

Weryfikacja hipotezy udziału kolektywnych bozonów  
w rozpadzie beta  ${}^{62}\text{Ga} \longrightarrow {}^{62}\text{Ge}$

$$HS\psi_E = SH\psi_E$$

$$[H, S] = 0$$

$\psi_E$  stan własny o energii  $E$

$S\psi_E$  stan własny o energii  $E$

**Wniosek 1 :** operator symetrii miesza stany należące do multipletu  
(stany należące do nieredukowalnej reprezentacji)

**Wniosek 2 :** jeśli nie ma degeneracji, operator symetrii  
przekształca funkcję falową w nią samą.  
Stany własne operatora symetrii

$$\psi_E(x) = e^{i\frac{p}{\hbar}x}$$

$$\begin{aligned} S_a \psi_E(x) &= \psi_E(x+a) = e^{i\frac{p}{\hbar}a} e^{i\frac{p}{\hbar}x} = \varphi e^{i\frac{p}{\hbar}x} \\ &= \varphi \psi_E(x) \end{aligned}$$

PRZYKŁAD: symetria obrotowa

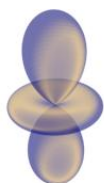
Stany własne ruchu obrotowego – funkcje o określonym spinie

degeneracja

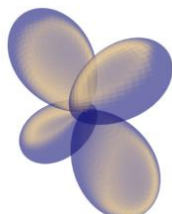
$2l+1$

$$S_{\Omega} \psi_{lM} = \sum_{M'} g_{MM'} \psi_{lM'}$$

stany multipletu zostają zmieszane

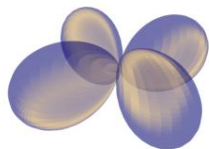


$\psi_{20}$



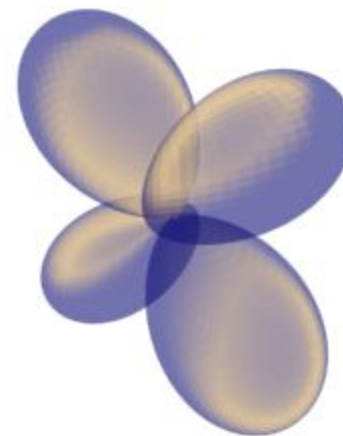
$\psi_{21}$

$\psi_{2-1}$



$\psi_{22}$

$\psi_{2-2}$



Operator symetrii nie łączy różnych multiletów

nie łączy różnych multipletów

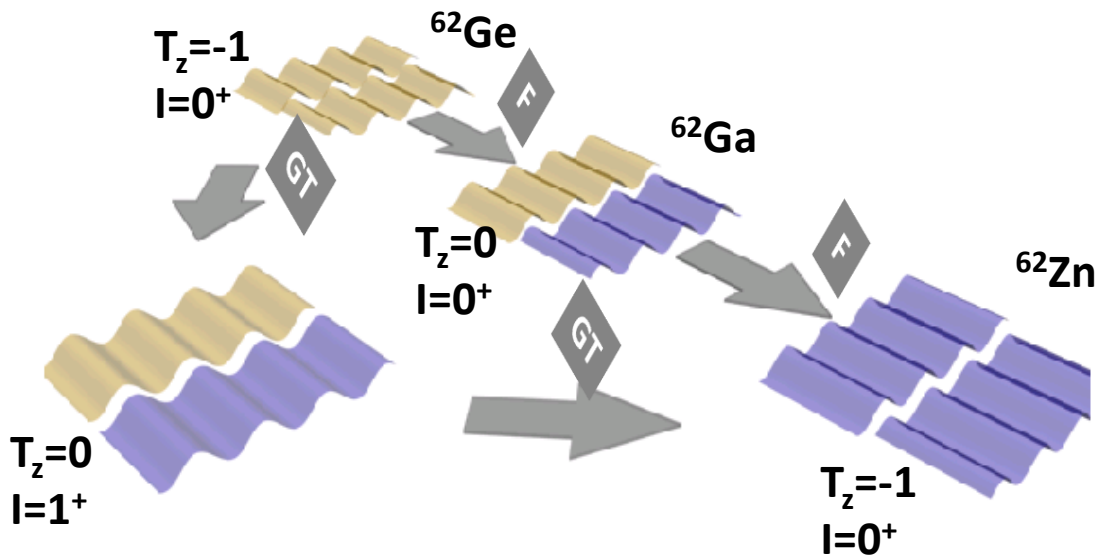
**SYMETRIA SU(4)**

supermultiplet Wignera

operator przejścia Gamowa-Tellera

Generator grupy SU(4)

tzn. łączy stany należące do jednego multipletu



$$\left[ H, \sum_i \vec{\tau}_i \right] = 0$$

$$\left[ H, \sum_i \vec{\sigma}_i \right] = 0$$

$$\left[ H, \sum_i \vec{\tau}_i \vec{\sigma}_i \right] = 0$$

Symetria SU(4) zachowana

Brak rozgałęzień przejść beta, bardzo silne przejścia GT

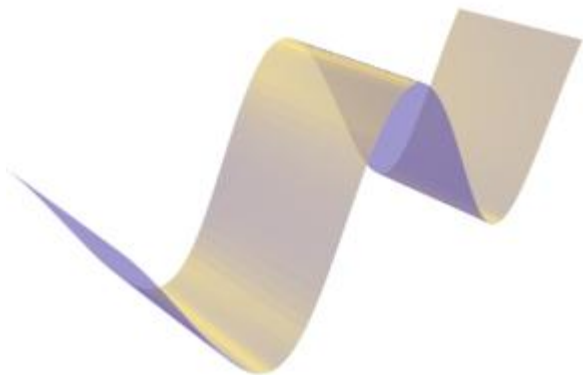
# Naruszenie symetrii

**PRZYKŁAD: naruszenie symetrii translacyjnej**

**Wyróżniona lokalizacja w przestrzeni**

**Funkcja falowa**

**Zlokalizowana przestrzennie**



**Funkcja falowa**

**Kombinacja fal płaskich, szeroki rozkład pędów**

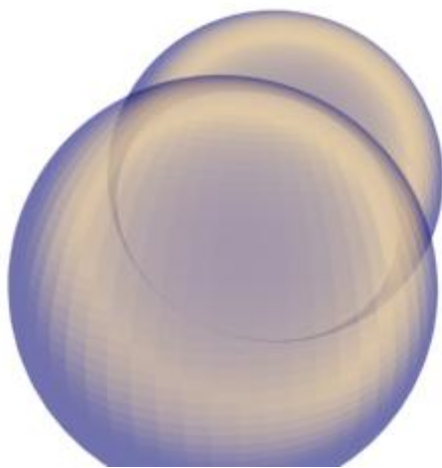
# Naruszenie symetrii

**PRZYKŁAD: naruszenie symetrii obrotowej**

Wyróżniony kierunek w przestrzeni

**Funkcja falowa**

Zlokalizowana w kątach orientacji



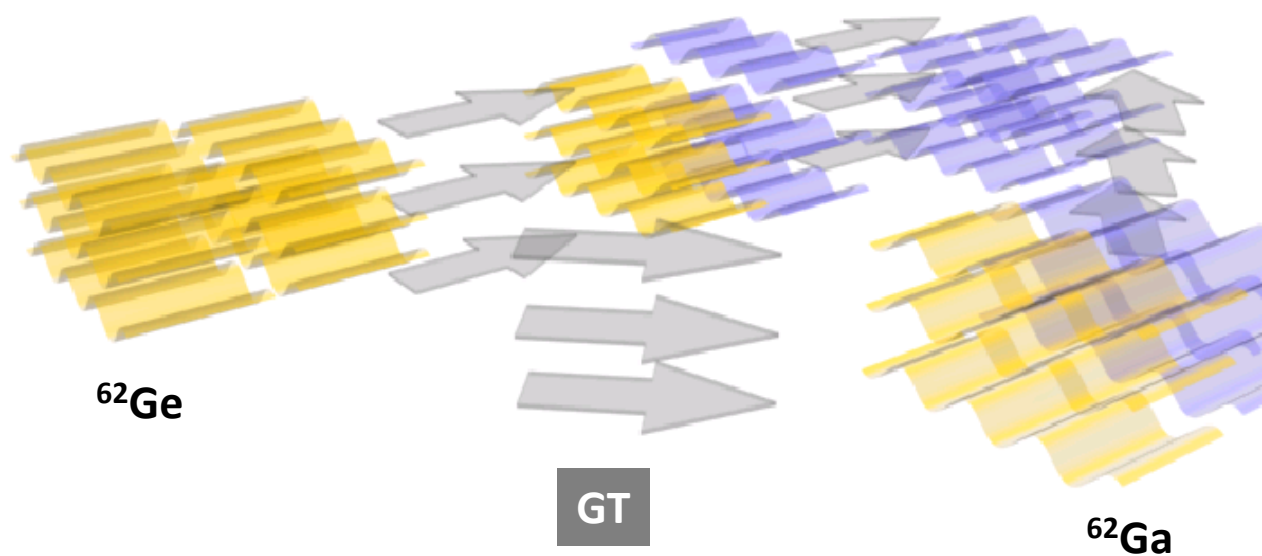
**Funkcja falowa**

Kombinacja  $\psi_1$  - szeroki rozkład spinów

PRZYKŁAD: naruszenie symetrii SU(4)

oddziaływanie coulomba  
oddziaływanie spin – orbita.

Funkcja falowa mieszana



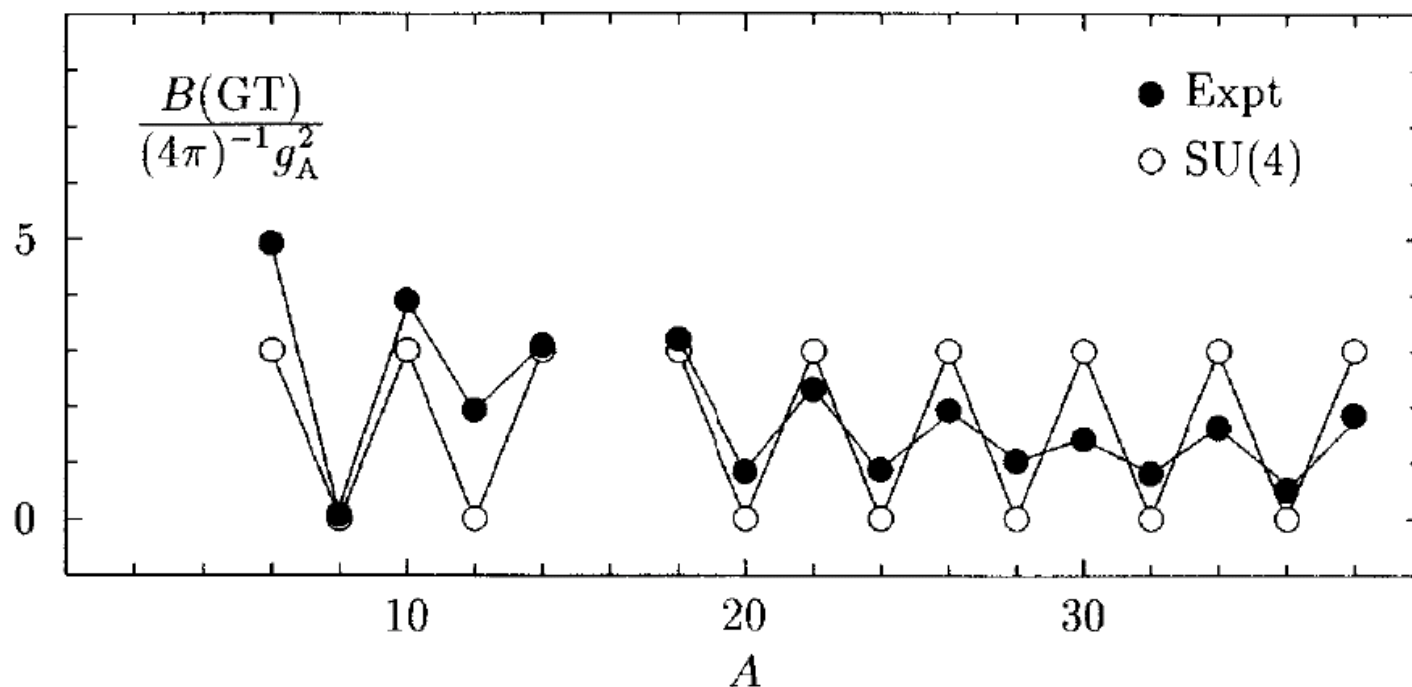


# Naruszenie symetrii

PRZYKŁAD: naruszenie symetrii SU(4)

oddziaływanie coulomba  
oddziaływanie spin – orbita.

*P. Van Isacker, O. Juillet / Nuclear Physics A654 (1999) 739c–742c*



Wniosek:

prawdopodobieństwa przejść GT małe dla jąder o  $A > 40$

# Model oddziaływających bozonów

Model IBM-4

kolektywne bozony mogą stanowić nisko leżące stany wzbudzone

$$b_{\tau\lambda\mu}^+ = \sum_{kk'} c_{\lambda\mu}^{\tau} (j_k m_k j_{k'} m_{k'} | \lambda \mu) a_k^+ a_{k'}^+$$

$$[b_i, b_{i'}^+] = 1$$

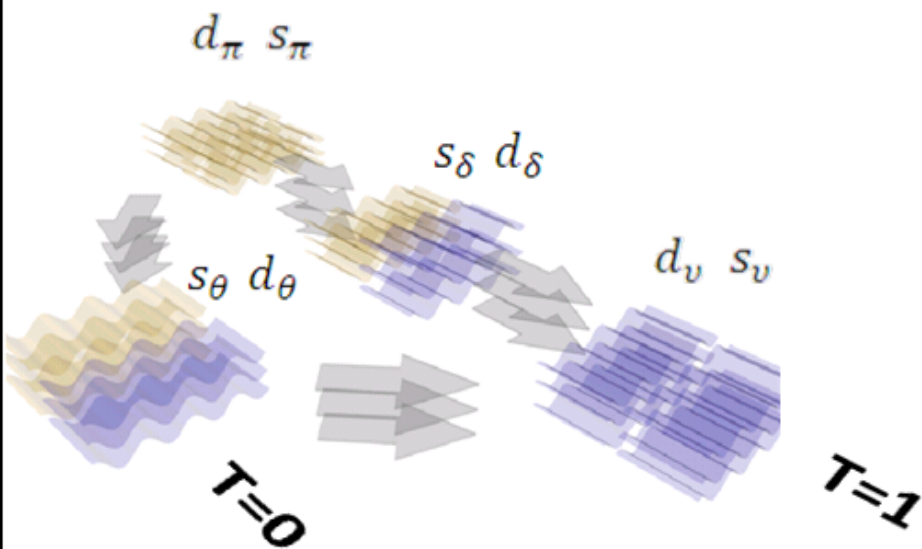
$$\Pi b_{\tau\lambda\mu}^+ \Pi^{-1} = \pi_{\tau\lambda} (-1)^{\lambda} b_{\tau\lambda\mu}^+ \quad \pi_{\tau\lambda} = 1$$

$$T b_{\tau\lambda\mu}^+ T^{-1} = \sigma_{\tau\lambda} (-1)^{\mu} b_{\tau\lambda-\mu}^+ \quad \sigma_{\tau\lambda} = 1$$

$$\lambda = 0, 2$$

$$s^+ = b_{00}^+$$

$$d_{\mu}^+ = b_{2\mu}^+$$



# Model oddziaływających bozonów

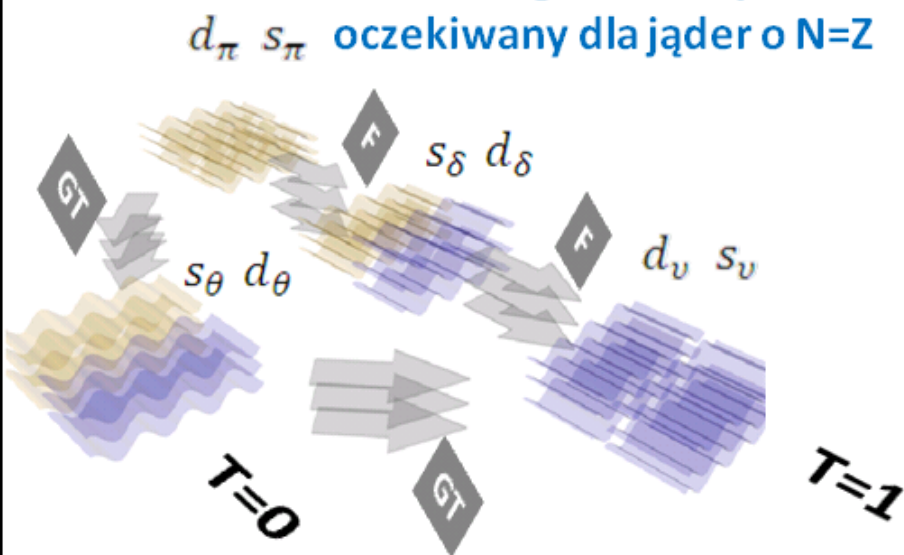
**Model IBM-4** kolektywne bozony mogą stanowić nisko leżące stany wzbudzone

**Wniosek:**

Jeśli nisko leżące stany są bozonowe to prawdopodobieństwa przejść GT będą duże

Cztery rodzaje bozonów stanowią generalizację supermultipletu Wignera

Szczególnie silny efekt oczekiwany dla jąder o  $N=Z$



$$T=1 \quad \begin{pmatrix} \pi \\ \delta \\ \nu \end{pmatrix} \quad \lambda=0,2 \quad S=0 \quad J=0,2$$

$$T=0 \quad \theta \quad \lambda=0,2 \quad S=1 \quad J=1, 2, 3$$

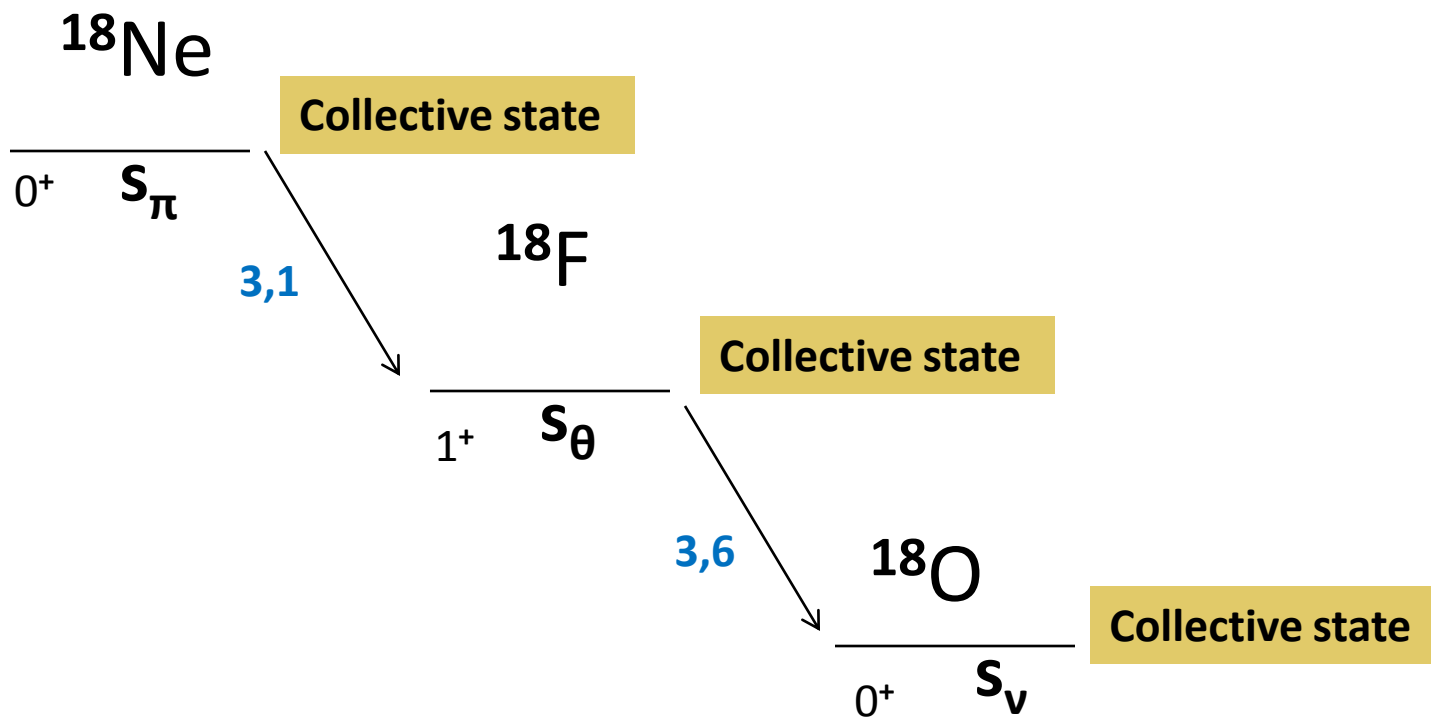
$$\pi \rightarrow \delta \quad \delta \rightarrow \nu$$

Przejście F

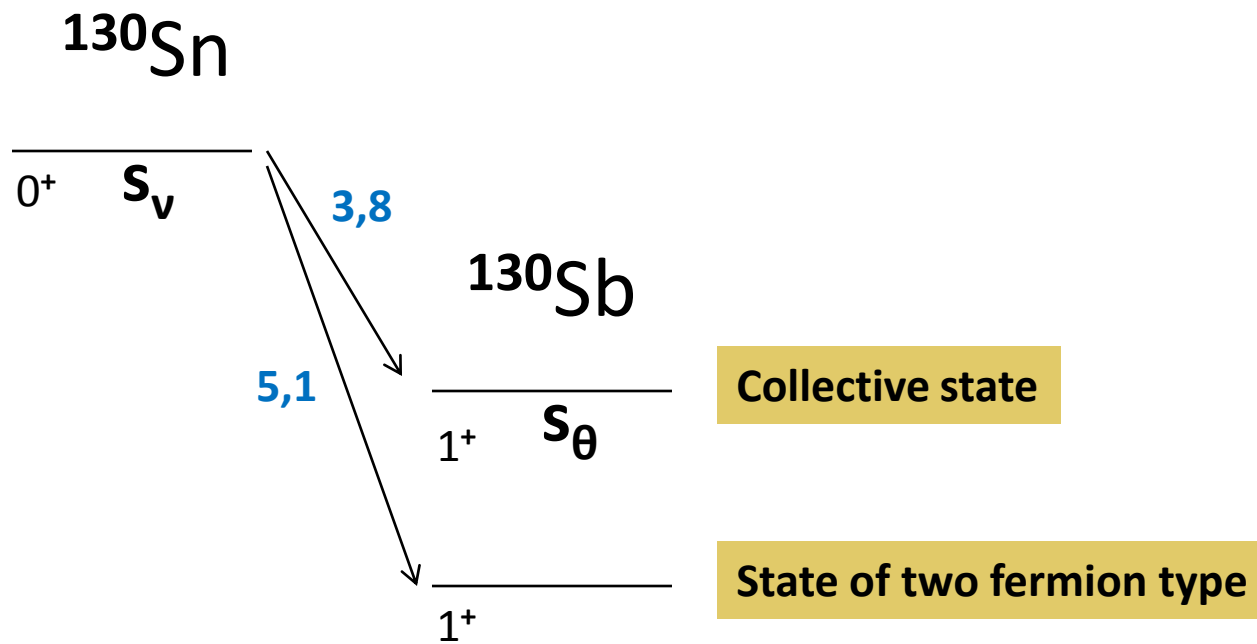
$$\pi \rightarrow \theta \quad \theta \rightarrow \nu$$

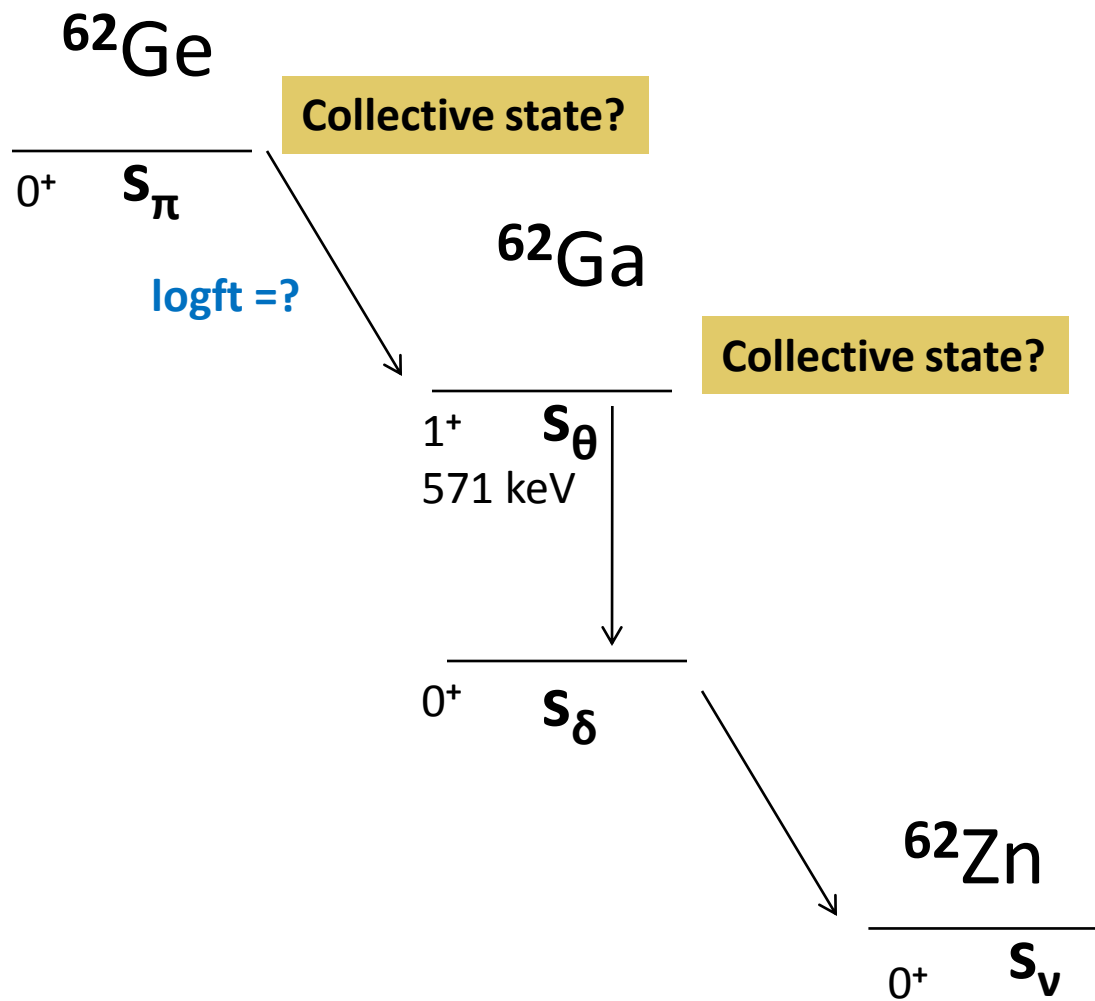
Przejście GT

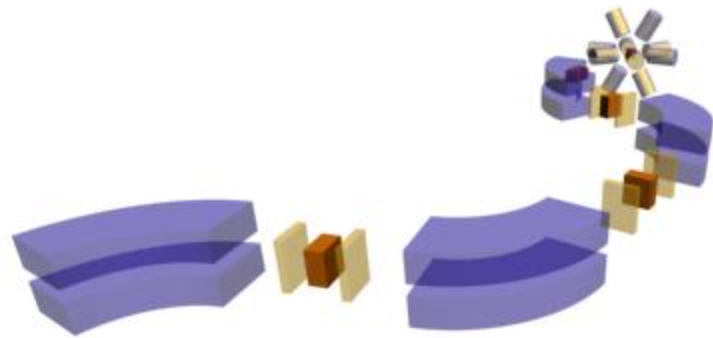
# Model oddziaływujących bozonów



# Model oddziaływających bozonów







**Wiązka pierwotna**

$^{78}\text{Kr}$  750 MeV/u

**tarcza**

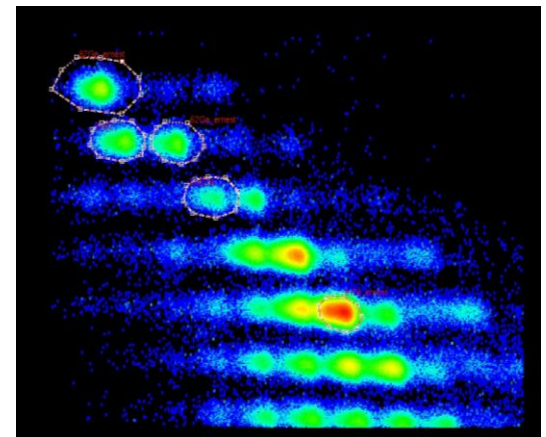
$^9\text{Be}$  4mg/cm<sup>2</sup>

**wiązka wtórna**

$^{62}\text{Ge}$  + inne

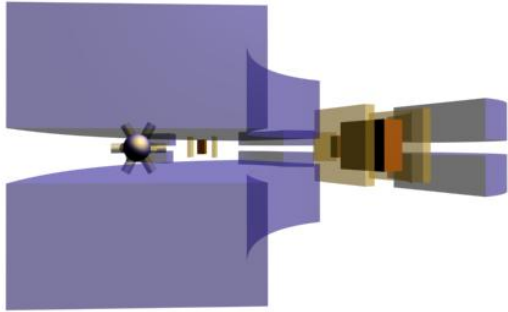
**liczba jąder  $^{62}\text{Ge}$**

25 000



**FRS – Fragment Separator + MUSIC**

A,Z



### Implantacja

Określony segment stopera  
dziedziczy informacje o A i Z  
wyznaczone przez FRS

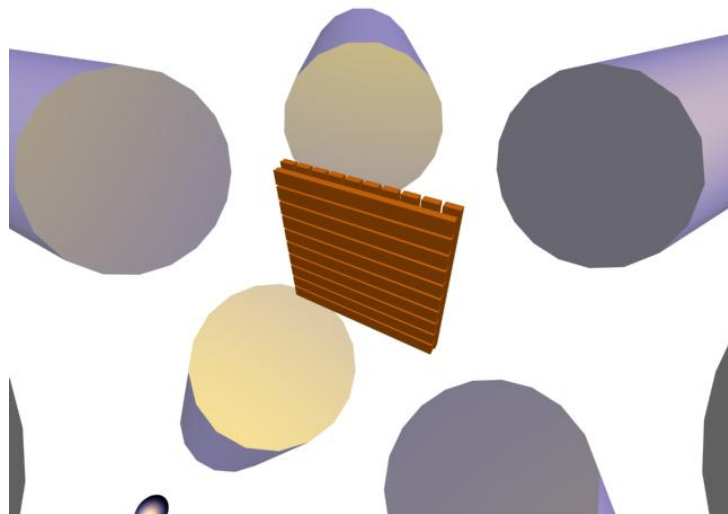
liczba wytworzonych jąder  $^{62}\text{Ge}$

25 000

liczba zastopowanych jąder  $^{62}\text{Ge}$

19 000





## Korelacja przejścia $\beta$ i implantacji

### Implantacja

Określony segment stopera  
dziedziczy informacje o A i Z  
wyznaczone przez FRS

liczba wytworzonych jąder  $^{62}\text{Ge}$

25 000

liczba zastopowanych jąder  $^{62}\text{Ge}$

19 000

### Detekcja przejścia $\beta$

Rejestracja energii  
emitowanego elektronu

Zarejestrowano rozpad beta w danym  
segmentcie, to:

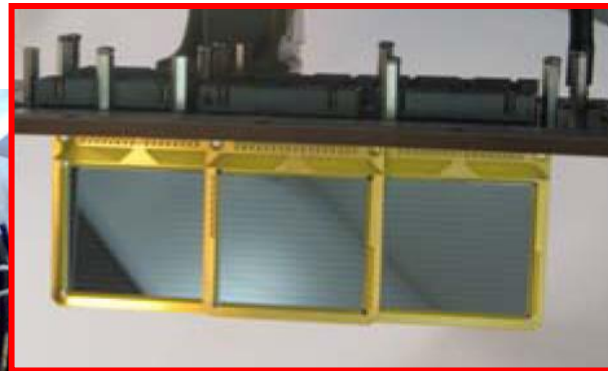
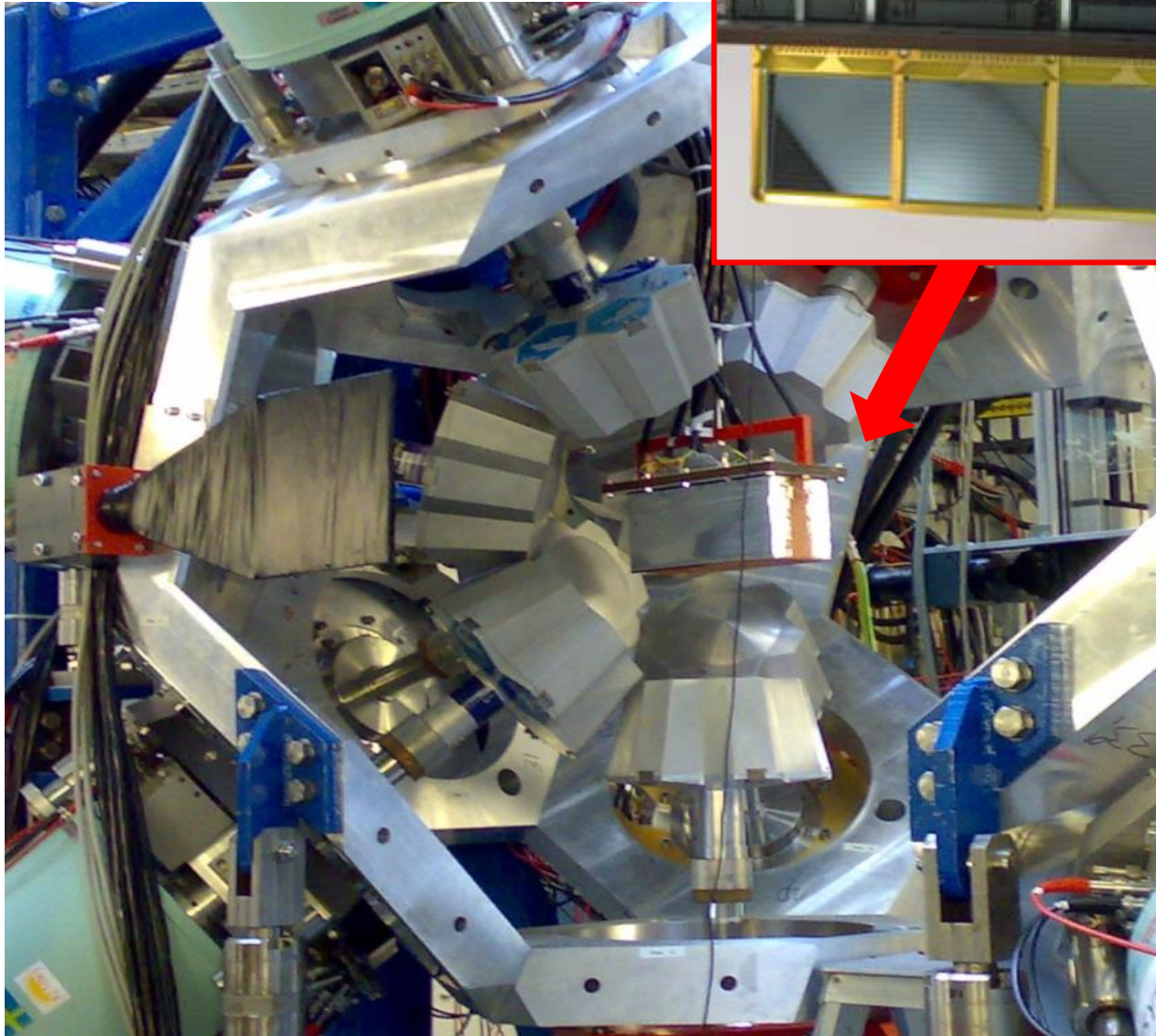
-Czy w tym samym segmentcie była implantacja?

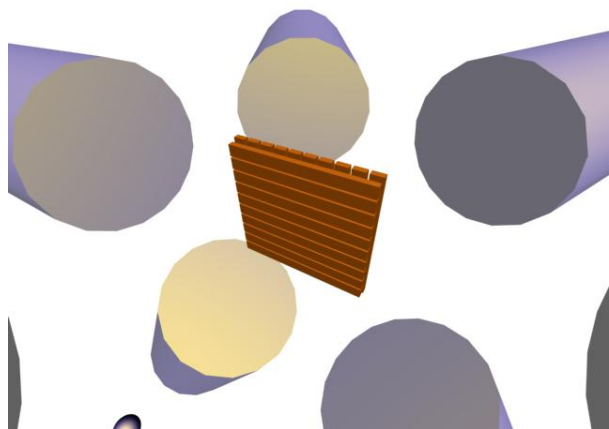
Tak. Jądro A,Z, czas implantacji  $t=0$

czas rozpadu  $t_\beta$

-Czy  $t_\beta$  ma rozsądną wartość tzn. czy mieści się w  
bramce czasowej (ustalanej podczas sortu)?

Tak. A,Z,  $t_\beta$  są zapamiętywane





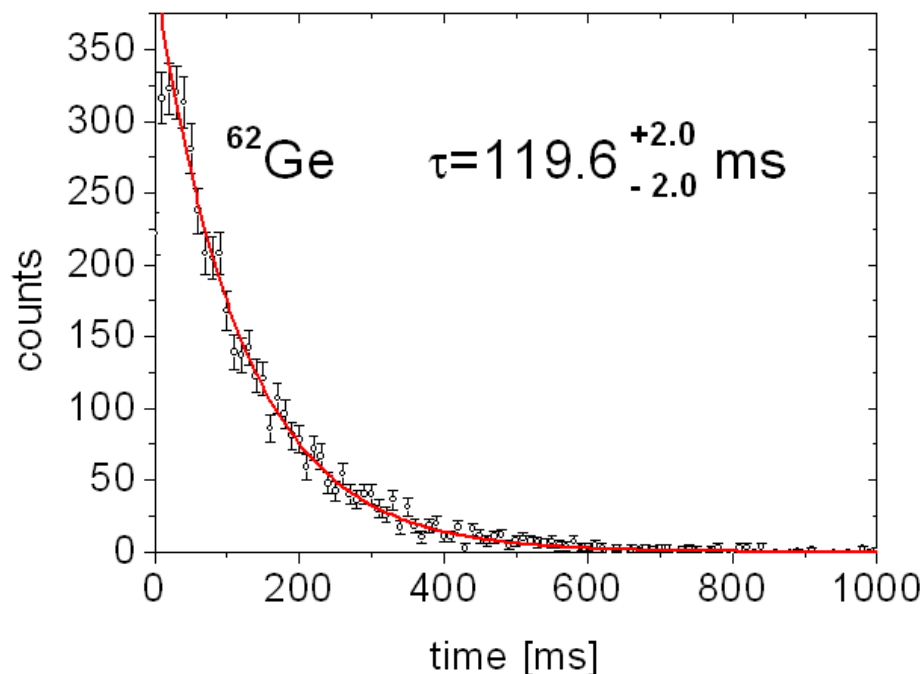
-zidentyfikowano jądra  $^{62}\text{Ge}$

-Implantacja w aktywnym stoperze

-Rozpad beta  $^{62}\text{Ge} \rightarrow ^{62}\text{Ga}$

-Pomiar aktywności beta  $\rightarrow$  czas życia  $^{62}\text{Ge}$

**problem** rozpad beta sekwencyjny  
 $^{62}\text{Ge} \rightarrow ^{62}\text{Ga} \rightarrow ^{62}\text{Zn}$   
 $T_{1/2} ^{62}\text{Ga}$  porównywalny z  $T_{1/2} ^{62}\text{Ge}$   
skomplikowane widmo aktywności  
równania Batemana.



## rozwiązanie

wykorzystano sekwencyjny rozpad



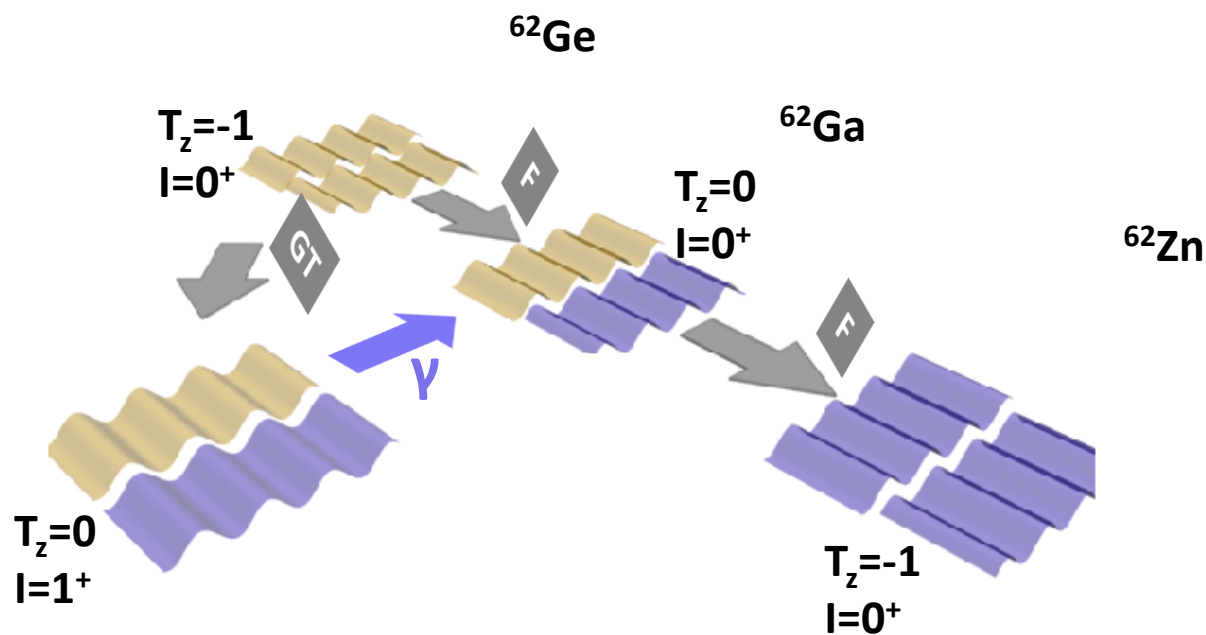
W milisekundowym oknie jedynie  $^{62}\text{Ge}$  ma sekwencyjny rozpad.

Czas pierwszego rozpadu ( $^{62}\text{Ge}$ ) zapisywany pod warunkiem rejestracji drugiego rozpadu ( $^{62}\text{Ga}$ ) w tym samym segmencie aktywnego stopera.

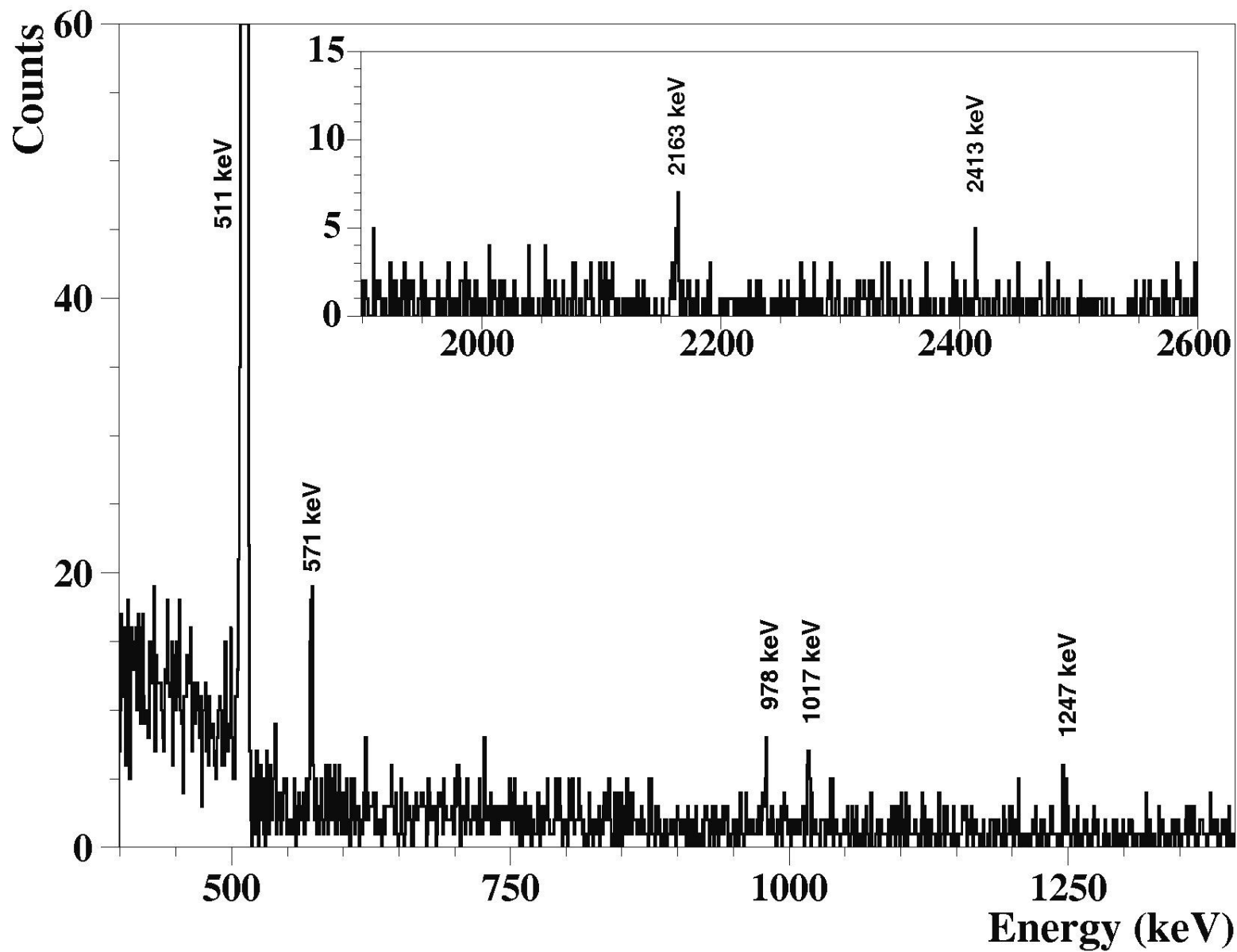
Wynik: czyste widmo aktywności pochodzące od pierwszego rozpadu.  
Eksponencjalny zanik  $^{62}\text{Ge}$ .

Do czego posłużył RISING?

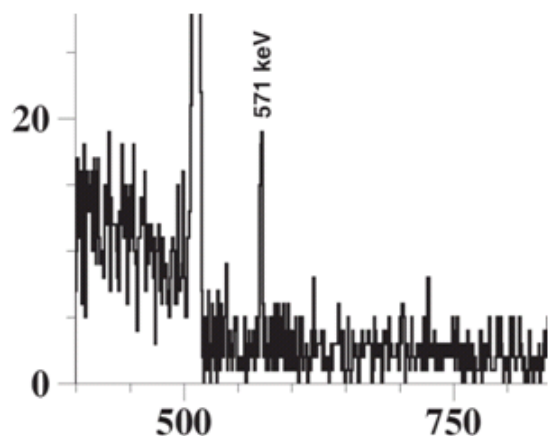
Przejścia gamma w  $^{62}\text{Ga}$  pozwalają odróżnić rozpad GT od F



# Pomiar B(GT), FRS, RISING, active stopper



# Pomiar B(GT), FRS, RISING, active stopper



Brak linii gamma o znanym współczynniku rozgałęzienia, celem wyznaczenia współczynnika rozgałęzienia dla przejścia GT  $^{62}\text{Ge } 0^+ \rightarrow 1^+ ^{62}\text{Ga}$

Rozwiązanie: współczynnik rozgałęzienia należy znaleźć wykorzystując absolutne wydajności wszystkich elementów detekcyjnych układu eksperymentalnego.

$$N_\gamma = N_{FRS} \cdot \epsilon_{sur} \cdot [N_\beta^{62\text{Ge}}(t)] \cdot Br \cdot \epsilon_{ger}(E_\gamma)$$

liczba jąder  $^{62}\text{Ge}$   
opuszczających FRS

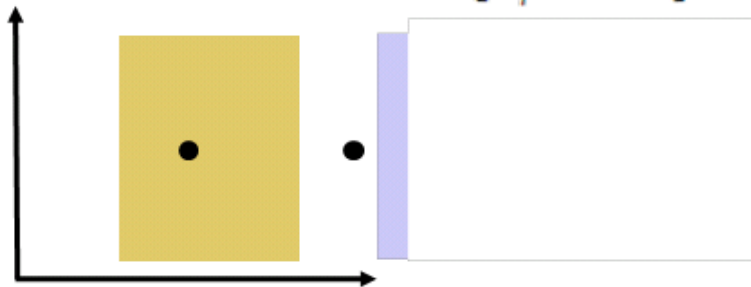
prawdopodobieństwo  
przeżycia implantacji

liczba zarejestrowanych  
rozpadów  $\beta$   $^{62}\text{Ge}$   
w czasie t po implantacji

współczynnik  
rozgałęzienia GT

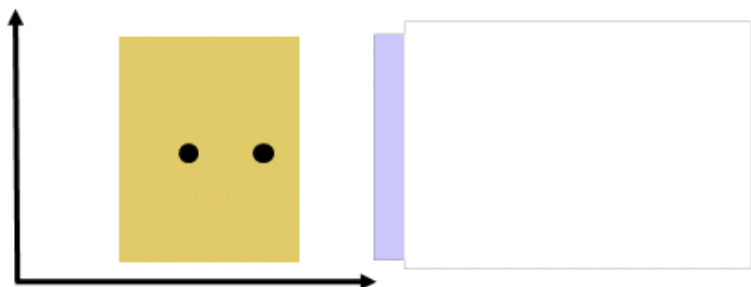
Wydajność  
Rejestracji  $\gamma$

$$\cdot [N_{\beta}^{62Ge}(t)] = [\epsilon_{sil}A_1(t) + \epsilon_{sil}(1 - \epsilon_{sil})A_2(t) + \epsilon_{sil}^2A_2(t)]$$



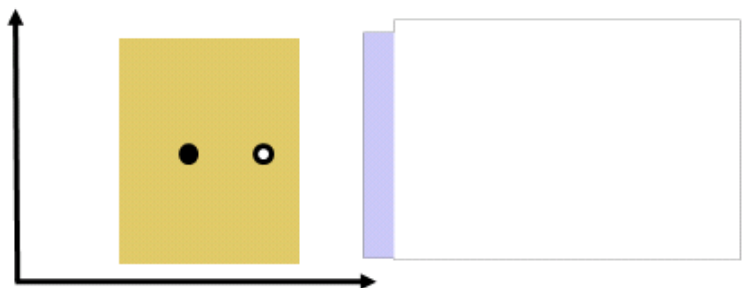
$$N_{FRS} \cdot \epsilon_{sil}A_1(t)$$

Liczba zdarzeń, w których nastąpił pierwszy rozpad beta z sekwencji w bramce czasowej i został zarejestrowany z wydajnością  $\epsilon_{sil}$



$$N_{FRS} \cdot \epsilon_{sil}^2A_2(t)$$

Liczba zdarzeń, w których dwa rozpady w sekwencji nastąpiły w bramce czasowej. Obydwa zarejestrowane z wydajnością  $\epsilon_{sil}$



$$N_{FRS} \cdot \epsilon_{sil}(1 - \epsilon_{sil})A_2(t)$$

Liczba zdarzeń, w których dwa rozpady nastąpiły w bramce czasowej lecz tylko jeden jest zarejestrowany z wydajnością  $\epsilon_{sil}$

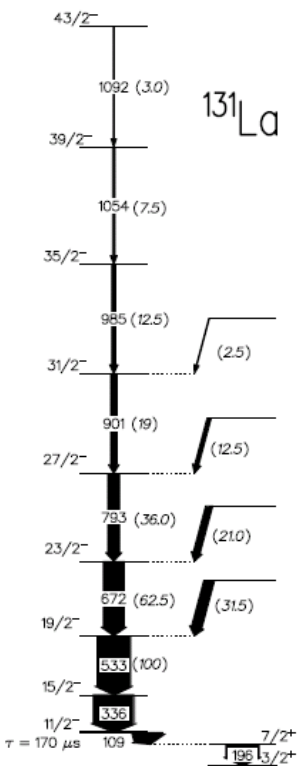


# Pomiar B(GT), FRS, RISING, active stopper

The European Physical Journal A

2) For long cascades, the calculation of lineshape as a superposition of many components leads to a large error, which drastically increases if the values of the  $\tau_i$  inside cascade are almost equal. In this case the probability that decay occurs in the  $t, t + dt$  interval is described by the law

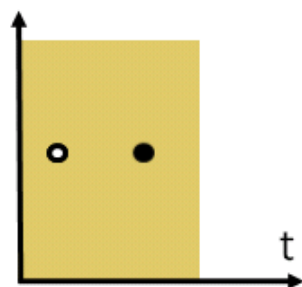
```
value2=value1/(RAND_MAX-1);  
if(k<1)  
{  
    decay_time[k]=lifetimes[k]*log(1.0/value2);  
    cout<<k+1<<" "<<decay_time[k]<<" ";  
}  
else  
{  
    decay_time[k]=decay_time[k-1]+lifetimes[k]*log(1.0/value2);  
    cout<<k+1<<" "<<decay_time[k]<<" ";  
}
```



# Pomiar B(GT), FRS, RISING, active stopper

$$N_{\gamma} = N_{FRS} \cdot \epsilon_{sur} [\epsilon_{sil} + \epsilon_{sil}(1 - \epsilon_{sil}) + \epsilon_{sil}^2] \cdot Br$$

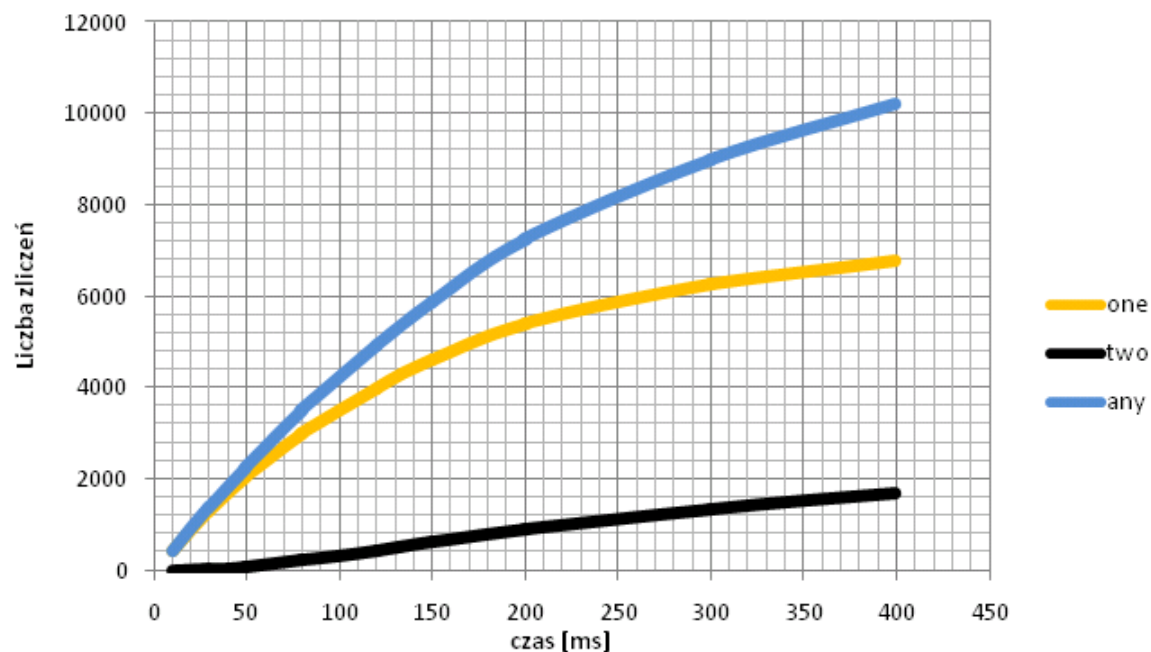
Do określenia pozostałych współczynników wydajności wykorzystano liczbę zliczeń rozpadów beta o różnych krotnościach



$$N_{\beta}^{one} = N_{FRS} \cdot \epsilon_{sur} \cdot [\epsilon_{sil} A_1(t) + 2\epsilon_{sil}(1 - \epsilon_{sil}) A_2(t)]$$

$$N_{\beta}^{two} = N_{FRS} \cdot \epsilon_{sur} \cdot [\epsilon_{sil}^2 A_2(t)]$$

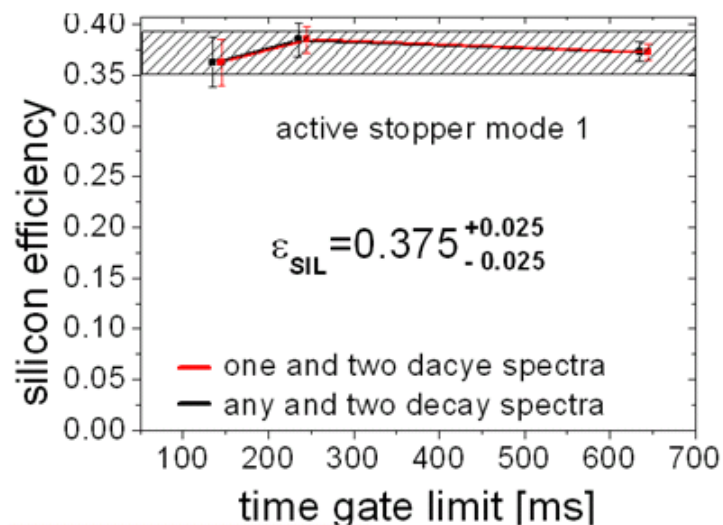
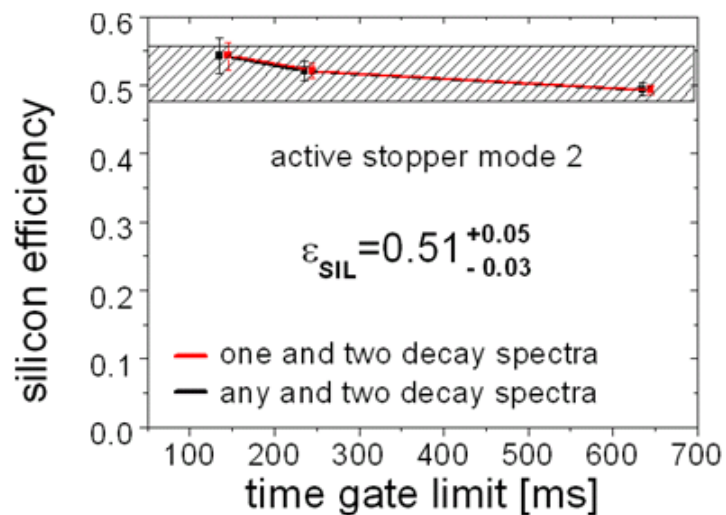
$$N_{\beta}^{any} = N_{FRS} \cdot \epsilon_{sur} \cdot [\epsilon_{sil} A_1(t) + 2\epsilon_{sil} A_2(t)]$$



# Pomiar B(GT), FRS, RISING, active stopper

$$\frac{N_{\beta}^{one}}{N_{\beta}^{two}} = \frac{[A_1(t) + 2(1 - \epsilon_{sil})A_2(t)]}{[\epsilon_{sil}A_2(t)]}$$

$$\frac{N_{\beta}^{any}}{N_{\beta}^{two}} = \frac{[A_1(t) + 2A_2(t)]}{[\epsilon_{sil}A_2(t)]}$$

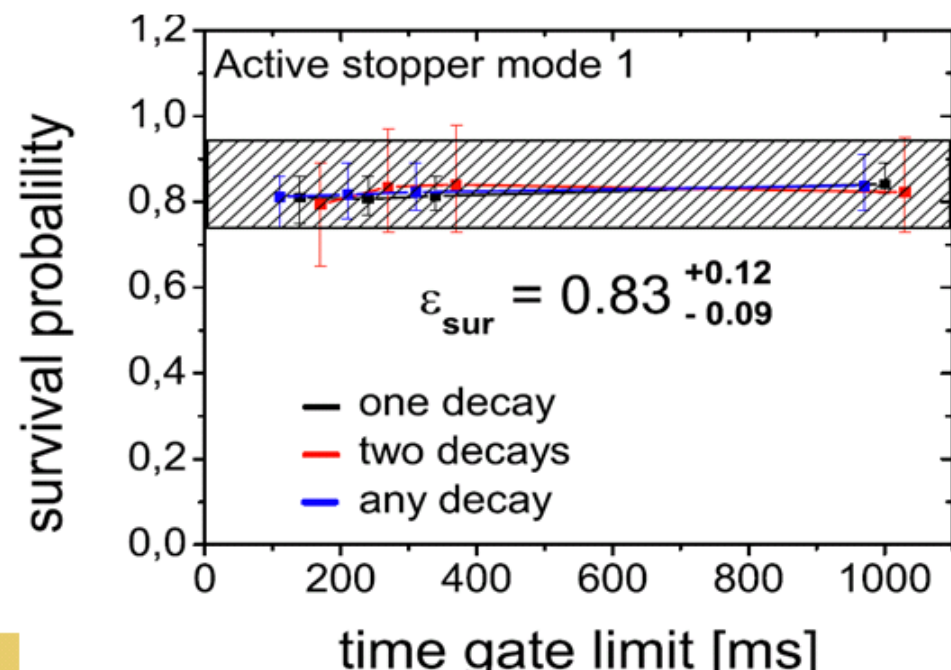
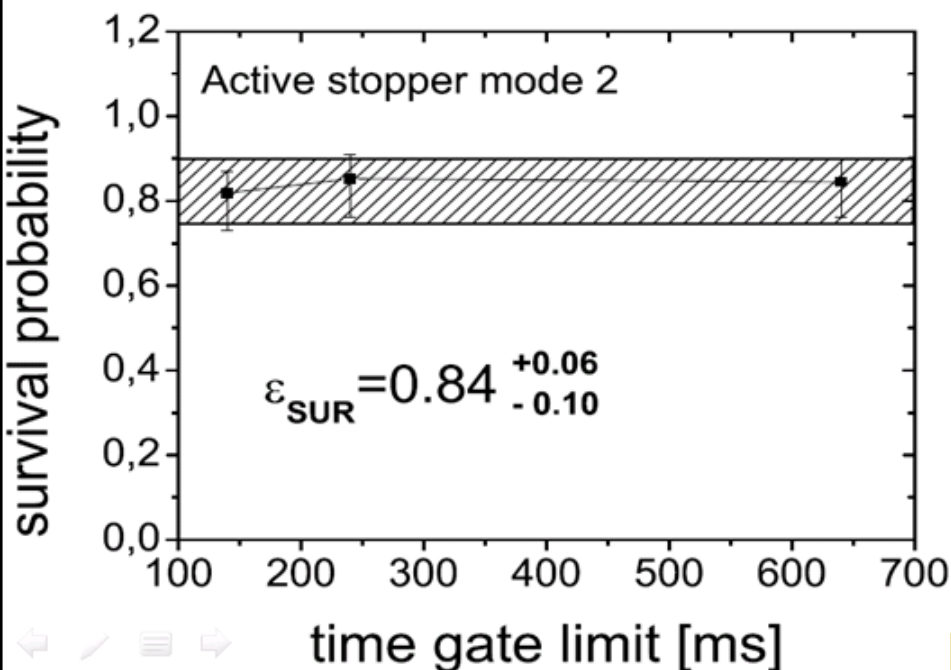


# Pomiar B(GT), FRS, RISING, active stopper

$$\frac{N_{\beta}^{one}}{N_{FRS} \cdot \epsilon_{sil} \cdot [A_1(t) + 2(1 - \epsilon_{sil})A_2(t)]} = \epsilon_{sur}$$

$$\frac{N_{\beta}^{two}}{N_{FRS} \cdot \epsilon_{sil} \cdot [\epsilon_{sil}A_2(t)]} = \epsilon_{sur}$$

$$\frac{N_{\beta}^{any}}{N_{FRS} \cdot \epsilon_{sil} \cdot [A_1(t) + 2A_2(t)]} = \epsilon_{sur}$$



$$N_\gamma = N_{FRS} \cdot \epsilon_{sur} \cdot [\epsilon_{sil} A_1(t) + \epsilon_{sil}(1 - \epsilon_{sil}) A_2(t) + \epsilon_{sil}^2 A_2(t)] \cdot \epsilon_{ger}(E_\gamma) \cdot Br$$

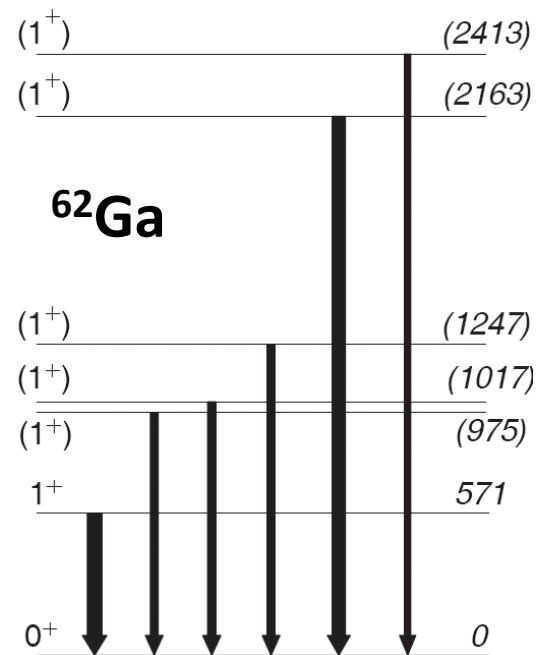
Table 1: Experimental results for  $^{62}\text{Ge} \rightarrow ^{62}\text{Ga}$  Gamov-Teller transitions

final state $E_\gamma$ [keV]	$I^\pi$	branch intensity [%]	log ft	B(GT)
571	$1^+$	$3.9^{+0.8}_{-0.6}$	$4.75 \pm 0.15$	$0.070^{+0.017}_{-0.017}$
978	$(1^+)$	$2.1^{+0.7}_{-0.6}$	$4.91 \pm 0.15$	$0.050^{+0.015}_{-0.017}$
1017	$(1^+)$	$2.2^{+0.8}_{-0.6}$	$4.88 \pm 0.15$	$0.054^{+0.013}_{-0.019}$
1247	$(1^+)$	$2.1^{+0.9}_{-0.7}$	$4.84 \pm 0.13$	$0.059^{+0.016}_{-0.022}$
2163	$(1^+)$	$3.5^{+0.9}_{-1.0}$	$4.36 \pm 0.17$	$0.174^{+0.048}_{-0.052}$
2413	$(1^+)$	$1.8^{+0.8}_{-0.7}$	$4.54 \pm 0.17$	$0.12^{+0.03}_{-0.05}$

**Podsumowanie:** Wyznaczono średni czas życia  $^{62}\text{Ga}$ ,  $\tau=119.6 \pm 2.0$  ms

Wstępnie zidentyfikowano 6 poziomów wzbudzonych  $1^+$  jądra  $^{62}\text{Ga}$  (5 nowych).

Hipoteza udziału kolektywnych bozonów  
w przemianie  $\beta$  nie potwierdzona



## Lista uczestników:

- 
- E. Grodner INFN-LNL, Italy and NPD Warsaw
  - A. Gadea INFN-LNL, Italy and IFIC-Valencia, Spain
  - R. Orlandi INFN-LNL, Italy
  - J.J. Valiente INFN-LNL, Italy
  
  - A. Algora IFIC-Valencia, Spain
  - J. Agramunt IFIC-Valencia, Spain
  - F. Molina IFIC-Valencia, Spain
  - B. Rubio IFIC-Valencia, Spain
  
  - D. Bazzacco INFN-Sezione di Padova, Italy
  - E. Farnea INFN-Padova
  - D. Mengoni INFN-Padova
  
  - G. Benzoni INFN-Sezione di Milano, Italy
  - A. Bracco INFN-Sezione di Milano, Italy
  - F. Crespi INFN-Sezione di Milano, Italy
  - S. Leoni INFN-Sezione di Milano, Italy
  - O. Wieland INFN-Sezione di Milano, Italy
  
  - P. Boutachkov GSI
  - L. Caceres GSI
  - P. Doornenbal GSI
  - J. Gerl GSI
  - M. Gorska GSI
  - N. Kurz GSI
  - S. Pietri University of Surrey / GSI
  - H.J. Wollersheim GSI
  
  - L. Amon Department of Physics, University of Istanbul, Istanbul, Turkey
  - E. Banioglu Department of Physics, University of Istanbul, Istanbul, Turkey
  - R. Burcu-Gakirli Department of Physics, University of Istanbul, Turkey
  - Y. Okten Department of Physics, University of Istanbul, Istanbul, Turkey

## Lista uczestników część II:

J. Benlliure      Universidad de Santiago de Compostela, Spain  
A. Morales      Universidad de Santiago de Compostela, Spain  
S.Verma      Universidad de Santiago de Compostela, Spain  
D. Perez      Universidad de Santiago de Compostela, Spain

Sz. Podolyak      Department of Physics, University of Surrey, UK  
P. Regan      Department of Physics, University of Surrey, UK  
W. Gelletly      University of Surrey, UK

R. Page      Department of Physics, University of Liverpool, U.K.  
S. Rinta-Antila      Department of Physics, University of Liverpool UK

B. S. Nara Singh      Department of Physics, University of York, UK  
A. N. Steer      Department of Physics, University of York, UK  
R. Wadsworth      Department of Physics, University of York, UK

J. Grebosz      IFJ PAN, Krakow  
L. Bianco,      University of Camerino, Italy.