 0.13$$



$$Q_{2_1^+}^{\text{SM}} = -0.18$$

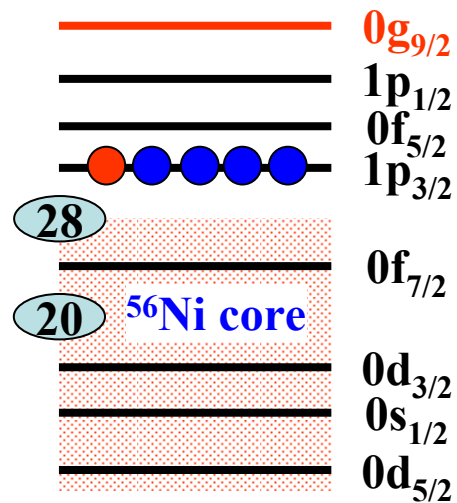


宇都野氏(原子力機構)による殻模型計算
($0f_{5/2} 1p_{3/2} 1p_{1/2} 0g_{9/2}$) 配位

II. High-spin states in ^{61}Cu

Y. Hatsukawa et al. Z. Phys. A359 3(1997)

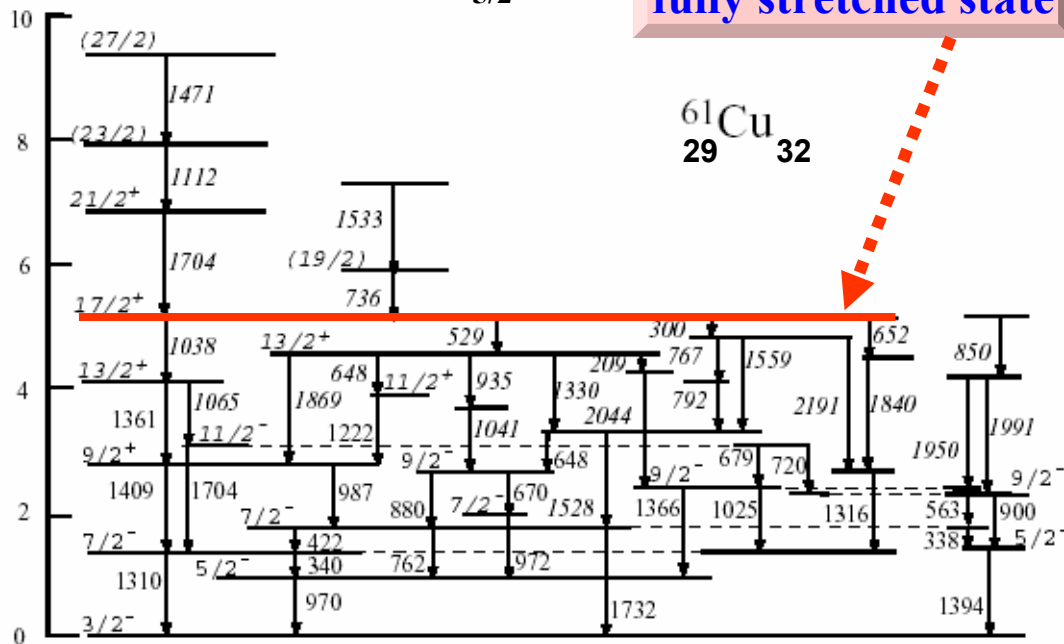
Shell model orbit



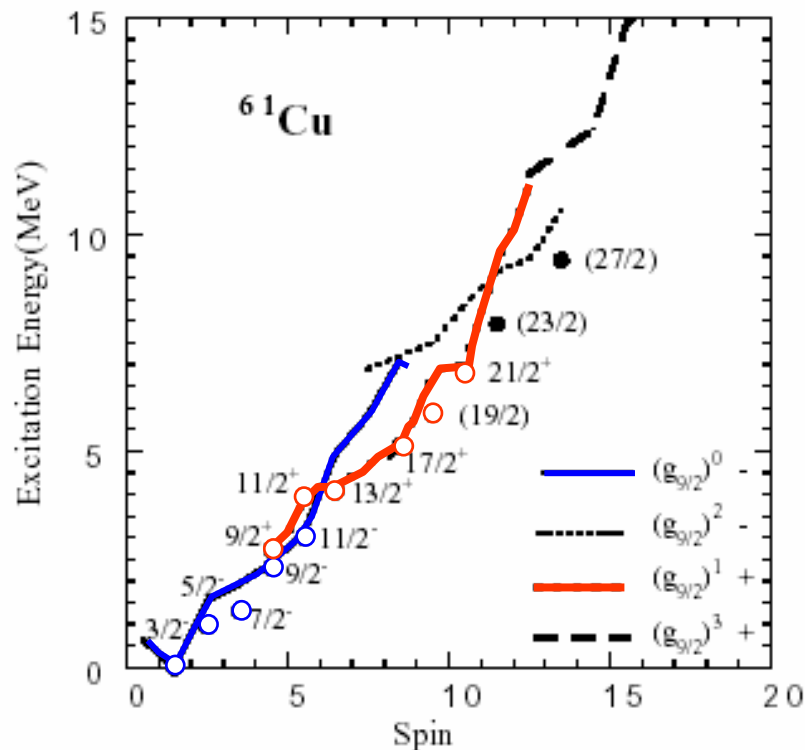
Reaction : $\text{natCa}(^{28}\text{Si}, 3\text{p}1\alpha)^{61}\text{Cu}$ at 120-MeV

0g_{9/2} 軌道を占める粒子の数が1個増すごとに
イラスト準位にパリティの異なる状態が現れる

Yrast 17/2⁺ 準位
(0f_{5/2}1p_{3/2}0g_{9/2})
fully stretched state

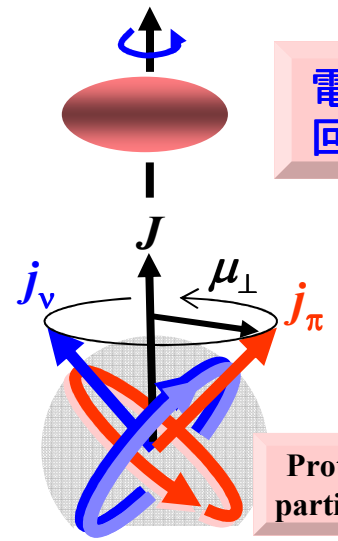


(0f_{5/2}1p_{3/2}1p_{1/2})^{5-k}(0g_{9/2})^k 配位による殻
模型計算との比較(千葉大:中田)



142GdにおけるM1バンドの発見

M. Sugawara et al.
Z. Phys. A358 1(1997)

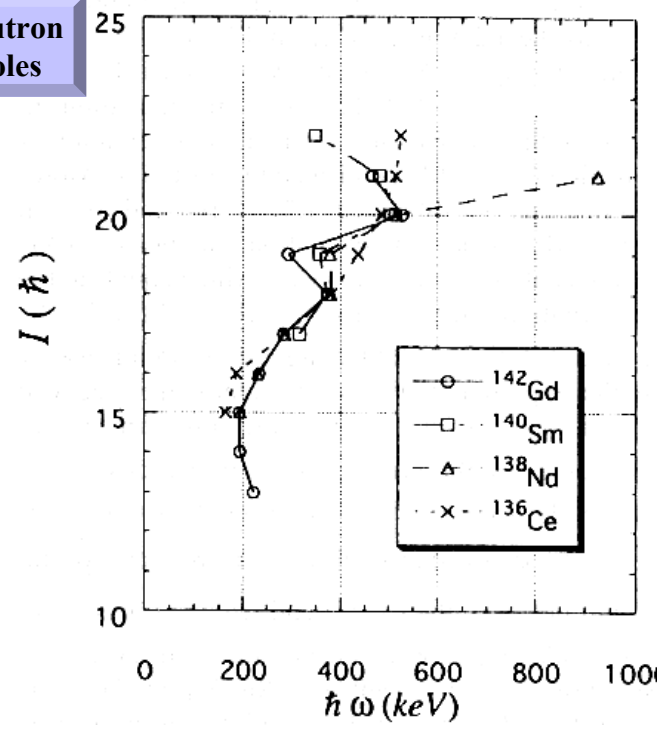


電気四重極能率で対称性が破れ
回転が発生(electric rotor)

磁気双極能率で対称性が破れ
回転が発生(magnetic rotor)

Proton particles

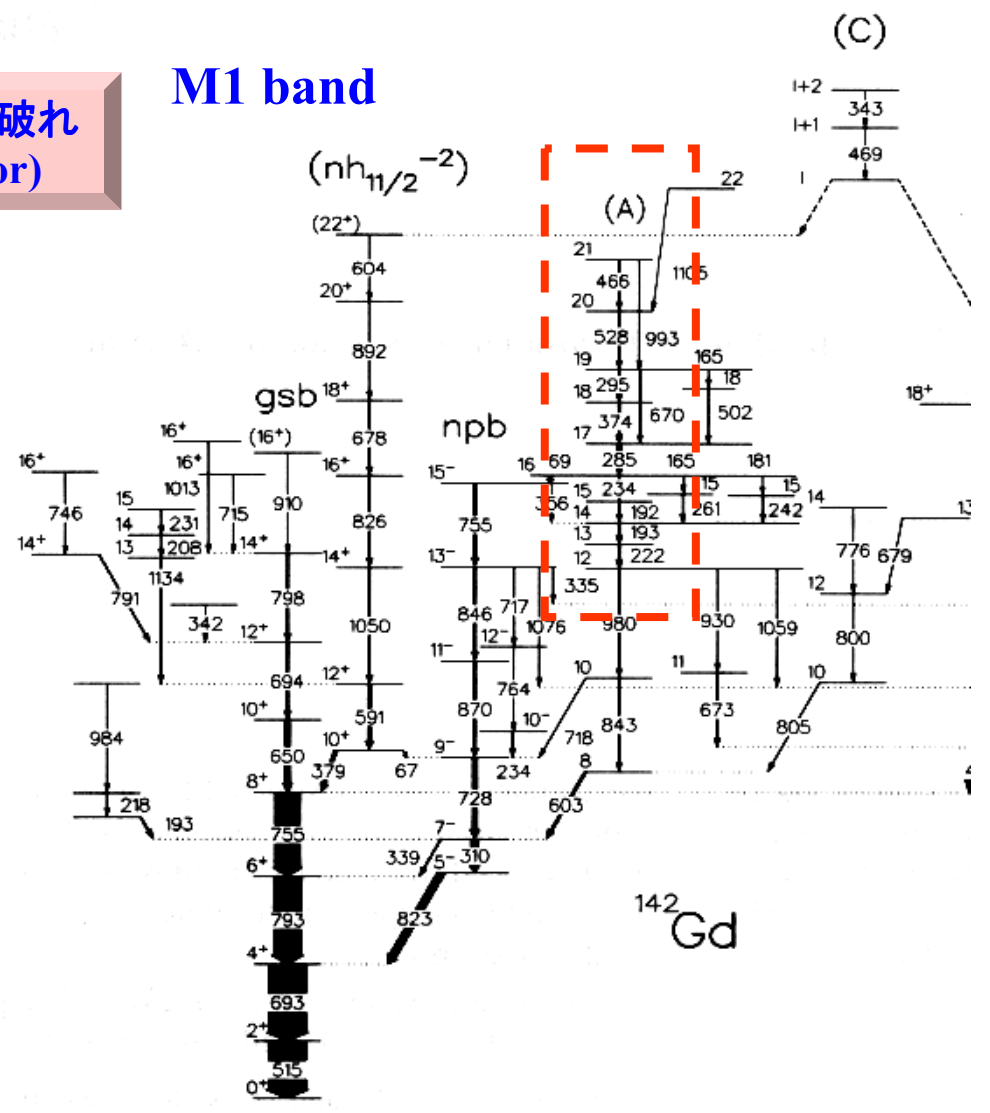
Neutron holes



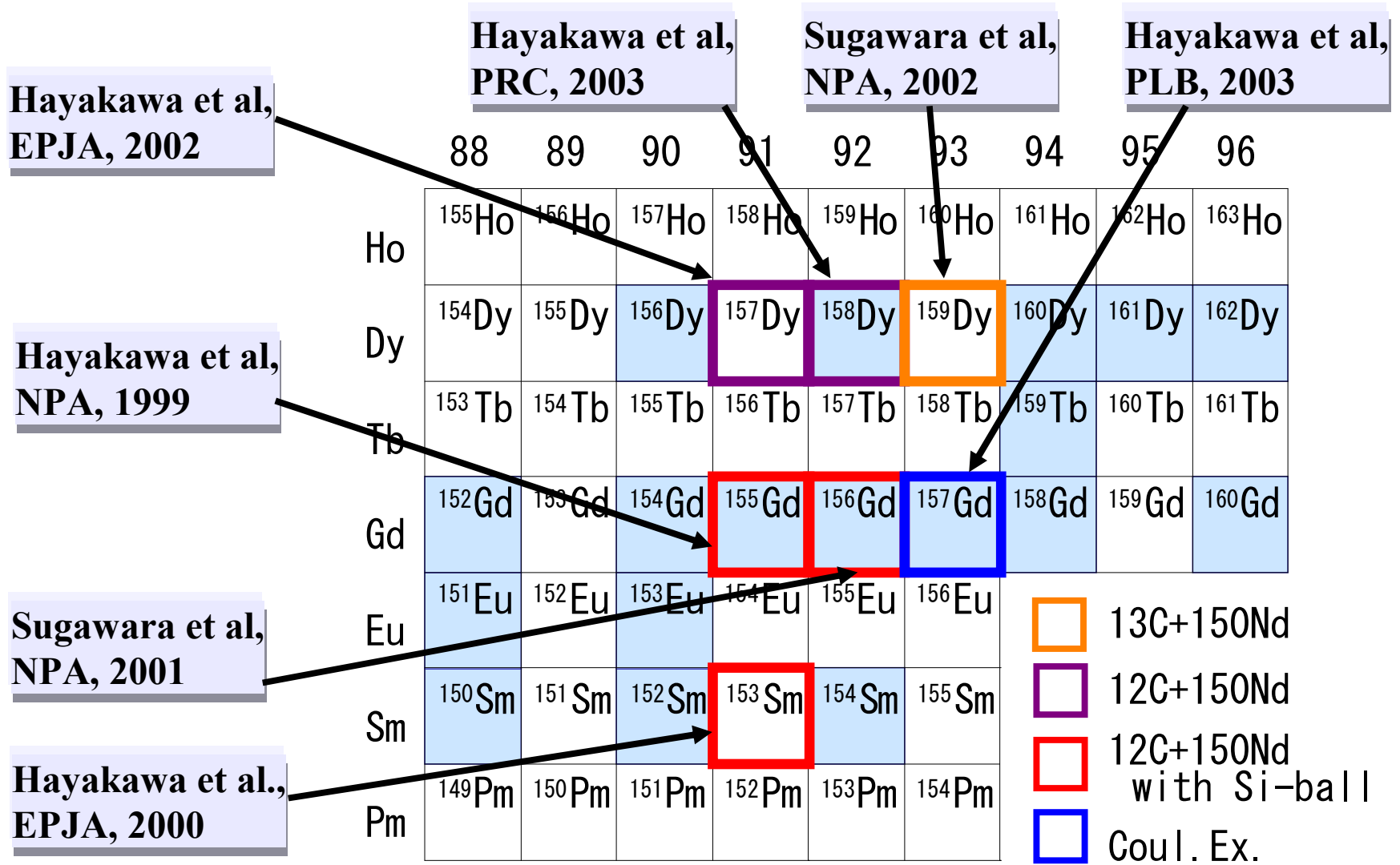
E2 band

Reaction : $^{111}\text{Cd}(^{35}\text{Cl}, 1p3n)^{142}\text{Gd}$ at 170-MeV

M1 band



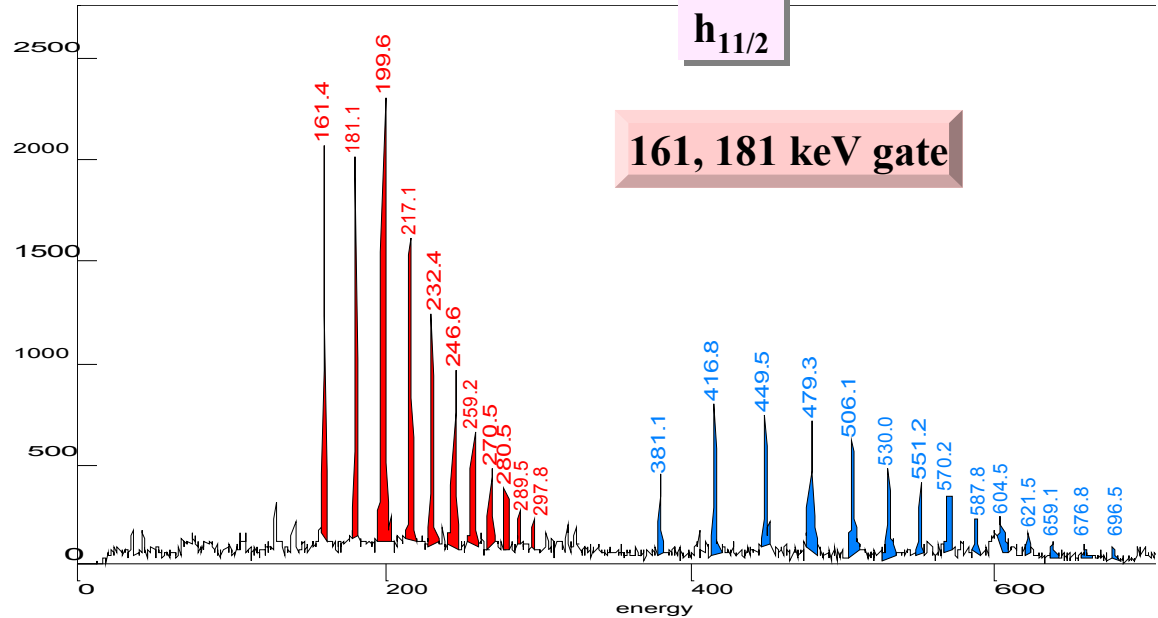
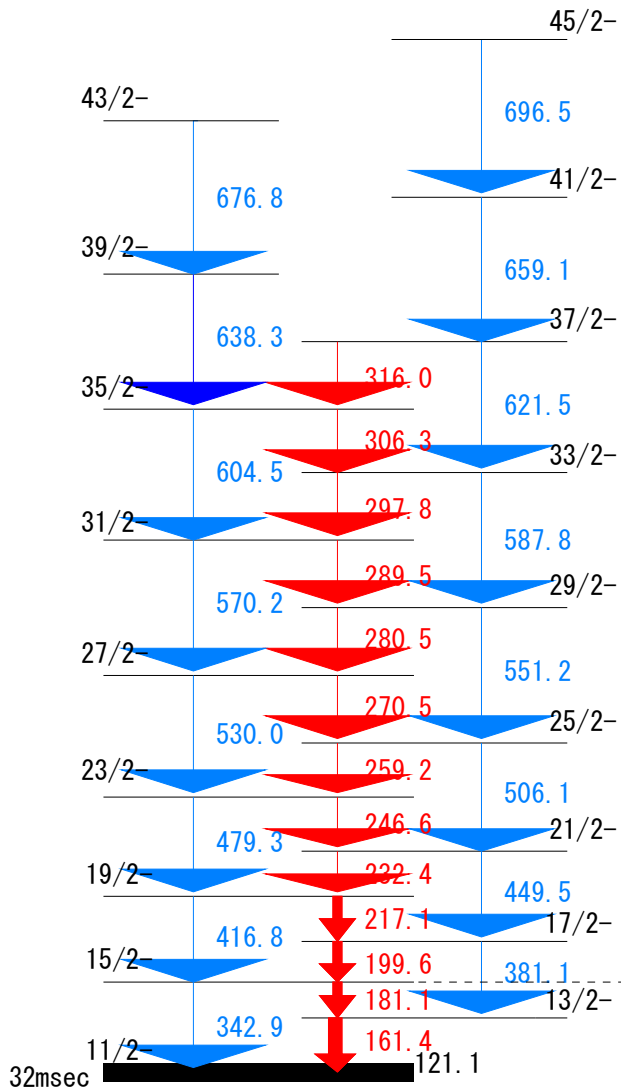
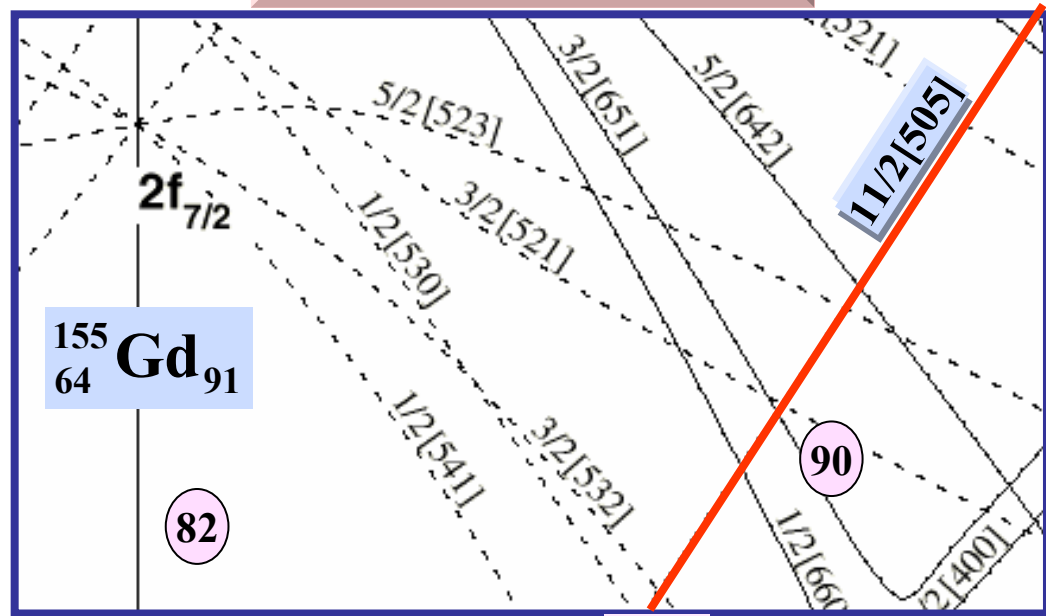
質量数150希土類領域の核構造



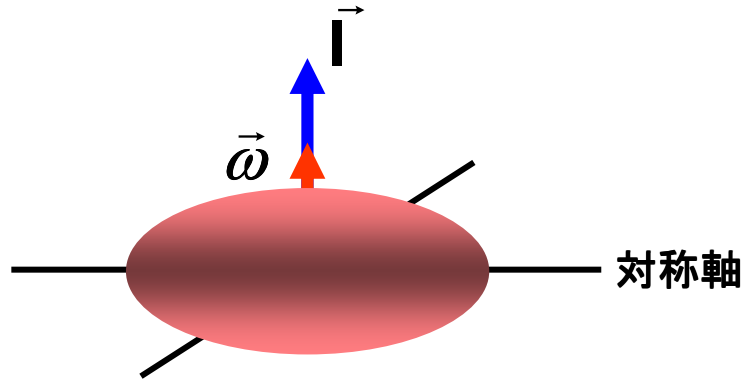
^{155}Gd のhigh- K バンドとTilted Axis Cranking模型

T. Hayakawa et al.
Nucl. Phys. A657 3(1999)

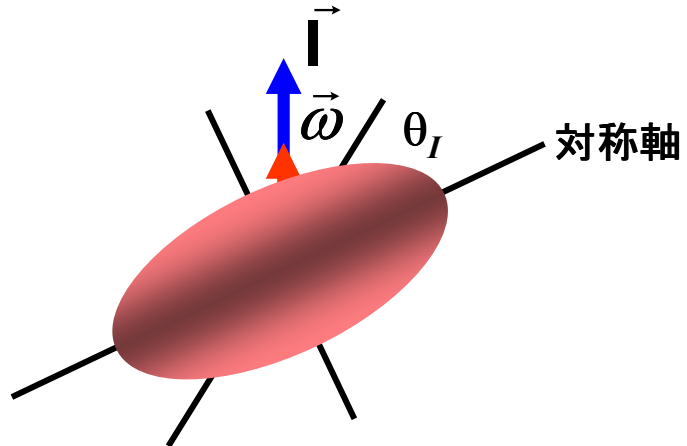
Nilsson diagram for neutrons



Tilted Axis Cranking 模型の計算 (大坪, 清水:九州大学)

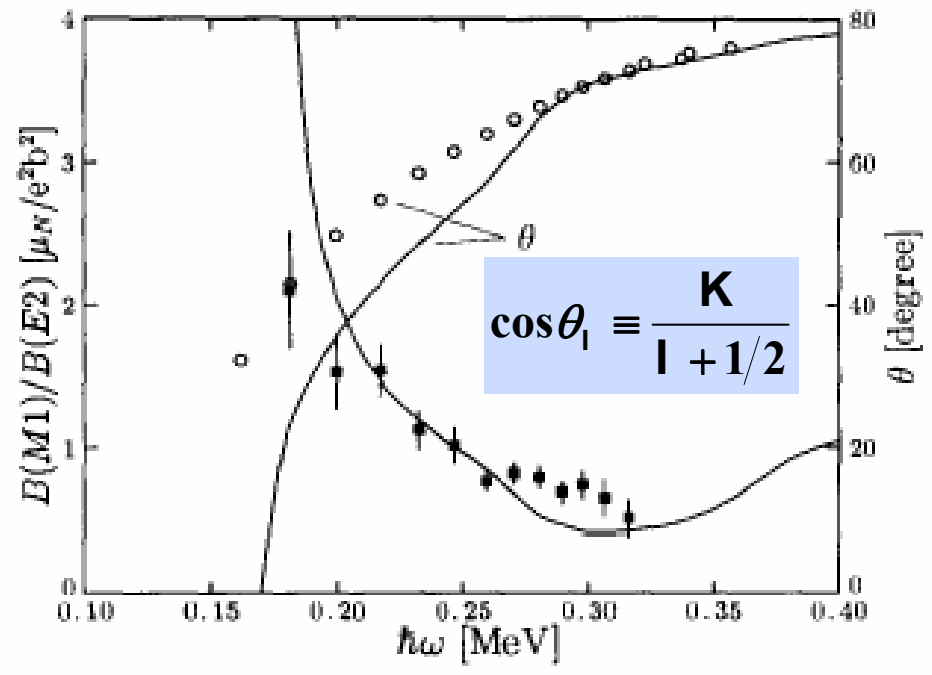
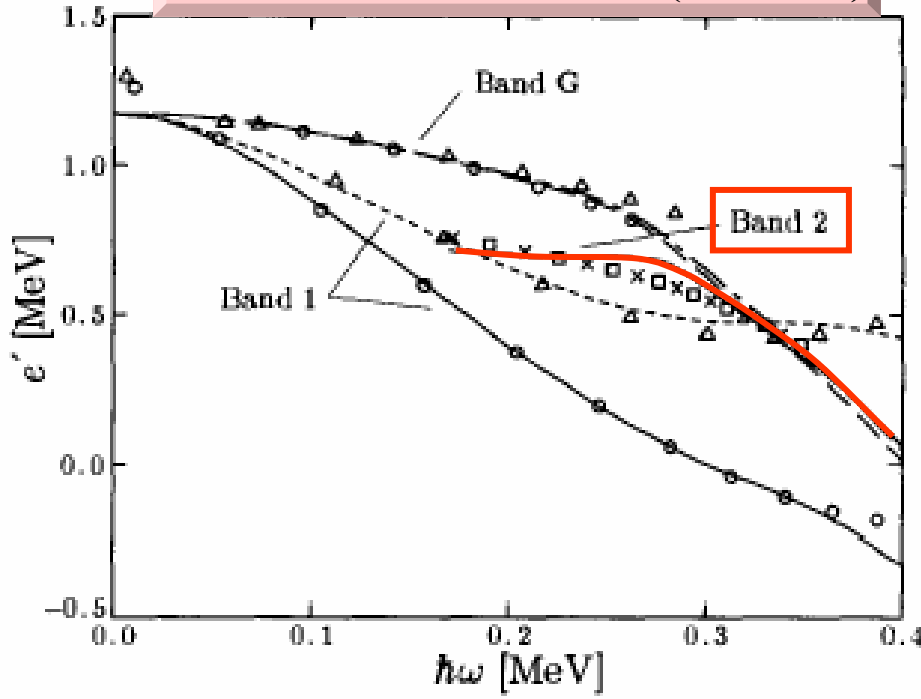


主軸回転(PAC)



斜軸回転(TAC)

回転座標系でのエネルギー(Routhian)

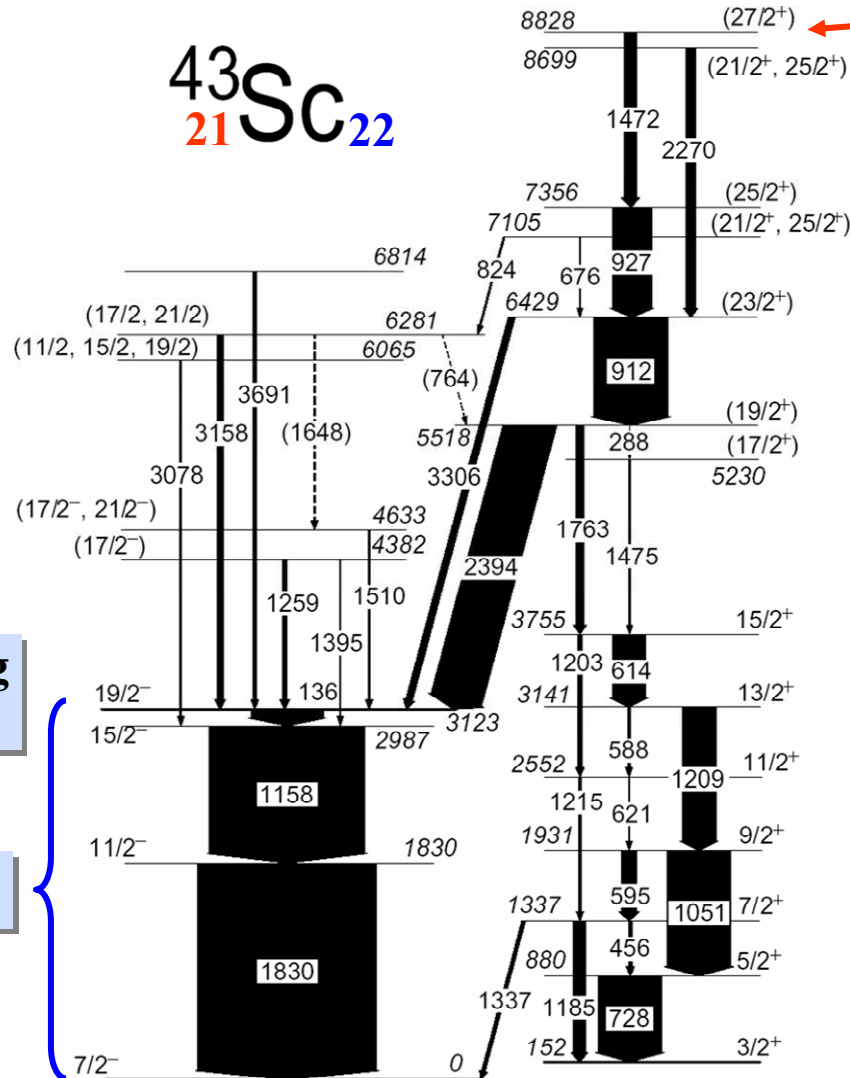


High-spin states in ^{43}Sc

T. Morikawa et al. Phys. Rev. C70 054323(2004)

Reaction : $^{27}\text{Al}(^{19}\text{F}, p2n)^{43}\text{Sc}$ at 50-MeV

$^{43}\text{Sc}_{21}^{22}$



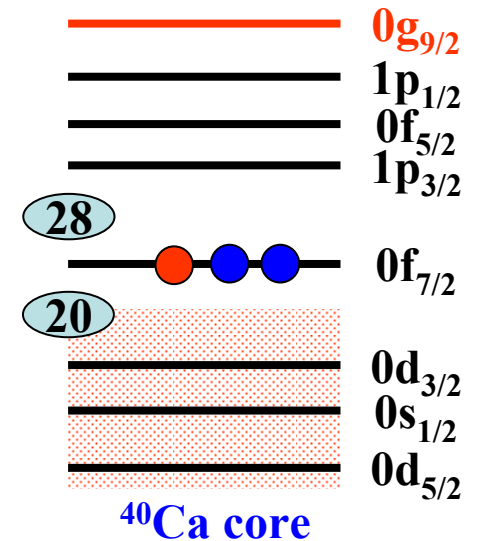
Terminating state was observed.

$\{0d_{3/2}\}^{-1}\{0f_{7/2}\}^4$

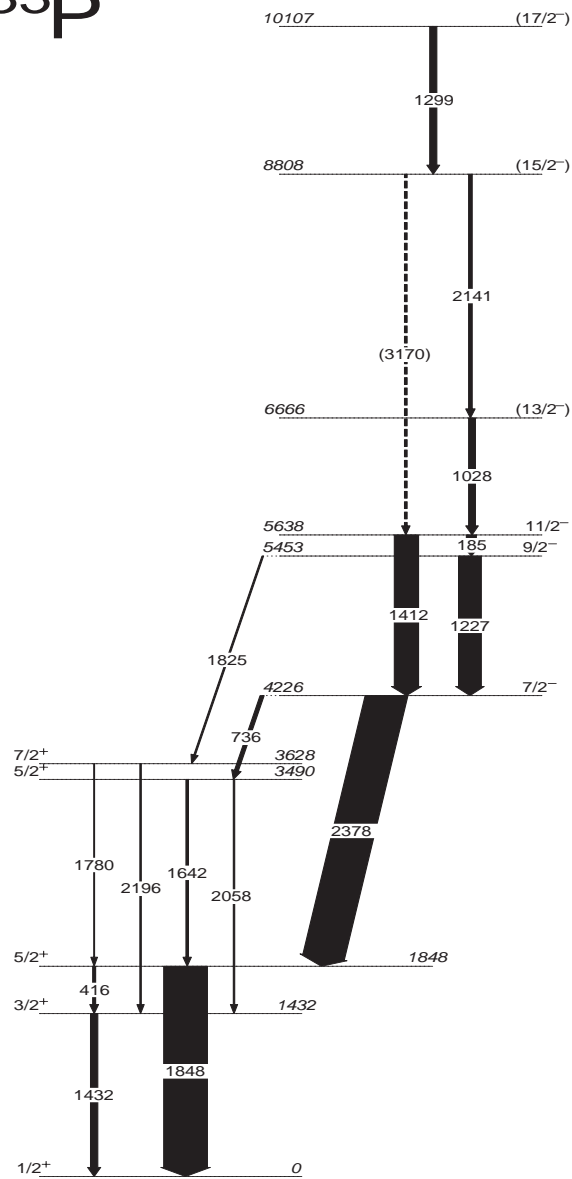
Terminating state

$\{0f_{7/2}\}^3$

Shell model orbit

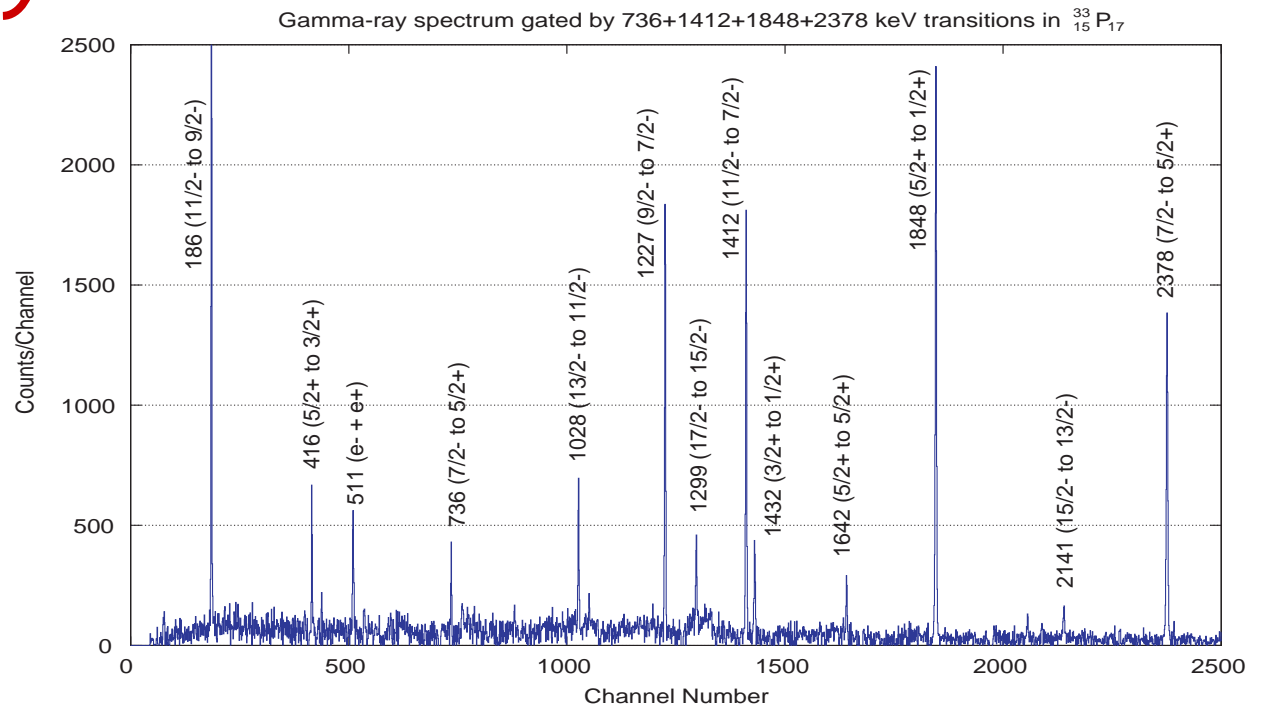


^{33}P



New

Observation of ^{33}P in $^{19}\text{F} + ^{27}\text{Al}$ @ 2.63 MeV/u



Spectroscopy of $A=30\sim 40$ Neutron-Rich Nuclei via Fusion-Evaporation Reactions at JAEA

Cross section of charged-particle channel may be larger than those expected...

	Relative Yield			
	EXP	PACE4	ALICE	CASCADE
Sc-43	100	100	100	100
Ca-43	90	87	30	130
S-34	0.4	8.7	0.2	10
P-33	3	0.072	0	0
P-32	0.4	0	0	0
Si-30	0.2	0	0	0

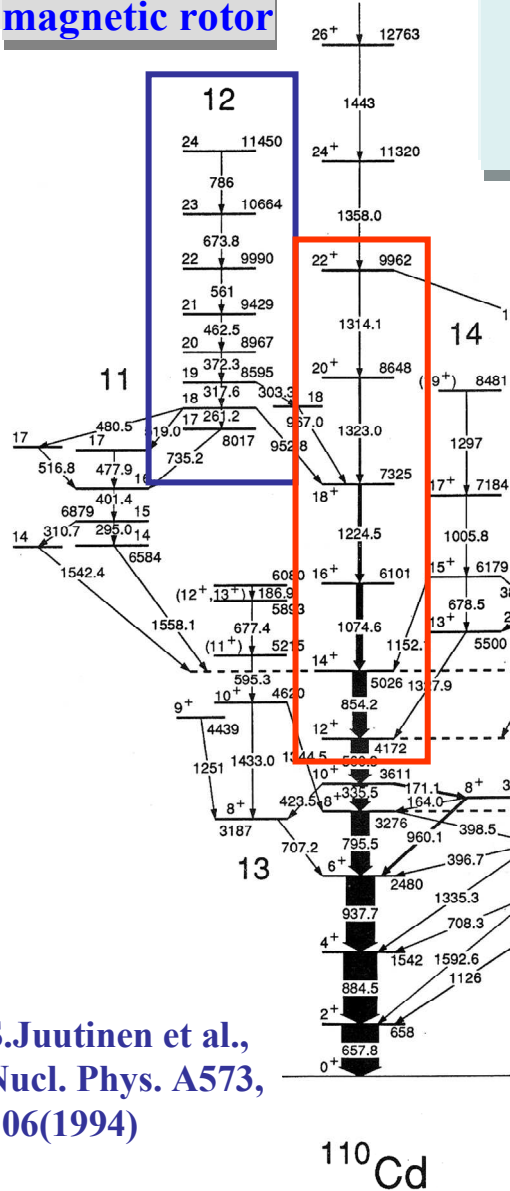
								Ti43	Ti44	Ti45	Ti46
									Sc43 -5.93	Sc44	
Z=20						39Ca	Ca40	Ca41	Ca42	Ca43 -2.93	Ca44
							K39	K40	K41	K42	K43
						Ar37	Ar38	Ar39	Ar40		
						Cl36	Cl37 +0.94				
Z=16							S34 +3.97				
							P32 -17.32	P33 -6.91			
							Si30 -3.95				
								Mg31 Deform	Mg32 Deform		
							Na27 Vib.				

III.

^{144}Dy におけるAnti-magnetic Rotorの探索

M. Sugawara et al.
submitted to Phys. Rev. C

magnetic rotor



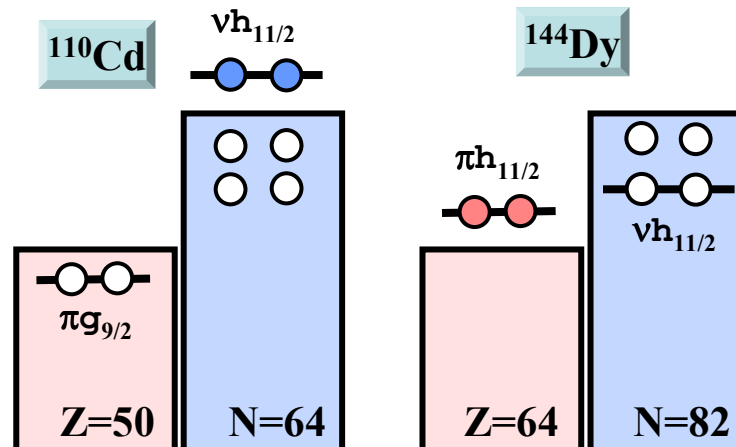
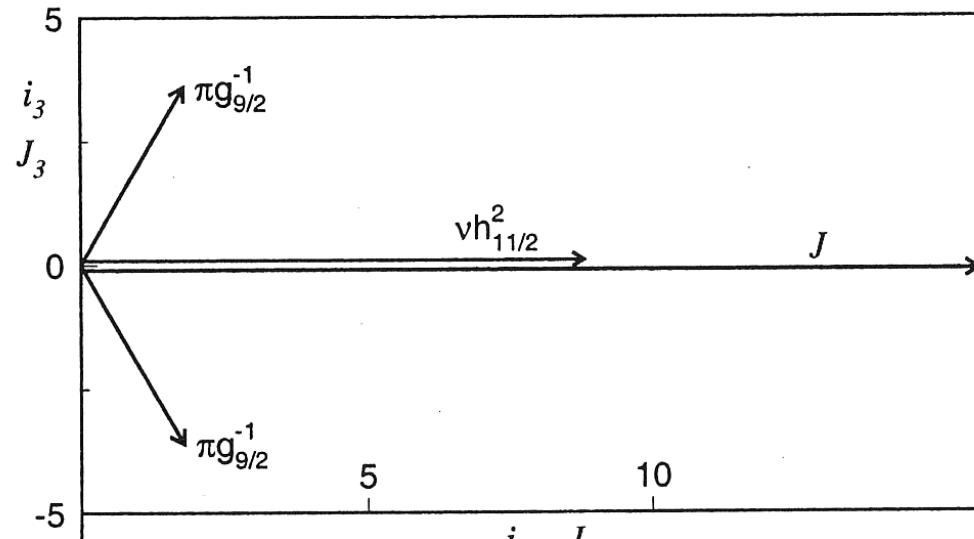
S.Juutinen et al.,
Nucl. Phys. A573,
306(1994)

Anti-magnetic rotor

suggested by S. Frauendorf(1997)

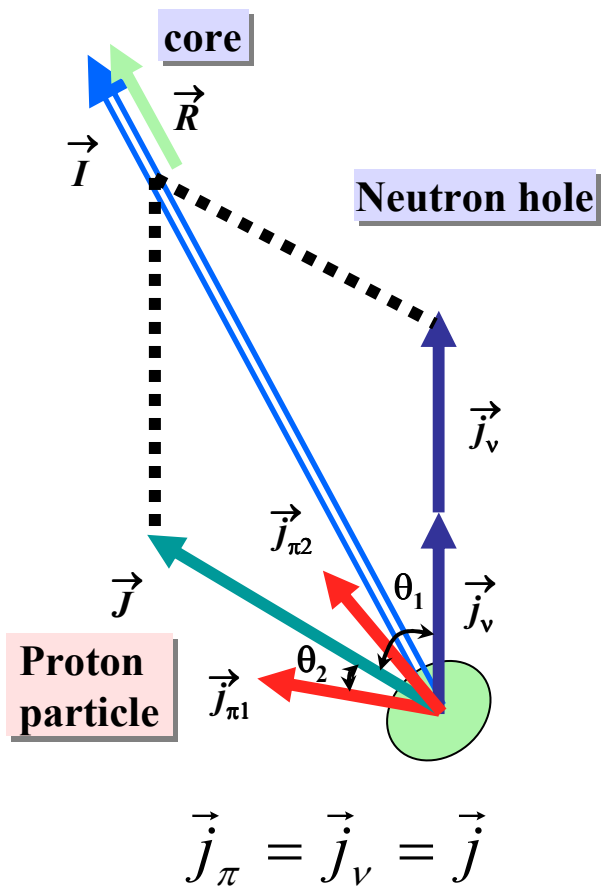
$$\mathfrak{I}/B(E2) \sim 100 \text{ (eb)}^{-2} \text{MeV}^{-1}$$

No cascade M1 transitions

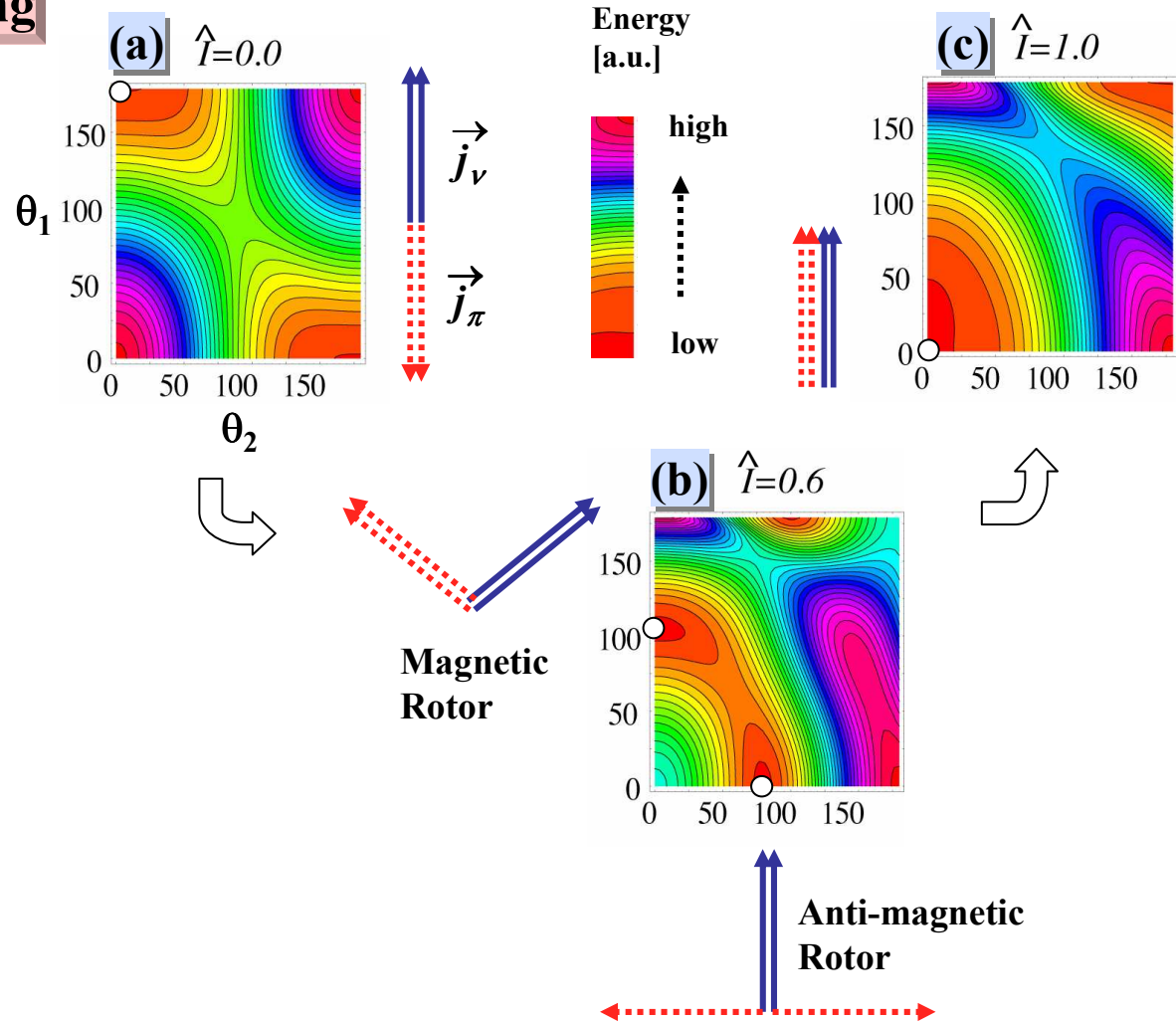


A classical particles plus rotor model

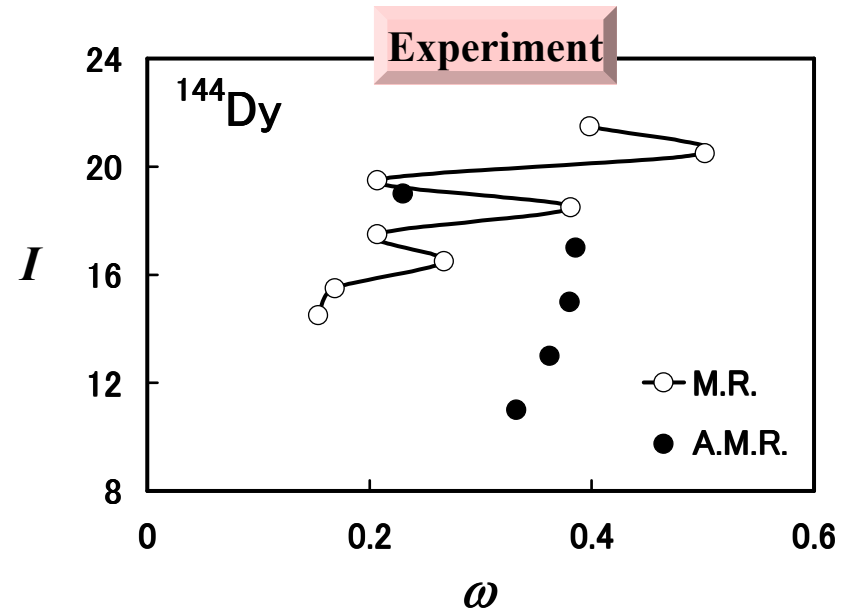
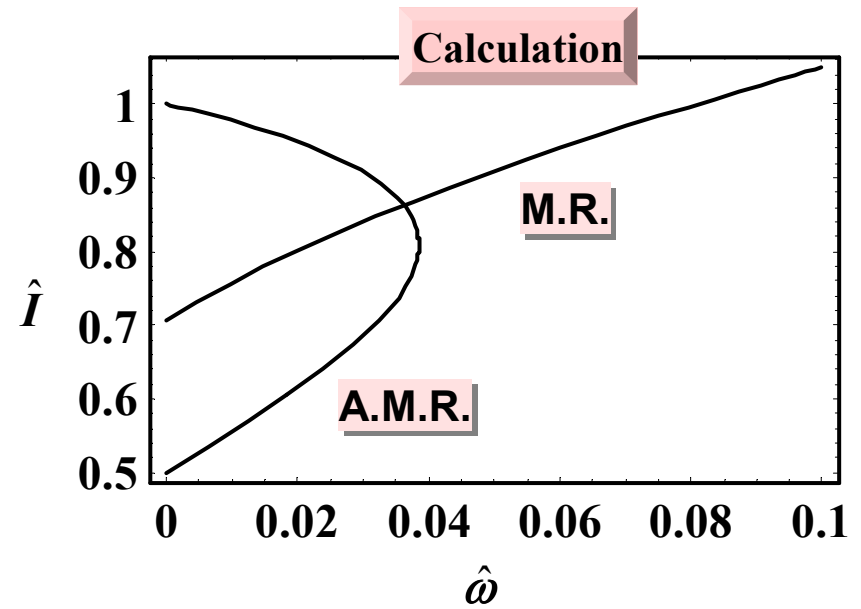
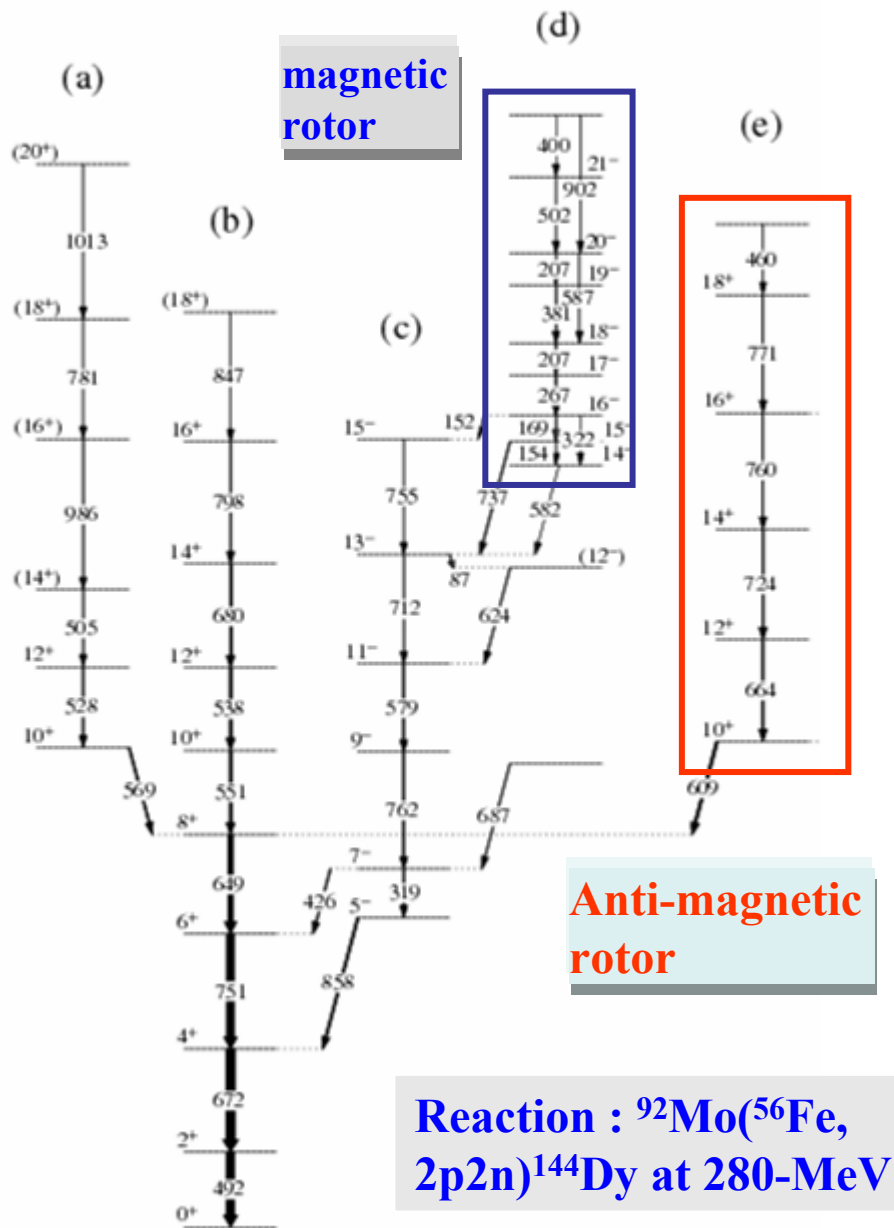
Angular momentum coupling



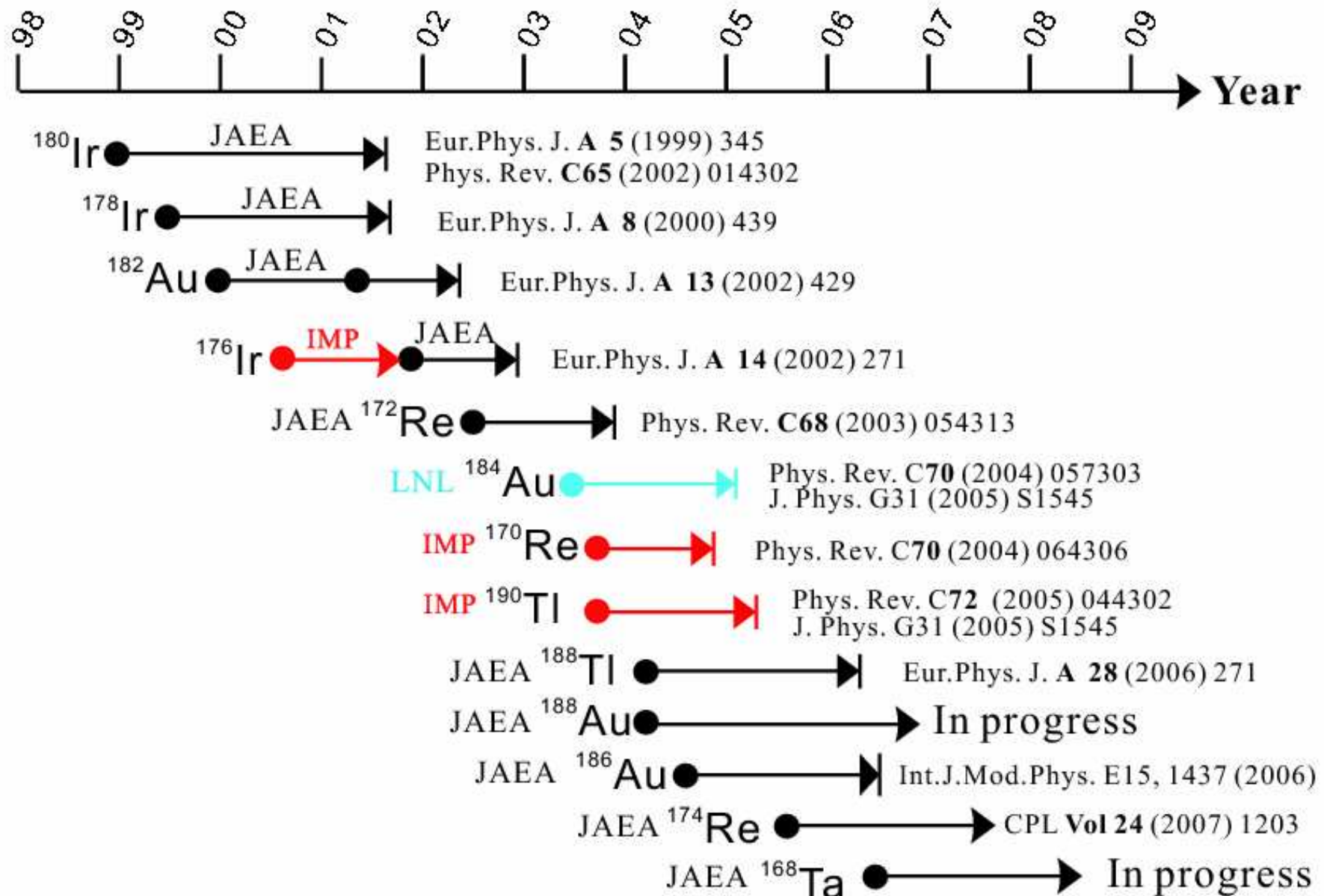
Potential energy surface



A candidate for antimagnetic rotor in ^{144}Dy



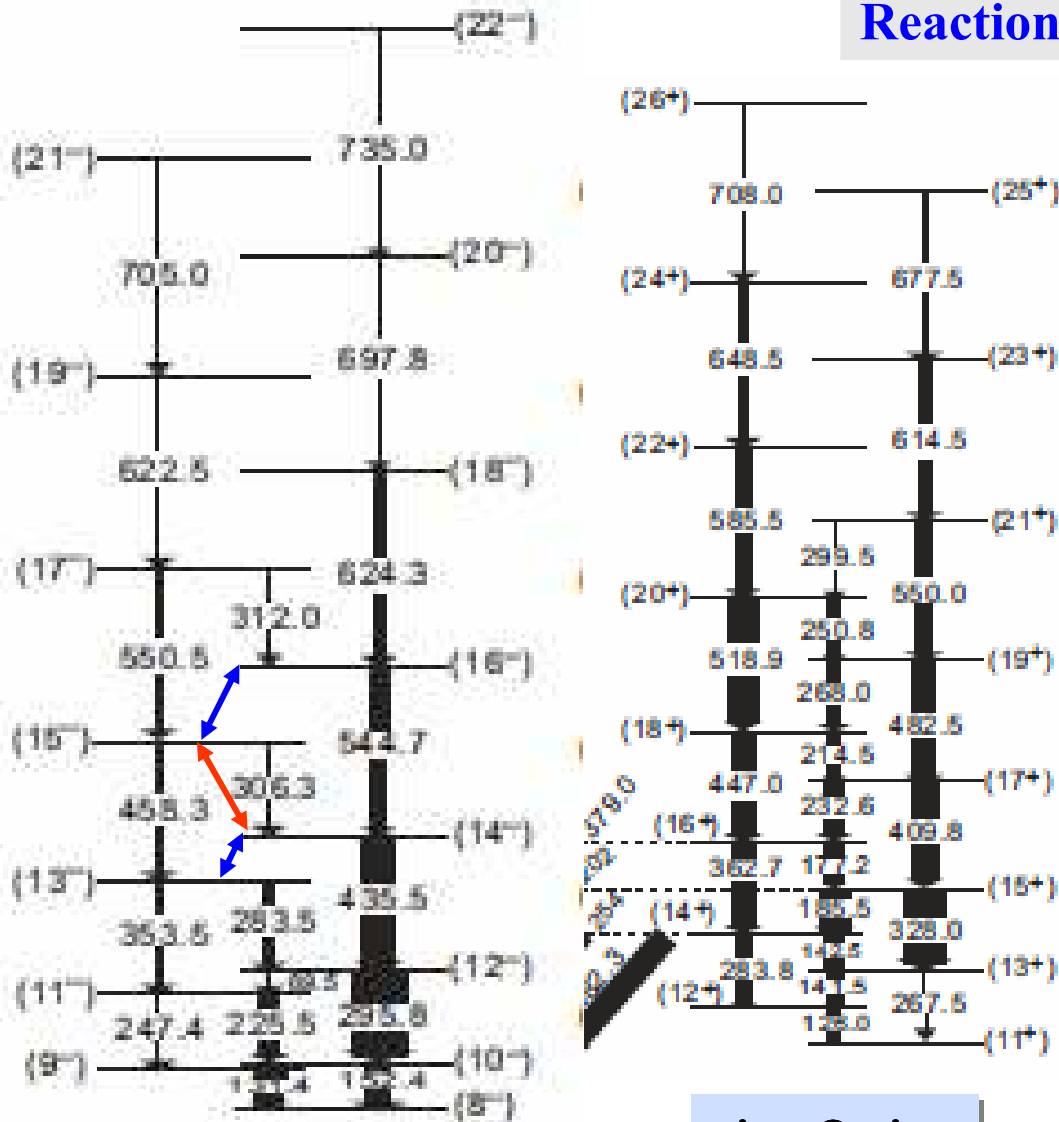
Experimental results achieved within JAEA collaboratrion



Signature inversion in odd-odd ^{176}Ir

Y. H. Zhang et al. Eur. Phys. J. A13 429(2002)

Reaction : $^{149}\text{Sm}(^{31}\text{P}, 4n\gamma)^{176}\text{Ir}$ at 155-MeV



$\pi h_{9/2} \otimes \nu i_{13/2}$

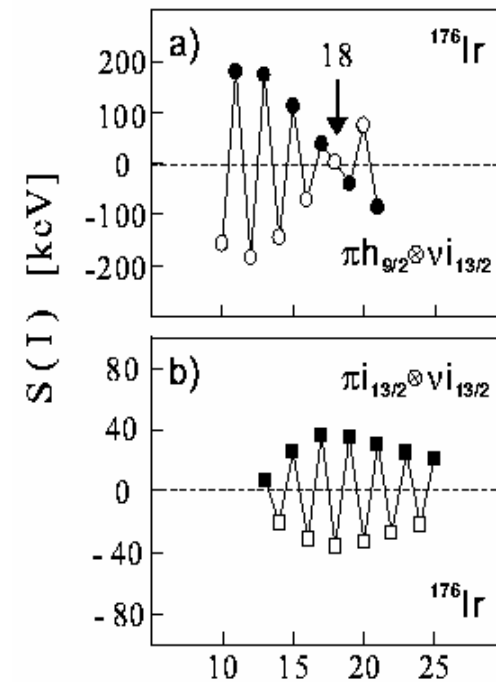
$\pi i_{13/2} \otimes \nu i_{13/2}$

odd-odd 核のsignature

$$\alpha_f = \frac{1}{2}(-1)^{j_p-1} + \frac{1}{2}(-1)^{j_n-1}$$

Favored : odd spin

$$S(I) = \frac{E(I) - E(I-1) - [E(I+1) - E(I) + E(I-1) - E(I-2)]}{2}$$



放射性ヨウ素の簡便な高感度定量 (NAAMG)

2. 多重ガンマ線検出法を用いた分析法の開発

環境中の放射性ヨウ素¹²⁹I分析

¹²⁹Iの簡便な高感度定量が可能になると？



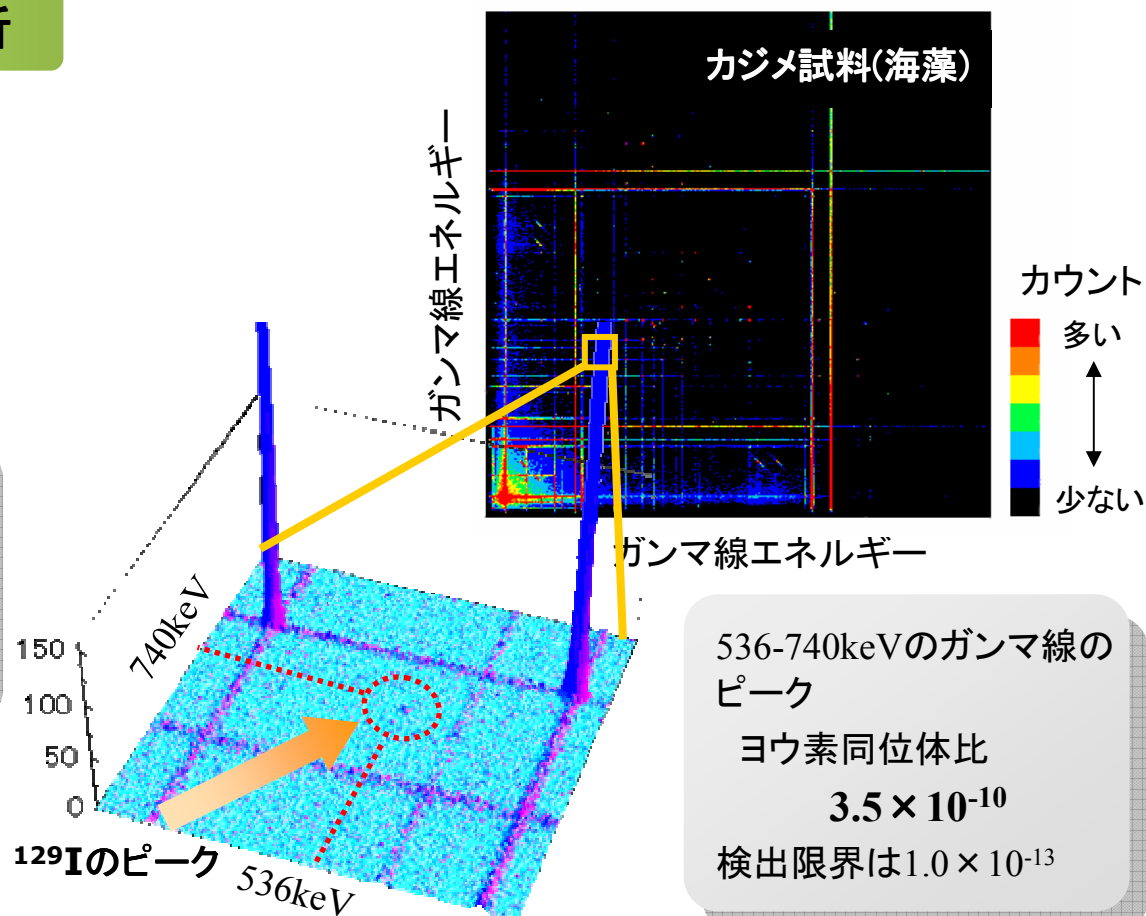
原子力施設の事故・モニタリング

¹³¹Iと¹³³Iはすぐに崩壊して自然界のゼノンと区別できなくなってしまうが、長半減期¹²⁹Iの定量によって¹³¹I、¹³³Iを見積もる事が出来る。

地質学・考古学・環境学など

¹²⁹Iは1570万年という長い半減期を持つため、年代測定に用いる事が出来る。

NAAMGで得られた2次元スペクトル



簡便で高感度な定量法を確立

論文以外の成果リスト

特許

「多重ガンマ線検出による高感度核種分析方法」

出願番号 特願2000-168638号(平成12年6月6日)

出願公開番号 特開2001-235547号(平成13年8月31日)

大島真澄、初川雄一、早川岳人、藤暢輔、篠原伸夫

他 7件

プレス発表

平成11年12月16日

「微量元素の新たな高感度・高精度定量法を開発」

他 2件

受賞

第35回(平成14年度)日本原子力学会賞 技術賞

「多重ガンマ線検出法を用いた高感度元素定量法の開発」

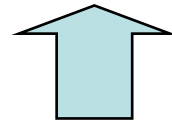
大島真澄, 初川雄一, 藤 暢輔

他 4件

まとめ

GEMINI, GEMINI-II における研究の成果

基礎研究から応用研究まで広い分野に渡っている



タンデム加速器から供給される**安定で高品質**なビーム

+

BGOACSGe検出器からなるボール型アレイを**汎用検出器**として、液体窒素補給系、回路系、データ収集系、解析ソフト等を含めて**常設のシステムとして整備した**

ガンマ線測定における汎用の検出器として、今後の維持および発展が強く望まれる！

GEMINI, GEMINI-II 関連の共同研究者リスト

原子力機構:大島真澄、藤 暢輔、小泉光生、早川岳人、木村敦、原田秀郎、古高和禎、中村詔司、北谷文人、長明彦、初川雄一、静間俊行、市川進一、峰原英介、飯村秀紀、石井哲郎、宇都野穰、松田誠、片倉純一、篠原伸夫、中村暢彦

筑波大:古野興平、小松原哲郎

千葉大:草刈英榮、中田仁

九大:森川恒安、御手洗志郎、杉光強、大坪慎一、清水良文

福岡教育大:松崎昌之

東大:井手口栄治、大田晋輔

広大:小島康明

新潟大:後藤 淳

KEK:渡辺 裕、平山 賀一、宮武宇也、

理研:稲村卓、橋爪 朗、岸田隆、木寺正憲

中国 近代物理研:Y. H. Zhang, X. H. Zhou

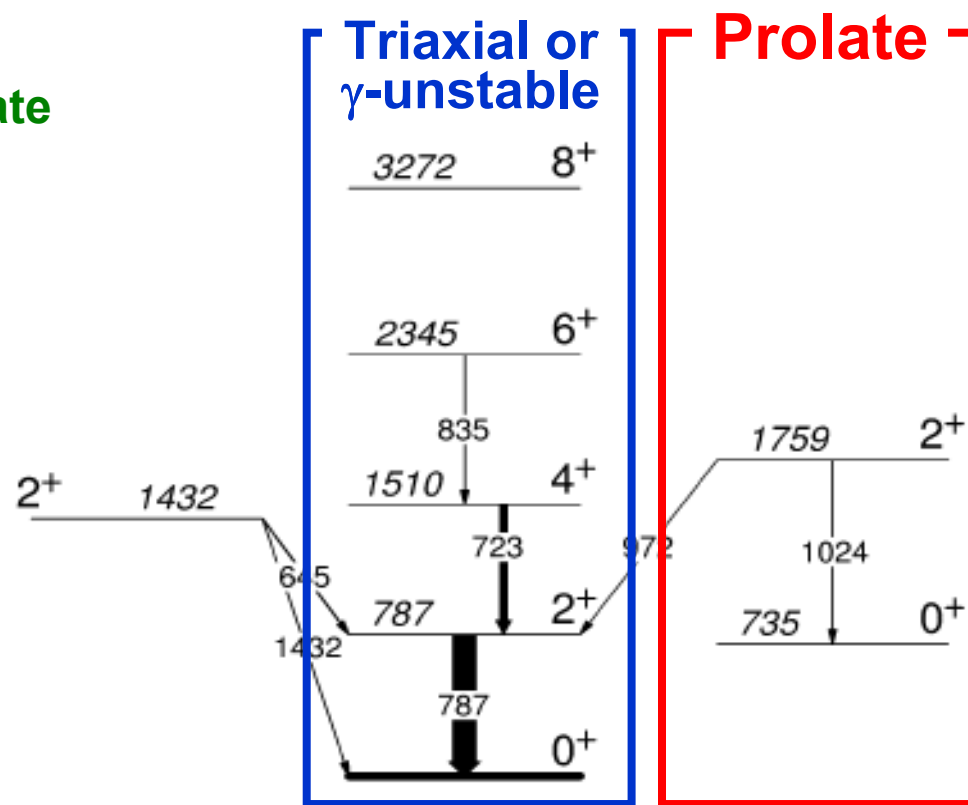
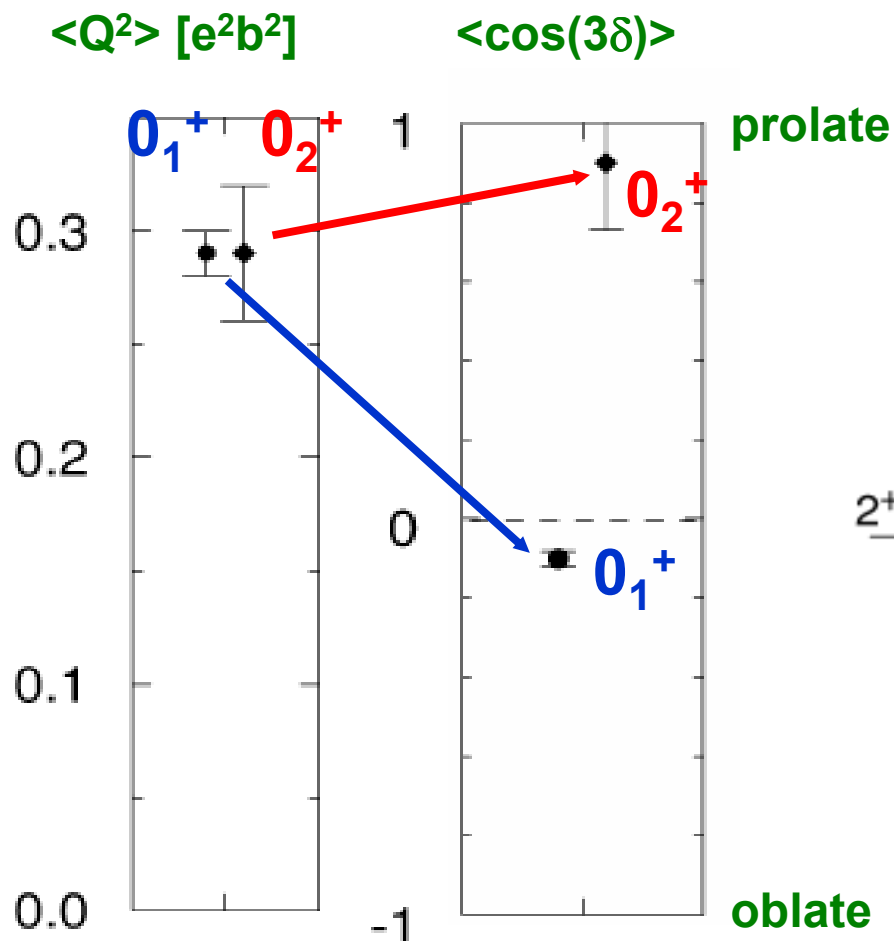
ポーランド ワルシャワ大:T. Czosnyka, M. Zielinska

^{98}Mo における変形共存

M. Zielińska et al. Nucl. Phys. A712 3(2002)

第一励起状態が 0^+ である偶偶核(^{72}Ge , ^{90}Zr , ^{96}Zr , and ^{98}Mo) の内の一つ

Ge同位体とは異なるタイプの変形共存の例

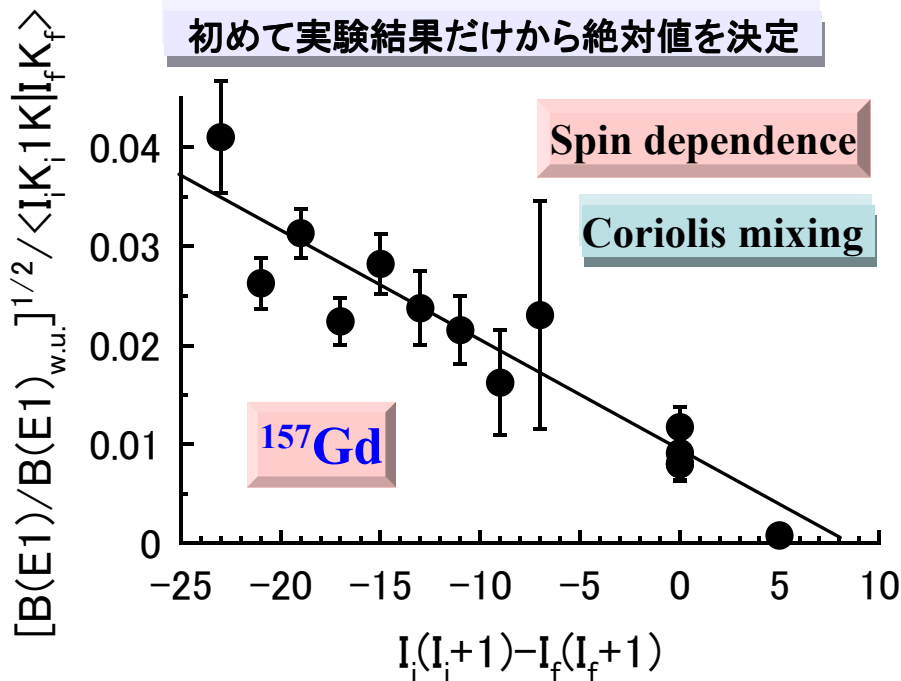
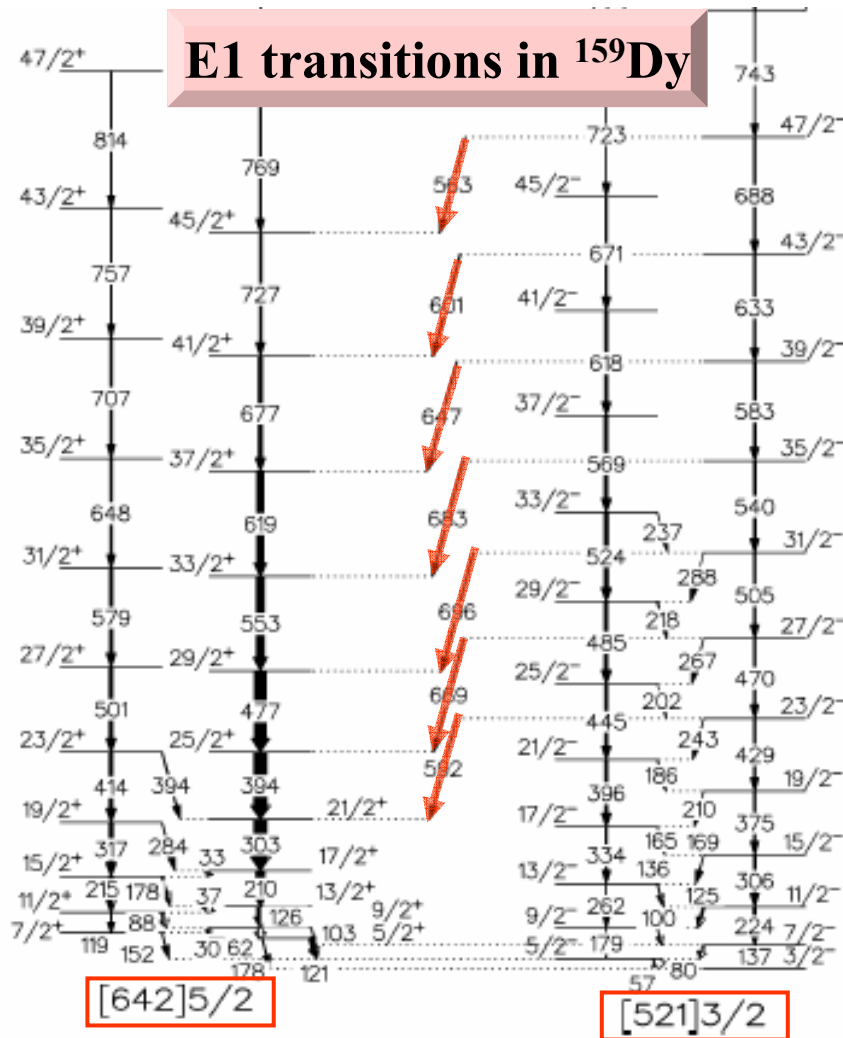
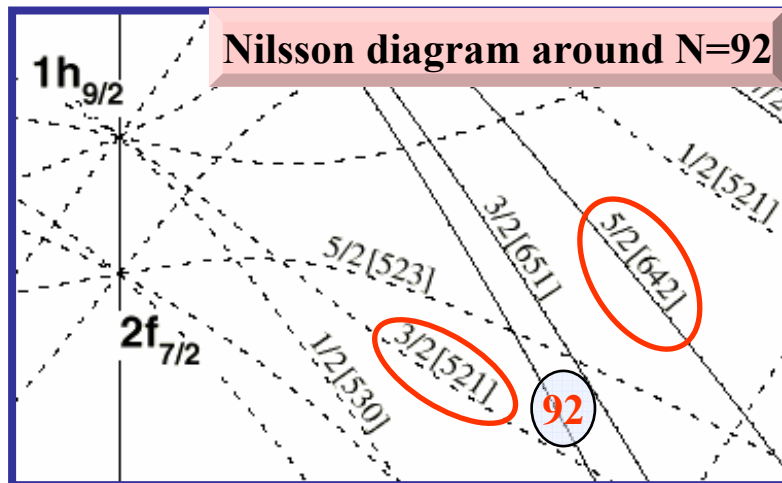


N=93 同中性子核 ^{157}Gd , ^{159}Dy で強いE1遷移を観測

T. Hayakawa et al. Phys. Lett. B551 79(2003)
 M. Sugawara et al. Nucl. Phys. A699 450(2002)

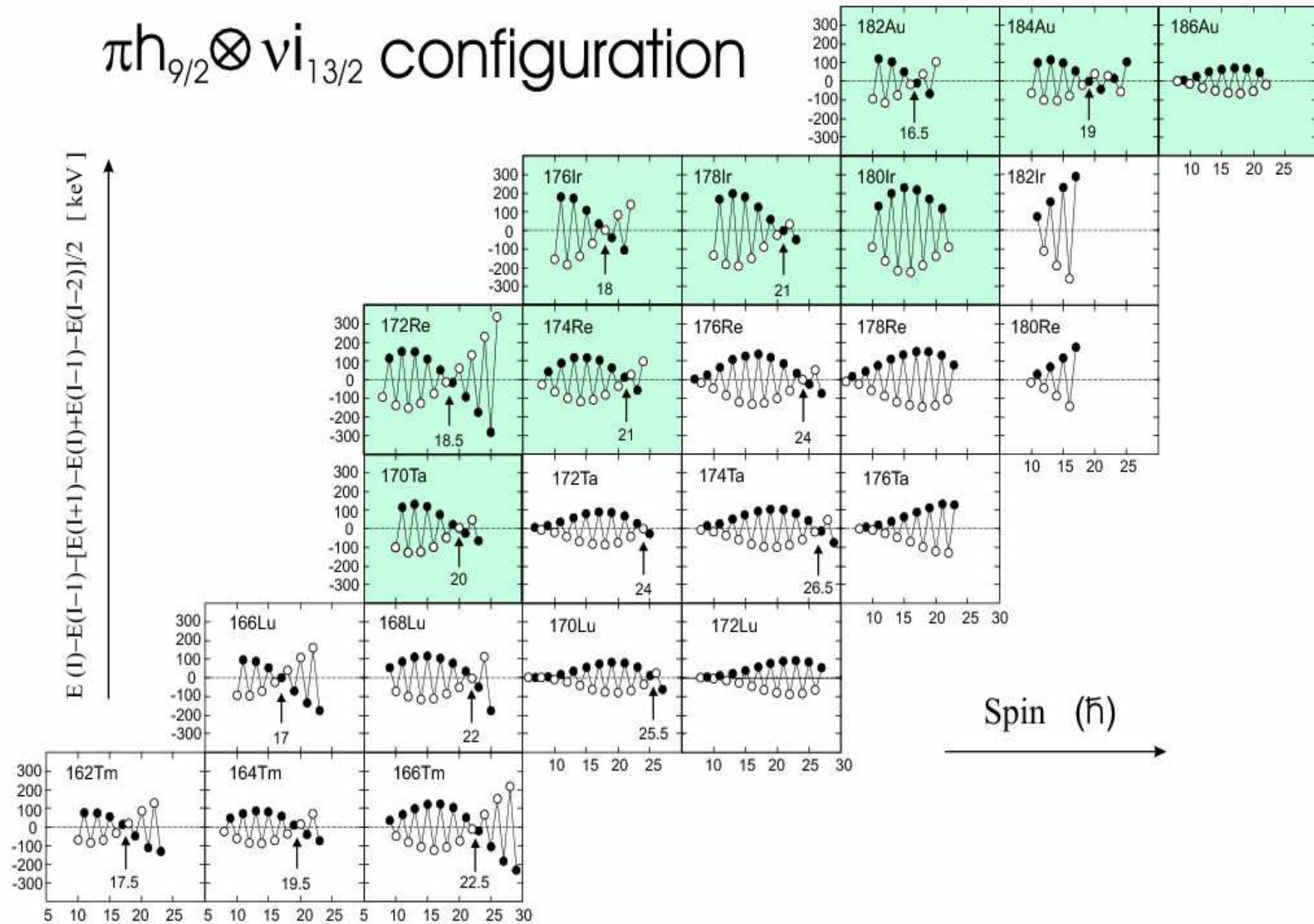
通常の10~100倍の強度
 浜本らの予言に一致、八重極結合効果

$$O(E1, \kappa) = e_{\text{eff}} r Y_{1\kappa} + e b r^3 Y_{3\kappa} \quad \Delta\kappa = \pm 1$$

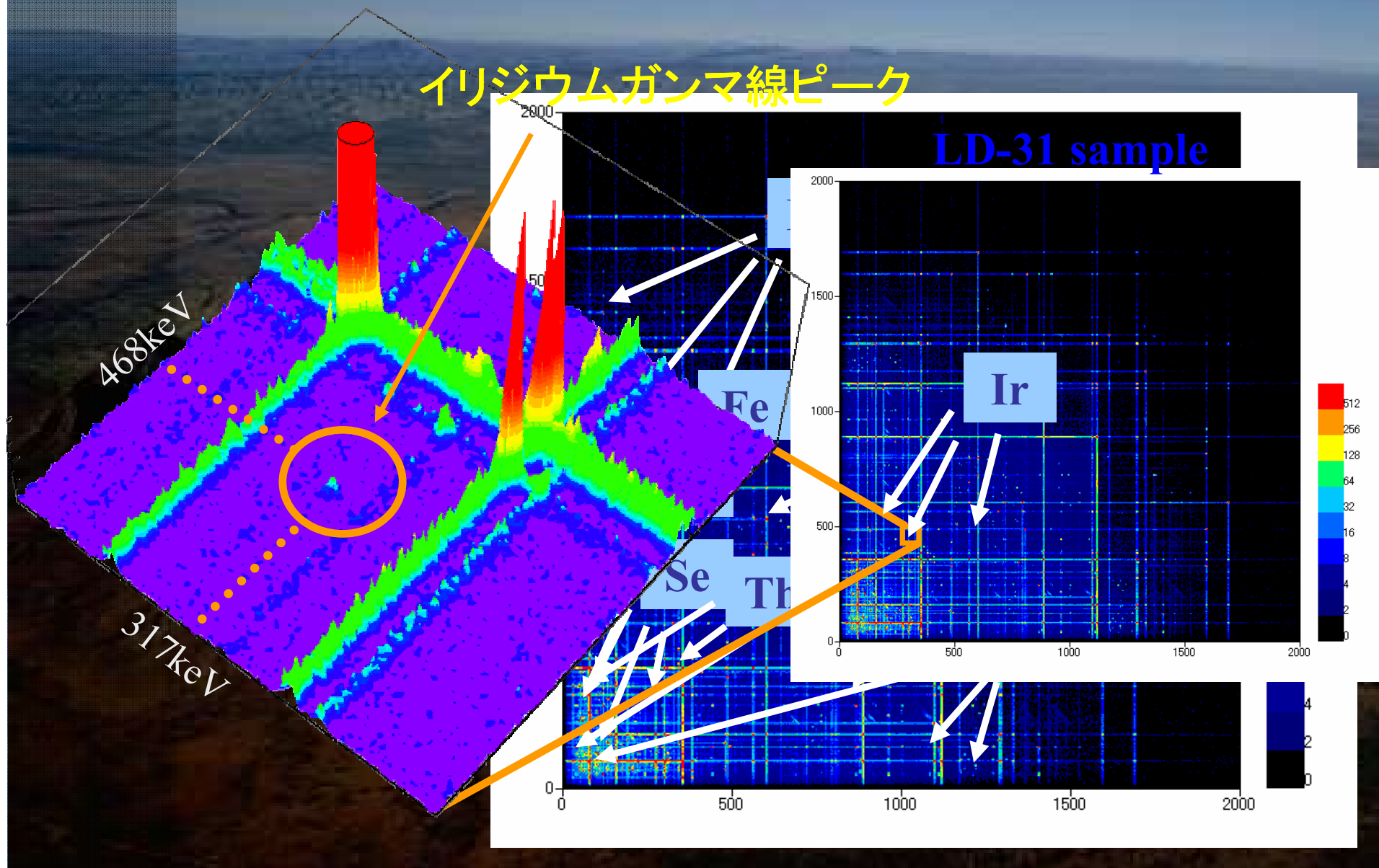


Systematics of Signature Inversion

$\pi h_{9/2} \otimes \nu i_{13/2}$ configuration



実験で得られた2次元スペクトル



Inverted signature dependence of $B(M1)$

福岡教育大:松崎
回転殻模型計算



軌道部分とスピン部分の相対符号

