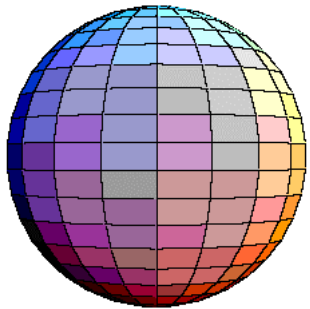


Jądra o dużych deformacjach.

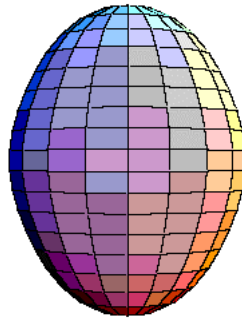
Jądra o wysokich spinach.

- 1. Kształty jąder atomowych**
- 2. Powstawanie deformacji jądra**
- 3. Model rotacyjny jądra**
- 4. Jądra w stanach wzbudzonych o wysokich spinach**
- 5. Stany superzdeformowane**
- 6. Niewyjaśnione obserwacje i niepotwierdzone przewidywania**
- 7. Inne przyczyny występowania dużych deformacji**
- 8. Pasma rotacyjne w jądrach prawie sferycznych**

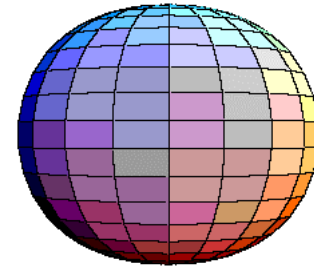
Kształty jąder atomowych



Jądro sferyczne



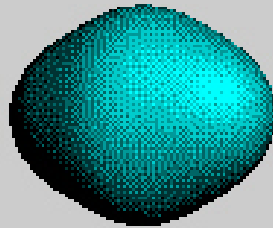
Jądro wydłużone
ang. *prolate*



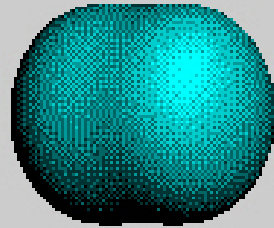
Jądro spłaszczone
ang. *oblate*

Kształty jąder atomowych

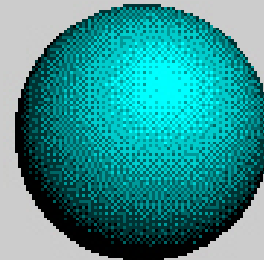
Nuclear ground-state shapes



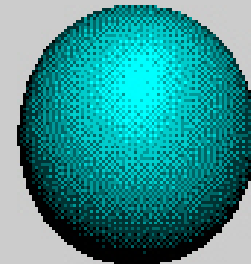
^{154}Sm



^{186}W

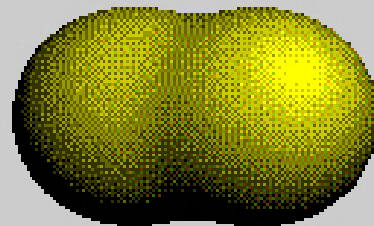


^{208}Pb



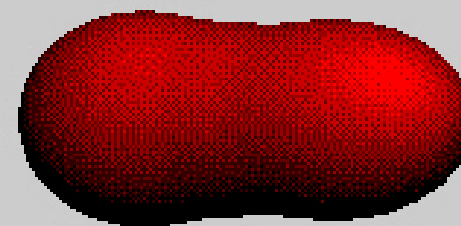
^{190}Pt

Isomeric
shape



^{240}Pu

Mass-asymmetric
saddle-point shape

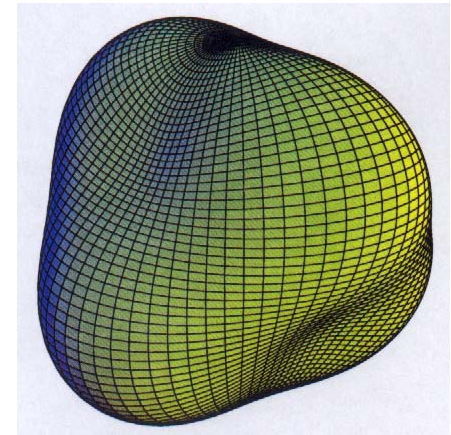


^{232}Th

Poszukiwane kształty jąder atomowych



**Jądro
hiperzdeformowane**



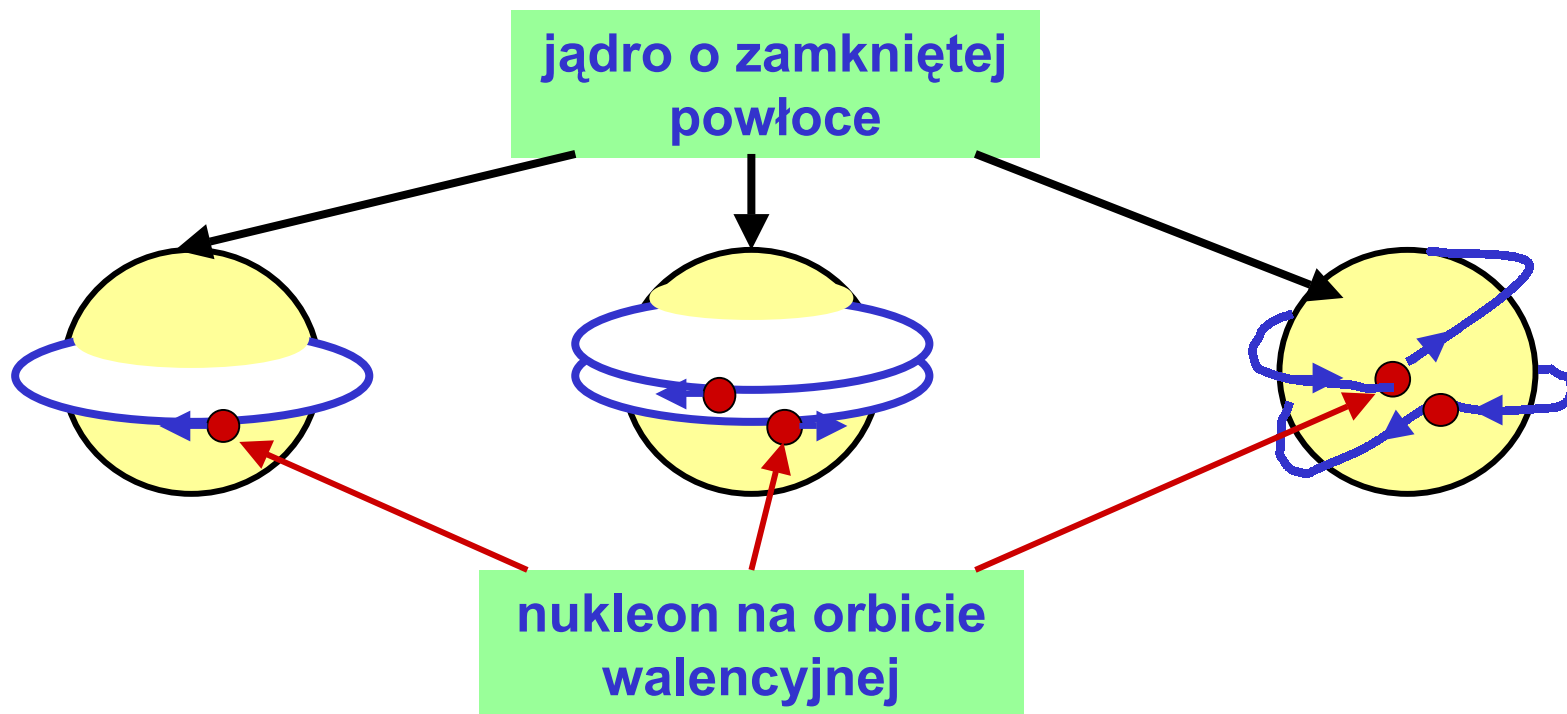
Jądro tetraedryczne

Powstawanie deformacji jądra

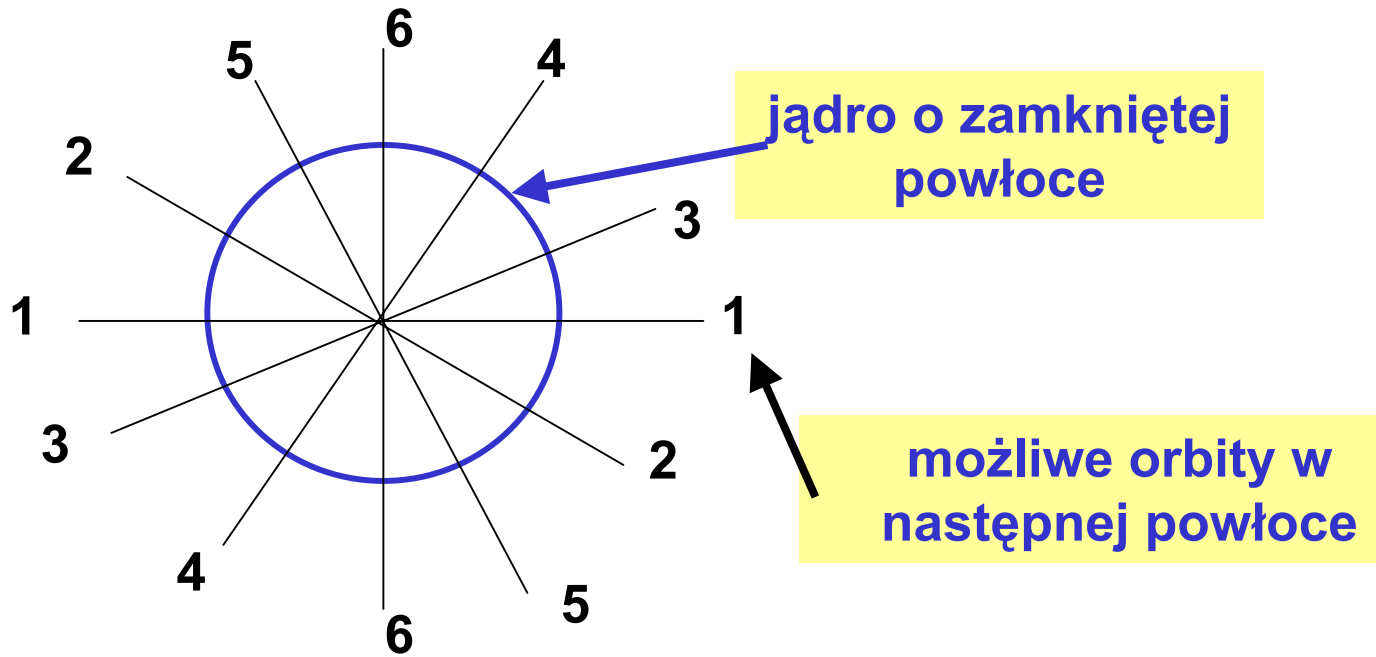
1. Oddziaływania resztkowe

a) długo zasięgowe siły - grupowanie orbit nukleonów

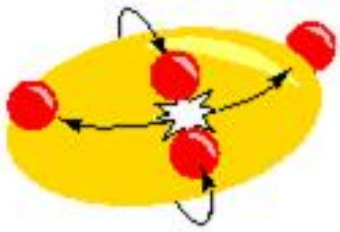
b) krótko zasięgowe siły (siły pairing) – rozkład symetryczny orbit



Powstawanie deformacji jądra



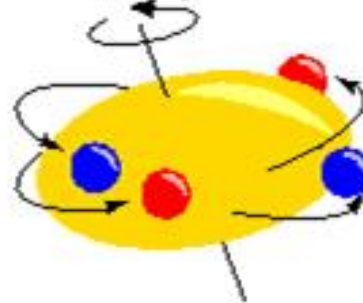
Paired nucleons



Aligned neutrons



Aligned neutrons and protons



Fully aligned band termination



Powstawanie deformacji jądra

Obszary jąder zdeformowanych:

zapełnione „pół” powłoki

n=2 ${}^7\text{Li}$, Be, B, C

n=3 Mg, Al, Si

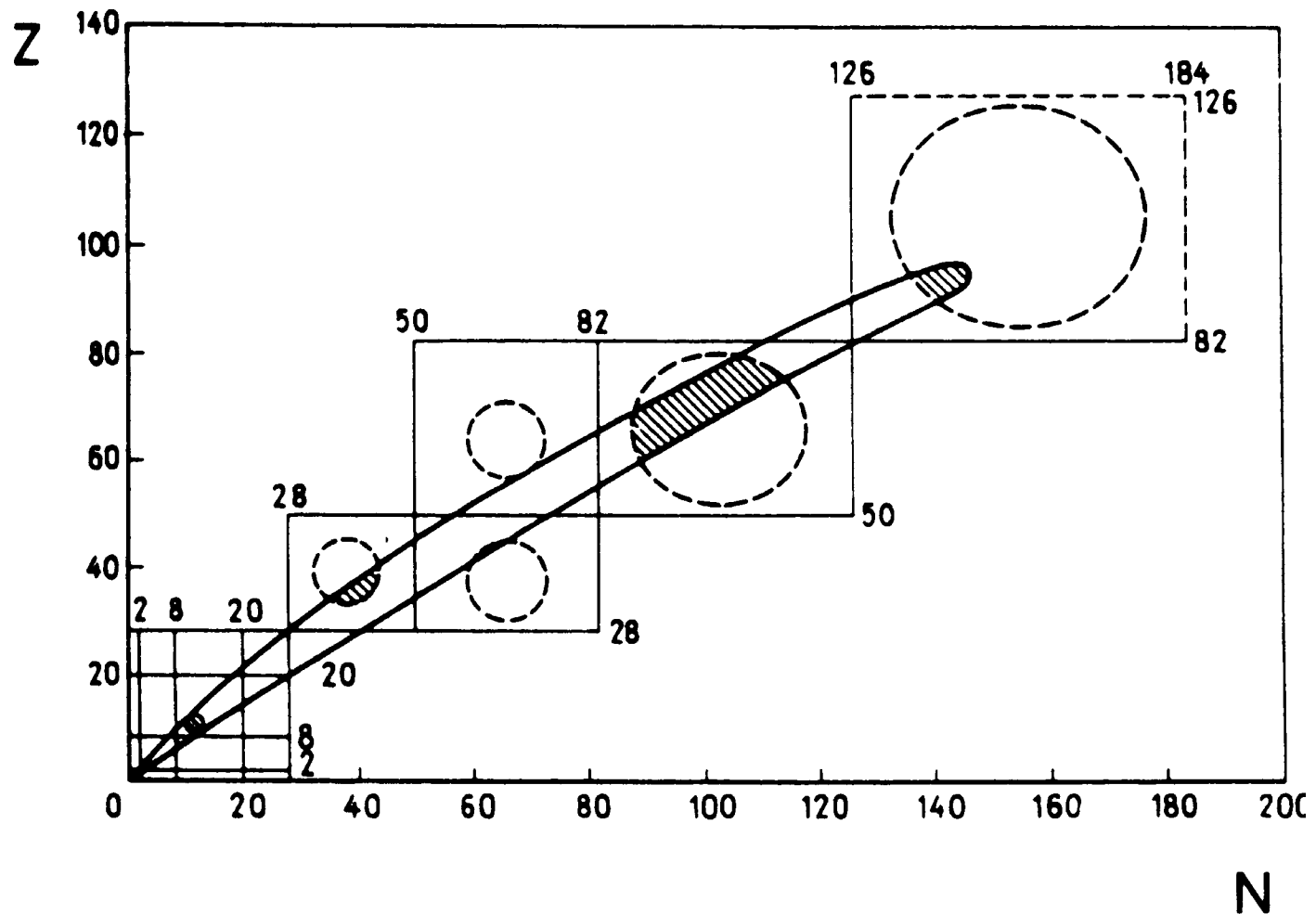
n=5 dla protonów i n=6 dla neutronów

ziemie rzadkie, Ta, W

n=6 dla protonów i n=7 dla neutronów

Th, U, transuranowce

Jądra zdeformowane



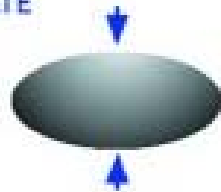
Kształty jąder atomowych

$\lambda = 0$
Sphere



$\lambda = 2$
Quadrupoles

OBLATE



PROLATE



$\lambda = 3$
Octupoles



$\lambda = 4$
Hexadecapoles



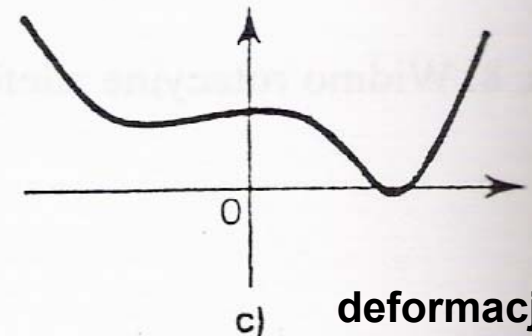
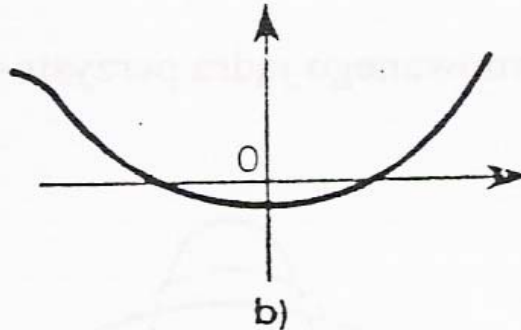
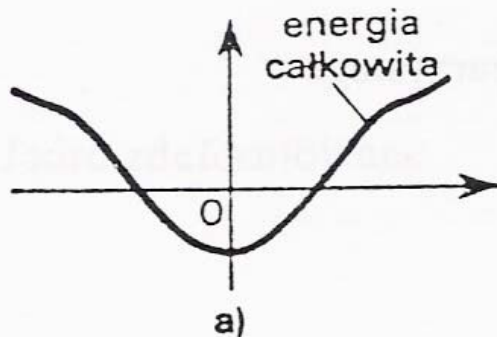
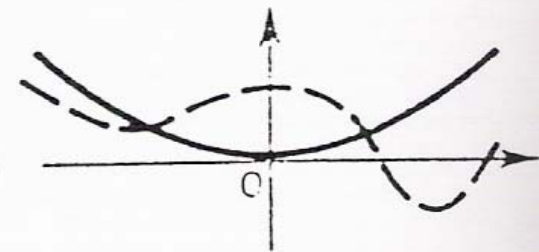
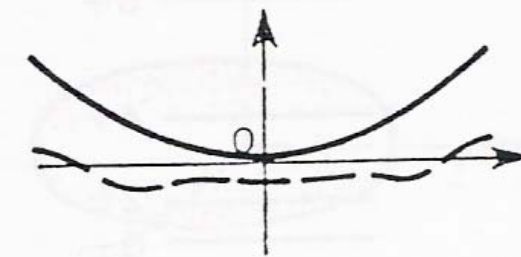
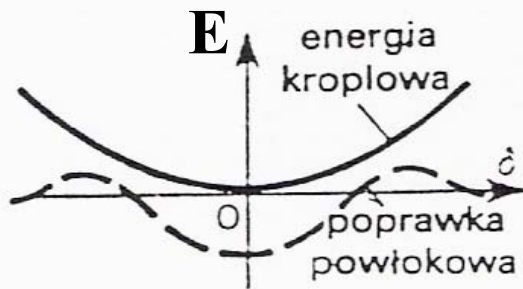
Zależność energii jądra od deformacji kwadrupolowej

$$E_{\text{całkowita}} = E_{\text{kropki}} + E_{\text{powłokowa}} + E_{\text{rot}}$$

jądro o zamkniętej powłoce

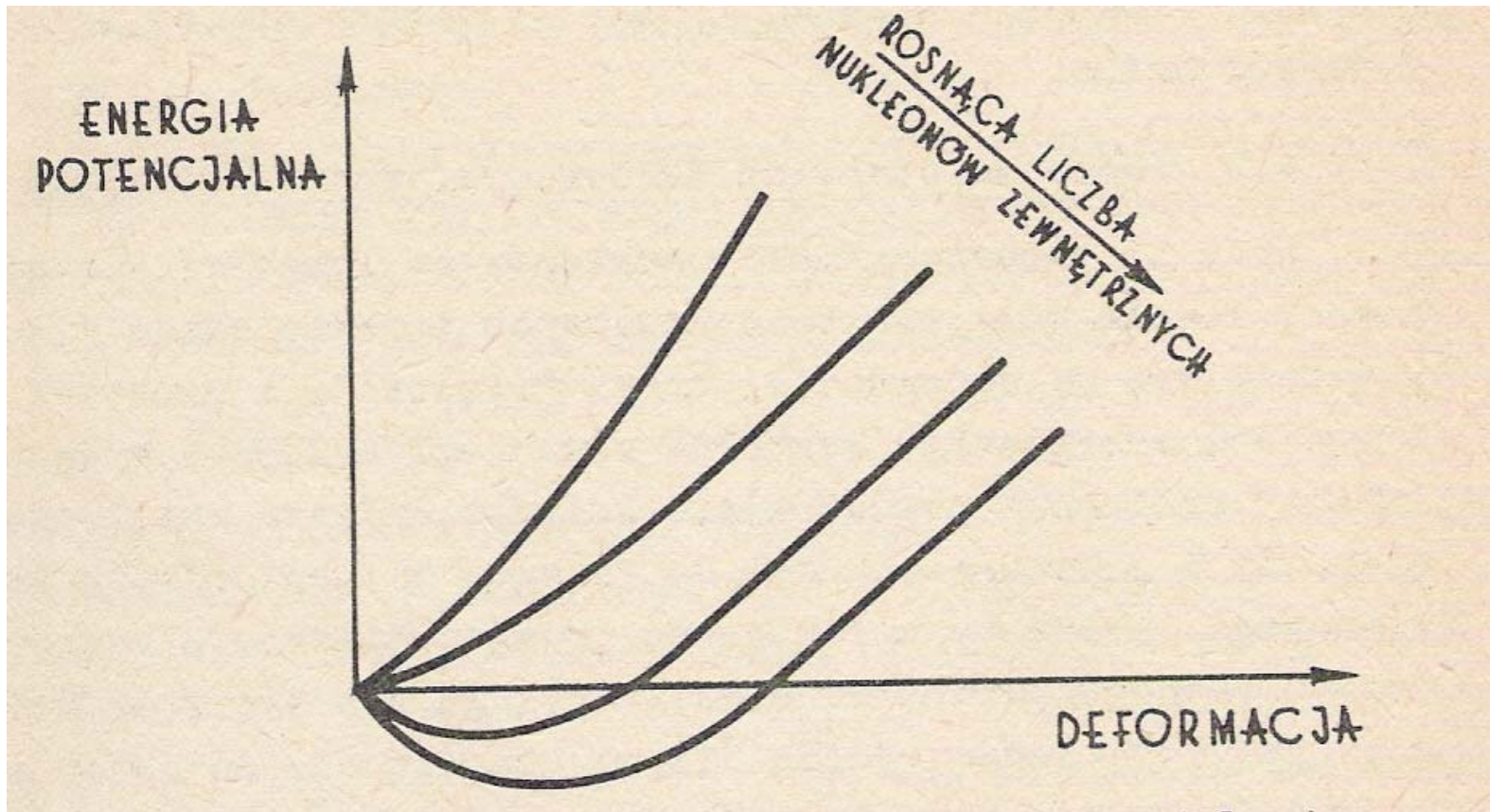
jądro o małej liczbie nukleonów poza zamkniętą powłoką

jądro o dużej liczbie nukleonów poza zamkniętą powłoką



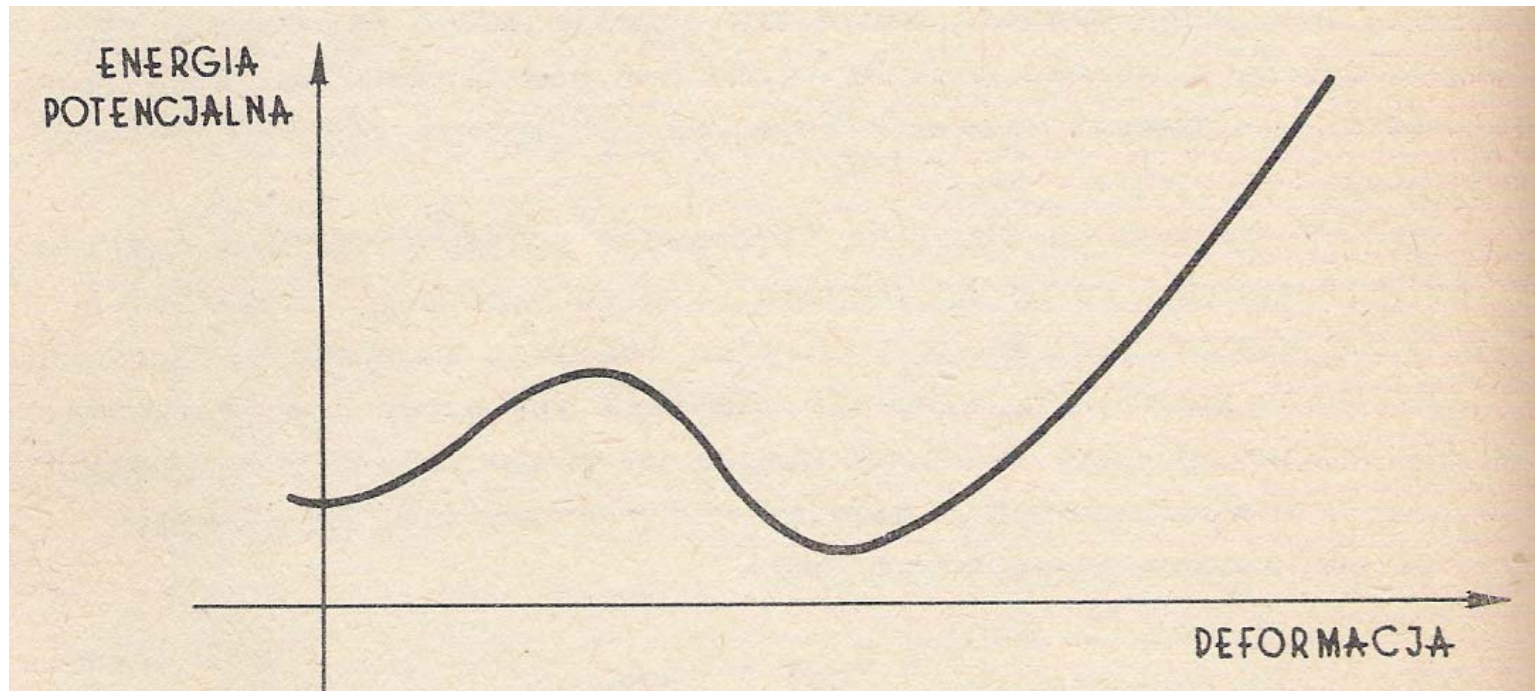
deformacja

Zależność energii jądra od deformacji kwadрупolowej

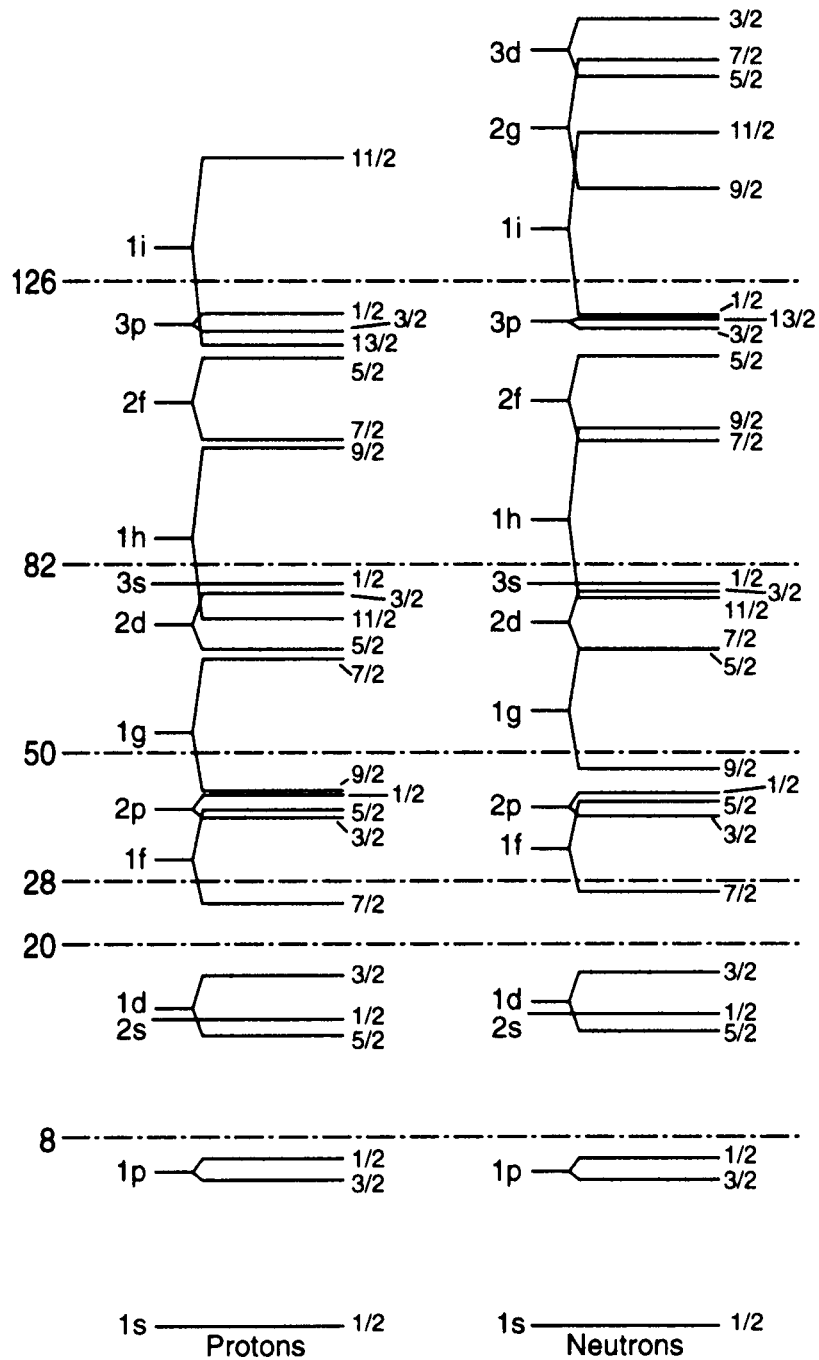


Jeden kształt równowagi

Zależność energii jądra od deformacji kwadrupolowej



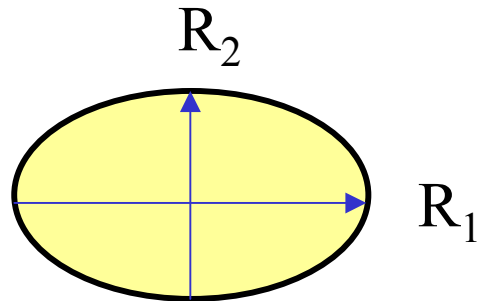
Dwa kształty równowagi



Schemat poziomów w modelu powłokowym

Jądra zdeformowane

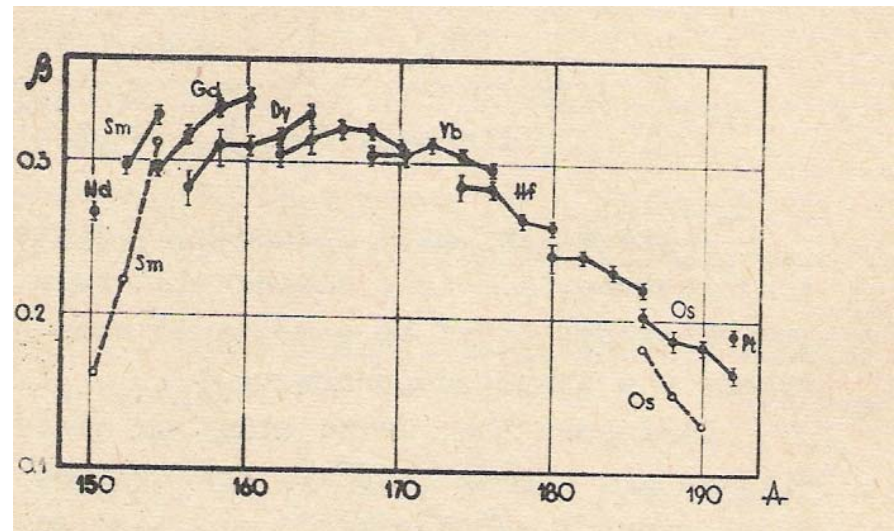
Opis kształtu jądra



$$R = R_0 (1 + \sum \alpha_{\lambda\mu} Y_{\lambda\mu} (\theta, \varphi))$$

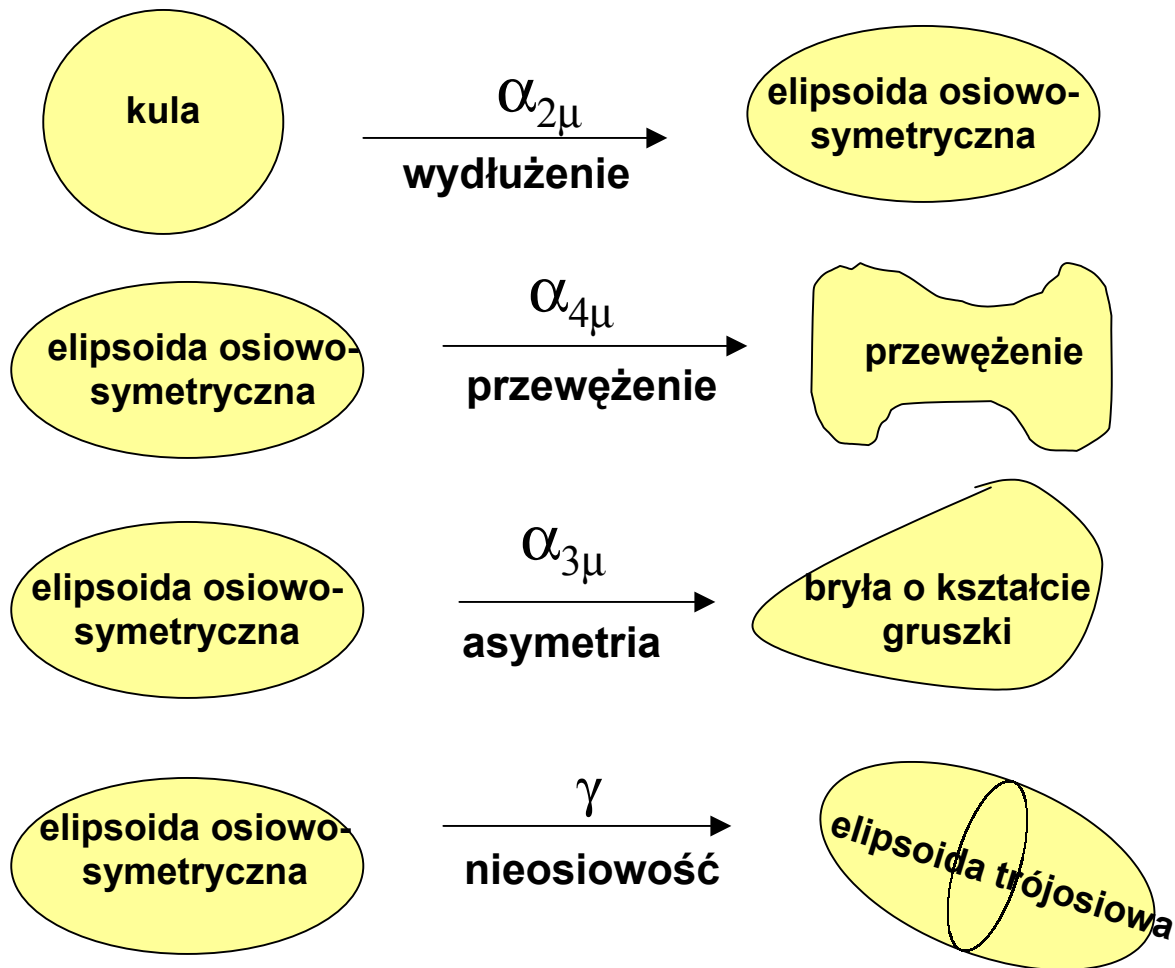
Dla jąder osiowo symetrycznych
o deformacji kwadрупolowej

$$R = R_0 (1 + \beta_2 Y_2 (\theta, \varphi))$$



$$\beta_2 = (4/3) \sqrt{\pi/5} (R_1 - R_2)/R_0$$

$$R = R_0 (1 + \sum \alpha_{\lambda\mu} Y_{\lambda\mu} (\theta, \varphi))$$



brak symetrii odbiciowej

Model rotacyjny jądra

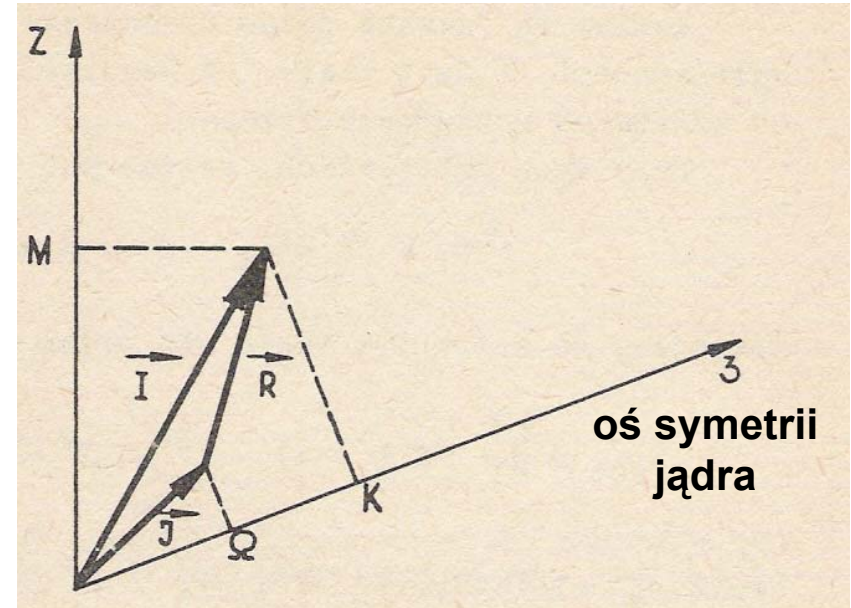
J - całkowity moment pędu ruchu wewnętrznego

R - całkowity moment pędu ruchu rotacyjnego
zdeformowanego jądra

I - wypadkowy moment pędu

$$\bar{J} + \bar{R} = \bar{I}$$

\mathfrak{J} - moment bezwładności jądra



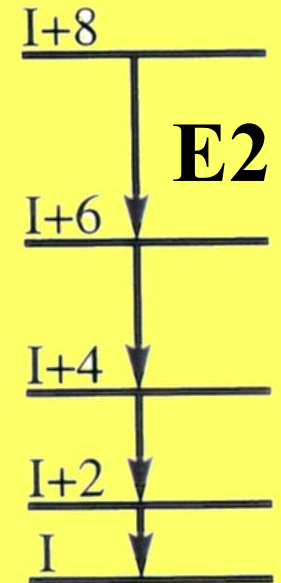
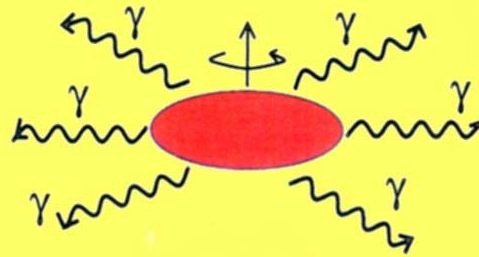
Energia rotacji

gdy $J = 0$

$$E_{rot} = \frac{\bar{R}^2}{2\mathfrak{J}} = \frac{I(I+1)\hbar^2}{2\mathfrak{J}}$$

Dla jąder zdeformowanych

Model rotacyjny jądra



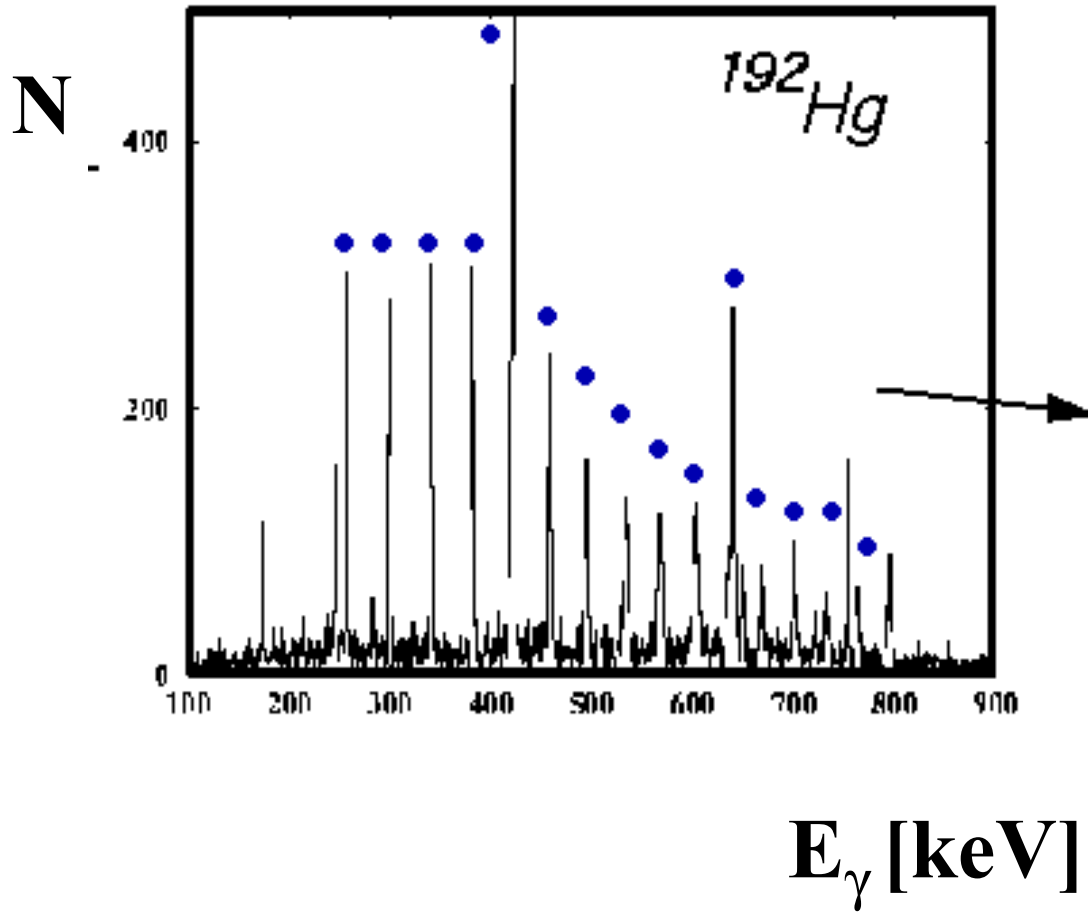
$$E_{rot}(I) = \frac{\hbar^2 I(I+1)}{2\mathfrak{I}}$$

$$E(I+2) - E(I) = E_{\gamma}(I) = \frac{\hbar^2 (4I+6)}{2\mathfrak{I}}$$

$$\Delta E_{\gamma} = E_{\gamma}(I+2) - E_{\gamma}(I) = \frac{4\hbar^2}{\mathfrak{I}}$$

**Energia
poziomów
rotacyjnych**

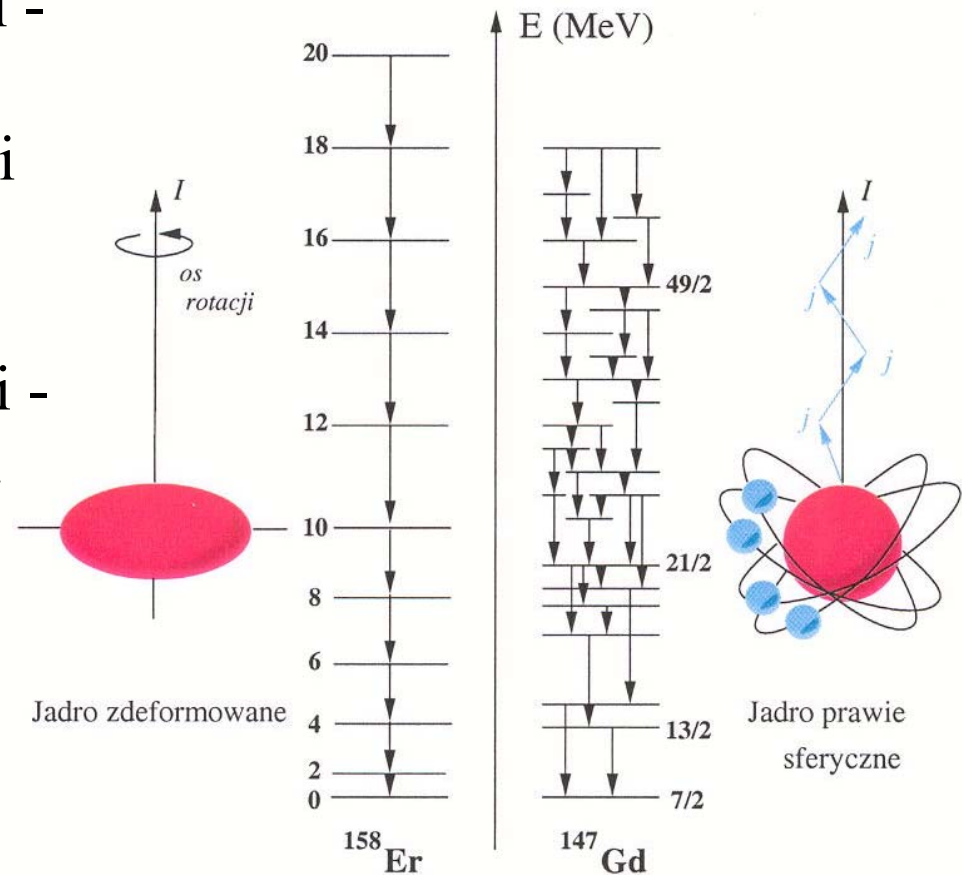
Widmo kwantów γ



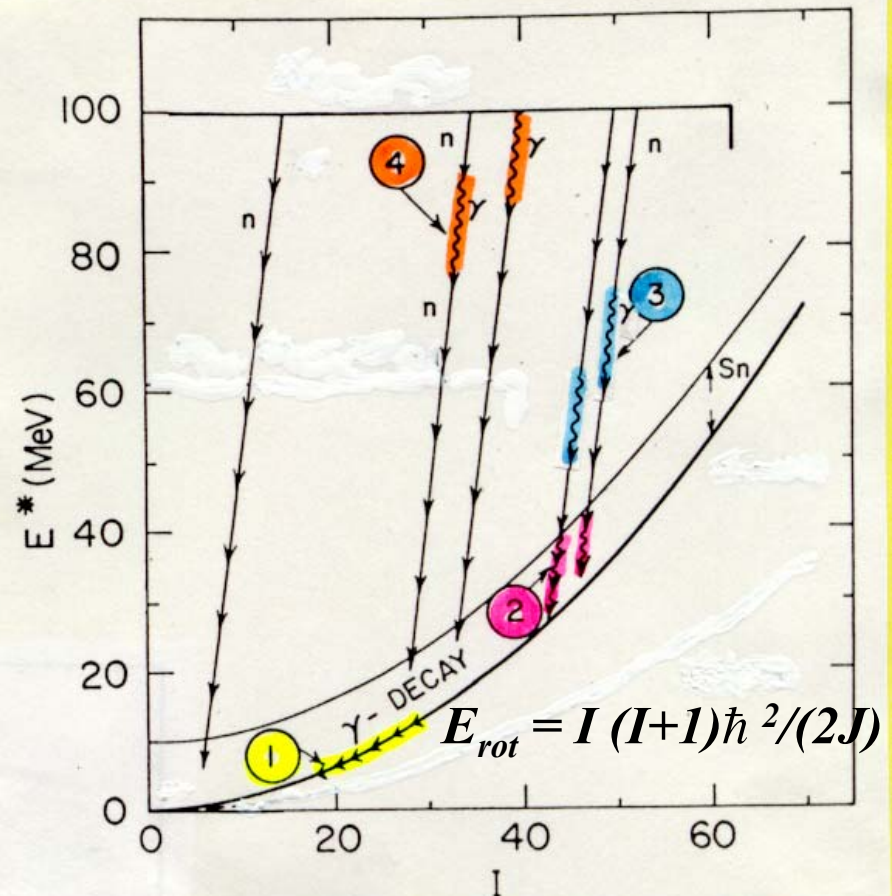
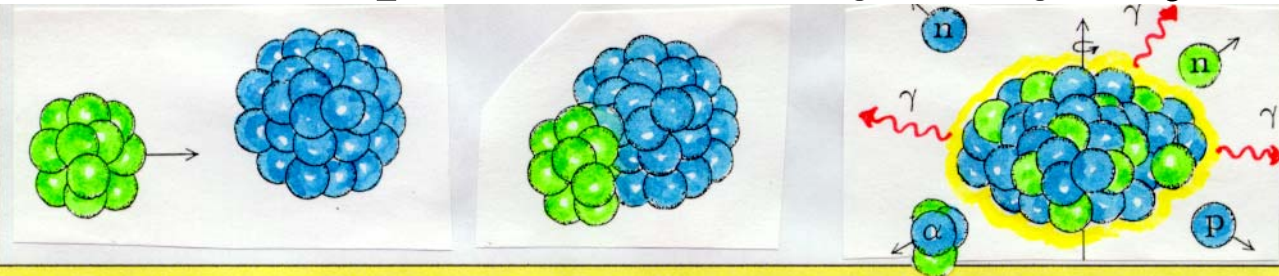
Jądra w stanach wzbudzonych o wysokich spinach

1. Dla jąder o dużej deformacji - kolektywna rotacja względem osi prostopadłej do osi symetrii

2. Dla jąder o małej deformacji - niekolektywna rotacja- zmiana konfiguracji walencyjnych nukleonów

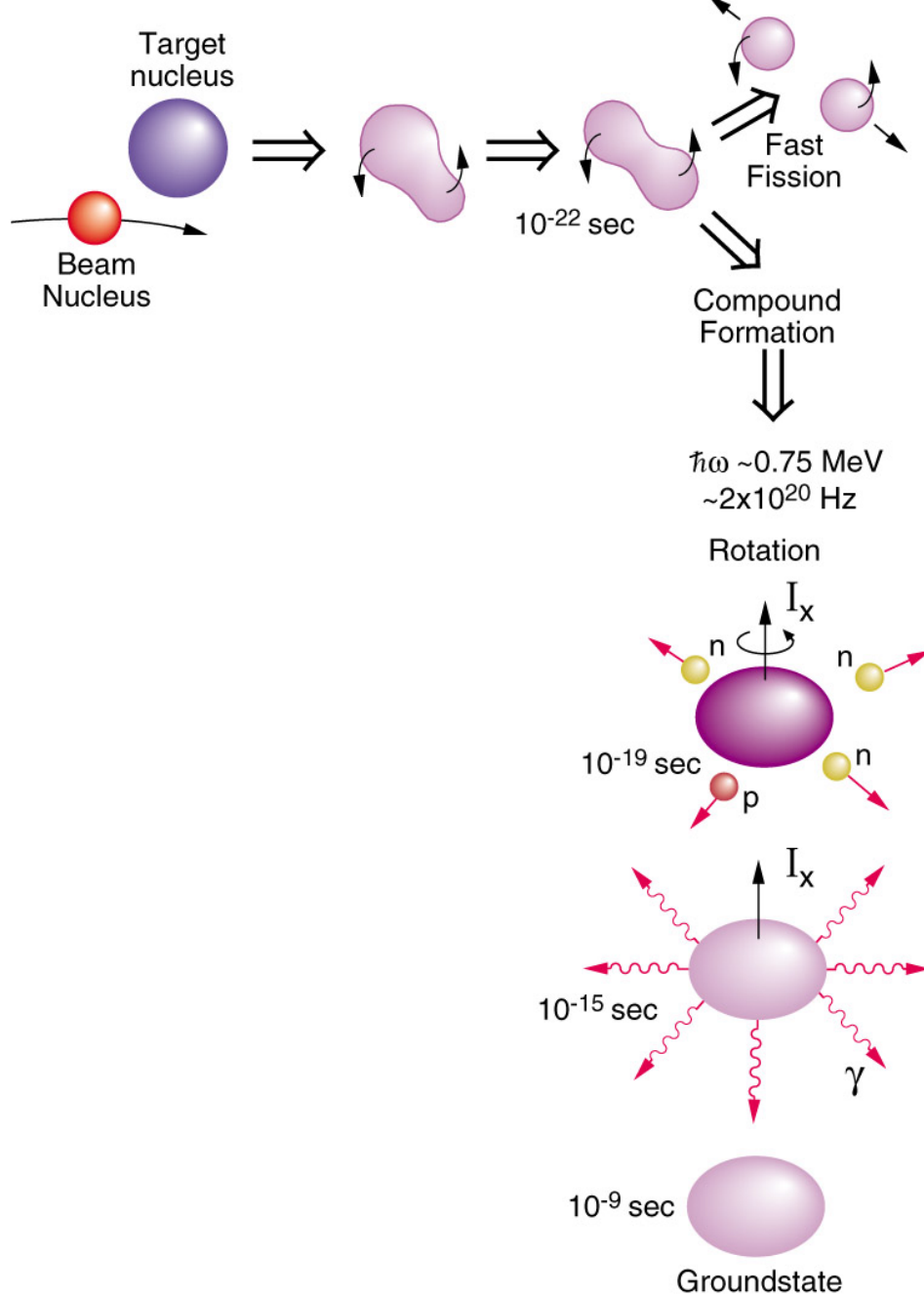


Wytwarzanie jąder w stanach wzbudzonych o wysokich spinach - Reakcja fuzji ciężkich jonów



I - spin jądra C^*

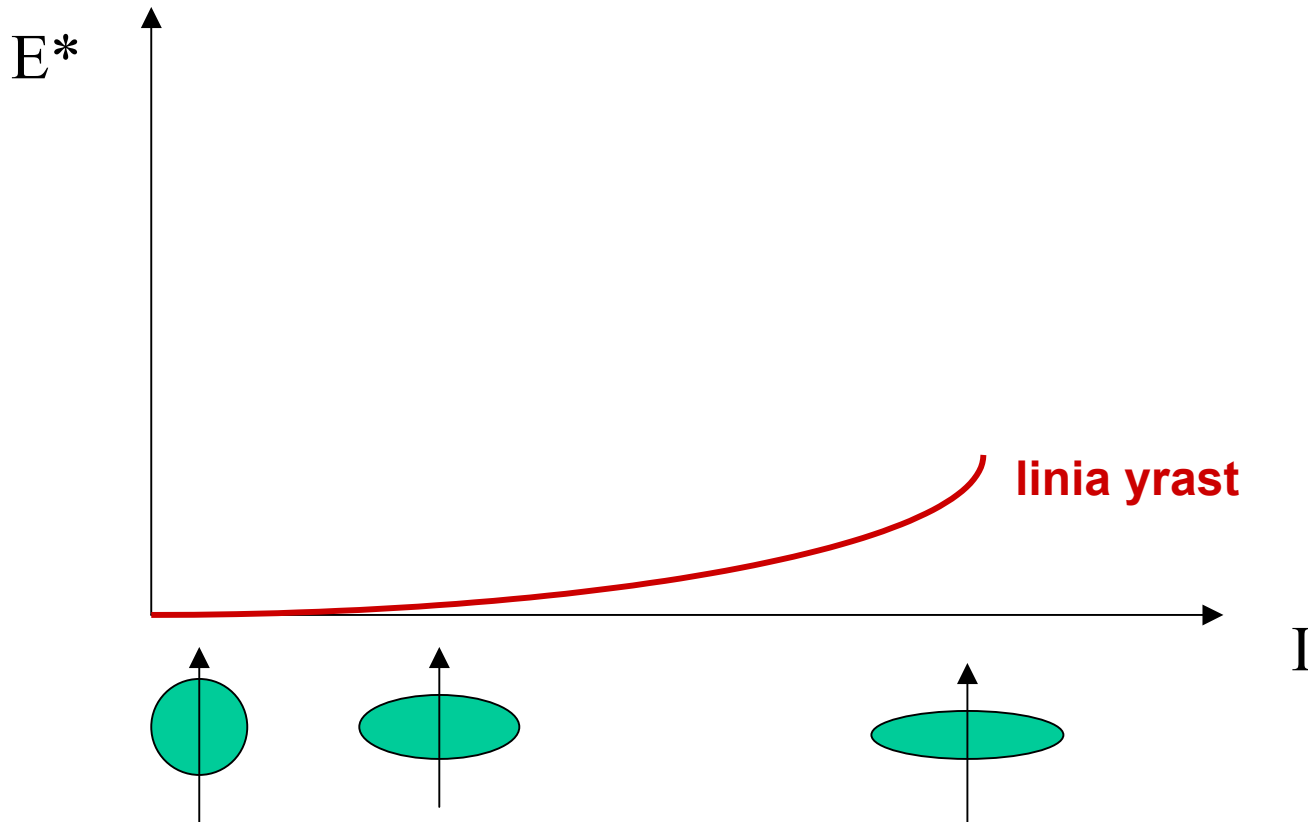
J - moment bezwładności C^*



Wytwarzanie jąder w stanach wzbudzonych o wysokich spinach – Reakcja fuzji ciężkich jonów

Powstawanie deformacji jądra c.d.

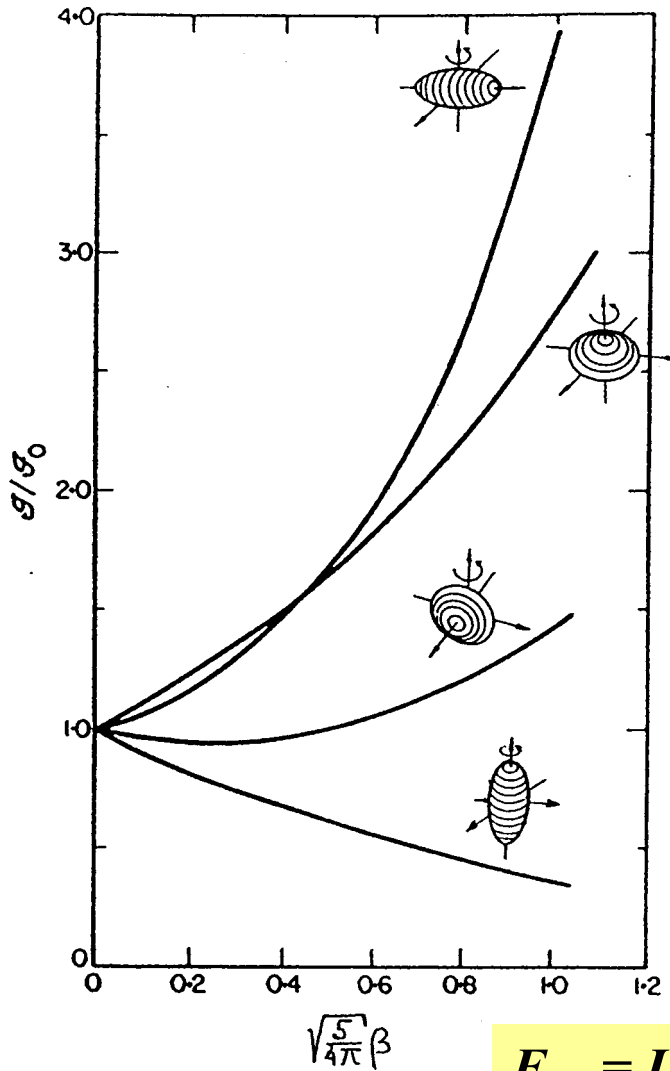
2. Zmiana kształtu jądra pod wpływem wzrostu momentu pędu



a) niestabilność Jacobiego

b) stany superzdeformowane

Niestabilność Jacobiego

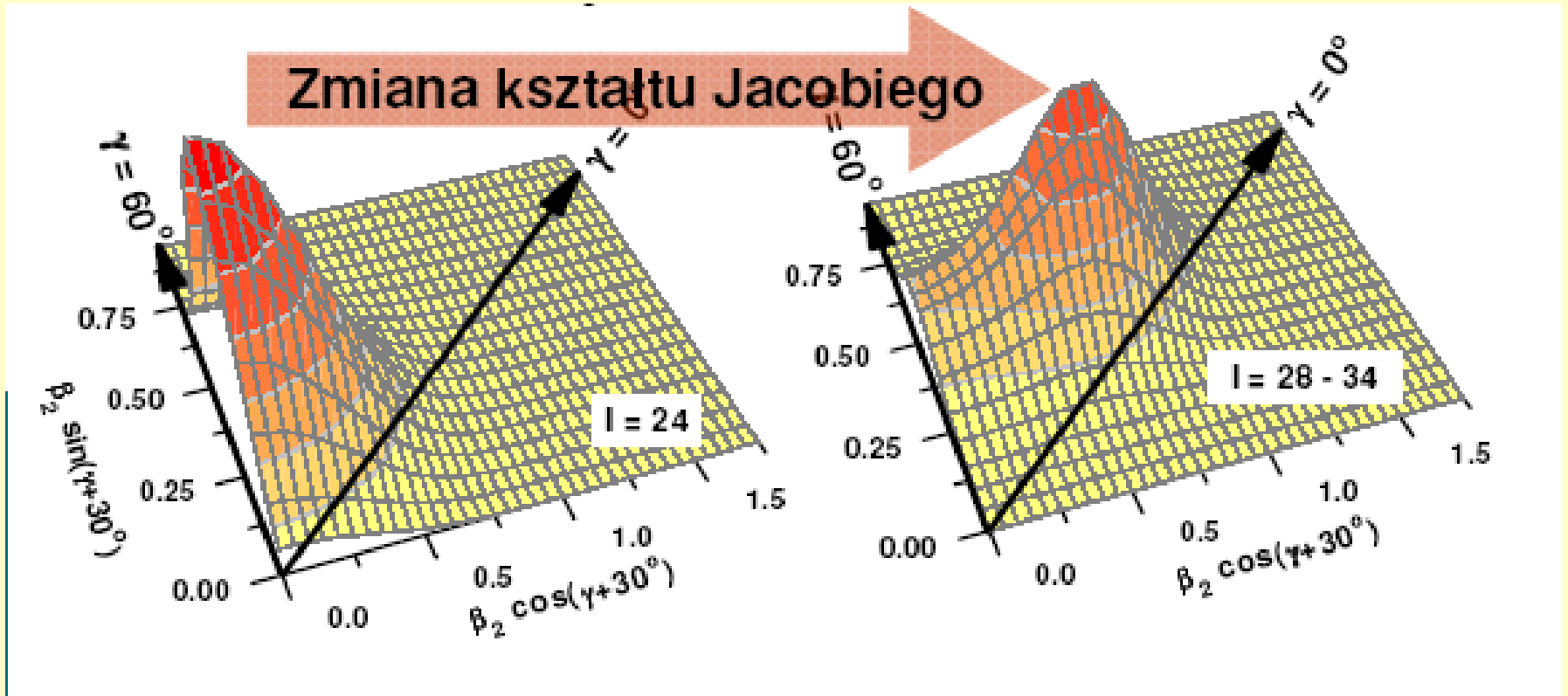


Obiekty astronomiczne (gwiazdy, planety)	Jądro atomowe
masa Słońca $\sim 1.99 \cdot 10^{30}$ kg	masa $\sim 1.67A \cdot 10^{-27}$ kg
promień Słońca (średni) $\sim 6.96 \cdot 10^8$ m	promień $R \sim 1.2A \cdot 10^{-15}$ m
długozasięgowe siły grawitacyjne	krótkozasięgowe siły jądrowe
Prawa mechaniki klasycznej	Prawa mechaniki kwantowej

$$E_{rot} = I(I+1)\hbar^2/(2J)$$

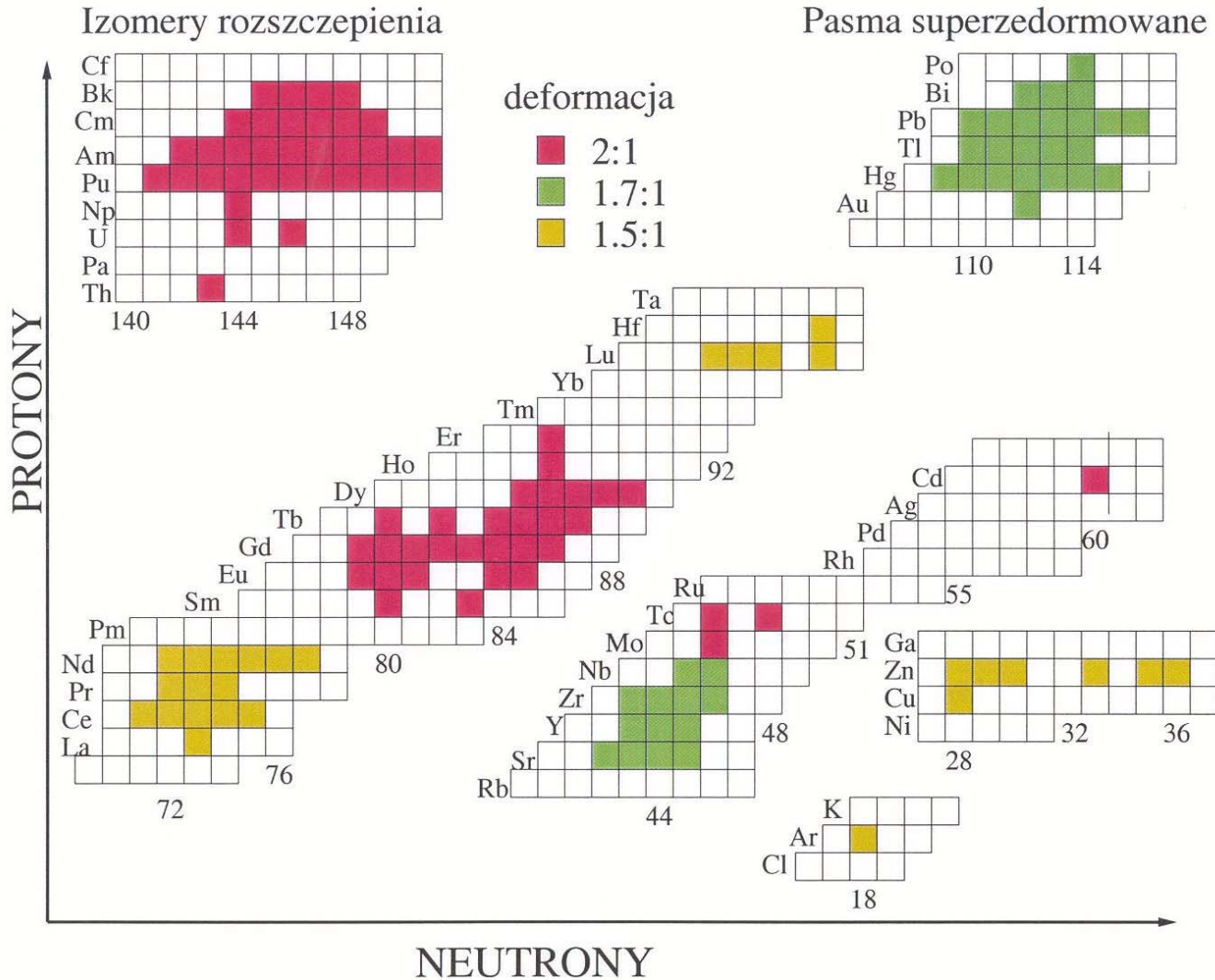
Powstawanie deformacji jądra c.d.

3. Zależność kształtu jądra od temperatury jądra (energii wzbudzenia jądra) – fluktuacje kształtu jądra



Jądra superzdeformowane

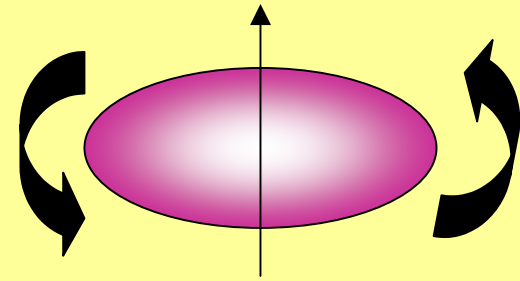
Po raz pierwszy zaobserwowane w ^{152}Dy w 1986 r.,
 $R_1:R_2 = 2:1$



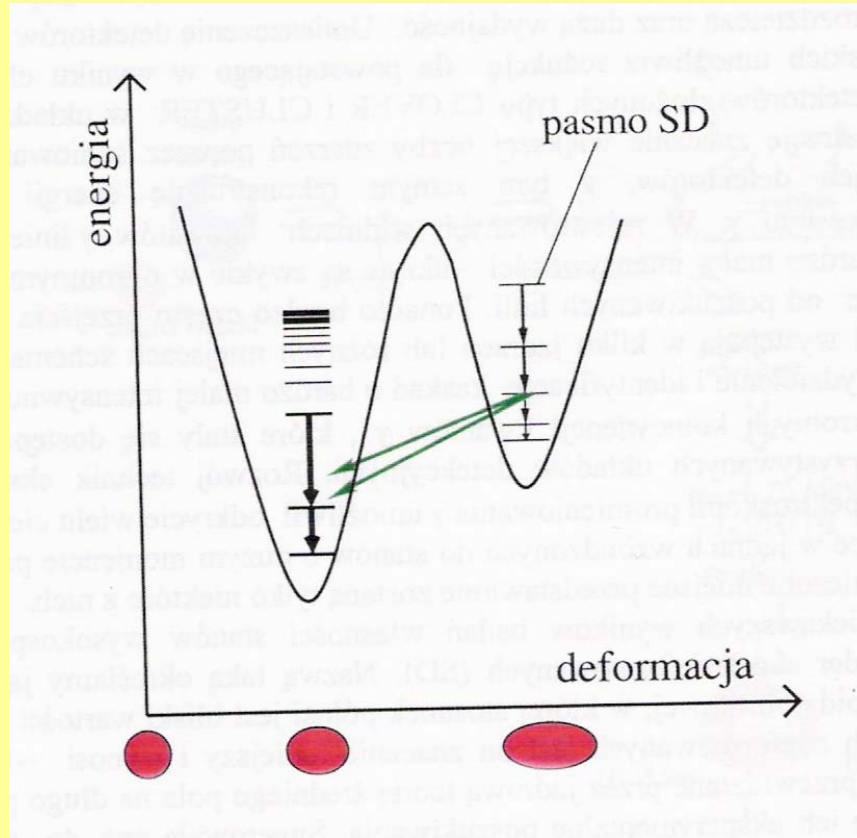
Jądra superzdeformowane

Duża rola efektów powłokowych

Super-deformacja



Bardzo silna deformacja (stosunek osi 2:1) i wiele stanów rotacyjnych



Jądra superzdeformowane

1. Obserwuje się szereg przejść elektromagnetycznych łączących stany rotacyjne - wiele równoodległych linii w widmie kwantów γ

2 Przejścia te mają charakter kwadrupolowy E2.

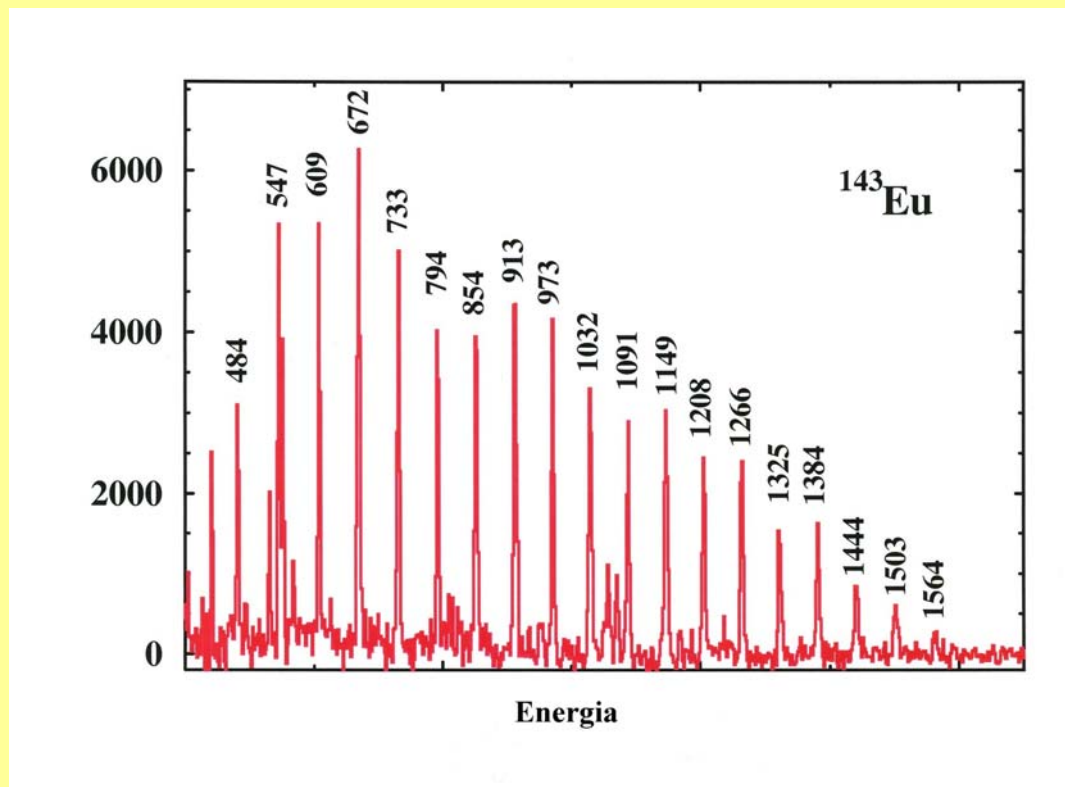
3. Z różnicy energii ΔE_γ między kolejnymi liniami można wyznaczyć moment bezwładności jądra, a stąd $R_1:R_2$ i deformację jądra ($\beta_2 = 0.5-0.6$)

$$\mathfrak{J} = \frac{4\hbar}{\Delta E_\gamma}$$

4. Momenty kwadrupolowe wyznaczone z czasów życia tych jąder są znacznie większe niż dla jąder zdeformowanych.

5. W większości przypadków nieznane są przejścia łączące stany SD ze stanami o mniejszej deformacji

Pomiar energii emitowanych fotonów



Pomiar czasów życia

Stany superzdeformowane (SD)

Niewyjaśnione obserwacje i niepotwierdzone przewidywania:

1. Występowanie identycznych pasm rotacyjnych w różnych jądrach

teoria: $\mathcal{I} \sim MR^2 \sim A^{5/3}$

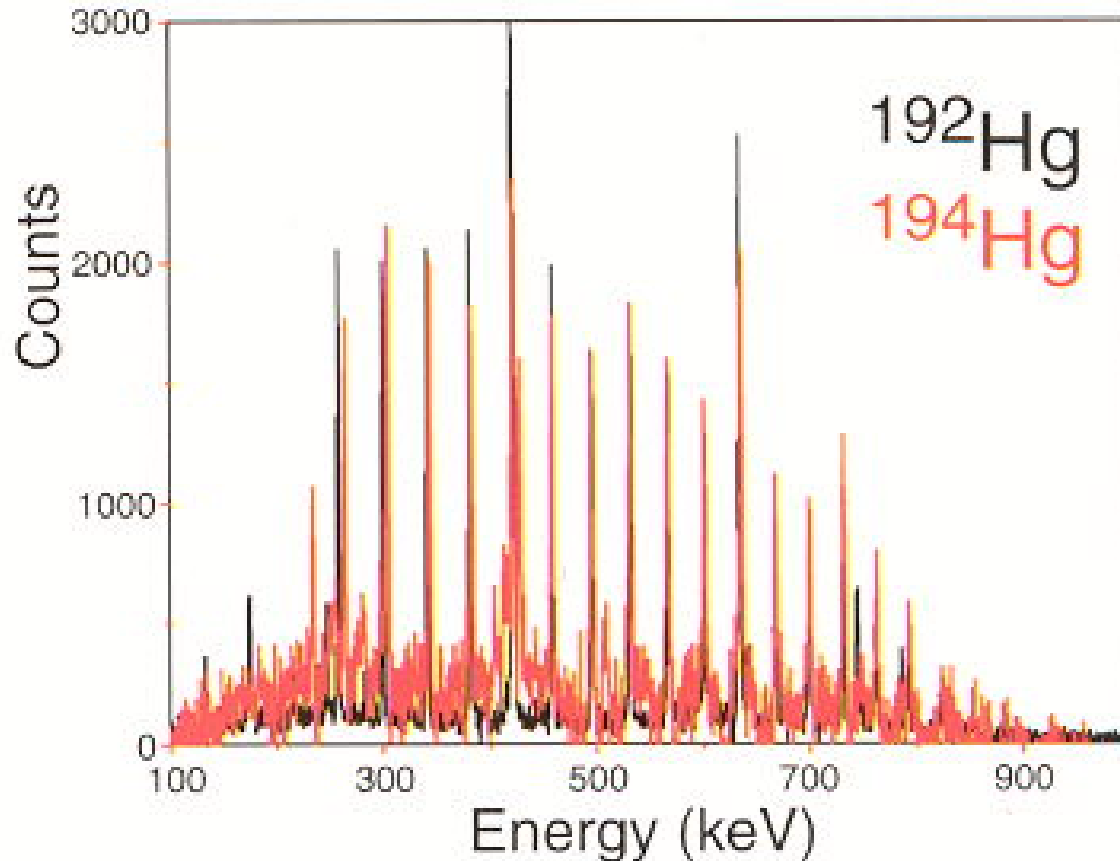
dla $A = 150$ zmiana $A \rightarrow A+1$ powoduje zmianę \mathcal{I} o 1%,

a więc dla $E_{\text{rot}} = 1 \text{ MeV}$ zmianę E_{rot} o 10 keV

exp: zmiana $A \rightarrow A+1(4)$ powoduje zmianę E_{rot} o 1-3 keV

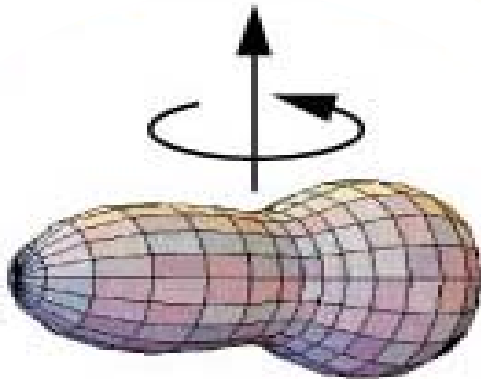
2. Trudności obserwacji rozpadu stanów SD do stanów ND

Występowanie identycznych pasm rotacyjnych w różnych jądrach



Stany hiperzdeformowane (HD)

Teoria przewiduje, że dla niektórych jąder może wystąpić trzecie minimum w energii potencjalnej - odpowiadające deformacji ok. $\beta_2 = 1.1$ i $R_1:R_2 = 3:1$.

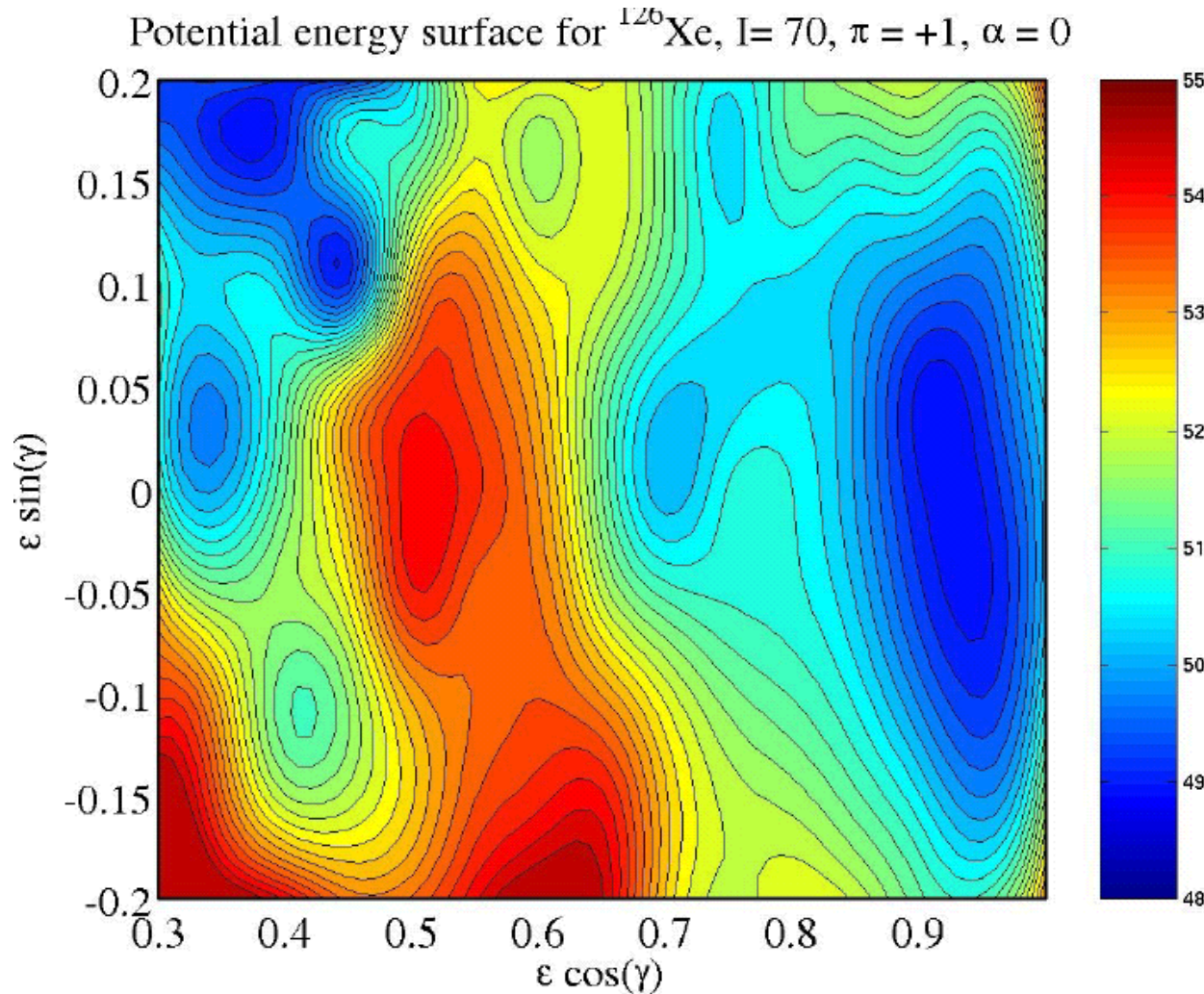


- jako wynik efektów powłokowych i oddziaływań kulombowskich

- krótki czas życia na spontaniczne rozszczepienie

Jak dotąd nie znaleziono dowodów na istnienie HD.

Jądra hiperzdeformowane



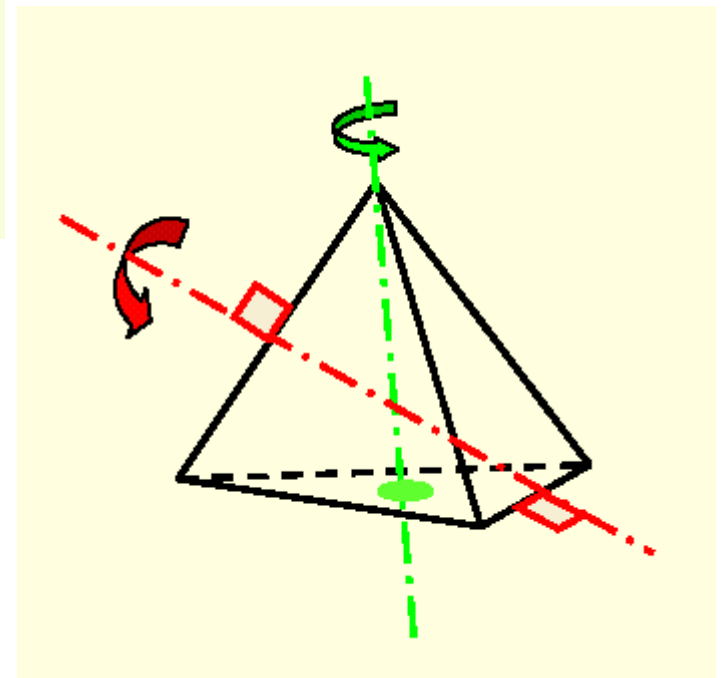
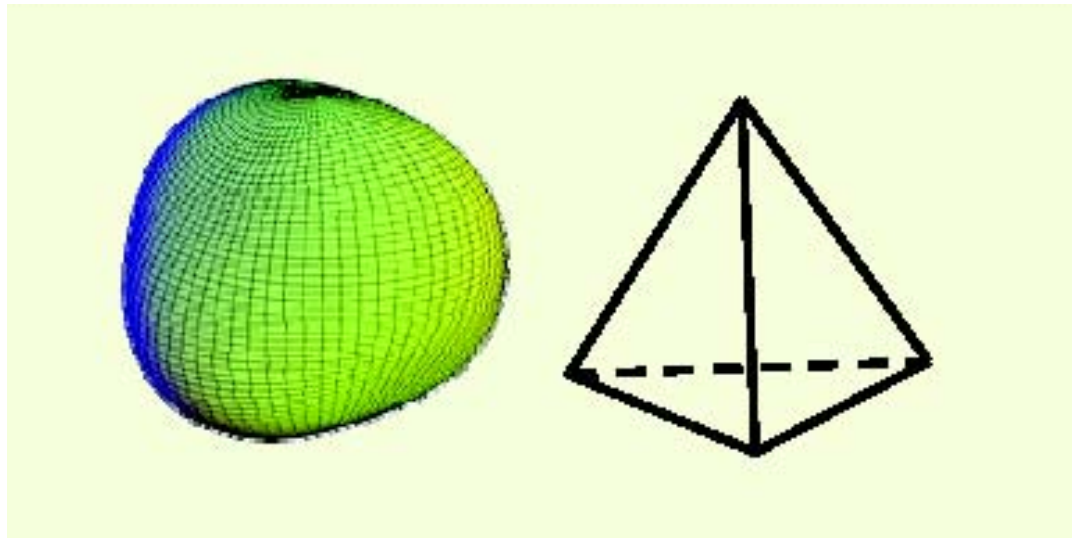
^{126}Xe

$I=70 \hbar$

Poszukiwanie hiperdeformacji w jądrach ^{126}Xe

- Reaction : $^{82}\text{Se} (^{48}\text{Ca}, xn) ^{130-x}\text{Xe}$
- Xe-1 with the Vivitron and Euroball-VI in June 2001, $E_b = 195$ MeV. Analysis completed.
- Xe-2 with ATLAS and Gammasphere in December 2003, $E_b = 206$ MeV. Analysis in progress.

Jądra tetraedryczne

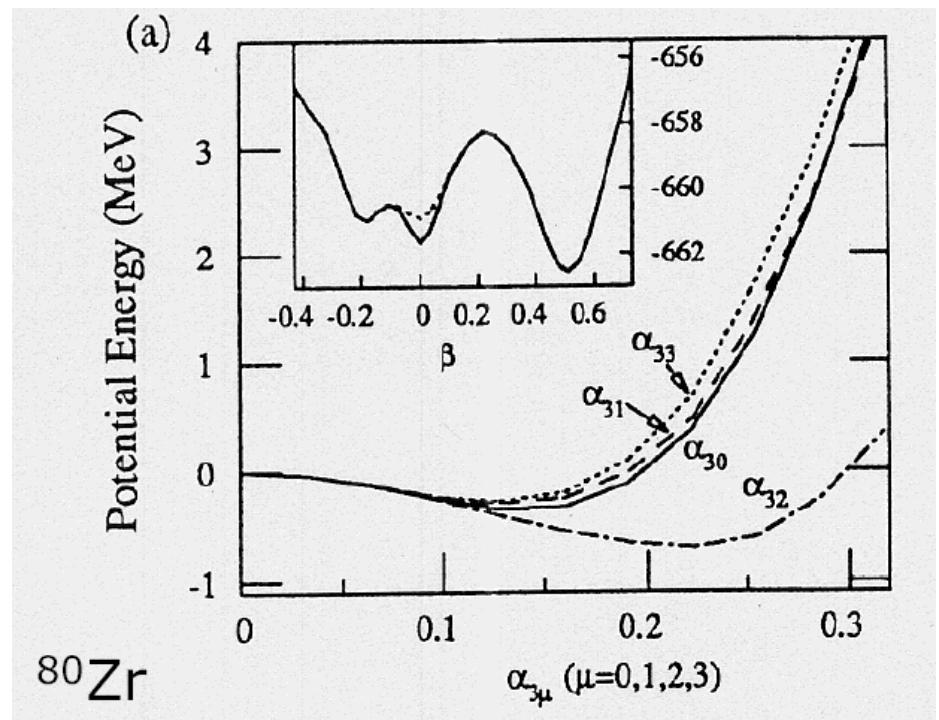


Jądra tetraedryczne

$$R = R_0 (1 + \sum \alpha_{\lambda\mu} Y_{\lambda\mu} (\theta, \varphi))$$

1. Symetrię tetraedryczną definiuje się przez $\alpha_{32} \neq 0$

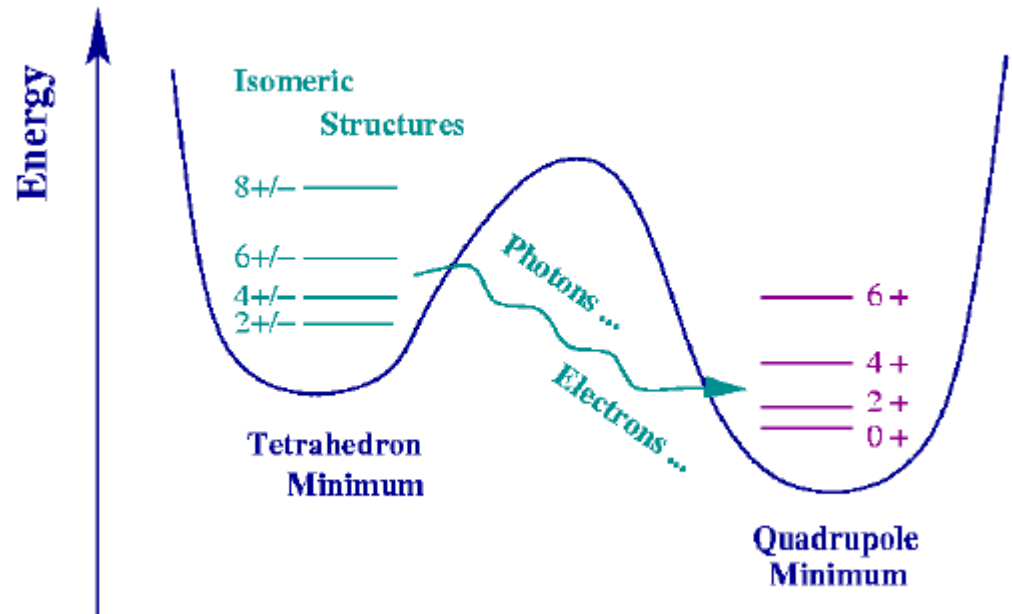
pozostałe $\alpha_{\lambda\mu} = 0$



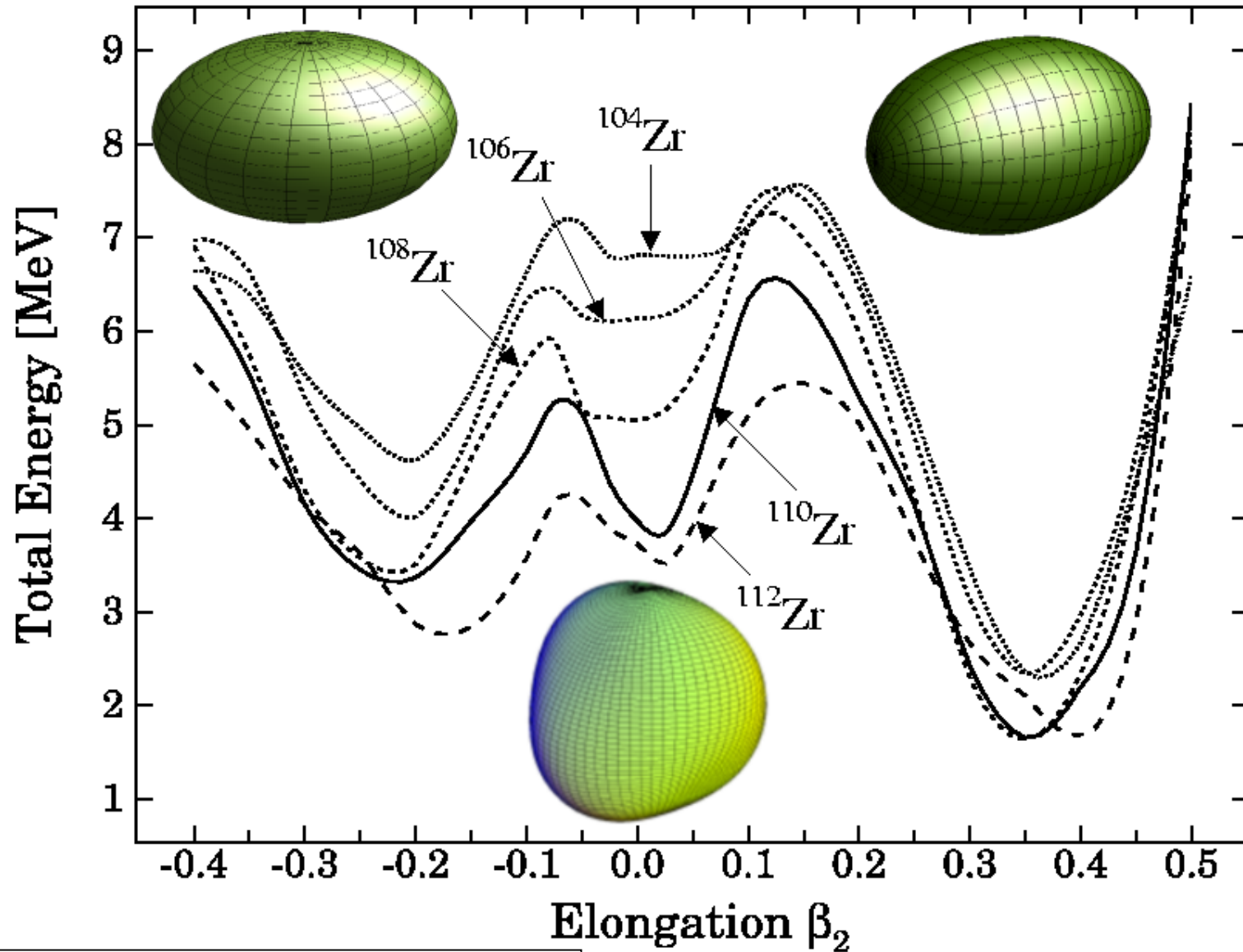
Jądra tetraedryczne

Istnienie jako wynik bardzo silnych efektów powłokowych

1. Kształt tetraedryczny oczekiwany dla izomerów kształtu
2. Małe deformacje $\alpha_{32} = 0.1-0.3$
3. Spin 0^+
4. Stany wzbudzone
5. Konkurencja - stany o normalnych deformacjach



Przewidywania teoretyczne



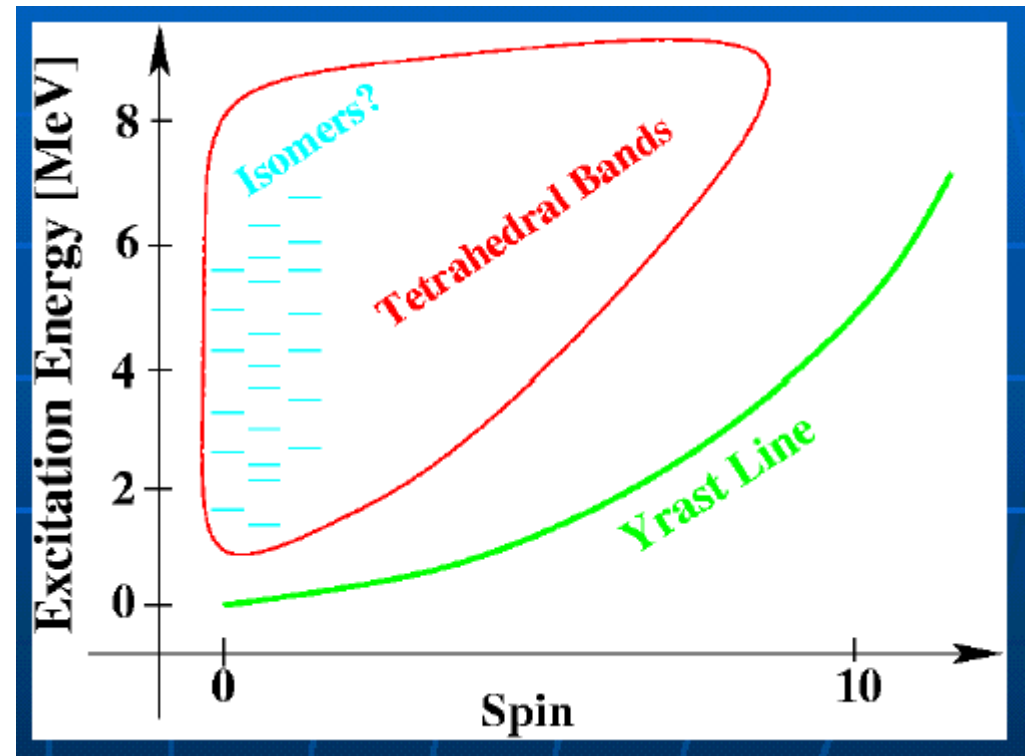
Przewidywane warunki obserwacji w eksperymencie

1. Stany o niskim spinie

2. Energia wzbudzenia
 $E_x \approx 0.5$ - kilka MeV

3. Jądra o liczbach magicznych tetraedrycznych

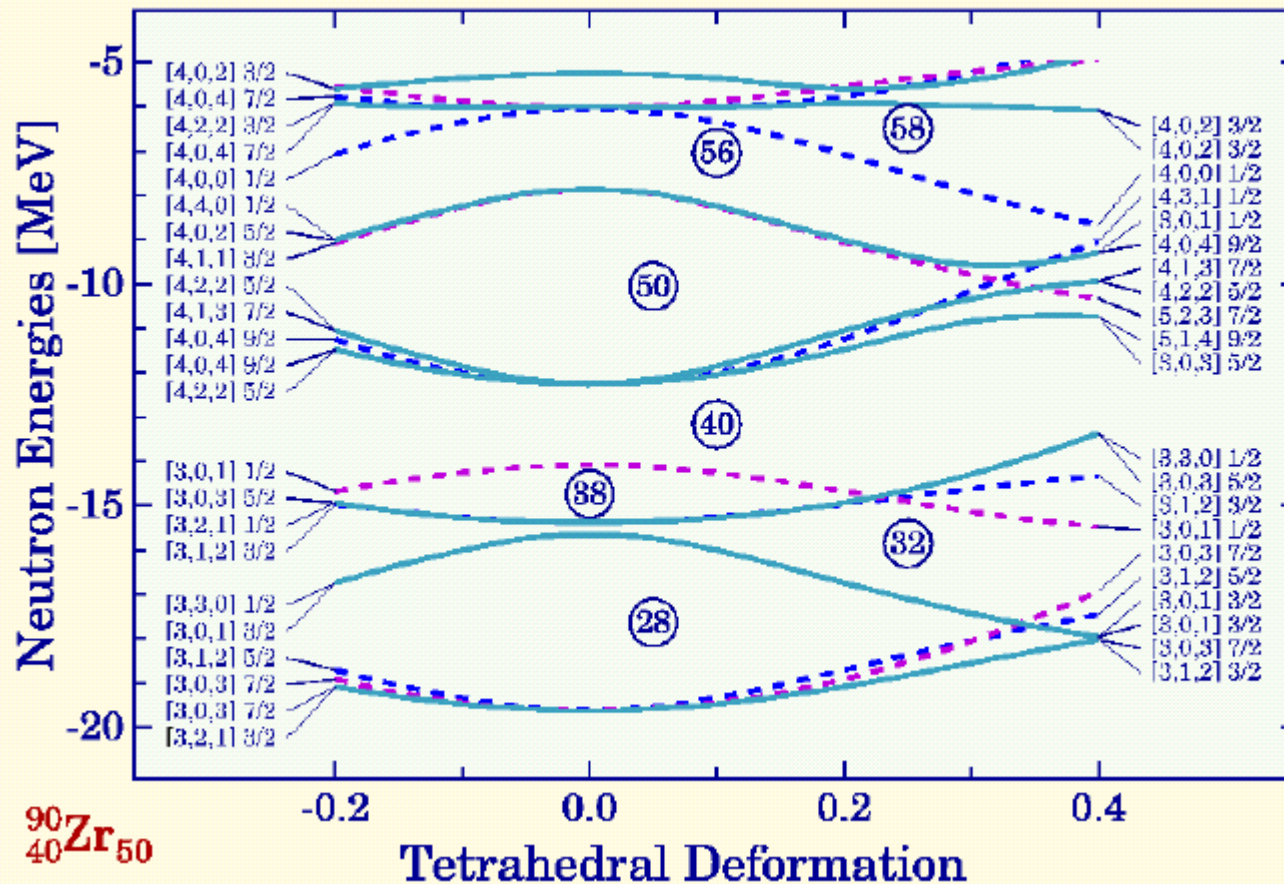
4. Przejścia γ typu E3 (E1 i E2 niemożliwe)



Tetraedryczne liczby magiczne

Z= 16, 20, 32, 40, 56-58, 70, 90-94, 100, 112, 126

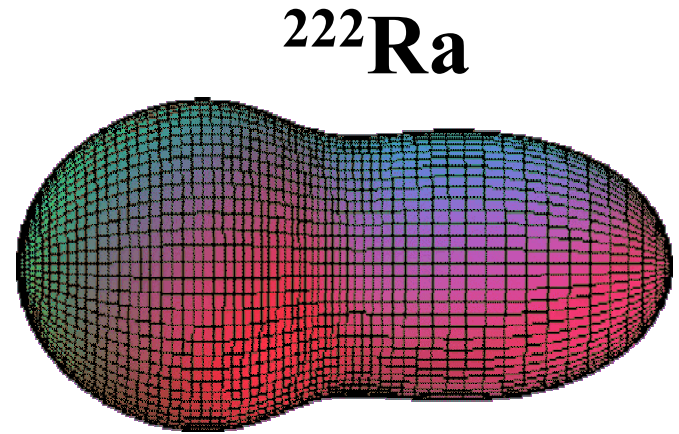
N= 16, 20, 32, 40, 56-58, 70, 90-94, 100, 112, 136



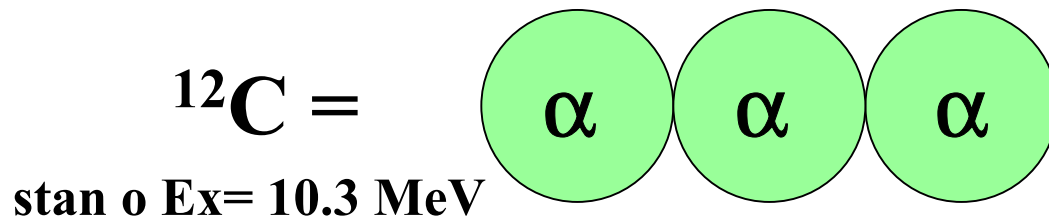
Inne przyczyny występowania dużych deformacji

1. Izomeria kształtu w rozszczepieniu

$$\beta_2 = 0.6$$

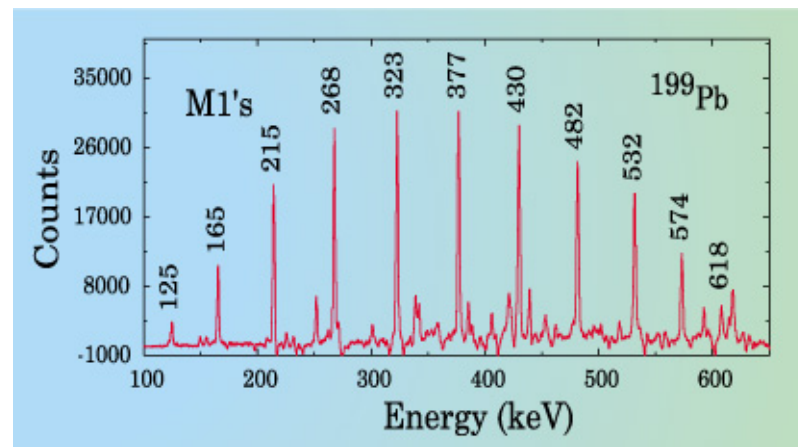
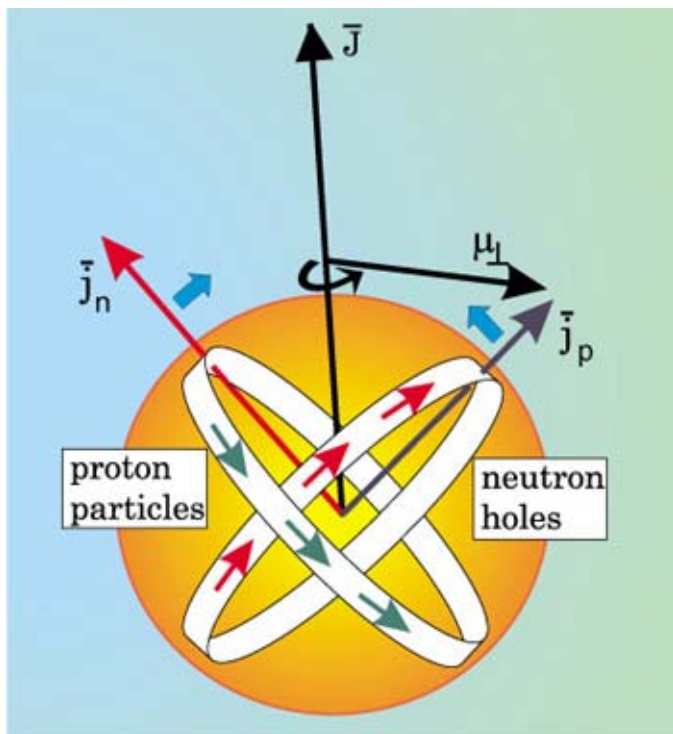


2. Egzotyczne kształty jąder lekkich

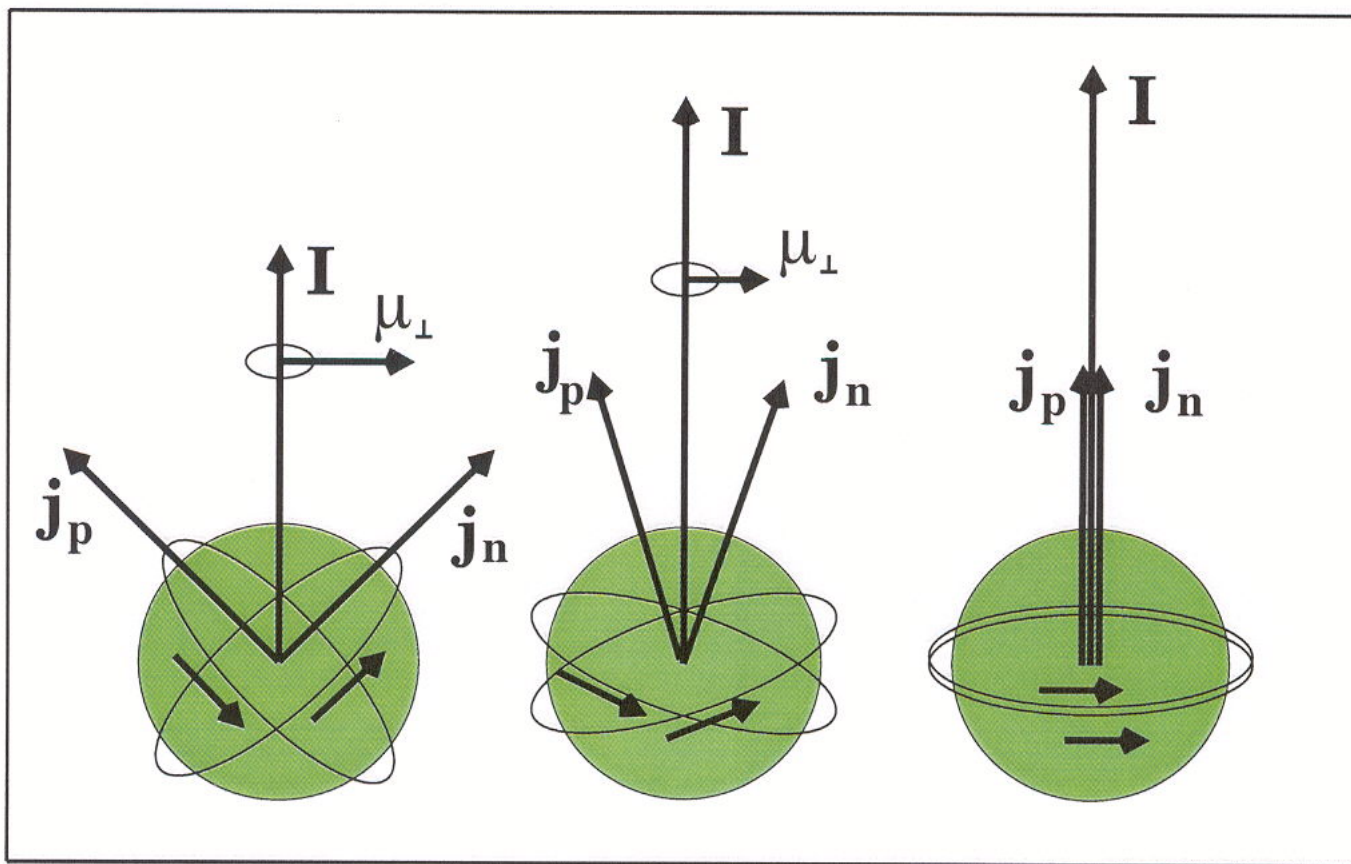


Pasma rotacyjne w jądrach prawie sferycznych

1. Wywołane przez sprzężenie momentów pędu walencyjnych protonów i dziur neutronowych
2. Rozpad stanów poprzez promieniowanie typu M1
3. Obserwacja dla jąder w obszarze $A \approx 190, 140, 110, 80$



Pasma rotacyjne w jądrach prawie sferycznych



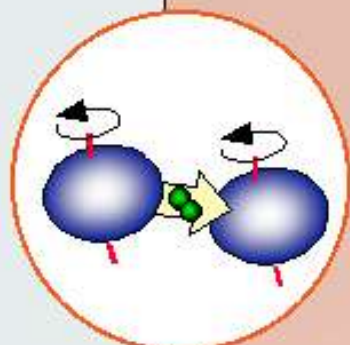
**Wielkie układy
detektorów
promieniowania
Gamma**

continuum
stanów
rotacyjnych,
chaos,
kompletna
spektroskopia

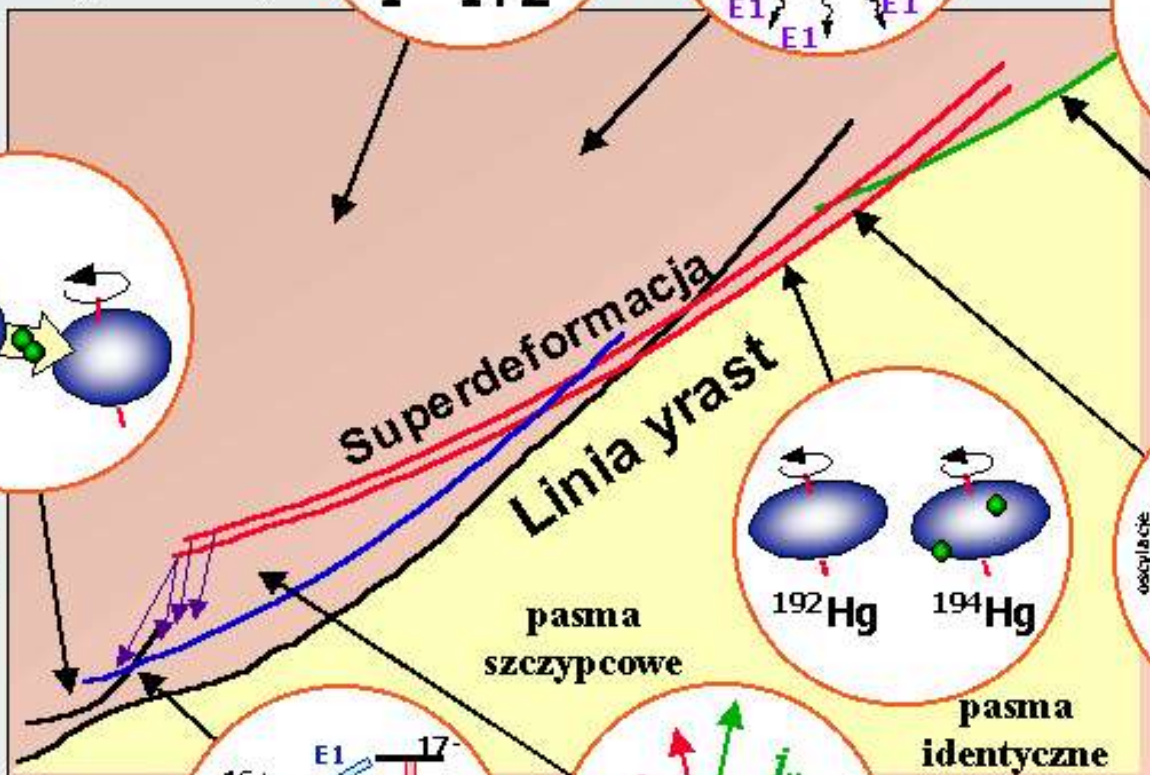
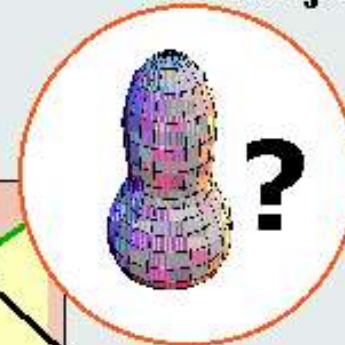
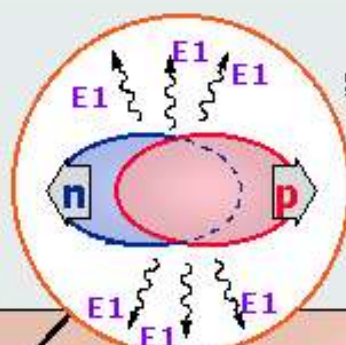
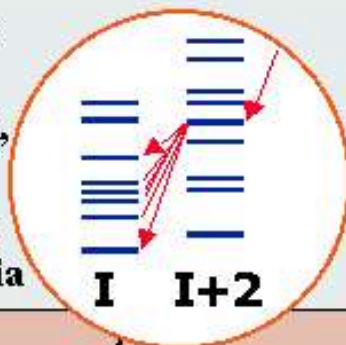
rezonanse
gigantyczne

hiper-
deformacja

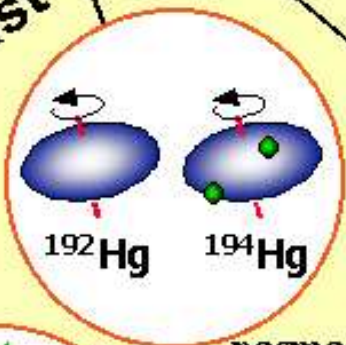
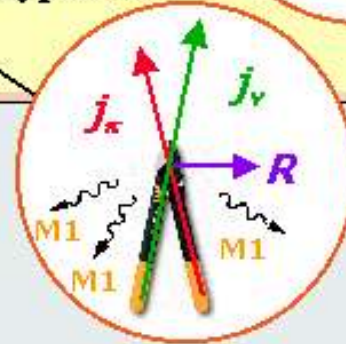
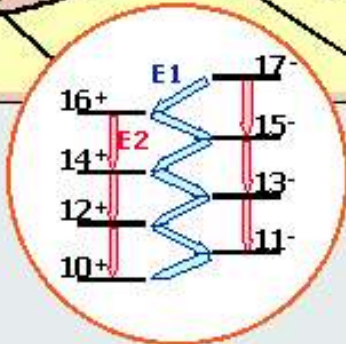
energia



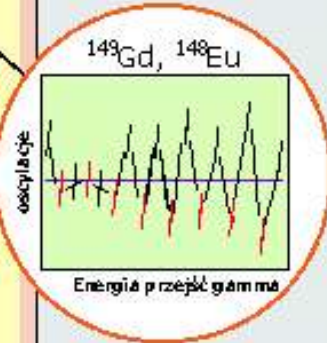
diaboliczny
przekaz par



drgania dipolowe
i oktupolowe



pasma
identyczne



oscylacje $\Delta I=2$

moment pędu