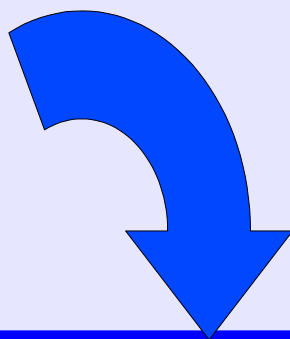


# **Pomiar strumienia termicznych neutronów w podziemnym laboratorium w Gran Sasso**

Karol Jędrzejczak  
IPJ P-VII Łódź

- W kwietniu tego roku zmierzaliśmy strumień neutronów w laboratorium podziemnym w Gran Sasso (Włochy).
- Wyłącznie neutrony termiczne – test metody.
- Zmierzaliśmy, iż:



Strumień neutronów  
termicznych  
 $(5.6 \pm 1.3) \times 10^{-7} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

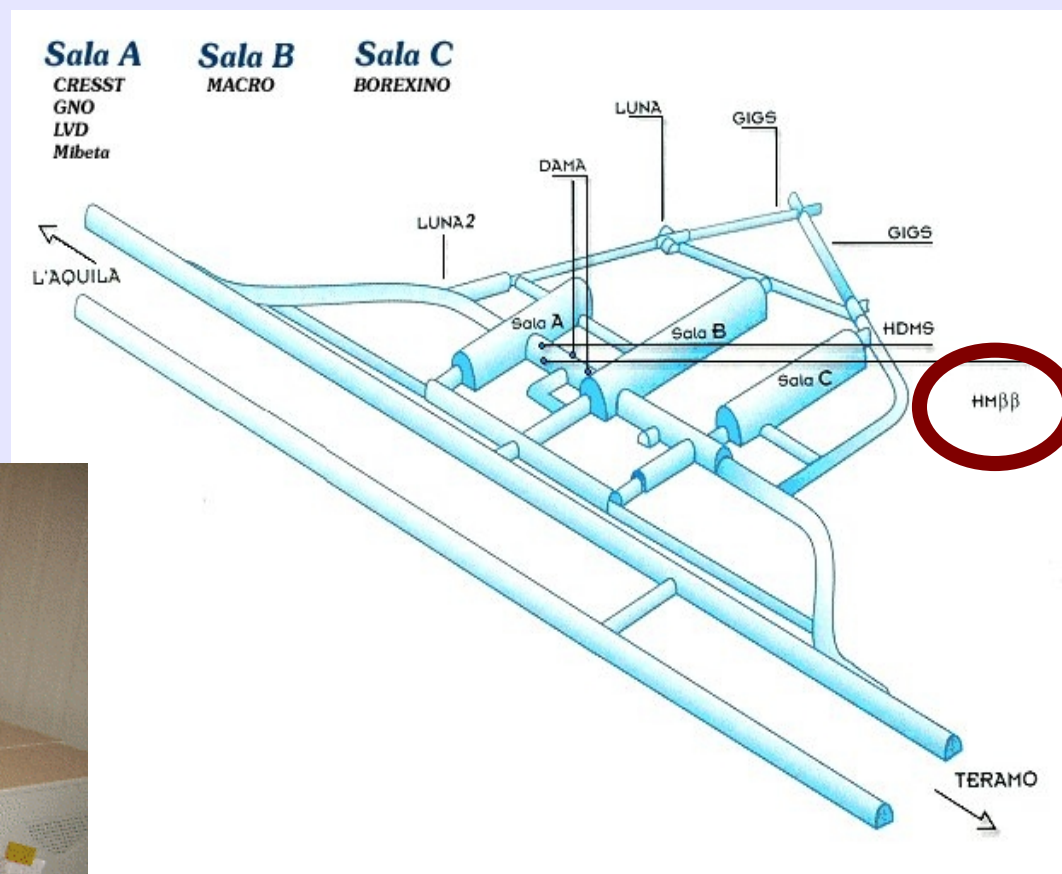
# Podziemne laboratorium w Gran Sasso



- Położenie
  - prowincja l'Aquila
  - 120 km od Rzymu
  - w połowie 10 km tunelu pod górami Gran Sasso
- 1400 m warstwa skały
- Strumień  $\mu$ :  $10^{-6} \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$

# Nasza lokalizacja w LNGS

Pokój kontrolny byłego  
eksperymentu  
Heidelberg – Moscow  $\beta\beta$



3 czerwca 2008r.

Karol Jędrzejczak IPJ P-VII

# Po co komu znajomość tła neutronowego ?

- **Eksperymentatorom:** neutrony są trudnym do odrzucenia tłem w eksperymentach niskotłowych (poszukiwania ciemnej materii, neutrino, itp)
- **„Symulantom”:** pomiar pozwala sprawdzić programy symulujące transport neutronów (m.in. w skale).
- **Naszemu zespołowi:** pomiar tak niskiego strumienia był wyzwaniem – ulepszyliśmy naszą elektronikę, symulacje i metody analizy





# Czym się różnimy od innych ?

Większość dotychczasowych pomiarów tła neutronowego w Gran Sasso wykonano z użyciem różnego rodzaju **scyntylatorów**

**Używamy helowych ( $^3\text{He}$ ) liczników proporcjonalnych**

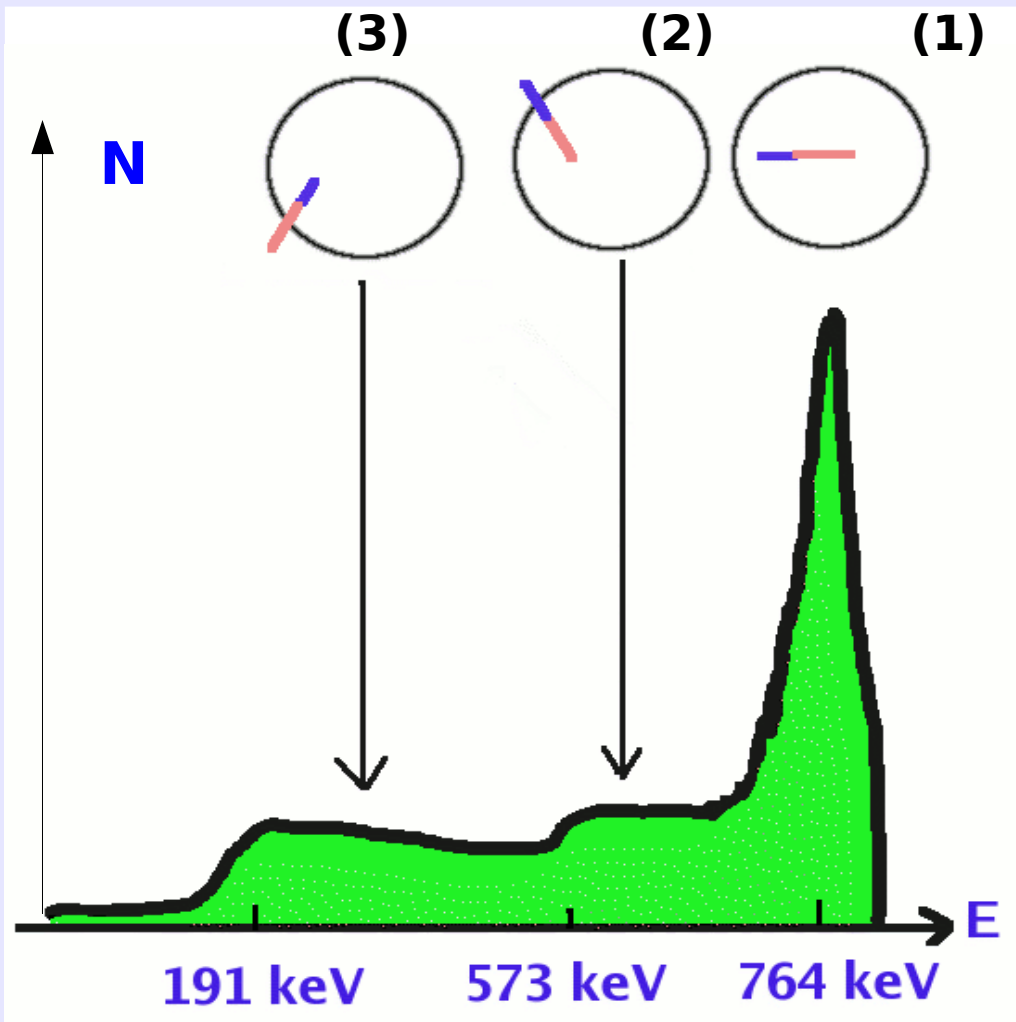
# Nasza metoda: helowy licznik proporcjonalny



- Cylindryczna stalowa rura:
  - 50 cm długości
  - 2.5 cm średnicy
  - 4 atm gazu wewnątrz (nominalne)
- Wykonane w ZDAJ IBJ
- Ponad 20-letnie
- Wypożyczone z IChTJ Żerań



# Zasada działania

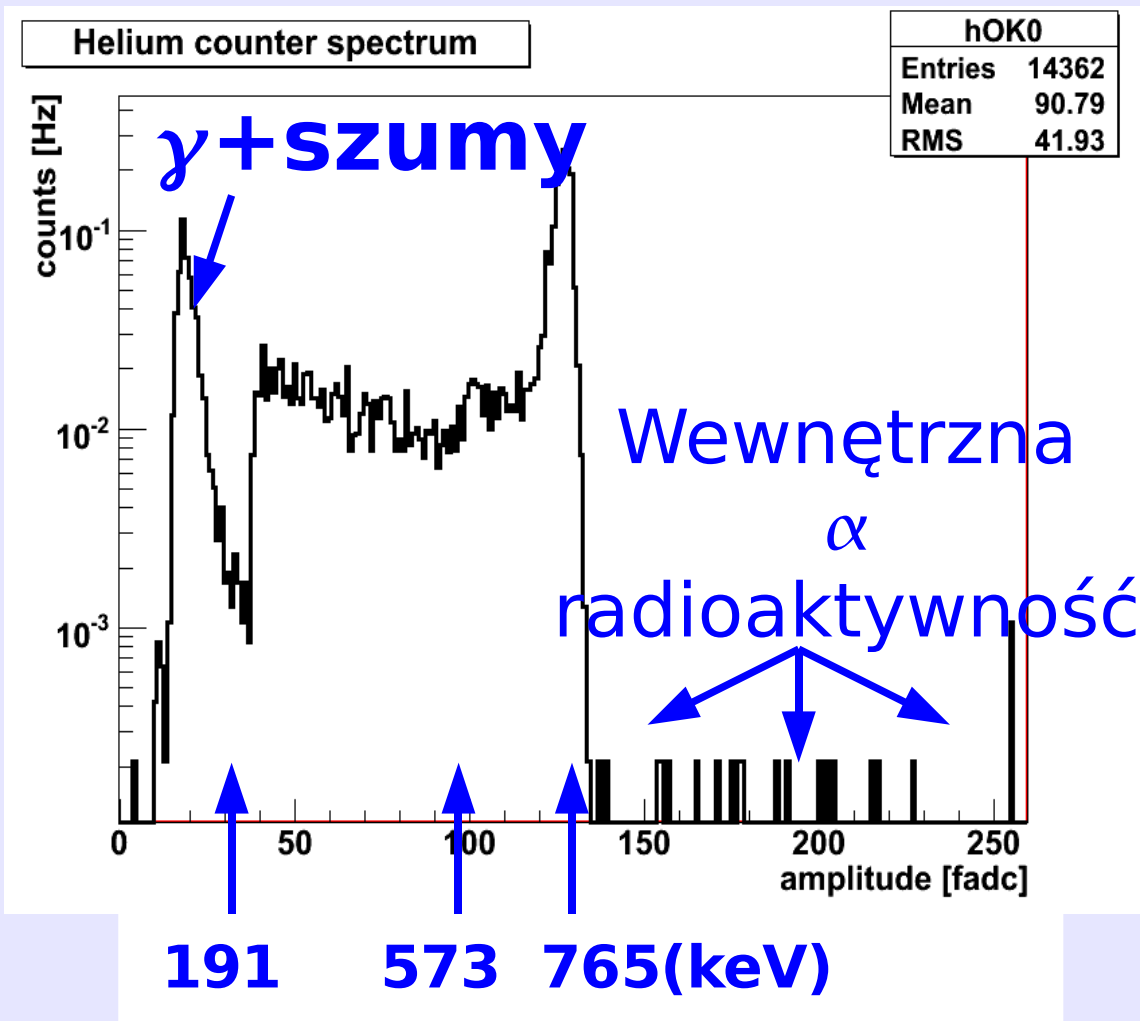


Widmo amplitud

- Gazowy licznik proporcjonalny wypełniony  $^3\text{He}$
- Hel reaguje z neutronami:  
 $^3\text{He} + n \rightarrow ^3\text{H} + p + 764\text{keV}$
- Widmo amplitud:
  - (1)  $p$  i  $^3\text{H}$  zatrzymują się wewnątrz licznika
  - (2)  $^3\text{H}$  (191 keV) ucieka
  - (3)  $p$  (573 keV) ucieka

„wall effect”

# Widmo rzeczywistego licznika



- 50% neutronów w piku pełnej energii
- Wkład od wewnętrznej  $\alpha$ -radioaktywności licznika: płaskie widmo 0 – 6 MeV (nasza hipoteza na podstawie wielu pomiarów)
- **Ograniczenie czułości: trzeba zobaczyć pik 765keV na tle rozkładu  $\alpha$**

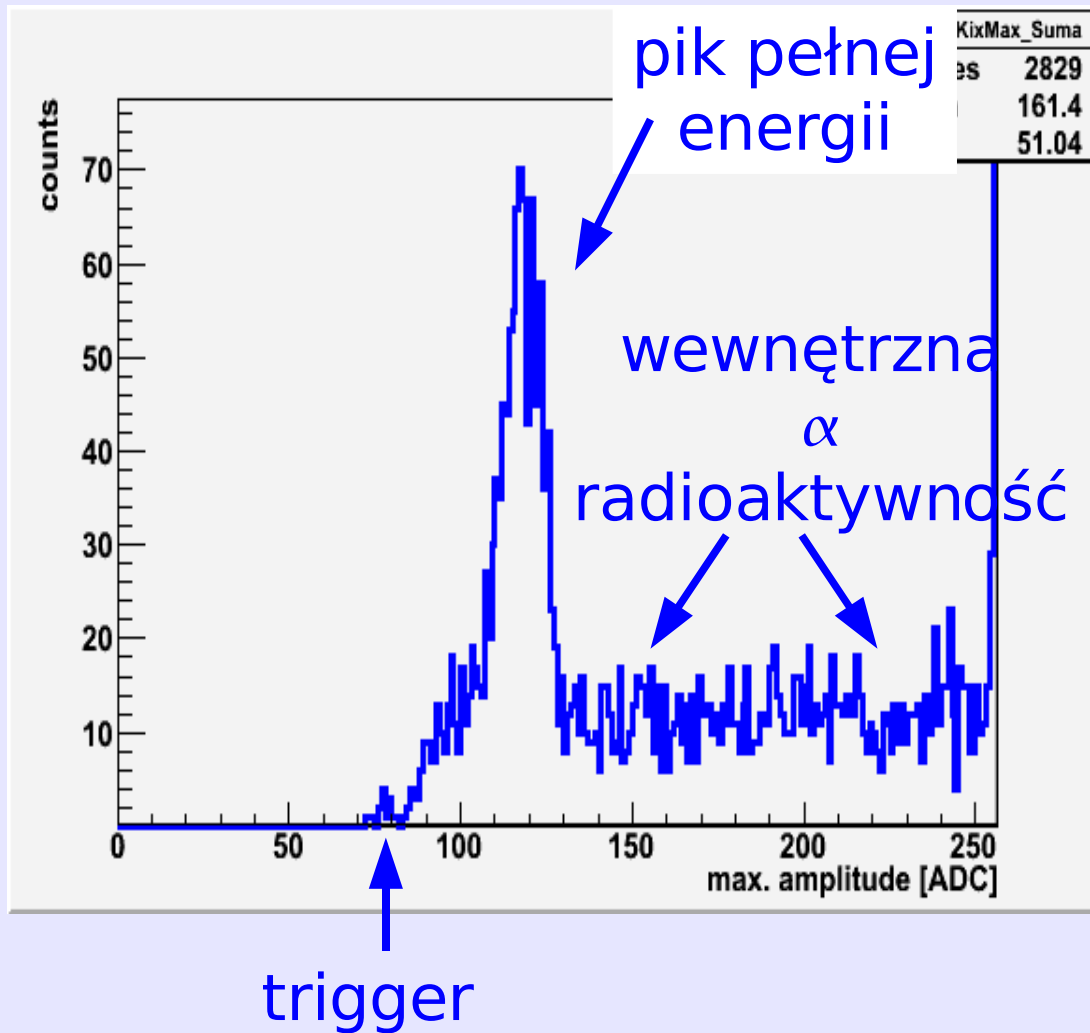
# Podsumujmy:

Spodziewamy się sygnałów od neutronów w tym samym obszarze energii, co sygnałów od cząstek  $\alpha$ .

Cząstki  $\alpha$  emitowane są przez elementy samego licznika, ich częstość jest więc stała w każdych warunkach (tak wynika z naszych wcześniejszych pomiarów) .

W laboratoriach niskotłowych strumień neutronów jest bardzo niski – zliczenia od  $\alpha$ -radioaktywności liczników zaczynają mieć znaczenie.

# Widmo zarejestrowane w Gran Sasso (suma 16 liczników helowych, tydzień pomiaru)



- „Wall effect” przycięty przez trigger
- Wyraźny, płaski „ogon” sygnałów od cząstek  $\alpha$

# Układ detekcyjny: sygnał

## **trigger**

dowolny licznik trafiony – zapisywane przebiegi wszystkich

## **wzmacniacze**

wzmocnienie = 400

bardzo niskie tempo fałszywych sygnałów  
(kilka na godzinę)

## **FADC**

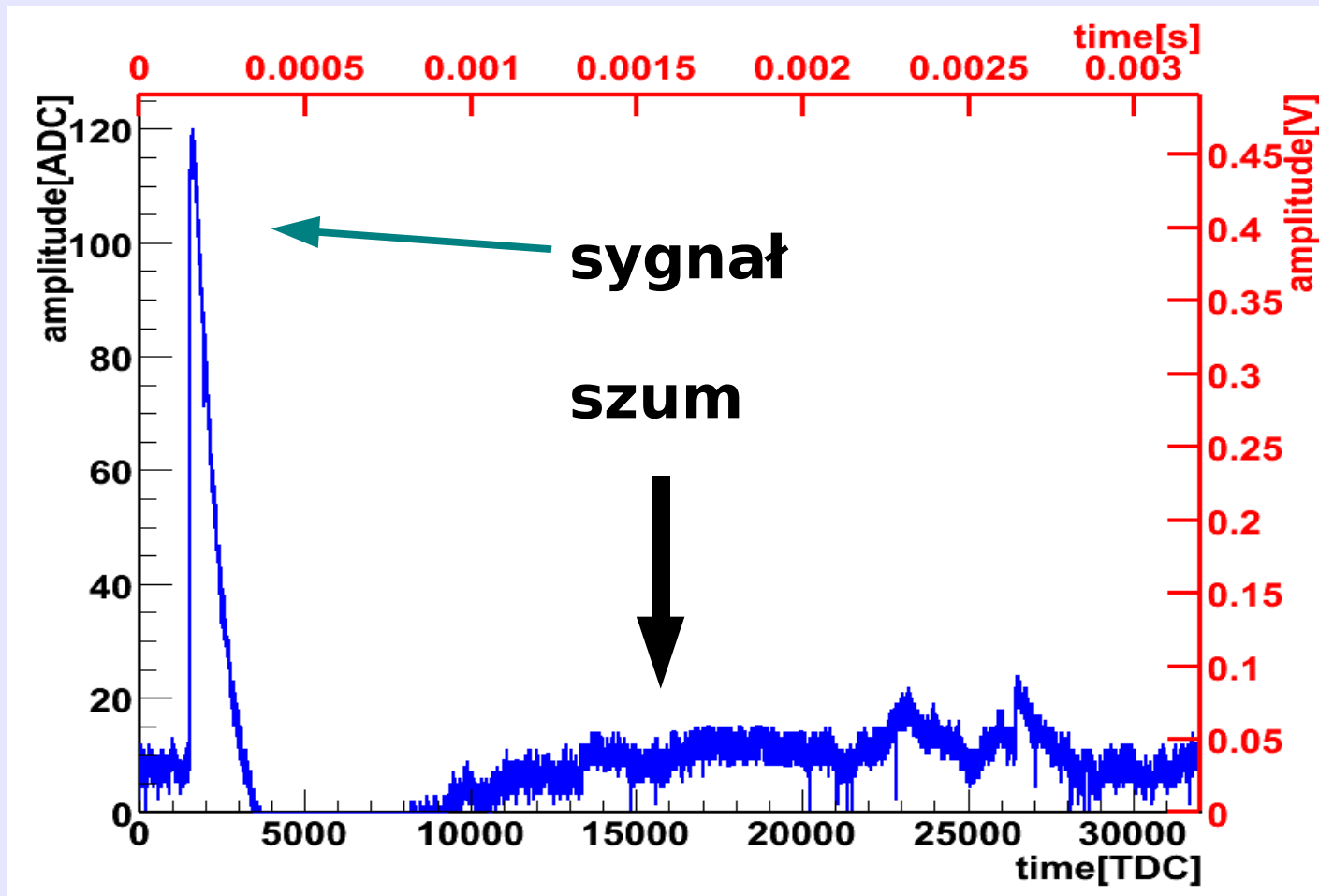
10 MHz, 8 bity ADC

zakres: 3 milisekundy

32000 pixeli (na kanał)

Trigger w stałej pozycji (1536 pixel)

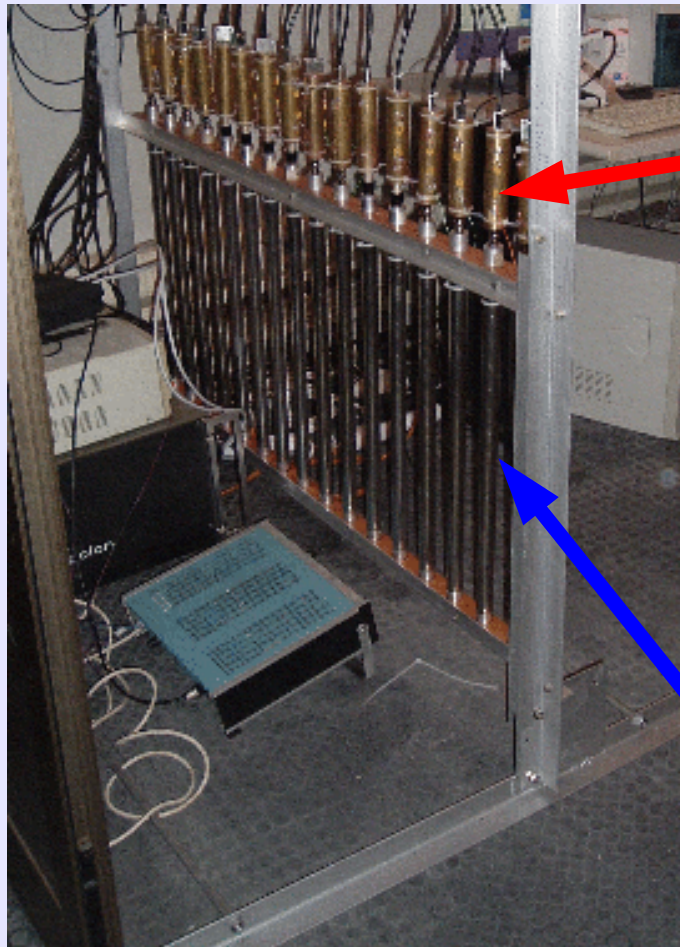
# Układ detekcyjny: FADC



Przykładowa rejestracja pojedynczego neutronu



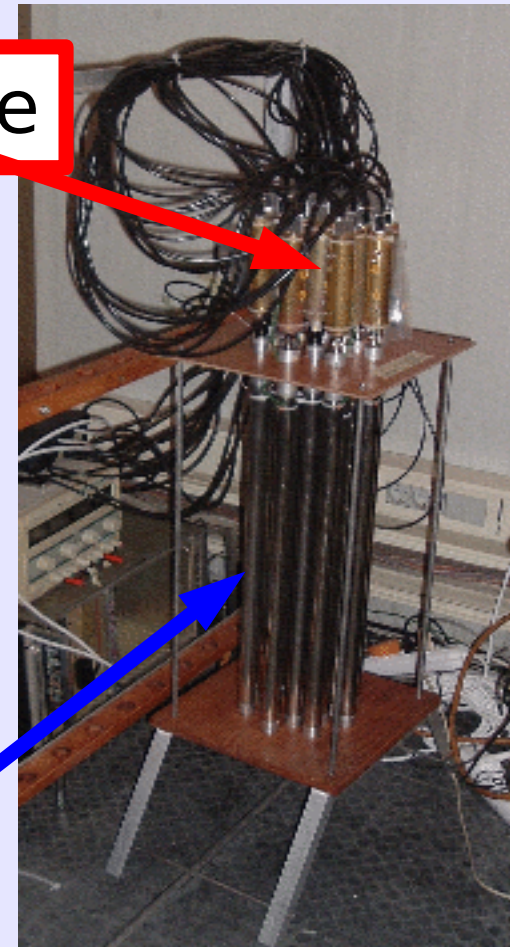
# Układ detekcyjny dwie konfiguracje 16-tu liczników



"linia"

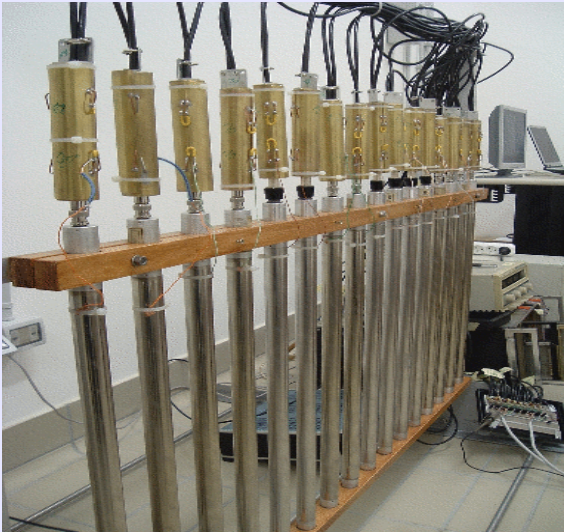
wzmacniacze

liczniki



"koła"

# Na co nam DWIE konfiguracje?



**LINIA** – pomiar  
strumienia neutronów

**KOŁA** – pomiar strumienia neutronów  
oraz test symulacji

**Zauważmy, że:**

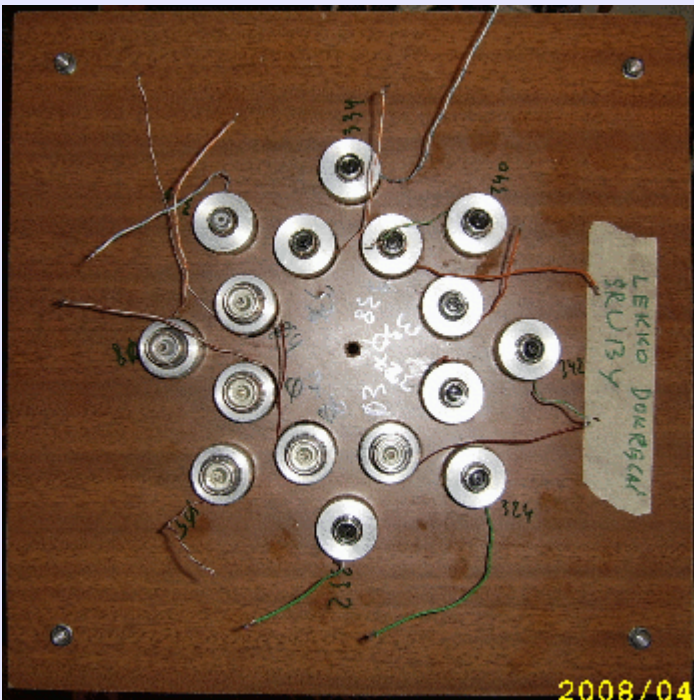
$^3\text{He}$  działa jak absorber neutronów

**ponieważ:**

neutron znika w procesie rejestracji

**więc:**

niewiele neutronów termicznych  
przeniknie przez licznik helowy



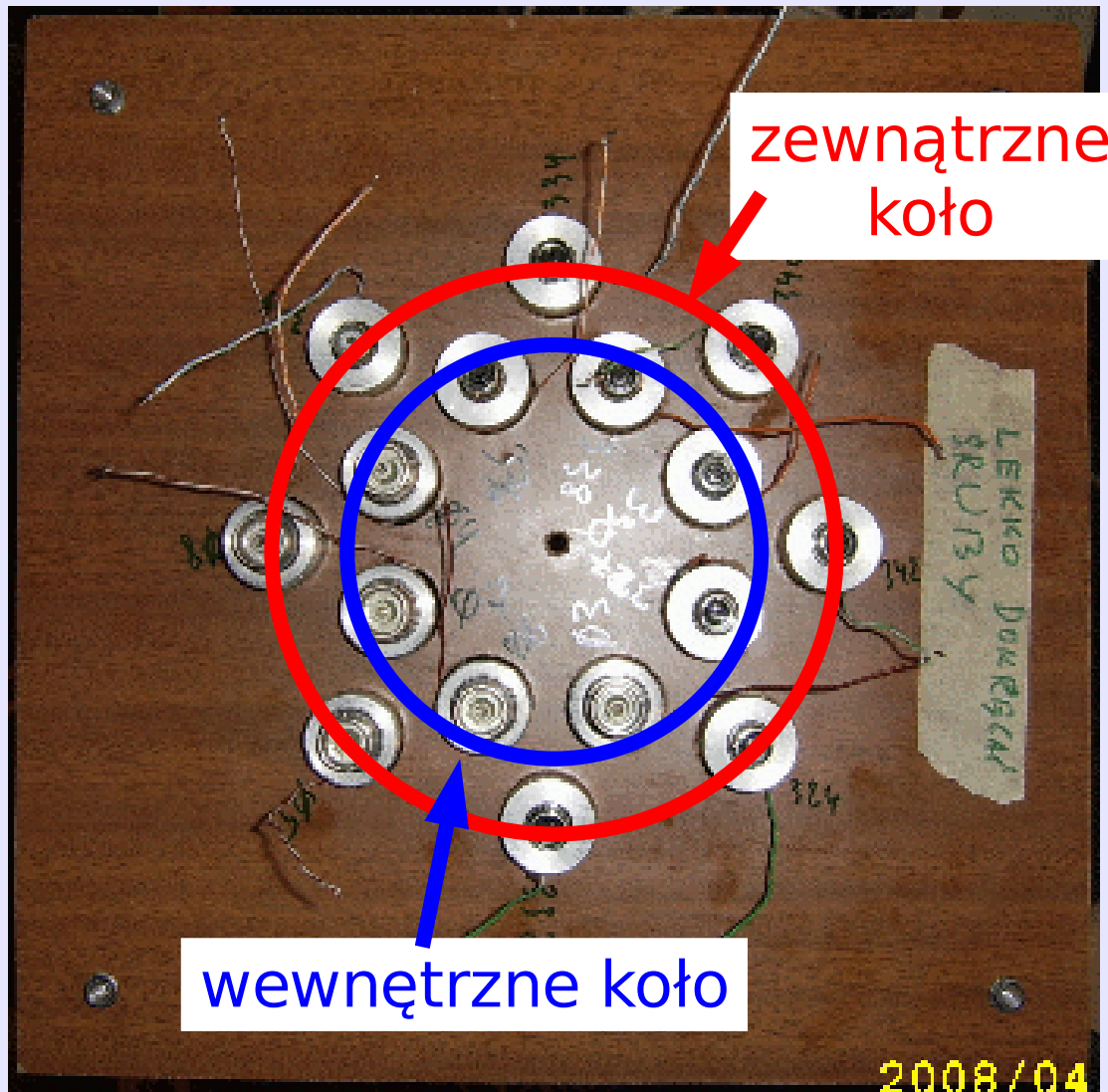
3 czerwca 2008r.

Karol Jędrzejczak IPJ P-VII

16

# Na co nam DWIE konfiguracje?

KOŁA – pomiar strumienia neutronów oraz test symulacji



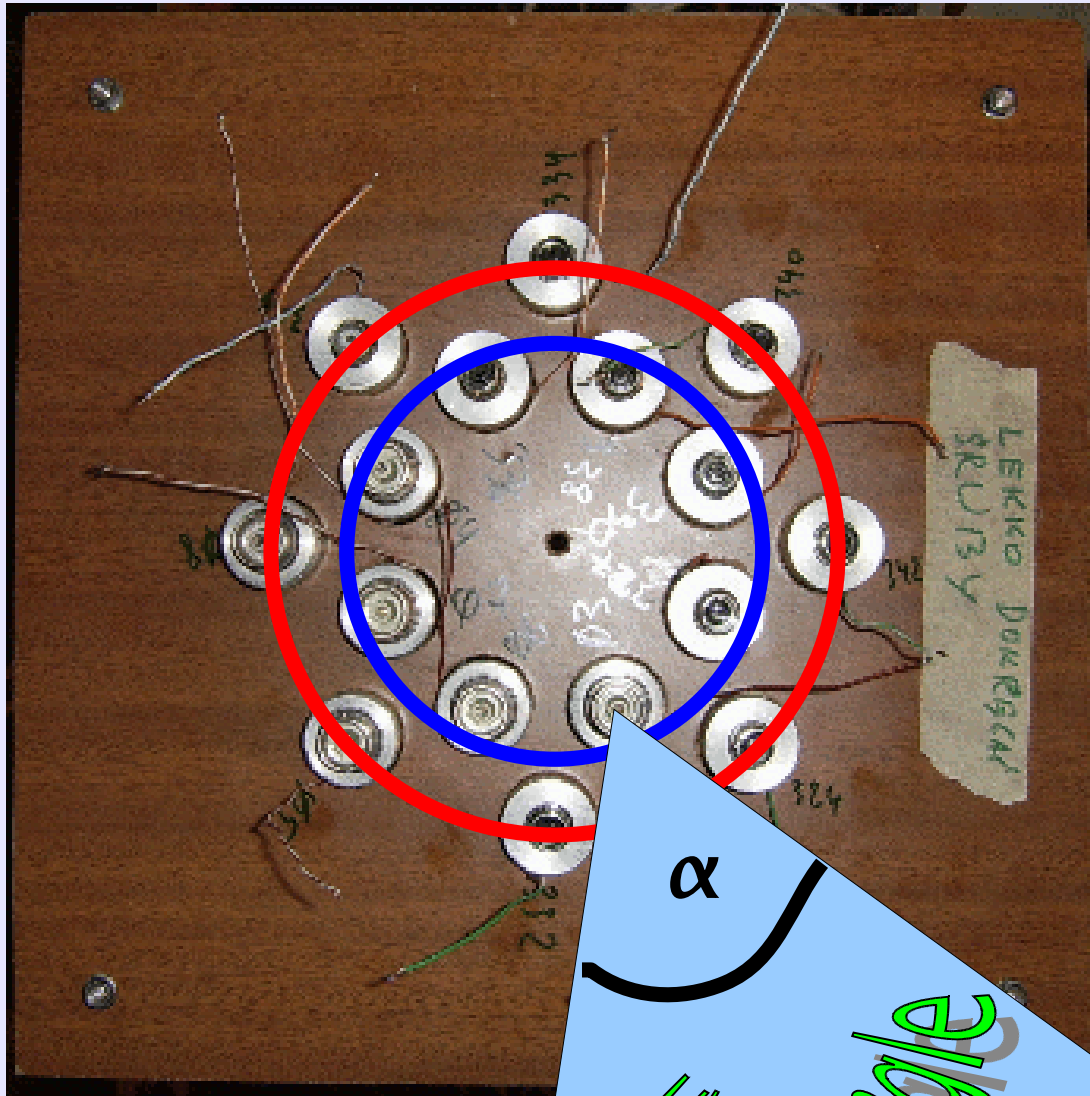
Liczniki osłaniają się nawzajem

Dodatkowo zewnętrznne koło osłania wewnętrzne



# Na co nam DWIE konfiguracje?

KOŁA – pomiar strumienia neutronów oraz test symulacji



3 czerwca 2008r.

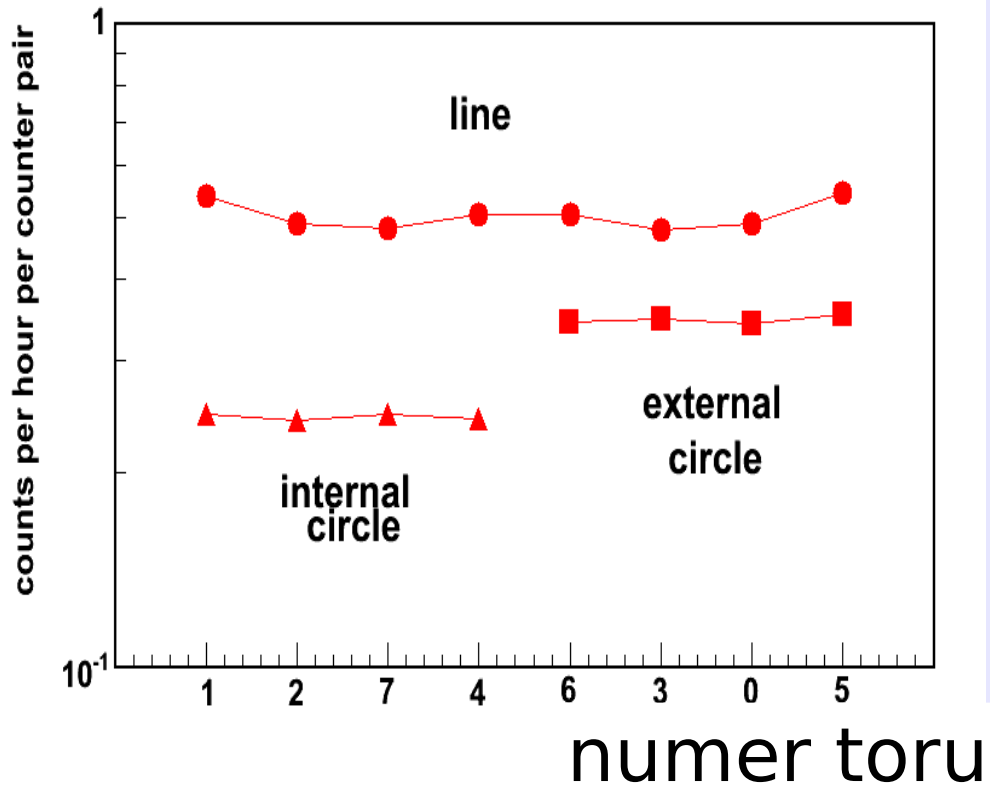
Liczniki osłaniają się nawzajem

Dodatkowo zewnętrzne koło osłania wewnętrzne

Efekt istnieje TYLKO dla neutronów termicznych

# Na co nam DWIE konfiguracje?

neutrons in 760keV peak  
neutron flux =  $(5.608 \pm 1.252) \times 10^{-7} \frac{n}{cm^2 s}$



- Dwie konfiguracje – trzy pomiary:
  - linia
  - wewnętrzne koło
  - zewnętrzne koło
- **Częstości zliczeń w trzech konfiguracjach są dodatkowym testem symulacji wydajności liczników**

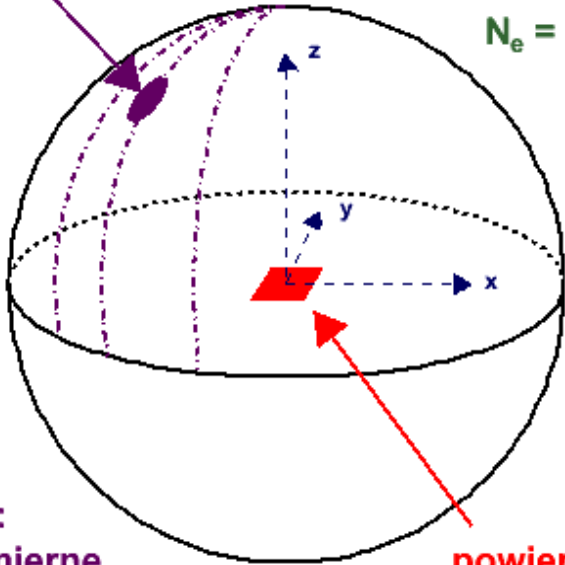
## SYMULACJA

# pomiary + symulacje = strumień

fragment emitujący w  $4\pi$

$N_e$  - częstość neutronów emitowanych z całej sfery  
 $R$  - promień sfery (cm)

$$N_e = 16\pi \cdot f_A \cdot R^2$$



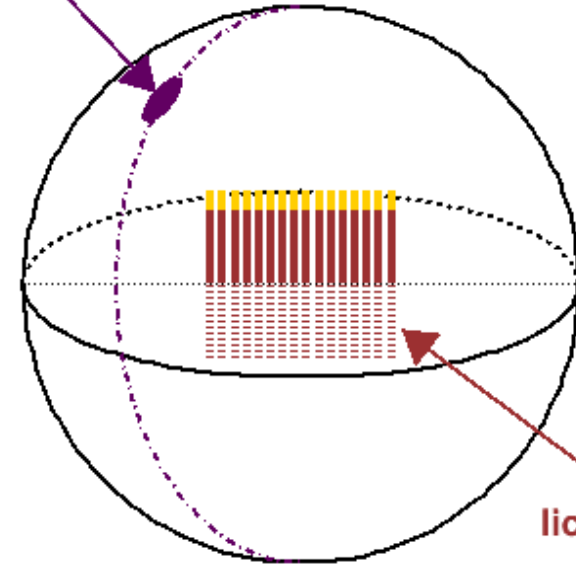
SFERA:  
 równierne,  
 izotropowe  
 źródło  
 neutronów

powierzchnia A

$$f_A \equiv \frac{10^{-6} \text{ neutronów}}{\text{cm}^2 \text{ s}}$$

fragment emitujący w  $4\pi$

Symulacje:  
 $N_e$  - emitowane  
 $n_r$  - rejestrowane (symulacja)



liczniki  $^3\text{He}$

$\omega_r$  - częstość rejestracji neutronów w pikach

$$\text{strumień} \left( \frac{n \cdot 10^{-6}}{\text{cm}^2 \text{ s}} \right) = \frac{2 \cdot \omega_r}{n_r}$$



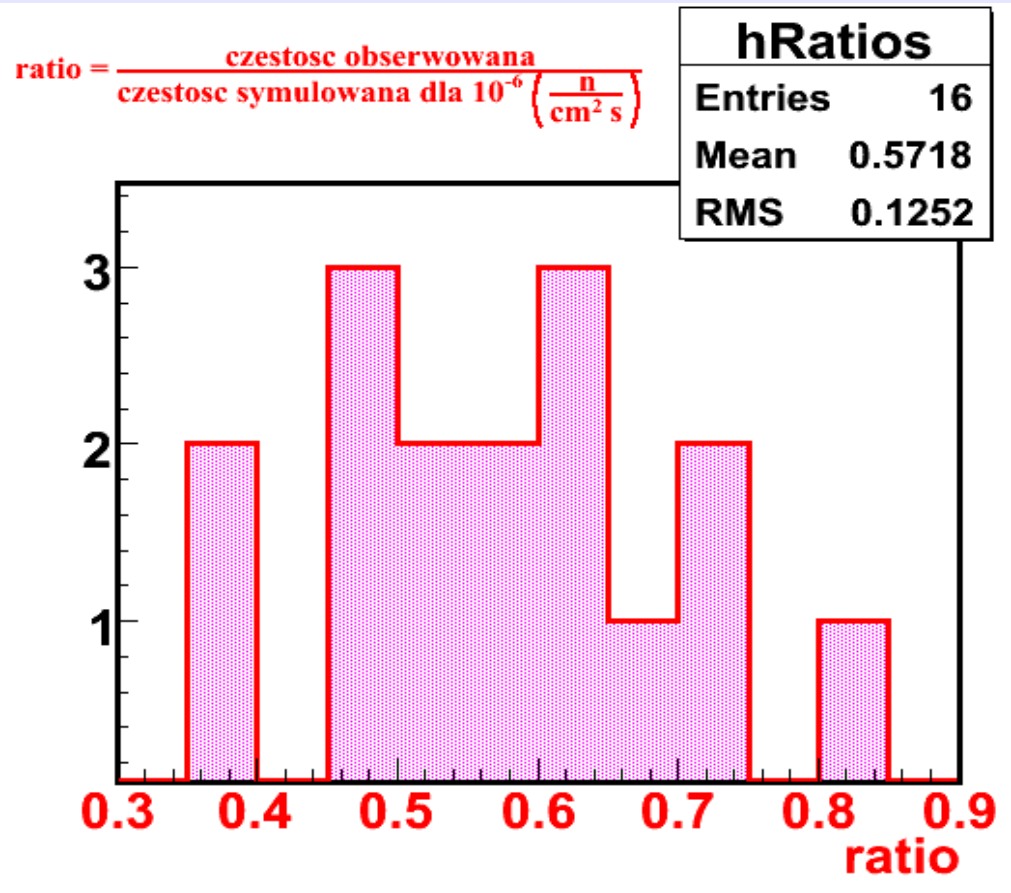
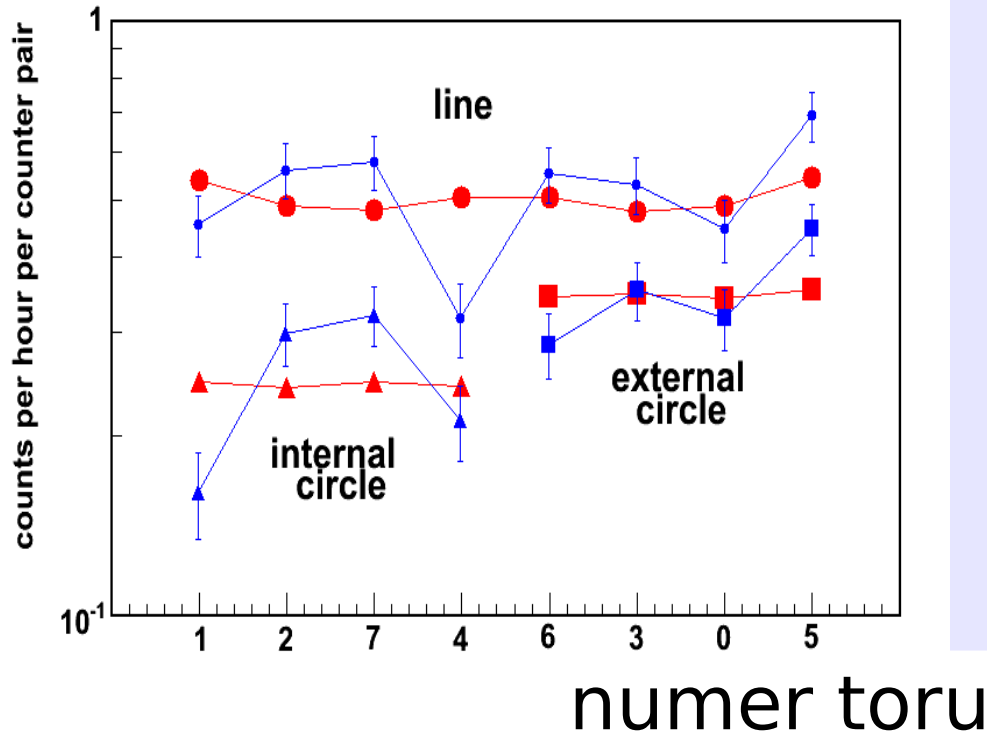
# pomiary w LNGS

	<b>neutrony</b>	<b>neutrony / h</b>
<b>linia</b>	658	4,2
<hr/>		
<b>koła (suma obu)</b>	555	2,4
<hr/>		
<b>zliczenia <math>\alpha</math> (w obszarze piku)</b>		1,5

# pomiary + symulacje

## Neutrony w pikie 760 keV

$$\text{neutron flux} = (5.608 \pm 1.252) \times 10^{-7} \frac{n}{\text{cm}^2 \text{ s}}$$



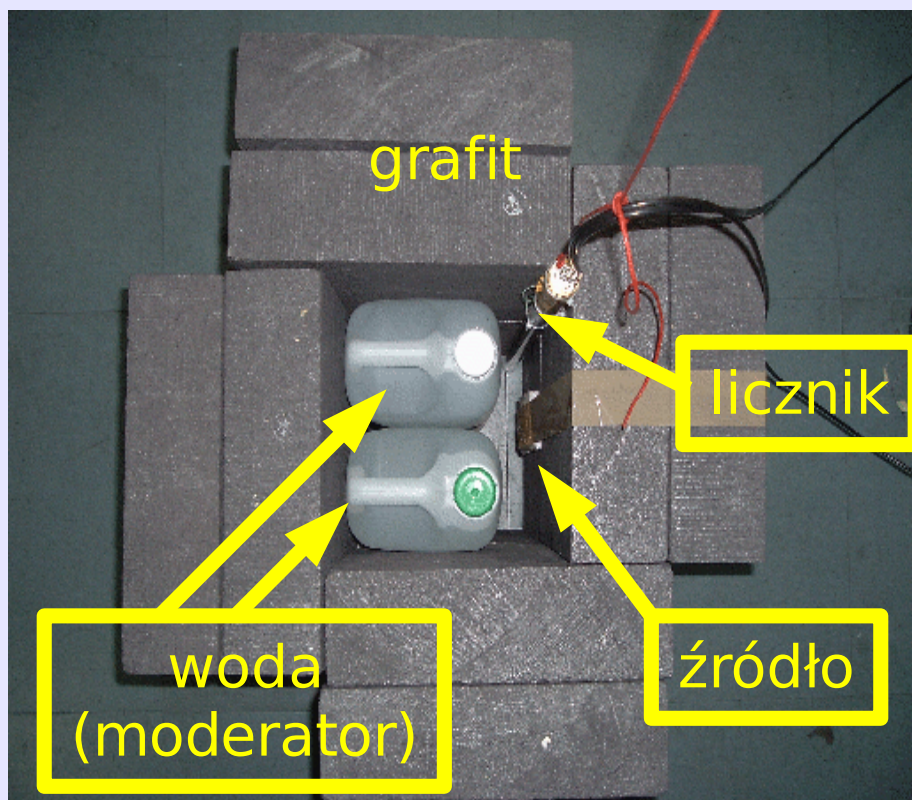
# Pomiary i symulacje

Wynik (strumień neutronów) znamy dopiero po porównaniu pomiaru i symulacji

Krytycznym parametrem jest wydajność licznika, którą wyznaczamy z symulacji

Przewidywania naszych symulacji sprawdziliśmy: wykonaliśmy pomiary testowe liczników

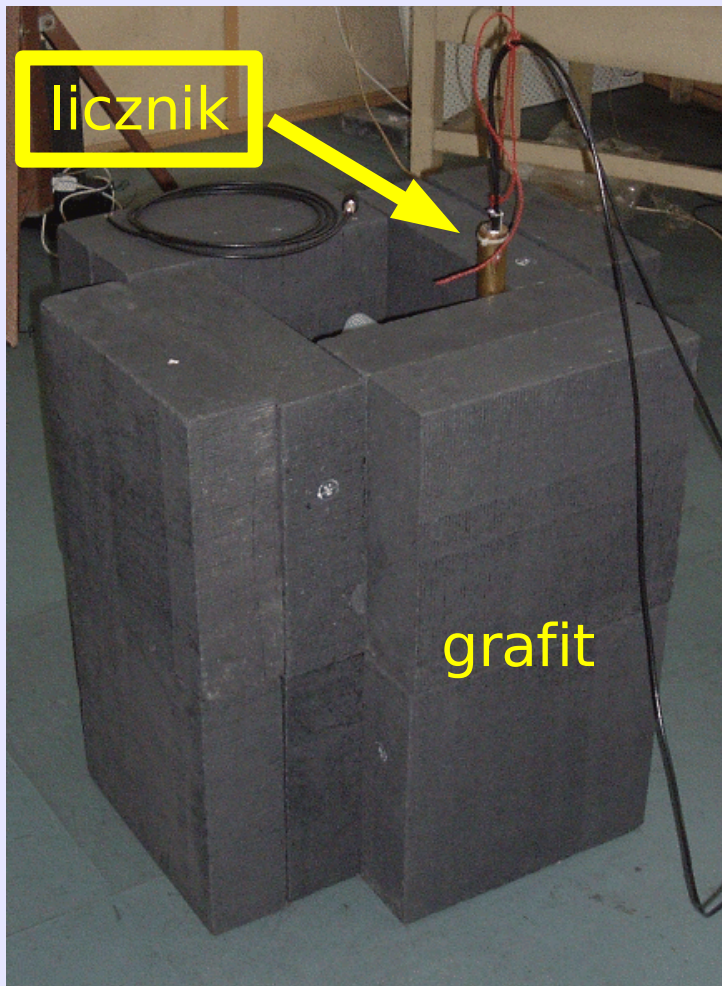
# Test symulacji - GEANT4



- Grafitowa studzienka
- 20 cm – grubość ściany
- Źródło: Am+Be, 200 Hz
- Izolowany układ: grafitowe ściany odbijają neutrony
- **Różnica pomiaru i symulacji < 15%**

Układ do testowania poprawności symulacji

# Test symulacji - GEANT4



Układ do testowania  
poprawności symulacji  
(widok z boku)

# Podsumowanie

- Zmierzyliśmy strumień neutronów termicznych w Narodowym Laboratorium Gran Sasso (pokój kontrolny eksperymentu Heidelberg-Moscow).
- Wynik (wstępny):  $(5.6 \pm 1.3) \times 10^{-7} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (pokazany tylko błąd statystyczny)
- Grant: ILIAS-TA P2007-12-LNGS (część I): miesiąc pomiarów strumienia termicznych neutronów „... *in order to demonstrate the sensitivity of the method and the alpha background*”. (EU contract RII3-CT-2004-506222)
- Planujemy przeprowadzić pomiary dla kilku innych (wyższych) energii w LNGS i Boulby.



# zespół

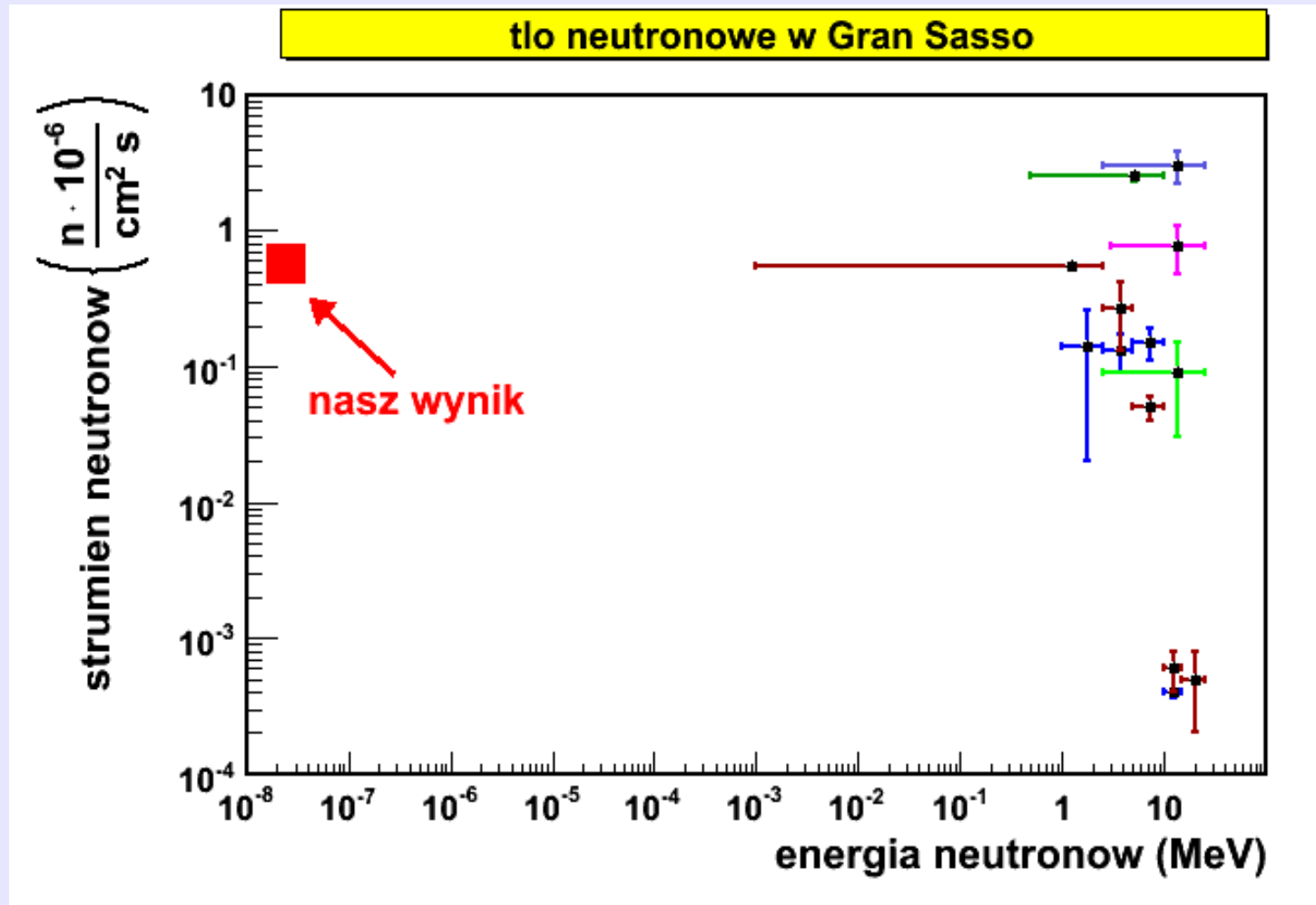
Zdzisław Dębicki, Karol Jędrzejczak, Jacek Karczmarczyk,  
Marcin Kasztelan, Ryszard Lewandowski, Jerzy Orzechowski,  
Jacek Szabelski, Maria Szeptycka, Przemysław Tokarski

Instytut Problemów Jądrowych im. Andrzej Sołtana

podziękowania:

- panu Wojciechowi Staroście (IChTJ) za liczniki helowe,
- Dr. Stanisławowi Pszonie (IPJ) za źródło AmBe i komentarze
- Prof. Joannie Stepaniak za kontakt z ILIAS

# Nasz wynik na tle dotychczasowych pomiarów w Gran Sasso



Wulandari et al. hep-ex/0312050v2