

# Redukcja tła dla detekcji śladowych aktywności sztucznych emiterów alfa, beta i gamma w środowisku

Jerzy W. Mietelski

Zakład Fizykochemii Jądrowej

Instytut Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego

PAN

# Spektrometry wykorzystywane w badaniach radioaktywności środowiska

Scyntylicyjne = scyntylator + fotopowielacz  
+MCA

## Półprzewodnikowe

- analogowe  
dioda+przedwzmacniacz+wzmianicza+MCA
- cyfrowe  
dioda+przedwzmacnicz+analizator impulsu

## Spektrometry masowe

# Źródła tła

- Tło ziemskie (gamma, neutrony)
- Promieniowanie kosmiczne (miony, neutrony, gamma)
- Radon (gamma, beta, alfa)
- Zanieczyszczenia detektora (alfa, beta, gamma)
- Inne radionuklidy w badanej próbce (alfa, beta, gamma, XRF)

# Spektrometria alfa

U(238,235,234),Th(232,230,228),Pu(239+240,238),Am(241)  
Cm(242,243+244),Ra(226,224), Po(210)....

# Źródła tła (alfa)

- Tło ziemskie (gamma, neutrony)
- Promieniowanie kosmiczne (miony, neutrony, gamma)
- Radon (gamma, beta, alfa)
- Zanieczyszczenia detektora (alfa, beta, gamma)
- Inne radionuklidy w badanej próbce (alfa, beta, gamma, XRF)

# Specyfika pomiaru

- Mały zasięg – konieczność prac radiochemicznych (usuwa się nieaktywna matrycę ale i separuje się pierwiastki radioaktywne, gęstość źródła  $<0.1 \text{ mg/cm}^2$ )
- Łatwa redukcja tła (dobór materiałów! – unika się duraluminium)
- Próżnia niezbędna

# Radiochemia

## (podstawowe etapy)

- Dodanie znaczników wewnętrznych
- Pełna mineralizacja, czasem wmywanie
- Prekoncentracja i wydzielenie selektywne – ekstrakcja, współstrącanie, chromatografia jonowymienna
- Przygotowanie źródeł (mikrowspółstrącanie, elektroliza, elektroforeza, elektrokapilarne napyłanie).

# Radiochemical analysis of transuranics in environmental samples

General scheme of analysis (Jerrome La Rosa, IAEA, NIST)

**sample** (analytes = Np, Pu, Am, Cm isotopes)  
[e.g., soil, sediment, biota, fresh water, seawater]

chemical dissolution (acids, molten salt fusion) with spikes ( $^{235}\text{Np}$ ,  $^{236}\text{Np}$  or  $^{239}\text{Np}$ ;  $^{236}\text{Pu}$  or  $^{242}\text{Pu}$ ;  $^{243}\text{Am}$ )

**sample solution** (*attention! analytes and spikes may be in different oxidation states!*)

chemical equilibration: analytes and spikes brought into same chemical state: e.g.,

1. **reduction** to lowest valence state  
 $\text{Pu}^* + [\text{Fe}^{\text{II}}, \text{Ti}^{\text{III}}] \rightarrow \text{Pu}^{\text{III}}$
2. **oxidation** to highest valence state  
 $\text{Pu}^* + [\text{MnO}_4^-, \text{Ce}^{\text{IV}}] \rightarrow \text{Pu}^{\text{VI}}$

**sample solution**: analytes and spikes chemically equilibrated

chemical separation: co-precipitation, ion exchange, solvent extraction

naturally-occurring radionuclides, e.g., Pb, Bi, Po, Ra, Ac, Th, Pa, U

**analytes + spikes**

matrix components:  $\text{SiO}_2$ , Mg, Ca, Na, K,  $\text{PO}_4$ , Al, Fe, Ti, La, ...

selective separation and purification

**Np source**

**Pu source**

**Am, Cm source**

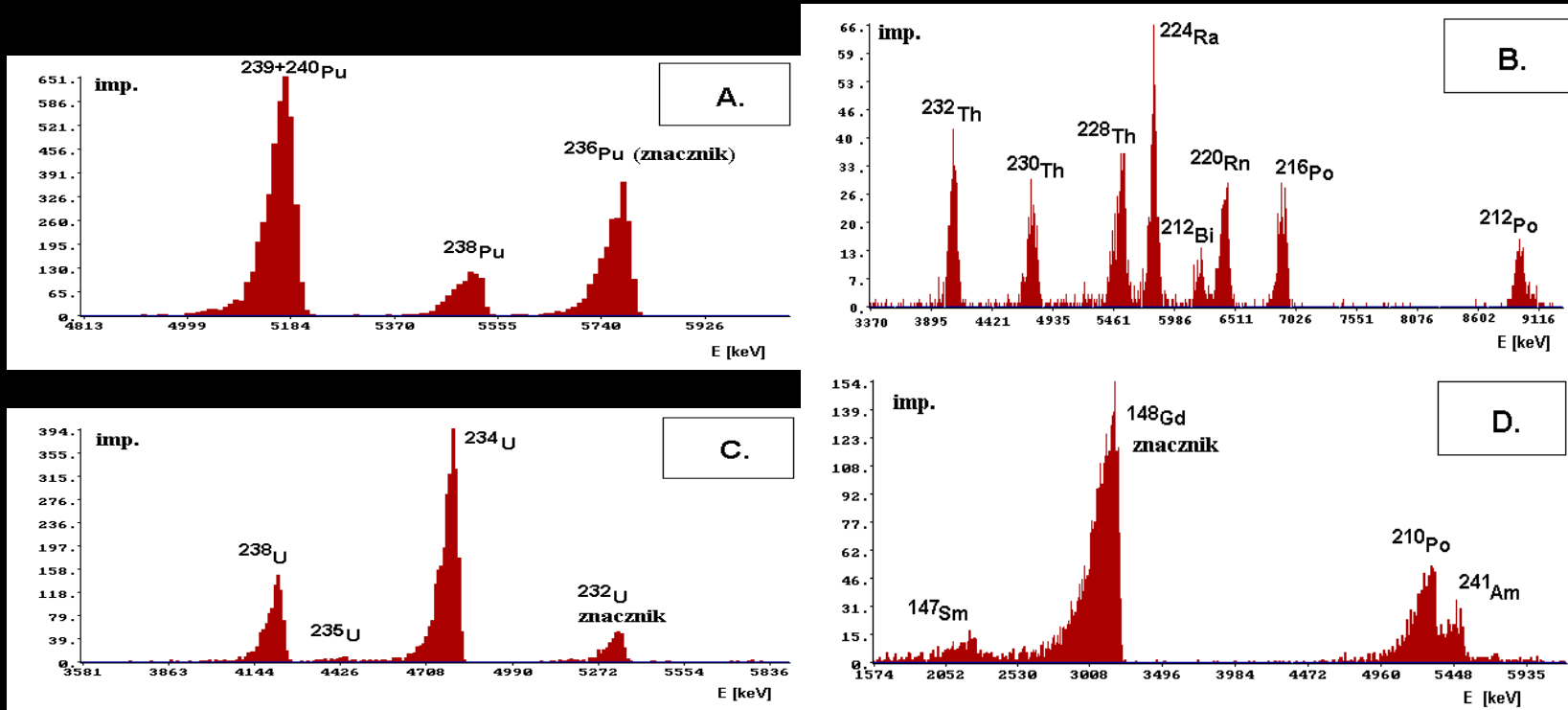


# Znaczniki (wzorce) wewnętrzne

Isotope	Used tracer
$^{238}\text{U}$ , $^{234}\text{U}$ , $^{235}\text{U}$	$^{232}\text{U}$
$^{239}\text{Pu}$ , $^{238}\text{Pu}$	$^{236}\text{Pu}$ , $^{242}\text{Pu}$
$^{232}\text{Th}$ , $^{230}\text{Th}$ , $^{228}\text{Th}$	$^{229}\text{Th}$
$^{226}\text{Ra}$	$^{133}\text{Ba}(\gamma)$
$^{147}\text{Sm}$ , $^{144}\text{Nd}$ , ...	$^{148}\text{Gd}$ , $^{155}\text{Eu}(\gamma)$ , $^{154}\text{Eu}(\gamma)$ , $^{152}\text{Eu}(\gamma)$
$^{241}\text{Am}$ , $^{244}\text{Cm}$	$^{243}\text{Am}$

Czystość radionuklidowa znacznika!

# Widma



Czynnik separacji do ok. 1/10000

# BETA (LSC)

Sr(90,89),H(3),C(14),Pu(241),....

# Źródła tła (beta)

- Tło ziemskie (gamma, neutrony)
- Promieniowanie kosmiczne (miony, neutrony, gamma)
- Radon (gamma, beta, alfa)
- Zanieczyszczenia detektora (alfa, beta, gamma)
- Inne radionuklidy w badanej próbce (alfa, beta, gamma, XRF)

# Specyfika pomiaru

- Widma ciągłe – konieczność prac radiochemicznych (usuwa się nieaktywna matrycę ale i separuje się pierwiastki radioaktywne)
- Pasywna i aktywna redukcja tła
- Termoemisja (chłodzenie, pomiar koincydencyjny, podwójny lub potrójny)
- Wymagania wobec koktajli scyntylacyjnych (p-poż, toksykologia, niskie Z)

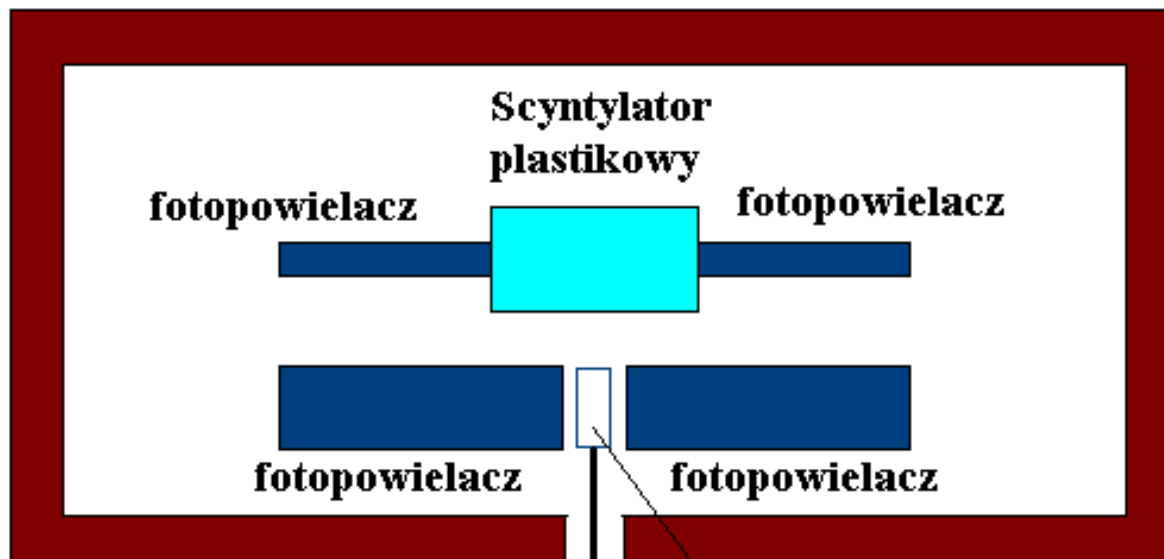
# Radiochemia (podstawowe etapy)

- Dodanie znaczników wewnętrznych (aktywnych lub nieaktywnych). Ale istnieje **metoda absolutna\*** (podwójne i potrójne koincydencje)
- Pełna mineralizacja, czasem wymywanie
- Prekoncentracja i wydzielenie selektywne – ekstrakcja, współstrącanie, chromatografia jonowymienna, synteza związków

\* TDCR method, Schwerdtel and Pochwalski

# Budowa głowicy pomiarowej LSC (2 PT)

osłona bierna - 5 cm ołowiu



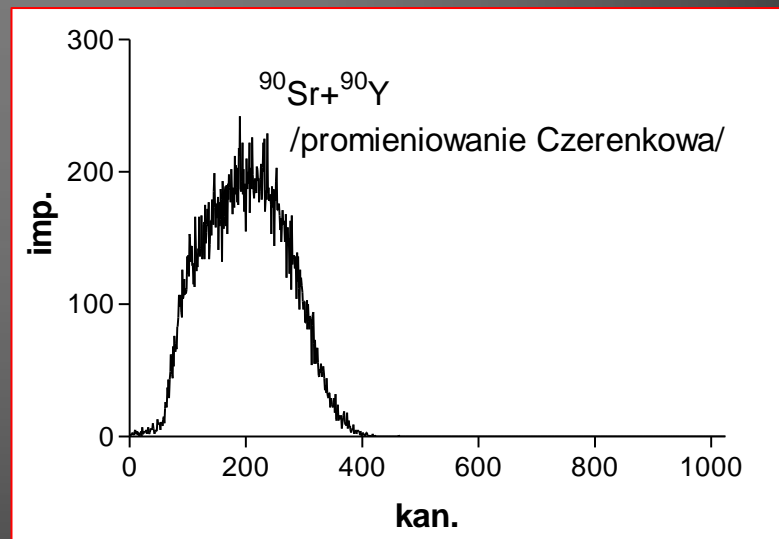
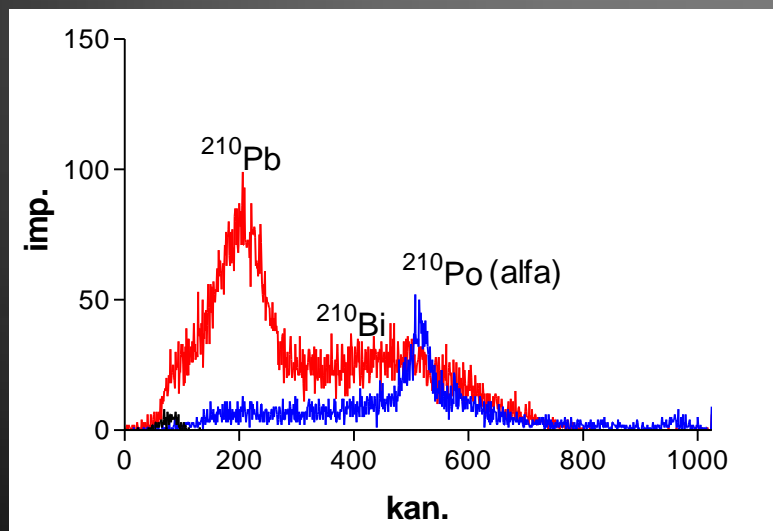
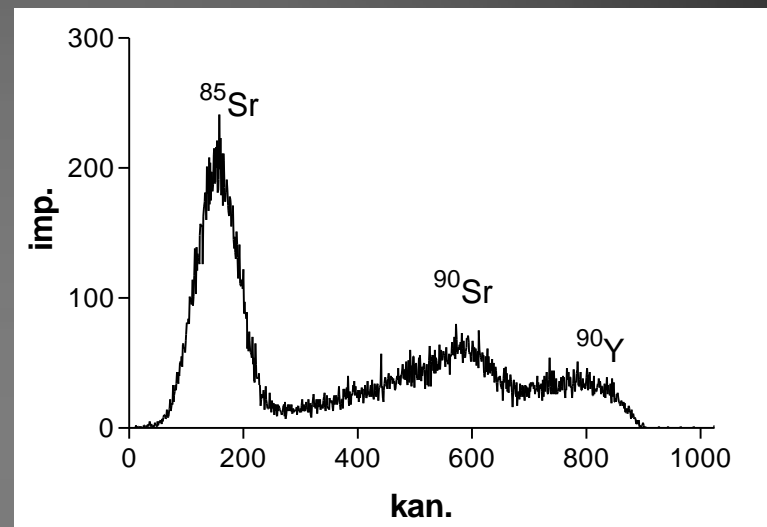
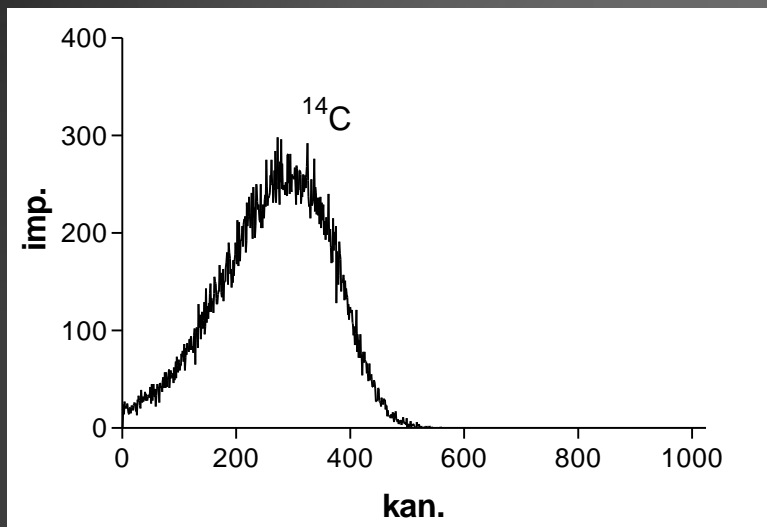
popychacz

/ element zmieniający próbki /

Próbka

/preparat zmieszany z ciekłym scyntylatorem/

# Widma LSC





# Promieniowanie GAMMA

Cs(137,134, 136), K(40), Pb(210), Na(22),Be(7),  
I(131,132), Ru(103,106), Ce(142,144),Zr(95), Nb(95),  
Ag(108m, 110m), Sb(125, 127),Th(234),Am(241), Bi(207)....

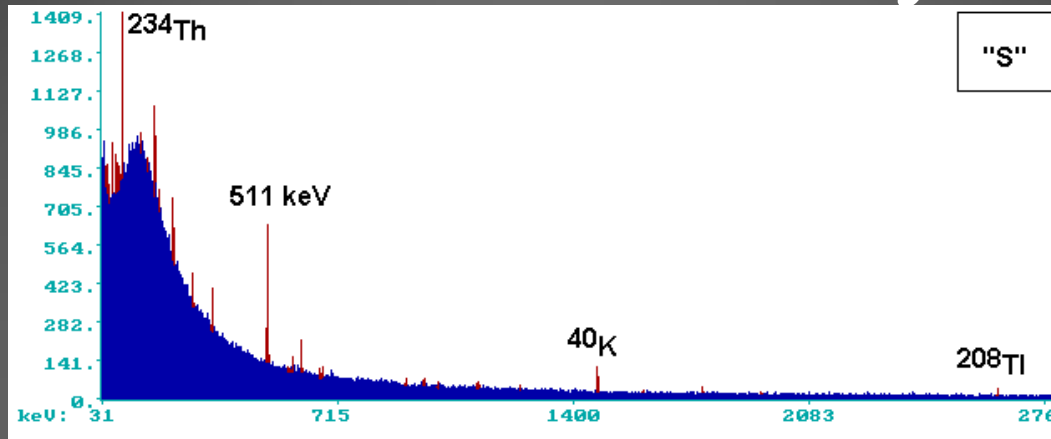
# Źródła tła

- Tło ziemskie (gamma, neutrony)
- Promieniowanie kosmiczne (miony, neutrony, gamma)
- Radon (gamma, beta, alfa)
- Zanieczyszczenia detektora (alfa, beta, gamma)
- Inne radionuklidy w badanej próbce (alfa, beta, gamma, XRF)

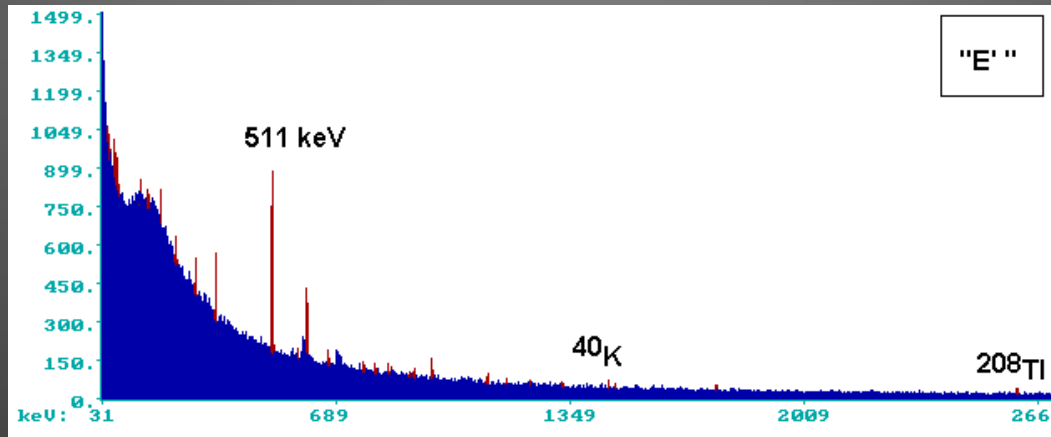
# Systemy osłon – osłony bierne

- Konieczne, bo promieniowanie gamma przenikliwe i wszechobecne
- Pożądane duże  $Z$ , malejące do wnętrza (od ołowiu do akrylu) - XRF!
- Pochłanianie neutronów – kadmowe przekładki
- Redukcja radonu – przepływ azotu, wypełnianie styropianem (*woda*) hermetyzacja i opóźnianie włączenia pomiaru etc.
- Optymalna grubość 15 cm – efekty neutronowe

# Osiągalna redukcja tła dzięki osłonom biernym



Osłona 10 cm ołowiu, kadm, 2 cm miedzi, pomiar 5 dni



Osłona 15 cm ołowiu, kadm, 1 cm miedzi, pomiar 12 dni

# Czystość radiochemiczna materiałów konstrukcyjnych

U, Th i K obecne wszędzie w śladach

1 ppm U to 12 Bq/kg  $^{238}\text{U}$

1 ppm Th to 5 Bq/kg  $^{232}\text{Th}$

1‰ K to 32 Bq/kg  $^{40}\text{K}$

Getter, kriostat, przedwzmacniacz, itd....

Typowe aluminium 0.5 ppm U, Th

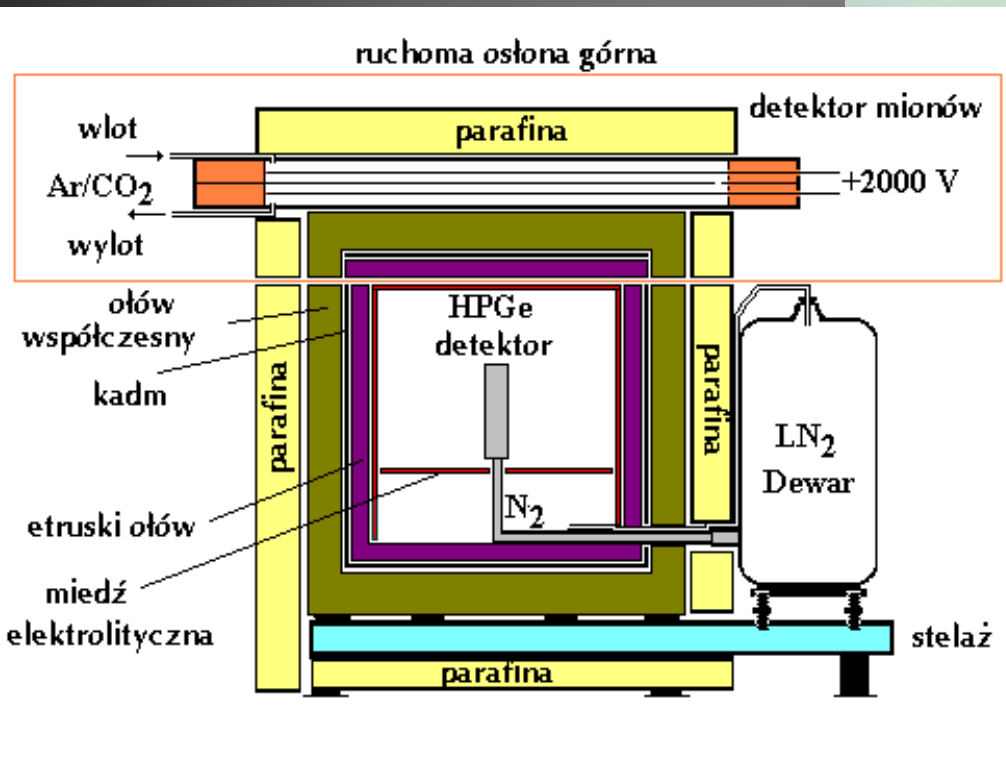
ultraczyste ~1 ppb (0.001 ppm)

Kriostat – miedź, stal nierdzewna (wyższe Z),

kompozyty węglowe (kleje!)

# Niskotłowy spektrometr PBSRŚ IFJ PAN (1998-2001), działał do 2012

„Etrusek”



Detektora/czas pomiaru ⇒

E'  
koaksjalny,  
Eff ~20%  
osłona anty- koincydencyjna  
włączona,  
ok. kompoz

Energia [keV]	Izotop	Uwagi nt. pochodzenia linii	12 dni (10.2002).
46.5	<sup>210</sup> Pb	Szereg U	<0.00007
53	<sup>73m</sup> Ge+ <sup>214</sup> Pb	<sup>72</sup> Ge(n,γ) <sup>73</sup> Ge +szereg U	0.00031(12)
63.3	<sup>234</sup> Th	Szereg U	<0.00005
72.8	Pb-X	K <sub>α2</sub>	]0.00063(17) ]0.00055(15)
74.97	Pb-X	K <sub>α1</sub>	
84.8	Pb-X	K <sub>β1</sub>	
87.4	Pb-X	K <sub>β2</sub>	
92.6	<sup>234</sup> Th	Szereg U	<0.0001
139.5	<sup>75m</sup> Ge	<sup>74</sup> Ge(n,γ) <sup>75</sup> Ge	0.00037(9)
143.8	<sup>235</sup> U	Szereg Ac	<0.00005
163.3	<sup>235</sup> U	Szereg Ac	<0.00003
186	<sup>226</sup> Ra+ <sup>235</sup> U	Szeregi U, Ac	<0.00004
198.3	<sup>71m</sup> Ge	<sup>70</sup> Ge(n,γ) <sup>71</sup> Ge	0.00061(11)
238.6	<sup>212</sup> Pb	Szereg Th	0.00031(11)
241.9	<sup>214</sup> Pb	Szereg U	0.00019(11)
295.1	<sup>214</sup> Pb	Szereg U	0.00049(8)
338.3	<sup>228</sup> Ac	Szereg Th	<0.00006
351.9	<sup>214</sup> Pb	Szereg U	0.00056(8)

Linie  
tła  
(1)

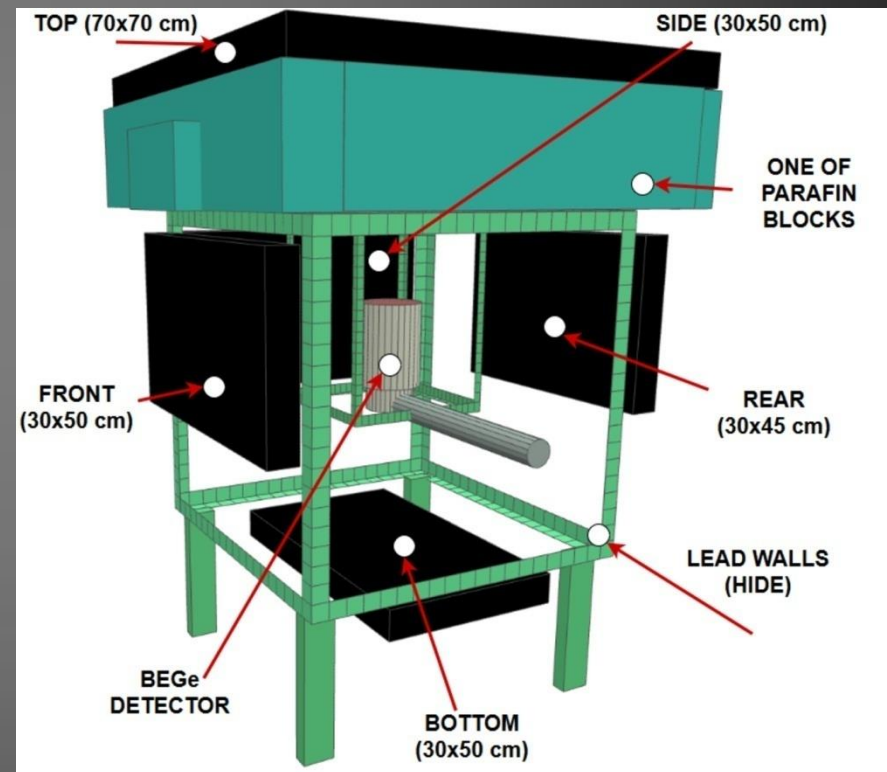
511.0	(e <sup>+</sup> e <sup>-</sup> )	Prom. kosm.	0.00398(9)
569.7	<sup>76</sup> Ge	<sup>76</sup> Ge(n,n')	0.00008(4)
583.2	<sup>208</sup> Tl	Szereg Th	0.00017(5)
595.9*	<sup>74</sup> Ge	<sup>74</sup> Ge(n,n')	0.0015(2)
609.3	<sup>214</sup> Bi	Szereg U	0.00090(6)
661.6	<sup>137</sup> Cs	Kontaminacja	<0.00001
669.6	<sup>63</sup> Cu	<sup>63</sup> Cu(n,n')	0.00023(4)
691.3*	<sup>72</sup> Ge	<sup>72</sup> Ge(n,n')	0.0011(2)
727.3	<sup>212</sup> Bi	Szereg Th	<0.00002
770.8	<sup>65</sup> Cu	<sup>65</sup> Cu(n,n')	0.00016(4)
846.8*	<sup>56</sup> Fe	<sup>56</sup> Fe(n,n')	0.00011(4)
911.2	<sup>228</sup> Ac	Szereg Th	0.00013(4)
934.0	<sup>214</sup> Bi	Szereg U	0.00005(3)
962.1	<sup>63</sup> Cu	<sup>63</sup> Cu(n,n')	0.00029(4)
969.0	<sup>228</sup> Ac	Szereg Th	0.00005(4)
1001.0	<sup>234m</sup> Pa	Szereg U	<0.00001
1115.5	<sup>65</sup> Zn	<sup>70</sup> Ge(n,2nα) <sup>65</sup> Zn	0.00011(3)
1120.3	<sup>214</sup> Bi	Szereg U	0.00017(3)
1173.2	<sup>60</sup> Co	<sup>63</sup> Cu(n,α) <sup>60</sup> Co	0.00011(3)
1238.8	<sup>214</sup> Bi	Szereg U	0.00008(3)
1327	<sup>63</sup> Cu	<sup>63</sup> Cu(n,n')	0.00012(3)
1332.5	<sup>60</sup> Co	<sup>63</sup> Cu(n,α) <sup>60</sup> Co	0.00008(3)
1460.8	<sup>40</sup> K	Naturalny	0.00015(3)
1592.5	<sup>208</sup> Tl <sub>uciecz.</sub>	2615-1022 keV	0.00004(2)
1764.6	<sup>214</sup> Bi	Szereg U	0.00015(3)
2103.5	<sup>208</sup> Tl <sub>uciecz.</sub>	2615 – 511 keV	<0.00002
2204.1	<sup>214</sup> Bi	Szereg U	0.00005(2)
2614.5	<sup>208</sup> Tl	Szereg Th	0.00017(3)

Linie  
tła  
(2)



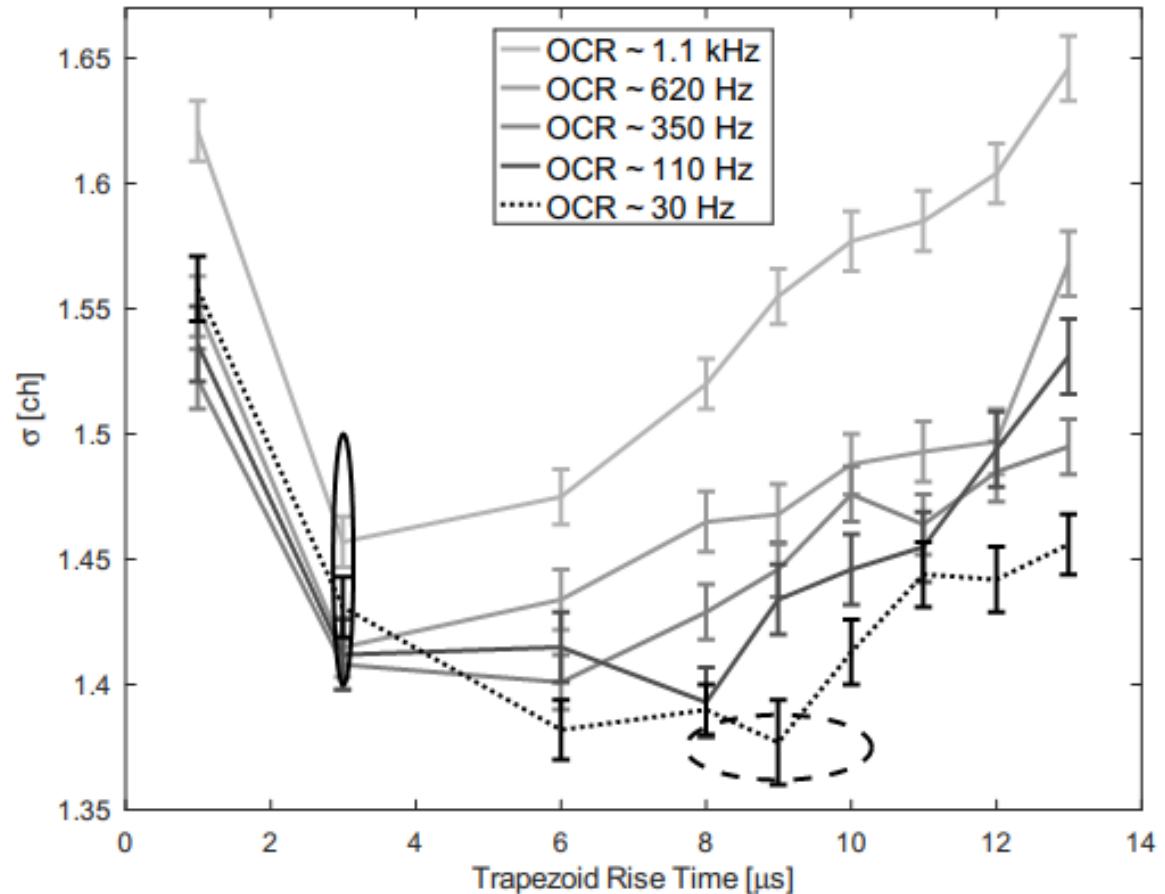
# Niskotłowy spektrometr promieniowania gamma w IFJ PAN (2017)

- „Etrusek 2”
- Ta sama osłona bierna, LN2 przepłukiwanie
- Osłona czynna z 5 dużych scyntalatorów
- Detektor BEGe Canberra
- Cyfrowy układ akwizycji (CAEN digitizer DT5725)
- Optymalizacja i oprogramowanie - praca doktorska K.Gorzkwicz,  
(prom. J.W.Mietelski, p.p. R. Kierepko)



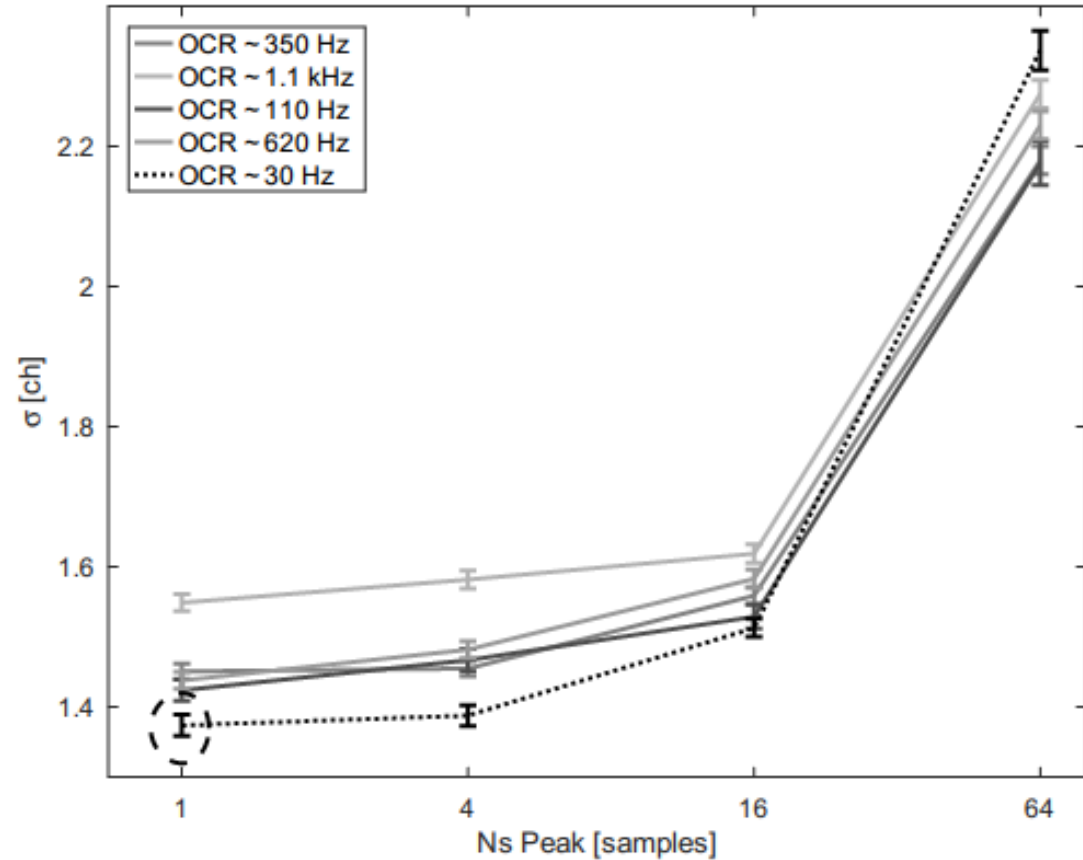
# Optymalizacja parametrów digitizera (FWHM) – przykład 1

FWHM (dla  $^{137}\text{Cs}$ ) vs. Trapezoid Rise Time  
Optimum jest funkcją obciążenia (dla niskich obciążeń linia przerywana, dla wysokich ciągła)



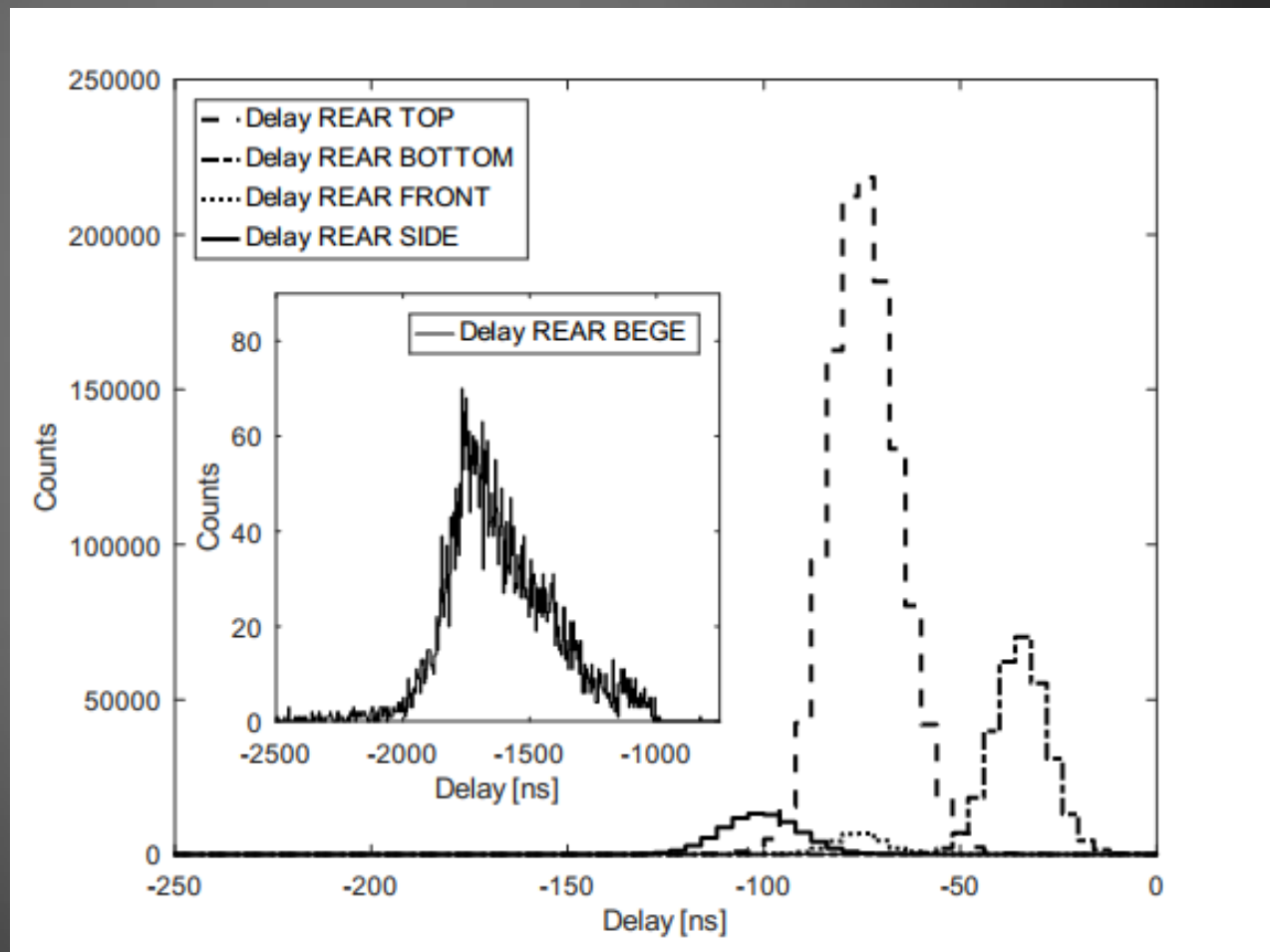
# Optymalizacja parametrów digitizera (FWHM) – przykład 2

- FWHM ( $^{137}\text{Cs}$ ) vs.  $N_s$  Peak (liczba punktów używanych do wyznaczenie poziomu zera)



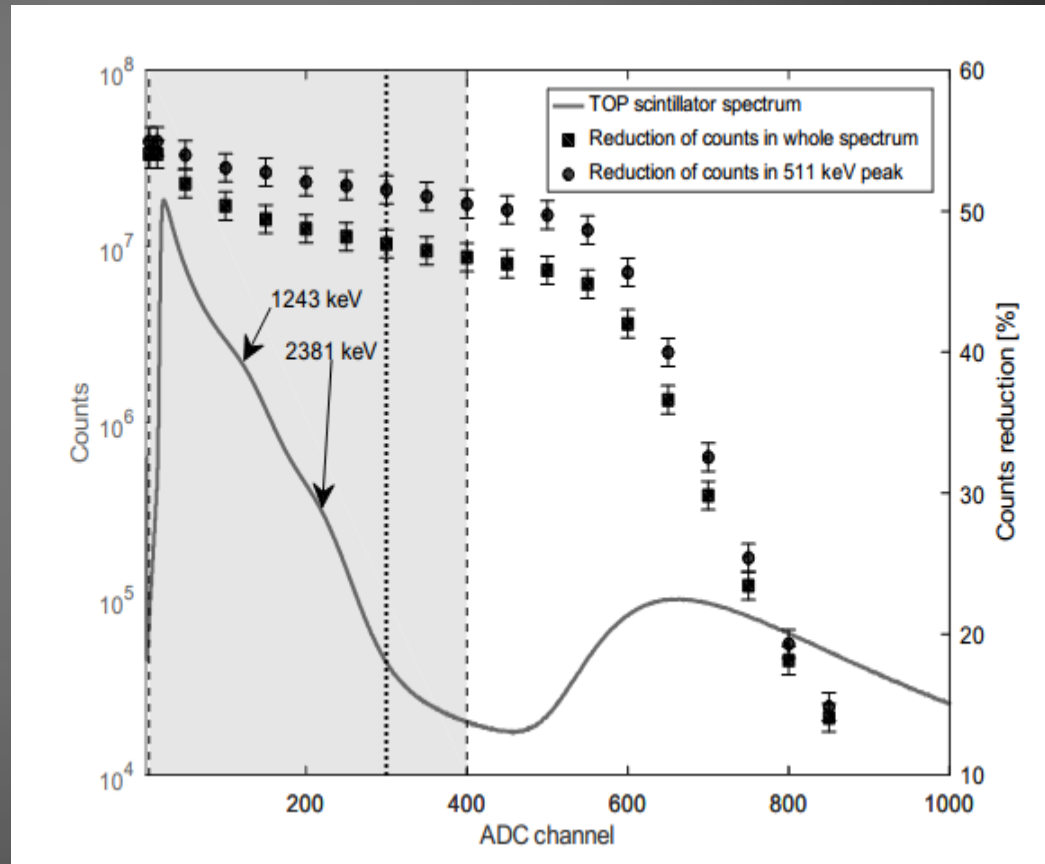
# Wzajemne opóźnienie detektorów

- Wyznaczono badając liczbę korelacji w funkcji czasu opóźnienia



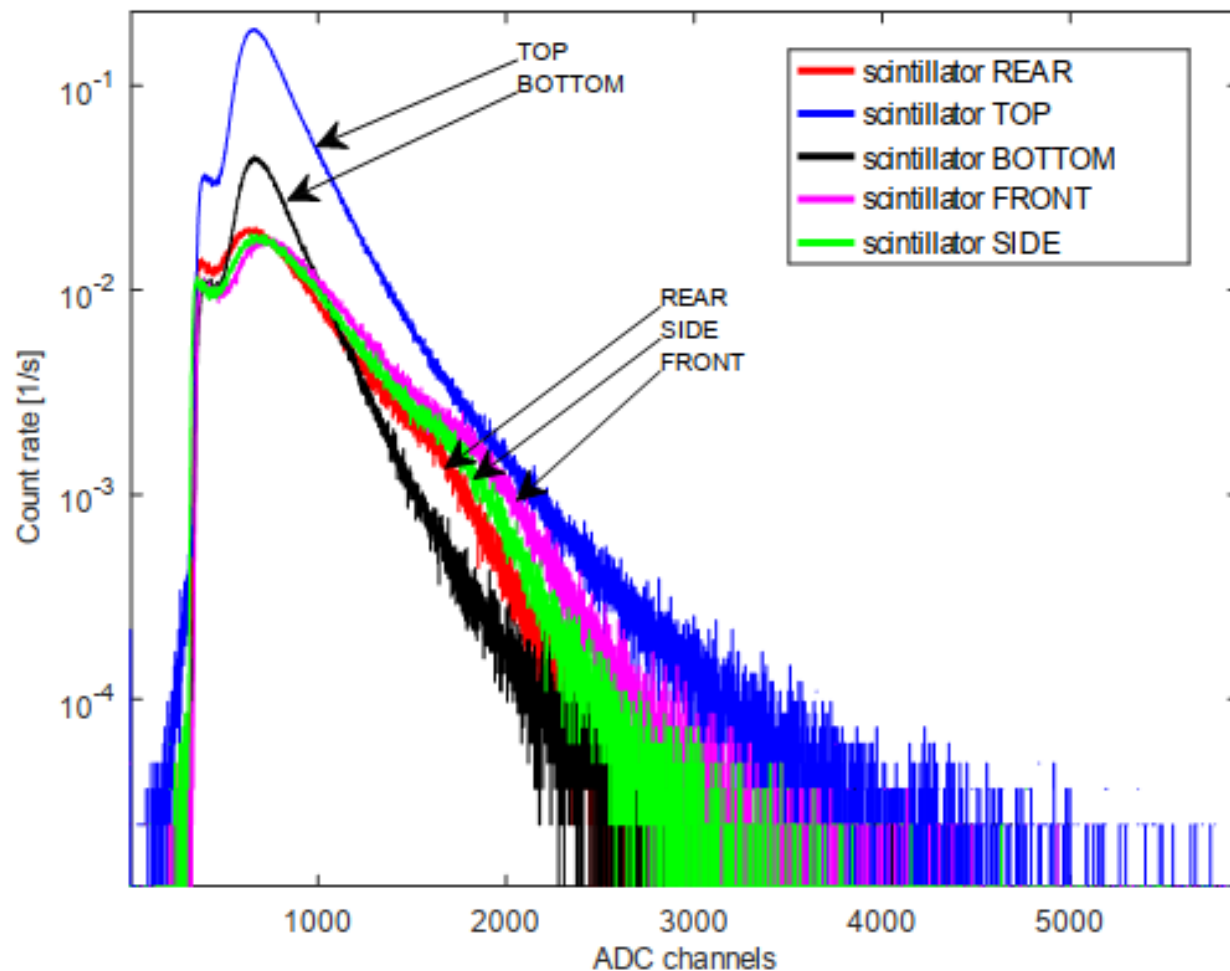
# Dyskryminacja gamma/miony dla plastikowych scyntylatorów

- Wyznaczono doświadczalnie obszar energii czuły na promieniowania gamma i próg sygnału dla mionów ustawiony ponad nim (400 kanał)



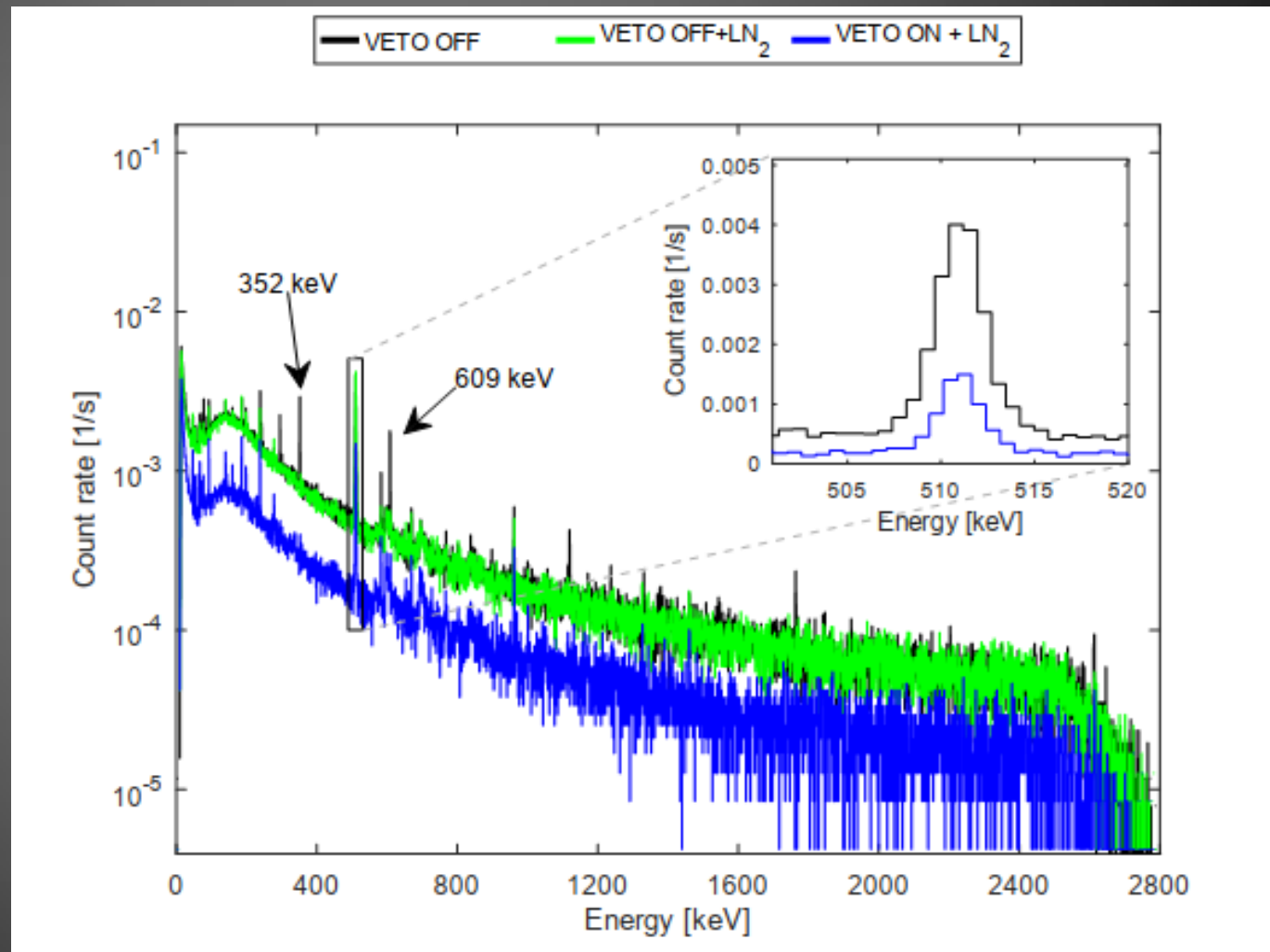
# Rejestrowane widma mionów

- Inny kształt widm detektorów poziomych i pionowych z racji depozycji innej części energii w detektorze.
- Strumień mionów zmienia się jak  $\cos^2 \theta$  ( $\theta$  - kąt zenitalny).



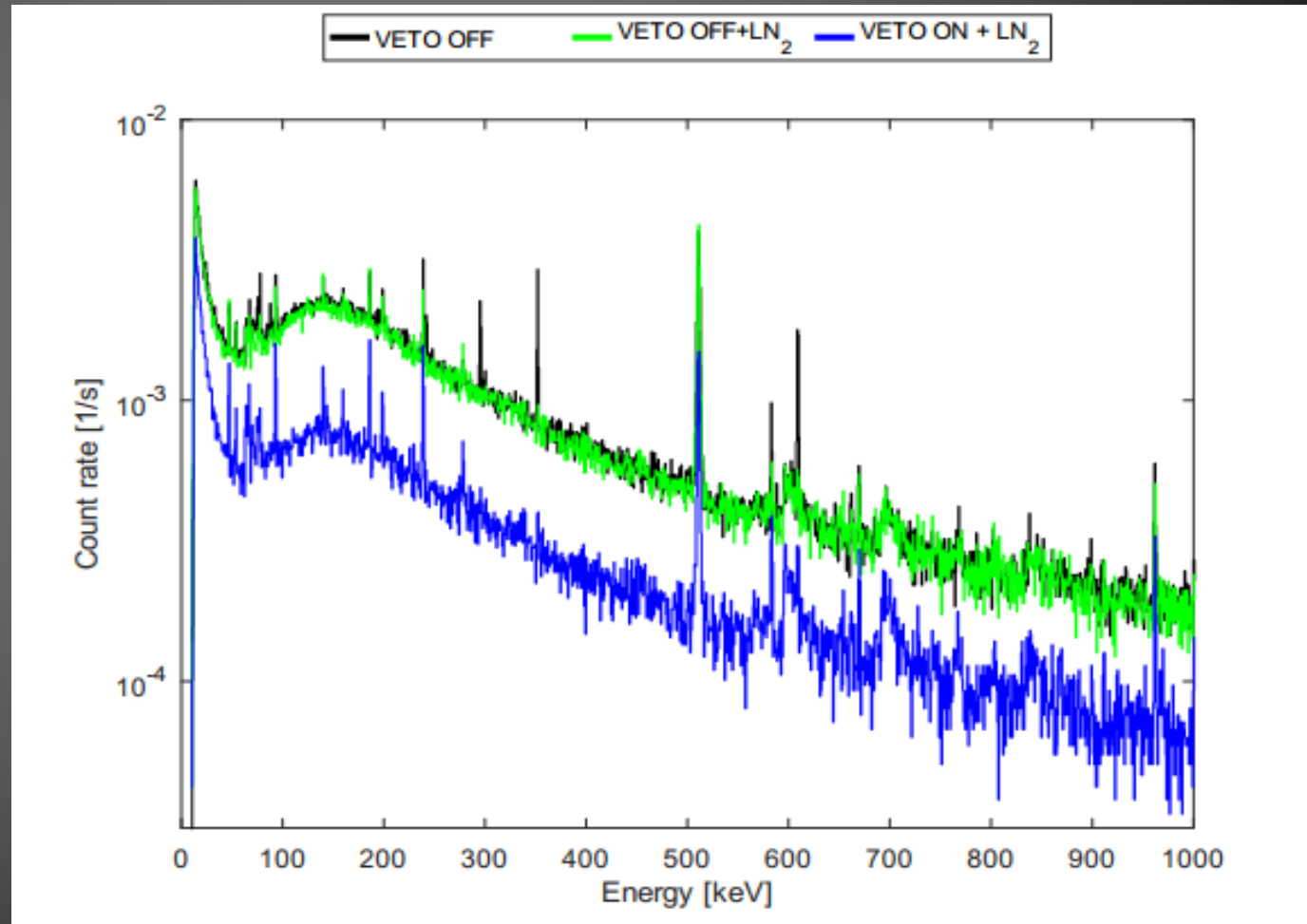
# Widmo tła gamma

- Redukcja tła po włączeniu osłony czynnej i przedmuchu LN<sub>2</sub>



# Widmo tła gamma $< 1$ MeV

- Redukcja tła po włączeniu osłony czynnej i przedmuchu LN<sub>2</sub>





# Redukcja ciągłego tła

Redukcje nie  
dodają się z racji  
koincydencji!

Główny udział  
poziomych ale  
częściowo wynika  
to z ograniczeń  
rozmiarów  
detektorów  
pionowych –  
konstrukcja osłony

Scyntylator	Redukcja [%]	
	Całe widmo	511 keV
REAR	2.9	3.7
TOP	49.6	50.9
BOTTOM	15.0	15.5
FRONT	6.0	5.9
SIDE	5.5	6.6
ALL	58.7	65.1

# Redukcje linii „kosmicznych”

Zysk na granicy  
oznaczalności

$$L_d = 2.71 + 4.65B^{1/2}$$

[Currie, 1968]

36% dla  $^{210}\text{Pb}$ ,

38% dla  $^{137}\text{Cs}$

38% dla  $^{40}\text{K}$

Najwięcej dla linii Bi i  
Pb-214 ponad 50%

Energy [keV]	Reaction/Isotope	Reduction [%]
185.9	$^{65}\text{Cu}(n,\gamma)^{66}\text{Cu}$	14.5
	$^{228}\text{Ac}$	
	$^{226}\text{Ra}$	
	$^{235}\text{U}$	
511.0	Annihilation	65.1
569.8	$^{207}\text{Pb}(n,n')^{207}\text{Pb}$	47.3
	$^{206}\text{Pb}(n,\gamma)^{207}\text{Pb}$	
595.9	$^{73}\text{Ge}(n,\gamma)^{74}\text{Ge}$	40.6
	$^{74}\text{Ge}(n,n')^{74}\text{Ge}$	
691.0	$^{72}\text{Ge}(n,n')^{72}\text{Ge}$	22.8
962.1	$^{63}\text{Cu}(n,n')^{63}\text{Cu}$	19.8
1115.5	$^{65}\text{Cu}(n,n')^{65}\text{Cu}$	14.3
	$^{65}\text{Cu}(p,n)^{65}\text{Zn}$	
2614.6	$^{208}\text{Tl}$	31.2
	$^{208}\text{Pb}(n,n')^{208}\text{Pb}$	

# Bonus! – badanie strumienia mionów

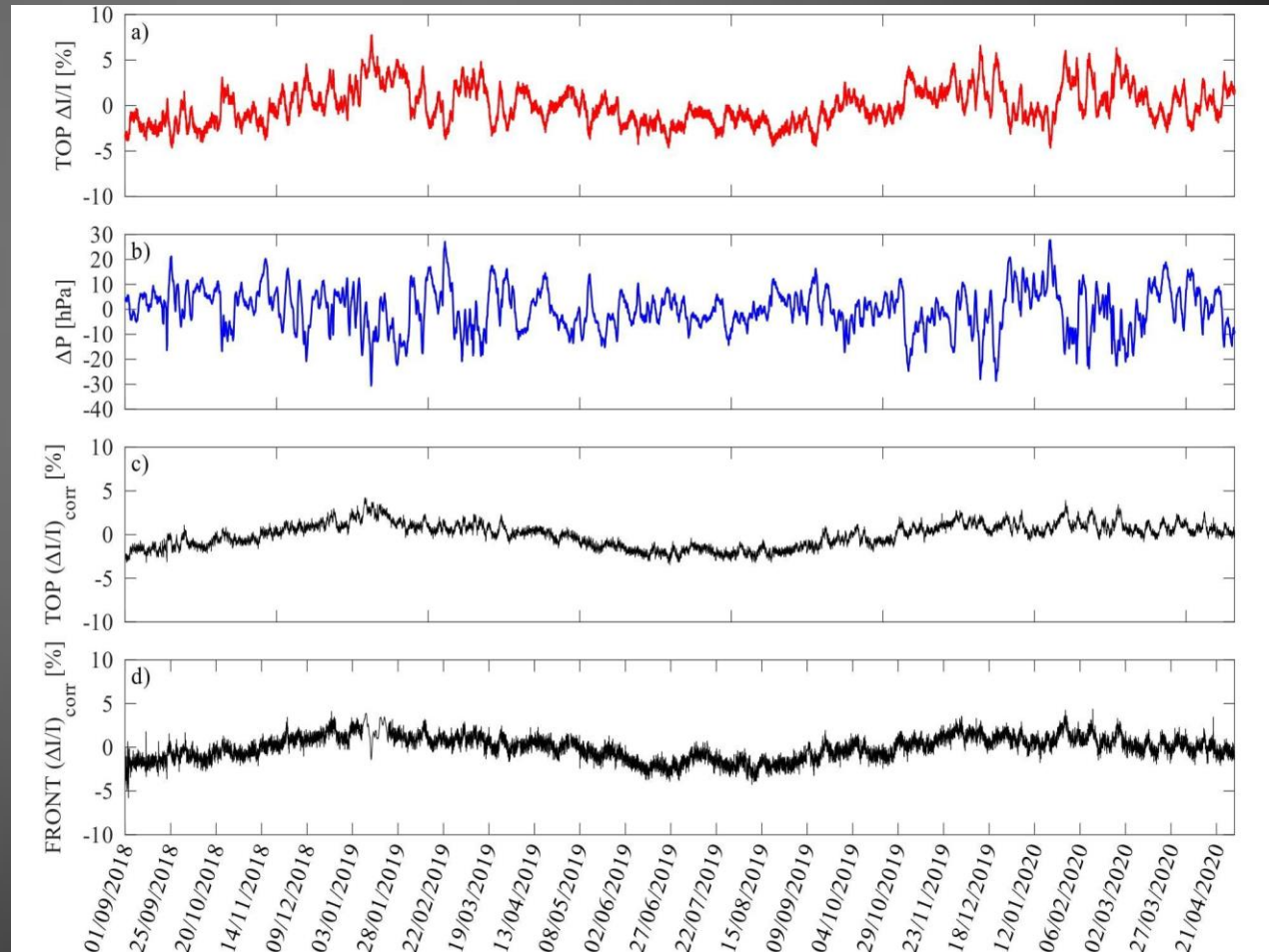
Zmiany strumienia mionów, 1.09.2018 – 30.04.2020,

Od góry:

dane surowe strumienia

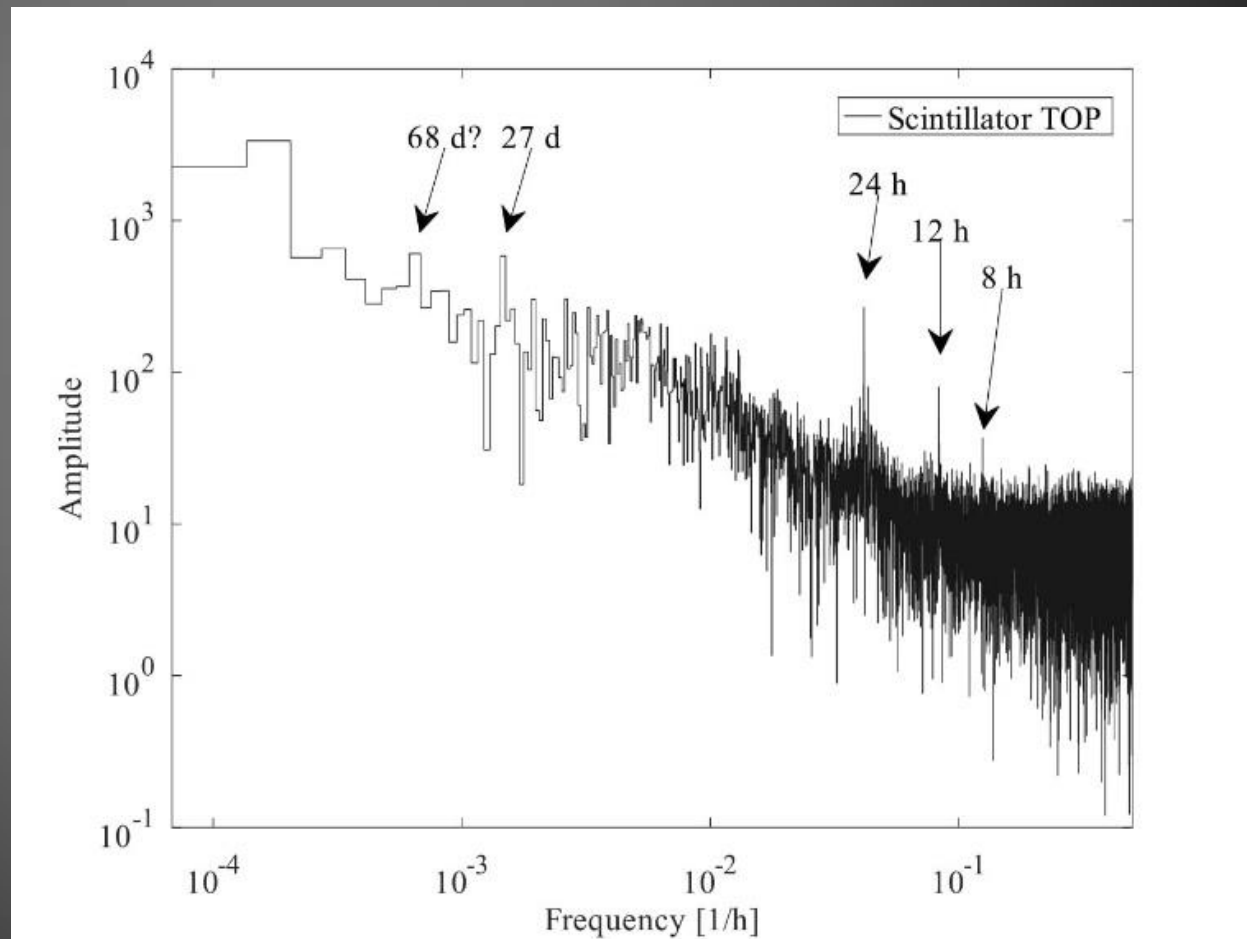
zmiany ciśnienia

dane skorygowane  
det. Top  
det. Front

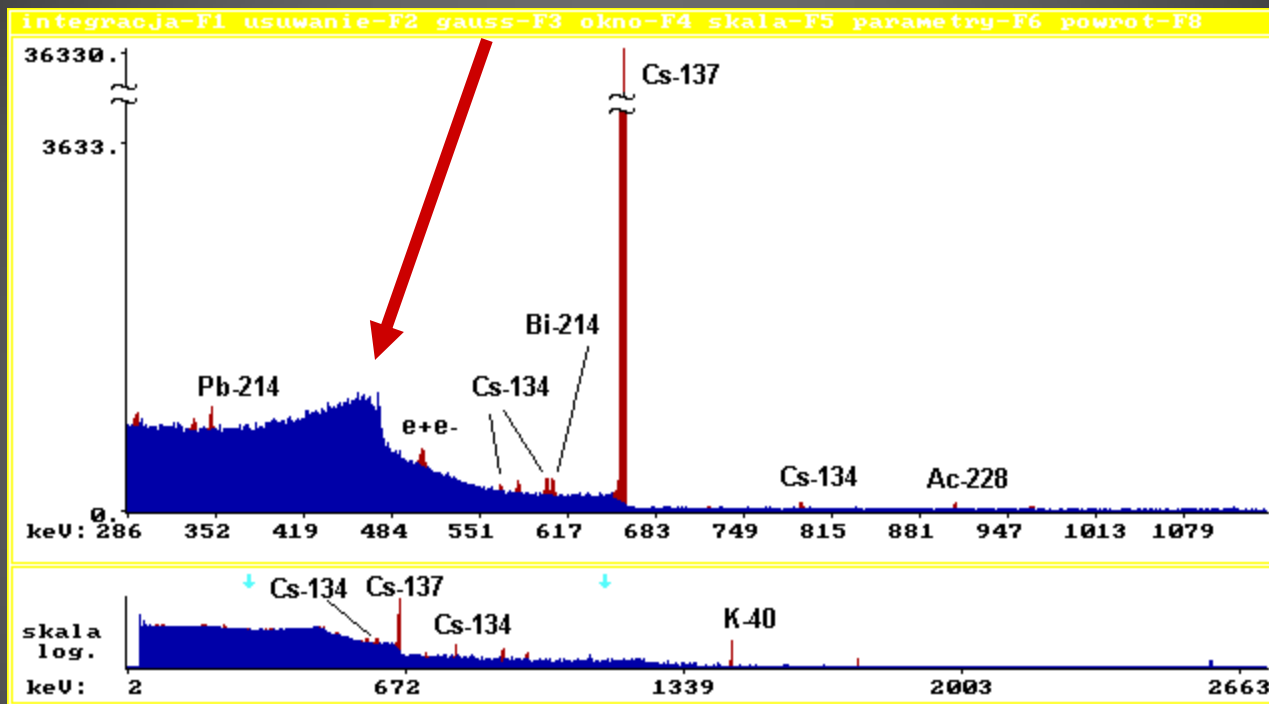


# Bonus! – badanie strumienia mionów

Rozkład częstości strumienia mionów, widoczny cykl dobowy (24h i jego harmoniczne), cykl związany z obrotem Słońca (27 dni), być może cykl 68 dni o nieznanej naturze. Dane 1.09.2018 – 30.04.2020, skorygowane na zmiany ciśnienia atmosferycznego



# Inny problem - redukcja efektu Comptona



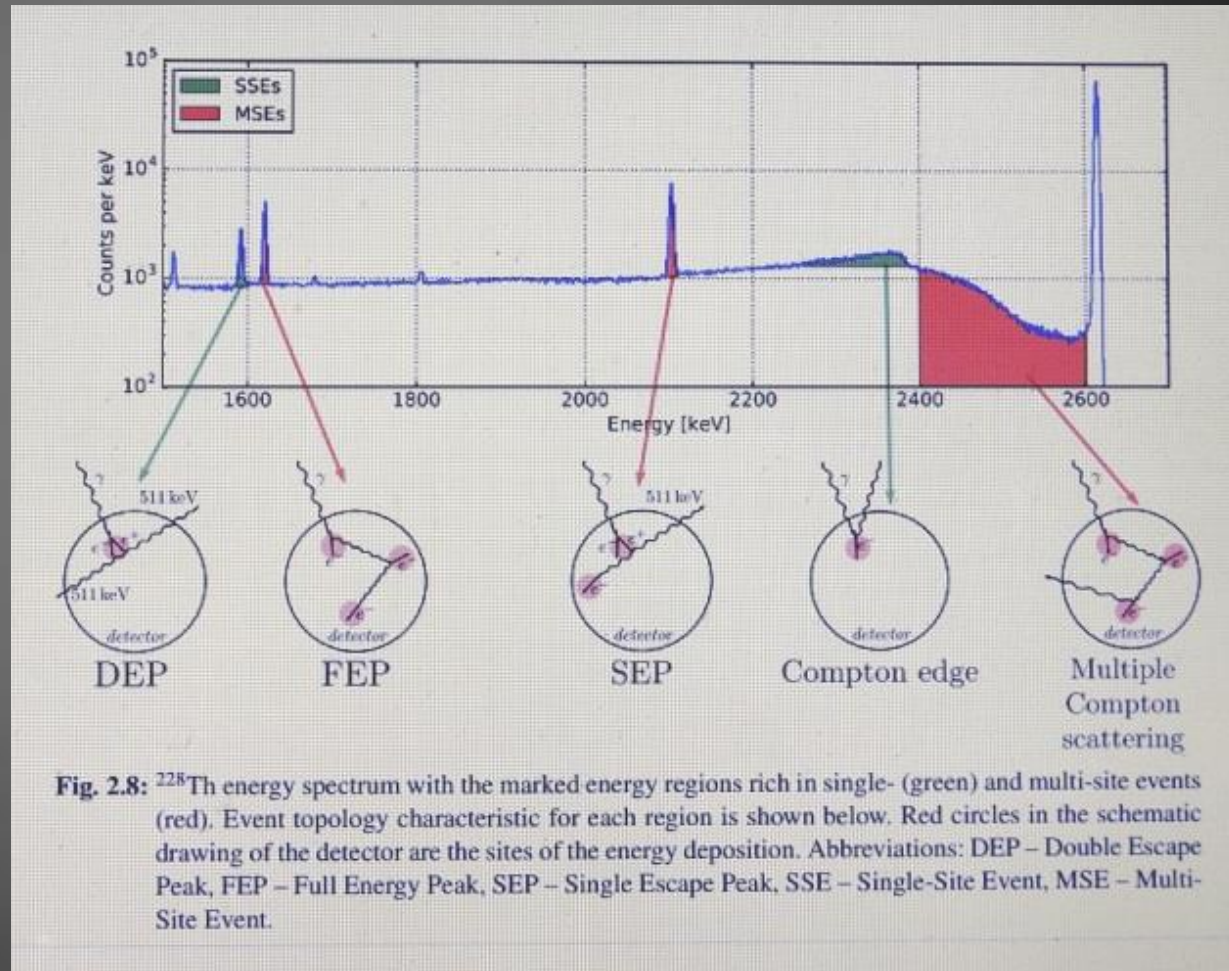
- dodatkowe detektory wewnątrz osłony, układ antykoincydencyjny
- analiza kształtu sygnału w układach cyfrowych

# Dyskryminacja kształtu sygnału

Dr K.Panas (UJ) praca doktorska 2018

[https://fais.uj.edu.pl/documents/41628/139367252/KPanas\\_PhDThesis.pdf/f64be4cc-47bd-4c24-a5f2-4bd0b552dd9e](https://fais.uj.edu.pl/documents/41628/139367252/KPanas_PhDThesis.pdf/f64be4cc-47bd-4c24-a5f2-4bd0b552dd9e)

- Metoda wprowadzona w eksperymencie Gerda (podwójny bezneutrinowy rozpad beta)
- Rozróżnienie pomiędzy przypadkami, gdy energia deponowana jest w detektorze w jednym miejscu \* (SSE – Single Site Event) lub w kilku (MSE – Multi Site Event). Poszukiwany rozpad jest SSE



\* - odległości rzędu 1 mm

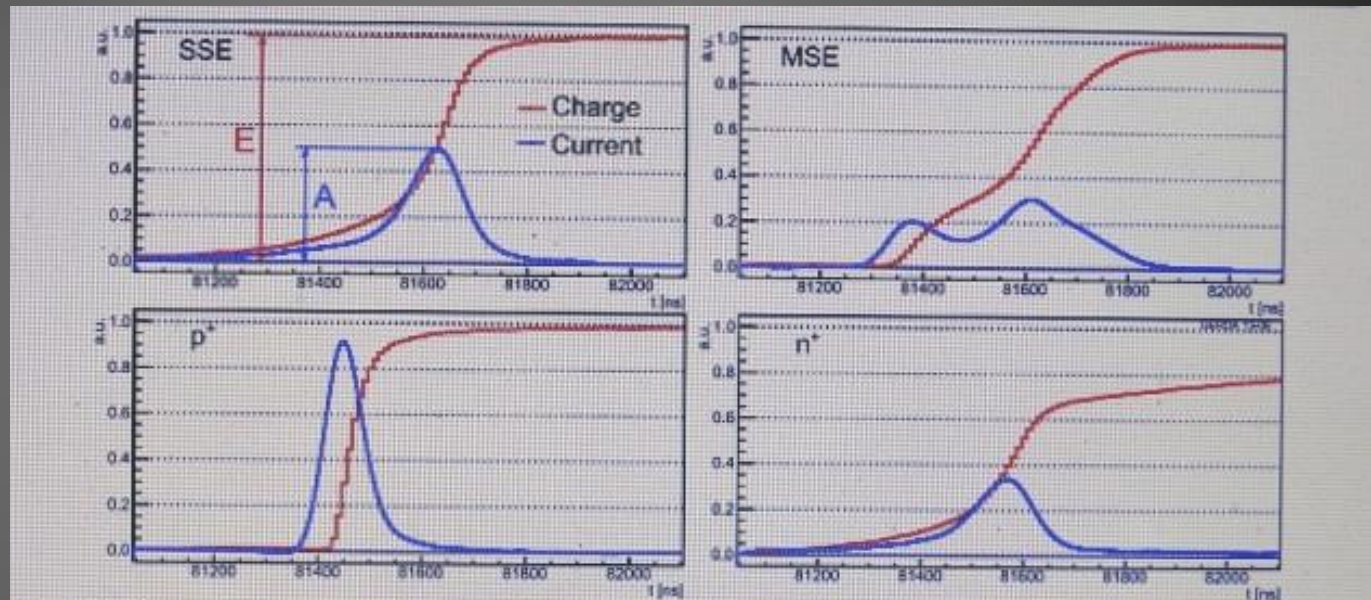


# Dyskryminacja kształtu sygnału

K.Panas (UJ) praca doktorska 2018

[https://fais.uj.edu.pl/documents/41628/139367252/KPanas\\_PhDThesis.pdf/f64be4cc-47bd-4c24-a5f2-4bd0b552dd9e](https://fais.uj.edu.pl/documents/41628/139367252/KPanas_PhDThesis.pdf/f64be4cc-47bd-4c24-a5f2-4bd0b552dd9e)

- Uczenie sieci neuronowej rozróżnienia przypadków,
- Parametr  $A/E$



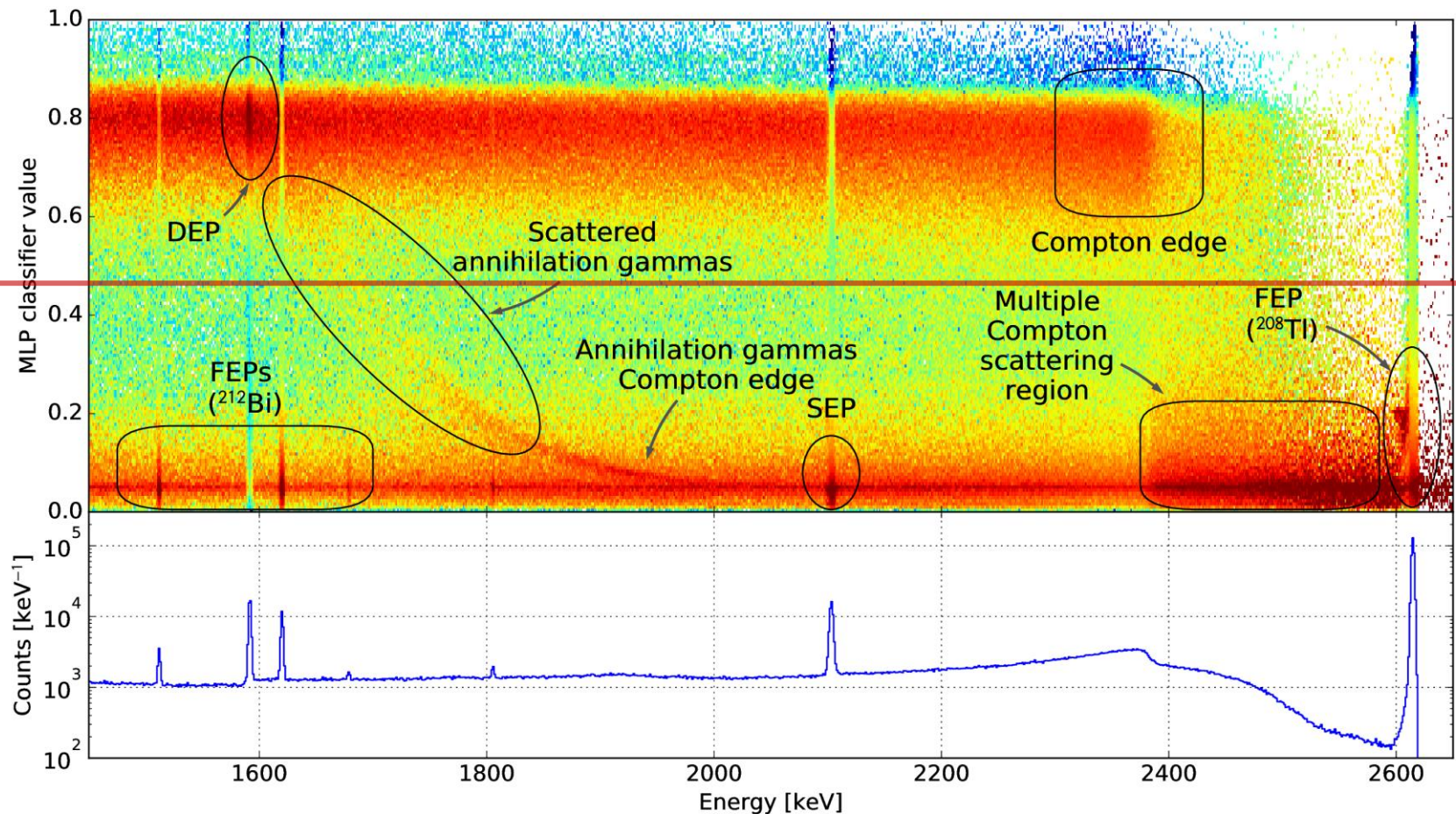
**Fig. 2.9:** Preamplifier traces characteristic to the different event topologies in the BEGe detector [45].  
*Top left* – Single-Site Event, topology typical to the  $0\nu\beta\beta$  decay and pair production interaction with an escape of annihilation  $\gamma$ -rays.  
*Top right* – Multiple-Site Event, multiple peaks in the current signal can be seen, each one from an interaction point in the detector's active volume. Maximal current amplitude,  $A$ , is smaller than in its SSE counterpart.  
*Bottom left* – a fast signal typical to the interaction near  $p^+$  contact (caused most probably by  $\alpha$  or  $\beta$  emitters). The  $A/E$  value is greater than for the SSEs.  
*Bottom right* – a so called "slow pulse", caused by the charge diffusion (rather than drift) from the transitional  $n^+$  layer.



# Dyskryminacja kształtu sygnału

K.Panas (UJ) praca doktorska 2018

[https://fais.uj.edu.pl/documents/41628/139367252/KPanas\\_PhDThesis.pdf/f64be4cc-47bd-4c24-a5f2-4bd0b552dd9e](https://fais.uj.edu.pl/documents/41628/139367252/KPanas_PhDThesis.pdf/f64be4cc-47bd-4c24-a5f2-4bd0b552dd9e)



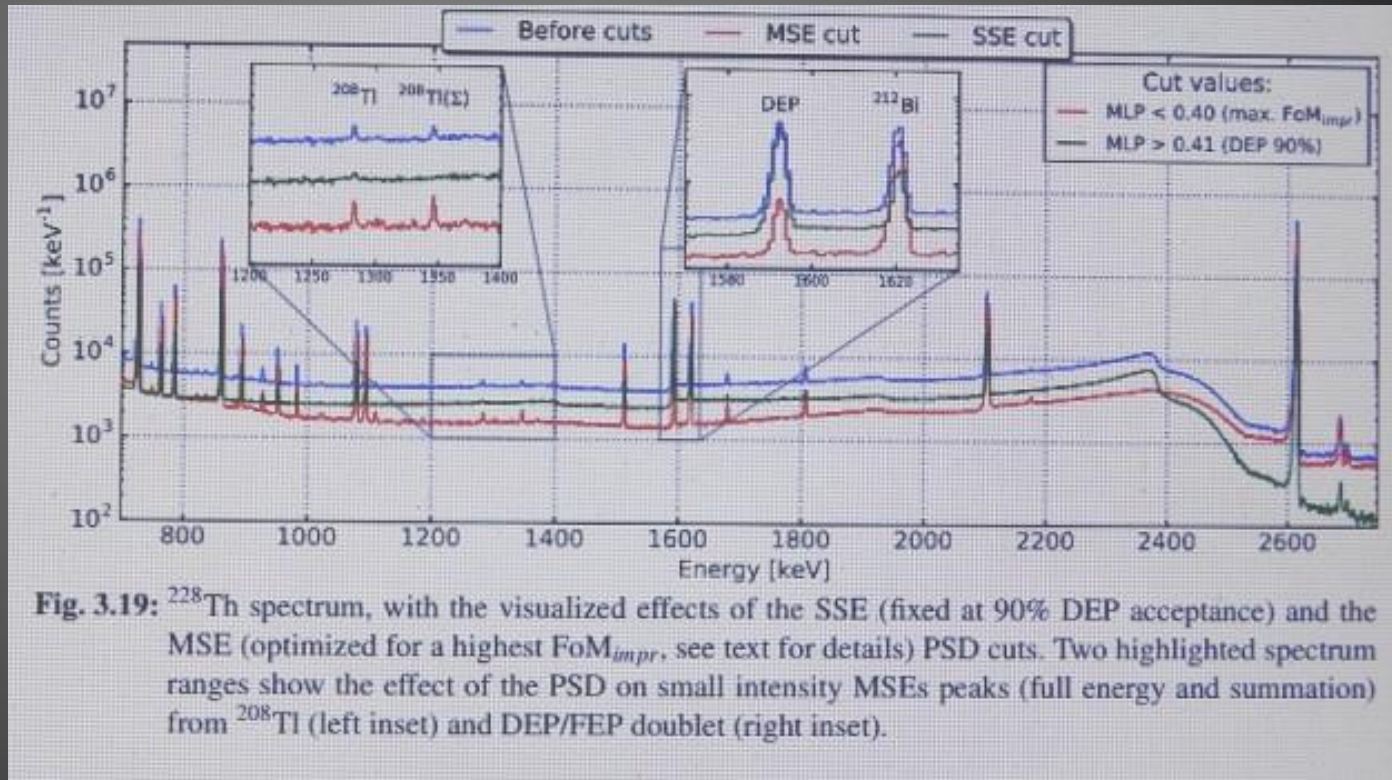


# Dyskryminacja kształtu sygnału

K.Panas (UJ) praca doktorska 2018

[https://fais.uj.edu.pl/documents/41628/139367252/KPanas\\_PhDThesis.pdf/f64be4cc-47bd-4c24-a5f2-4bd0b552dd9e](https://fais.uj.edu.pl/documents/41628/139367252/KPanas_PhDThesis.pdf/f64be4cc-47bd-4c24-a5f2-4bd0b552dd9e)

- Wysokoenergetyczna część widma Th-228 (z pochodnymi)

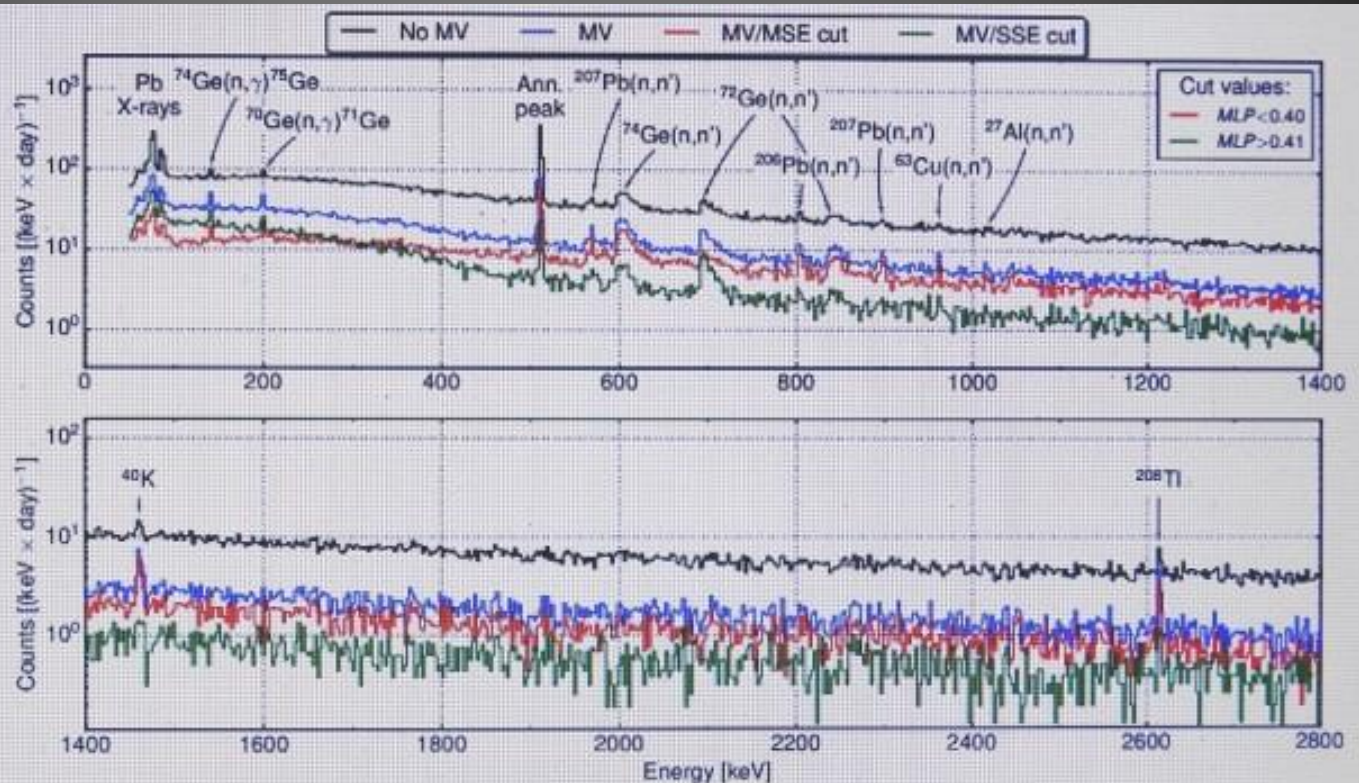


# Dyskryminacja kształtu sygnału

K.Panas (UJ) praca doktorska 2018

[https://fais.uj.edu.pl/documents/41628/139367252/KPanas\\_PhDThesis.pdf/f64be4cc-47bd-4c24-a5f2-4bd0b552dd9e](https://fais.uj.edu.pl/documents/41628/139367252/KPanas_PhDThesis.pdf/f64be4cc-47bd-4c24-a5f2-4bd0b552dd9e)

- Tło po dyskryminacji
- Widmo z MSE (MSE cut) zawiera fotopiki,
- SSE-cut jest tłem dla poszukiwanego rozpadu



**Fig. 3.21:** Energy spectra of the  $\approx 6$  d background run in the DSG60 n-type semi-coaxial detector. Various peaks, originating mostly from fast neutron interaction can be seen in the 500–1000 keV energy range – for the detailed explanation of background components see the text. Abbreviations stand for: MV – muon veto (see. Fig. 3.13, MSE cut – multi-site events cut (optimal  $FoM_{impr}$ ), SSE cut – single-site events cut (90% 1592.5 keV DEP acceptance).

# Plany obecnie realizowane w IFJ- drugi spektrometr z veto

- HPGe (Baltic Scientific Instruments, Łotwa, 35% wydajności, kriostat ULL ( $\sim 1$  ppb U,Th))
- 5 scyntylatorów 70x70 cm , bardziej całościowe przekrycie kąta bryłowego dla mionów (etap: przygotowanie przetargu)
- Osłona bierna 10 cm Pb (duża, wew. 50x50x60 cm)
- Testujemy wodę jako wewnętrzną osłonę (12x5=60 litrów)
- Digitizer CAEN z pakietem umożliwiającym analizę kształtu sygnału

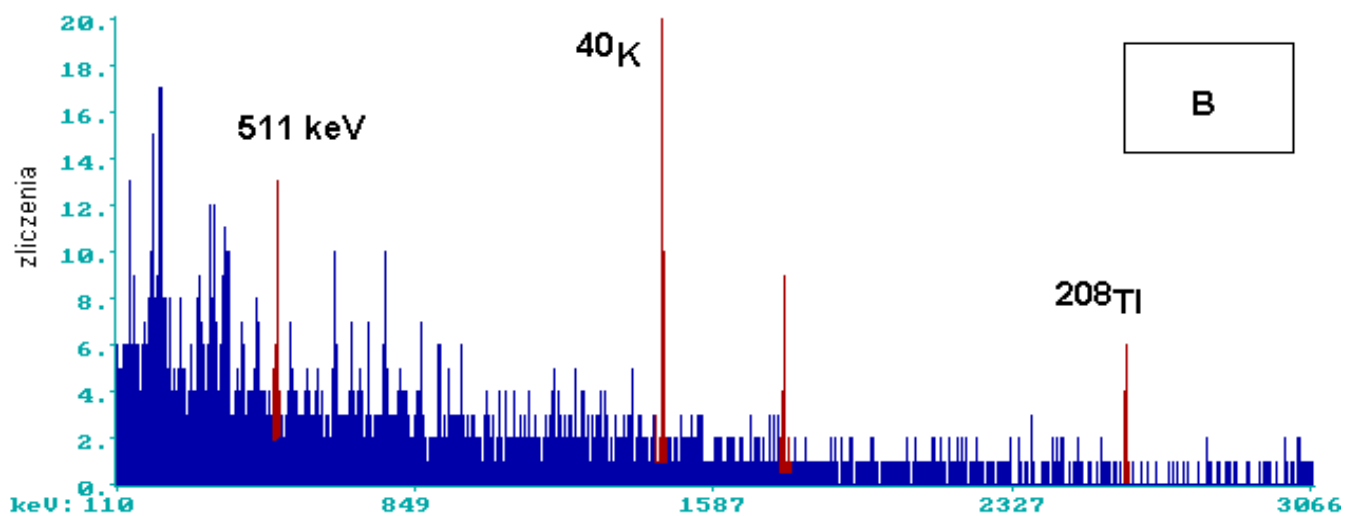
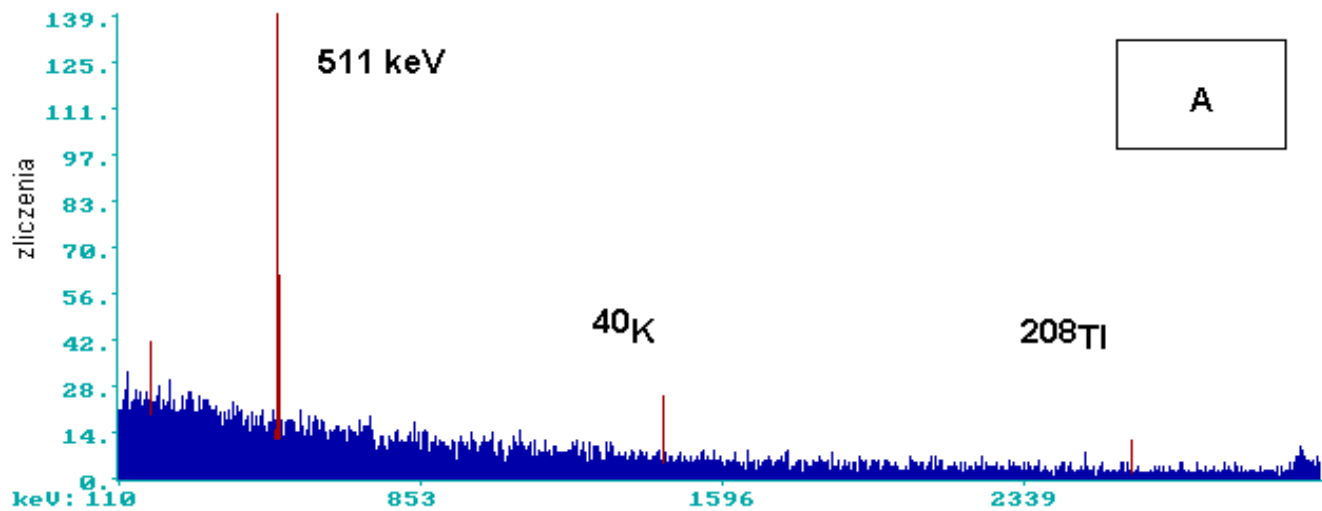


# Drugi detektor



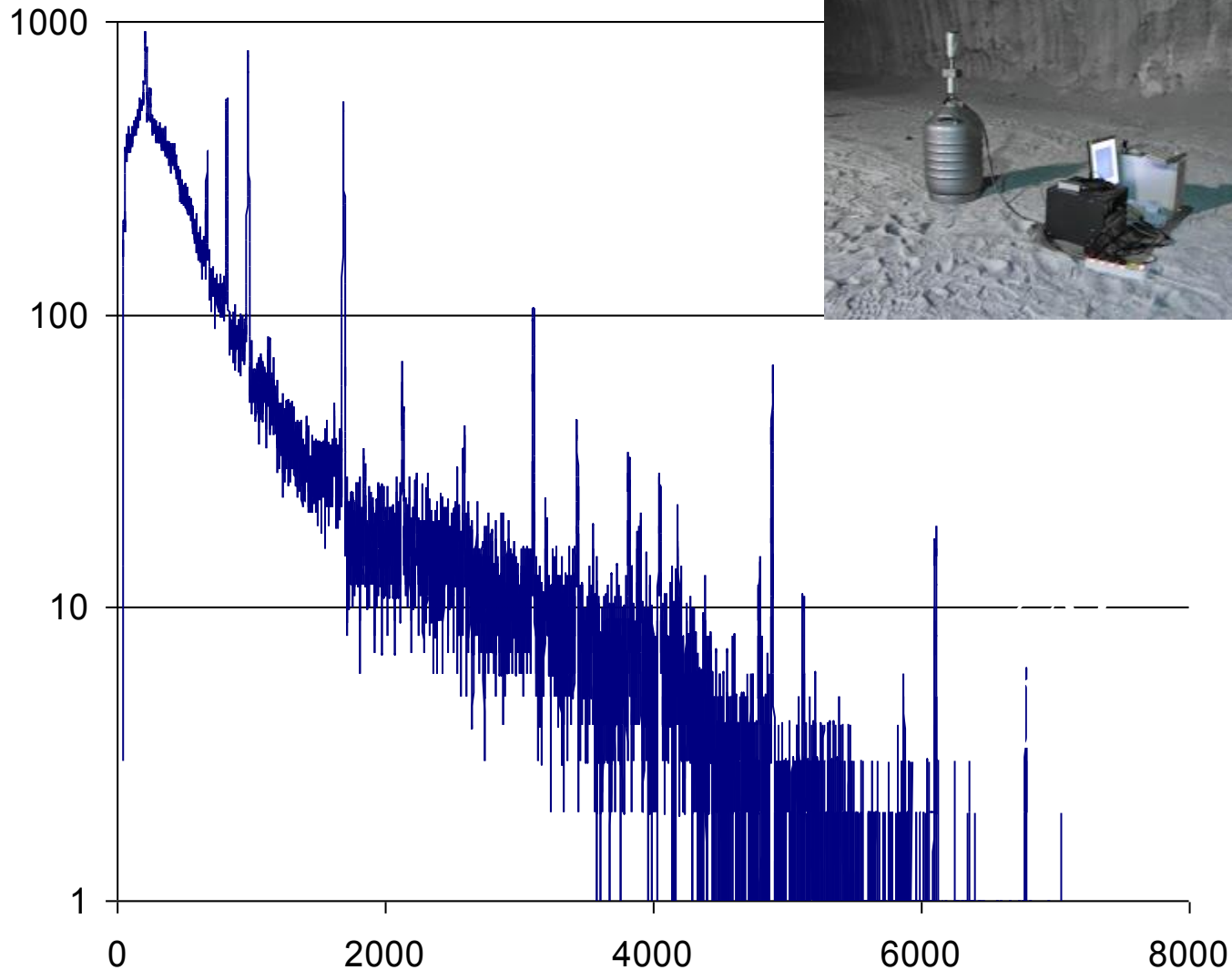
# Co dalej?

- Laboratoria podziemne – Sieroszowice?,  
**Wieliczka!?**
- Możliwość korzystania z laboratorium  
HADES (JRC, Geel) – 1/100 tła naszego  
Etruska 2
- Koincydencje gamma/beta wewnątrz osłony



Tła spektrometru promieniowania gamma umieszczonego w podziemnym laboratorium (30 m) : A – bez włączonej osłony antykoincydencyjnej, B – z włączoną osłoną antykoincydencyjną. Czas pomiaru w obu przypadkach około 100 000 s. (Lab. MAEA w Monaco)

# Nieosłonięty detektor HPGe 20 % w Sieroszowicach



E (keV)	S/t (counts/s)	Unc (%)
76	0,05917	4
89	0,01560	10
115	0,00301	33
241	0,03069	4
296	0,05966	2
353	0,09608	1
414	0,00096	32
610	0,06315	2
666	0,00137	22
703	0,00118	23
770	0,00628	6
807	0,00139	19
936	0,00290	11
1122	0,01280	4
1157	0,00040	43
1158	0,00020	68
1240	0,00411	8
1284	0,00092	22
1379	0,00263	9
1409	0,00015	59
1411	0,00109	19
1464	0,00331	9
1509	0,00112	16
1514	0,00043	31
1584	0,00033	32
1587	0,00028	36
1730	0,00125	13
1764	0,00801	4
1850	0,00068	19
2205	0,00222	8
2453	0,00038	19
2620	0,00017	27

# To może zrobimy we Wieliczce Polskie Gran Sasso?

- Dziękuję za uwagę...