



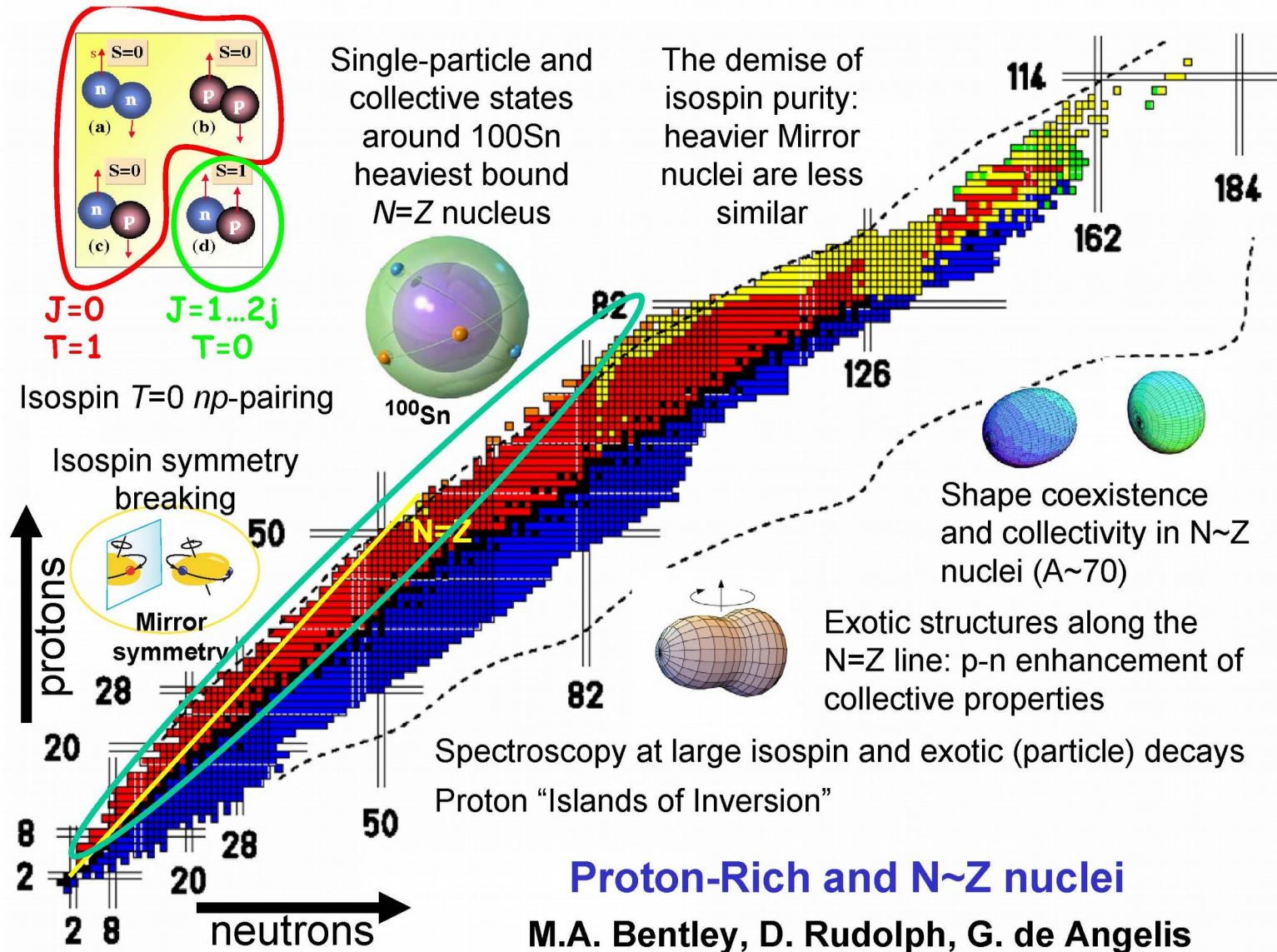
NE DA

(+AGATA)

nowe narzędzie do badania
struktury jąder atomowych
bogatych w protony

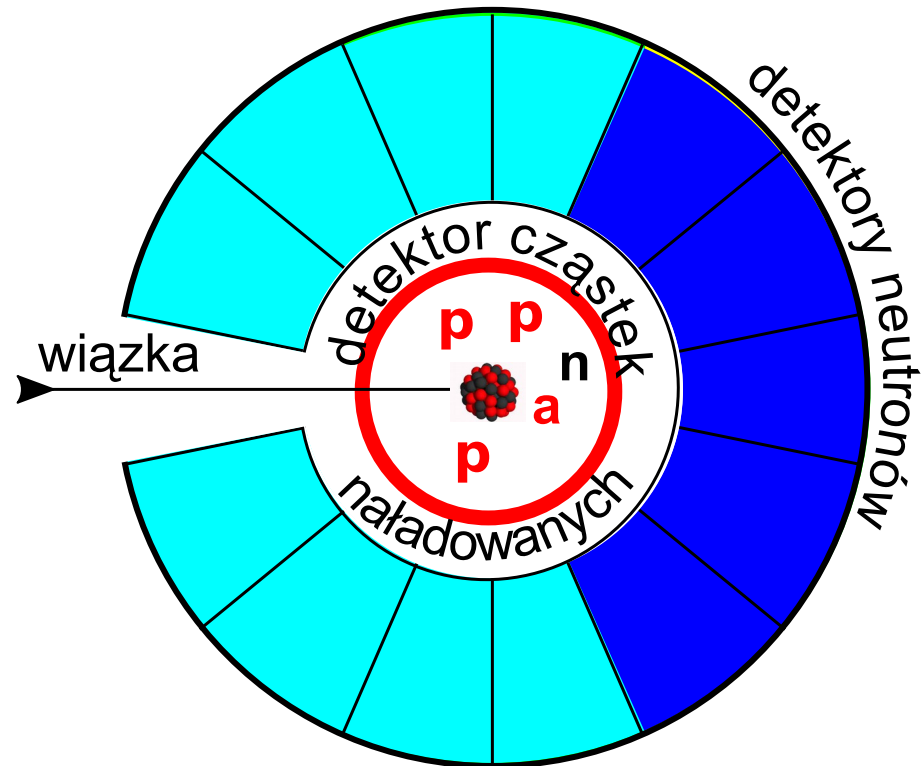
Marcin Palacz
Środowiskowe Laboratorium Ciężkich Jonów

Struktura jąder bogatych w protony



courtesy P.-A. Soderstrom NUSPIN 2017 meeting

Idea eksperymentów



Nowe?

~30 lat eksperymentów

OSIRIS (Berlin), NORDBALL, GASP, EUROBALL, EXOGAM
różne układy neutronów → Neutron Wall

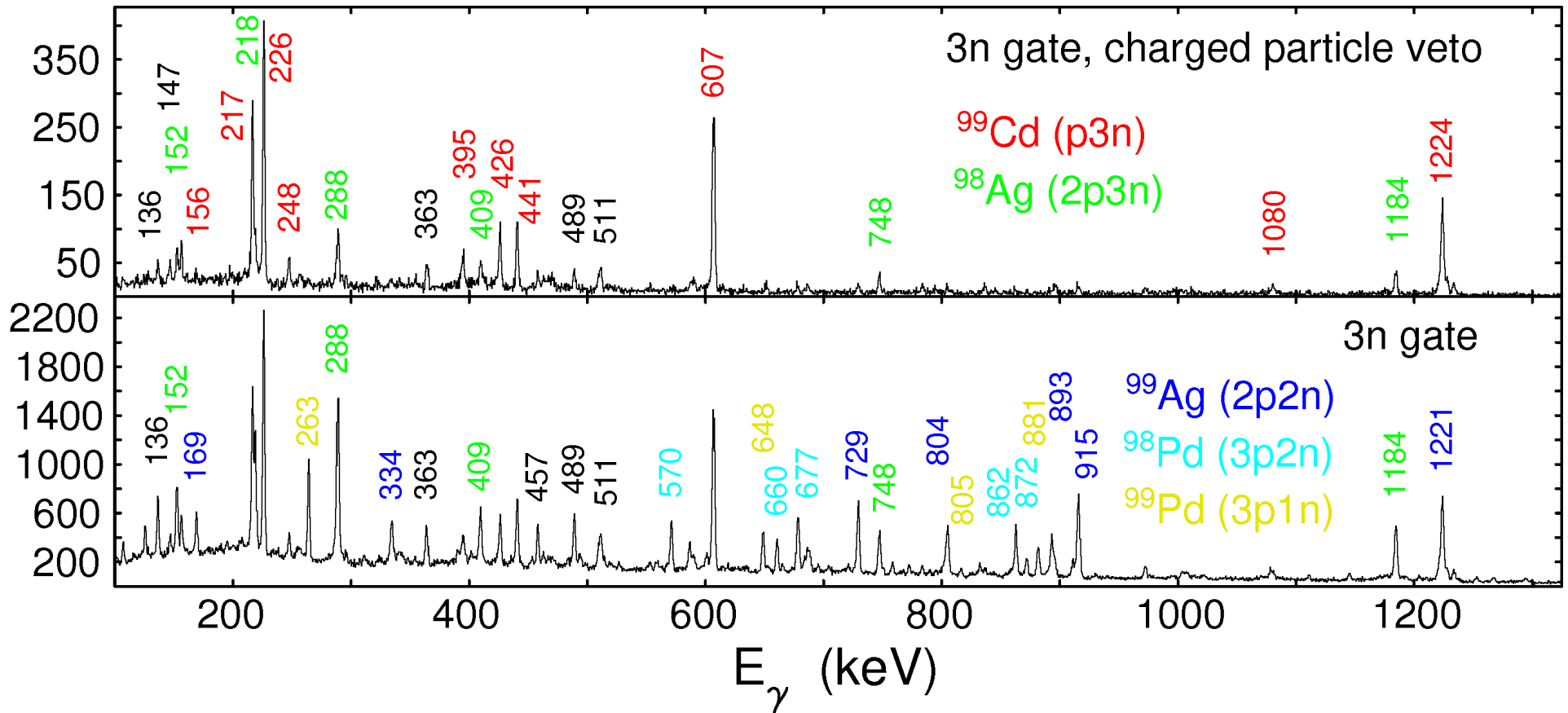
NEDA (NEutron Detection Array)

- Główne zastosowanie: filtr krotności neutronów w reakcjach fuzji-ewaporacji, w których emisja neutronów jest rzadka (jądra bogate w protony, $N \sim Z$)
- Układ będzie używany w połączeniu z detektorami gamma AGATA, EXOGAM2, GALILEO, PARIS, EAGLE w eksperymentach z intensywnymi wiązkami stabilnymi oraz z wiązkami radioaktywnymi
- Oczekiwane parametry:
 - Wydajność detekcji i dyskryminacji neutronów lepsza niż dla istniejących urządzeń (NWall)
 $\varepsilon(1n) \approx 40\%$ (20-25%), $\varepsilon(2n) \approx 6\%$ (1-3%) $\varepsilon(3n) \approx 1\%$ (0.1 %)
 - Doskonałe rozróżnienie neutron-gamma oraz rozróżnienie $1n/2n/3n$
 - Zdolność do pracy przy dużej częstotliwości zliczeń (kwanty gamma).

$\epsilon(1n) \approx 40\%$ (20-25%), $\epsilon(2n) \approx 6\%$ (1-3%) $\epsilon(3n) \approx 1\%$ (0.1 %)

I co z tego?

Próba obserwacji ^{100}In w reakcji $^{45}\text{Sc}(^{58}\text{Ni}, 3n)^{100}\text{In}$, EUROBALL efektywnie ~ 300 godz.



NEDA — strategia

- Wybór scyntylatora (ciało stałe? deuterowany?)
- Optymalizacja wielkości i geometrii pojedynczego detektora, geometrii całego układu, odległości od tarczy
- Fotopowielacz, dzielnik napięcia?
- Cyfrowa elektronika.
- Algorytmy on-line i off-line umożliwiające określenie czasów, rozróżnienie n-gamma, rozróżnienie $1n/2n/3n$, odrzucenie przypadków "pile-up"

Mechanizm detekcji neutronów i scyntylator

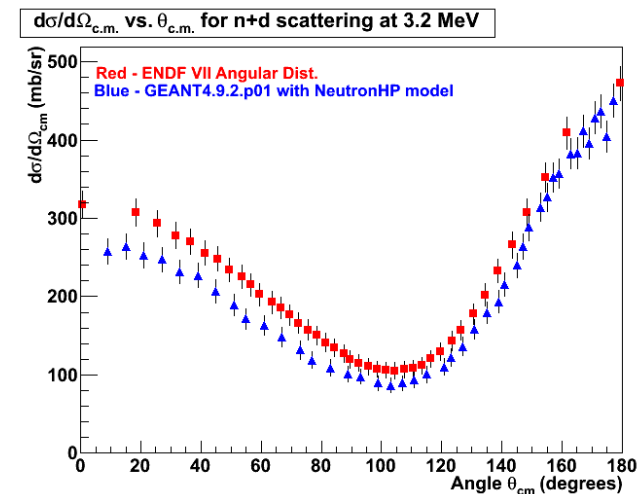
energia neutronów od ~0.5 do ~10 MeV

- rozpraszanie elastyczne $E_{r,max} = E_n \frac{4A}{(1+A)^2}$
jedyny “dobry” proces: elastyczne rozpraszanie na protonach
- rozpraszanie nieelastyczne $^{12}\text{C}(n,n'\gamma)^{12}\text{C}^*$
- wychwytywanie neutronu $^{12}\text{C}(n,\alpha)^9\text{Be}$

najczęściej stosowany scyntylator: C_8H_{10} (ksylen, BC501, EJ520)

rozważano użycie scyntylatora “deuterowanego” : C_6D_6 (BC537)

nieizotropowe rozpraszanie elastyczne
(w CM) ułatwia “liczenie” neutronów?

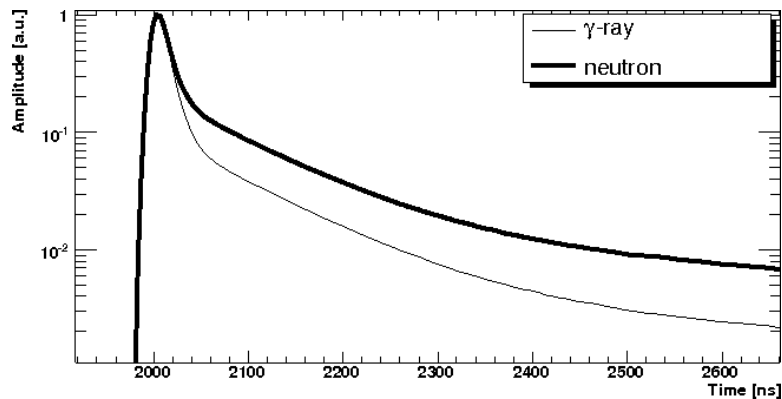


Rozróżnienie neutron-gamma

- Oddziaływania z dużą gęstością jonizacji (neutrony) powodują zwiększone obsadzenie tripletowych stanów molekularnych (opóźniona emisji światła).

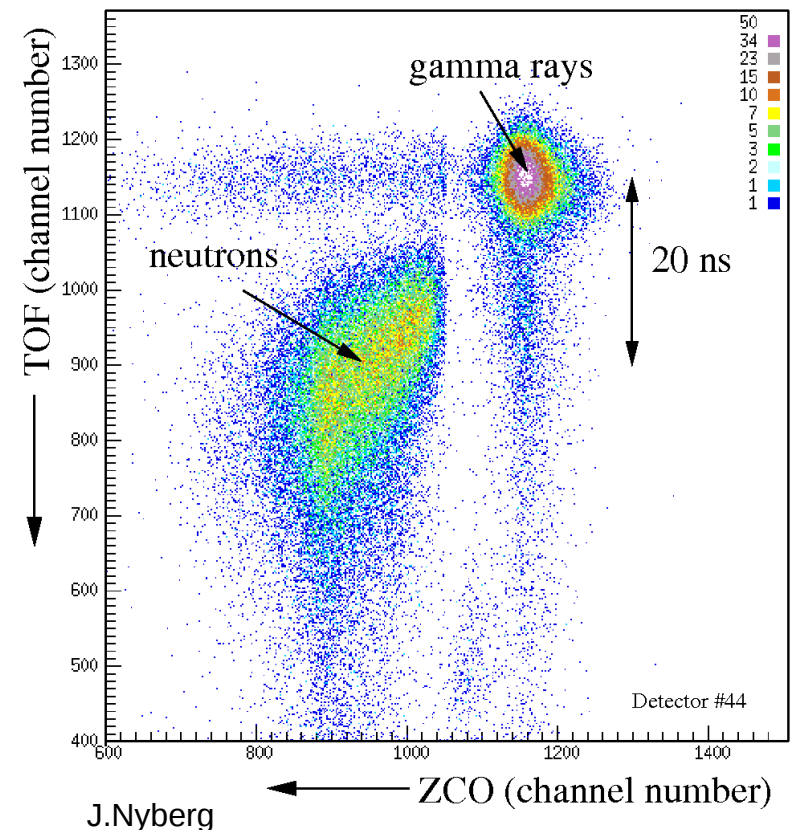
Czasy wyświecania dla BC501: 3.16 ns, 32 ns, 270 ns

Składowa wolna (270 ns) dla γ : 10%, dla n: 30%

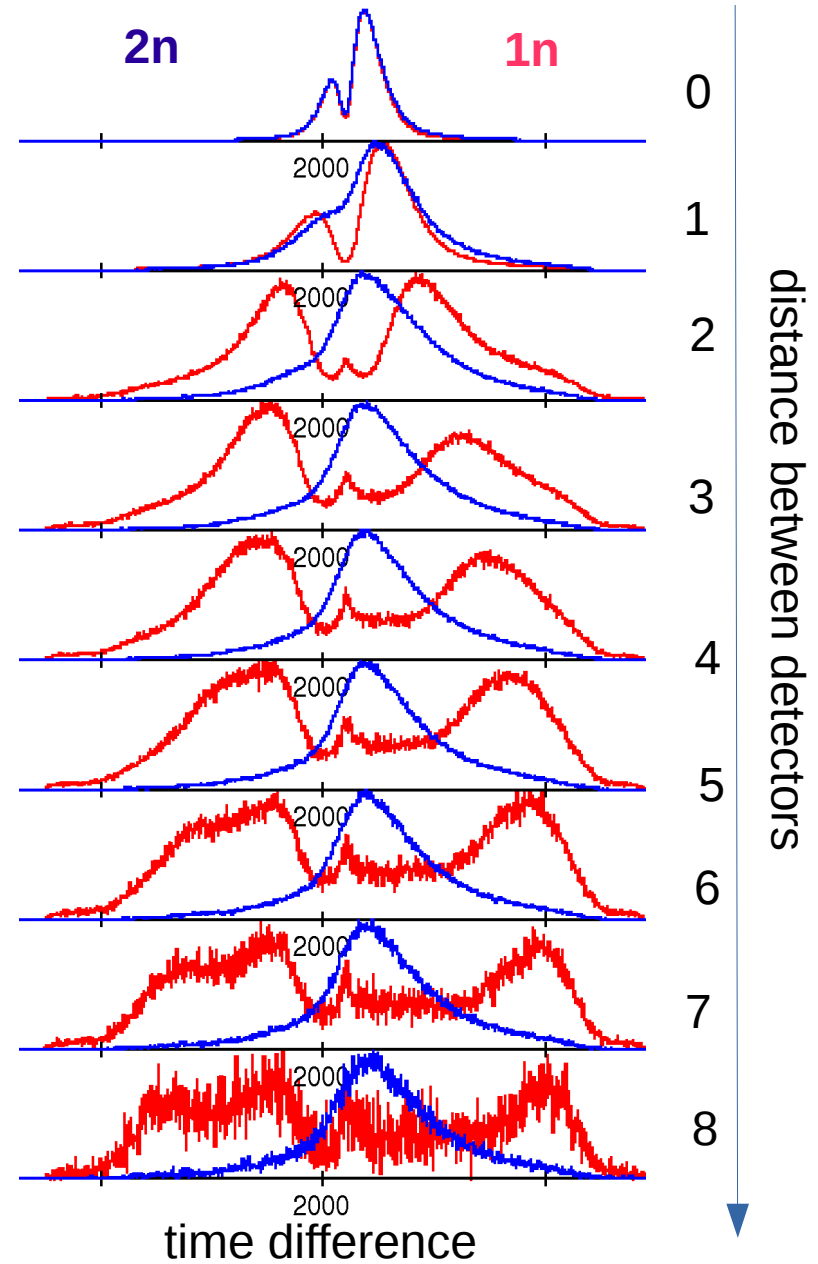
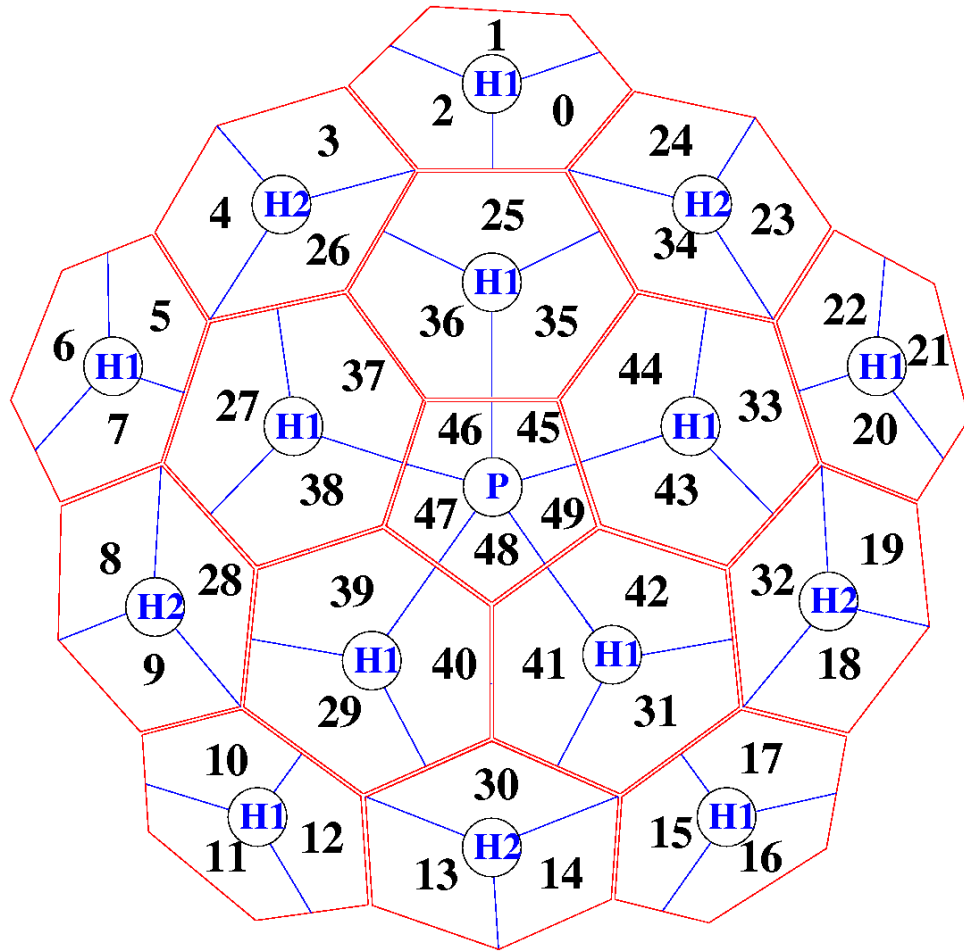


P.-A. Soderstrom

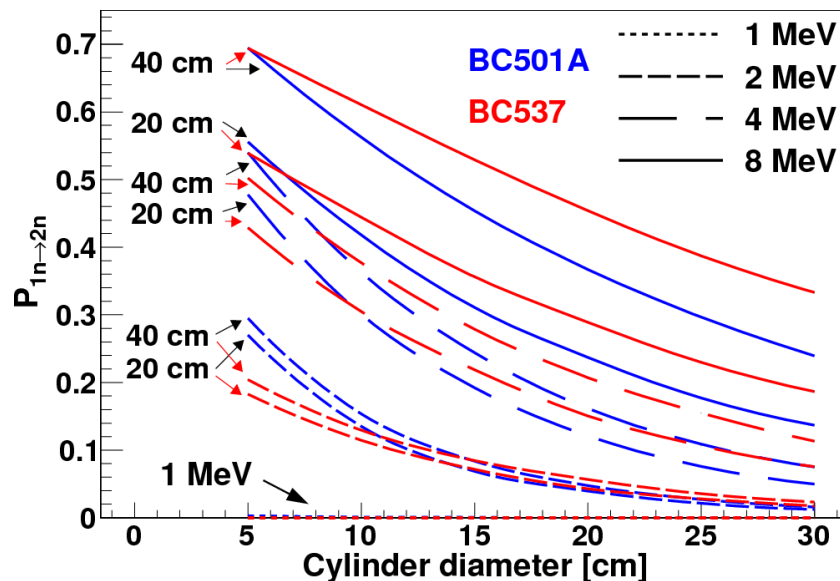
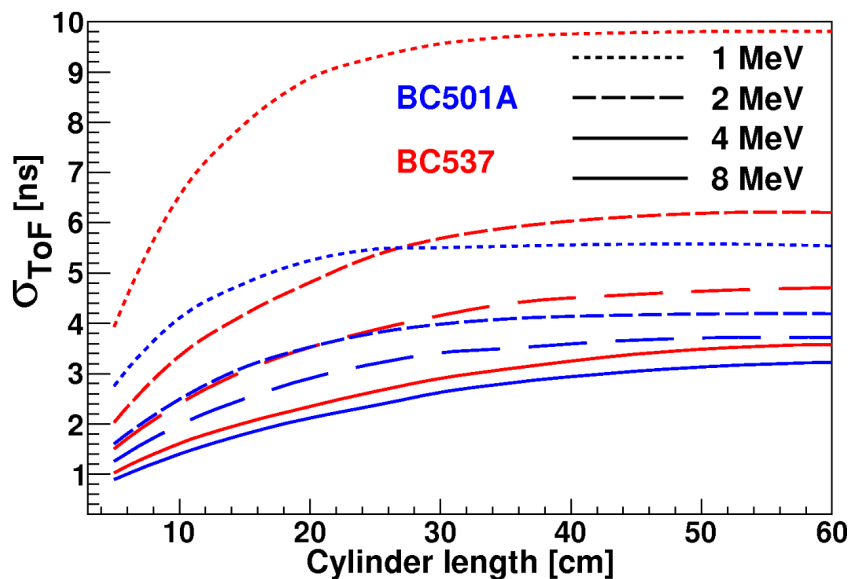
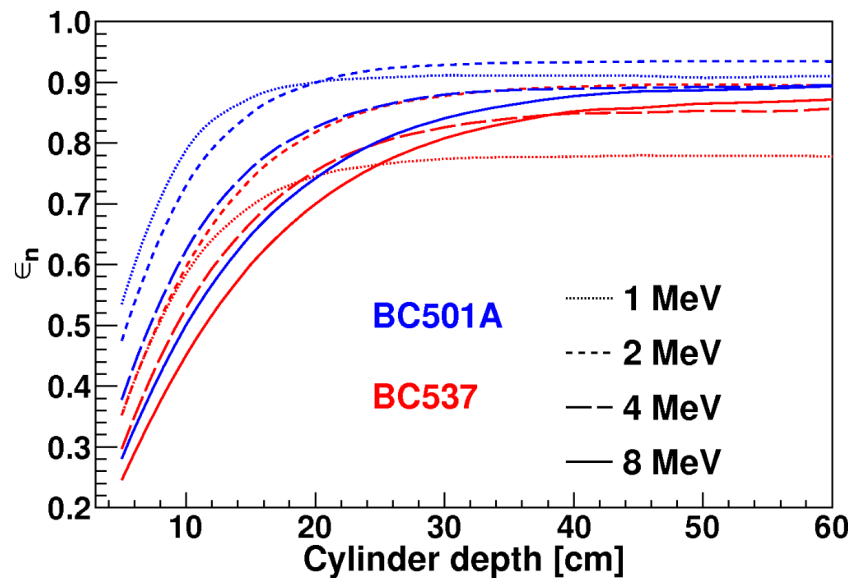
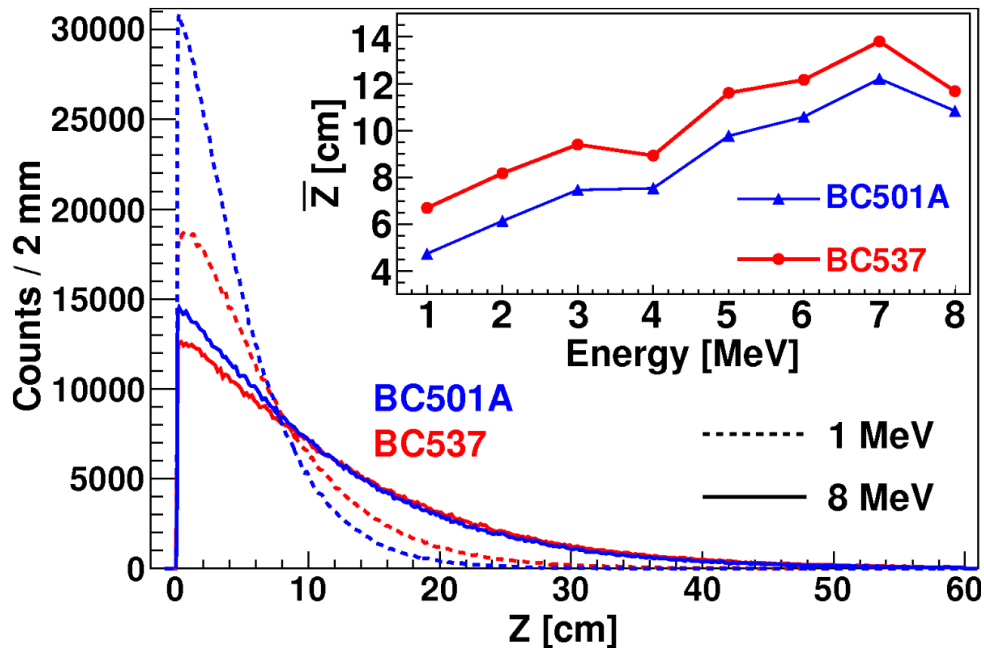
**oczekiwane
prawdopodobieństwo błędnej
interpretacji n- γ : <0.5 %**



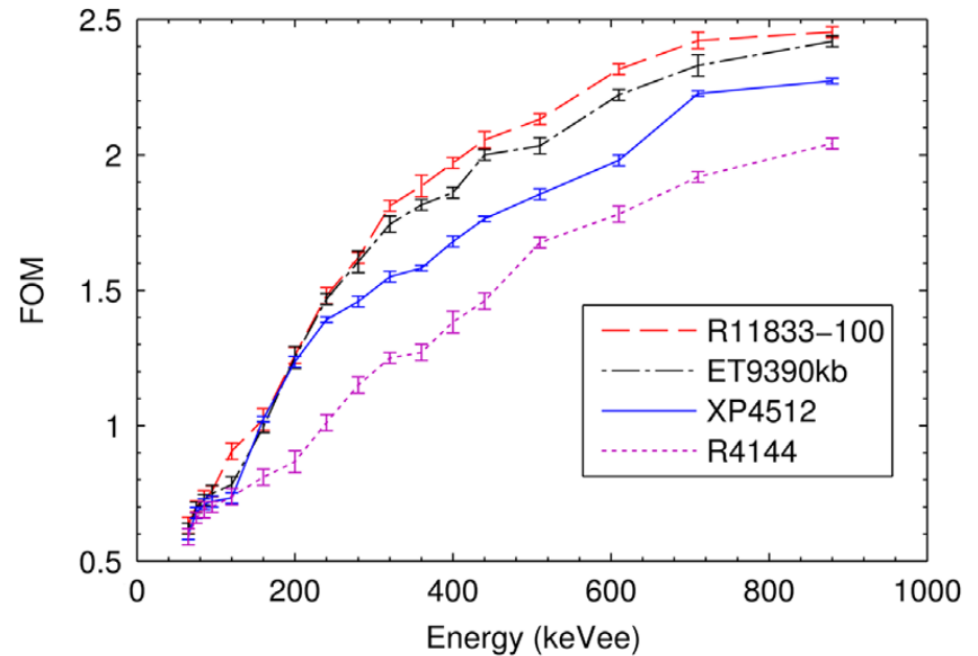
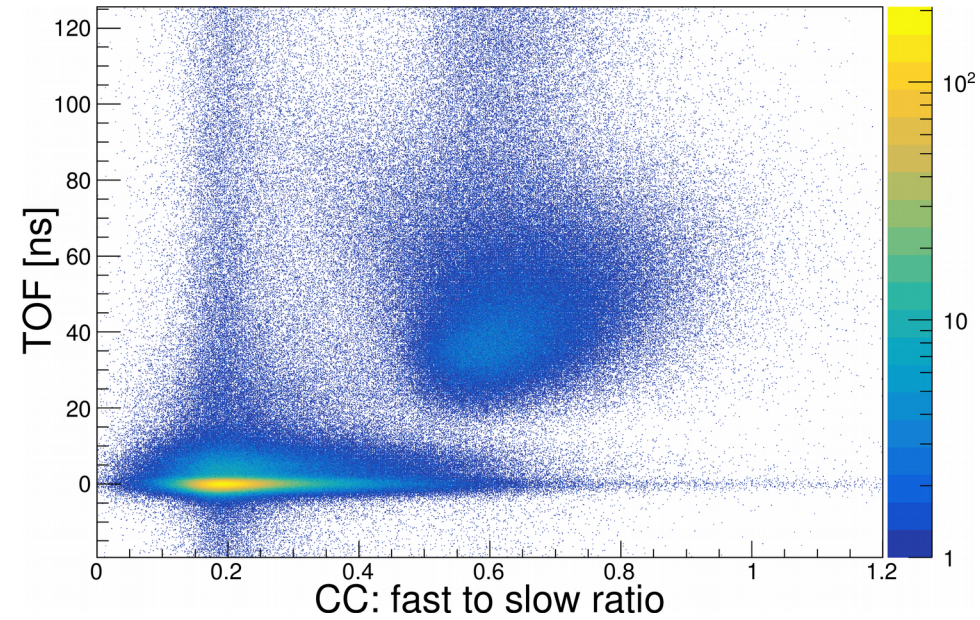
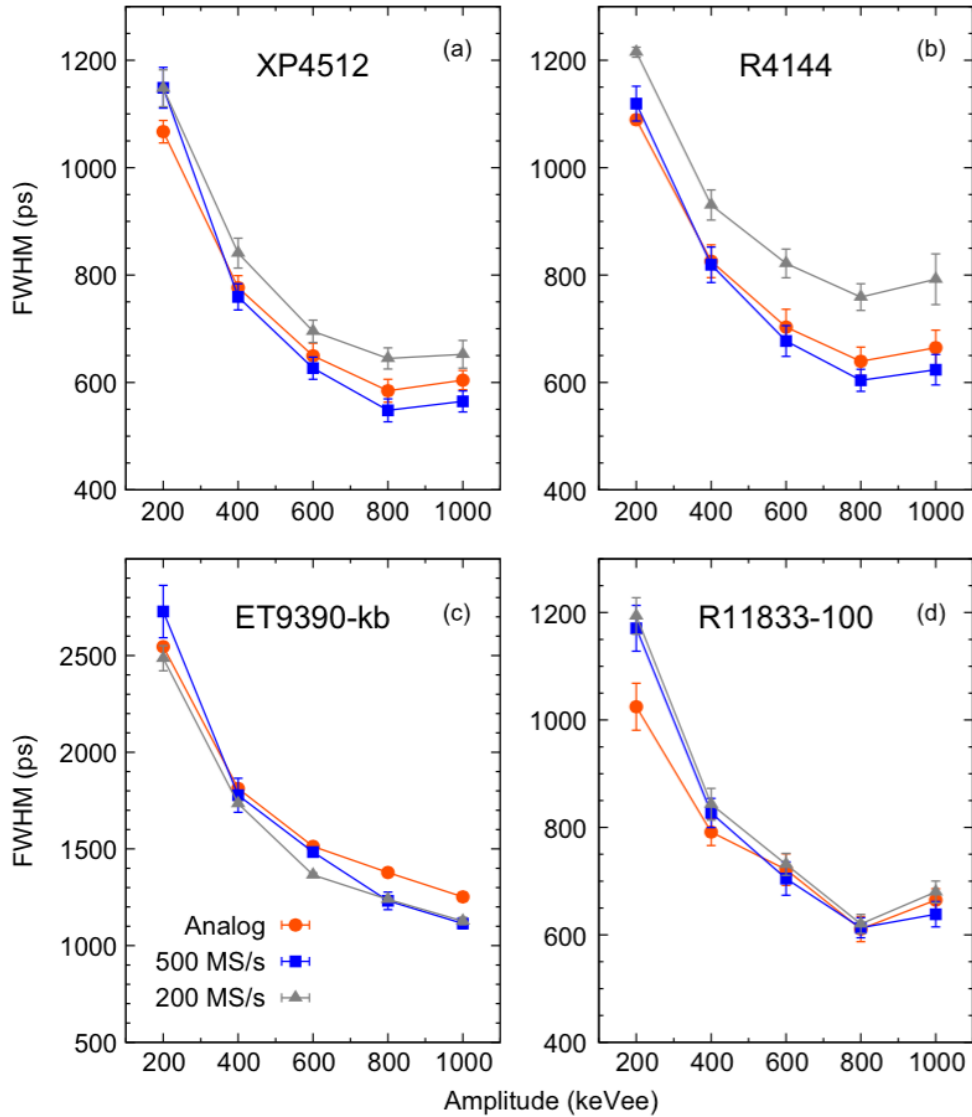
Rozróżnienie 1n/2n/....



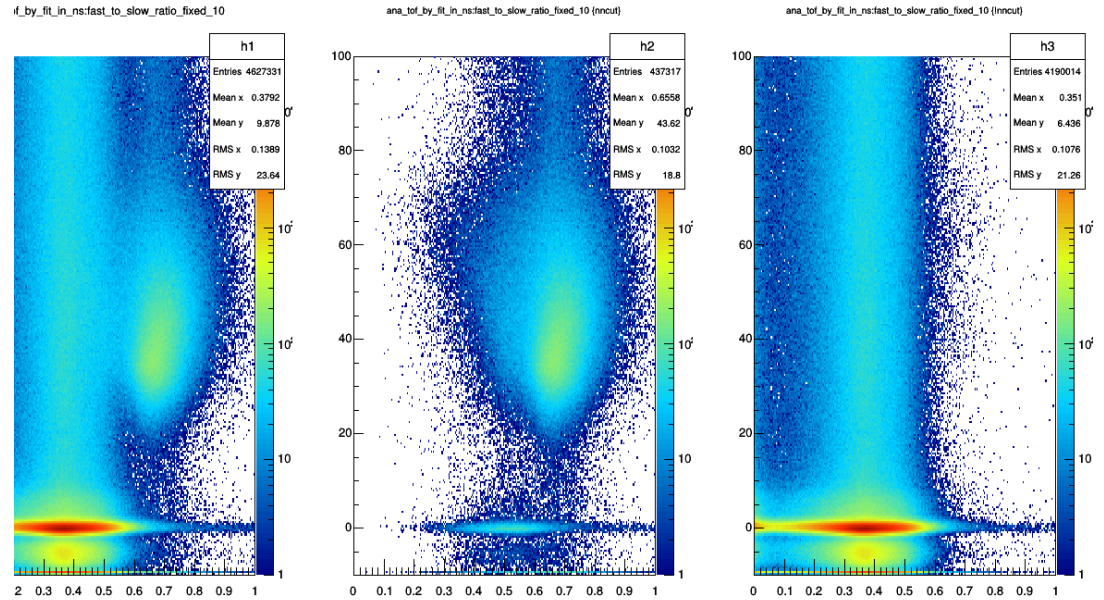
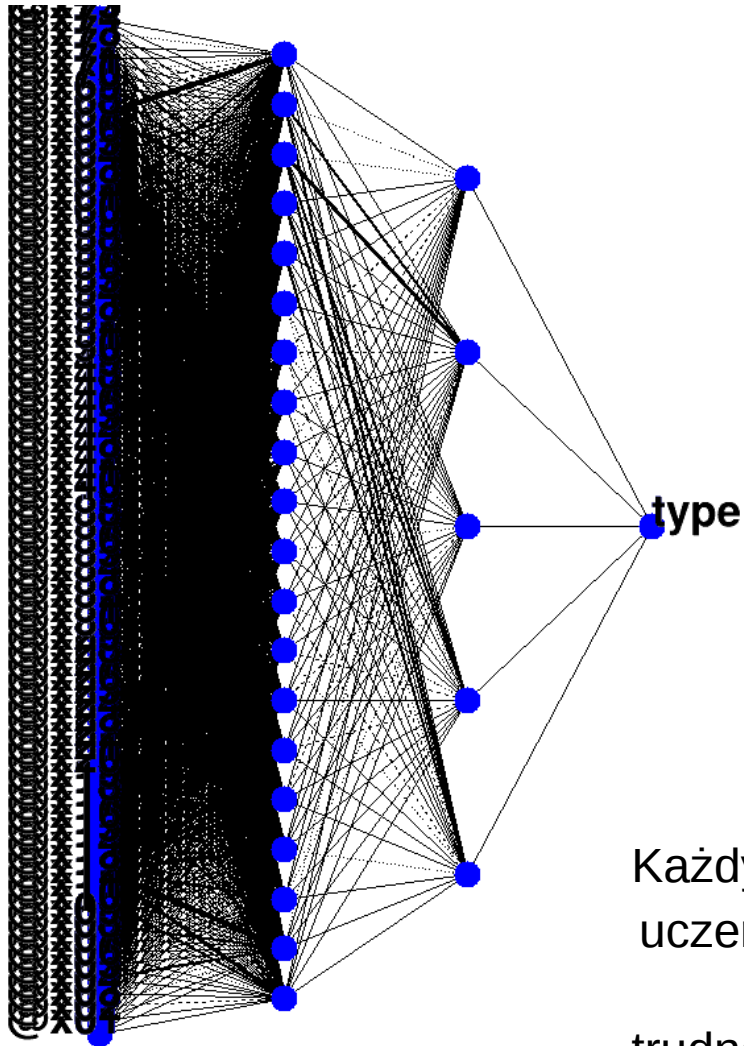
Optimalizacja wielkości pojedynczego detektora i wybór scyntylatora



Wybór PMT, cyfrowe algorytmy "CFD", cyfrowa dyskryminacja n/y



NGD Artificial Neural Networks



Każdy węzeł sieci: $A = a_1 w_1 + a_2 w_2 \dots$
uczenie sieci — znalezienie wag w

trudność 1: zestaw danych do nauki
trudność 2: algorytm modyfikacji wag w trakcie uczenia
wymóg: uniwersalność dla różnych detektorów

Elektronika

- NUMEXO2
 - 200 MHz, 14 b (11.3 enob) Mezzanines FADC
- GTS on board
- GTS logic trigger tree
- Trigger Processor

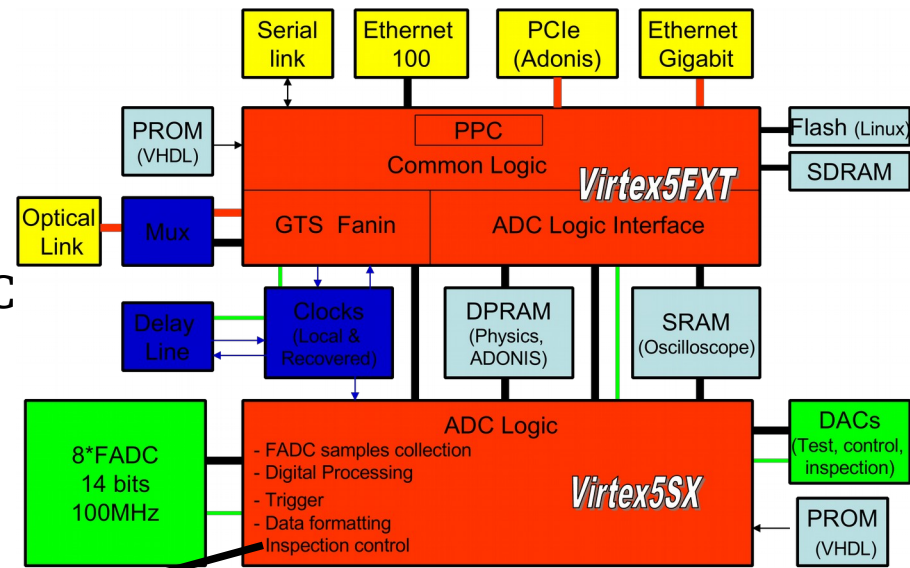
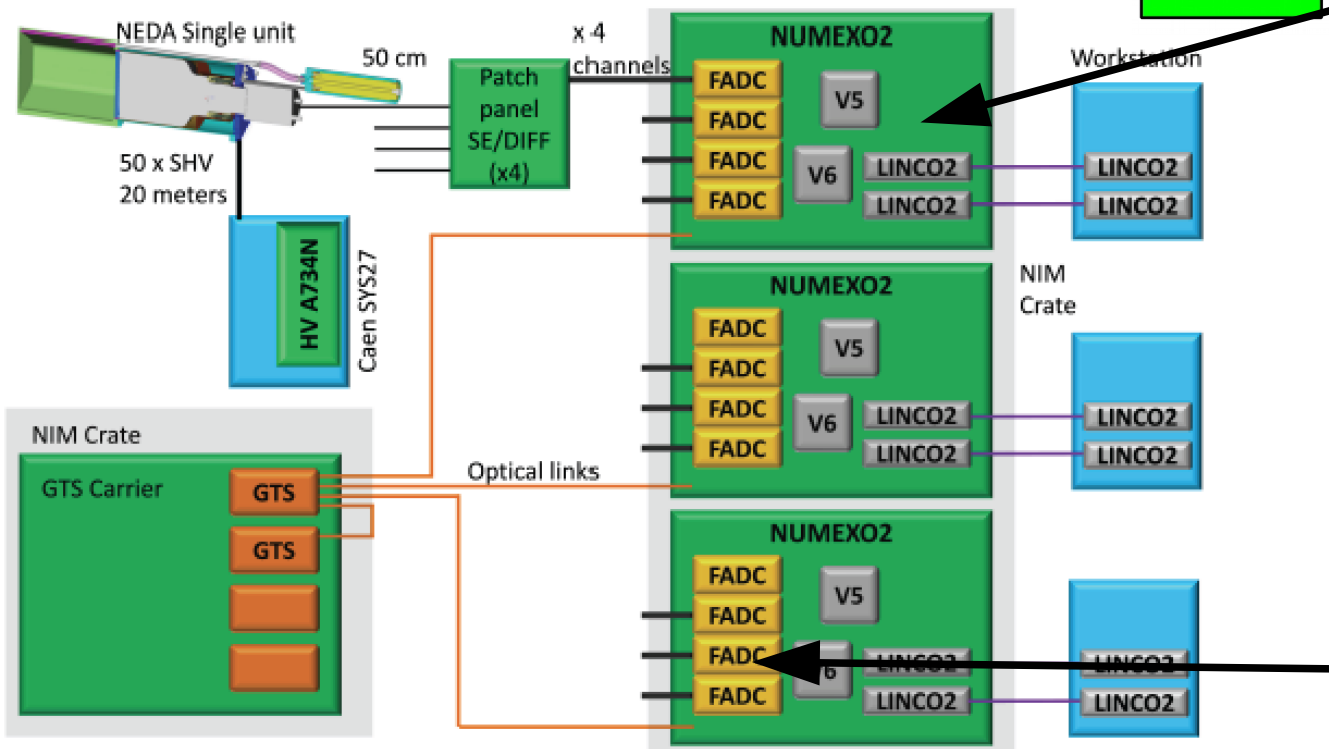
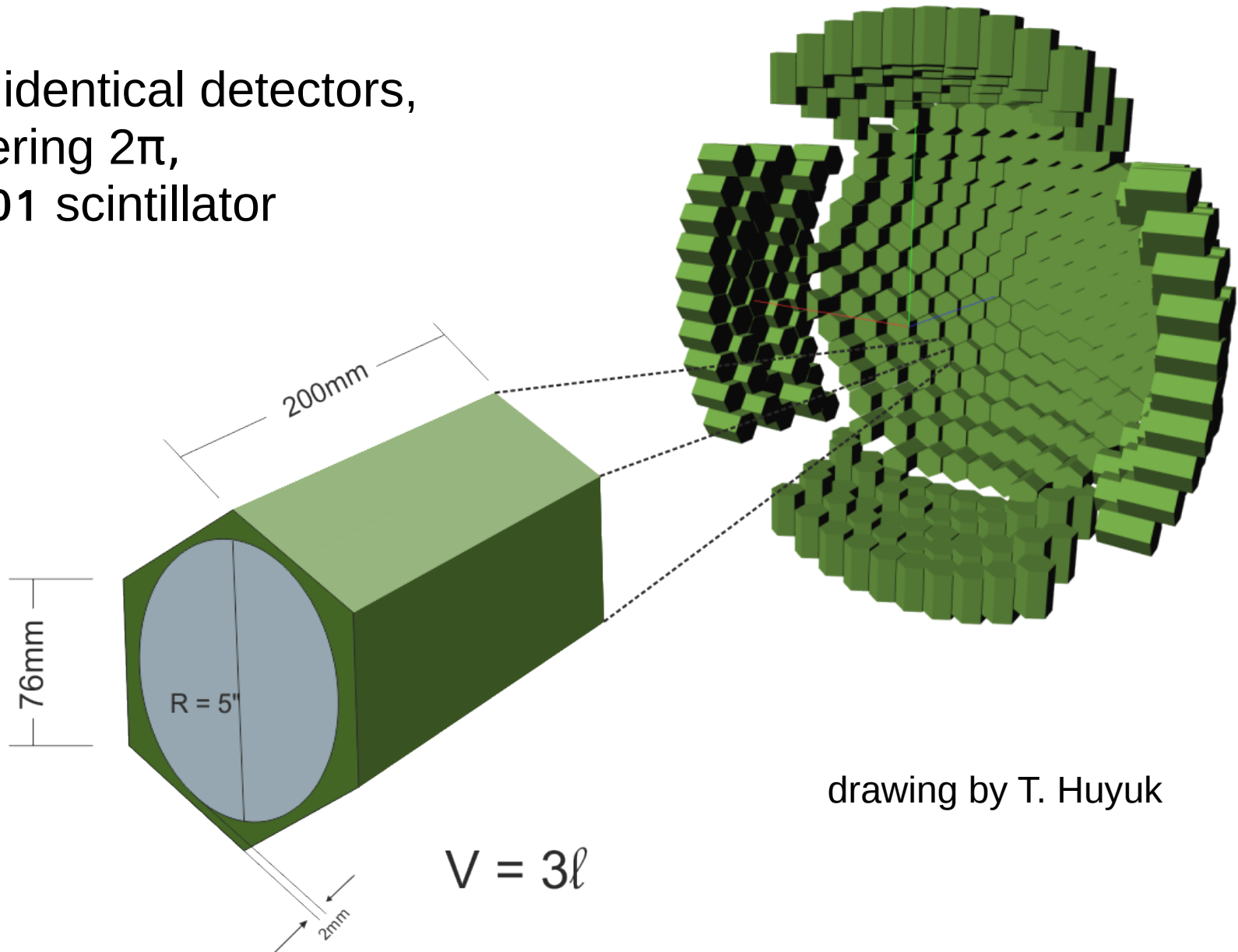


Figure 20: Global electronics layout for 48 NEDA detectors

Kompletny układ

- 355 identical detectors, covering 2π , EJ301 scintillator

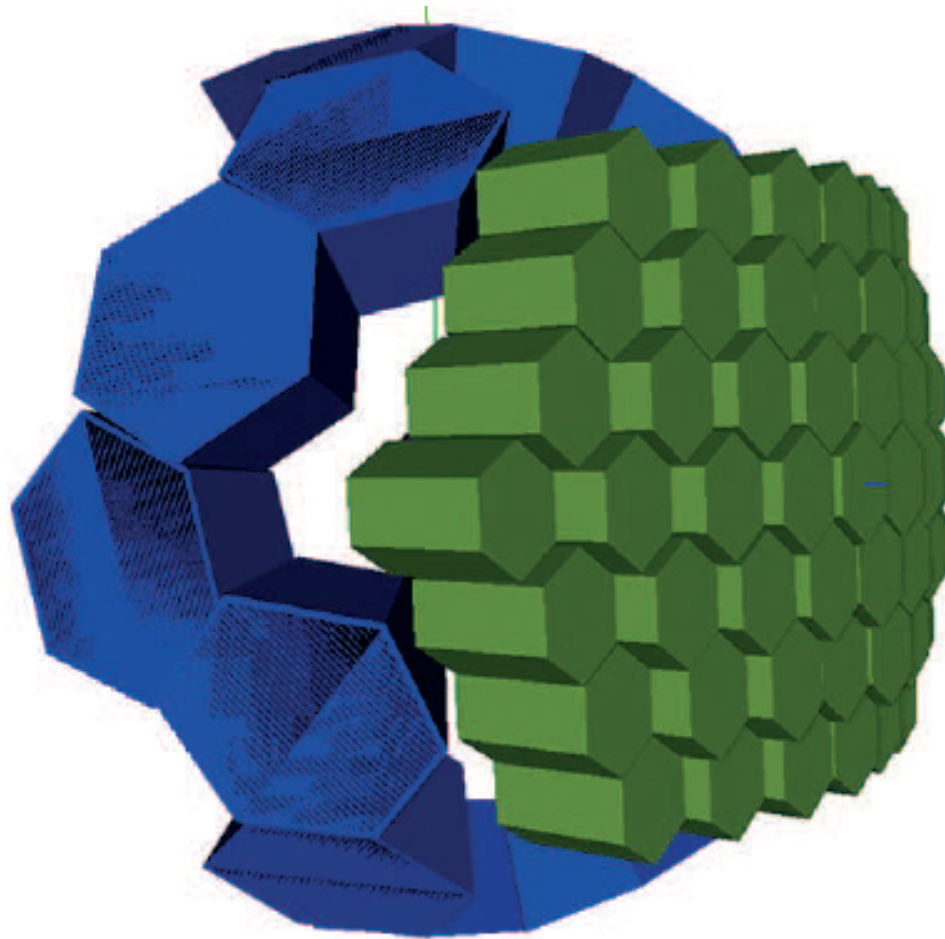


drawing by T. Huyuk

$$V = 3\ell$$

Faza 1

1π (54 detektory)
połączone z 42 detektorami NWall



Production of detectors

- Detector vessels and PMT housings are made by welding flanges to hexagonal profiles
- EJ520 TiO₂ paint; TorrSeal; 5" 5mm BK7 glass
- Expansion bellow – $\Delta T = 40$ K.
- EJ301 (BC501) liquid scintillator
- SBA R11833-100HA 5" PMT (32% Q.E.)
- custom transistorized VD provided by Świerk
- mu-metal shielding (1 mm)

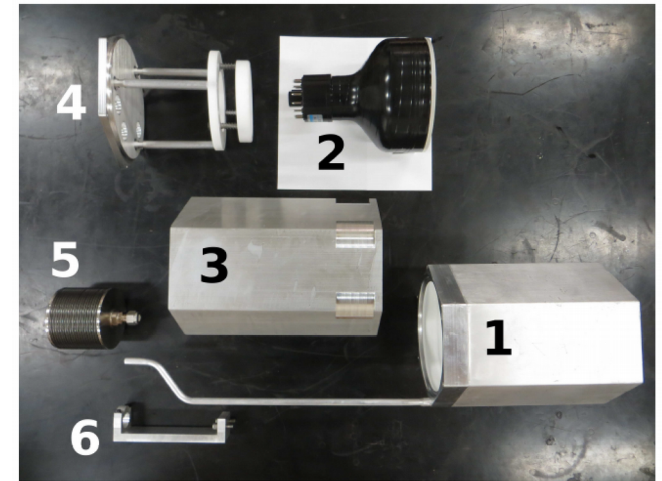
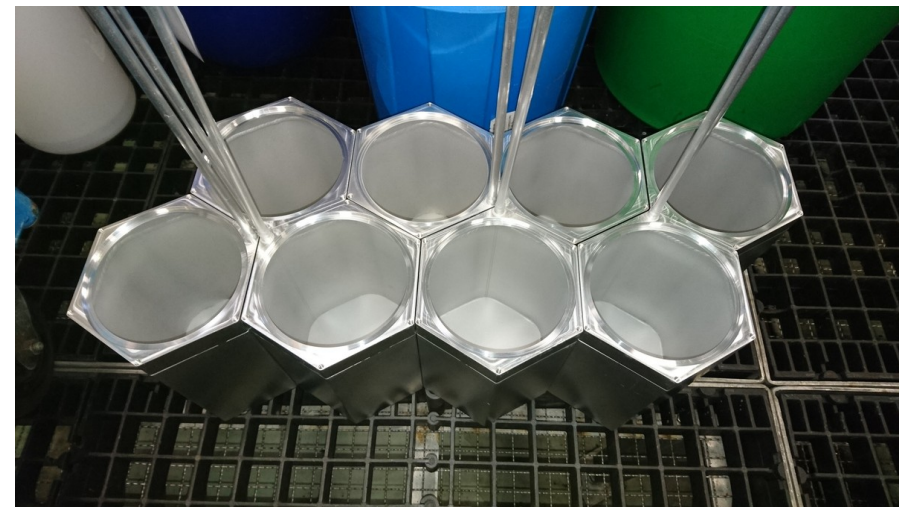
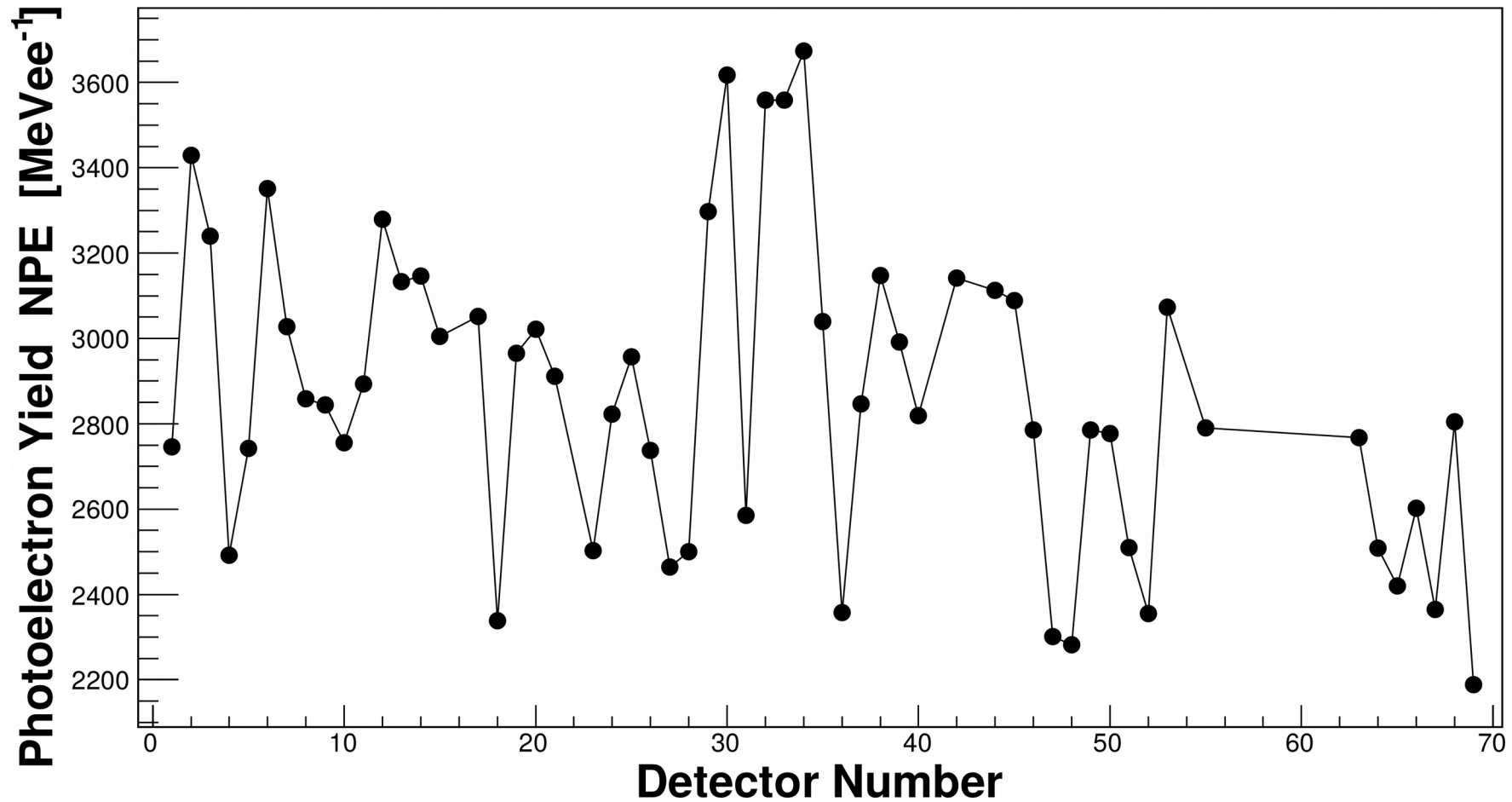


Fig. 1. Elements used for the construction of the NEDA detector: detector cell, with extension pipe (1); PMT (2); PMT housing (3); PMT pusher (4); the bellow (5) and the support for the bellow (6).



Ilość światła



średnio:

NEDA: 2854 phe/MeVee

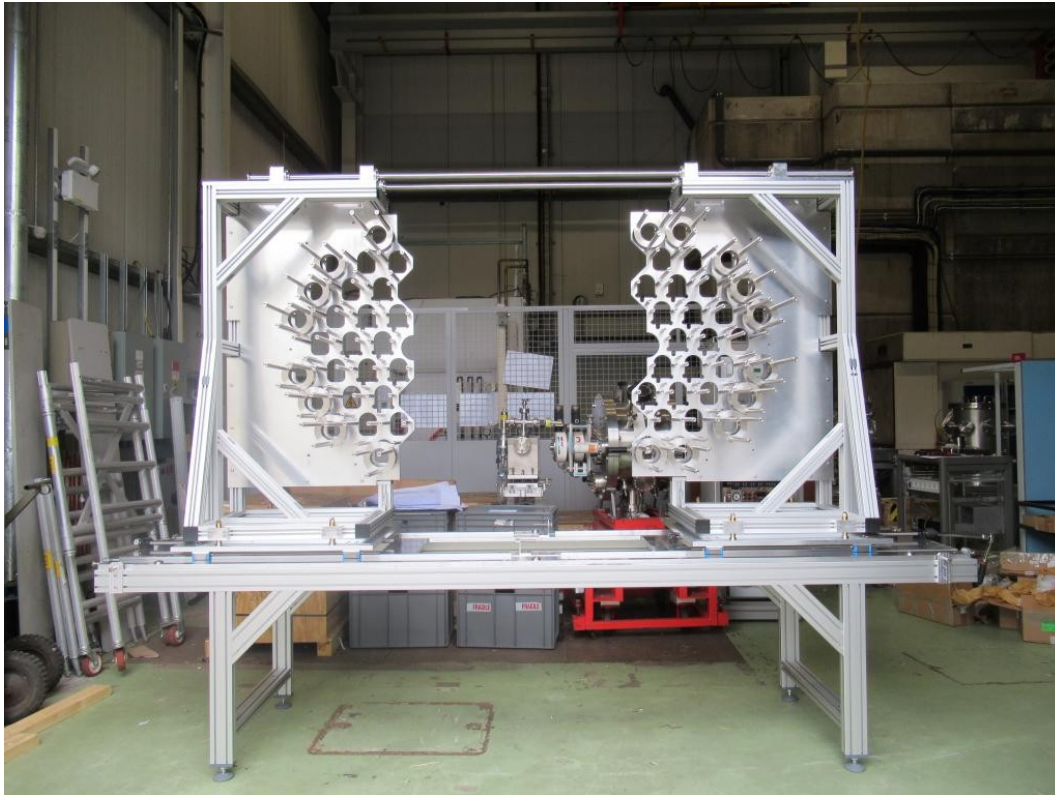
NWall: 472 phe/MeVee

neutron 500 keV -> 56 keVee -> 159 phe

G. Jaworski et al, LNL

Mechanika

Ian Burrows, Mike Cordwell, Alant Grant

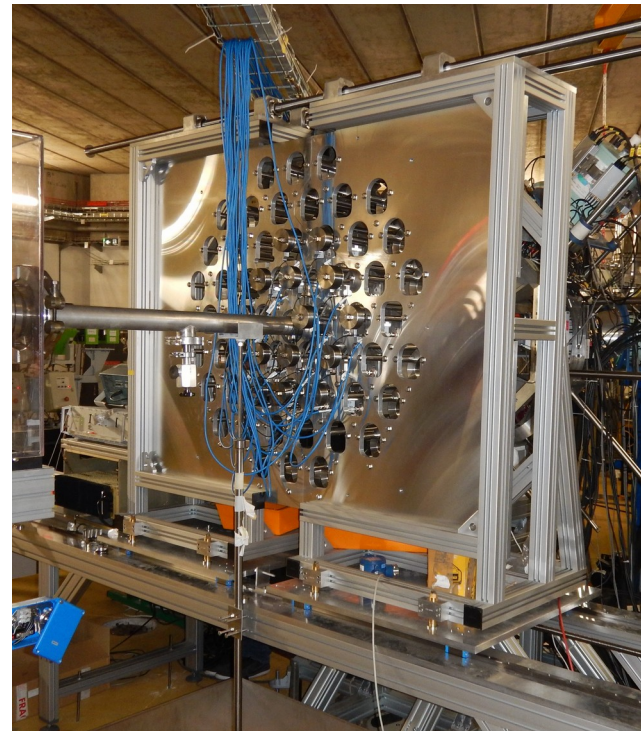
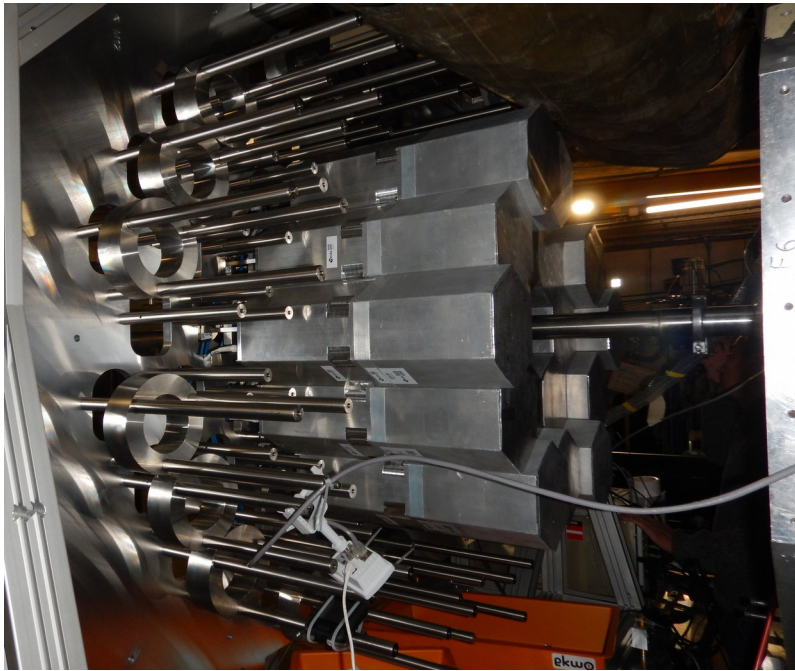


- rama NEDA & NW — projekt Daresbury
- rama NEDA wykonana, sprawdzona w Daresbury
- rama NWall wykonana w UK, Legnaro, PL



Pierwsze testy na wiązce

- 16 detektorów NEDA, DIAMANT I EXOGAM
- Dane z trzech układy detektorów zbierane w trybie w pełni cyfrowym z użyciem NUMEXO2, GTS i nowego “Trigger Processor”
- Pomiarzy zostały wykonane w listopadzie/październiku



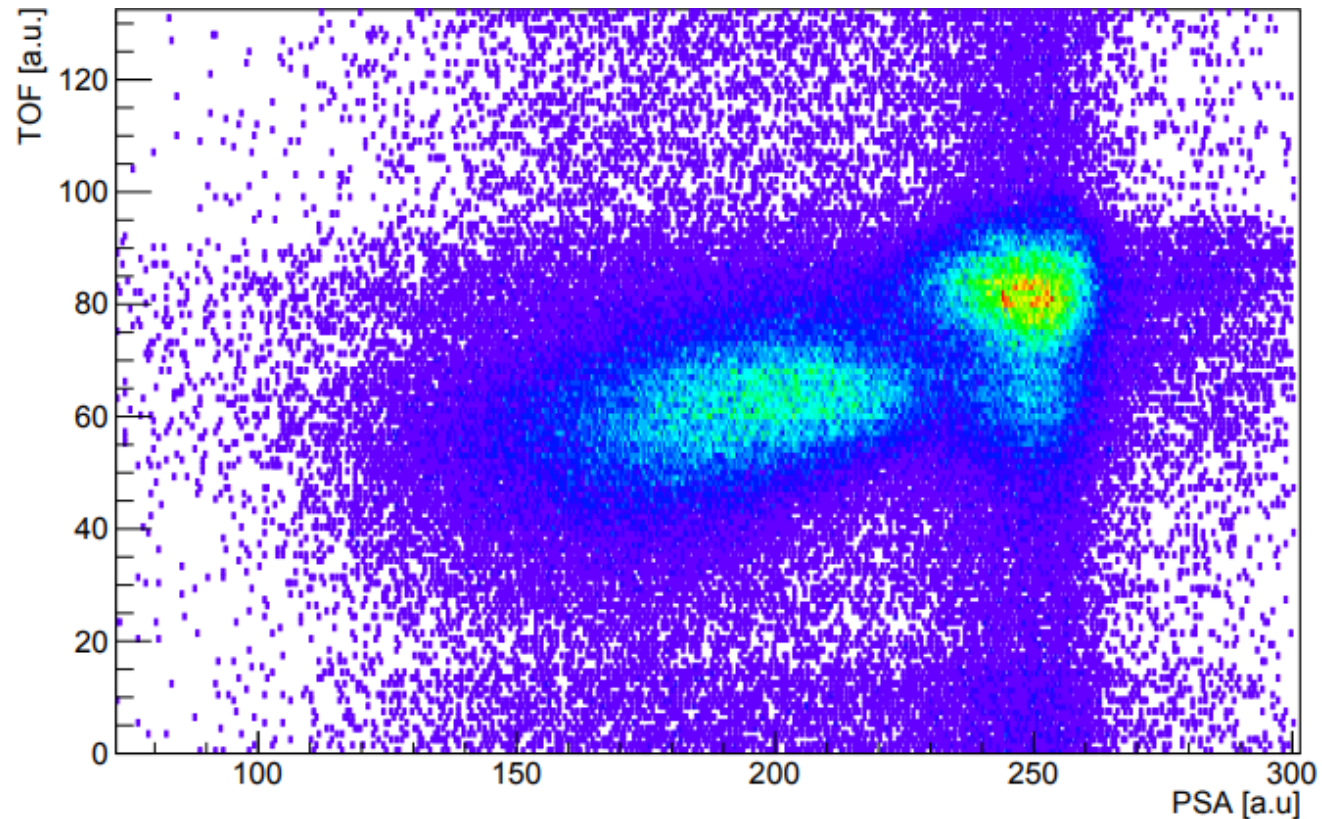
Testy układu NEDA listopad/grudzień

Trzy krótkie pomiary:

$36\text{Ar} + 58\text{Ni}$ (2UTs — 16 hours) 5 Nov.

$78\text{Kr} + 58\text{Ni}$ (3UTs — 24 hours) 11 Nov.

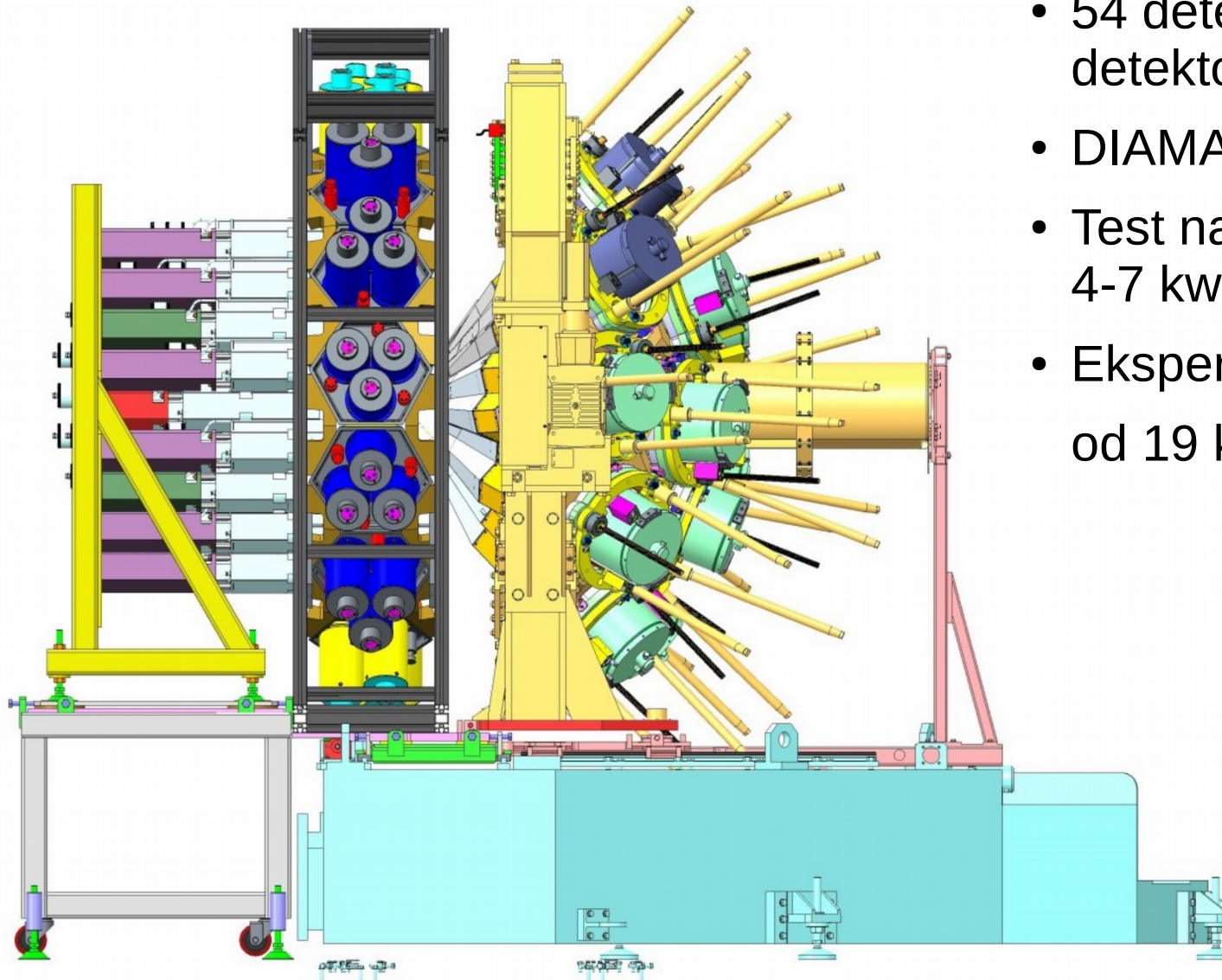
$124\text{Xe} + 12\text{C}$ (3UTs — 24 hours) 3 Dec.



→ pozytywna decyzja dyrektora GANIL 11 stycznia 2018

Obecnie

AGATA @ 145 mm
NEDA(54)@ 510 mm
NW (42)@ 650 mm



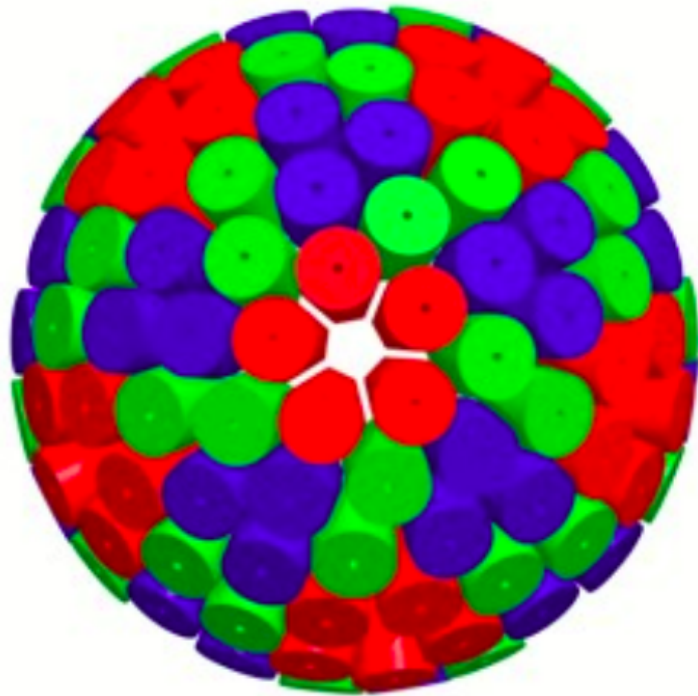
- 54 detektorów NEDA 42 detektory NWall
- DIAMANT
- Test na wiązce 4-7 kwietnia 2018
- Eksperymenty od 19 kwietnia



AGATA

(Design and characteristics)

4π γ -array for Nuclear Physics Experiments at European accelerators providing radioactive and stable beams



Main features of AGATA

Efficiency:	43% ($M_\gamma=1$)	28% ($M_\gamma=30$)
today's arrays	$\sim 10\%$ (gain ~ 4)	5% (gain ~ 1000)

Peak/Total:	58% ($M_\gamma=1$)	49% ($M_\gamma=30$)
today	$\sim 55\%$	40%

Angular Resolution: $\sim 1^\circ \rightarrow$
FWHM (1 MeV, $v/c=50\%$) ~ 6 keV !!!
today ~ 40 keV

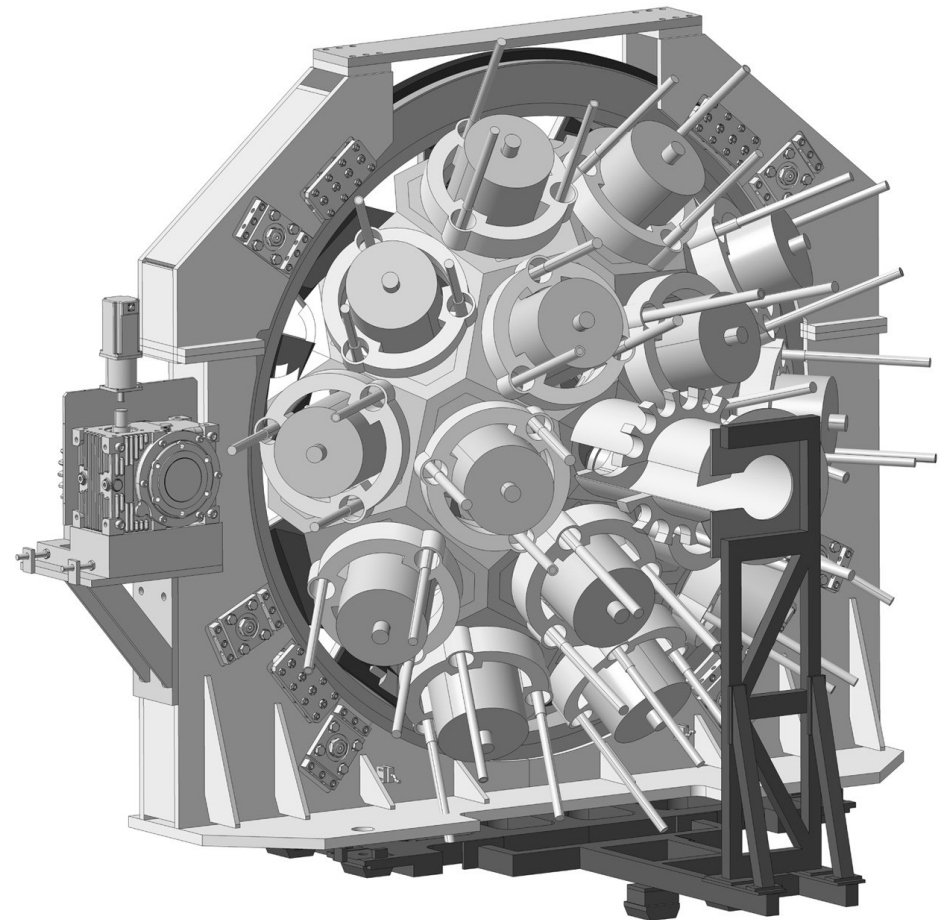
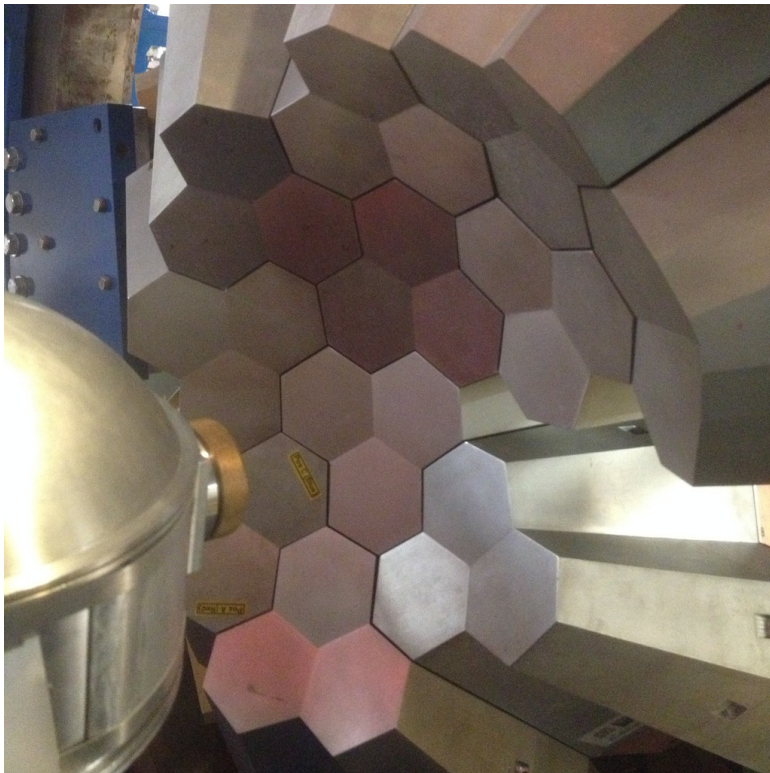
Rates:	3 MHz ($M_\gamma=1$)	300 kHz ($M_\gamma=30$)
today	1 MHz	20 kHz



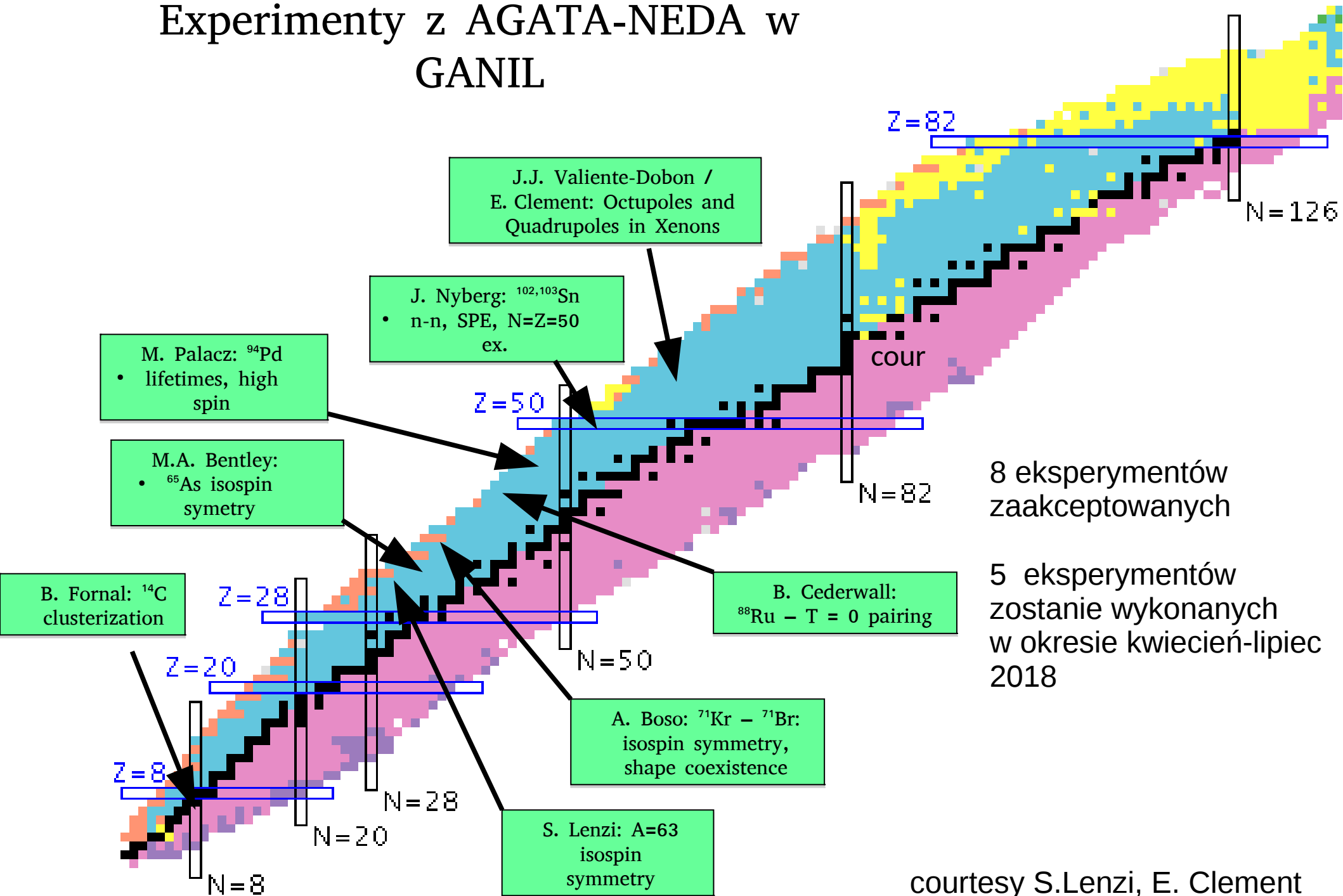
- 180 large volume 36-fold segmented Ge crystals in 60 triple-clusters
- Digital electronics and sophisticated Pulse Shape Analysis algorithms allow
- Operation of Ge detectors in position sensitive mode \rightarrow γ -ray tracking

AGATA at GANIL

Obecnie do: 35 kryształów
(Maks. w GANIL 45, 1π)



Experimenty z AGATA-NEDA w GANIL



courtesy S.Lenzi, E. Clement

Studies of excited states in $^{102,103}\text{Sn}$

to deduce

two-body neutron interactions,

single-particle energies

and $N = Z = 50$ core excitations (1/2)

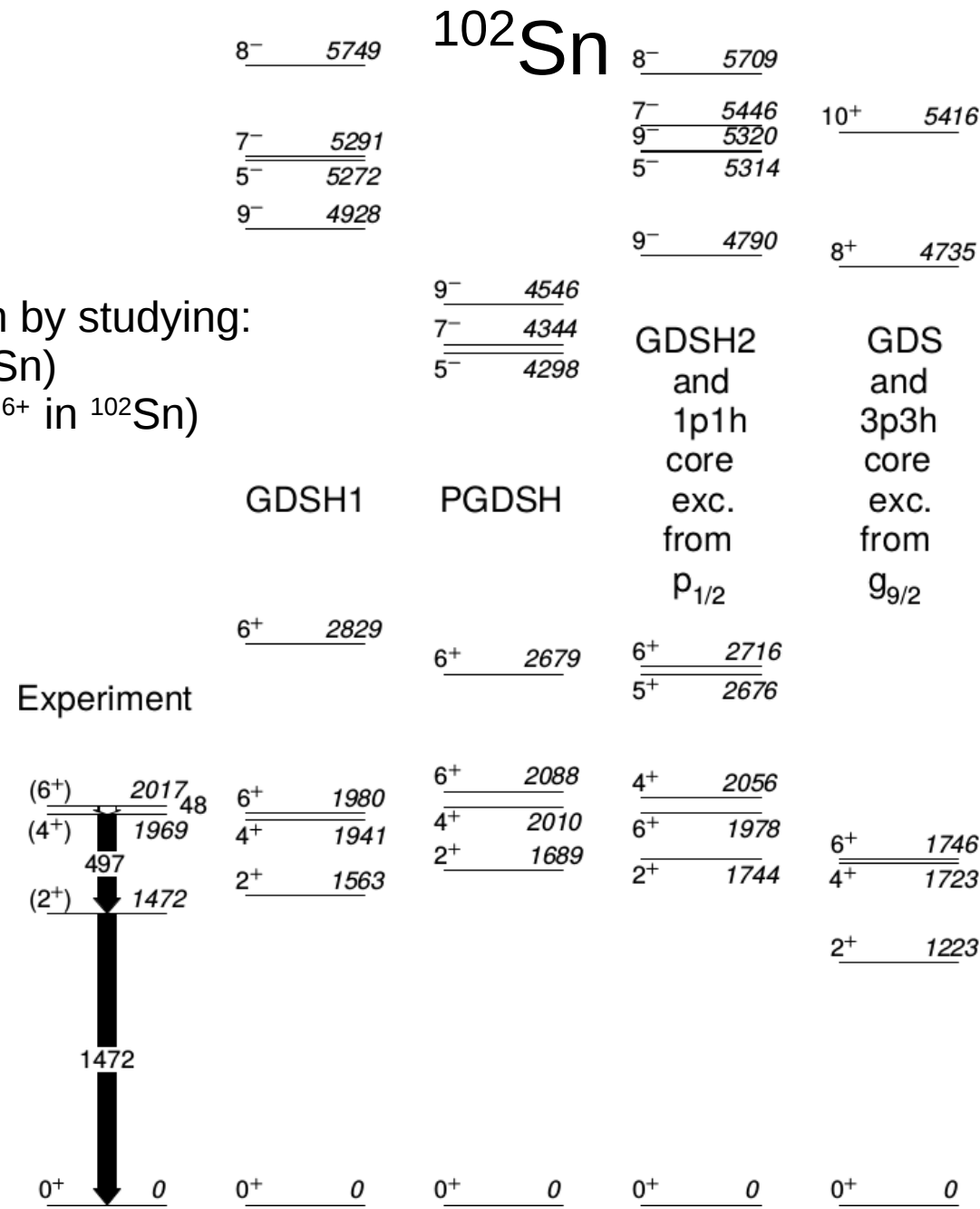
- Indirect information on excited states in ^{100}Sn by studying:
 9^- (core excited 3-phonon coupled to 6^+ in ^{102}Sn)
 $8^+, 10^+$ ($2^+, 4^+$ core excited states coupled to 6^+ in ^{102}Sn)

9^- alternatively $\nu(g_{7/2} h_{11/2})$ state

- $5^+, 6^+_2$ — $\nu(d_{5/2} g_{7/2})$ matrix elements
- puzzle of the 6^+_1 decay and lifetime

J. Nyberg, A. Ataç, M. Palacz et al

wiązka 28/04 – 9/05/2018



Studies of excited states in $^{102,103}\text{Sn}$ to deduce two-body neutron interactions, single-particle energies and $N = Z = 50$ core excitations (2/2)

- E_x of $17/2^+$, $15/2^+$ (very pure configurations of $\nu(d_{5/2}, g_{7/2})$)
- $\nu h_{11/2}$ states at about 4 MeV
- core excited states $19/2^+$ and $21/2^+$ to verify $Z=50$ gap

(c)

$25/2^+$ 6450
 $23/2^+$ 6191

$21/2^+$ 5436

$19/2^+$ 5013

$21/2^-$ 4648
 $19/2^-$ 4470
 $17/2^-$ 4372
 $15/2^-$ 4288
 $13/2^-$ 3976

(d)

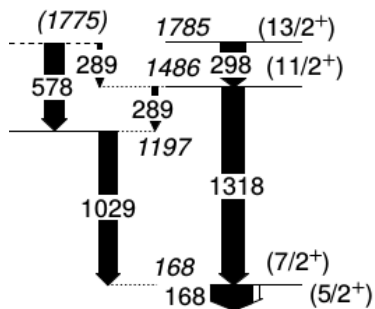
(a)

(b)

$23/2^-$ 4334
 $19/2^-$ 4102
 $21/2^-$ 4046
 $17/2^-$ 3994
 $13/2^-$ 3646
 $15/2^-$ 3614

$11/2^-$ 2654

experiment



$15/2^+$ 2250
 $17/2^+$ 2006
 $13/2^+$ 1797
 $15/2^+$ 1677
 $11/2^+$ 1485
 $9/2^+$ 1219
 $13/2^+$ 2142
 $11/2^+$ 1977
 $9/2^+$ 1829
 $7/2^+$ 1418
 $5/2^+$ 1018

^{103}Sn

$7/2^+$ 177
 $5/2^+$ 0

$17/2^+$ 1914
 $15/2^+$ 1882
 $13/2^+$ 1758
 $11/2^+$ 1436
 $9/2^+$ 1419

$7/2^+$ 155
 $5/2^+$ 0

$17/2^+$ 2264
 $13/2^+$ 2070
 $15/2^+$ 2043
 $11/2^+$ 1711
 $9/2^+$ 1438

$7/2^+$ 278
 $5/2^+$ 0

Współpraca



GANIL (G. de France et al.)

Legnaro, Padova (J.J.Valiente-Dobon (PM) et al.)

Uppsala (J. Nyberg et al.)

Valencia (A. Gadea et al.)

Istanbul, Negde (M.N.Erduran et al.)

Warszawa, Kraków, Świerk

Podsumowanie

- Układ NEDA umożliwia selekcję rzadkich produktów reakcji fuzji-ewaporacji.
Połączony z układem detektorów HPGe otwiera nowe możliwości badania jąder bogatych w protony.
- Eksperymenty z układem AGATA-NEDA rozpoczynają się w GANIL w kwietniu
(8 zaakceptowanych eksperymentów, 5 w b.r.)

Polskie finansowanie:

- Grant NCN Harmonia, koszty operacyjne AGATA, PARIS, NEDA
- Grant OPUS 2017/25/B/ST2/0156
- Projekty w ramach współpracy COPIN-IN2P3 oraz COPIGAL

Postdoc poszukiwany (zatrudnienie w ŚLCJ):
slcj.uw.edu.pl/en/post-doctoral-position/