

Chiralność w fizyce jądrowej na przykładzie ^{124}Cs

Tomasz Marchlewski
Uniwersytet Warszawski

Seminarium Fizyki
Jądra Atomowego
6 kwietnia 2017

Słowo “chiralność”

Chiralne obiekty:

Obiekty będące swoimi lustrzanymi odbiciami, które nie są identyczne. Nie da się ich na siebie nałożyć przez obroty i przesunięcia.

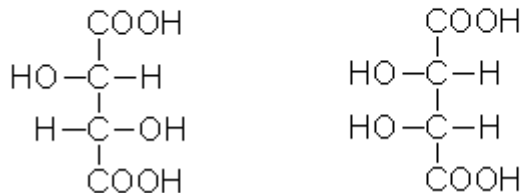
Z języka greckiego: χέρι (chéri) - ręka.



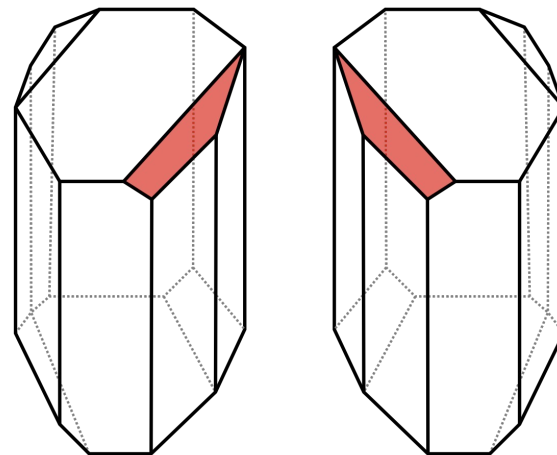
Chiralność w chemii

Chiralność (chemiczna):

cecha cząsteczek chemicznych przejawiająca się tym, że cząsteczka wyjściowa i jej odbicie lustrzane nie są identyczne i nie mogą być na siebie nałożone poprzez obroty i translacje.



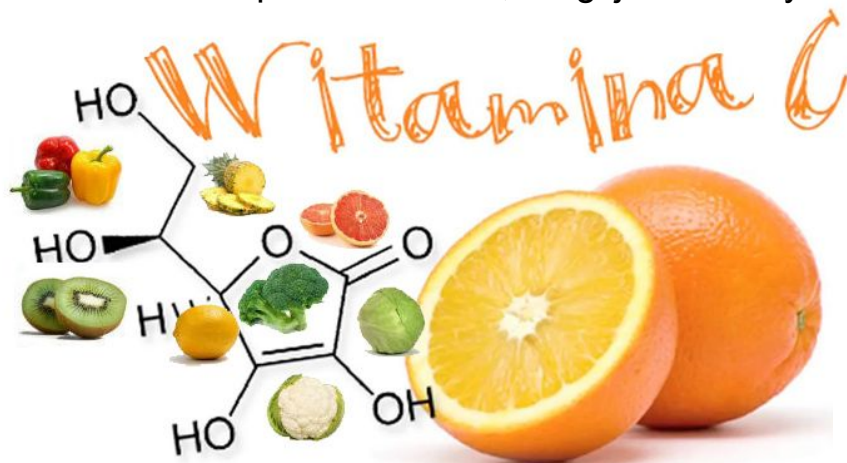
Kwas winowy w dwóch konfiguracjach.



Enancjomorficzne kryształy kwasu winowego odkryte przez L. Pasteura - pierwszy opis chiralności w naukach przyrodniczych.

Chiralność

Ibuprofen: tylko jeden z enancjomerów oddziałuje z organizmem i działa przeciwbólowo, drugi jest nieaktywny.



Nikotyna: tylko jeden z enancjomerów jest "atrakcyjny".



Witamina C: tylko jeden enancjomer jest przyswajany przez organizm jako witamina.



Chiralność w fizyce jądrowej

Pierwsza publikacja teoretyczna o chiralności w fizyce struktury jądra atomowego:
Stefan Frauendorf i Jie Meng (1997).

Podstawowe wymagania:

- trójosiowa deformacja
- nieparzysto-nieparzyste
- wzajemnie prostopadłe momenty pędów: rdzenia, nieparzystego protonu, dziury neutronowej.



Nuclear Physics A 617 (1997) 131–147

NUCLEAR
PHYSICS A

Tilted rotation of triaxial nuclei

S. Frauendorf, Jie Meng¹

*Institut für Kern- und Hadronenphysik, Forschungszentrum Rossendorf e.V.,
PF 510119, 01314 Dresden, Germany*

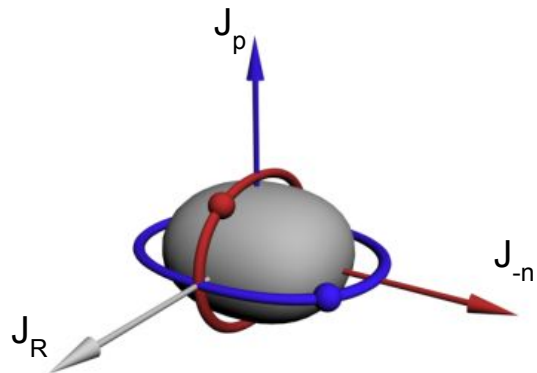
Received 14 November 1996

Abstract

The Tilted Axis Cranking theory is applied to the model of two particles coupled to a triaxial rotor. Comparing with the exact quantal solutions, the interpretation and quality of the mean field approximation is studied. Conditions are discussed when the axis of rotation lies inside or outside the principal planes of the triaxial density distribution. The planar solutions represent $\Delta I = 1$ bands, whereas the aplanar solutions represent pairs of identical $\Delta I = 1$ bands with the same parity. The two bands differ by the chirality of the principal axes with respect to the angular momentum vector. The transition from planar to chiral solutions is evident in both the quantal and the mean field calculations. Its physical origin is discussed. © 1997 Elsevier Science B.V.

PACS: ...

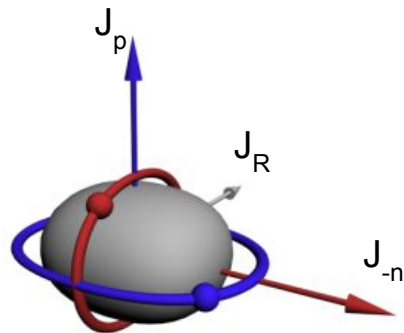
Keywords: Tilted axis cranking; Triaxiality; Chirality



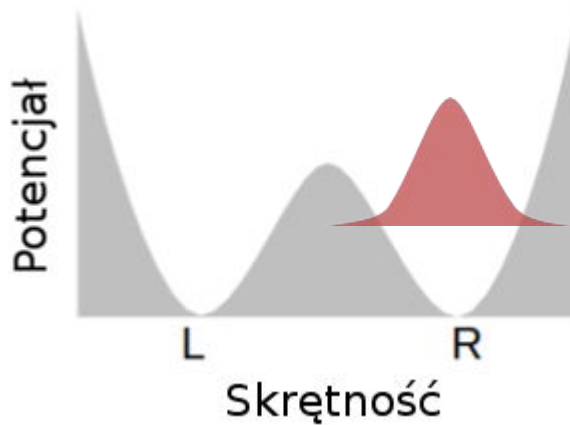
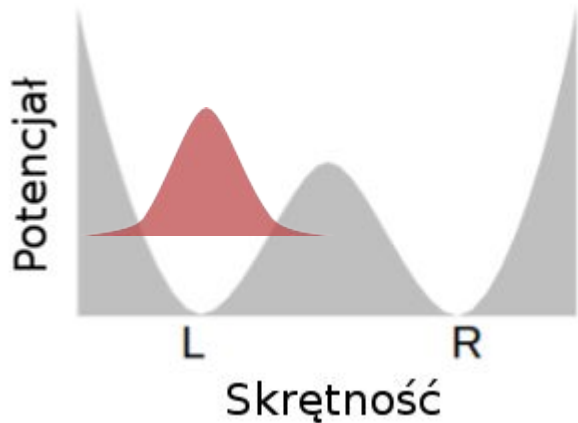
Stan lewoskrętny

$$R_y T | L \rangle = | R \rangle$$

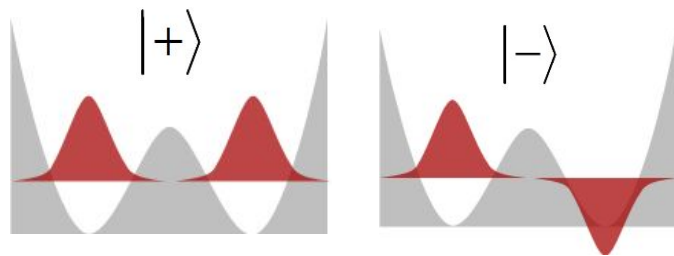
$$R_y T | R \rangle = | L \rangle$$



Stan prawoskrętny



$$\begin{array}{l}
 R_y T |L\rangle = |R\rangle \\
 R_y T |R\rangle = |L\rangle
 \end{array}
 \quad \longrightarrow \quad
 \begin{array}{l}
 |+\rangle = (|L\rangle + |R\rangle) \\
 |-\rangle = (|L\rangle - |R\rangle)
 \end{array}$$



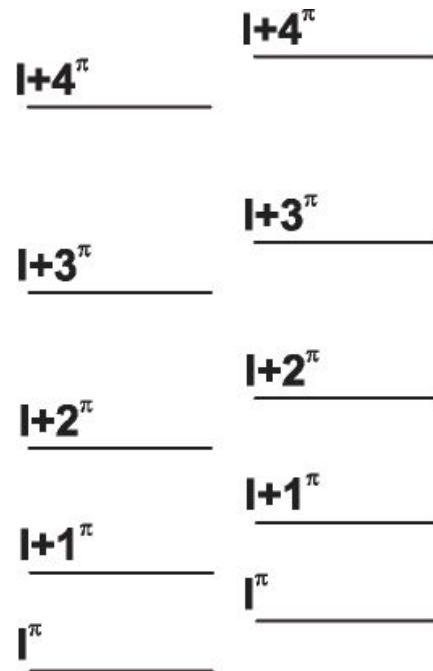
$$\begin{array}{l}
 R_y T |+\rangle = R_y T(|L\rangle + |R\rangle) = (|R\rangle + |L\rangle) = +1 |+\rangle \\
 R_y T |-\rangle = R_y T(|L\rangle - |R\rangle) = (|R\rangle - |L\rangle) = -1 |-\rangle
 \end{array}$$

Konsekwencja przejścia do nowych funkcji falowych

$$|+\rangle = (|L\rangle+ |R\rangle)$$

$$|-\rangle = (|L\rangle- |R\rangle)$$

Funkcje falowe “+” oraz “-” prowadzą do obserwacji w schemacie stanów wzbudzonych jądra chiralnego dwóch niemal zdegenerowanych pasm rotacyjnych.



Obserwable jądra chiralnego

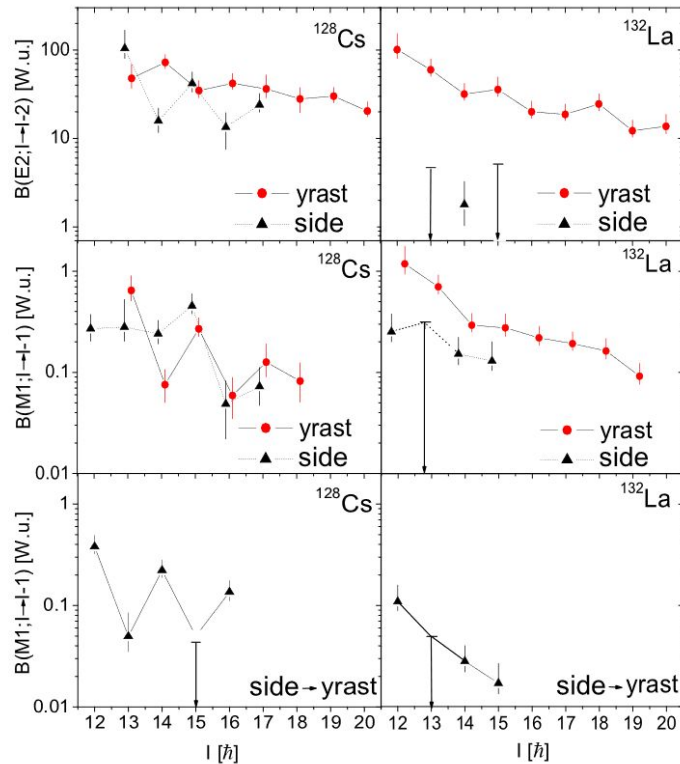
W schemacie stanów wzbudzonych powinny się znaleźć 2 prawie zdegenerowane pasma rotacyjne o takim samym momencie bezwładności, parzystościach oraz takich samych właściwościach elektromagnetycznych. Pasma te nazywa się **chiralnymi pasmami partnerskimi**.

Jednakowość właściwości elektromagnetycznych rozumiemy jako zbliżone wartości $B(M1)$ oraz $B(E2)$ w przypadku przejść następujących ze stanów o tym samym spinie.

Zbadane metodą Doppler Shift Attenuation:

^{128}Cs - chiralny

^{132}La - brak chiralności



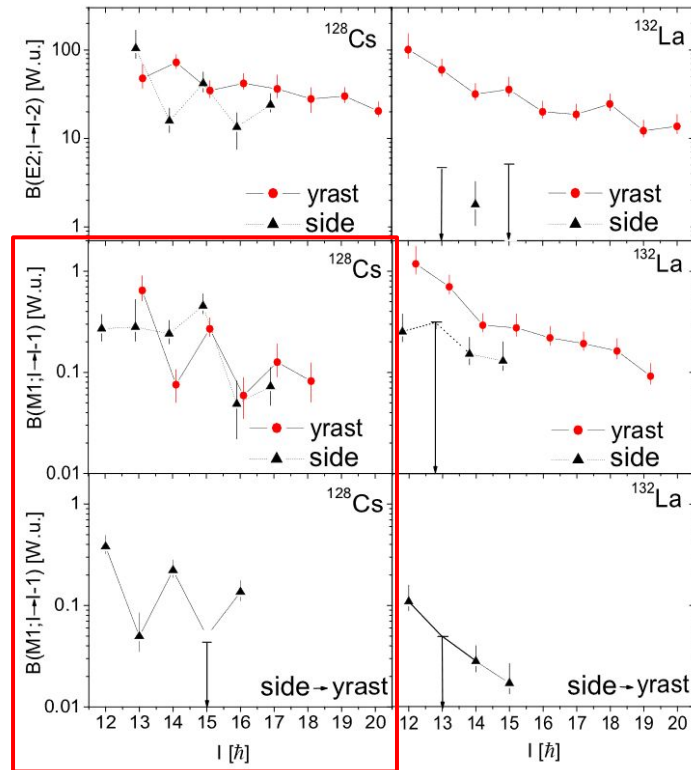
E. Grodner et al., Phys. Rev. Lett. 97, 172501 (2006).

Dodatkowe kryterium - staggering B(M1)

W przypadku jąder chiralnych, gdzie nieparzysty proton i dziura neutronowa zajmują ten sam orbital można zaobserwować dodatkową właściwość:

staggering B(M1) spowodowany wystąpieniem dodatkowych reguł wyboru dla przejść typu M1.

W przypadku izotopów cezu mamy konfigurację $\pi(h_{11/2}) \otimes \nu^{-1}(h_{11/2})$



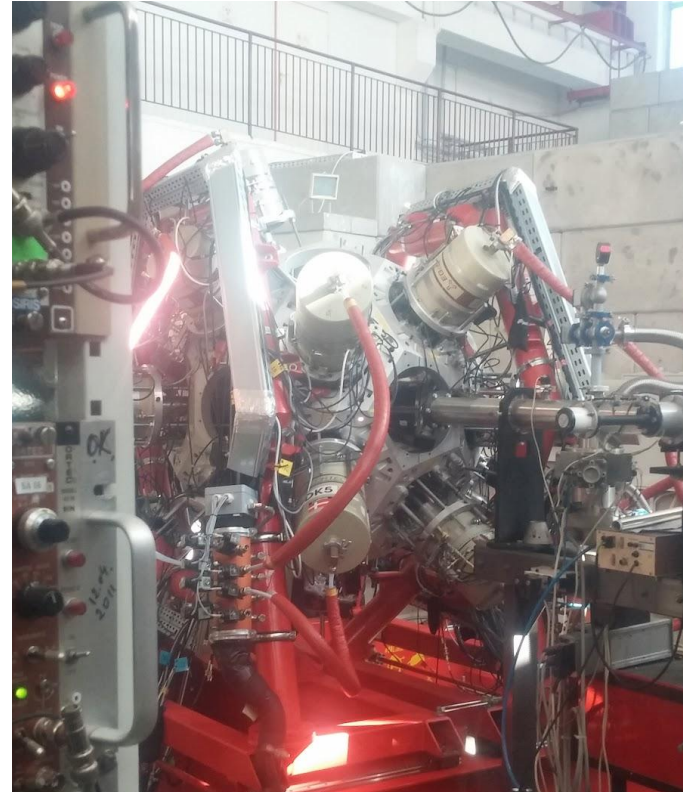
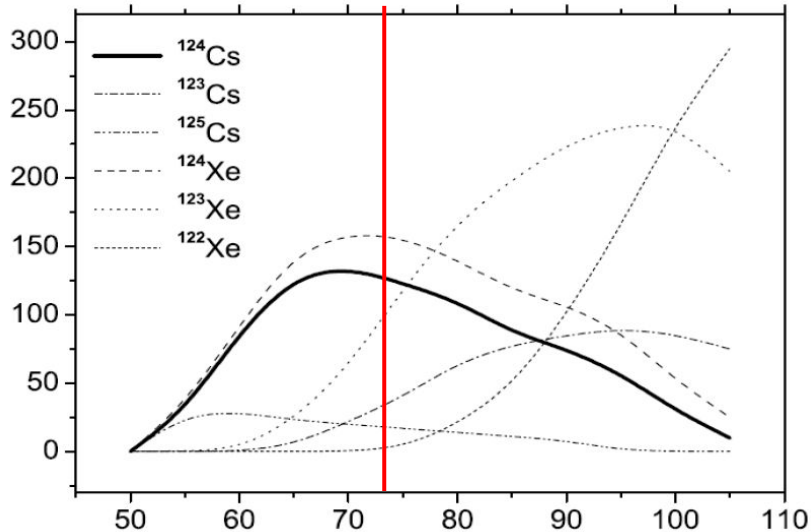
E. Grodner et al., Phys. Rev. Lett. 97, 172501 (2006).

Eksperyment w ŚLCJ - ^{124}Cs

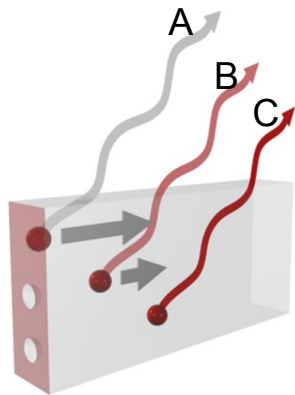
Reakcja: $^{114}\text{Cd}(^{14}\text{N},4n)^{124}\text{Cs}$; $E(^{14}\text{N}) = 73 \text{ MeV}$

Gruby target: 34 mg/cm^2 do pomiaru metodą Doppler Shift Attenuation (DSA) bez użycia stopera.

Spektrometr EAGLE wyposażony w 15 HPGe, które zostały udostępnione przez GAMMAPOOL.

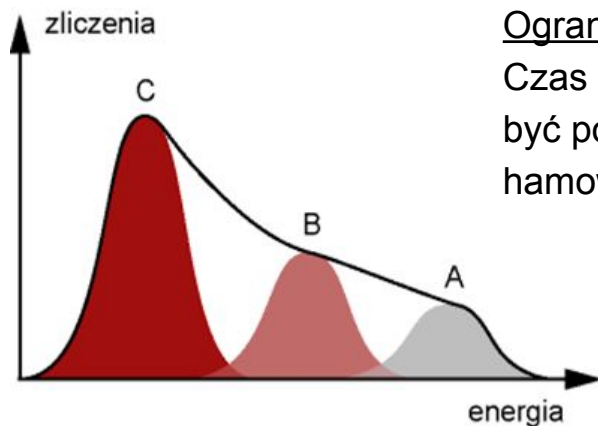


Pomiar czasu życia metodą DSA



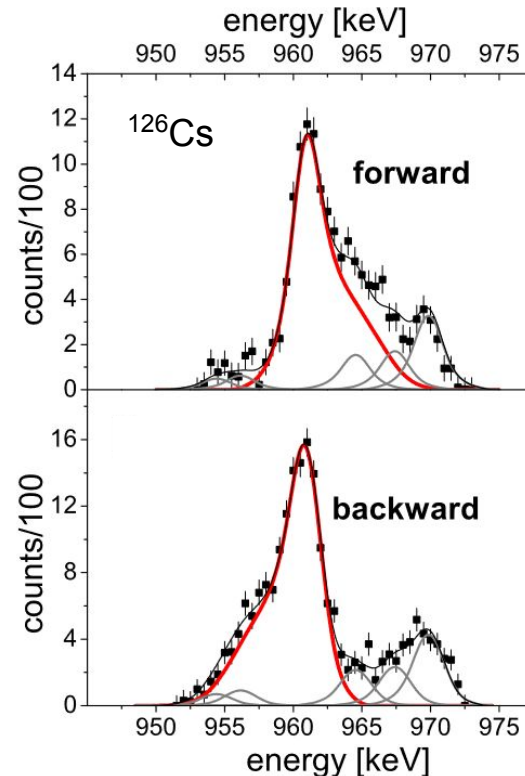
$$E = E_0(1 + \beta \cos(\theta))$$

$$\beta_0 = \frac{v}{c} \approx 0.01$$



Ograniczenie metody:

Czas życia badanego poziomu musi być porównywalny z czasem hamowania jądra.



E. Grodner et al. Physics Letters B
703 (2011) 46–50

Metoda DSA

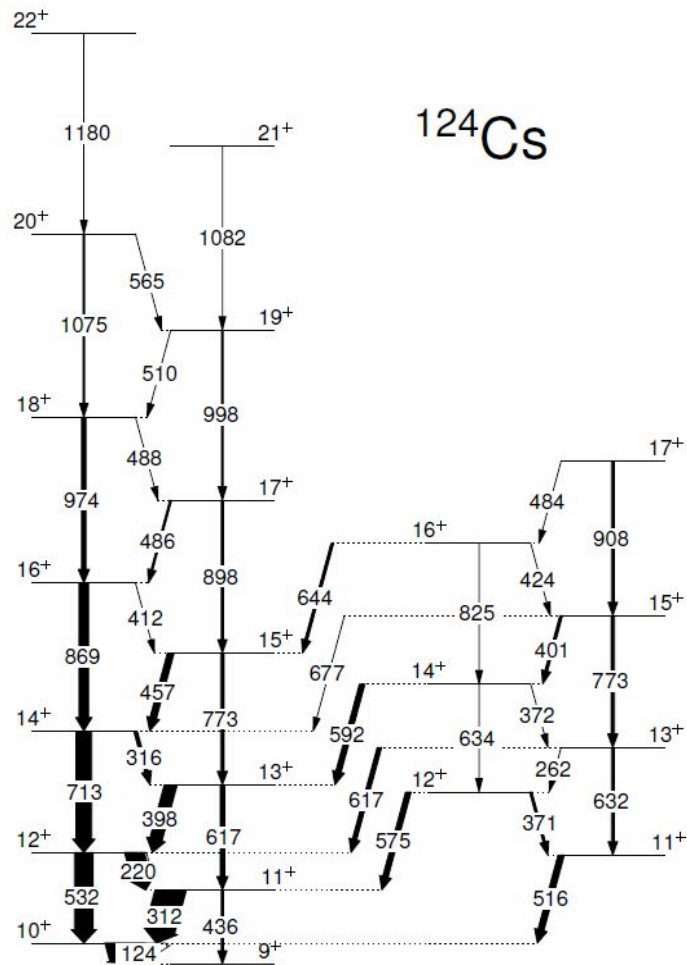
Analiza odbywa się “od góry” schematu.

Każdy poziom jest analizowany oddzielnie.

Czasy życia poziomów zasilających badany poziom są brane pod uwagę w symulacji Monte-Carlo.

Ponadto symulacja uwzględnia:

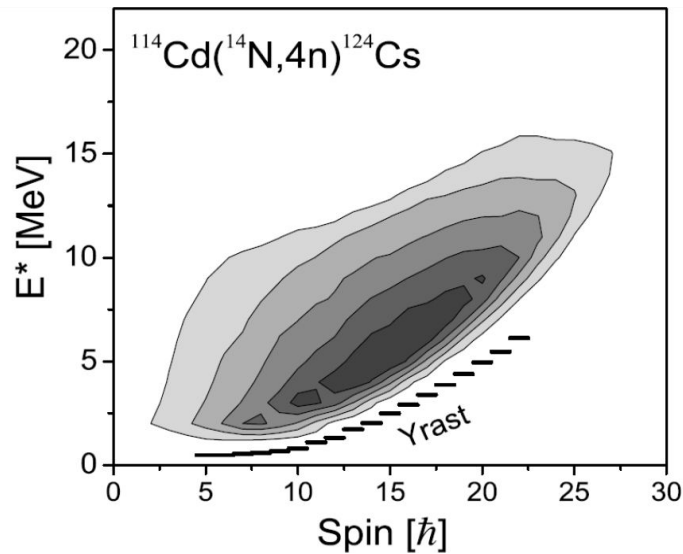
- Kinematykę reakcji (jądro wiązki, energia wiązki, jądro tarczy, grubość i gęstość tarczy)
- Stopping power jądra końcowego w materiale tarczy
- Aparaturowy kształt linii (kształt nie zniekształconej dopplerowsko linii)
- Znaną część schematu stanów wzbudzonych



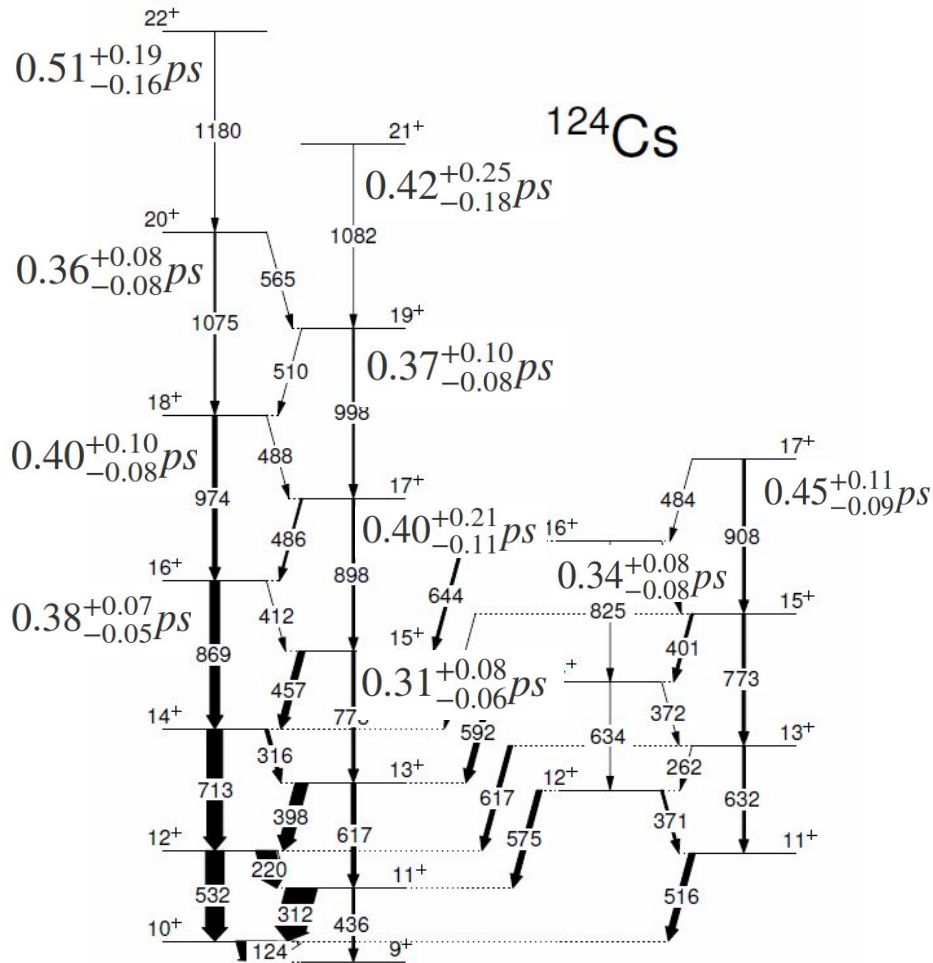
Metoda DSA

Z dostarczonych danych symulacja wyznacza:

- Rozkład wektorów prędkości jąder końcowych
- Rozkład entry states (spin i energia wzbudzenia jądra końcowego)
- Side-feeding (zasilanie badanych poziomów przez przejścia, których nie uwzględniamy w analizie)
- Rozkład zaniku prędkości jądra końcowego w czasie spowodowany hamowaniem w materiale tarczy.
- **Siatkę kształtów linii zniekształconych dopplerowsko dla różnych zakładanych czasów życia badanego poziomu.**



Rozkład entry states dla ^{124}Cs
badanego w reakcji
 $^{14}\text{N}(73 \text{ MeV}) + ^{114}\text{Cd} \rightarrow ^{124}\text{Cs} + 4n$

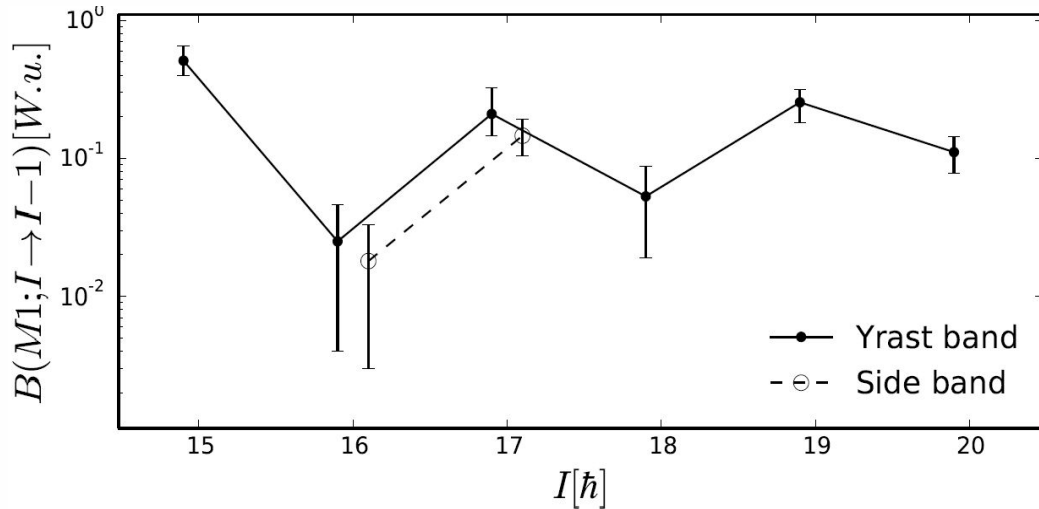
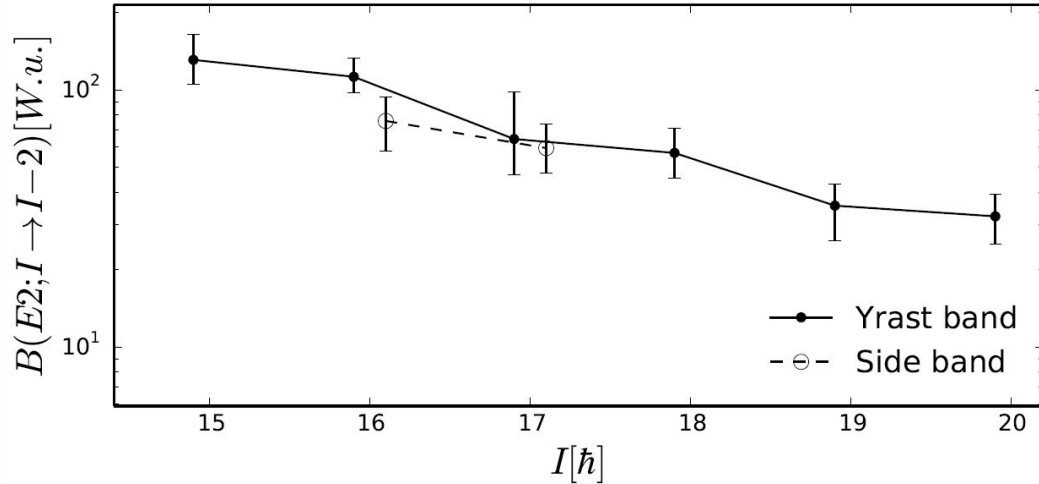


Pomiary Directional Correlation from Oriented nuclei (DCO). Dla przejść o $\Delta I = 1$ wykazały, że dla ^{124}Cs domieszka E2 jest mniejsza niż 5%.

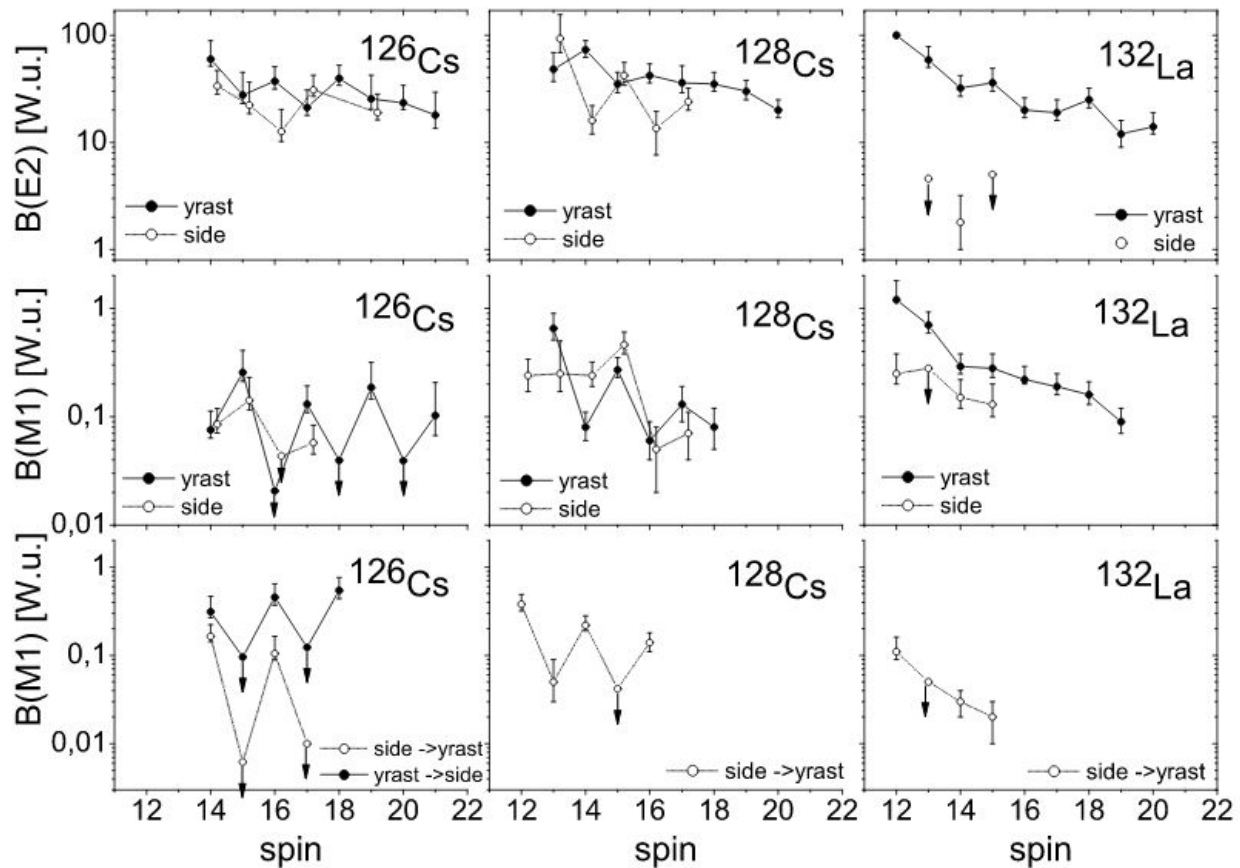
Dało pewność, że wyznaczone $B(M1)$ nie zawiera domieszek E2.

^{124}Cs

Pomiar czasów życia stanów wzbudzonych w pasmach partnerskich pozwolił na wyznaczenie zredukowanych prawdopodobieństw przejść - B(M1) oraz B(E2)



T. Marchlewski et al., Acta. Phys. Pol. B 46, 689 (2015).



E. Grodner et al. Physics Letters B
703 (2011) 46–50

Częstość krytyczna w jądrach chiralnych

VOLUME 93, NUMBER 5

PHYSICAL REVIEW LETTERS

week ending
30 JULY 2004

Critical Frequency in Nuclear Chiral Rotation

P. Olbratowski,^{1,2} J. Dobaczewski,^{1,2} J. Dudek,² and W. Płóciennik³

¹*Institute of Theoretical Physics, Warsaw University, Hoża 69, PL-00681 Warsaw, Poland*

²*Institut de Recherches Subatomiques, CNRS-IN2P3/Université Louis Pasteur, F-67037 Strasbourg Cedex 2, France*

³*The Andrzej Sołtan Institute for Nuclear Studies, PL-05400 Świerk, Poland*

(Received 12 March 2004; published 29 July 2004)

Self-consistent solutions for the so-called planar and chiral rotational bands in ^{132}La are obtained for the first time within the Skyrme-Hartree-Fock cranking approach. It is suggested that the chiral rotation cannot exist below a certain critical frequency which under the approximations used is estimated as $\hbar\omega_{\text{crit}} \approx 0.5\text{--}0.6$ MeV. However, the exact values of $\hbar\omega_{\text{crit}}$ may vary, to an extent, depending on the microscopic model used, in particular, through the pairing correlations and/or calculated equilibrium deformations. The existence of the critical frequency is explained in terms of a simple classical model of two gyroscopes coupled to a triaxial rigid body.

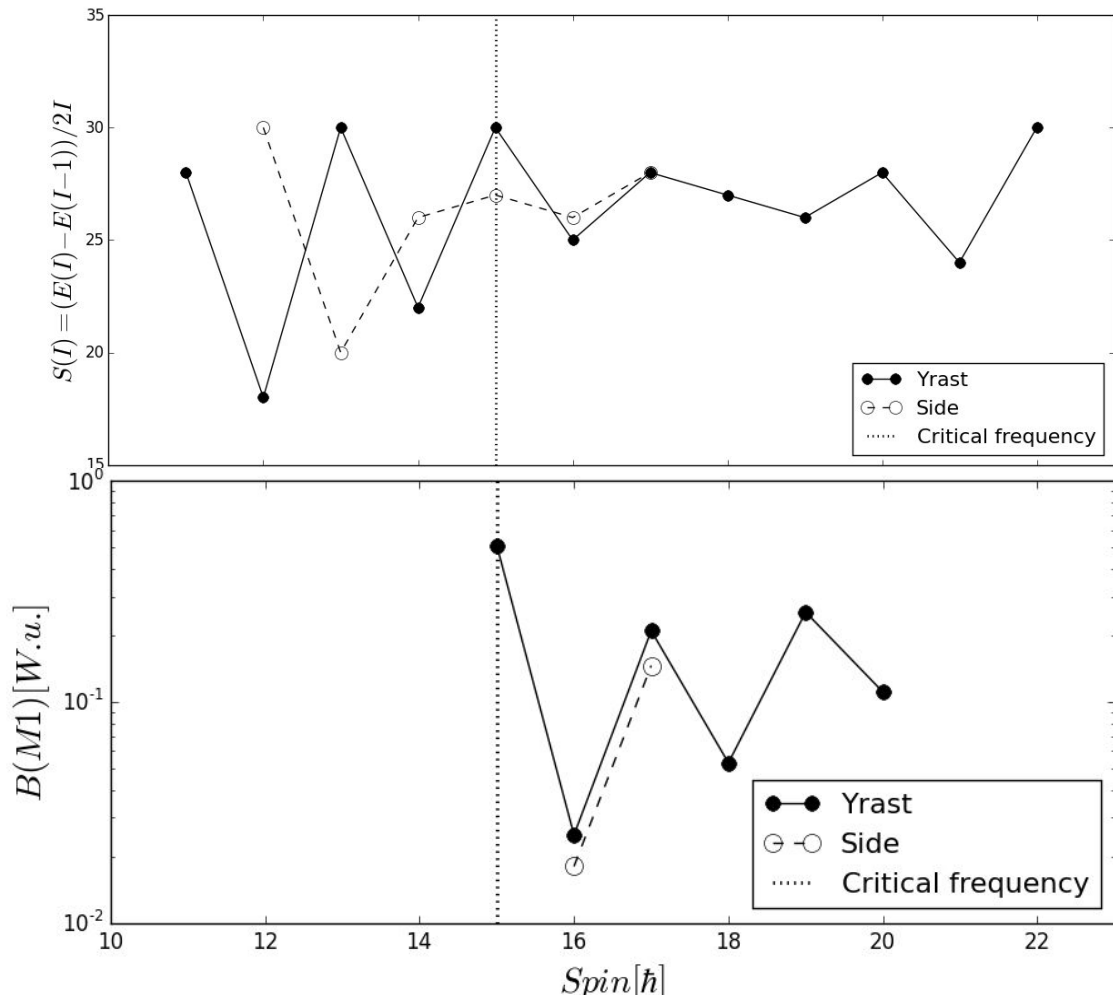
DOI: 10.1103/PhysRevLett.93.052501

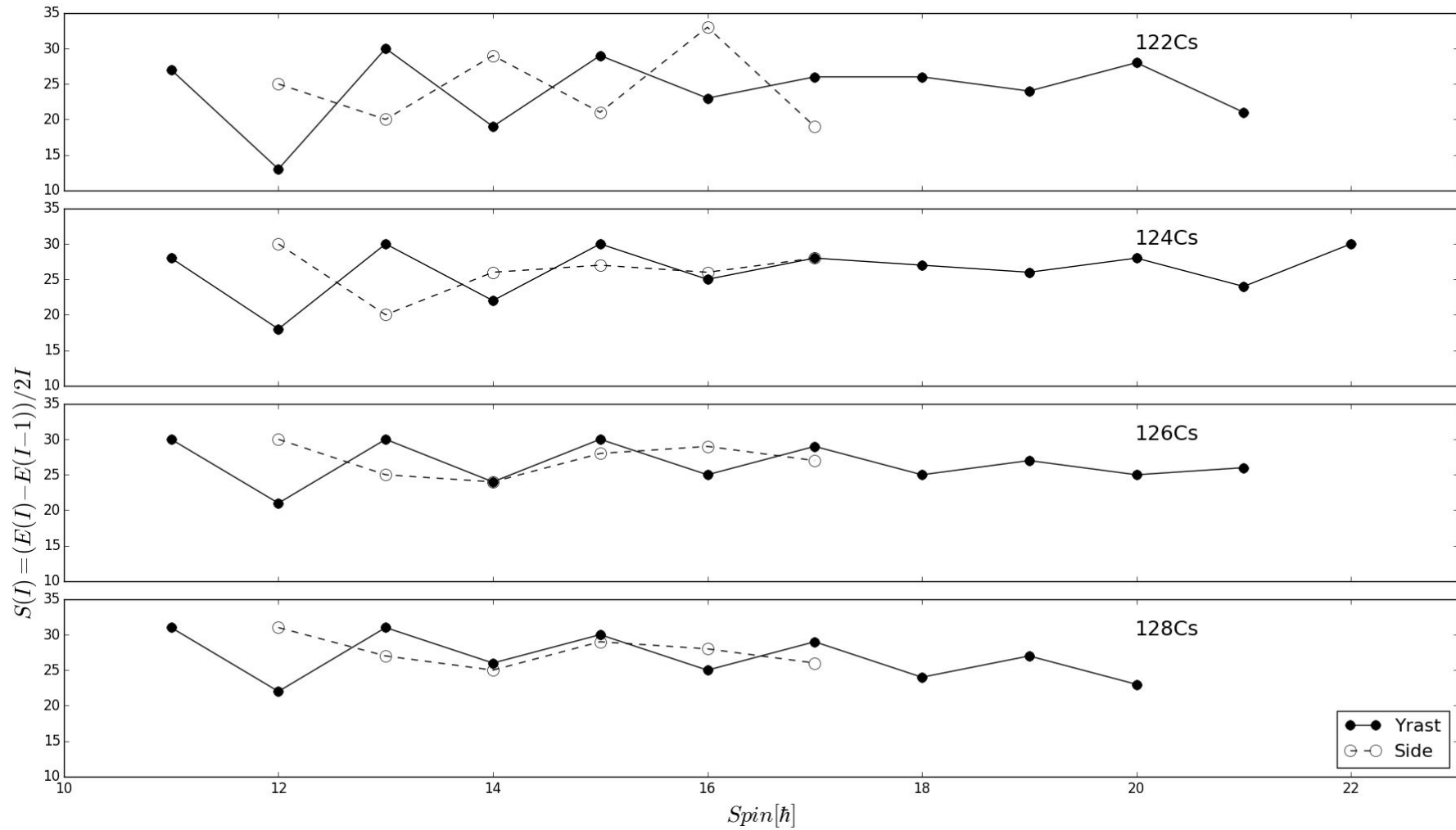
PACS numbers: 21.10.Re, 21.30.Fe, 21.60.Jz, 27.60.+j

^{124}Cs

Częstość krytyczna:
poniżej widoczny jest
staggering S(I)

powyżej występuje
staggering B(M1)

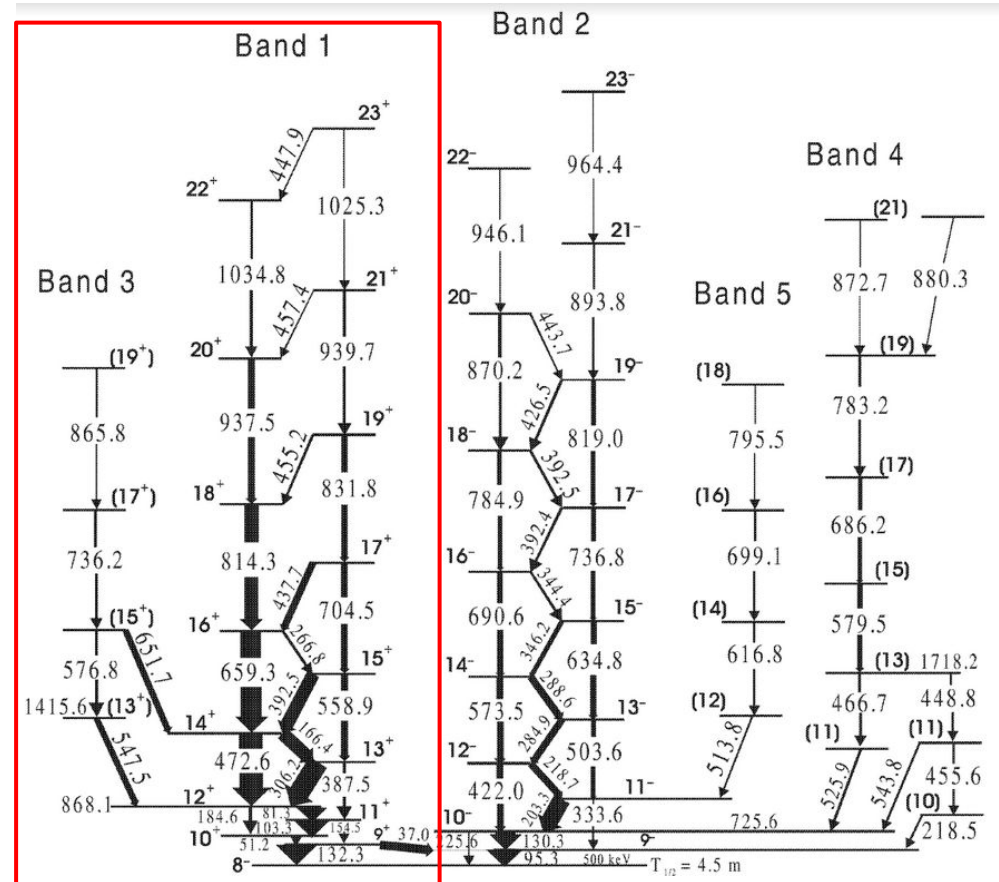




Przyszłość: ^{122}Cs

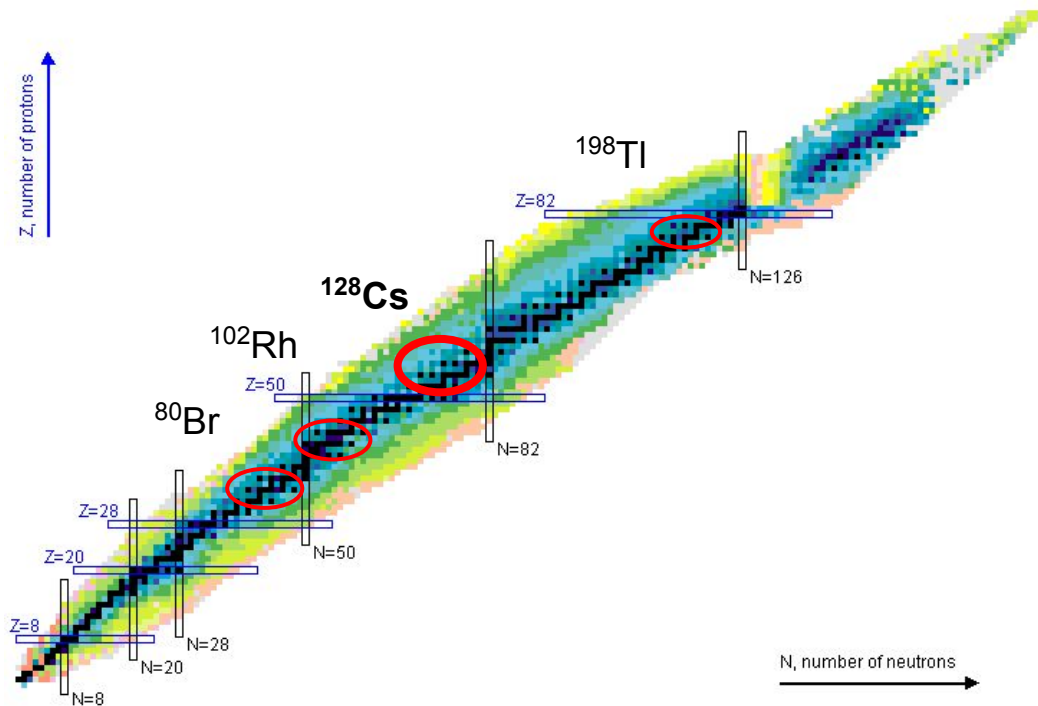
Wyznaczenie B(M1) w paśmie yrast -
poszukiwanie staggeringu.

Próba dotarcia do częstości krytycznej.



Obszary poszukiwania jąder chiralnych

Trójosiowe,
nieparzysto-nieparzyste jądra
o A zbliżonym do 80, 100,
130 lub 190.



Dziękuję za uwagę