

„Młodości, Ty nad poziomy wylatuj!  
Spojrzenie młodych na fizykę jądrową”  
**Michał Ciemała**



II Otwarte Zebranie Sekcji Fizyki Jądrowej Polskiego  
Towarzystwa Fizycznego  
27.X.2023

# Jak zaczęła się przygoda z eksperymentalną fizyką jądrową?

- ▶ Studia na Wydziale Fizyki i Techniki Jądrowej AGH, specjalizacja fizyka jądrowa, 2003-2008.
- ▶ Praktyki studenckie w IFJ PAN
- ▶ Praca inżynierska dotycząca symulacji (GEANT4) odpowiedzi detektora na promieniowanie gamma
- ▶ Praca magisterska powstała w oparciu o pomiary odpowiedzi detektora LaBr<sub>3</sub>:Ce na promieniowanie gamma o wysokiej energii (do 17.6 MeV)

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 608 (2009) 76–79



## Measurements of high-energy $\gamma$ -rays with LaBr<sub>3</sub> : Ce detectors

M. Ciemała<sup>a,\*</sup>, D. Balabanski<sup>b</sup>, M. Csatlós<sup>c</sup>, J.M. Daugas<sup>d</sup>, G. Georgiev<sup>e</sup>, J. Gulyás<sup>c</sup>, M. Kmiecik<sup>a</sup>, A. Krasznahorkay<sup>c</sup>, S. Lalkovski<sup>f</sup>, A. Lefebvre-Schuhl<sup>e</sup>, R. Lozeva<sup>g</sup>, A. Maj<sup>a</sup>, A. Vitez<sup>c</sup>

<sup>a</sup> The Niewodniczański Institute of Nuclear Physics, Polish Academy of Sciences, ul. Radzikowskiego 152, 31-342 Kraków, Poland

<sup>b</sup> INRNE, Bulgarian Academy of Sciences, BG-1784 Sofia, Bulgaria

<sup>c</sup> Institute of Nuclear Research of the Hungarian Academy of Sciences (ATOMKI), P.O. Box 51, H-4001 Debrecen, Hungary

<sup>d</sup> CEA, DAM, DIF, F-91297 Arpajon Cedex, France

<sup>e</sup> Centre de Spectrométrie Nucléaire et de Spectrométrie de Masse (CSNSM), IN2P3-CNRS and Université Paris-Sud, Bât 104-108, F-91405 Orsay Cedex, France

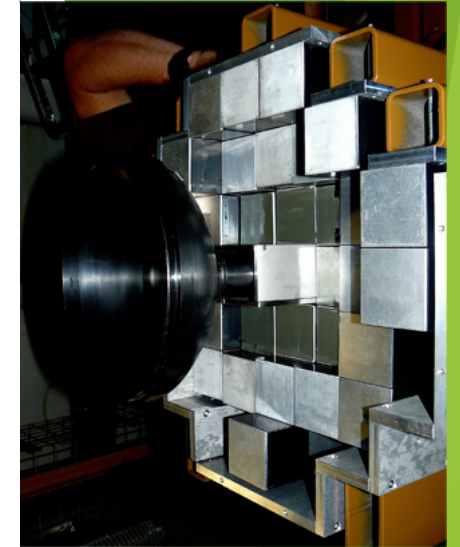
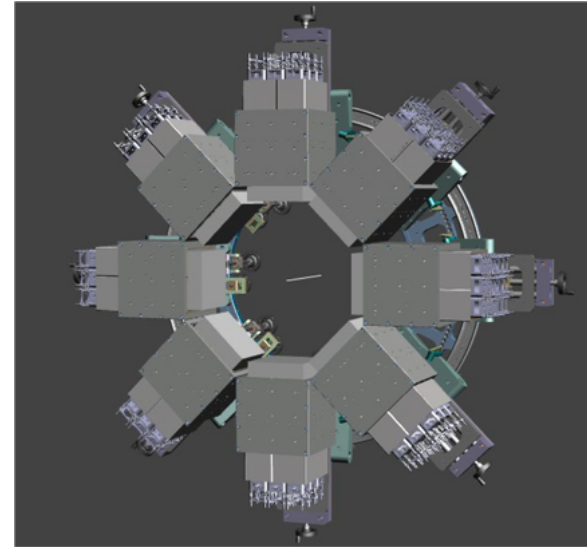
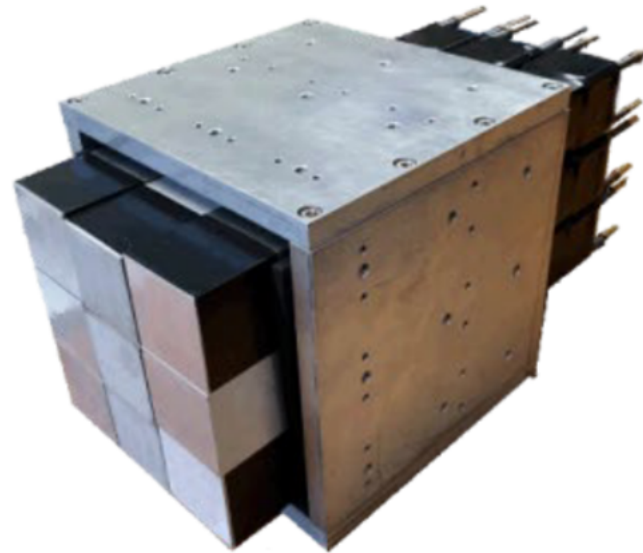
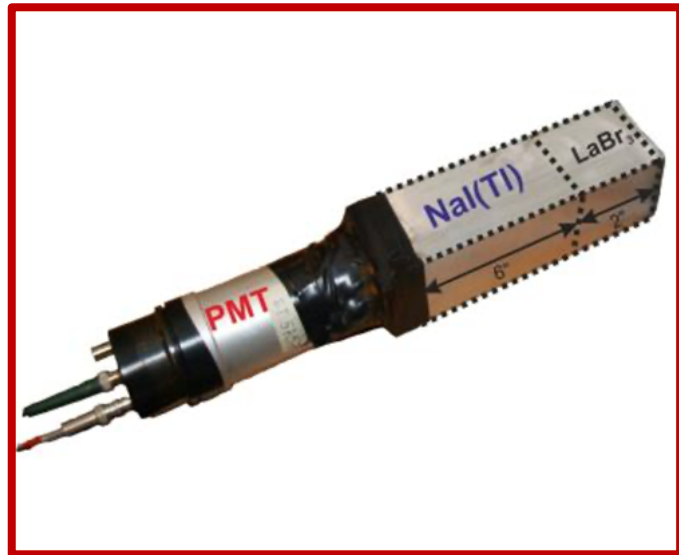
<sup>f</sup> Faculty of Physics, University of Sofia, BG-1164, Bulgaria

<sup>g</sup> Instituut voor Kernfysische Stralingsfysica (IKS), Katholieke Universiteit Leuven, B-3001 Leuven, Belgium



PARIS

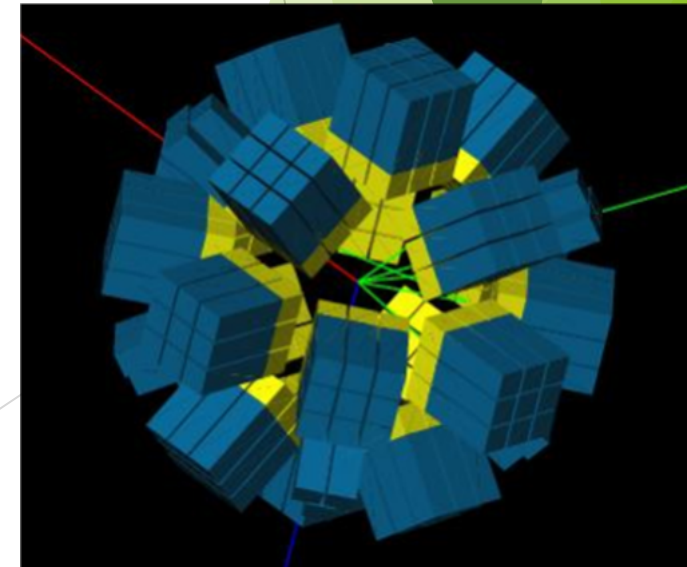
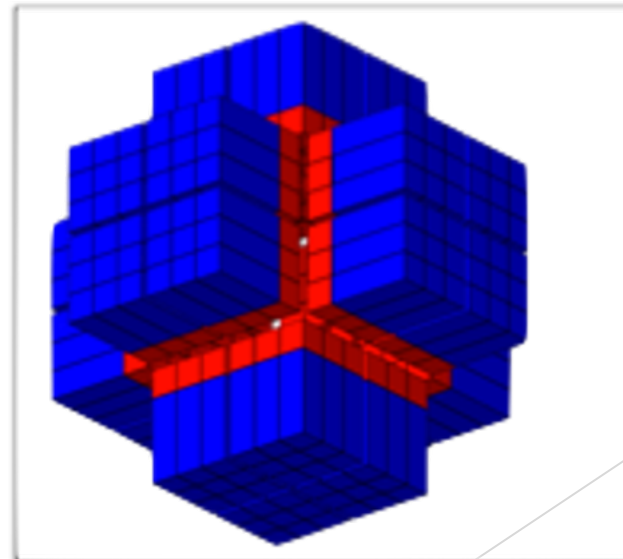
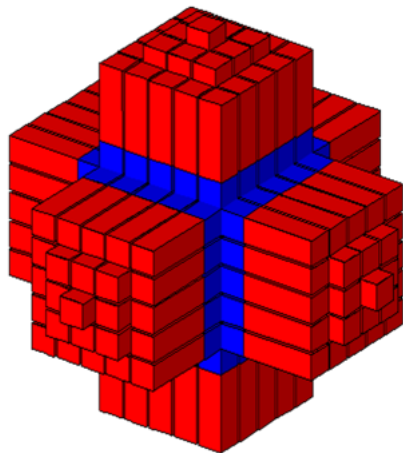
# PHOTON ARRAY FOR STUDIES WITH RADIOACTIVE ION AND STABLE BEAMS



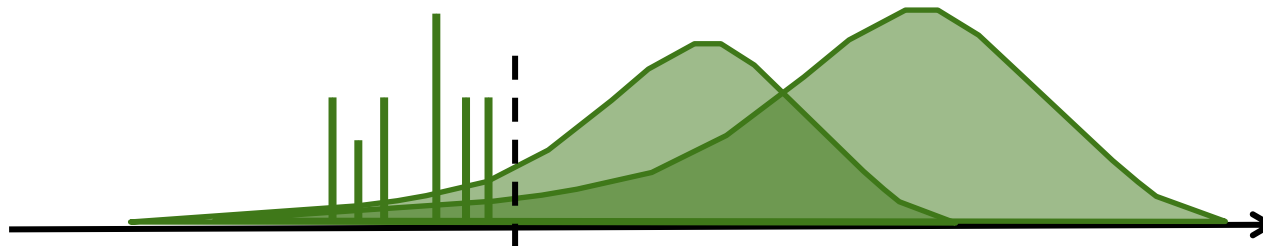
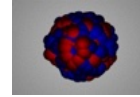
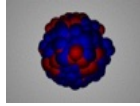
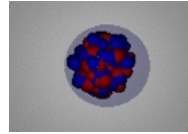
## Projekt PARIS:

symulacje komputerowe,  
Generatory przypadków  
Monte Carlo,  
Systemy zbierania danych,  
Analiza danych...

Kampanie eksperymentalne  
GANIL, IJCLab (Francja),  
CCB (Polska)



# Wzbudzenia kolektywne



Pygmy Dipole Resonance **PDR**  $B_n$

tylko niewielki procent nukleonów bierze udział we wzbudzeniu

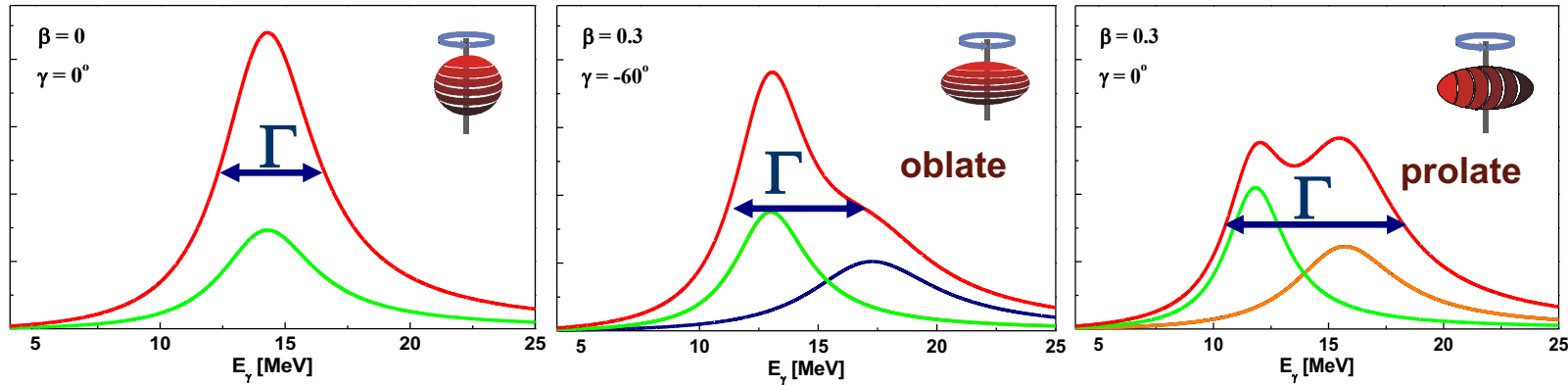
**ISGQR**  
(Isoscalar  
Giant  
Quadrupole  
Resonance)  
- **GQR**

**IVGDR**  
(Isovector  
Giant Dipole  
Resonance)  
- **GDR**

$E^*$

**Gigantyczne rezonanse** - oscylacje protonów oraz neutronów, prawie wszystkie nukleony biorą udział we wzbudzeniu

# Deformacja jądra - GDR



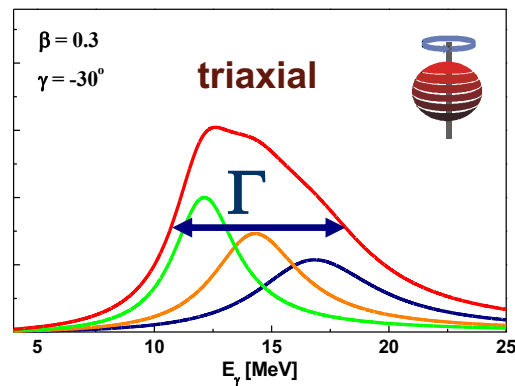
$$E_k \approx E_0 \exp\left[-\sqrt{\frac{5}{4\pi}}\beta \cos\left(\gamma - \frac{2\pi k}{3}\right)\right]$$

$$E_0 \approx 18A^{\frac{1}{3}} \approx 25A^{\frac{1}{6}}$$

$$Y(E_\gamma) \approx Y_1(E_\gamma) \approx Y_2(E_\gamma) \approx Y_3(E_\gamma)$$

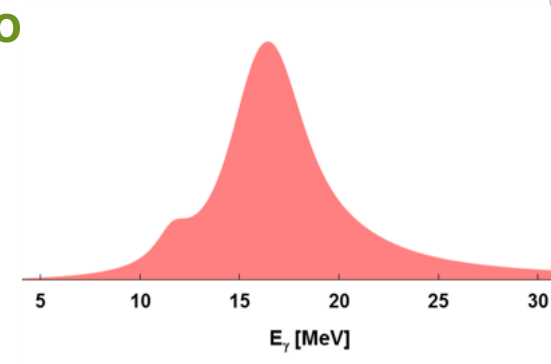
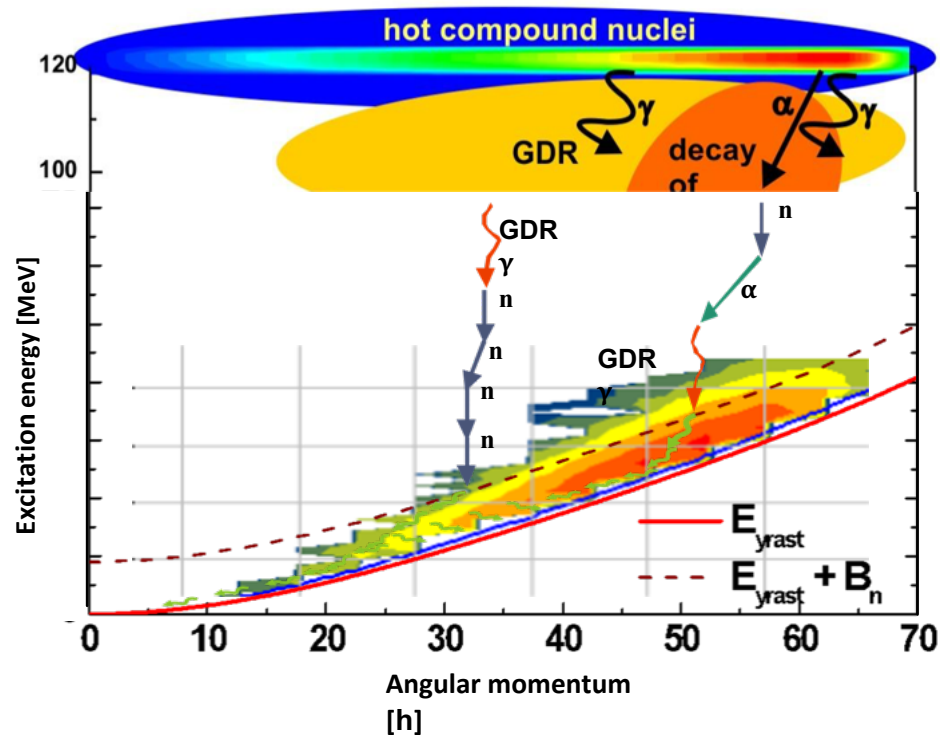
$$Y_k(E_\gamma) \approx \frac{S_k \Gamma_k E_\gamma^2}{E_\gamma^2 - E_{GDRk}^2 \pm \Gamma_k^2 E_\gamma^2}$$

$$\Gamma_k \approx \Gamma_{GDR} \left(\frac{E_k}{E_{GDR}}\right)^\delta$$



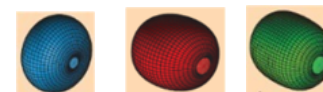
# Idea badań

Znalezienie powiązania pomiędzy deformacją gorącego jądra złożonego a deformacją rezyduów powstałych po wyparowaniu



- GDR promieniowanie gamma o wysokiej energii - kształt gorącego jądra złożonego
- Przejścia dyskretne - deformacja rezydium

Wybór ścieżki rozpadu poprzez pomiar koincydencyjny HPGe (przejścia dyskretne) - PARIS (promieniowanie gamma o wysokiej energii)



# Eksperymenty

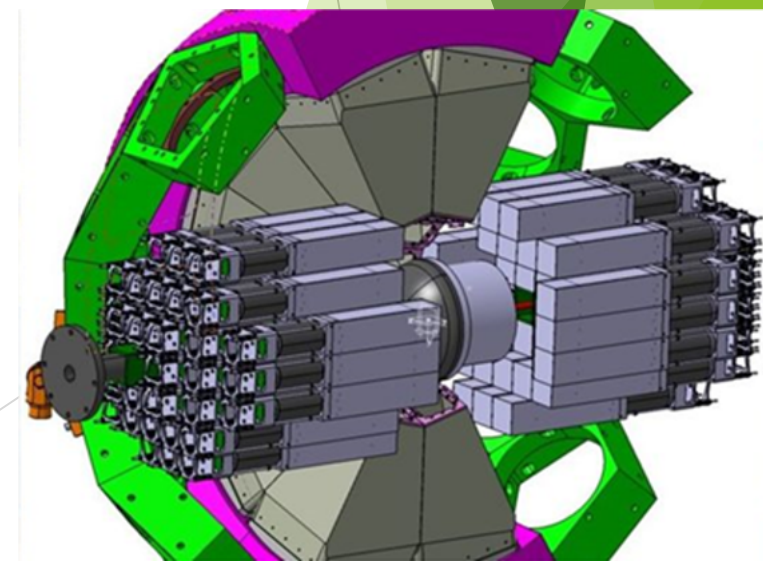
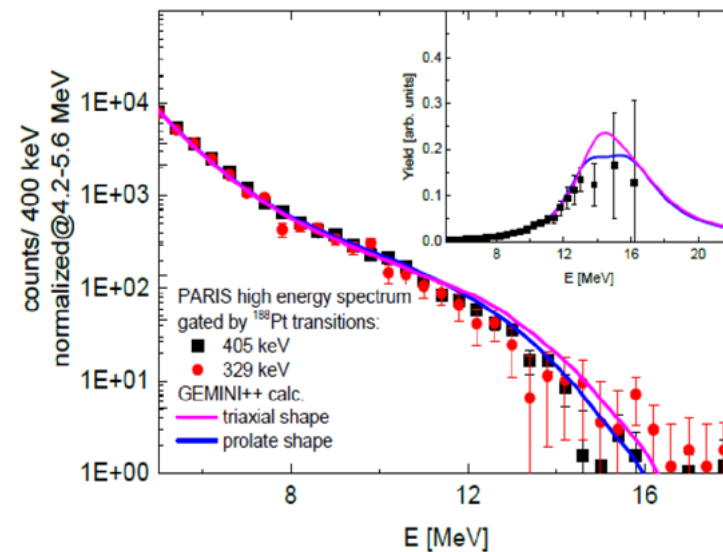
- ▶ W trakcie kampanii Nuball1-PARIS@IJCLab (2018)

Powiązania pomiędzy deformacją gorącego jądra złożonego  $^{192}\text{Pt}$  a deformacjami stanów rezyduum  $^{188}\text{Pt}$

- ▶ W trakcie kampanii Nuball2-PARIS@IJCLab (2022)

Powiązania pomiędzy deformacją gorącego jądra złożonego  $^{80}\text{Sr}$  a różnymi deformacjami stanów rezyduum  $^{76}\text{Kr}$

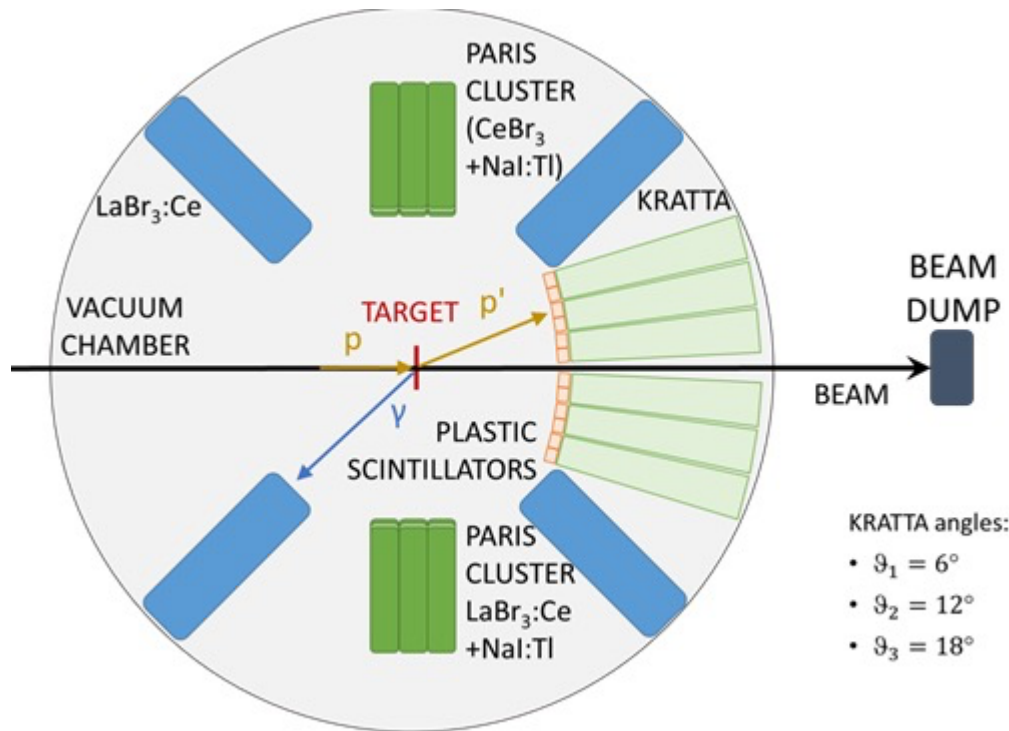
- ▶ Planowane eksperymety z układami AGATA oraz PARIS w LNL (Legnaro)



# Eksperymenty w CCB (Kraków)

Pomiary:

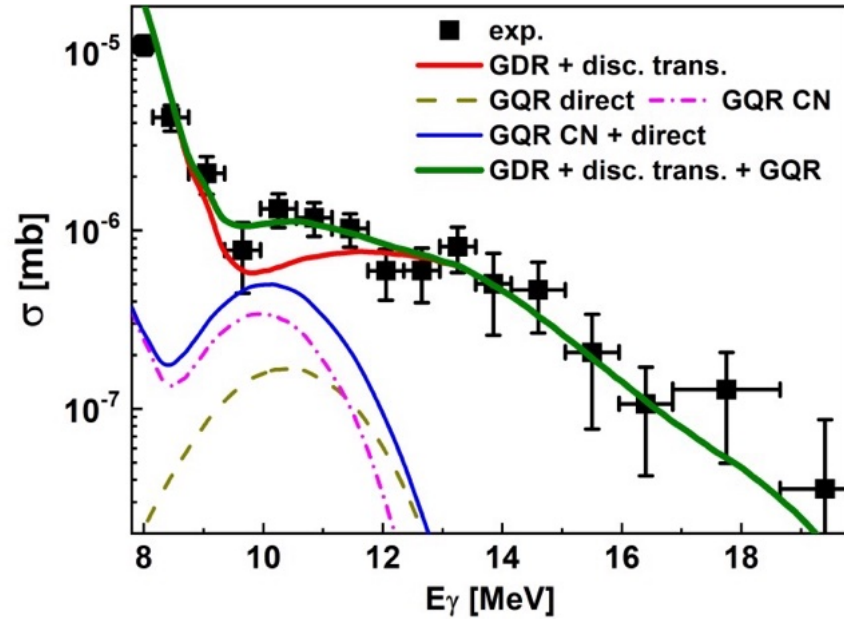
- rozpadu gamma GQR
- rozpadu stanów pigmejskich (PDR)





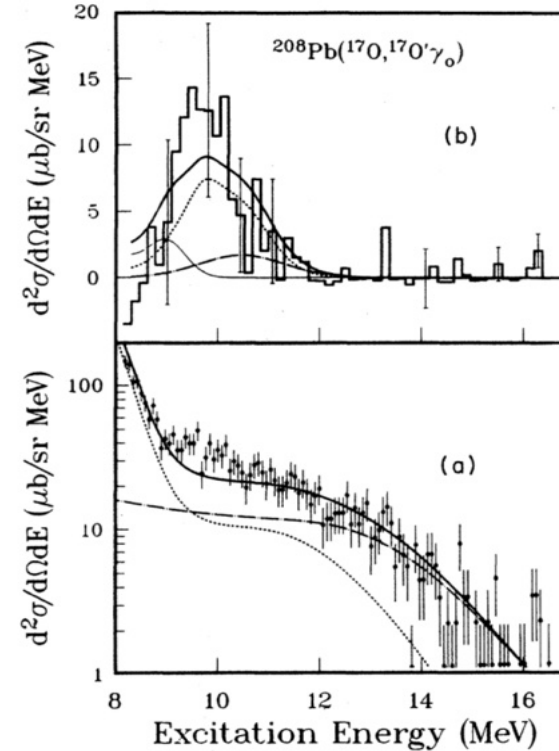
# 208Pb GQR

B.Wasilewska et al., PRC105(2022)014310



$$\left(\frac{\Gamma_{\gamma 0}}{\Gamma}\right)_{GQR} = 3 \times 10^{-4} \pm 1 \times 10^{-4}$$

J.Beene et al., PRC39(1989)1307



$$\left(\frac{\Gamma_{\gamma 0}}{\Gamma}\right)_{GQR} = 4 \times 10^{-4} \pm 1 \times 10^{-4}$$

Wartość współczynnika rozgałęzienia rozpadu gamma GQR do stanu podstawowego uzyskana w eksperymencie z użyciem wiązki protonów jest zgodna z poprzednią wartością zmierzoną dla ciężkich jonów.

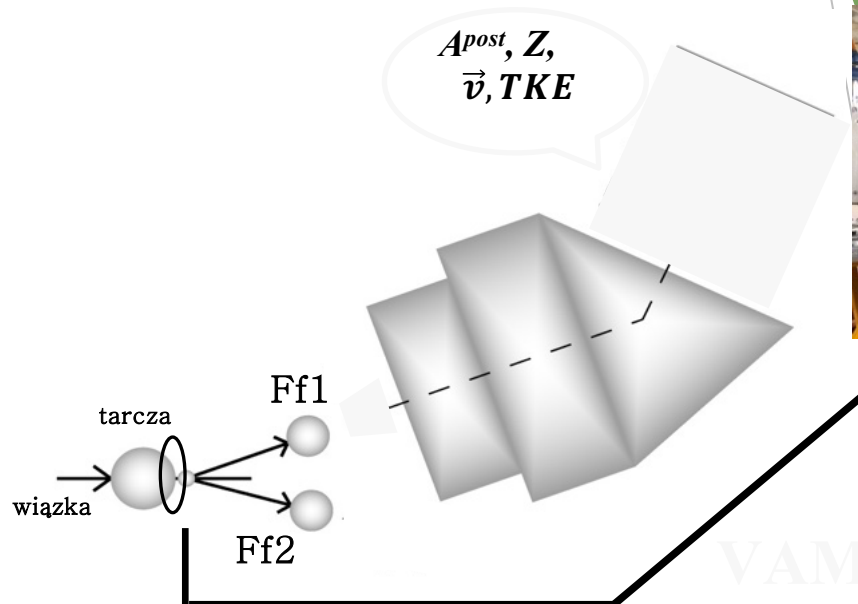
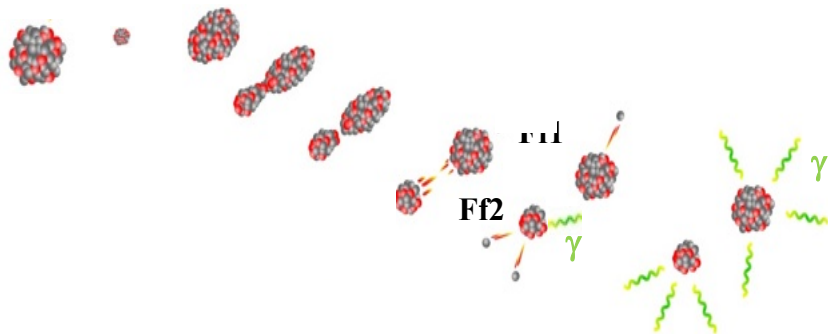
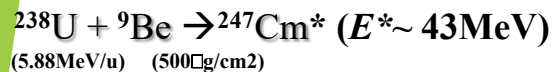
Kampania eksperymentalna@GANIL, Francja

"Insight into fission from the gamma probe:  
going beyond current status with  
PARIS@VAMOS "

Ch. Schmitt, M. Ciemala, et al.

# GANIL E826 : VAMOS+PARIS&EXOGRAM (2022)

Fuzja-rozszczepienie w odwrotnej kinematyce

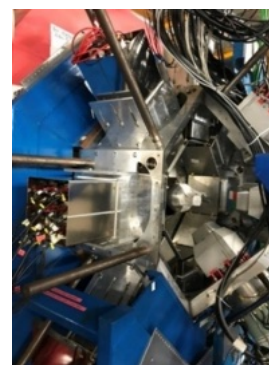


VAMOS++

$\vartheta = 21^\circ$ ,  $B\rho = 1.1\text{Tm}$

event  
by  
event

- ✓ Fragmenty rozszczepienia ( $A, Z, \vec{v}$ )
- ✓ PFGS ( $E_\gamma, E_\gamma^{\text{sum}}, M_\gamma$ )
- ✓ Neutrony ( $E_n, M_n$ )

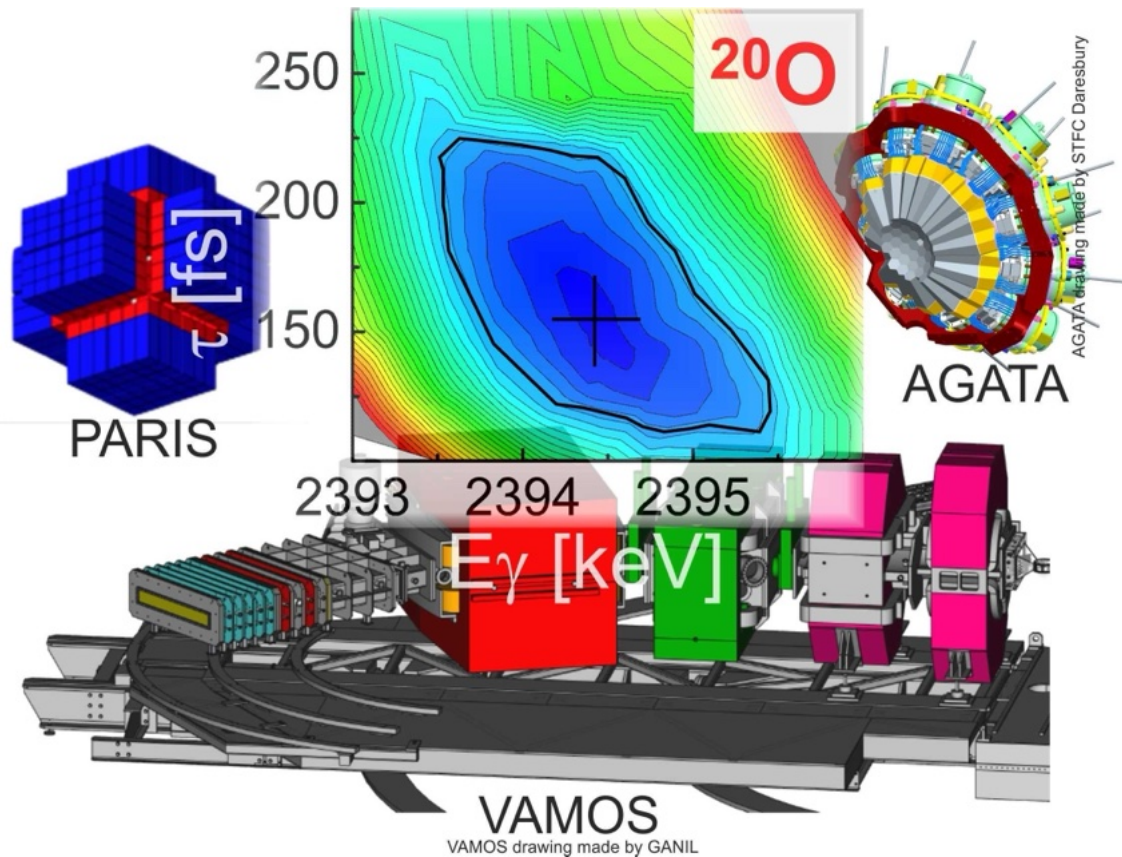


PFGS  
 $E_\gamma, E_\gamma^{\text{sum}}, M_\gamma, M_n$

PARIS  
Exogam

# GANIL E676 : AGATA+VAMOS+PARIS

S. Leoni, B. Fornal, M. Ciemąła, et al.



Test wyników obliczeń teoretycznych z uwzględnieniem oddziaływań NNN (trójciałowych) na obserwowalne eksperymentalne (czas życia poziomu zbudzonego  $2^+_2$  dla  $^{20}\text{O}$ ).

Pomiary czasów życia z zakresu ~setek femto sekund.

# Dlaczego interesujesz się badaniami z zakresu fizyki jądrowej?

- ▶ Możliwość odkrycia „nowego”!
- ▶ Prace nad nowymi detektorami (PARIS) przekładające się na nowe/ciekawe programy eksperymentalne!
- ▶ Możliwość zrozumienia całości eksperymentu: planowanie, użyte detektory, system zbierania danych (DAQ), analiza -> wnioski!
- ▶ Fizyka jądrowa jest dla mnie ciekawa!