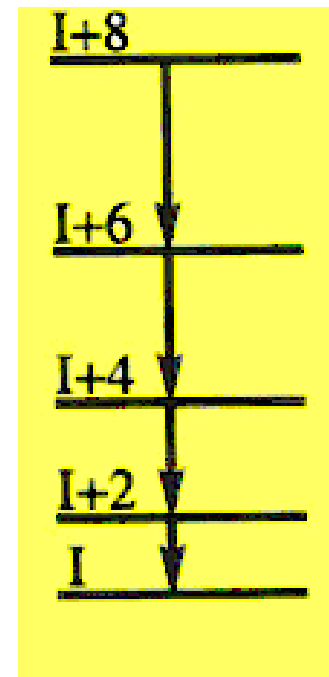
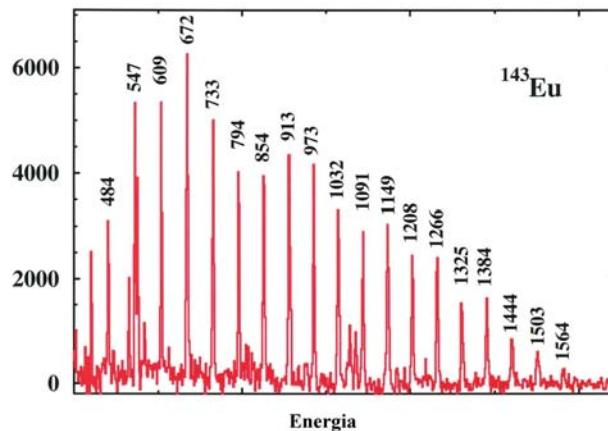
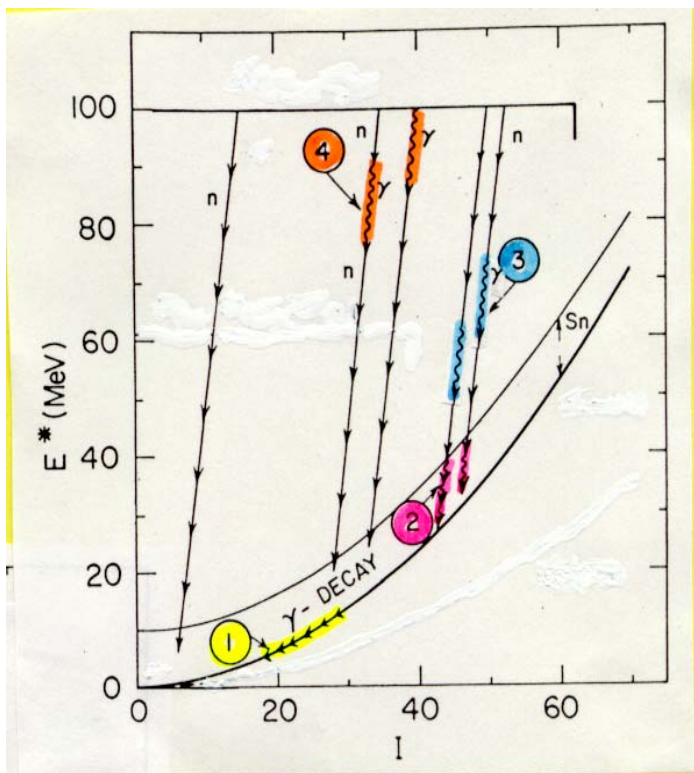


Metodyka eksperymentów w badaniach jąder o dużej deformacji

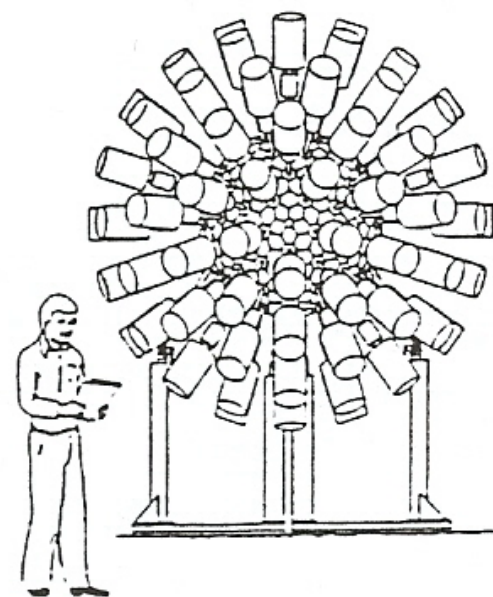
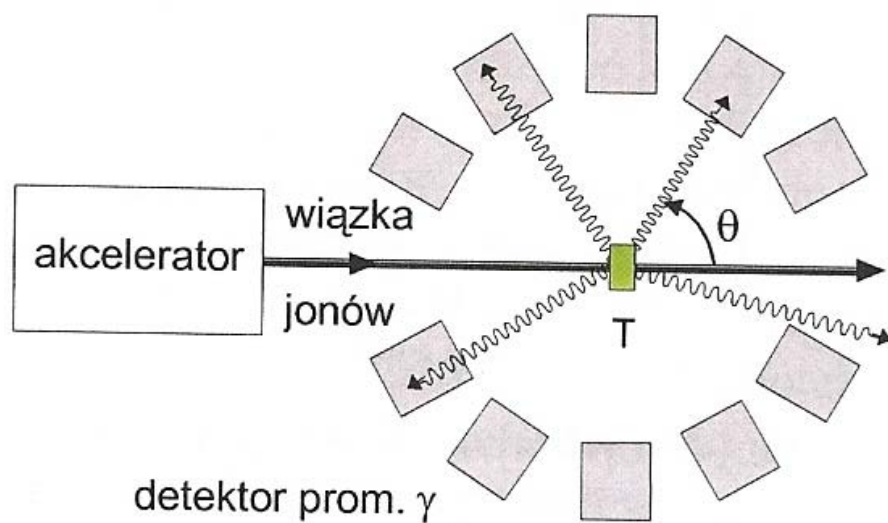
1. Pomiar i identyfikacja przejść elektromagnetycznych pomiędzy stanami pasm rotacyjnych
 - a) określenie energii przejścia, czasu życia poziomów
2. Charakterystyka układów pomiarowych
 - a) wielodetektorowe układy dużych liczników germanowych z osłonami antykomptonowskimi (stosunek P/T = 0,6)
 - b) dodatkowo detektory cząstek naładowanych i neutronów
 - c) duża wydajność i dobra zdolność rozdzielcza w pomiarach kwantów γ
 - d) pomiary wielkorotnych koincydencji kwantów γ

Pomiar i identyfikacja przejść elektromagnetycznych pomiędzy stanami pasm rotacyjnych



Rejestracja kwantów γ

Spektrometr γ na wiązce ciężkich jonów

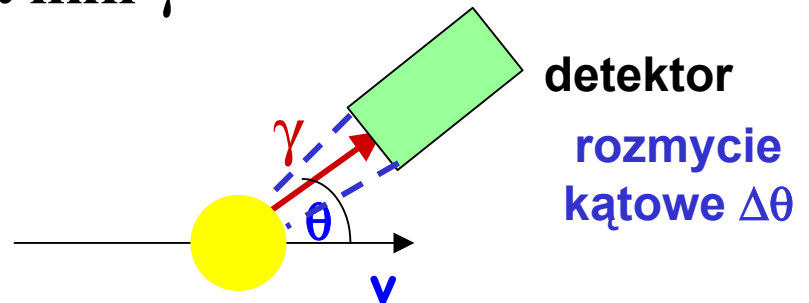


Przyczyny użycia dużej liczby detektorów

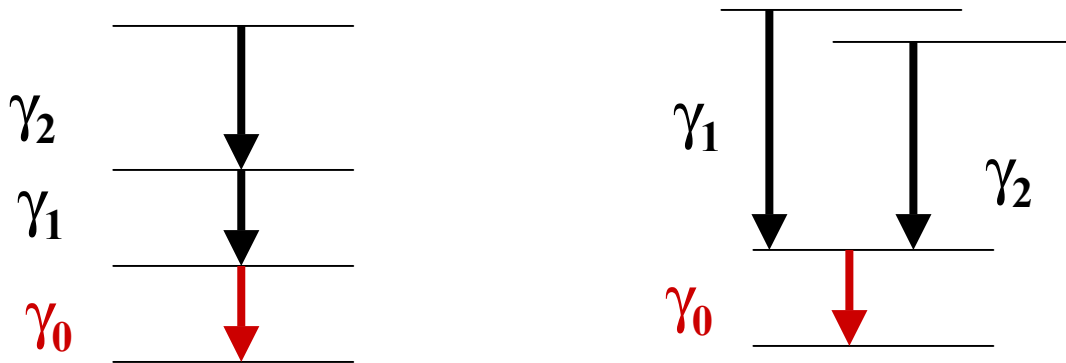
1. zapewnienie dużej wydajności rejestracji kwantów γ
 - a) detektory blisko tarczy
 - b) zapewnienie kąta bryłowego ok. 4π
2. konieczność odsunięcia detektorów od tarczy w celu redukcji
 - a) wielokrotnych rejestracji w jednym detektorze
 - b) dopplerowskiego poszerzenia linii γ

$$E_\gamma = E_0(1 + v/c \cos \theta)$$

$$\Delta\theta \Rightarrow \Delta E_\gamma$$



Badanie koincydencji czasowych między kwantami γ

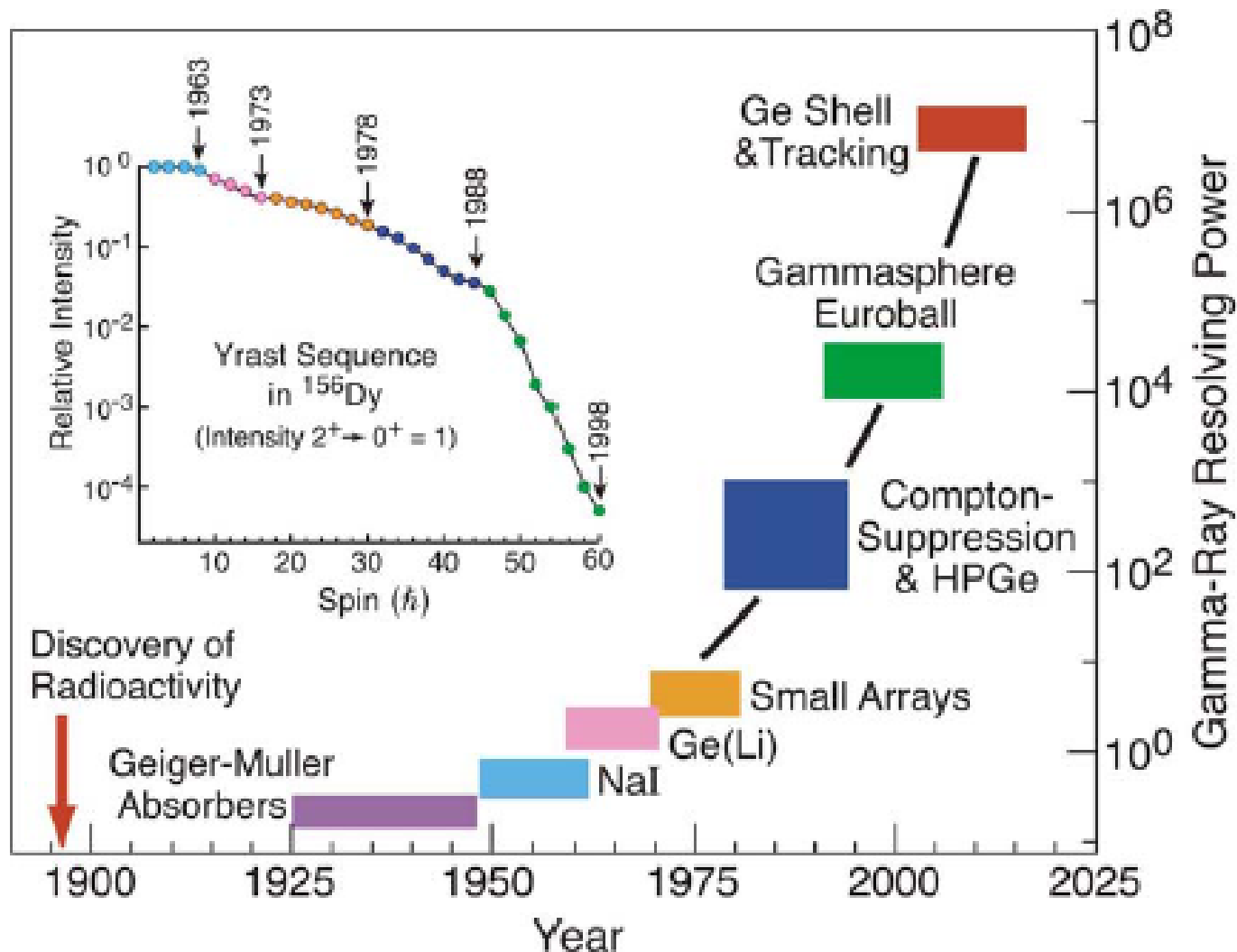


Rozstrzygnięcie, który schemat poziomów jest prawdziwy:

1. wybór właściwej kaskady γ (z wybranego jądra wzbudzonego), zarejestrowanej „jednocześnie” z kwantem γ_0
2. wybór kaskady γ zarejestrowanej „jednocześnie” z kwantem γ_1

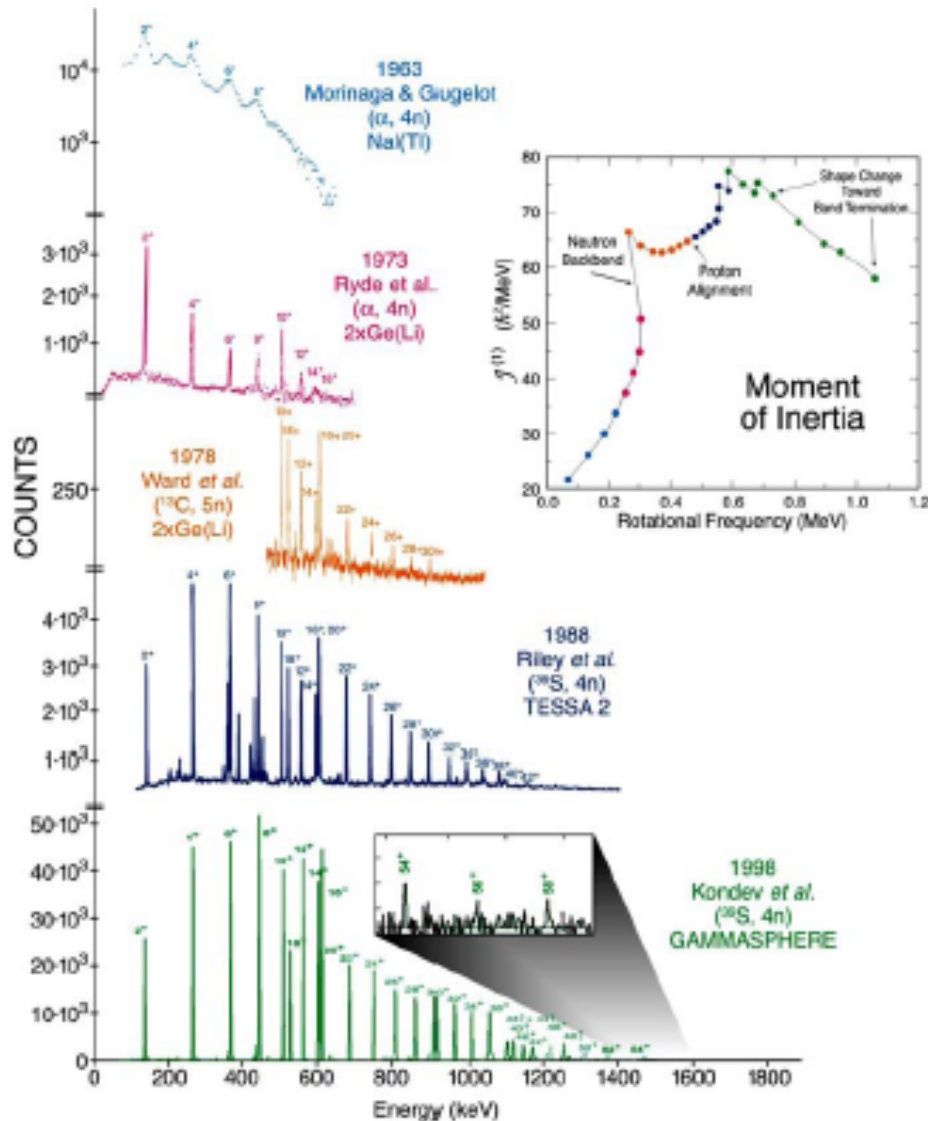
Bada się wielokrotne koincydencje - konieczne szybkie komputery o dużej pamięci

Historia układów pomiarowych

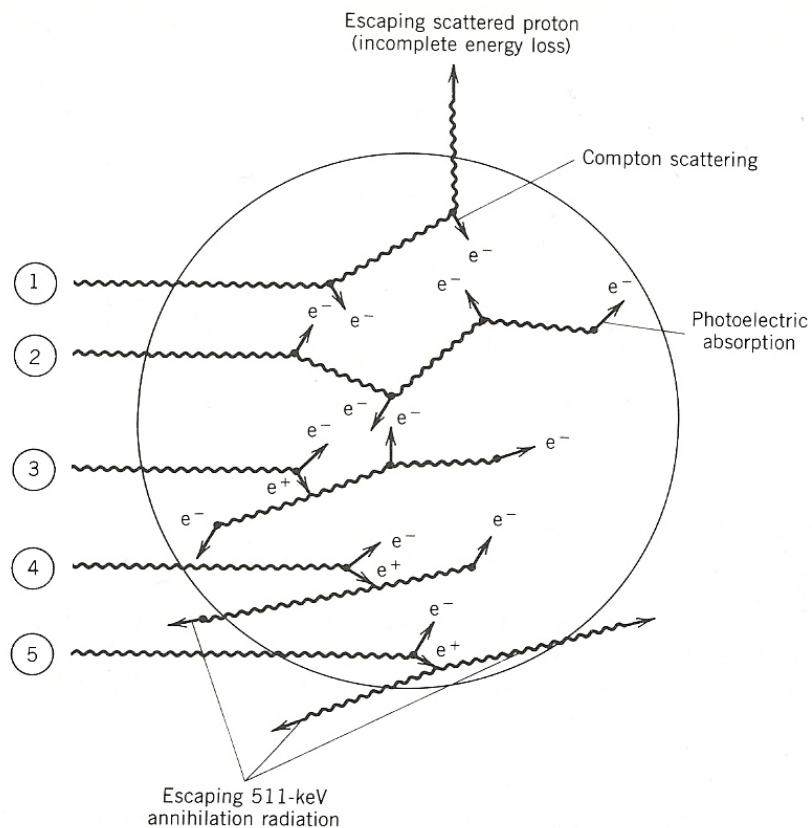


“Spectroscopic history” of ^{156}Dy

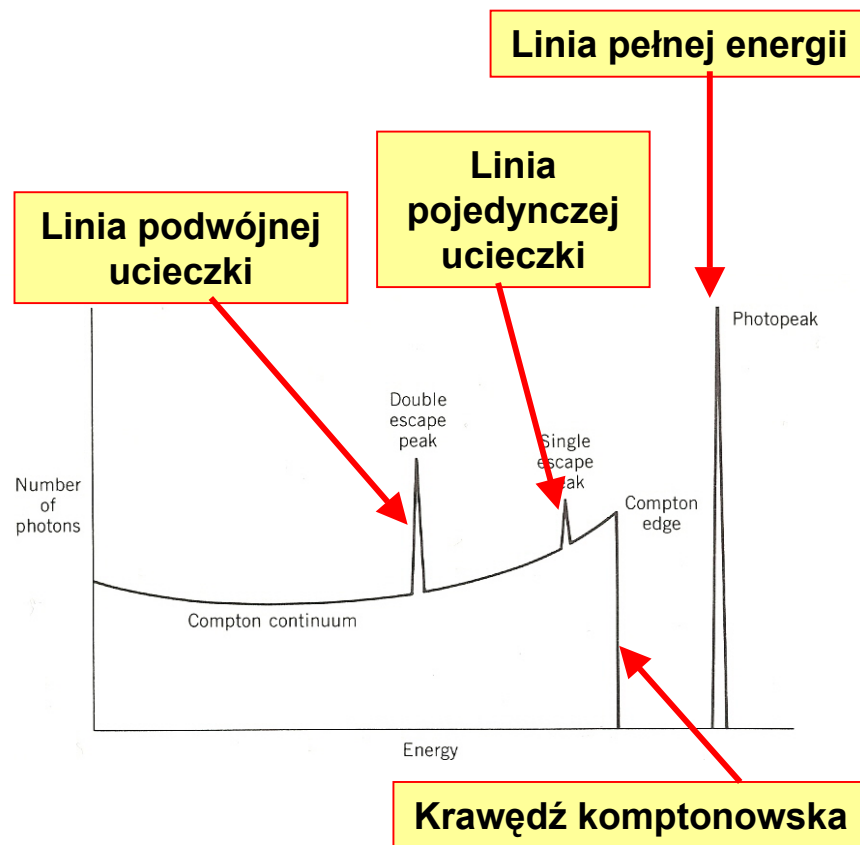
Historia układów pomiarowych



Charakterystyka układów pomiarowych Osłony anty-komptonowskie – zasada działania

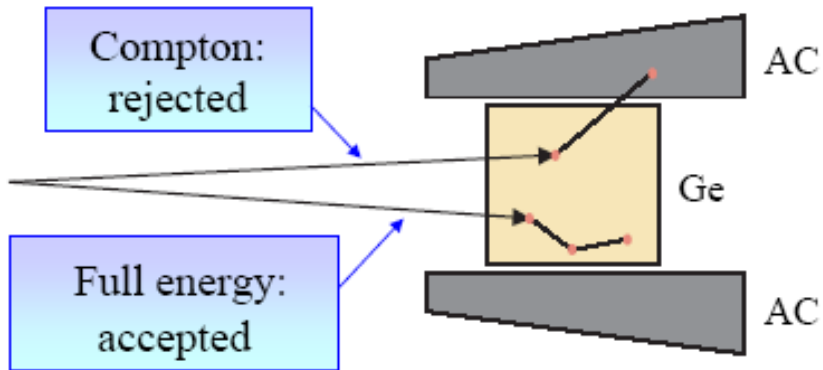


**Oddziaływanie kwantu γ
w detektorze**



**Odpowiedź detektora na
monoenergetyczny kwant γ**

Compton-suppression technique



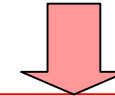
**Antykoincydencja
pomiędzy Ge i AC**



**Odrzucenie zdarzeń
komptonowskich**

Ograniczenia

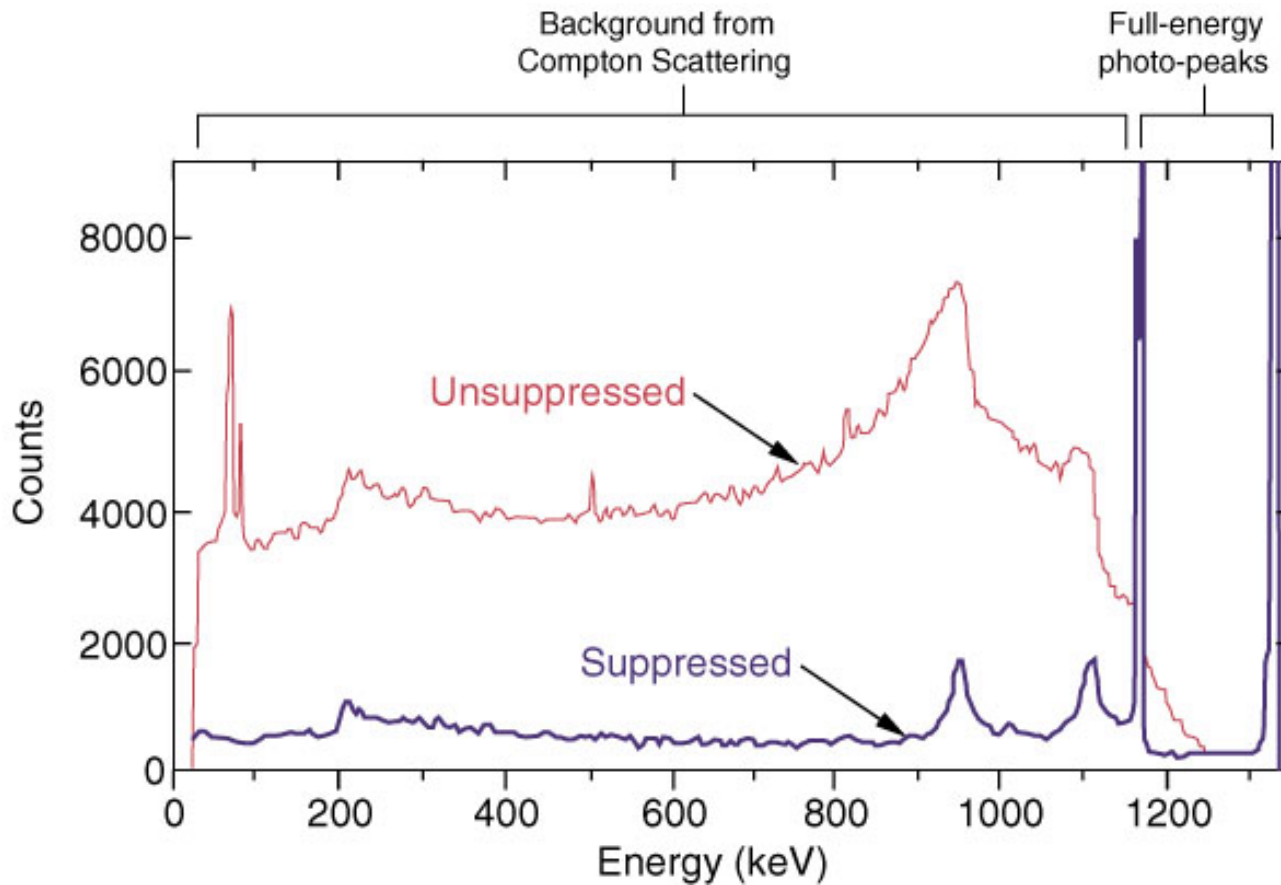
**Oslony anty-komptonowskie
pokrywają $\sim 50\%$ kąta 4π**



**Główny czynnik
ograniczający wydajność
układu (czynnik geometrii)**

Charakterystyka układów pomiarowych

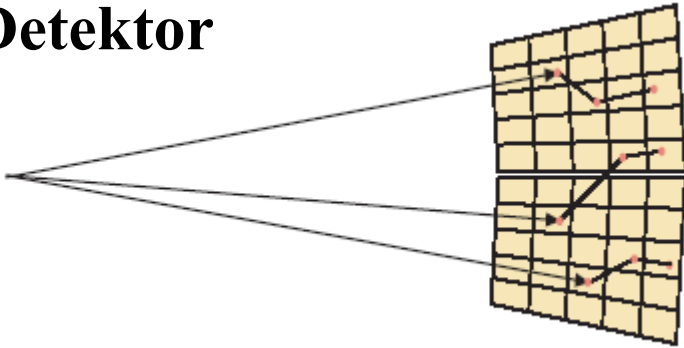
Osłony anty-komptonowskie – efekt działania



Stosunek P/T

AGATA: an **A**dvanced **G**amma **T**racking **A**rray

Detektor



Detektor jest używany jak detektor czuły na pozycję

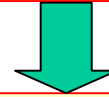


Identyfikuje się pojedyncze punkty oddziaływania

Algorytm „śledzenia” γ

$$E_{\gamma i} = \frac{E_{\gamma i-1}}{1 + \frac{E_{\gamma i-1}}{m_0 c^2} (1 - \cos \theta_i)}$$

Określa się sekwencję oddziaływań kwantu γ



Rekonstruuje się energię wchodzącego kwantu γ

Układy eksperymentalne

1. **EUROBALL** w Europie
2. **GAMMASPHERE** w LBL w Berkeley w USA
3. **AGATA** w Europie
4. **OZIRIS** w Warszawie

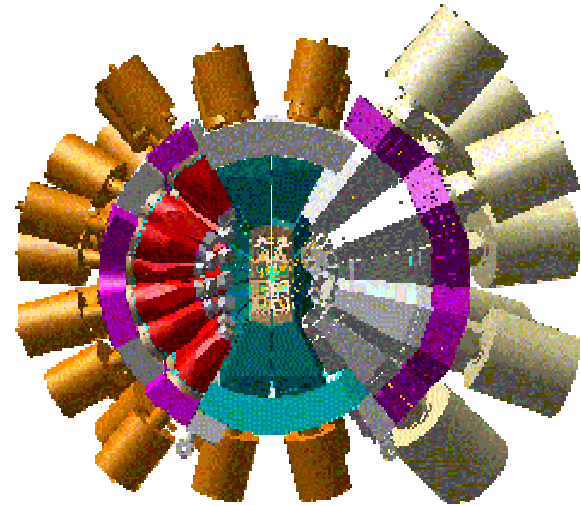
EUROBALL

30 dużych detektorów HPGe

26 detektorów HPGe typu Clover

15 detektorów HPGe typu Cluster

W sumie 239 detektorów HPGe



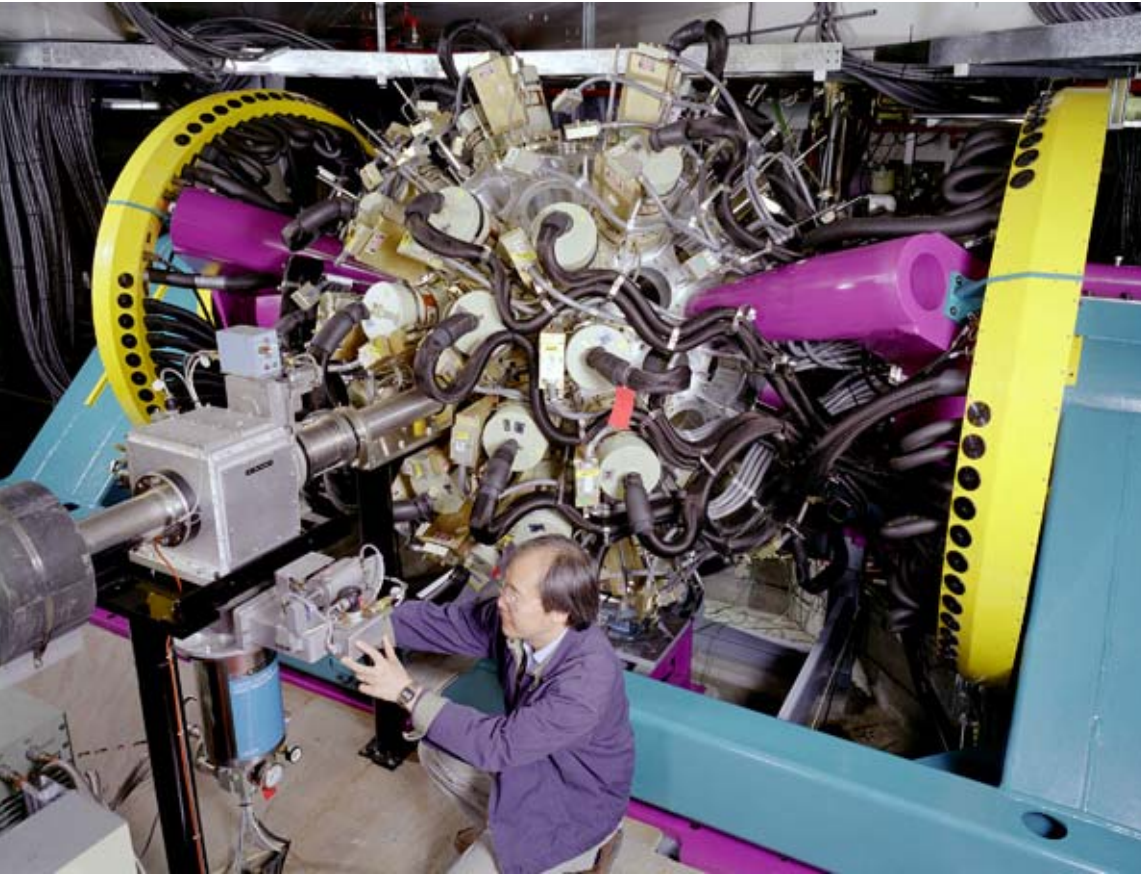
Dodatkowe detektory:

Si -ball – detektor cząstek naładowanych

BGO-ball – detektor - filtr krotności

Ściana neutronowa

GAMMASPHERE



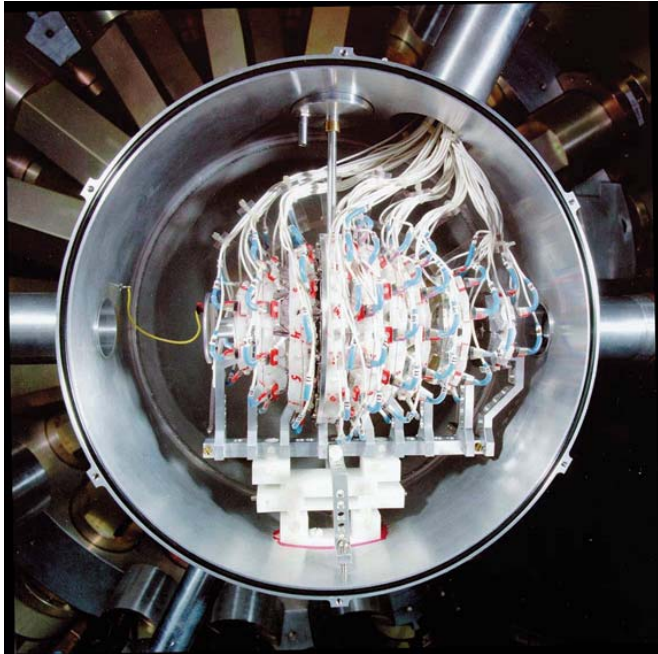
110 HPGe dużych
($\phi 10\text{cm} \times 10\text{cm}$)
detektorów w osłonach
z BGO, w tym 70
detektorów złożonych
z 2 segmentów -
granulacja poprawia
zdolność rozdzielczą
FWHM dla $E_\gamma = 1\text{ MeV}$
wynosi 2 keV

$P/T \approx 55\%$

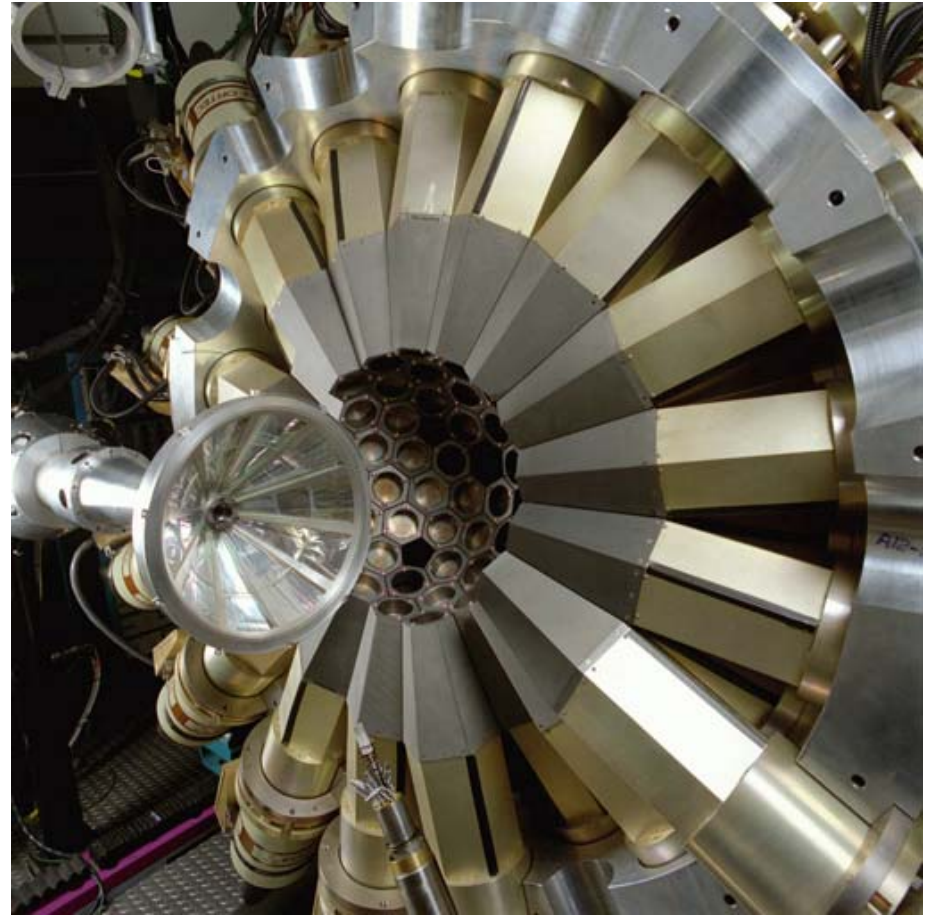
GAMMASPHERE



GAMMASPHERE – dodatkowe detektory



Microball = 95 CsI
rejestruje p, d, t, ^3He , ^4He ,
pomaga określić kanał
reakcji



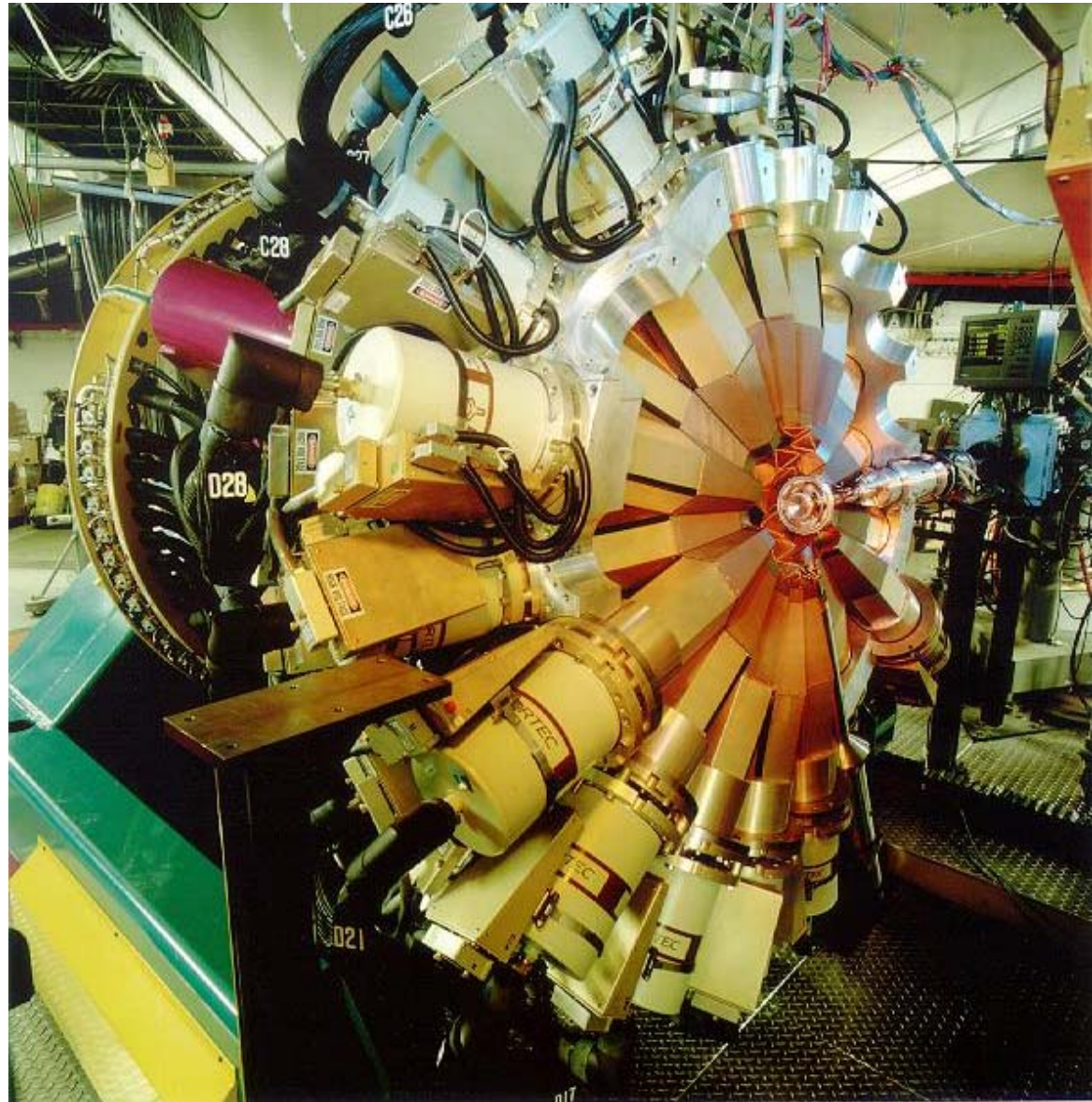
Compact Heavy Ion Counter CHICO

przednia i tylna sfera zawierające po 10
detektorów czułych na pozycję do rejestracji
ciężkich fragmentów w koincydencji z γ

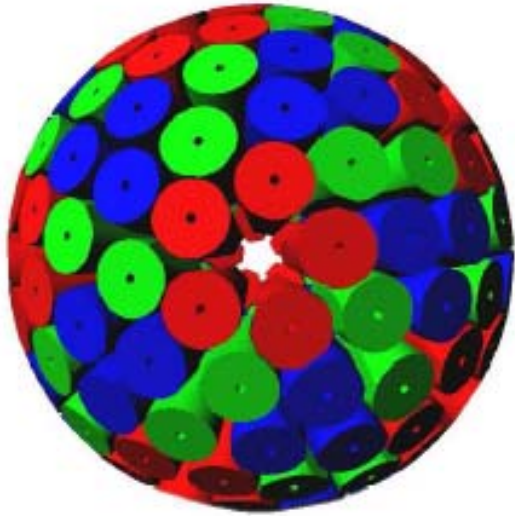
GAMMASPHERE – dodatkowe urządzenia

Plunger

urządzenie stosowane
do pomiarów czasów
życia jąder metodą
RDM



AGATA: an **A**dvanced **G**amma **T**racking **A**rray



180 kryształów
pogrupowanych w 60
potrójnych klastrów,
każdy klaster w
jednym kriostacie

Główne cechy detektora AGATA

Wydajność: 43% (M=1) 28% (M=30)

Obecne układy: 10% (M=1) 5% (M=30)

P/T: 58% (M=1) 49% (M=30)

Obecnie: 55% (M=1) 40% (M=30)

FWHM (1 MeV) 6 keV

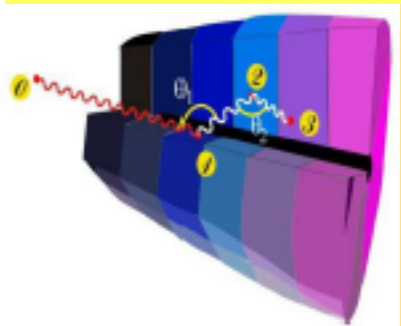
Obecnie: 40 keV

Rozdzielczość kątowna: 1°

Podstawowe elementy techniki „śledzenia”

1

Silnie segmentowane
detektory HPGe



2

Cyfrowa elektronika do
rejestracji i przetworzenia
sygnału z segmentu



Identyfikacja
punktów
oddziaływania

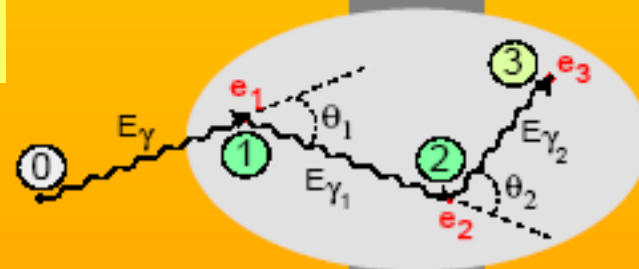
$$(x, y, z, E, t)_i$$

Analiza kształtu impulsu

3

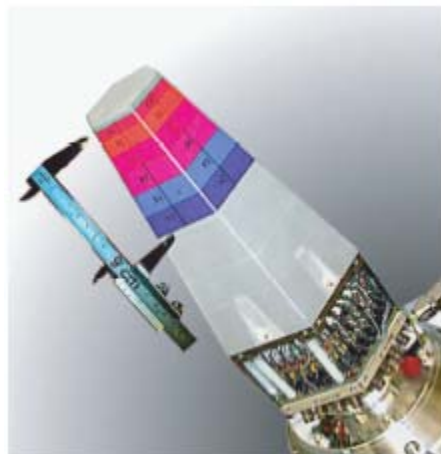
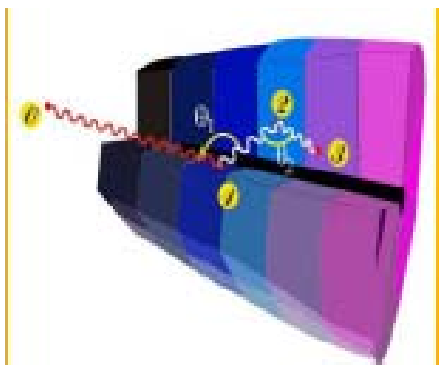
4

Rekonstrukcja śladów

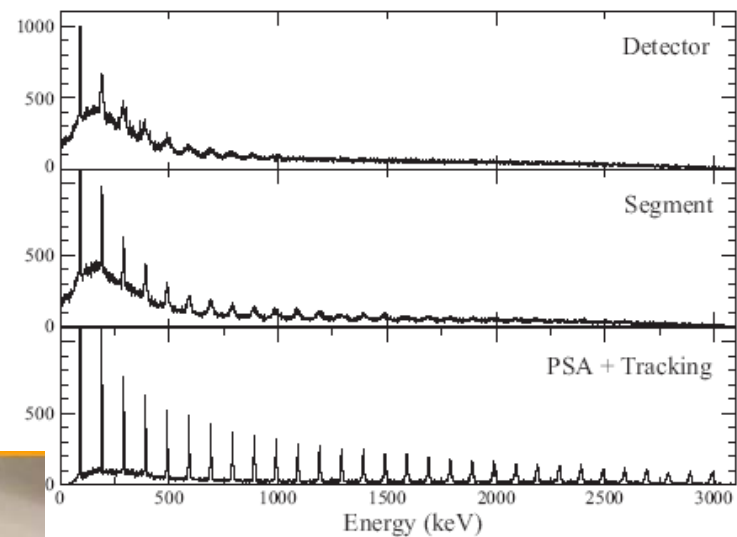


Rekonstrukcja pełnej
informacji o kwancie γ

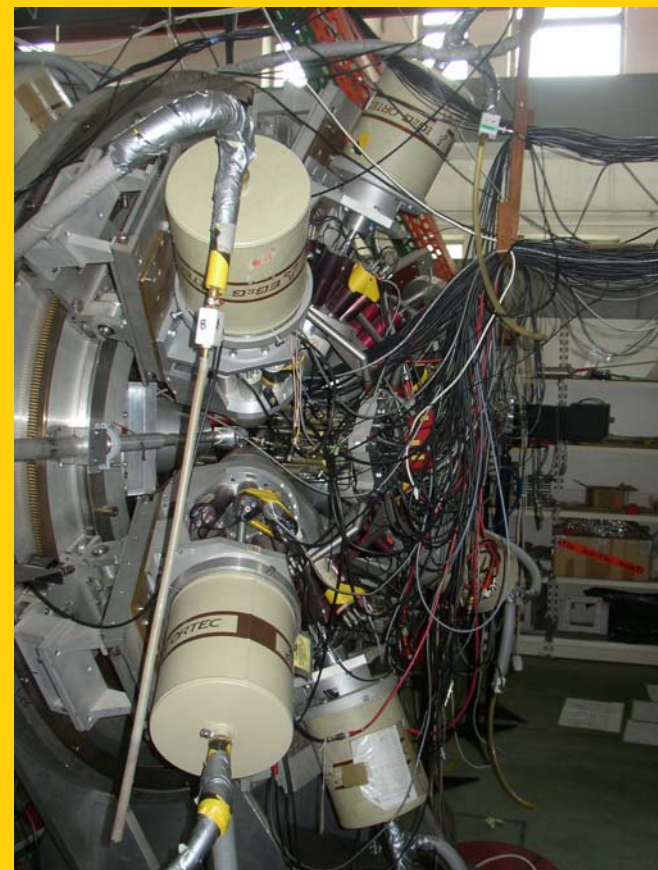
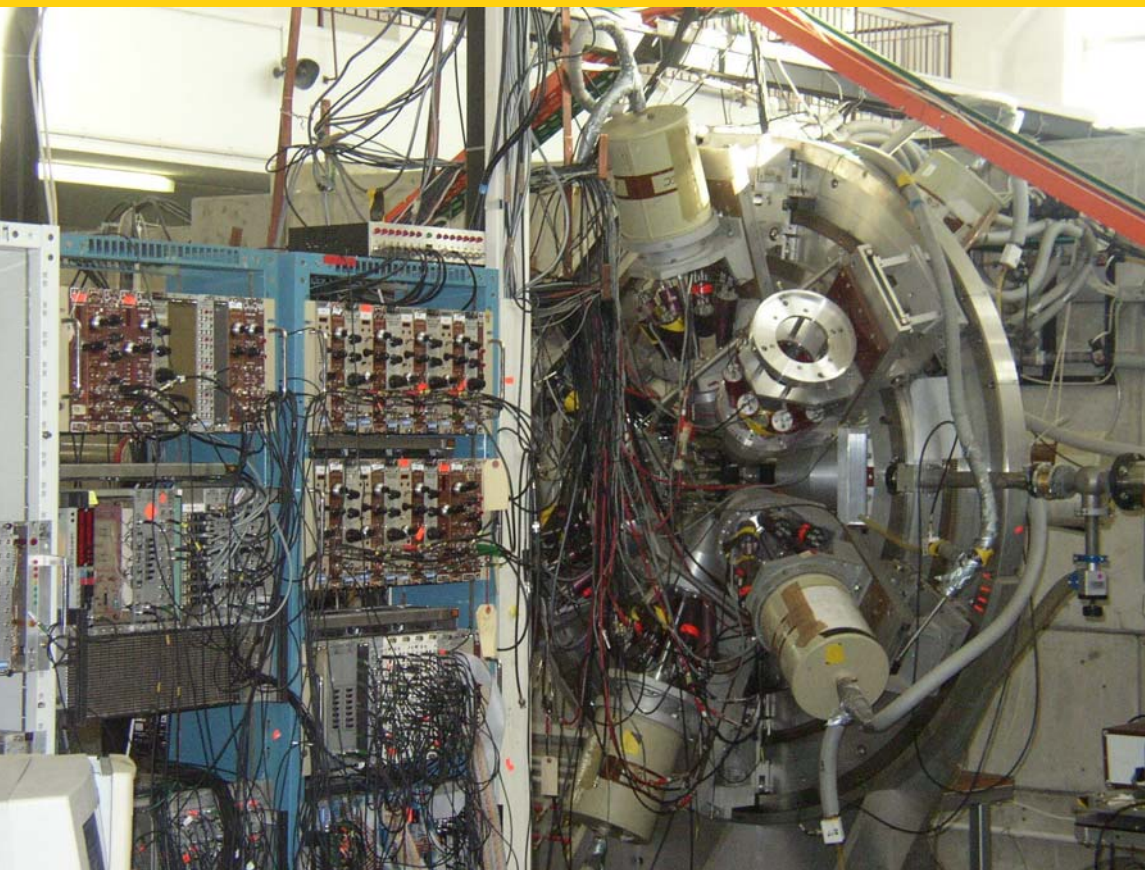
Silnie segmentowany detektor HPGe



Wynik zastosowania techniki „śledzenia”



OZIRIS przy Warszawskim Cyclotronie



ZFJA†: Ch. Droste, E. Grodner, T. Morek, J. Srebrny

SLCJ: J. Kownacki,

Pomiar czasów życia jąder wzbudzonych

1. Bezpośredni pomiar czasu życia
 - a) z użyciem przelicznika
 - b) z użyciem analizatora wielokanałowego jako multiscalera
2. Metoda koincydencji opóźnionych
3. Metoda RDM (Recoil Distance Method) - pomiar promieniowania γ jąder odrzutu
4. Metoda DSAM (Doppler Shift Attenuation Method)
5. Metoda wykorzystująca wzbudzenia kulombowskie jąder

Bezpośredni pomiar czasu życia

Prawo rozpadu:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad \lambda - \text{stała rozpadu [s}^{-1}\text{]}$$

Czas połowicznego zaniku $T_{1/2} = \ln 2 / \lambda \approx 0,693 / \lambda$

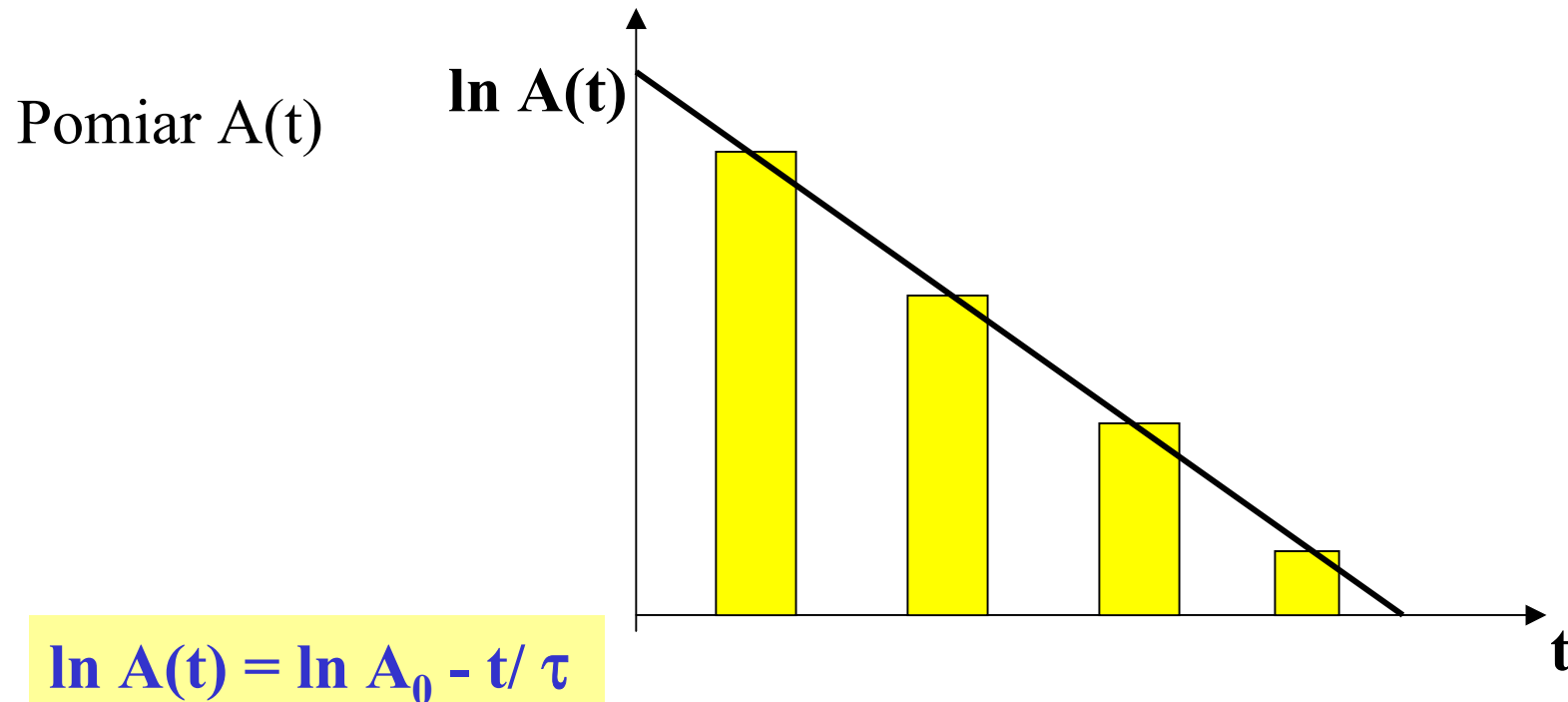
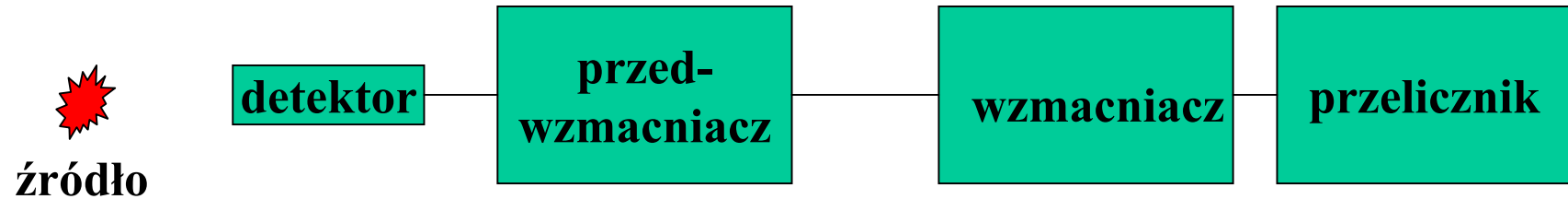
Czas życia: $\tau = T_{1/2} / \ln 2 \approx 1,44 T_{1/2}$

Aktywność:

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \quad \ln A = \ln A_0 - t / \tau$$

Bezpośredni pomiar czasu życia

a) z użyciem przelicznika (dla τ rzędu min)



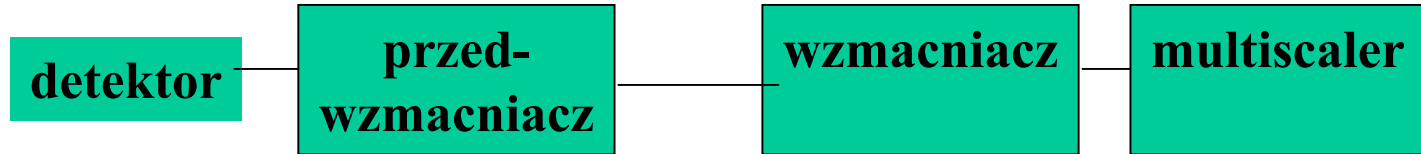
Bezpośredni pomiar czasu życia

b) z użyciem analizatora wielokanałowego jako multiscalera

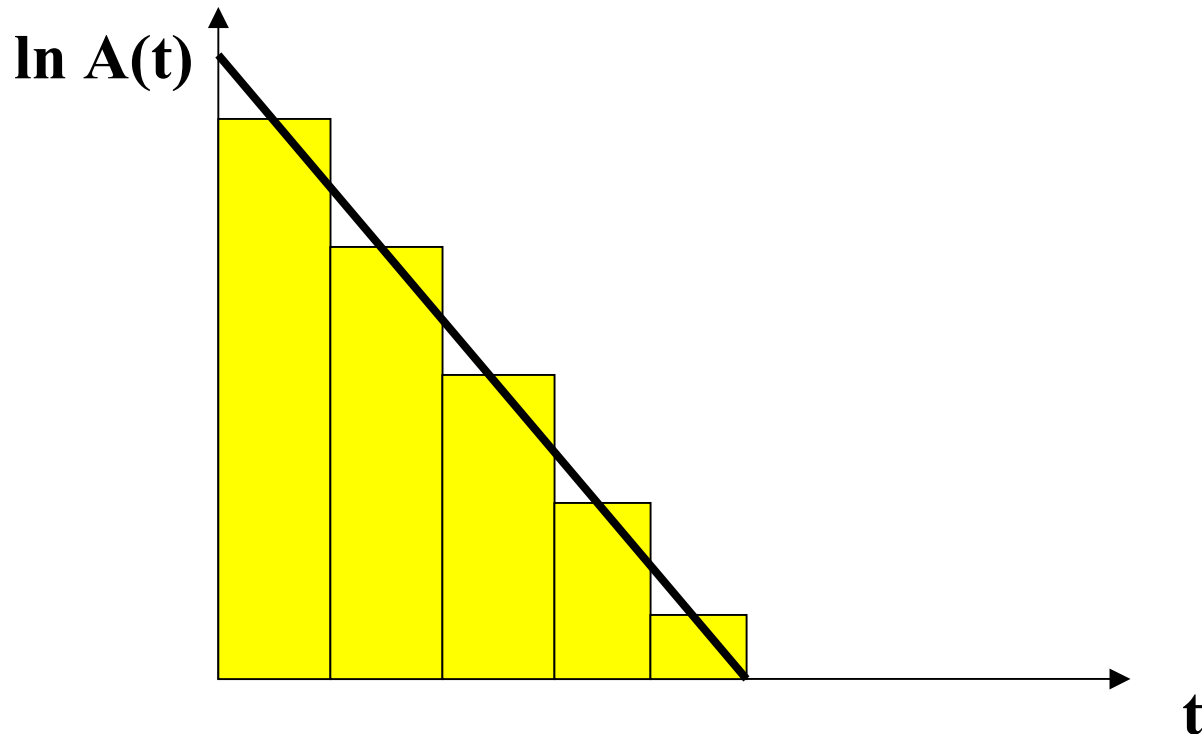
dla $\tau \geq 10^{-3}$ s



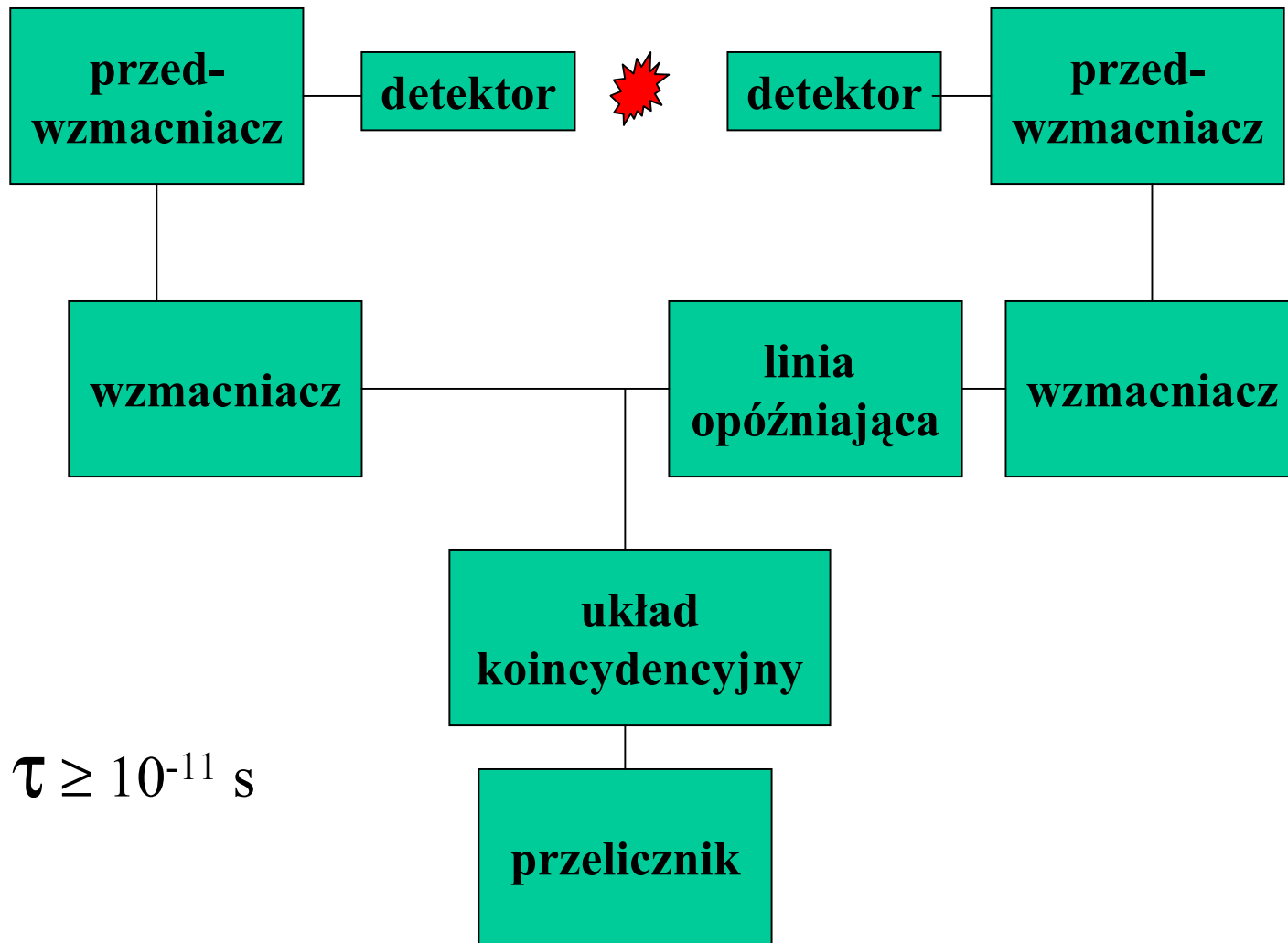
źródło



$\tau \geq 1$ ms



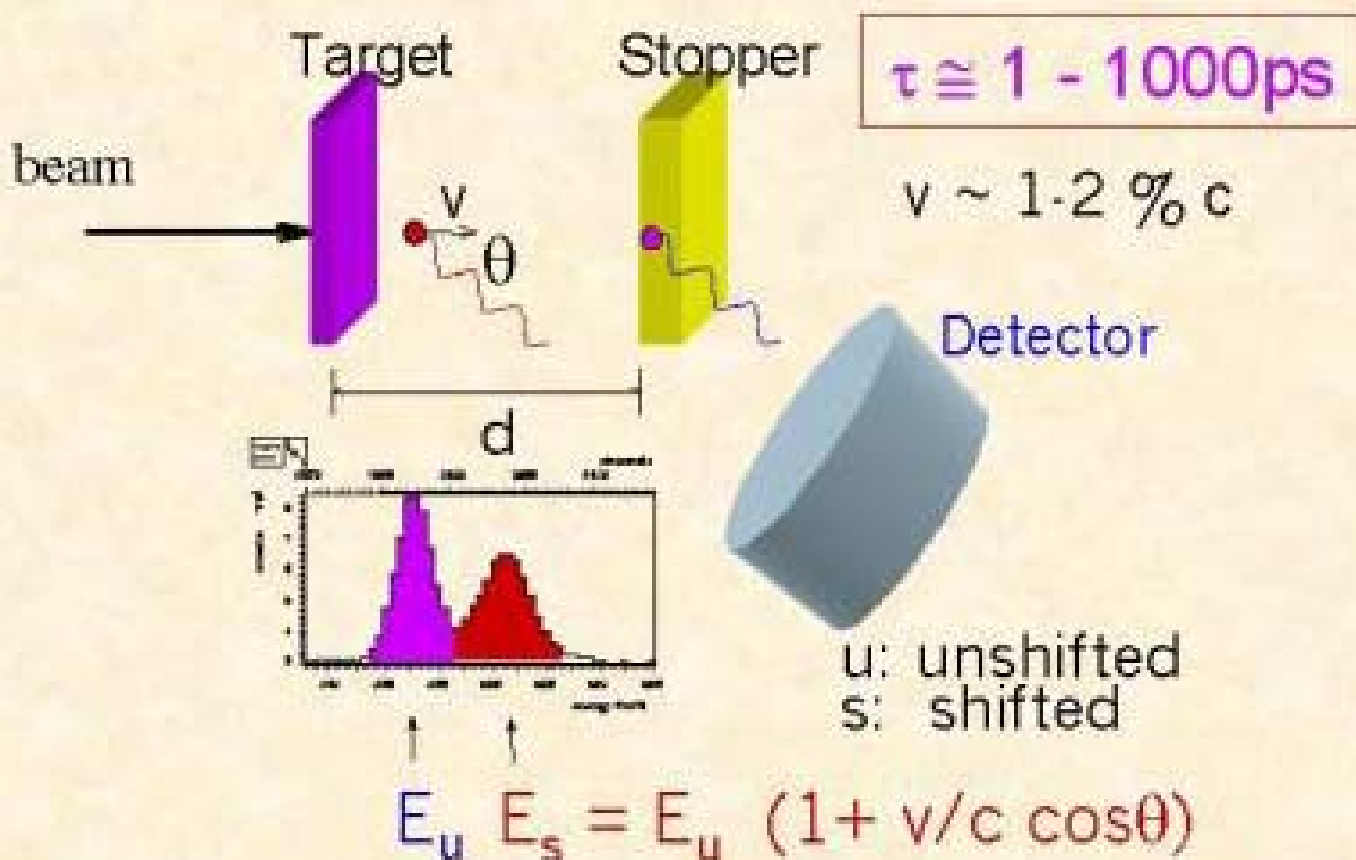
Metoda koincydencji opóźnionych



dla $\tau \geq 10^{-11}$ s

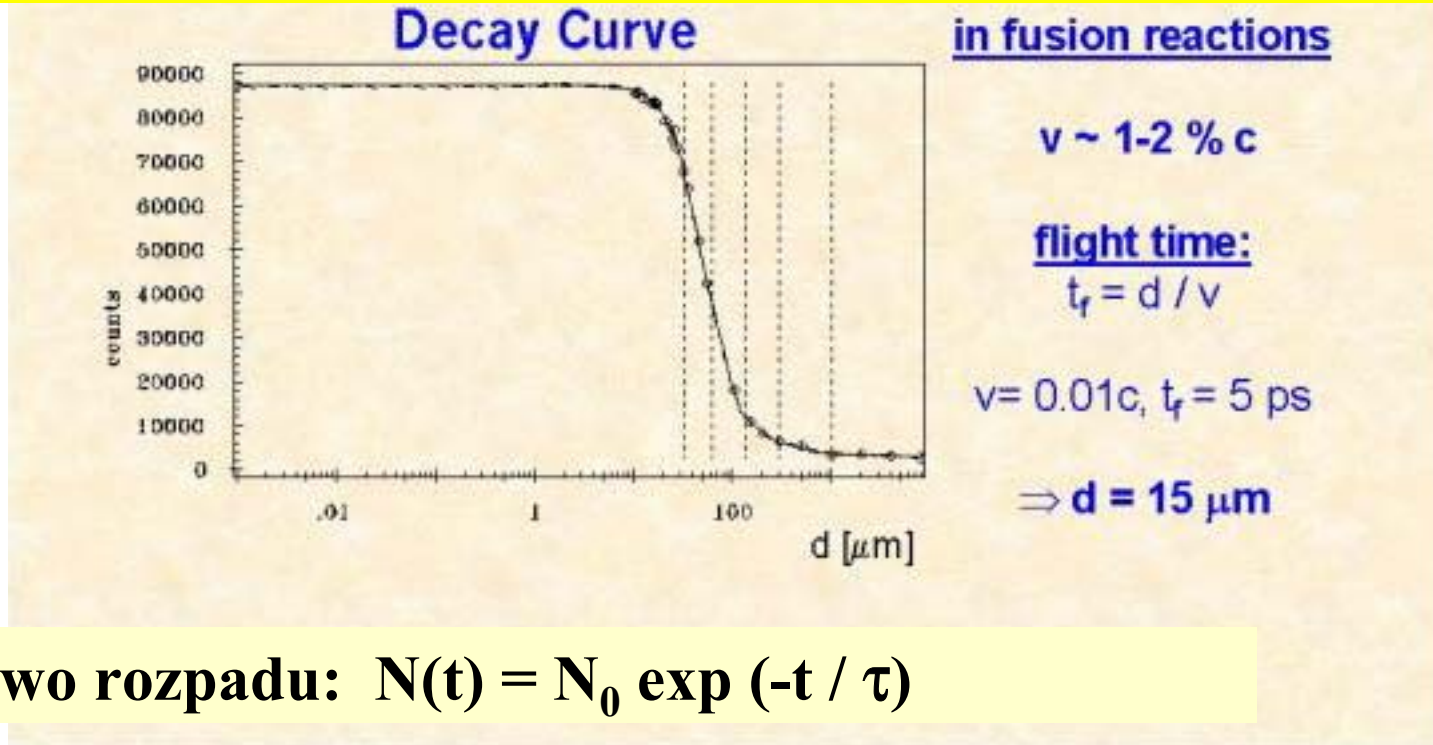
Metoda RDM (Recoil Distance Method) - pomiar promieniowania γ jąder odrzutu

The Recoil Distance Doppler-Shift Method



Metoda RDM (Recoil Distance Method) - pomiar promieniowania γ jąder odrzutu

I_s



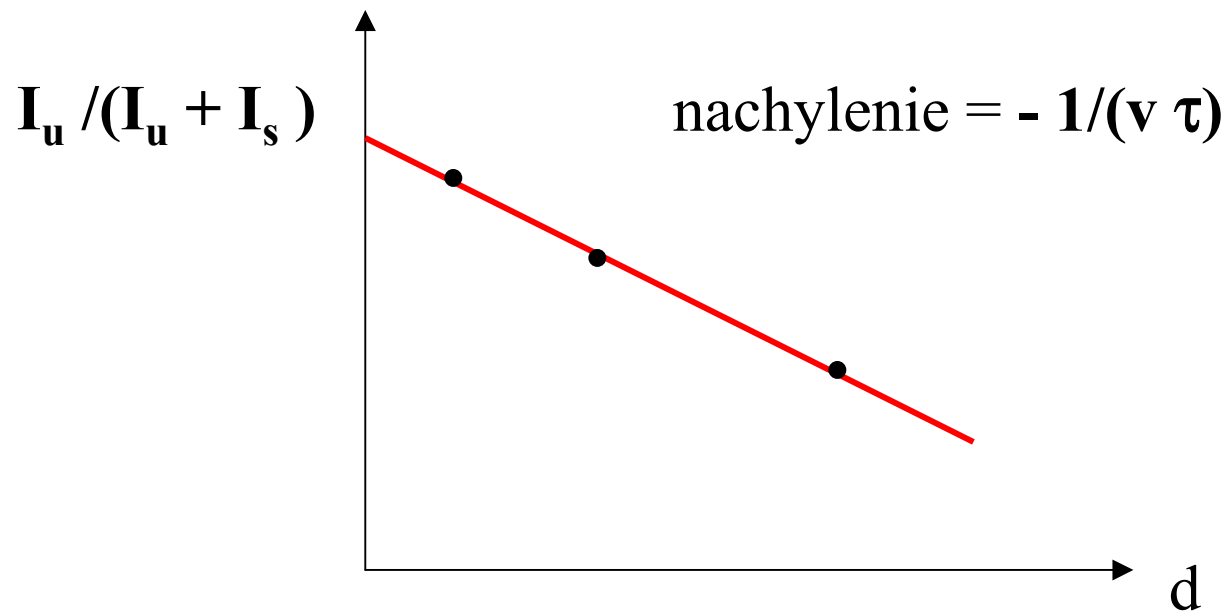
Prawo rozpadu: $N(t) = N_0 \exp(-t / \tau)$

Natężenie linii o E_u : $I_u = I_0 \exp(-d/(v \tau))$

Natężenie linii o E_s : $I_s = I_0 - I_u = I_0 (1 - \exp(-d/(v \tau)))$

$$I_u / (I_u + I_s) = \exp(-d/(v \tau))$$

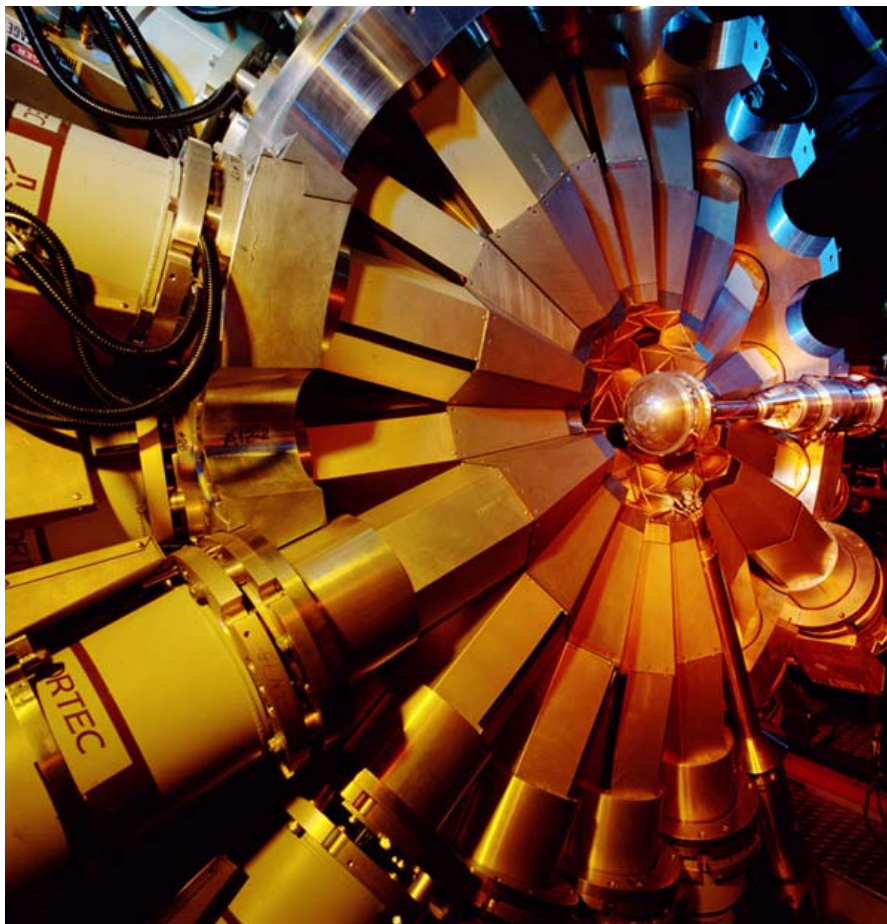
Metoda RDM (Recoil Distance Method) - pomiar promieniowania γ jąder odrzutu



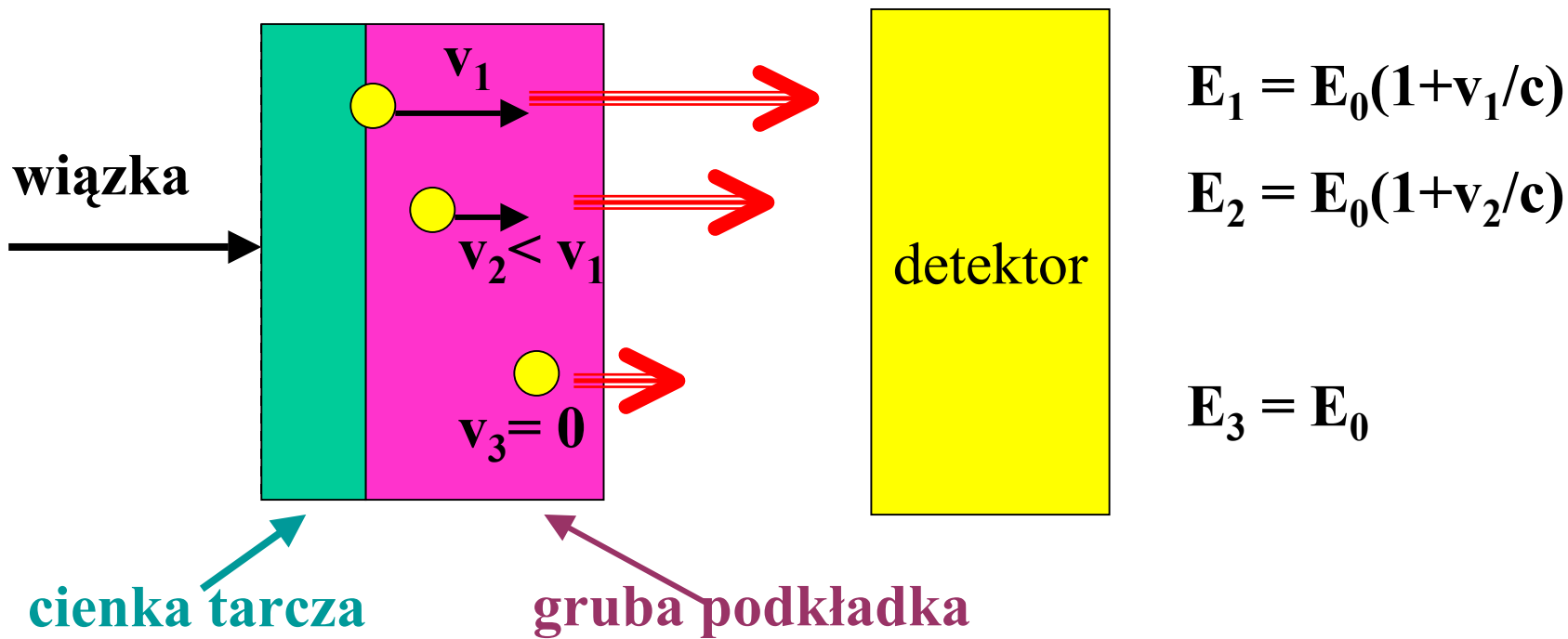
dla $\tau = 1 \text{ ps} - 1000 \text{ ps}$

dla $\tau = 10^{-9} \text{ s} - 10^{-12} \text{ s}$

Plunger przy GAMMASPHERE



Metoda DSAM (Doppler Shift Attenuation Method)



dla $\tau = 0,01$ ps - 10 ps

dla $\tau = 10^{-11}$ s - 10^{-14} s

Metoda DSAM (Doppler Shift Attenuation Method)



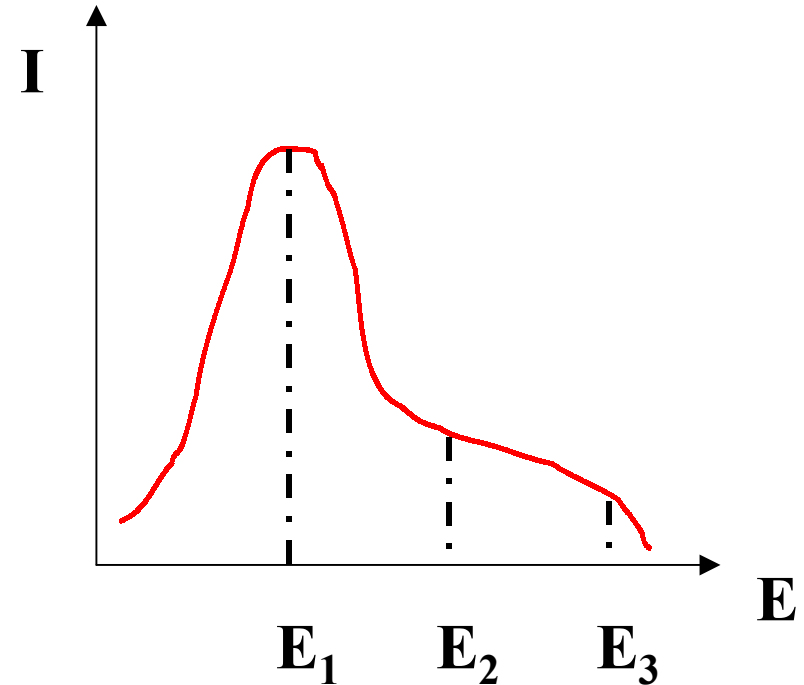
$$E_1 = E_0(1+v_1/c)$$



$$E_2 = E_0(1+v_2/c)$$



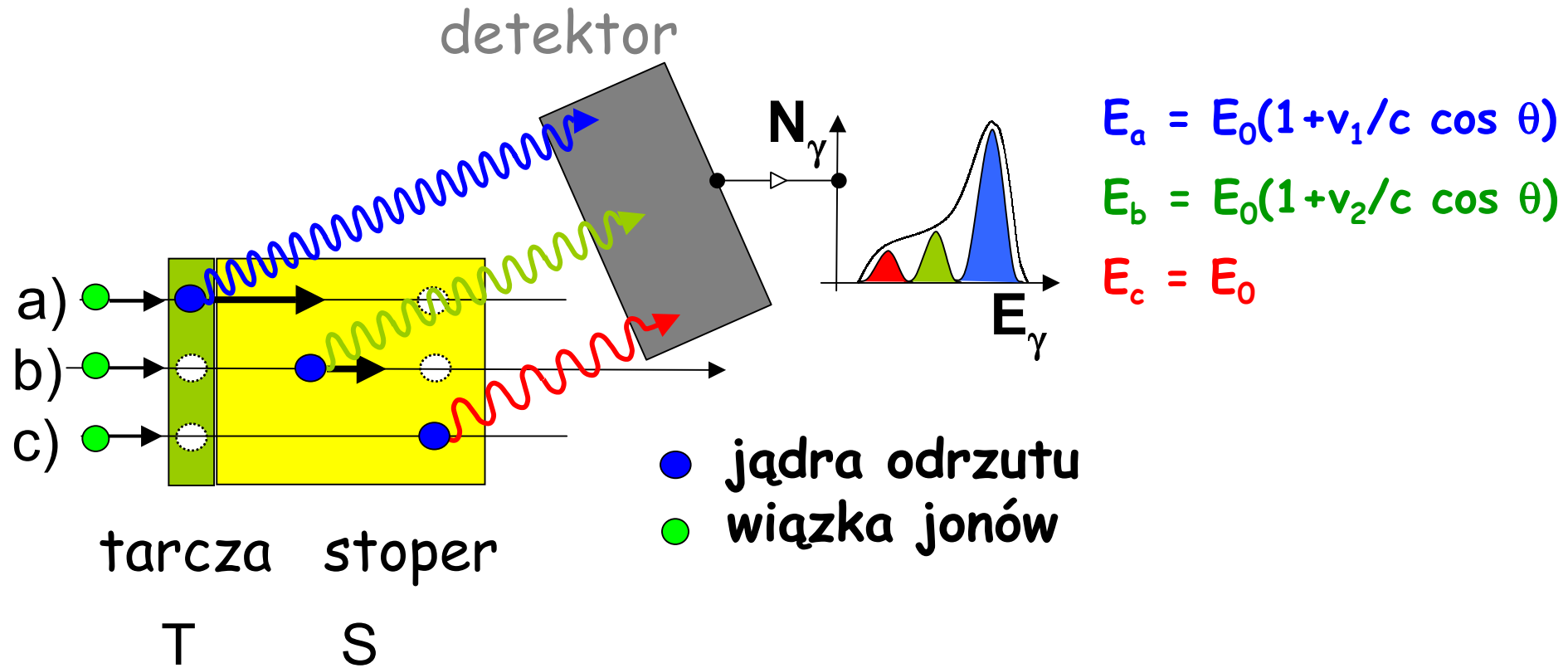
$$E_3 = E_0$$



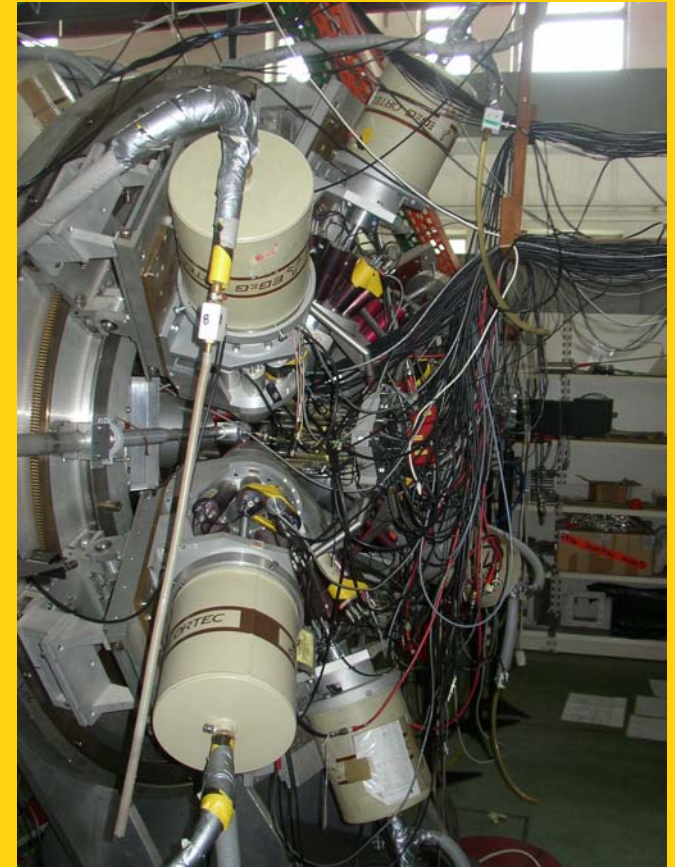
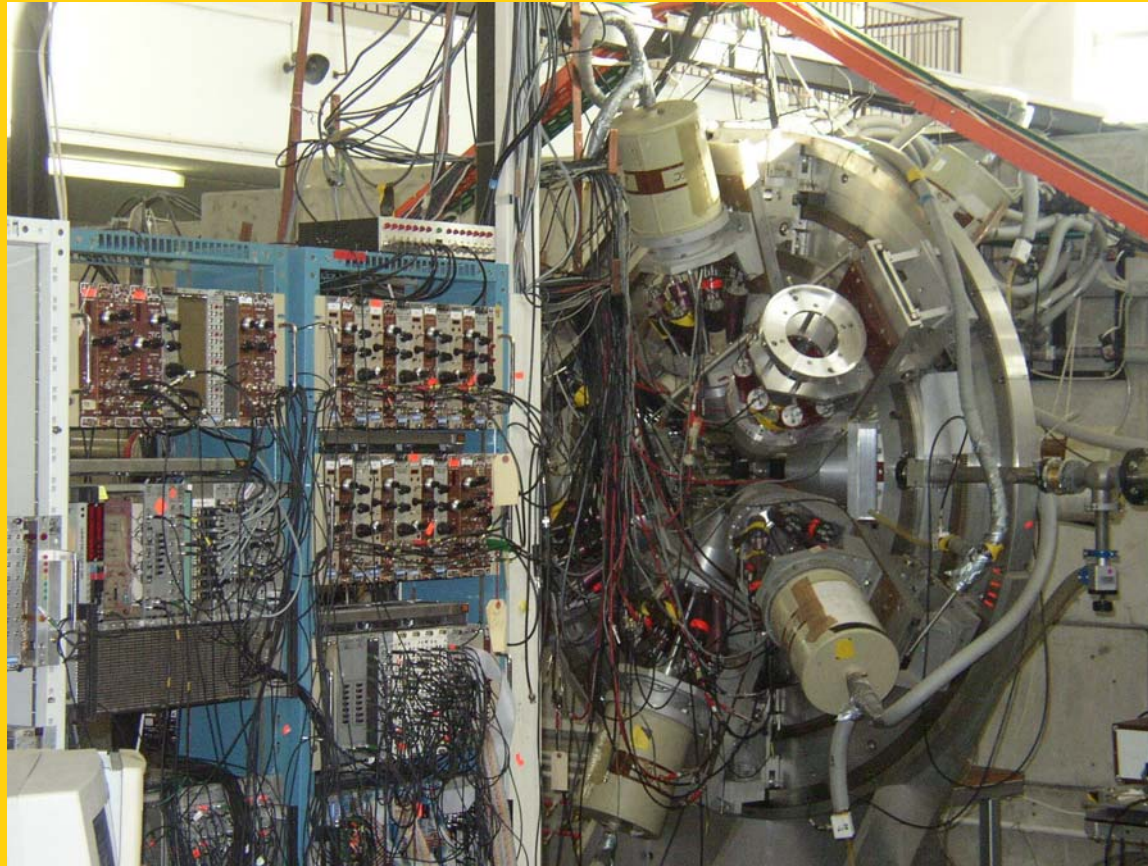
$\tau = 0,01 \text{ ps} - 10 \text{ ps}$

Wykorzystanie zjawiska Dopplera do pomiaru bardzo krótkich czasów życia poziomów jądrowych

$$t \text{ (stopowania)} \approx \tau \text{ (jądrowy)} \quad \tau = 10^{-14} \text{ s} - 10^{-11} \text{ s}$$



OZIRIS przy Warszawskim Cyclotronie



ZFJA†: Ch. Droste, E. Grodner, T. Morek, J. Srebrny

$^{122}\text{Sn} (^{14}\text{N}, 4n) ^{132}\text{La}$

0.28 ± 0.07 ps

0.41 ± 0.07 ps

0.40 ± 0.06 ps

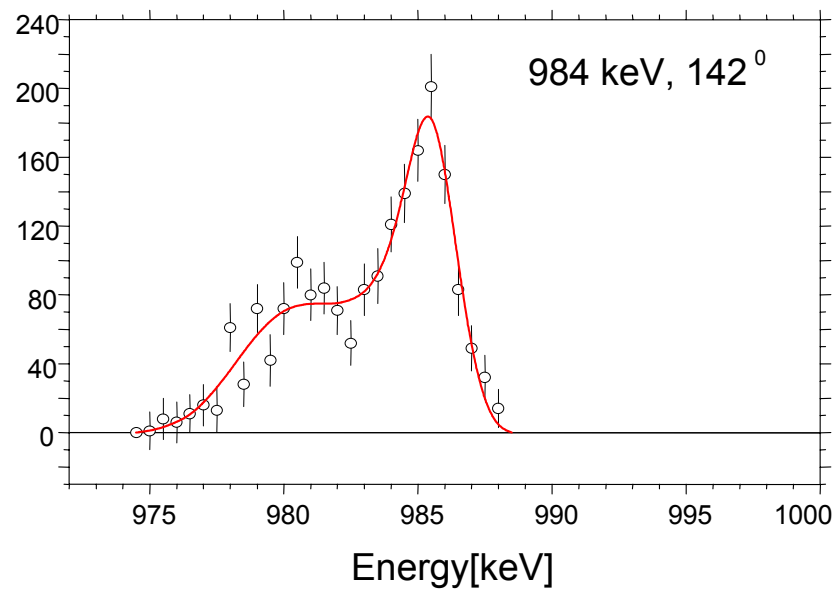
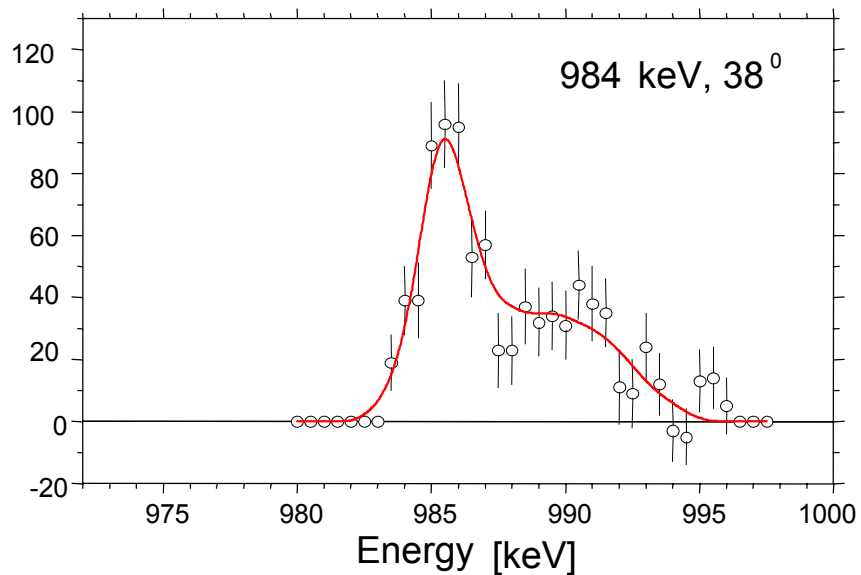
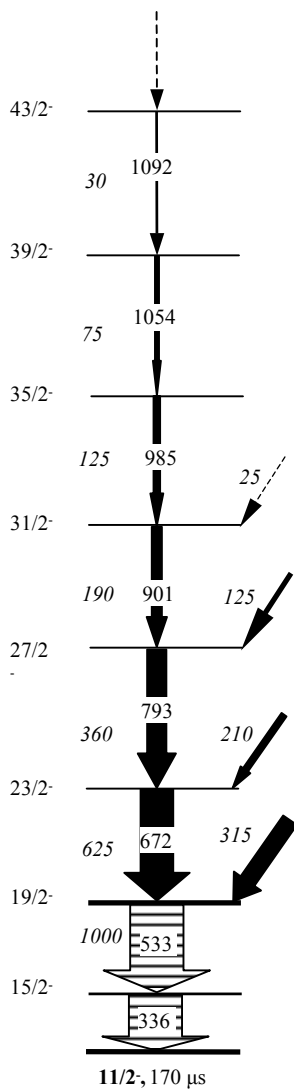
0.45 ± 0.09 ps

0.64 ± 0.14 ps

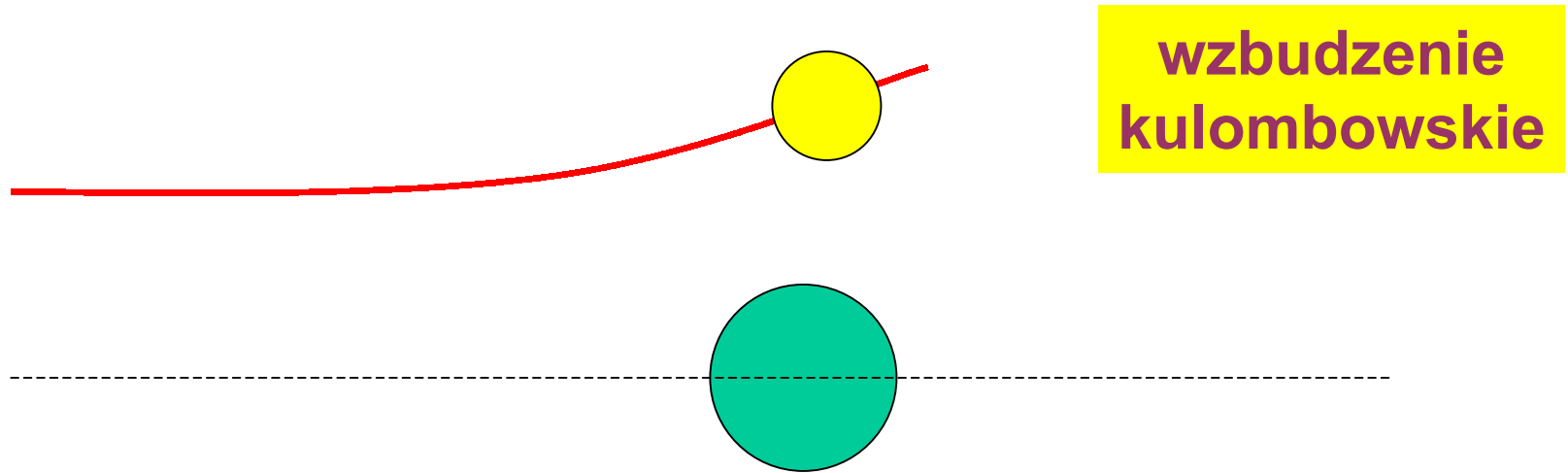
1.25 ± 0.25 ps

4.3 ± 1.2 ps

56 ± 3 ps

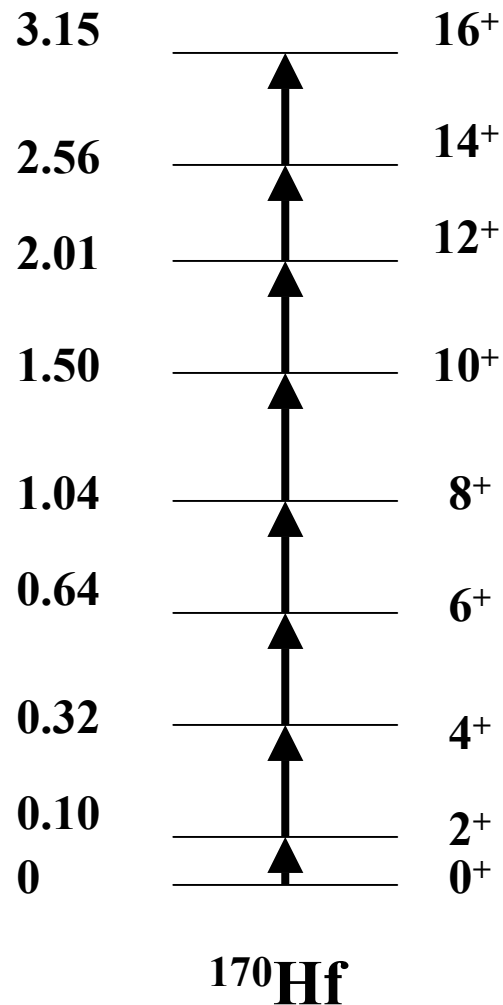


Pomiar czasów życia poprzez wzbudzenie kulombowskie jądra



1. występuje tylko oddziaływanie elektromagnetyczne, nie występuje oddziaływanie jądrowe
2. pole elektromagnetyczne powoduje dynamiczną deformację jądra lub (gdy jest ono trwale zdeformowane) jego obrót - kolektywna wibracja lub rotacja
3. największe prawdopodobieństwo wzbudzeń kulombowskich o niskiej energii i małej multipolowości (E2)
4. możliwe jest wielokrotne wzbudzenie kulombowskie

Pomiar czasów życia poprzez wzbudzenie kulombowskie jądra



5. prawdopodobieństwo wzbudzenia kulombowskiego rośnie ze wzrostem energii pocisku

6. prawdopodobieństwo wzbudzenia kulombowskiego rośnie ze wzrostem masy (ładunku) pocisku

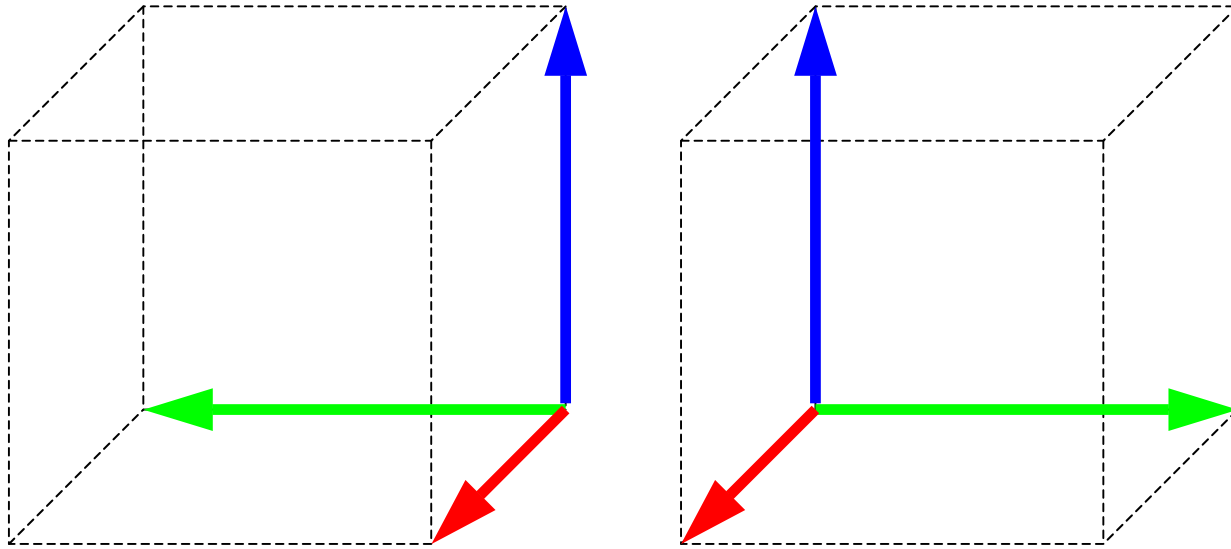
7. wzbudzeniu kulombowskiemu może ulec jądro tarczy lub/i jądro pocisku

$$B(E2) \sim \lambda \rightarrow \tau$$

$$\text{dla } \tau \geq 10^{-13} \text{ s}$$

Pasma chiralne

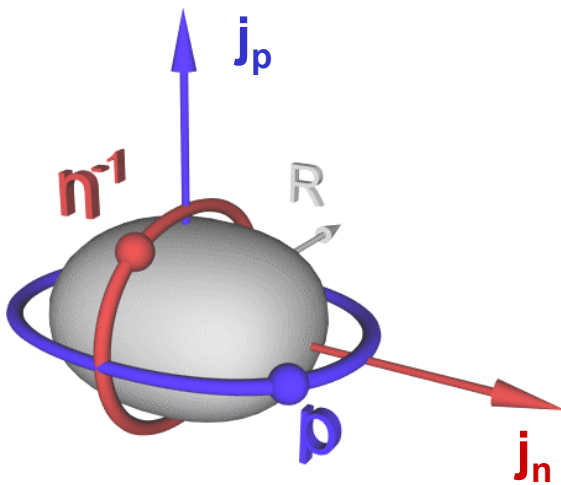
(dowód na istnienie trójosiowych
kształtów jąder)



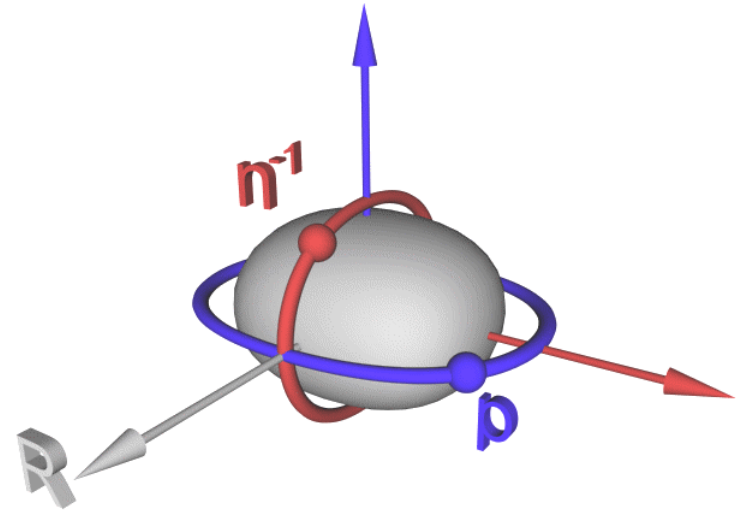
Trzy wzajemnie prostopadłe wektory mogą tworzyć układ lewo-skrętny lub prawo-skrętny.

Są przypuszczenia, że niektóre jądra mogą istnieć w dwu odmianach: lewo i prawo-skrętnej.

Warunkiem koniecznym istnienia lewo-skrętnej i prawo-skrętnej konfiguracji w jądrze jest występowanie trzech prostopadłych wektorów momentu pędu.



^{132}La



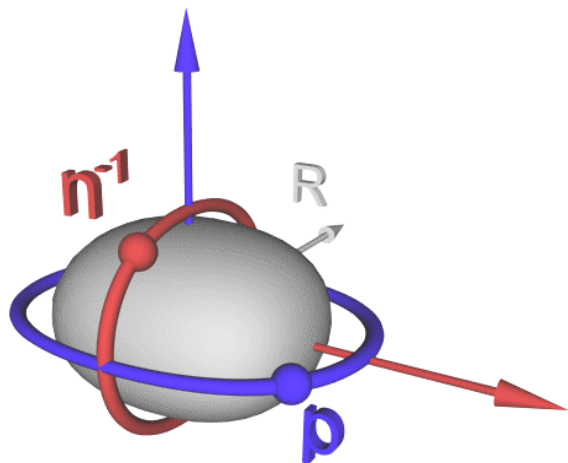
operator chiralny = $R(180^\circ) T$

Taka sytuacja występuje dla jąder trójosiowych z walencyjnym protonem i dziurą neutronową.

Te trzy wektory to wektory tworzące całkowity moment pędu jądra: moment pędu walencyjnego protonu j_p , walencyjnej dziury neutronowej j_n i moment pędu parzysto-parzystego rdzenia R .

W jądrach o $A \approx 130$ jądra parzysto-parzyste nie są sferyczne, ale mają kształt trójosiowej elipsoidy.

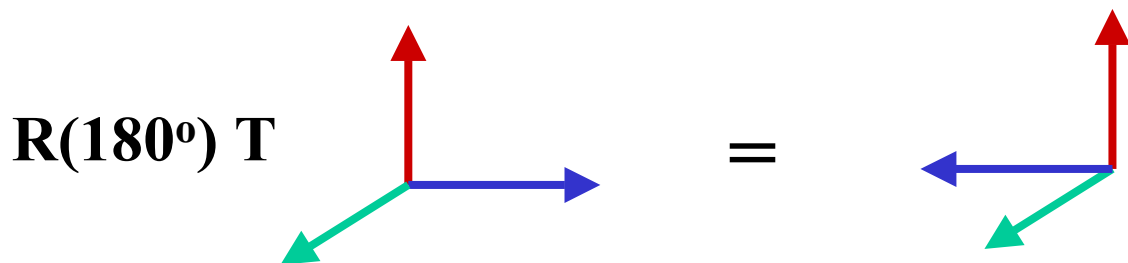
Jądro trójosiowe - rotacja wokół osi o największym momencie bezwładności.

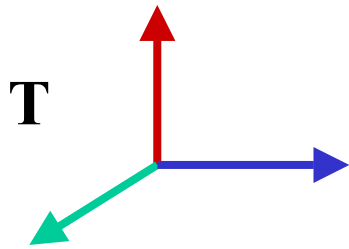


Dodanie protonu - jak najmniejsza energia dodana- duży promień orbity.

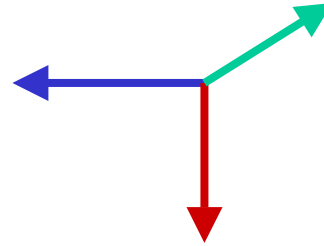
Odjęcie neutronu - jak największa energia odjęta- mały promień orbity.

Tworzą się 3 wektory wzajemnie prostopadłe, które w układzie związanym z jądrem mogą różnić się chiralnością.

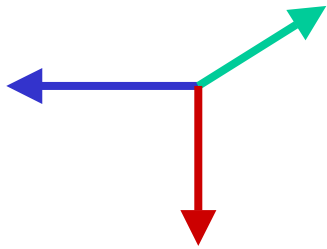




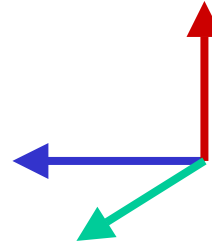
=



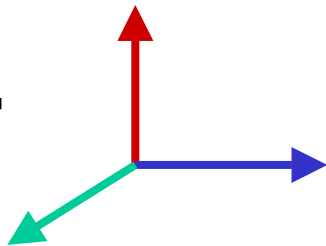
R(180°)



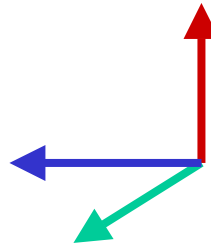
=



R(180°) T



=

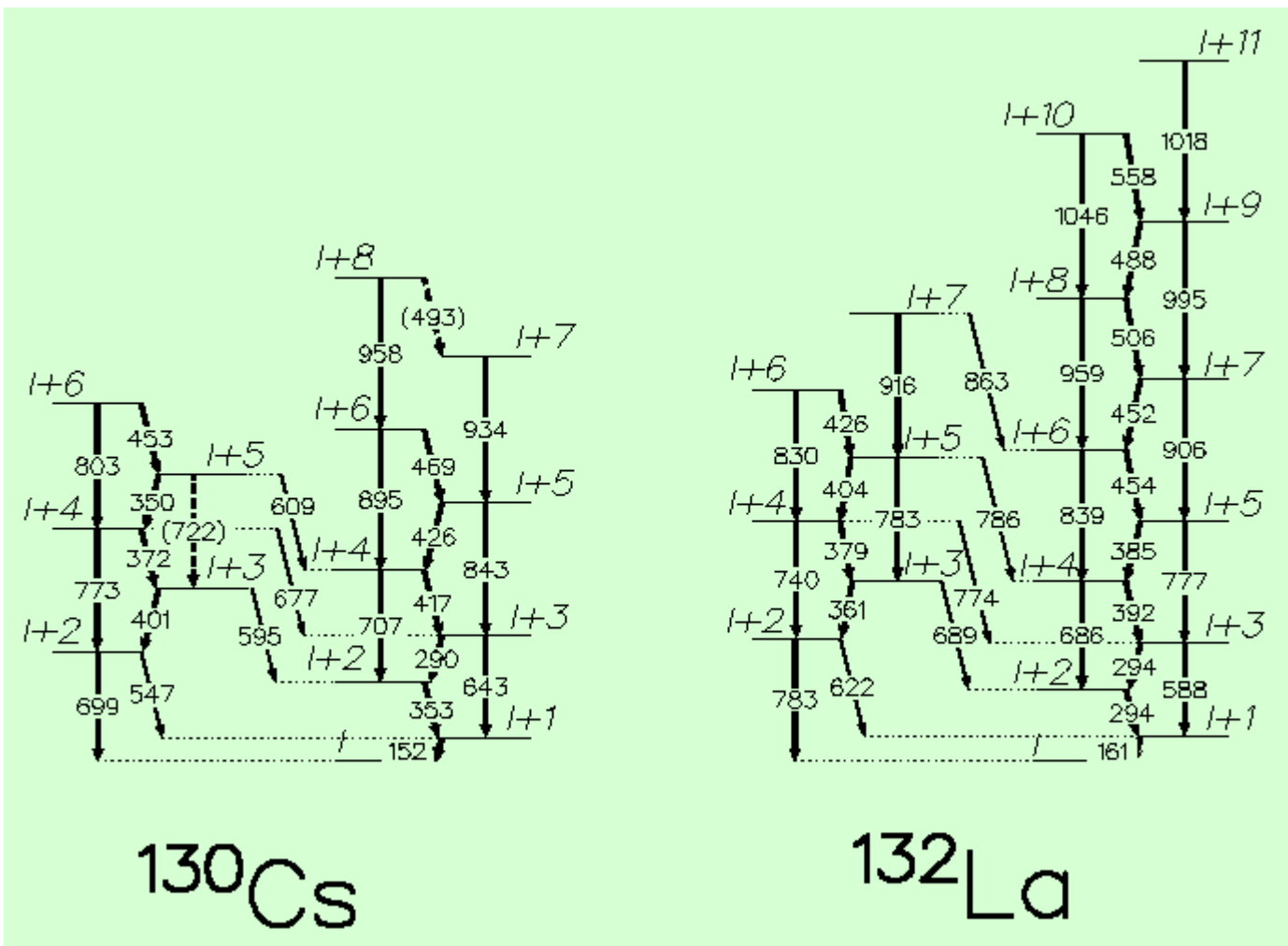


Przewidywane obserwacje eksperymentalne

Występowanie w jednym jądrze dwóch w przybliżeniu zdegenerowanych pasm rotacyjnych: podobne energie, identyczne spiny i parzystości, podobne czasy życia, podobne własności elektromagnetyczne



Zmierzone pasma podejrzewane o chiralność



Symetria chiralna w jądrach atomowych

Lewo- i prawo- skrętnie molekuly zostały odkryte w przyrodzie przez Ludwika Pasteura w połowie XIX w.

W jądrach atomowych:

1. Pierwsze rozważania teoretyczne na temat łamania symetrii chiralnej
Frauendorf, Mang **1997**
2. Identyfikacja chiralnych pasm partnerskich oparta na energii poziomów
2001
3. Sformułowano model CPHC (Core Particle Hole Coupling) zastosowany
do ^{132}La **2002**
4. Pierwsze wyniki pomiarów czasów życia w hipotetycznych pasmach
partnerskich (SLCJ, OSIRIS II, DSA) **2003**
5. Pomiar czasów życia poziomów partnerskich pasm chiralnych w ^{128}Cs
(OSIRIS III) **2004**