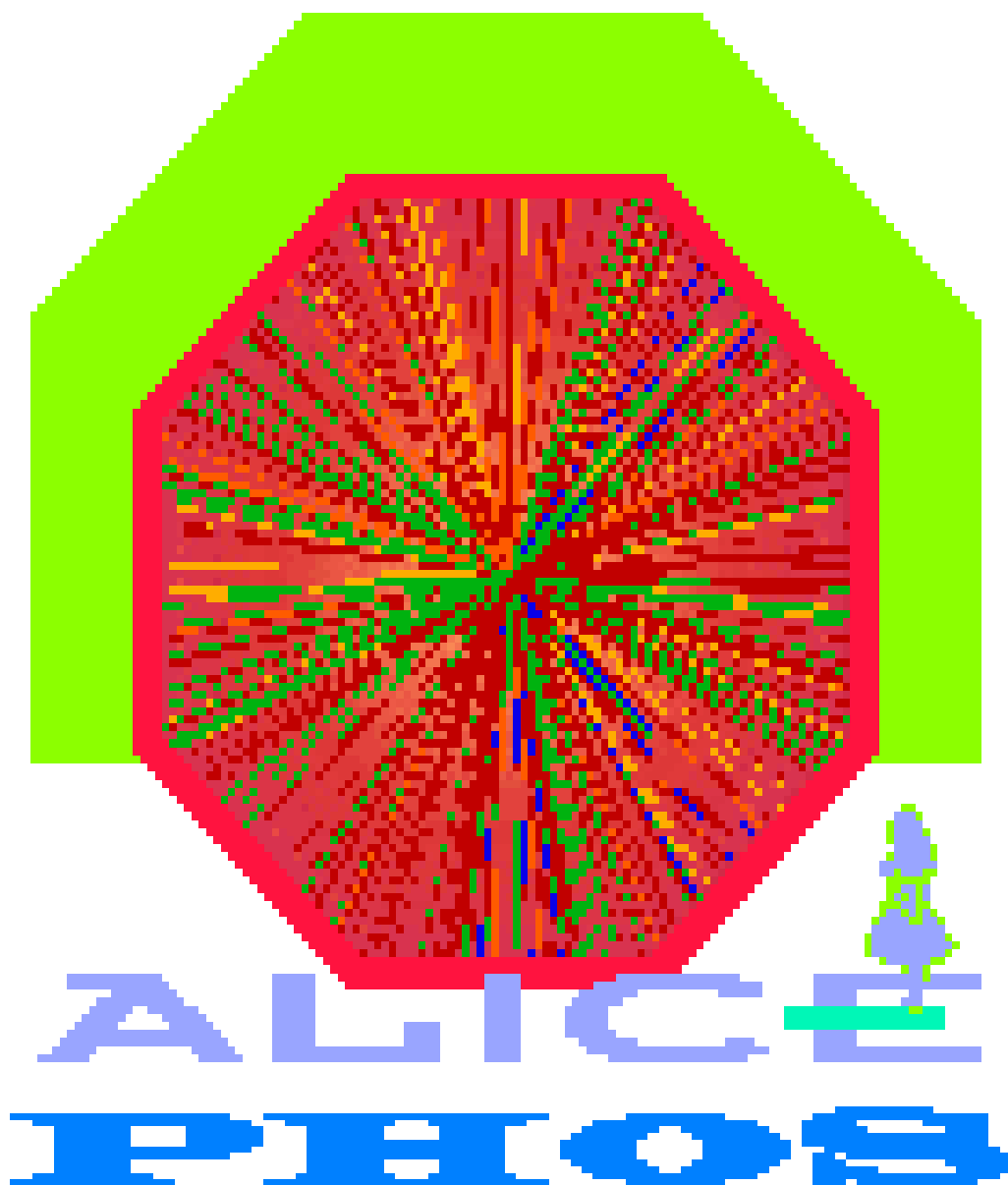




Grzegorz Stefanek
Instytut Problemów Jądrowych w Warszawie
Akademia Świętokrzyska w Kielcach



Konspekt

- **Wstęp**
- **Cele fizyczne**
- **Budowa detektora**
 - ⇒ geometria, moduły, kryształy
 - ⇒ fotodiody i przedwzmacniacze
 - ⇒ elektronika
 - ⇒ system chłodzenia
- **Charged Particle Veto (CPV)**
- **Testy detektora**
- **Wkład grupy polskiej**



Informacje podstawowe

PHOS (**PHO**ton **S**pectrometer)

- **Kalorymetr elektromagnetyczny o wysokiej granularności**
⇒ 17280 jednakowych segmentów i kanałów elektroniki
- **Detektor zoptymalizowany do rejestracji:**
 - ⇒ fotonów ~ 0.5 - 10 GeV/c
 - ⇒ mezonów π^0 ~ 1 - 10 GeV/c
 - ⇒ mezonów η ~ 2 - 10 GeV/c



Cele fizyczne - fotony

- Pojedyncze fotony bezpośrednie**

⇒ promieniowanie termiczne gorącej i gęstej materii we wczesnej fazie zderzenia, w tym QGP

» zakres średnich pędów p_t ($\sim 1 - 5 \text{ GeV}/c$)

⇒ fotony natychmiastowe z twardych procesów QCD

» zakres dużych pędów p_t ($> 5 \text{ GeV}/c$)

⇒ tło pochodzące z rozpadów hadronów (głównie mezonów π^0, η)

» produkcja i rozkłady p_t mezonów π^0, η

⇒ duża krotność cząstek

» metoda statystyczna znajdowania nadwyżki fotonów bezpośrednich

– czułość metody limitowana przez błędy systematyczne

– przewidywania ($p_t = 2 - 5 \text{ GeV}/c$)

$\gamma_{\text{direct}}/\gamma_{\text{decay}} \sim 10\text{-}50\%$ zależnie od modelu

- Pary fotonów bezpośrednich**

⇒ wczesna faza zderzenia z gorącą i gęstą materią

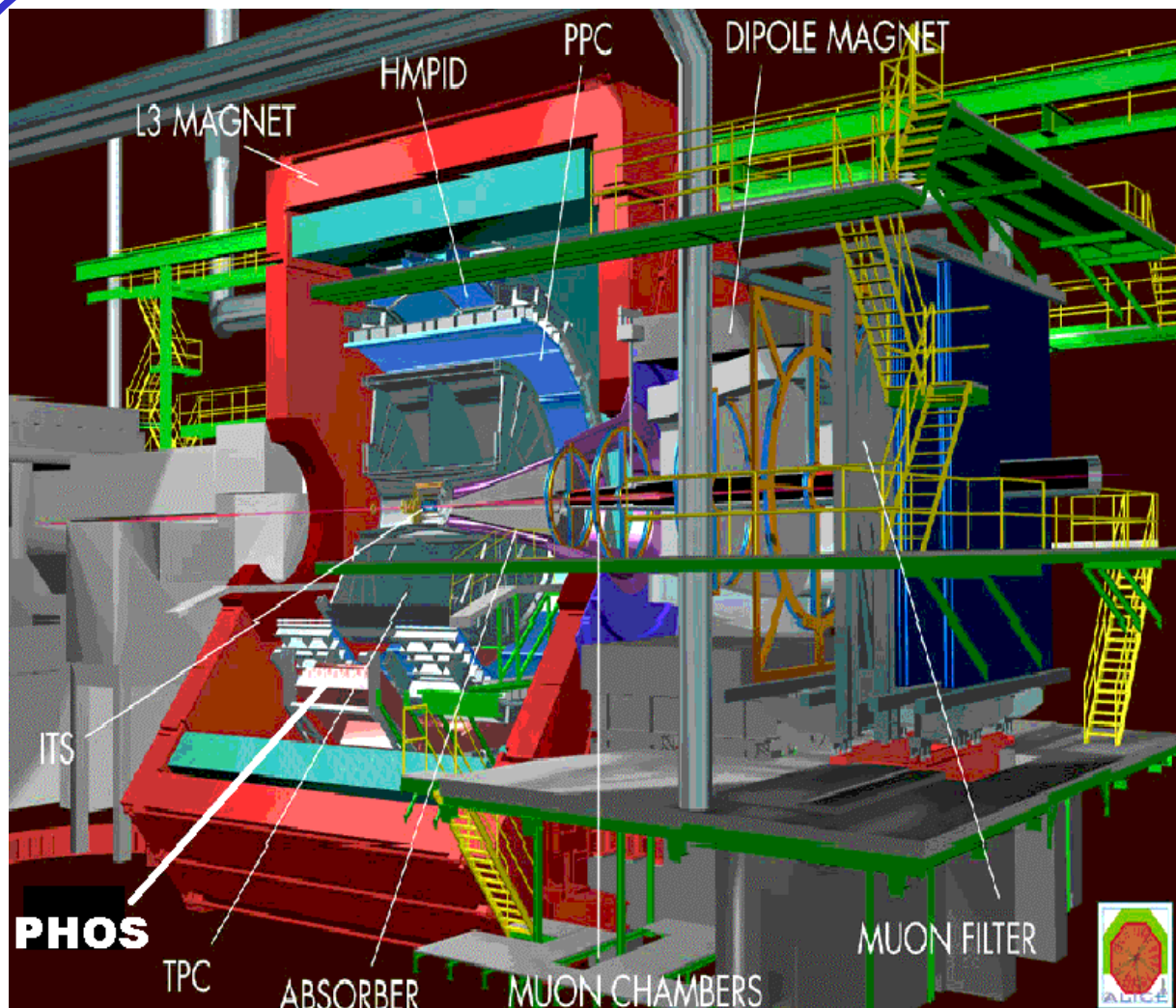


Cele fizyczne - mezony

- **Rozkład pędu poprzecznego mezonów π^0**
 - $\Rightarrow$ ewolucja fazy hadronowej, do stadium wymrażania (freeze-out)
 - $\Rightarrow$ jet-quenching jako sygnatura wyzwobodzenia kwarków
- **Sygnały związane z ustanowieniem symetrii chiralnej**
 - $\Rightarrow$ fluktuacje $N(\pi^0)/N(\pi^+ + \pi^-)$
 - » nieorientowany kondensat chiralny (DCC)
 - $\Rightarrow$ stosunki produkcji mezonów η
 - » stany metastabilne ze spontanicznie łamaną parzystością
 - $\Rightarrow$ korelacje Bosego-Einsteina π^0 - π^0



PHOS w eksperymencie ALICE



Relacje między kalorymetrem PHOS i innymi detektorami:

- detektor Charged Particle Veto - CPV
 - » część spektrometru PHOS

- dane z innych detektorów zostaną wykorzystane do:
 - » charakterystyki przypadków
 - » analizy korelacji wielocząstkowych
- w pozostałych wypadkach dane z detektora PHOS są analizowane niezależnie od innych detektorów



Podstawy konstrukcji detektora

- **Duża gęstość przestrzenna cząstek**
 - ⇒ gęsty ośrodek o małym promieniu Moliéra
 - » kryształy z wolframianu ołowiu (PbWO_4)
 - ⇒ segmentacja kalorymetru
 - » poprzeczny rozmiar komórki $2.2 \times 2.2 \text{ cm}^2$
 - ⇒ duża odległość od wierzchołka
 - » odległość 4.6 m
- **Możliwość rejestracji mezonów π^0 i η o stosunkowo małych pędach - geometria detektora**
 - ⇒ cztery jednakowe niezależne moduły po 4320 kryształów
 - ⇒ obejmowany obszar
 - » $-50^\circ \leq \varphi \leq 50^\circ$; $-0.12 \leq \eta \leq 0.12$
- **Długość kryształu 18 cm**
 - ⇒ kompromis między rozdzielczością energetyczną oraz kosztami i możliwościami produkcji

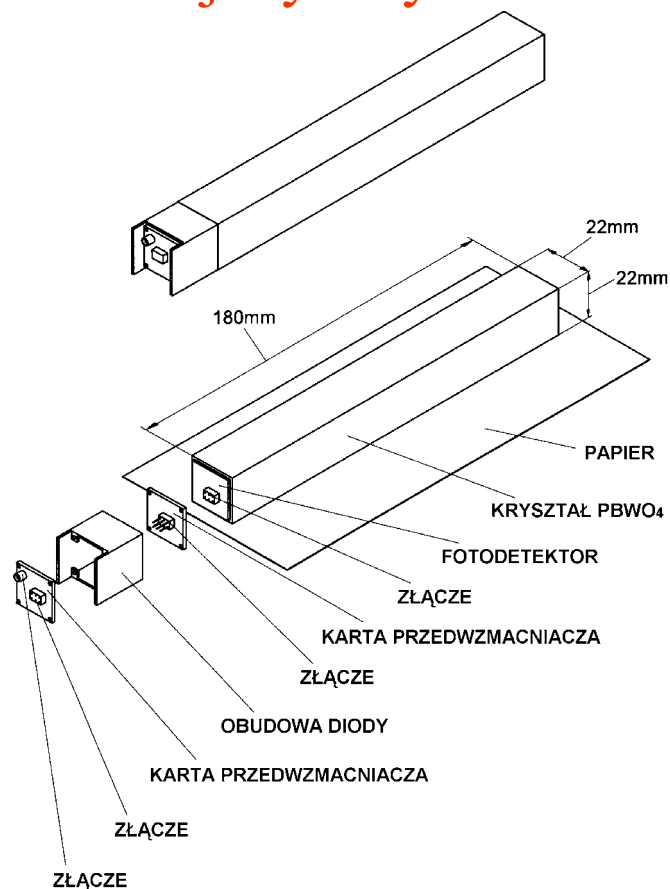


The drawing shows a mobile cryogenic storage container. The left part is a perspective view of the container on a trailer, with labels: ZACZEP TRANSPORTOWY (transport hitch), MODUŁ (module), KOŁO (wheel), and RAMA (frame). The right part is a cutaway view of the container, showing internal components and insulation. Labels for the cutaway view include: IZOLACJA TERMICZNA (thermal insulation), PANEL CHŁODZĄCY (cooling panel), POKRYWA (cover), IZOLACJA TERMICZNA (thermal insulation), DOPROWADZENIE AZOTU (nitrogen inlet), ZACZEP TRANSPORTOWY (transport hitch), PODŁĄCZENIE CHŁODZENIA (cooling connection), OBUDOWA (housing), KARTY ELEKTRONIKI (electronic cards), KANAŁ CHŁODZENIA (cooling channel), and PANEL CHŁODZĄCY (cooling panel).

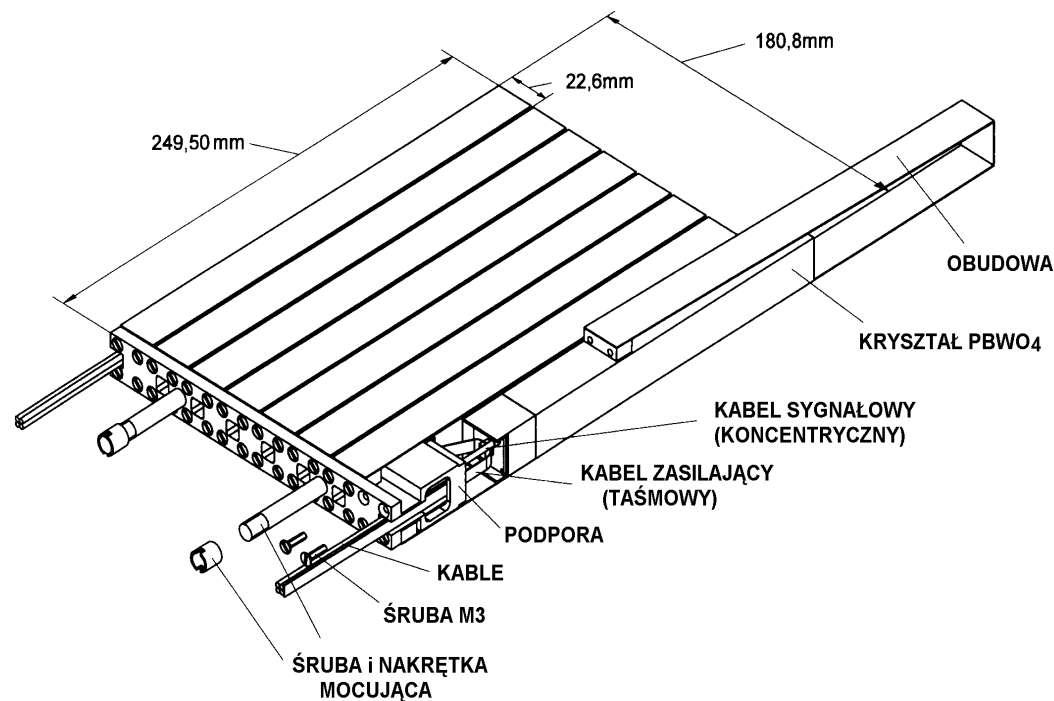


Budowa detektora

Pojedynczy element

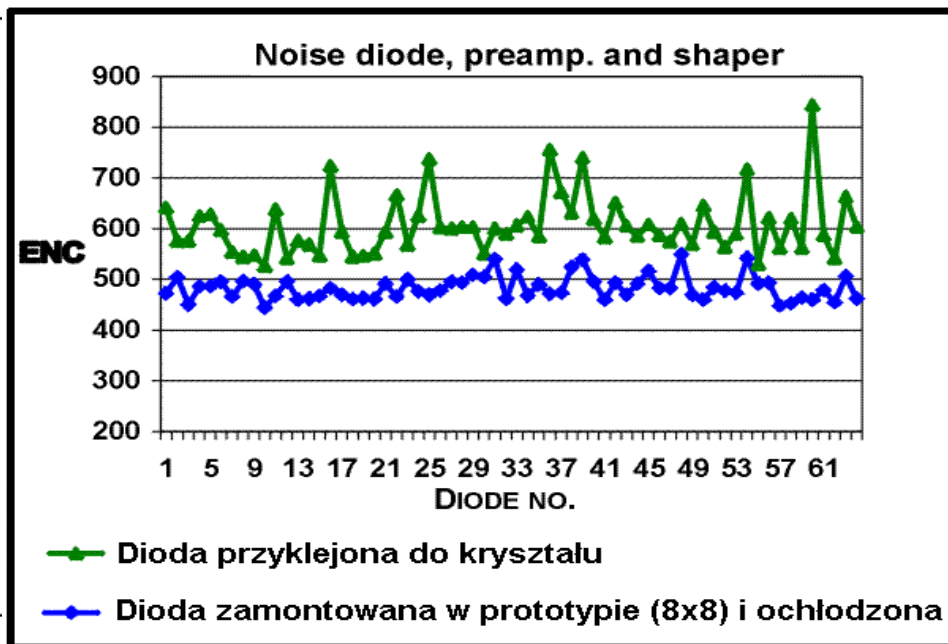
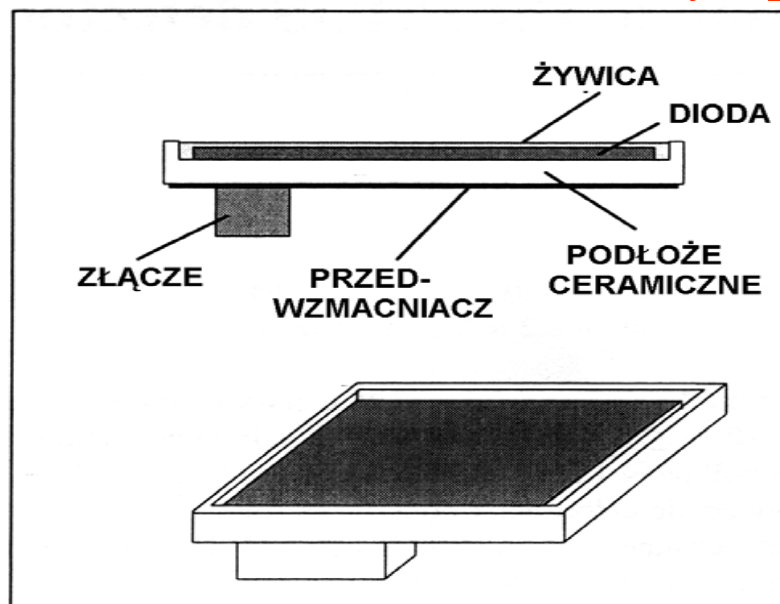


Jednostka konstrukcyjna



Budowa detektora

Fotodiody i przedwzmacniacze



• fotodiody

- wymiary $16.1 \times 17.1 \text{ mm}^2$
- pojemność $\sim 150 \text{ pF}$
- **czułe na cząstki naładowane**
(punch - through)

• układ dioda+przedwzmacniacz

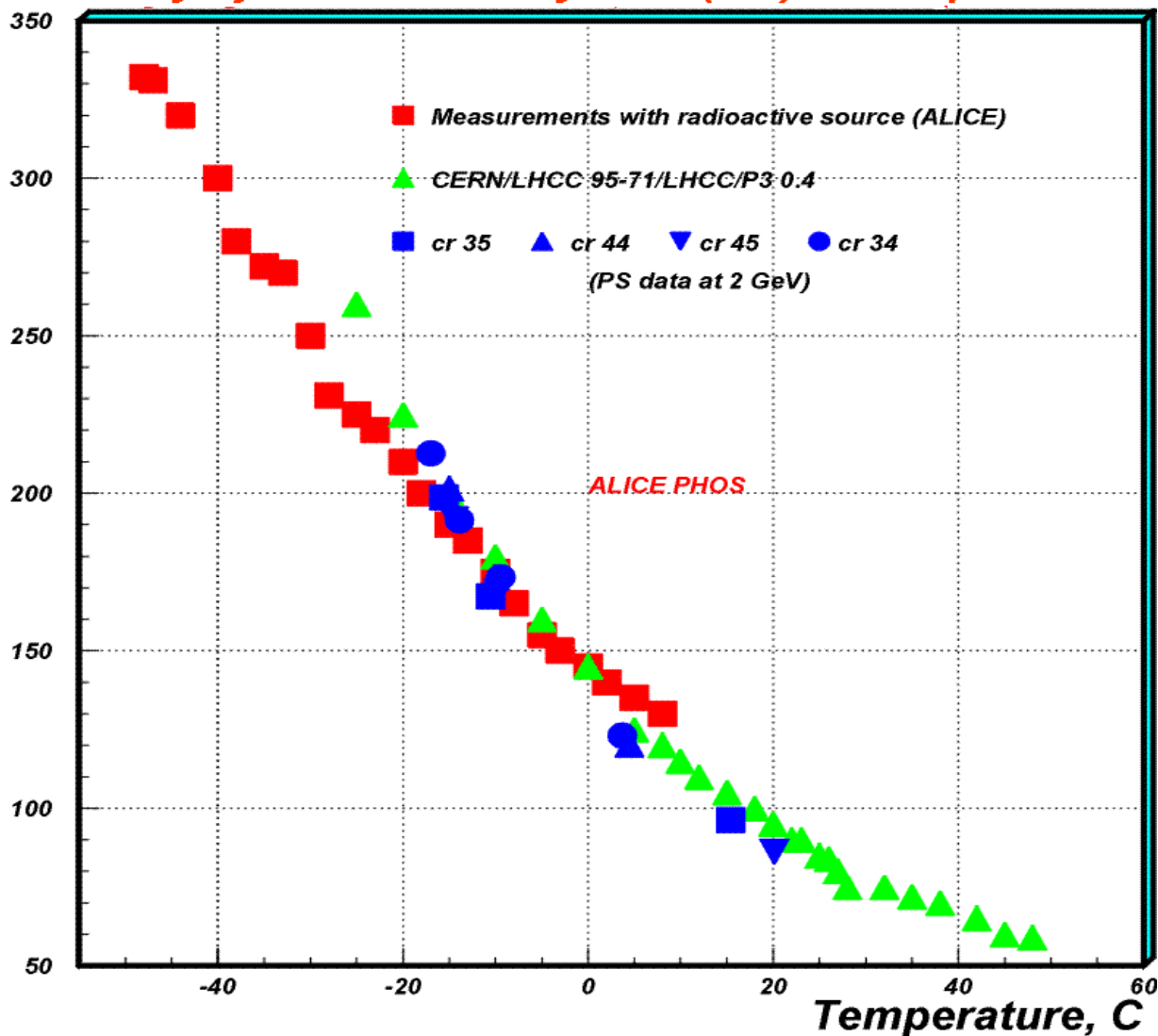
- pobór mocy $< 200 \text{ mW}$
- szумы $\text{ENC} = 500\text{-}600\text{e}$ ($\sim 10 \text{ MeV}$)
- dark current $< 5 \text{ nA}$



Budowa detektora

Wydajność świetlna

Wydajność świetlna kryształu (a.u.) vs. temperatura



- **Temperaturowy współczynnik wydajności świetlnej $-2\% / ^\circ\text{C}$**

» temperatura pracy -25°C

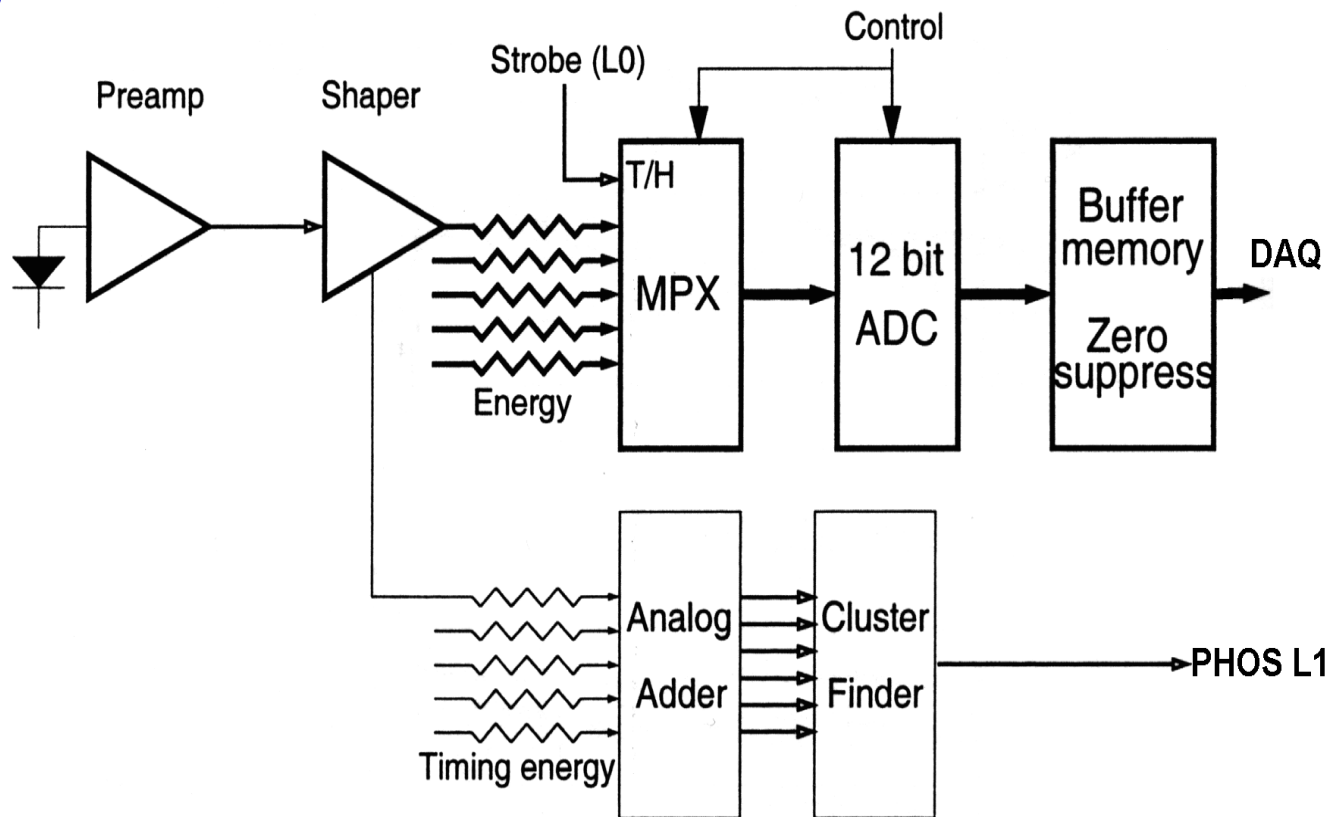
» stabilność temperatury $0.3-0.4^\circ\text{C}$

→ stabilność współczynników wzmocnienia $\sim 1\%$



Budowa detektora

Elektronika spektrometru

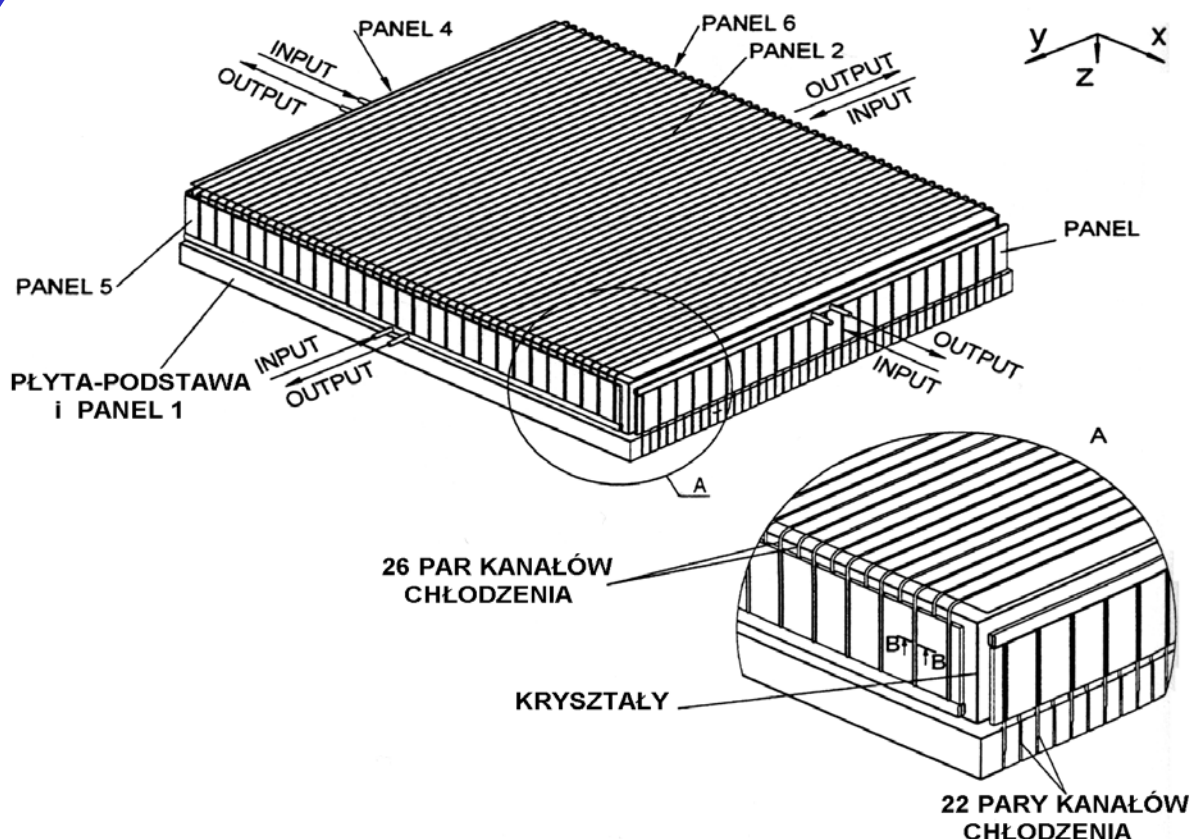


Kanał elektroniki:

- » przedwzmacniacz niskoszumowy
- » kształtownik ($\sim 3\mu\text{s}$)
- » multiplexer
- » ADC (12bit)
- » pamięć buforowa
- » odzerowanie

Budowa detektora

System chłodzenia i stabilizacji termicznej



- podział modułu na części „zimną” (kryształy, diody, przedwzmacniacze) i „ciepłą”
- temperatura pracy -25°C
- stabilność temperatury $\sim 0.3\text{-}0.4^{\circ}\text{C}$
- rozpraszanie mocy $\sim 1\text{kW}/\text{moduł}$
- dokładność pomiaru temperatury $\sim 0.1^{\circ}\text{C}$
- środek chłodzący 1.2 propanedol - woda



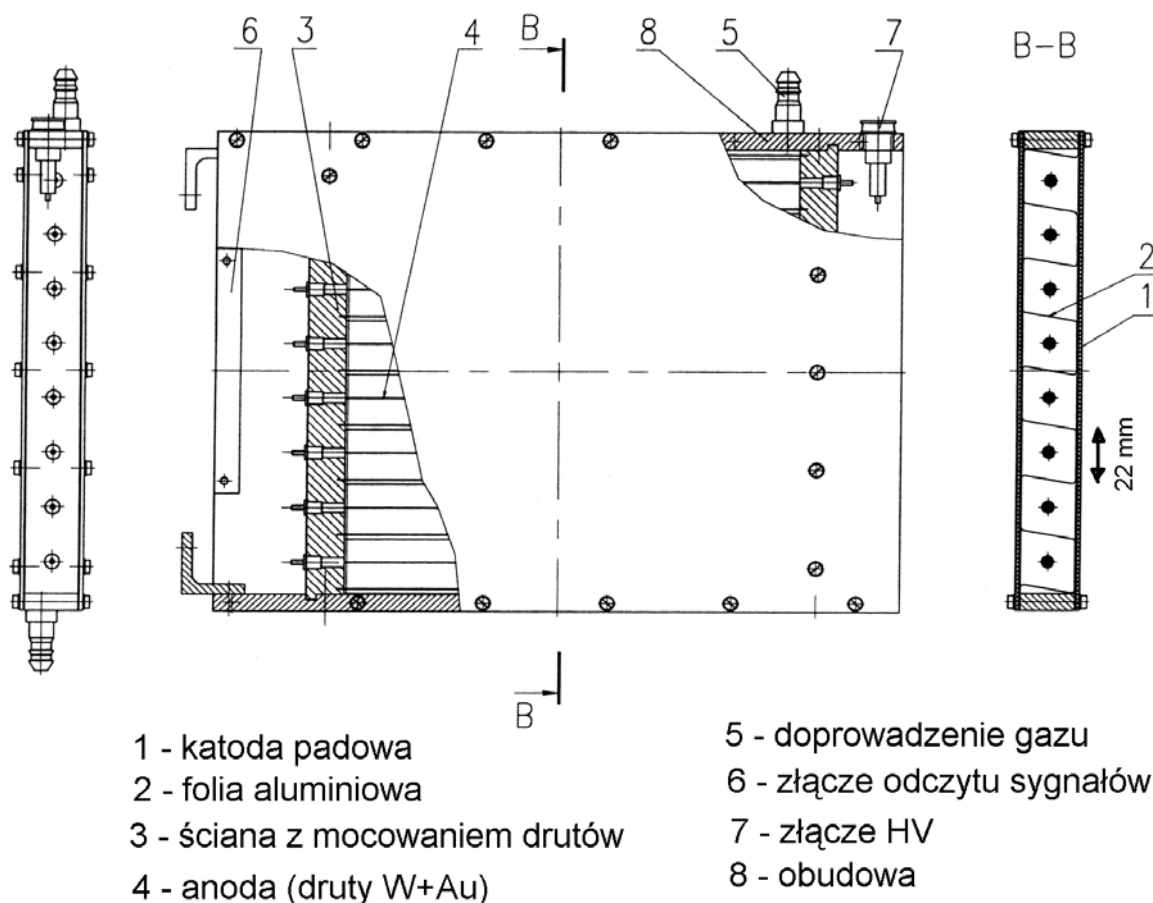
Budowa detektora

Podsumowanie - dane techniczne

Ilość kanałów:	17280
Materiał:	kryształy z wolframianu ołowiu (PbWO_4)
Rozmiary kryształu:	$22 \times 22 \times 180 \text{ mm}^2$
Długość kryształu:	$20 \times \text{długość radiacyjna}$
Całkowite pole powierzchni:	$\sim 8 \text{ m}^2$
Całkowita objętość kryształów:	$\sim 1.5 \text{ m}^3$
Całkowita masa kryształów:	$\sim 12.5 \text{ t}$
Odczyt:	diody P-i-N z niskoszumowymi przedwzmacniaczami
Temperatura pracy:	$- 25^\circ\text{C}$
Minimalna odległość od wierzchołka:	4.6 m
Maksymalny kąt padania fotonów:	$\sim 13^\circ$

Charged Particle Veto

Prototyp (MWPC)



Cechy prototypu:

- » wymiary $180 \times 180 \text{ mm}^2$
- » wymiary padu $22 \times 22 \text{ mm}^2$
- » średnica drutu $50 \mu\text{m}$
- » mieszanka gazów
80% Ar+20% CO₂
- » HV - 2050V

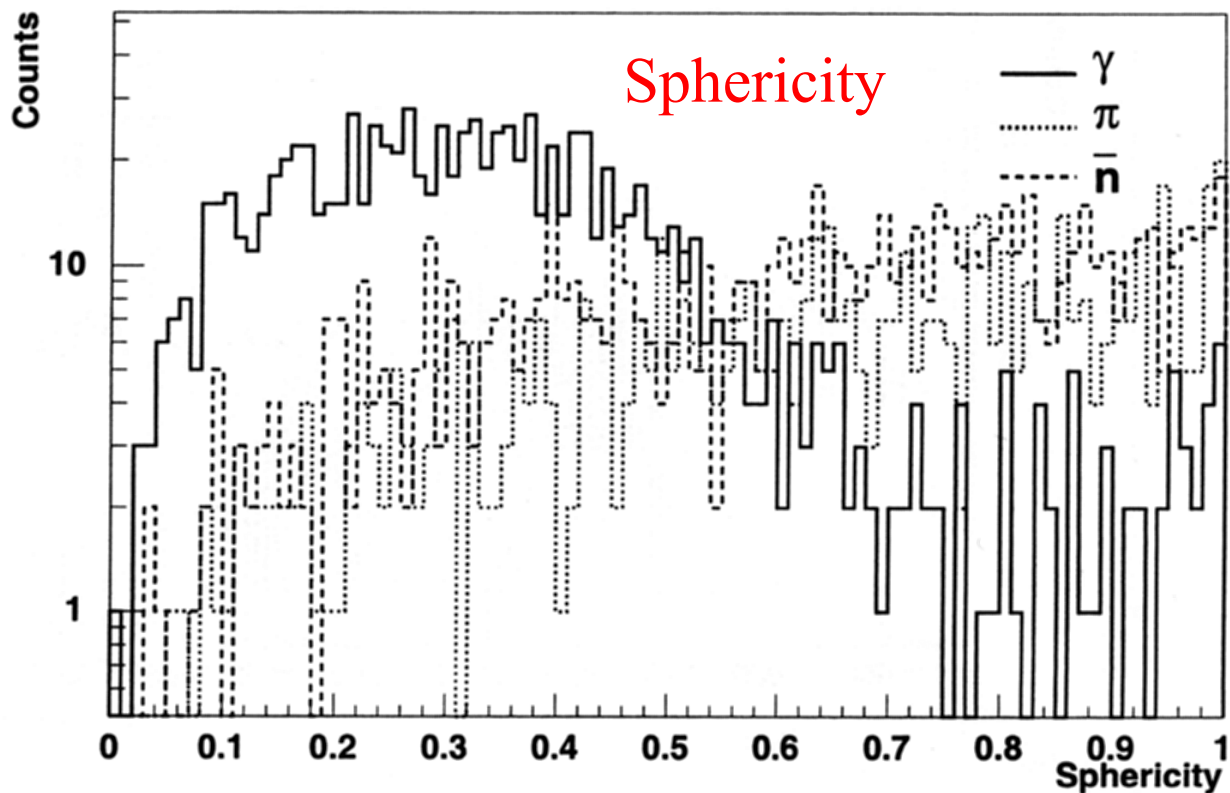
Zmierzone parametry:

- » wydajność detekcji
 0.99 ± 0.016
- » rozdzielczość przestrzenna
 $\sigma_x = \sigma_B = 1.25 \text{ mm}$, $\sigma_y = 6.4 \text{ mm}$
- » rozmiary klastrów
(N=1, 4% ; N=2, 72% ;
N=3, 24%)

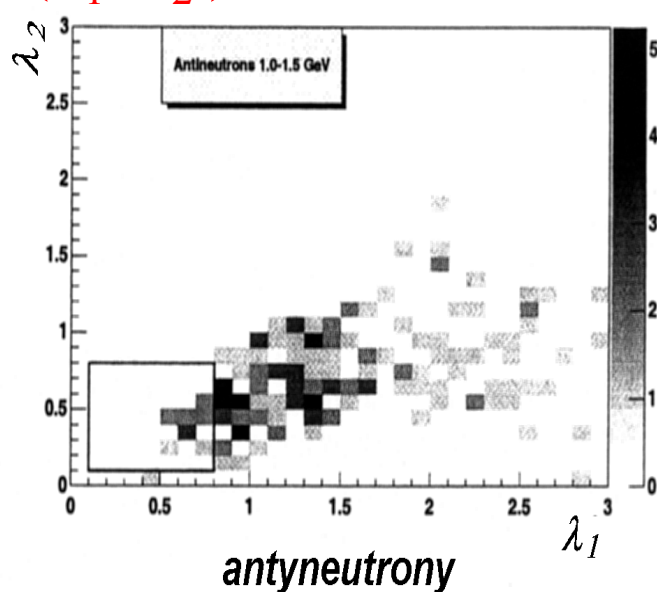
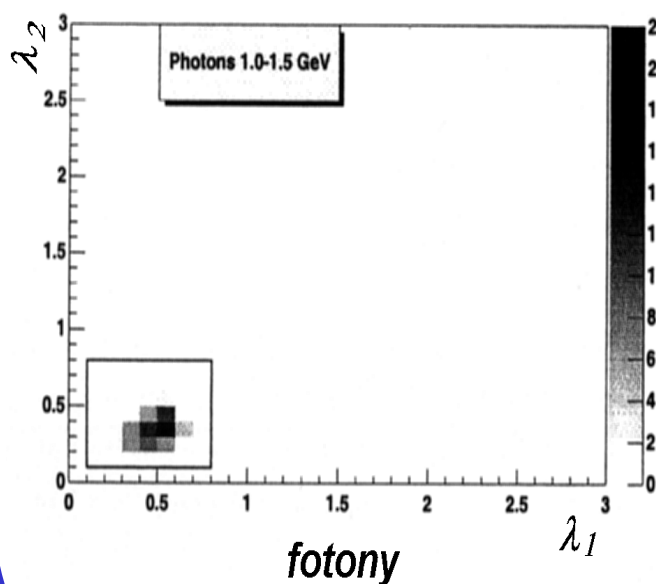


Symulacje komputerowe

Topologia kaskad



Wartości własne (λ_1, λ_2) tensora

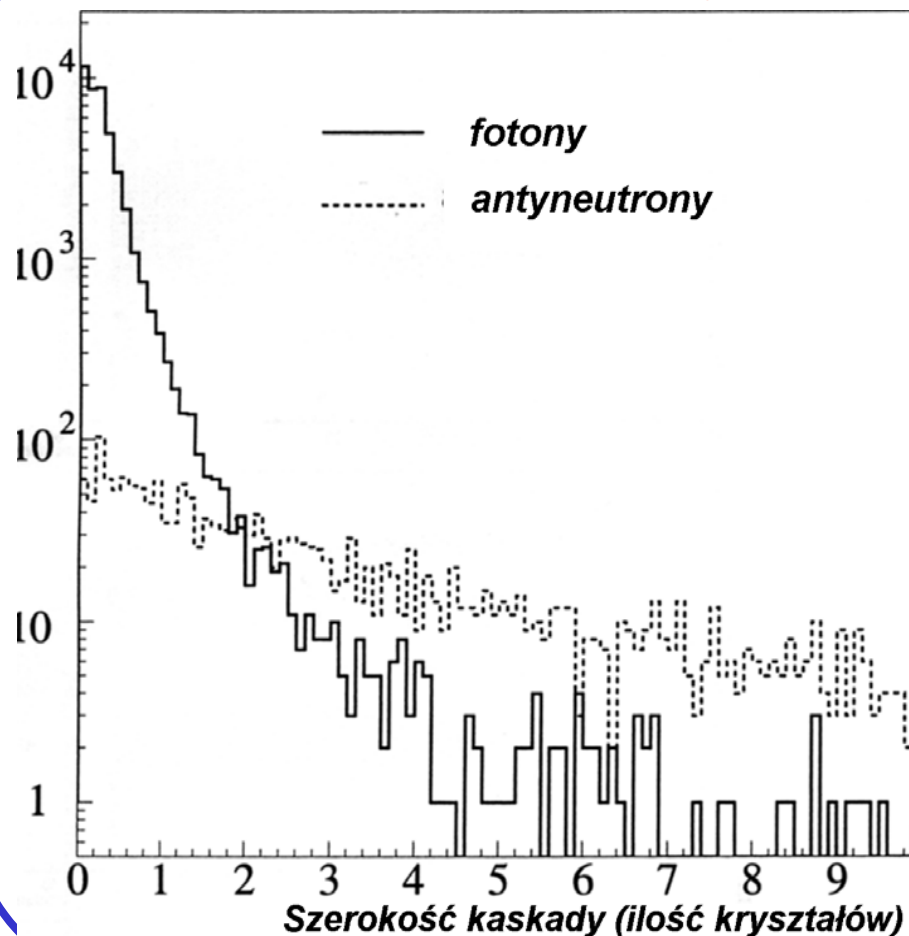


E = 1.0 - 1.5 GEV

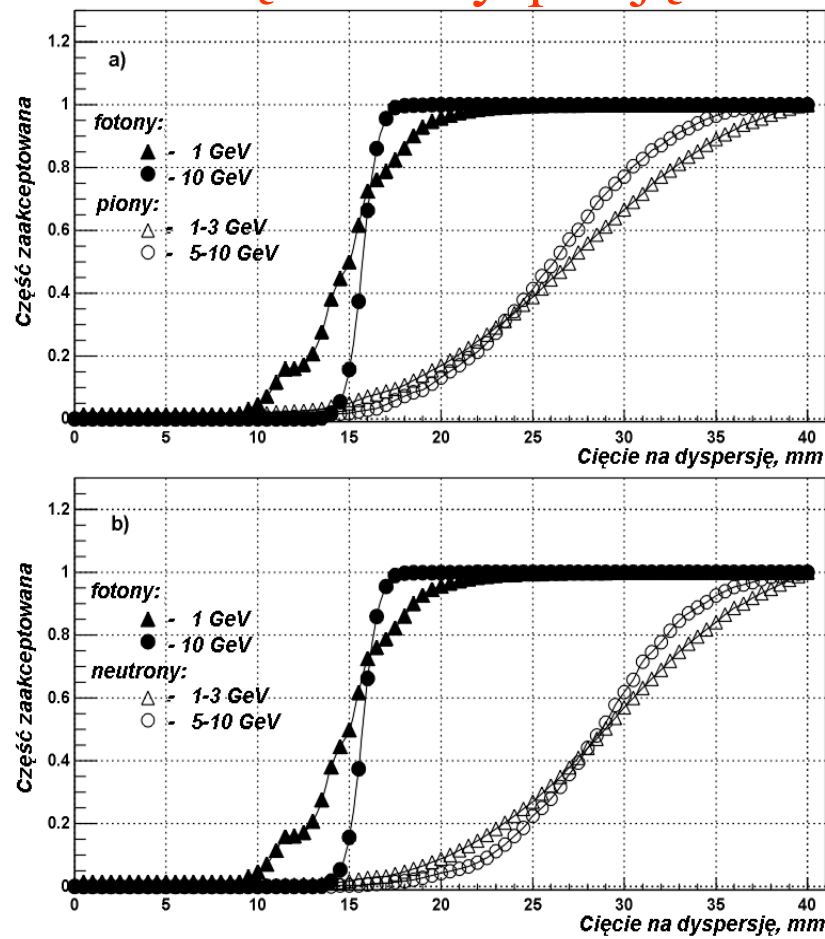


Symulacje komputerowe

Szerokość kaskady



Cięcia na dyspersję





Wyniki testów

Prototypy:

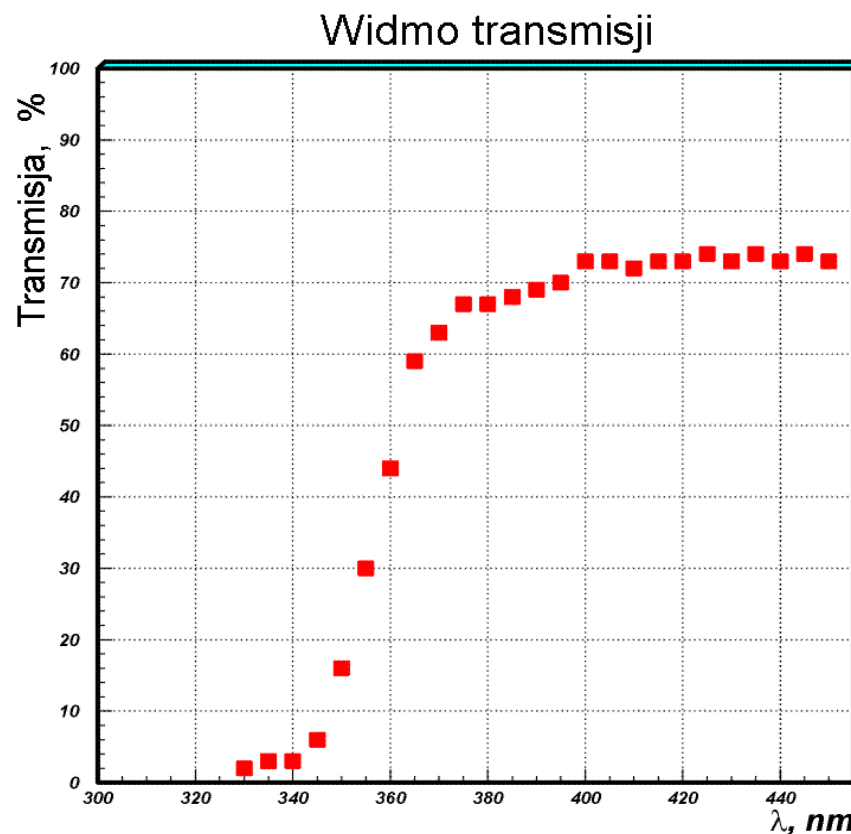
⇒ kryształy laboratoryjne do badań własności optycznych i kinetyki

» badania kinetyki scyntylacji i wydajności świetlnej kryształów

- źródła radioaktywne

^{22}Na , ^{106}Ru

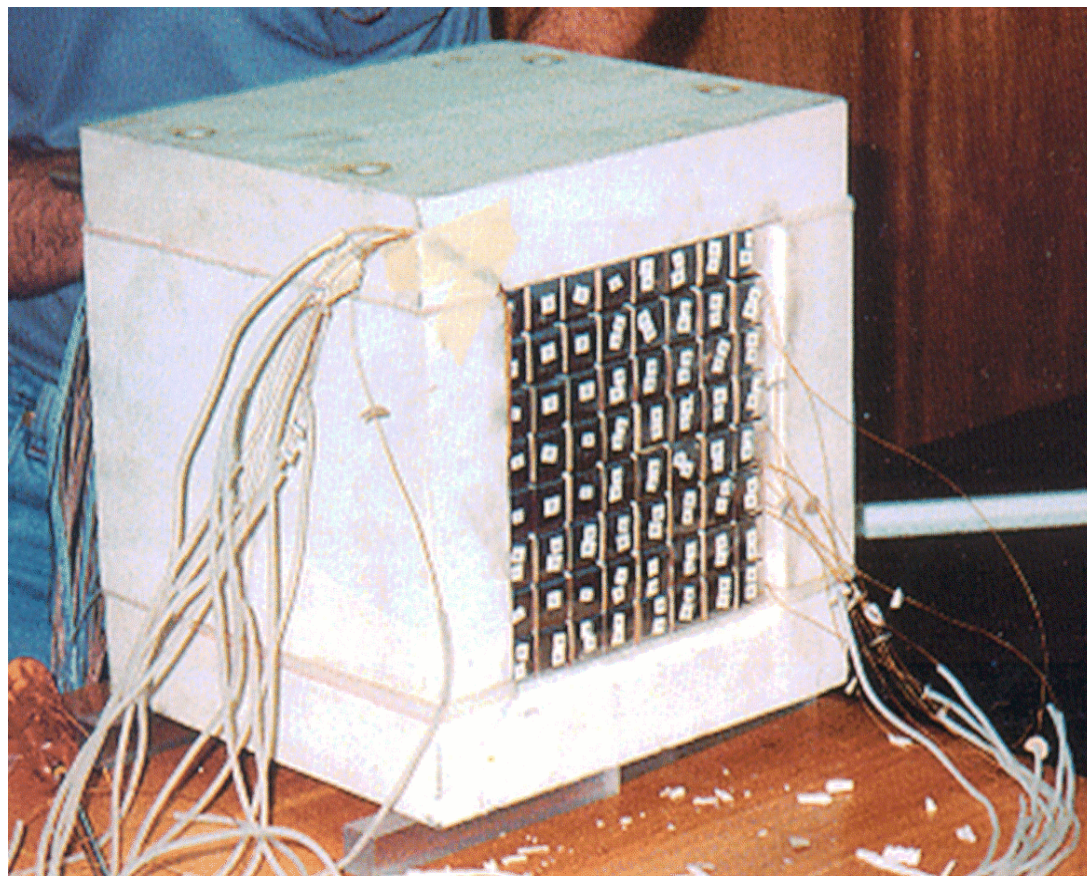
» badania transmisji światła ze spektrofotometrem



Wyniki testów

⇒ Prototyp złożony
z 64 kanałów
z systemami:

- » monitorowania
sygnałów świetlnych
(LED)
- » stabilizacji termicznej
i chłodzenia
- » monitorowania
temperatury

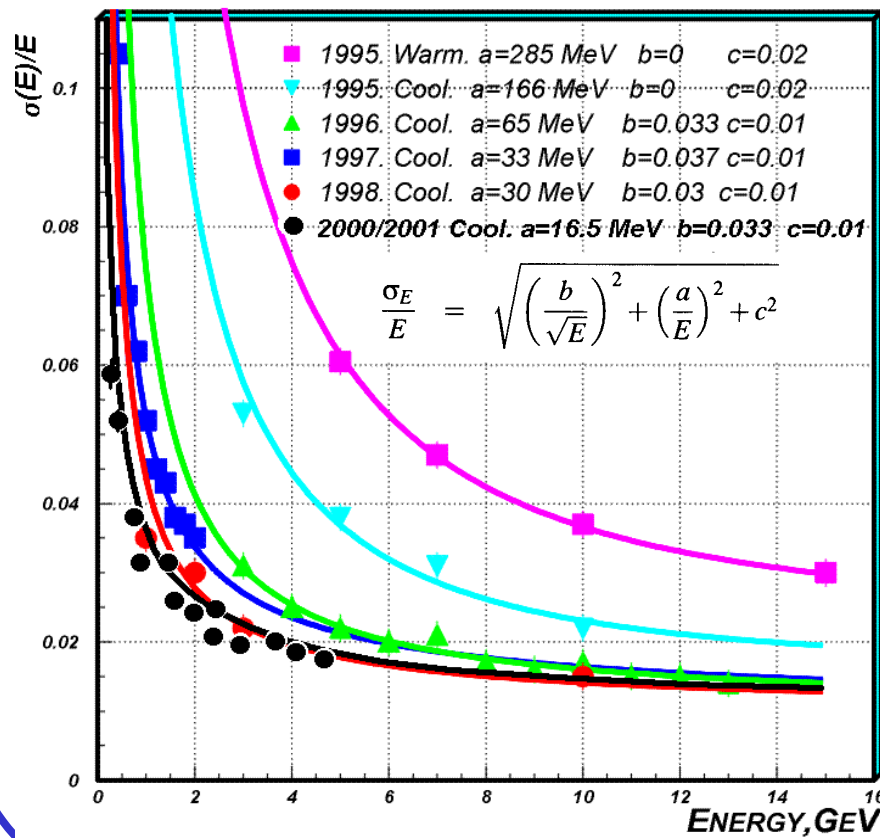




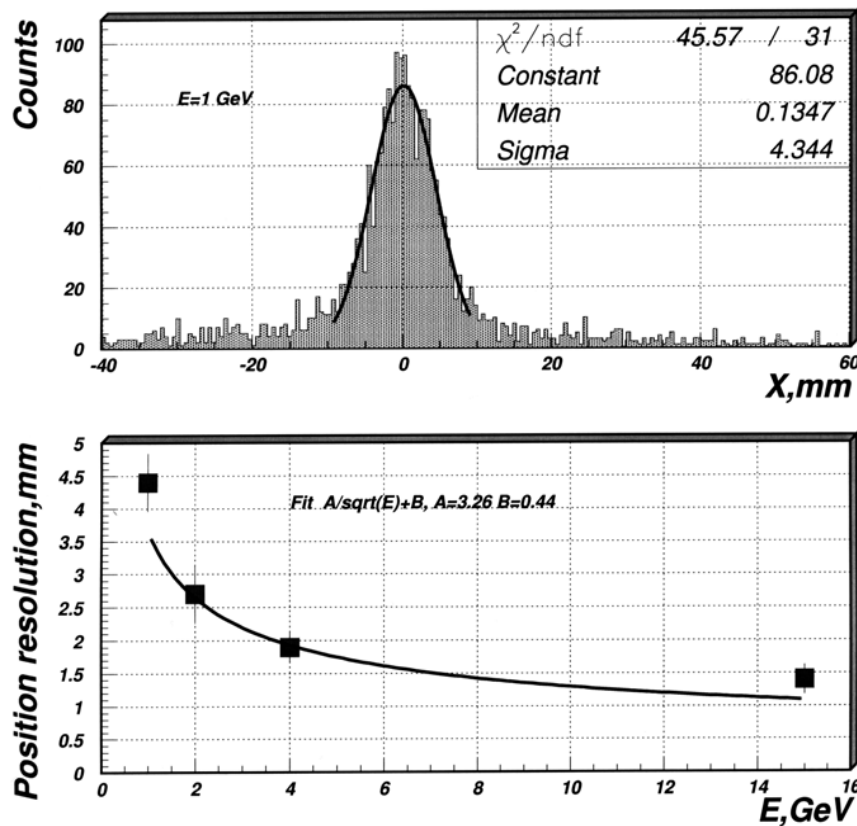
Wyniki testów

Testy na wiązках PS i SPS

Rozdzielczość energetyczna



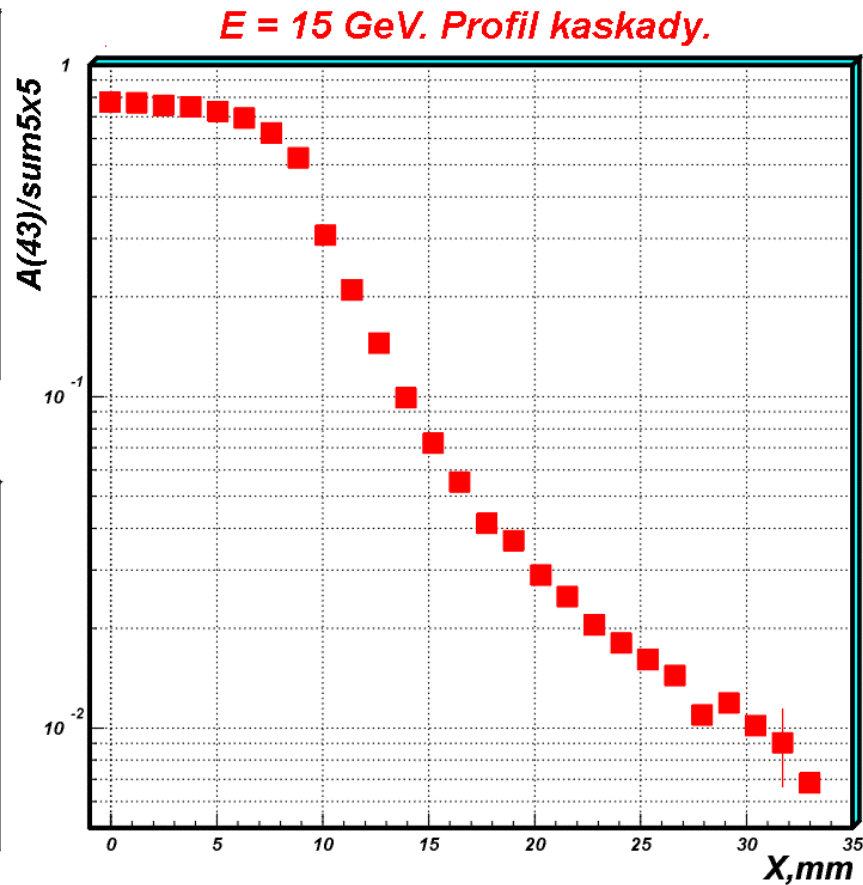
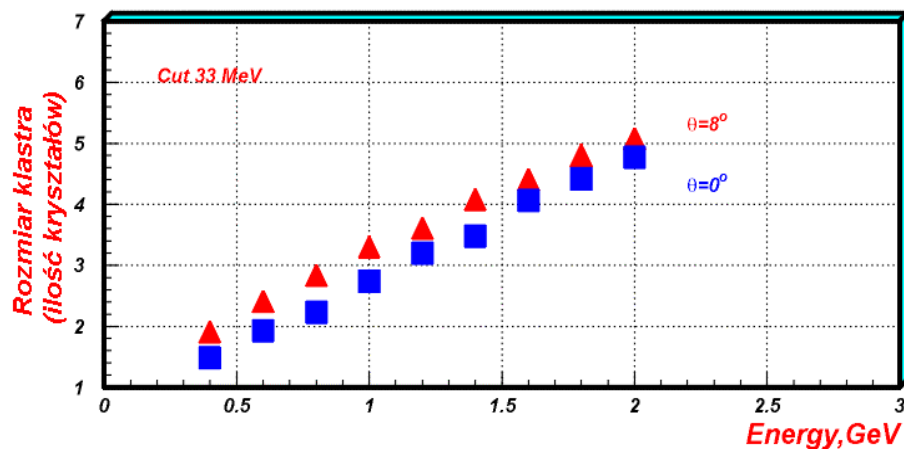
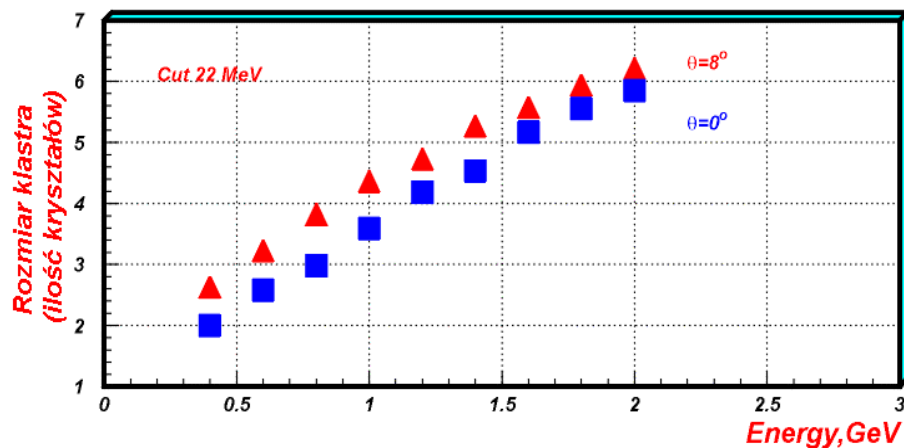
Rozdzielczość przestrzenna





Wyniki testów

Testy na wiązках PS i SPS





Uczestnicy projektu PHOS

- China Institute of Atomic Energy, Beijing, China
- University of Bergen, Departement of Physics, Bergen, Norway
- CERN, Geneva, Switzerland
- Russian Research Center „Kurchatov Institute”, Moscow, Russia
- Westfälische Wilhelms Universität, Institut für Kernphysik, Münster, Germany
- Laboratoire de Physique Subatomique et des Technologies Associées, Nantes, France
- University of Oslo, Departement of Physics, Oslo, Norway
- Academy of Sciences of Czech Republic (ASCR), Institute of Physics, Praque, Czech Republic
- Institute of High Energy Physics (IHEP), Protvino, Russia
- Russian Federal Nuclear Center (VNIIEF), Sarov, Russia

SOLTAN INSTITUTE FOR NUCLEAR PHYSICS, **WARSAW, POLAND**

D. Czerwiński, A.Deloff, K.Karpio, S.Kozak,
M.Kozłowski, H.Malinowski, K.Redlich,
T.Siemiarczuk, [G.Stefanek](#), L.Tykarski, G.Wilk



Wkład grupy IPJ

- wkład finansowy w budowę spektrometru PHOS
~ 450 tyś. CHF
- udział w przygotowaniach detektora i oprogramowania
- udział w testach detektora
- udział w przygotowaniu symulacji komputerowych