

Fizyka Cząstek i Oddziaływań Fundamentalnych

dr hab. Aleksander Filip Żarnecki

Zakład Cząstek i Oddziaływań Fundamentalnych IFD

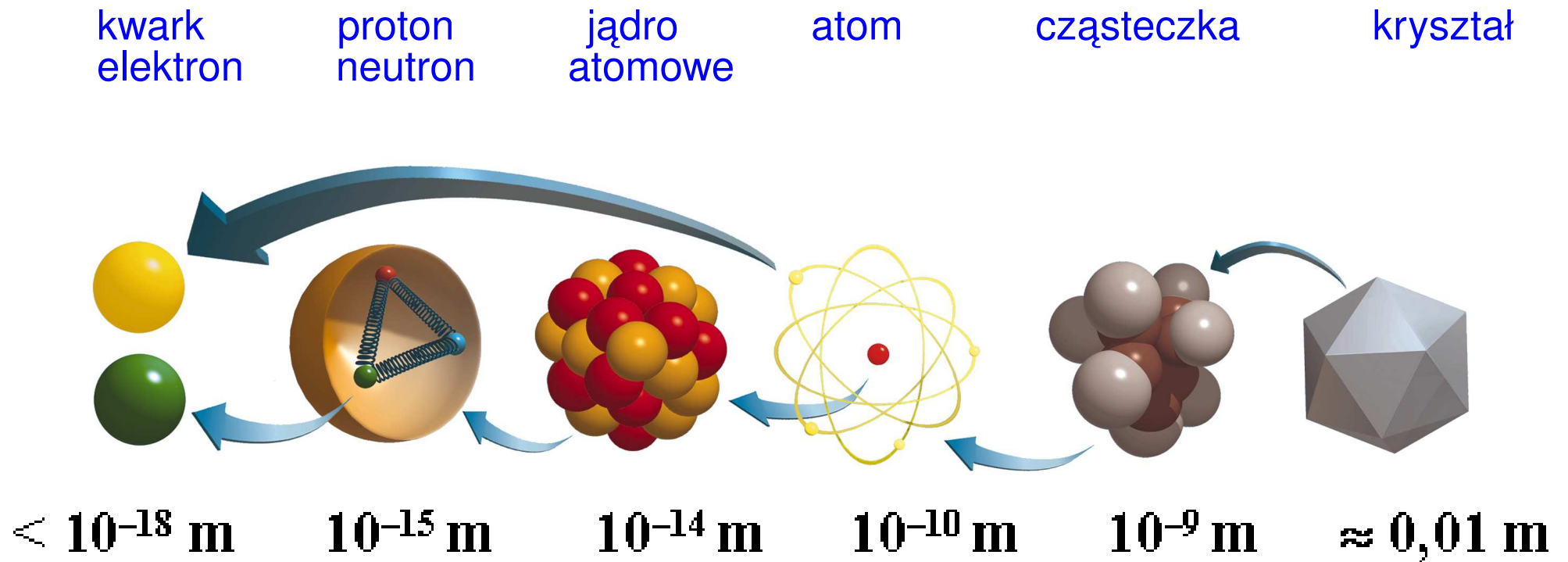
Plan seminarium:

- Wprowadzenie
 - ⇒ Model Standardowy
 - ⇒ Pytania i problemy
 - ⇒ Rozszerzenia MS
 - ⇒ Metodyka prowadzenia badań
- Eksperymenty z udziałem IFD UW
 - ⇒ DELPHI
 - ⇒ ZEUS i COMPASS
 - ⇒ CMS i ILC

 - ⇒ NA49, Super Kamiokande, ICARUS, π of the Sky

Model Standardowy

Budowa materii



Model Standardowy

Budowa materii

świat “codzienny” zbudowany jest z 3 “cegielek” (elektron oraz kwarki u i d)

Fizyka cząstek znalazła już jednak 12 fundamentalnych “cegielek” materii, fermionów:

	leptony		kwarki	
pokolenie 1	e <i>elektron</i>	ν_e <i>neutrino el.</i>	d <i>down</i>	u <i>up</i>
pokolenie 2	μ <i>mion</i>	ν_μ <i>neutrino mionowe</i>	s <i>strange</i>	c <i>charm</i>
pokolenie 3	τ <i>taon</i>	ν_τ <i>neutrino taonowe</i>	b <i>beauty</i> <i>(bottom)</i>	t <i>top</i> <i>(truth)</i>
ładunek [e]	-1	0	-1/3	+2/3

+ anty-fermiony (kolejnych 12)

Model Standardowy

Budowa materii

Pierwsza “generacja” wystarcza, żeby zbudować nasz "codzienny" świat (protony, neutrony, a także wiele dodatkowych cząstek: π^\pm , π^0 , η , ρ^\pm , ρ^0 , ω ...)

Kwarki i leptony kolejnych generacji mają identyczne właściwości, z wyjątkiem (szybko rosnącej) masy.

Rozpiętości mas w świecie cząstek są ogromne:

$$m_{\nu_e} \sim 0.01 \text{ eV}$$

$$m_e = 511 \text{ keV}$$

$$m_p = 938 \text{ MeV}$$

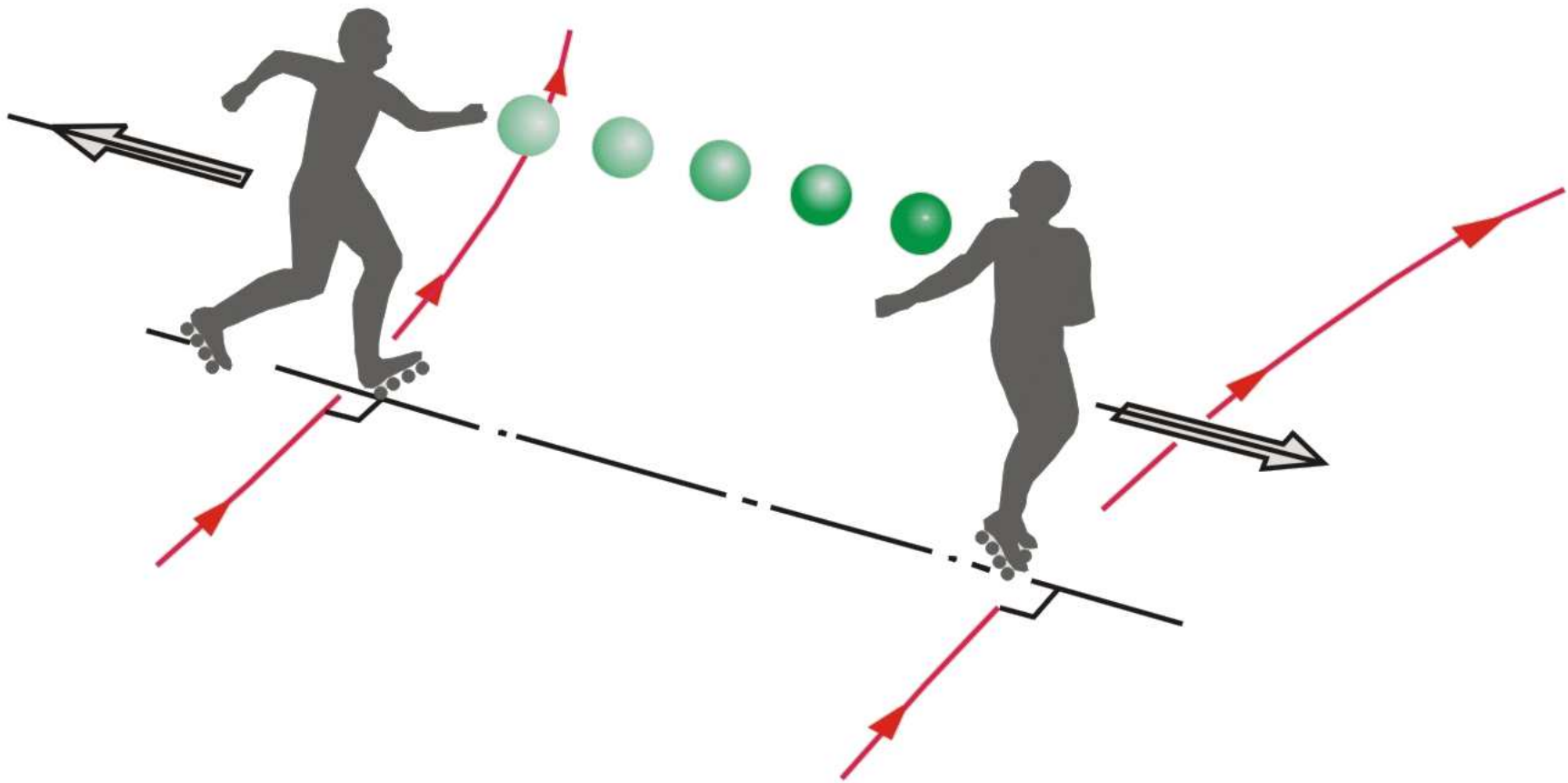
$$m_t = 178 \text{ GeV} \quad 1\text{GeV} = 10^9 \text{ eV}$$

Masa w dużym stopniu determinuje “zachowanie” cząstek

Model Standardowy

Oddziaływania

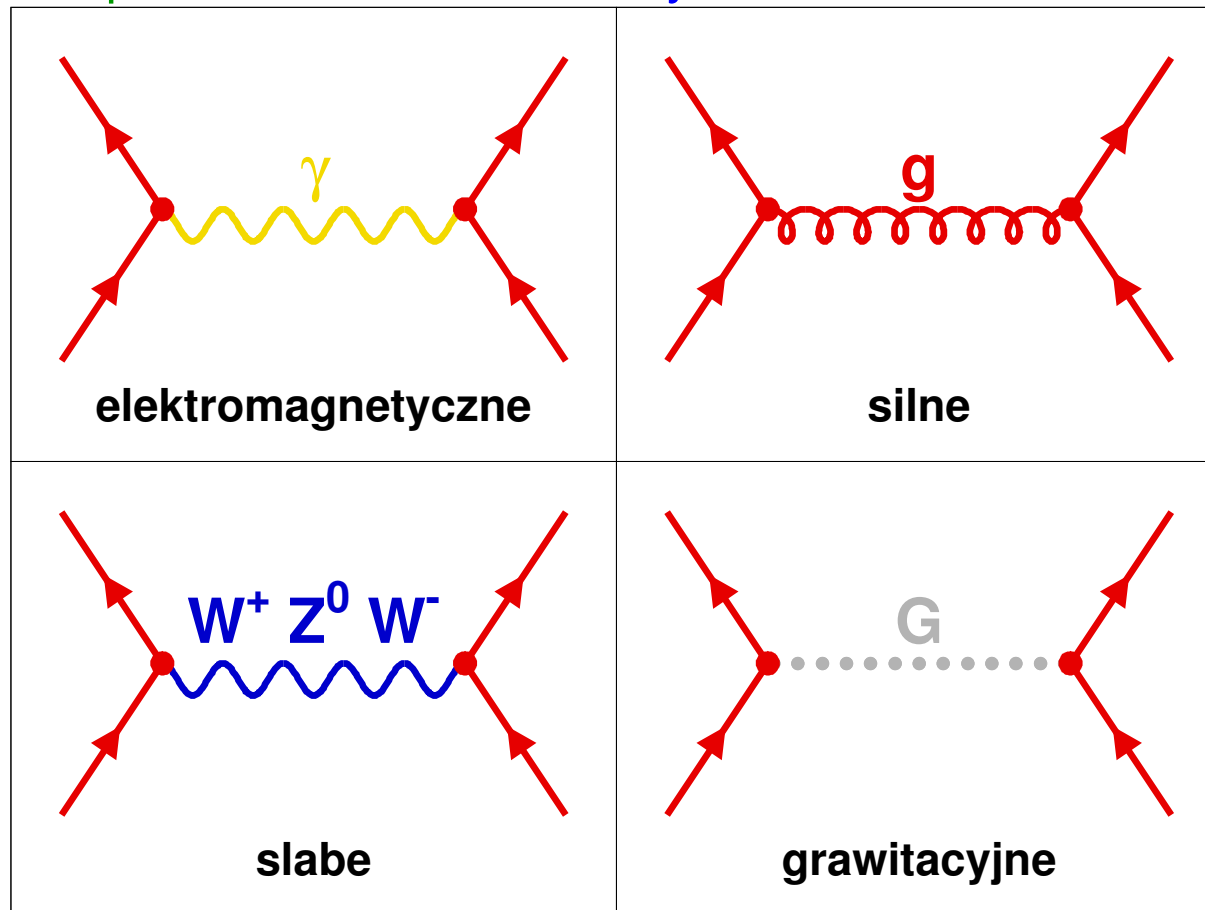
Opisujemy je jako wymianę cząstek - “nośników”



Model Standardowy

Oddziaływania

Wyróżniamy **cztery** podstawowe oddziaływania przenoszone przez odpowiednie nośniki, **bozony**:



Model Standardowy

Oddziaływania

Nośnik oddziaływania przenosi energię i/lub pęd między cząstkami będącymi źródłami tego oddziaływania

<i>oddziaływanie</i>	<i>źródło</i>	<i>nośnik</i>		<i>moc</i>
grawitacyjne	masa	grawiton	G	10^{-39}
elektromagnetyczne	ładunek	foton	γ	10^{-2}
silne	“kolor”	gluony	g	1
słabe	“ładunek słaby”	“bozony pośredniczące”	W^{\pm}, Z^0	10^{-7}

“moc” - przykładowe porównanie wielkości oddziaływań dla dwóch sąsiadujących protonów

Model Standardowy

Spin cząstek

Okazuje się, że wszystkie znane nam **cząstki fundamentalne** (leptony, kwarki, nośniki oddziaływań) mają własny (mierzony w ich układzie spoczynkowym) **moment pędu**

Klasyczna analogia: wirująca kulka, ale kwarki i leptony uważamy za punktowe !?...

Kwarki i leptony mają spin równy $\frac{1}{2}\hbar$.

Cząstki o spinie “**połówkowym**” ($\frac{1}{2}\hbar, \frac{3}{2}\hbar, \frac{5}{2}\hbar, \dots$) nazywamy **fermionami**.

Nośniki oddziaływań mają spin równy $1\hbar$ (grawiton $2\hbar$).

Cząstki o spinie “**całkowitym**” ($0, 1\hbar, 2\hbar, \dots$) nazywamy **bozonami**.

Własny moment pędu powoduje także, że cząstki mają **moment magnetyczny**

$$\vec{\mu}_s = g \frac{q}{2m} \vec{s} \quad g \approx 2$$

który powoduje, że ich oddziaływanie zależy od **orientacji spinu**...

Model Standardowy

Cząstka Higgsa

Ilościowy opis oddziaływań w Modelu Standardowym, oparty jest na założeniu pewnych szczególnych symetrii, tzw. **symetrii cechowania**, obowiązujących w świecie cząstek.

Symetria cechowania wymaga, żeby wszystkie nośniki oddziaływań były **bezmasowe**.
Tylko wtedy teoria daje w pełni konsistentne wyniki...

Ale z doświadczenia wiemy, że $M_W \approx 80.4 \text{ GeV}$, $M_Z \approx 91.2 \text{ GeV}$

Jedynym sposobem na wprowadzenie mas jest tzw. **spontaniczne łamanie symetrii**.

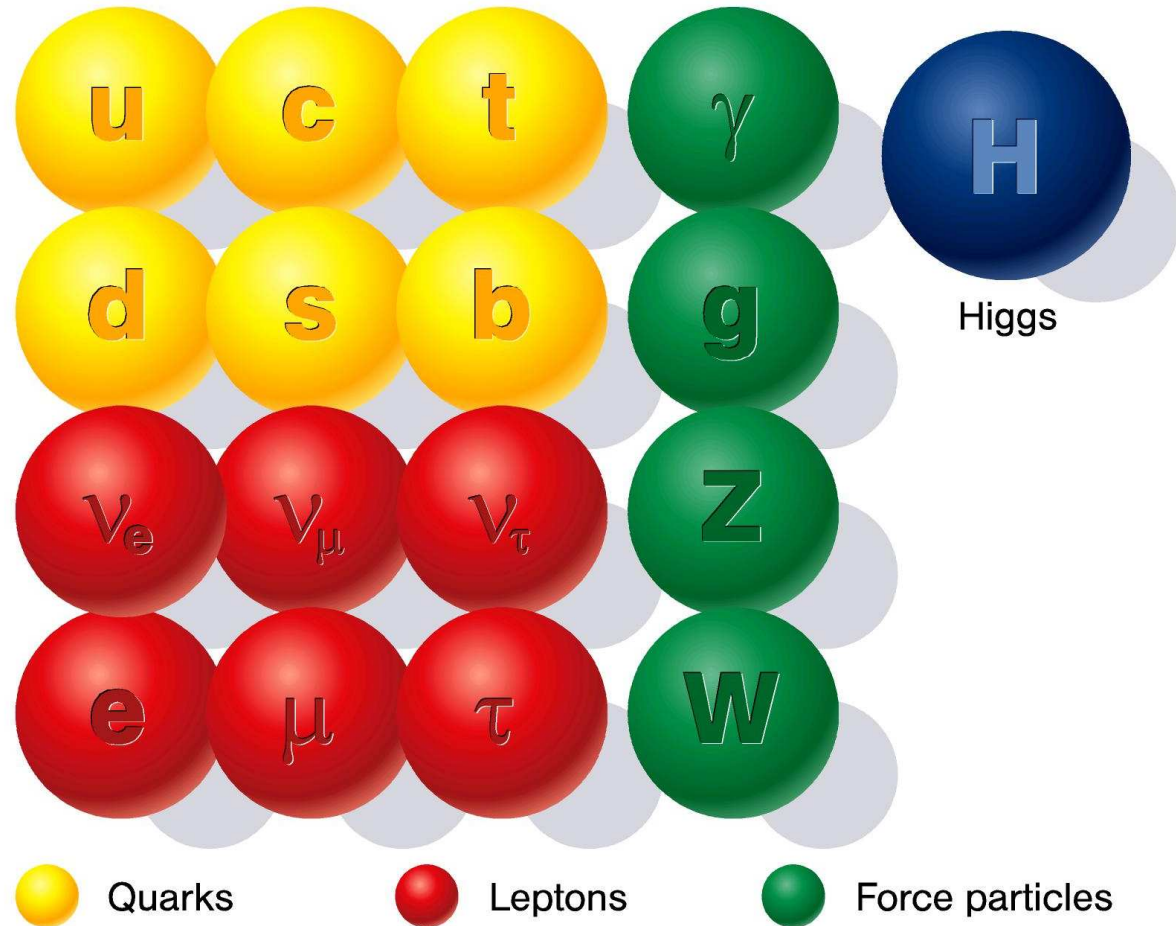
Cząstki uzyskują masę poprzez oddziaływanie z tzw. **polem Higgsa**.

Spontaniczne łamanie symetrii prowadzi też do istnienia **cząstki Higgsa** o bardzo szczególnych własnościach...

Model Standardowy

Podsumowanie

- cząstki materii
kwarki i leptony
(fermiony)
- nośniki oddziaływań
 γ, g, W^\pm i Z^0
(bozony)
- bozon Higgsa
konieczny dla
zapewnienia spójności
modelu



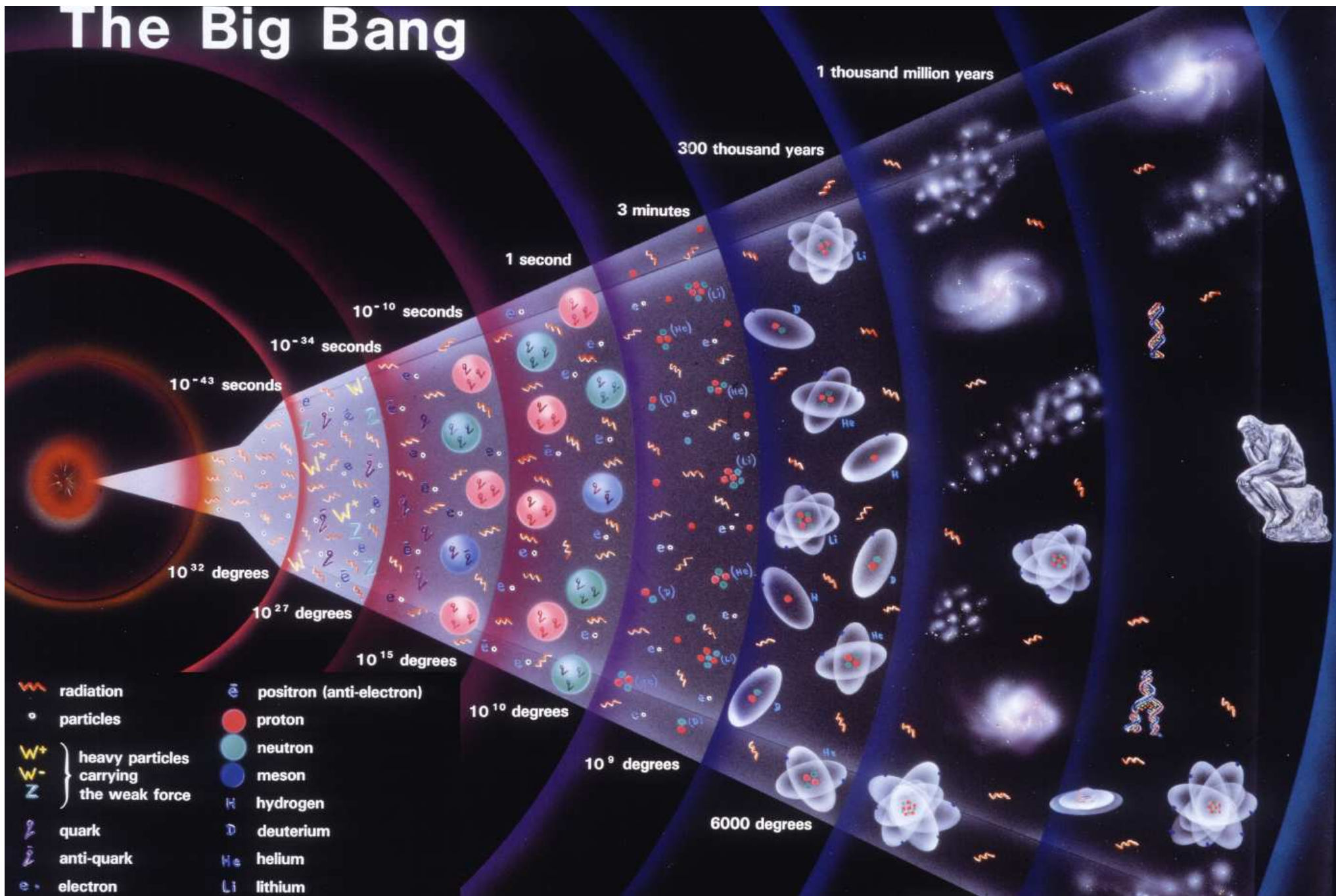
Pytania i problemy

Wszystkie
obecnie dostępne
dane zgodne są z
**Modelem
Standardowym**

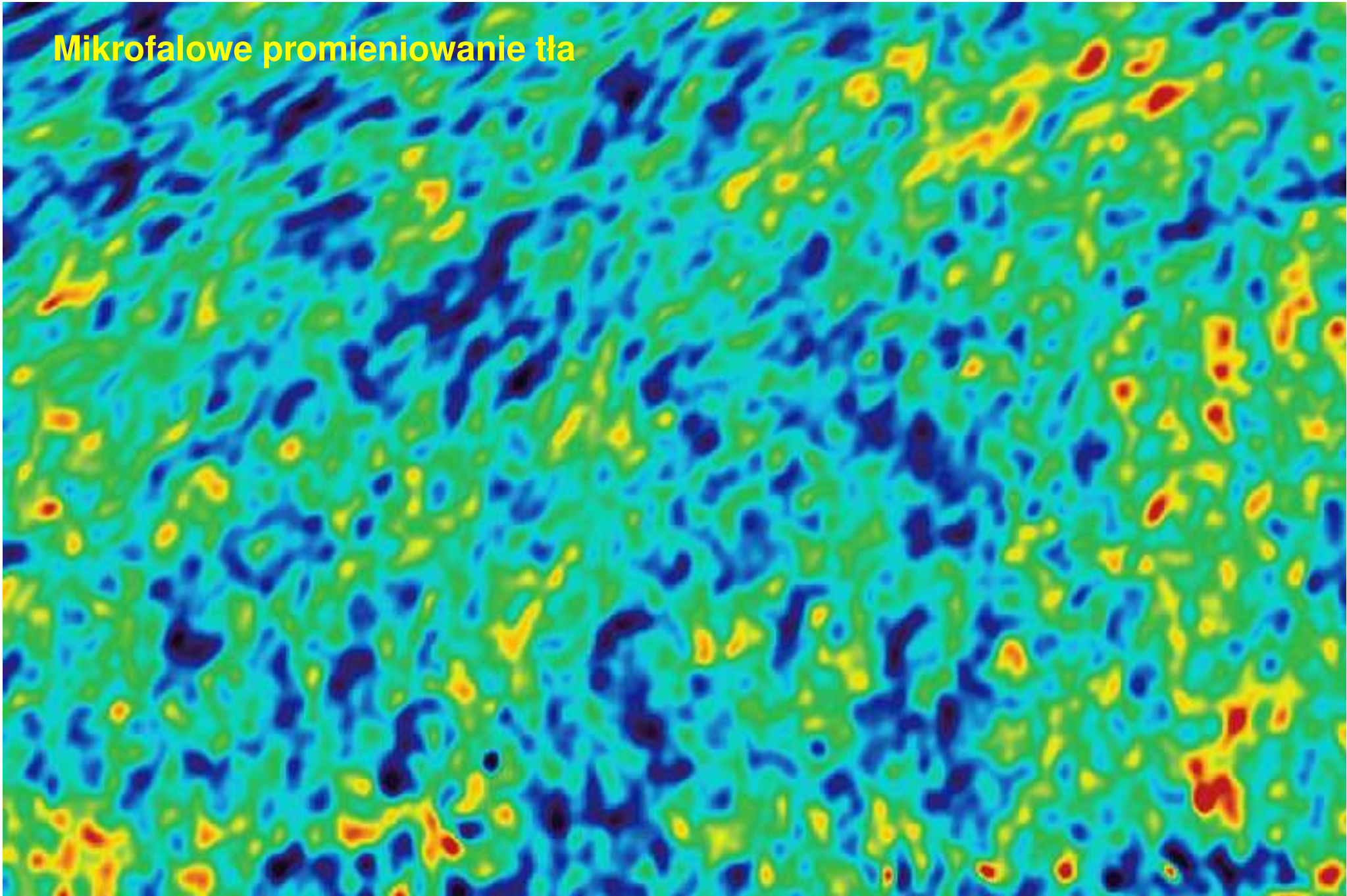
ale...

- Dlaczego **materia** \equiv **fermiony**, a **oddziaływania** \equiv **bozony** ?
- Dlaczego **3 pokolenia** kwarków i leptonów ?
- Dlaczego zachowane są **liczby leptonowe** i **barionowa**?
- Jaki jest powód **spontanicznego łamania symetrii** ?
- Gdzie jest **cząstka Higgsa** ?
- brak spójnego opisu **grawitacji**
- **dużo** wolnych **parametrów**, “ręcznie” dopasowywanych...
- ogromne różnice mas \Rightarrow “**problem hierarchii**”
rozbieżne poprawki do masy Higgsa
- **asymetria barionowa** we Wszechświecie (**łamanie CP**)
- **ciemna materia** ?...
- **ciemna energia** ???...

The Big Bang



Mikrofalowe promieniowanie tła



Pytania i problemy

Ciemna materia

Zestawienie pomiarów:

supernowych 1A

promieniowania tła (WMAP)

oddziaływań grawitacyjnych gromad galaktyk

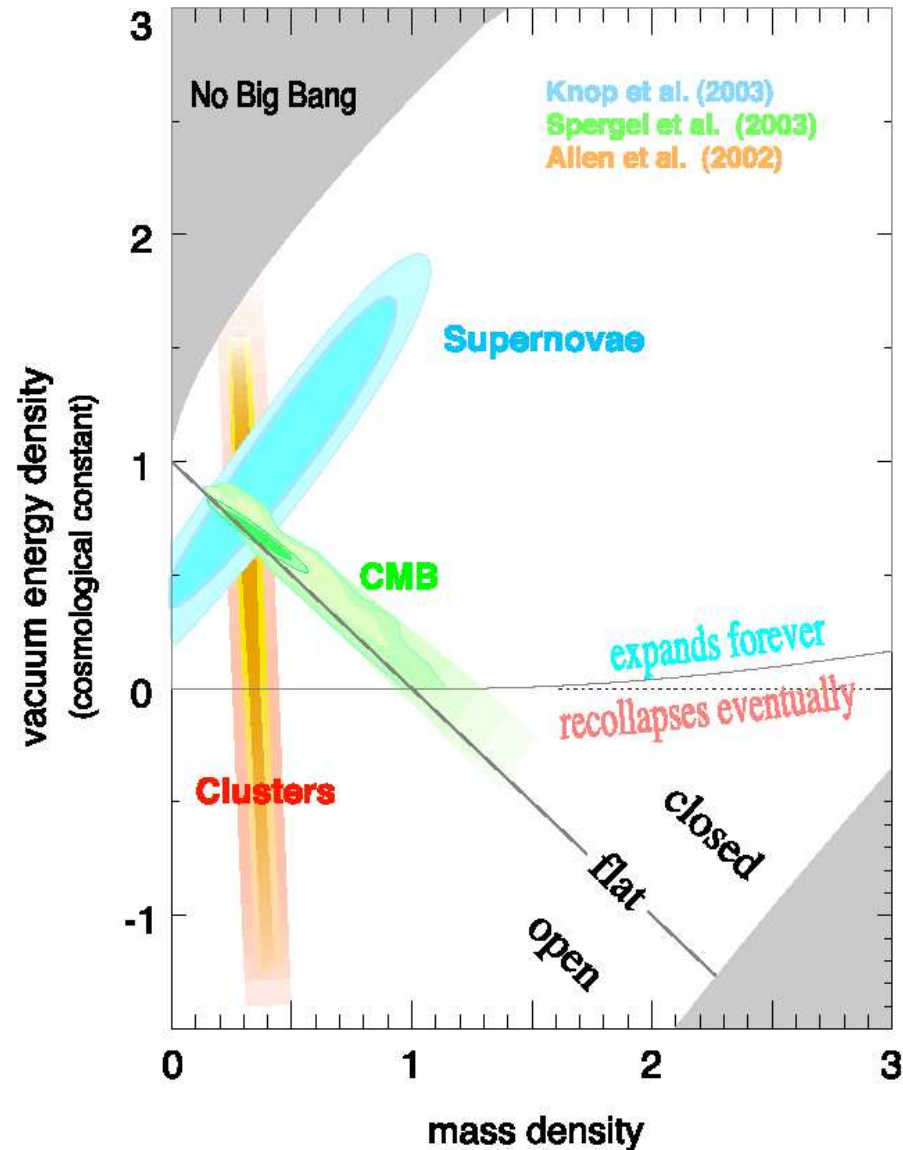
wskazują, że wszechświat jest **płaski** !

Całkowita gęstość materii i energii:

$$\Omega_{tot} = 1.02 \pm 0.02$$

w jednostkach gęstości krytycznej

Problem w tym, że potrafimy zidentyfikować jedynie ok. 5% masy/energii wszechświata !...



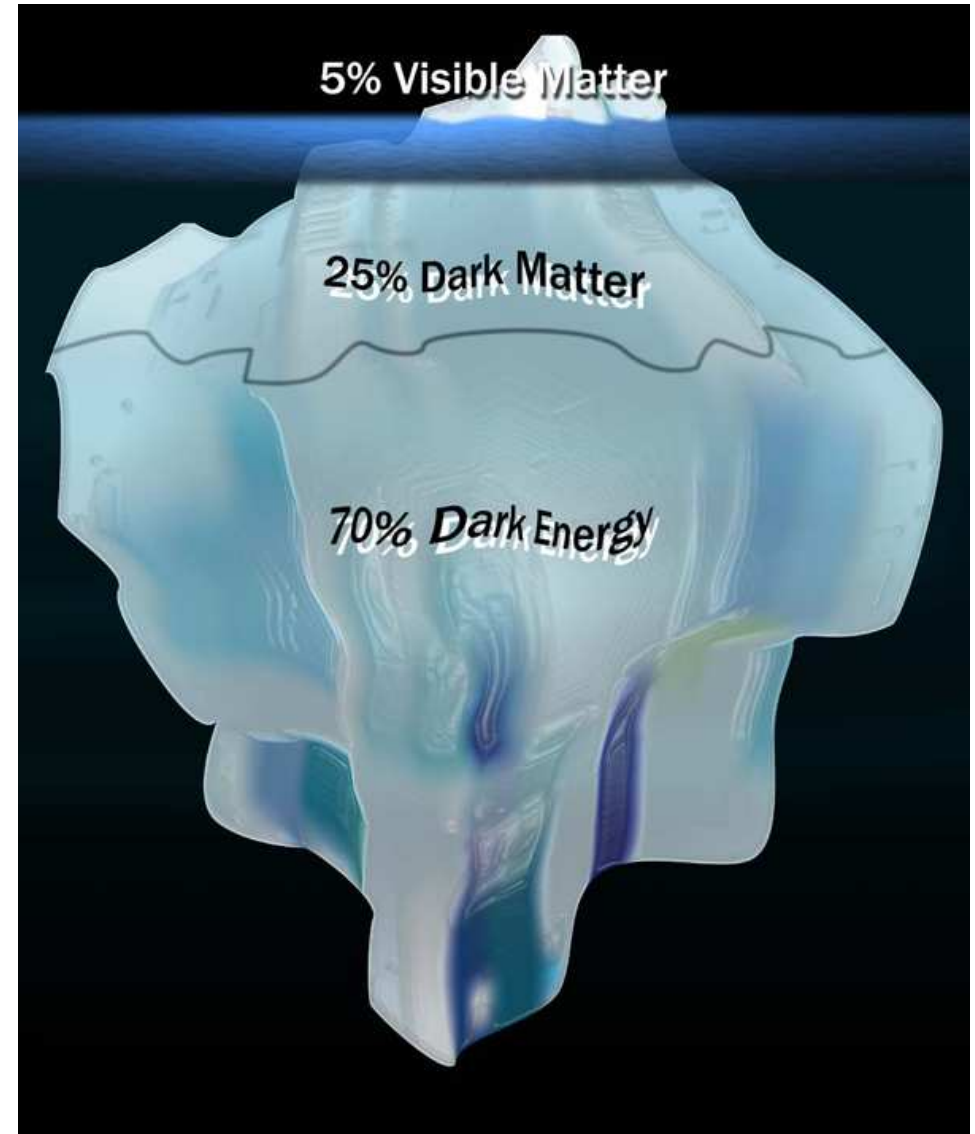
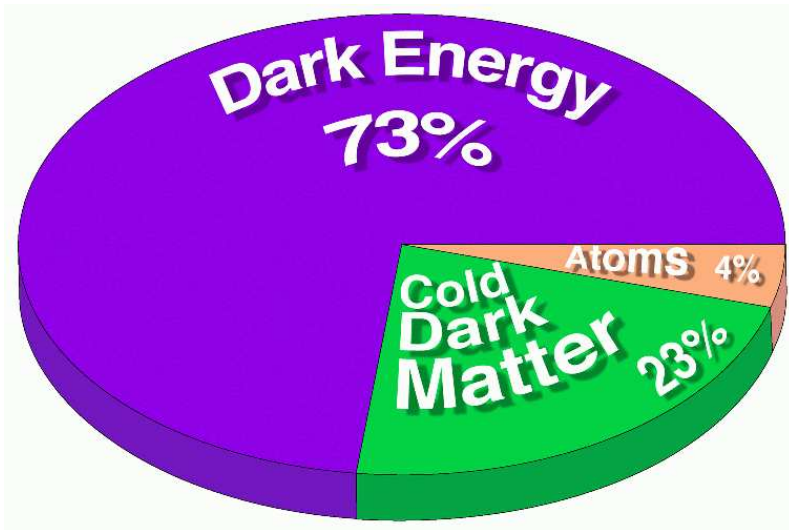
Pytania i problemy

Wyniki WMAP

Atomy (bariony) wypełniają tylko około **4%** Wszechświata.

23% stanowi tzw. **ciemna materia**, której natury na razie nie znamy (?)...

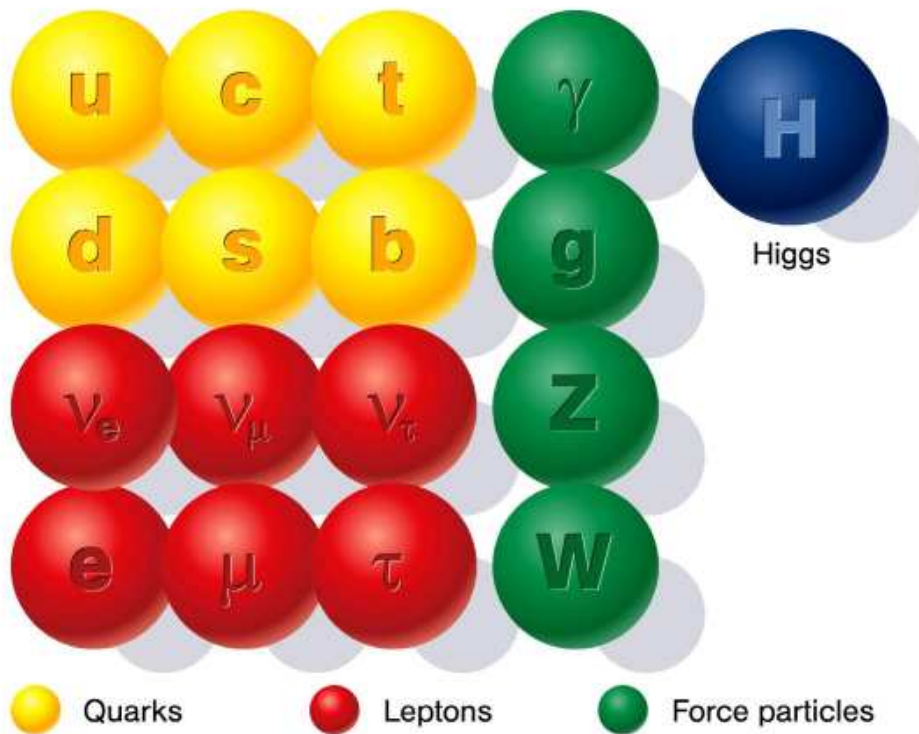
73% to “**ciemna energia**”, którą opiszemy poprzez **stałą kosmologiczną** (?)



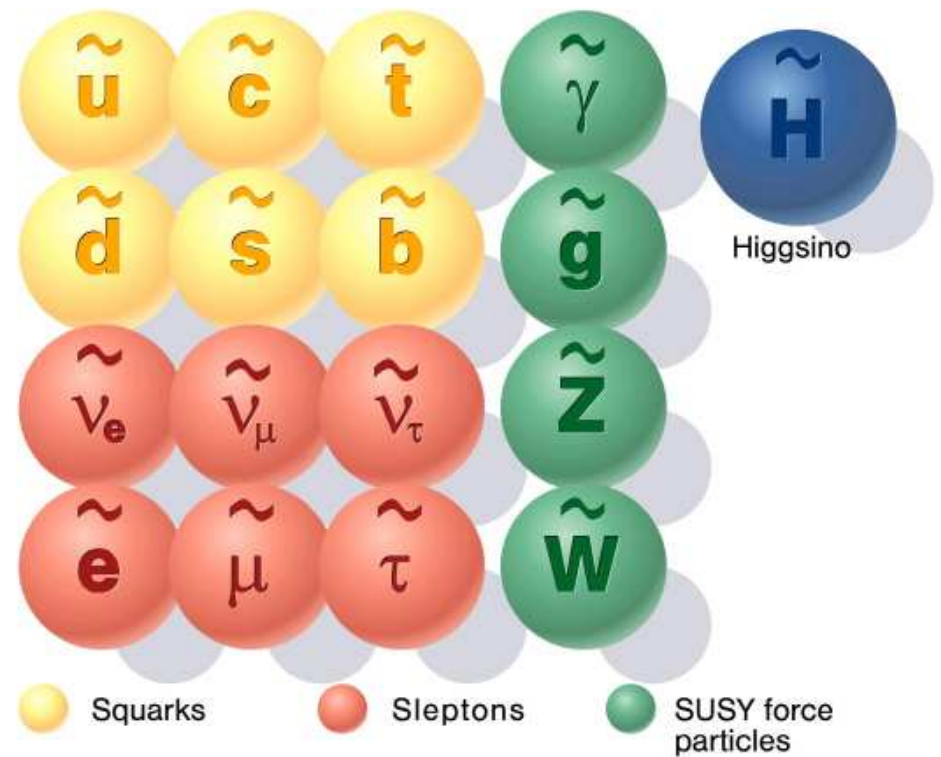
Rozszerzenia MS

Supersymetria (SUSY)

Standard particles



SUSY particles



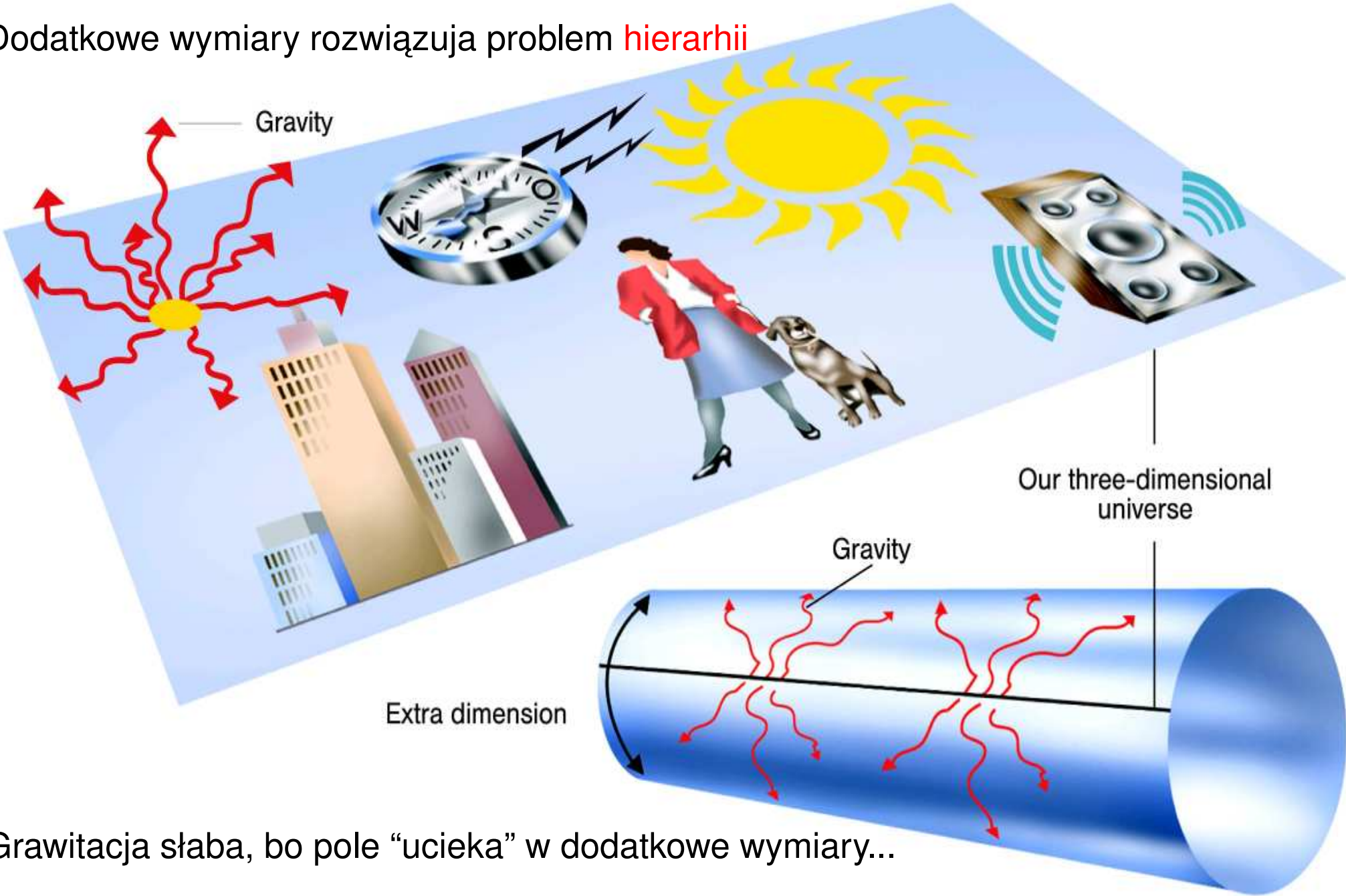
SUSY



Nie możemy wykluczyć istnienia skończonych
dodatkowych wymiarów o rozmiarach $R < 1 \text{ mm}$



Dodatkowe wymiary rozwiązują problem hierarii



Grawitacja słaba, bo pole "ucieka" w dodatkowe wymiary...

Cele eksperymentów w HEP

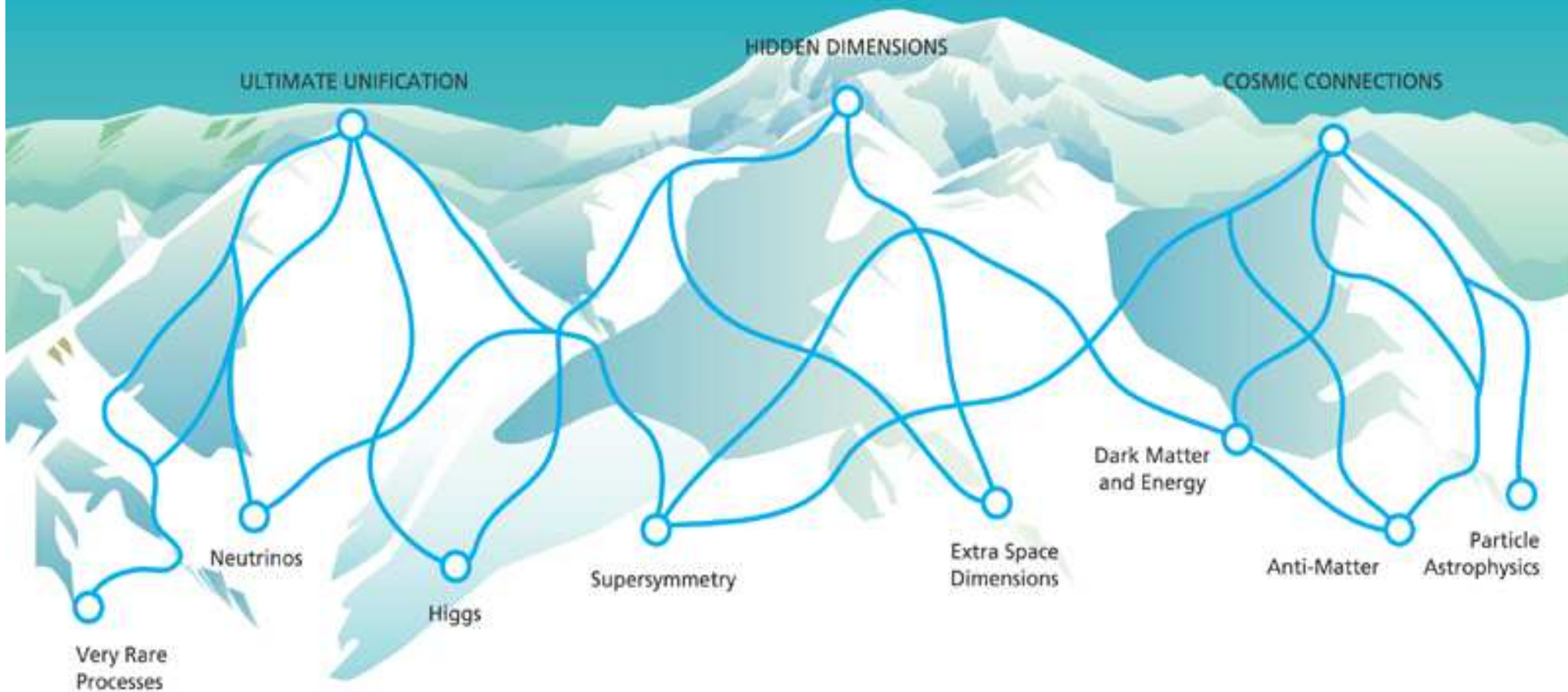
Poszukiwania "nowej fizyki"

- poszukiwania bozonu Higgsa
- kolejnych generacji "standardowych" cząstek
- cząstek supersymetrycznych
- podstruktury kwarków i/lub leptonów
- ciemnej materii
- nowych oddziaływań
- naruszenia zasad zachowania

Pomiar parametrów i weryfikacja MS

- badanie własności cząstek
 - ⇒ mas np. W^\pm , Z^0 , t , ν ...
 - ⇒ sprzężeń
 - ⇒ kanałów rozpadów
- pomiar mieszania kwarków i leptonów (neutrino)
- pomiar łamania symetrii CP
- pomiar partonowej (kwarkowo-gluonowej) i spinowej struktury cząstek protonu, neutronu, fotonu...

Różne podejścia eksperymentalne do fundamentalnych problemów fizyki cząstek

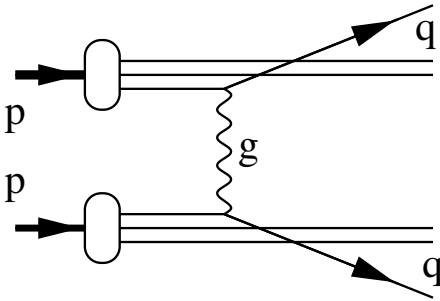


Metody eksperymentalne

Podstawową metodą fizyki cząstek elementarnych jest badanie procesów zachodzących w zderzeniach cząstek.

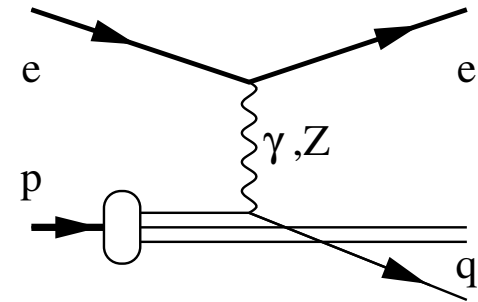
Zderzenia wiązek przeciwbieżnych

- proton-(anty)proton



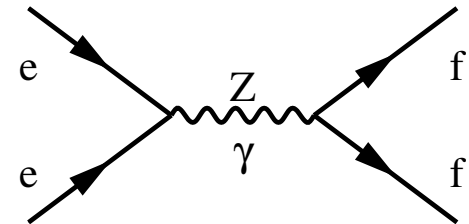
Badanie oddziaływań silnych.
Poszukiwania cząstki Higgsa
i cząstek supersymetrycznych.

- elektron-proton



Badanie struktury protonu.
Poszukiwanie nowych oddziaływań.

- elektron-pozyton



Badanie oddziaływań elektroslabych.
Poszukiwanie nowych cząstek.
Pomiary precyzyjne

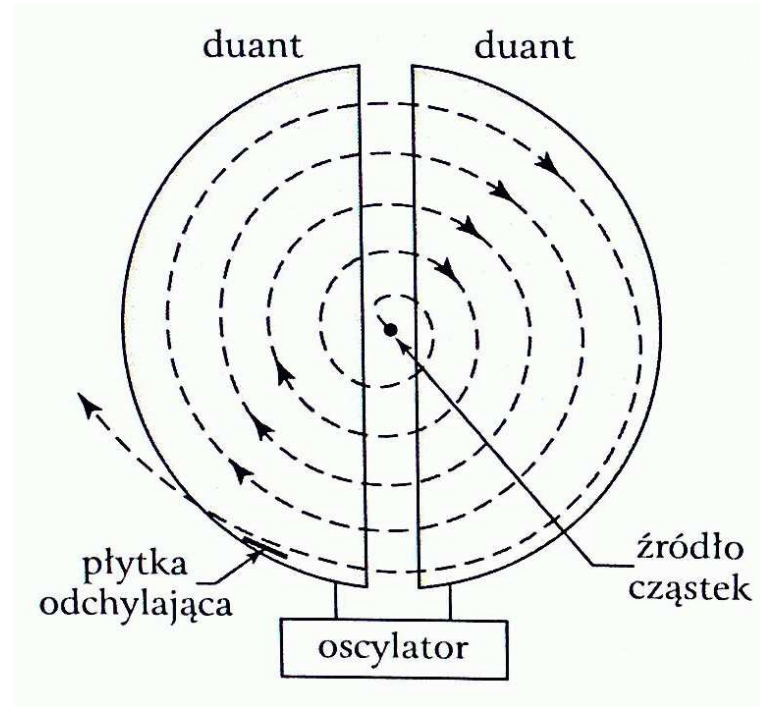
Metody eksperymentalne

Początki

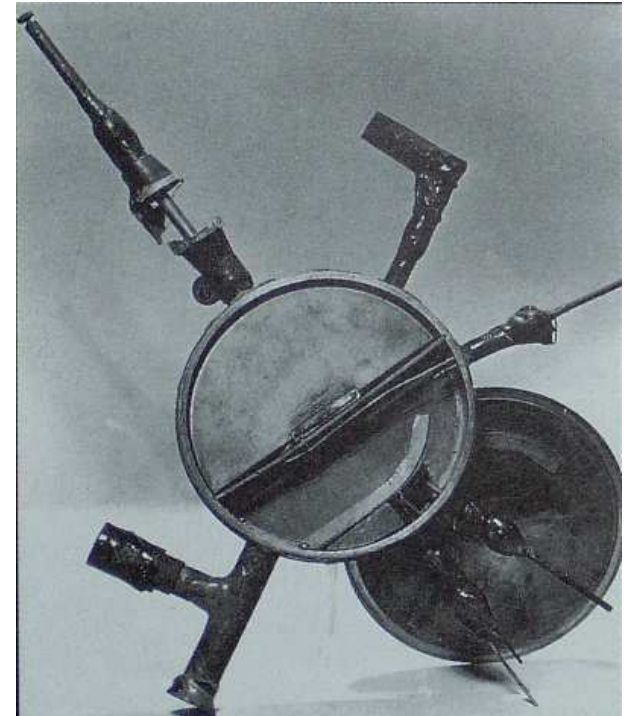
Ernest Lawrence



Schemat



Pierwszy cyklotron (1931)



LEP i LHC, CERN, Genewa 27 km obwodu



Metody eksperymentalne

Zderzenia wiązek z tarczami

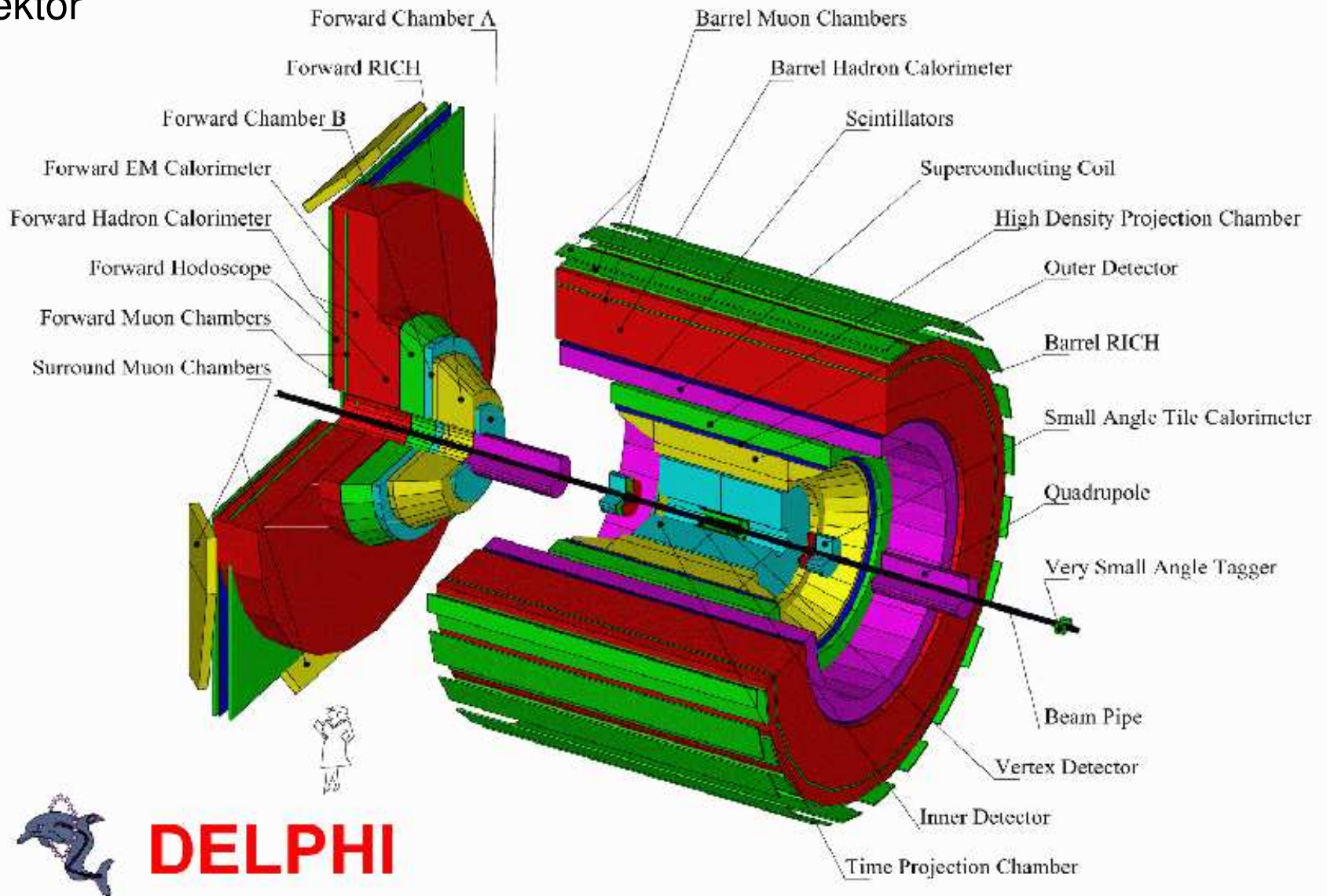
- wiązki neutrinowe
Badanie oddziaływań słabych.
Badanie struktury nukleonów.
Oscylacje neutrin.
- wiązki leptonowe (e, μ)
Badanie (także spinowej) struktury nukleonów.
- wiązki hadronowe i jądrowe
Badanie własności cząstek.
Badanie oddziaływań silnych.
Poszukiwanie plazmy kwarkowo-gluonowej

Eksperymenty nieakceleratorowe

- Badania promieniowania kosmicznego
- Badania neutrin słonecznych atmosferycznych i reaktorowych
Oscylacje neutrin - pomiar mas i kątów mieszania.
- Poszukiwanie WIMP
- Pomiary astrofizyczne

Eksperymenty HEP

Typowy detektor



Eksperymenty HEP

Kolejne etapy eksperymentu

równoległe projekt i budowa akceleratora

- Pomysł, projekt wstępny
- Symulacja możliwych do zmierzenia procesów fizycznych
- Propozycja odpowiednich technik pomiarowych
- Optymalizacja projektu w oparciu o symulacje działania detektora
- Testy prototypów
- Pełna symulacja eksperymentu (proces fizyczny + detektor)
- Projekt ostateczny
- Budowa detektora
- Przygotowanie oprogramowania do kontroli eksperymentu, zbierania i rekonstrukcji danych.
- Zbieranie danych
- Analiza danych prowadząca do uzyskania wyników fizycznych
- Weryfikacja różnych modeli teoretycznych
- Ciągłe udoskonalanie programów i aparatury...

Eksperymenty HEP

Kolejne eksperymenty są coraz **większe** i coraz bardziej **złożone**, wydłuża się **czas** ich przygotowania i prowadzenia, uczestniczą coraz **liczniejsze** grupy fizyków...

Z drugiej strony to **bogactw** i **różnorodność** problemów na każdym etapie:

- Projektowanie, konstrukcja i testowanie detektorów
- Projektowanie, oprogramowanie i testowanie elektroniki systemu zbierania danych
- Systemy monitorowania działania detektora
- Rachunki teoretyczne i programy symulacji procesów fizycznych
- Programy symulacji działania detektora i rekonstrukcji przypadków
- Analiza zebranych danych fizycznych, weryfikacja modeli

Każdy znajdzie dla siebie coś ciekawego !...

Warszawska grupa HEP

Grupa około 40 fizyków (także inżynierowie i technicy) uczestniczących w eksperymentach fizyki wysokich energii z dwóch bardzo ściśle współpracujących instytucji:

- IFD Zakład Cząstek i Oddziaływań Fundamentalnych
- IPJ im. A.Sołtana - Zakład VI

Dodatkowo prowadzona jest bliska współpraca z

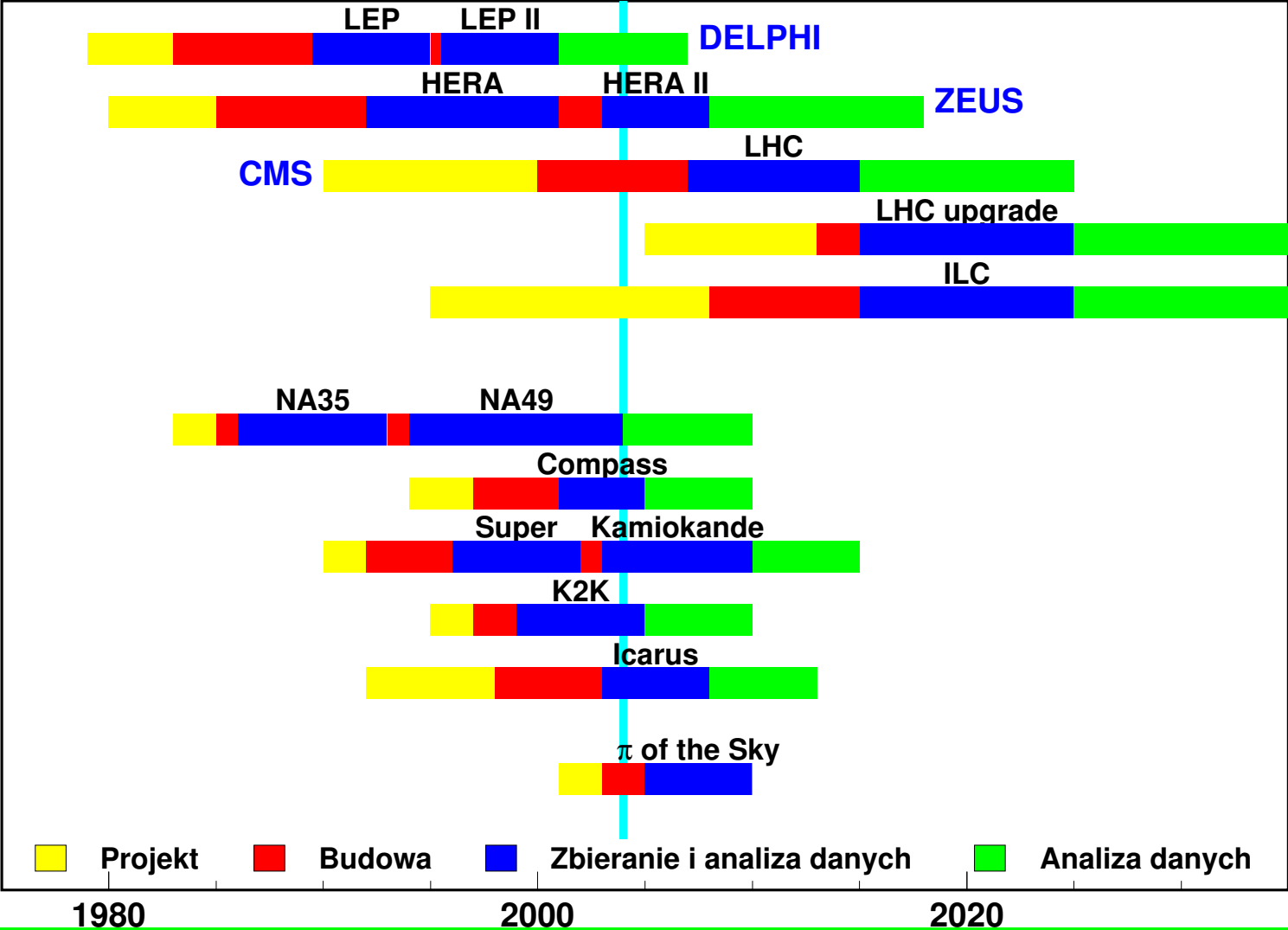
- Politechniką Warszawską (elektronicy)
- Zespołami z innych ośrodków (Kraków, Łódź,...)
- Fizykami teoretykami z IFT i IPJ

Duże międzynarodowe eksperymenty to

- współpraca z ośrodkami międzynarodowymi CERN, DESY, KEK ...
- stałe robocze kontakty z fizykami na całym świecie
- liczne konferencje, sympozja i spotkania robocze

Warszawska grupa HEP

Główne eksperymenty z udziałem fizyków z Warszawy



Eksperyment DELPHI

Eksperyment DELPHI

Akcelerator LEP

Największy uruchomiony do tej pory akcelerator wiązek przeciwbieżnych (e^+e^-).

LEP I 1989-1994

- energie wiązek od 45 GeV
- ⇒ Pomiar masy i szerokości Z^0
- ⇒ Liczba pokoleń cząstek
- ⇒ Pomiar sprzężeń MS
- ⇒ Testy spójności MS

LEP II 1995-2000

- energie wiązek do 104 GeV
- ⇒ Pomiar masy W^\pm
- ⇒ Poszukiwania bozonu Higgsa
- ⇒ Poszukiwania cząstek SUSY
- ⇒ Dalsze testy MS

Cztery eksperymenty przy akceleratorze LEP: ALEPH, **DELPHI**, L3 i OPAL.

Grupa warszawska DELPHI ~10 osób z Warszawy (IFD+IPJ).

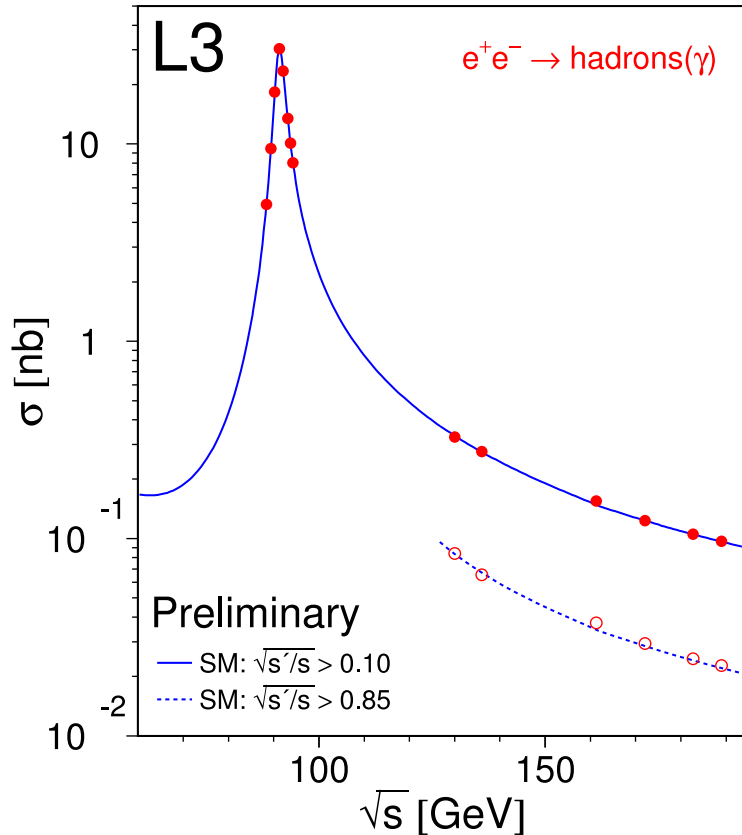
Wkład w budowę detektora: konstrukcja, we współpracy z innymi ośrodkami, kalorymetru elektromagnetycznego HPC.

Eksperyment DELPHI

Testy Modelu Standardowego

Wszystkie pomiary w **znakomitej zgodności** z przewidywaniami MS
(model ma tylko 3 wolne parametry + masy cząstek !)

Przekrój czynny w funkcji energii:



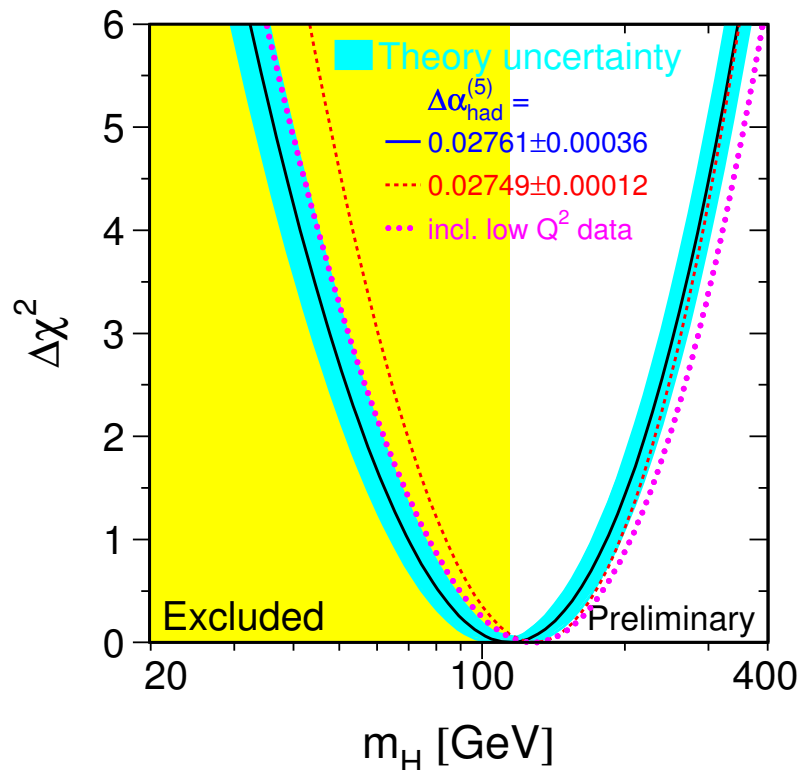
Porównanie pomiarów z przewidywaniami:

$\Delta\alpha_{\text{had}}^{(5)}(m_Z)$	0.02761 ± 0.00036	0.02769
m_Z [GeV]	91.1875 ± 0.0021	91.1874
Γ_Z [GeV]	2.4952 ± 0.0023	2.4966
σ_{had}^0 [nb]	41.540 ± 0.037	41.481
R_l	20.767 ± 0.025	20.739
$A_{\text{fb}}^{0,l}$	0.01714 ± 0.00095	0.01650
$A_l(P_\tau)$	0.1465 ± 0.0032	0.1483
R_b	0.21630 ± 0.00066	0.21562
R_c	0.1723 ± 0.0031	0.1723
$A_{\text{fb}}^{0,b}$	0.0998 ± 0.0017	0.1040
$A_{\text{fb}}^{0,c}$	0.0706 ± 0.0035	0.0744
A_b	0.923 ± 0.020	0.935
A_c	0.670 ± 0.026	0.668
$A_l(\text{SLD})$	0.1513 ± 0.0021	0.1483
$\sin^2\theta_{\text{eff}}^{\text{lept}}(Q_{\text{fb}})$	0.2324 ± 0.0012	0.2314
m_W [GeV]	80.425 ± 0.034	80.394
Γ_W [GeV]	2.133 ± 0.069	2.093
m_t [GeV]	178.0 ± 4.3	178.2

Eksperyment DELPHI

Poszukiwanie Higgosa

Dopasowanie masy Higgosa do pomiarów w LEP, SLC i Tevatronie:



Z bezpośrednich poszukiwań $M > 114.4$ GeV

Grupa warszawska

- poszukiwania Higgosa także w rozszerzeniach MS
- Oddziaływania gamma-gamma
- Rozpad $b \rightarrow s g$
- Korelacje pomiędzy hadronami

Bardzo owocna współpraca dobiega już końca...

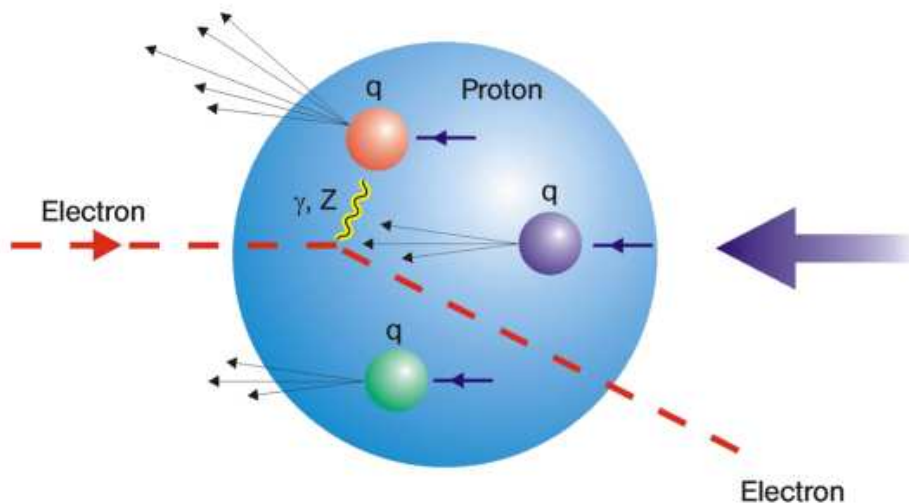
Eksperyment ZEUS

Eksperyment ZEUS

Rozpraszanie $e^\pm p$

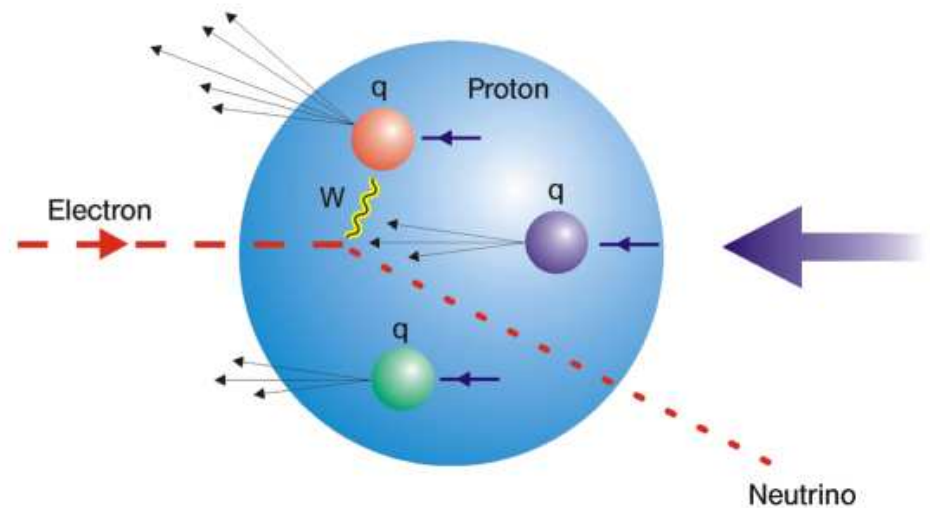
NC DIS

wymiana “prądów neutralnych” (γ, Z^0)



CC DIS

wymiana “prądów naładowanych” (W^\pm)



⇒ próbkowanie struktury protonu i testowanie opisu oddziaływań elektroslabych

DESY, Hamburg



Eksperyment ZEUS

Akcelerator HERA

Zbudowany i uruchomiony w roku 1992 w ośrodku DESY w Hamburgu. Obwód pierścienia akceleratora ok. 6.3 km.



Dostępna energia w CMS: $\sqrt{s} \sim 300$ GeV
⇒ badanie struktury protonu

$$\Delta x \sim 10^{-3} \text{ fm} = 10^{-16} \text{ cm}$$

promień protonu ~ 1 fm

Współpraca ZEUS

10 osób z Warszawy (IFD+IPJ).

Wkład w przygotowanie eksperymentu - projekt i budowa dwóch dużych części składowych detektora: tzw. kalorymetru uzupełniającego BAC i tzw. ściany VETO.

Analizy prowadzone w Warszawie:

- Produkcja mezonów J/ψ
- Poszukiwanie leptokwarków
- Poszukiwanie nowych oddziaływań
- Procesy dyfrakcyjne
- Asymetrie azymutalne
- Promieniowanie kosmiczne

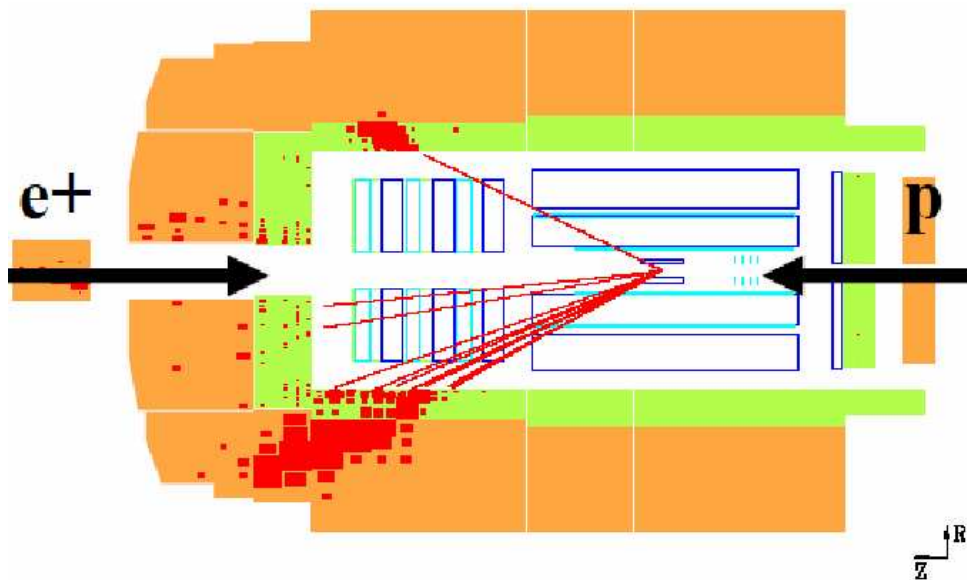
Detektor ZEUS



Eksperyment ZEUS

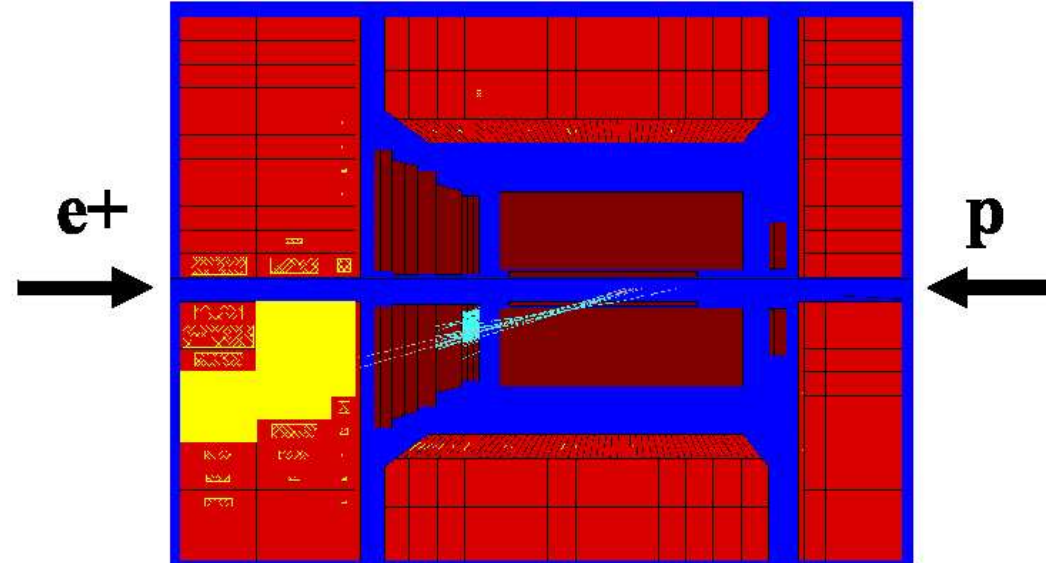
Rozpraszanie głębokonieelastyczne

NC Event



mierzony elektron i jet hadronowy

CC Event



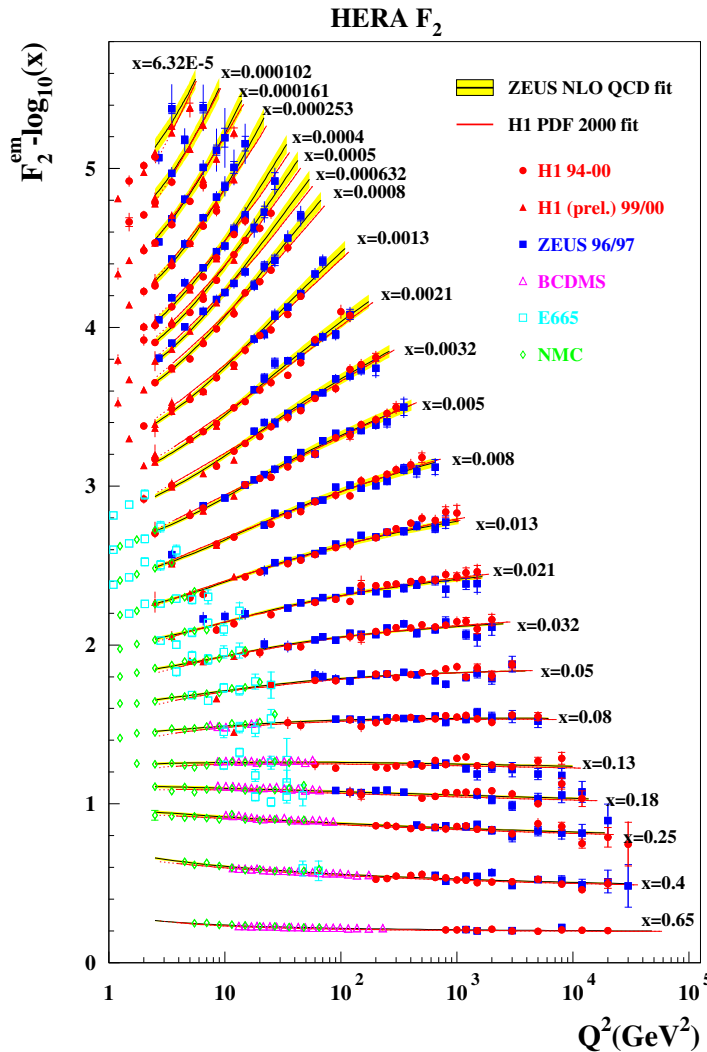
mierzony tylko stan hadronowy
pęd i energia neutrina rekonstruowane
z zasad zachowania

Eksperyment ZEUS

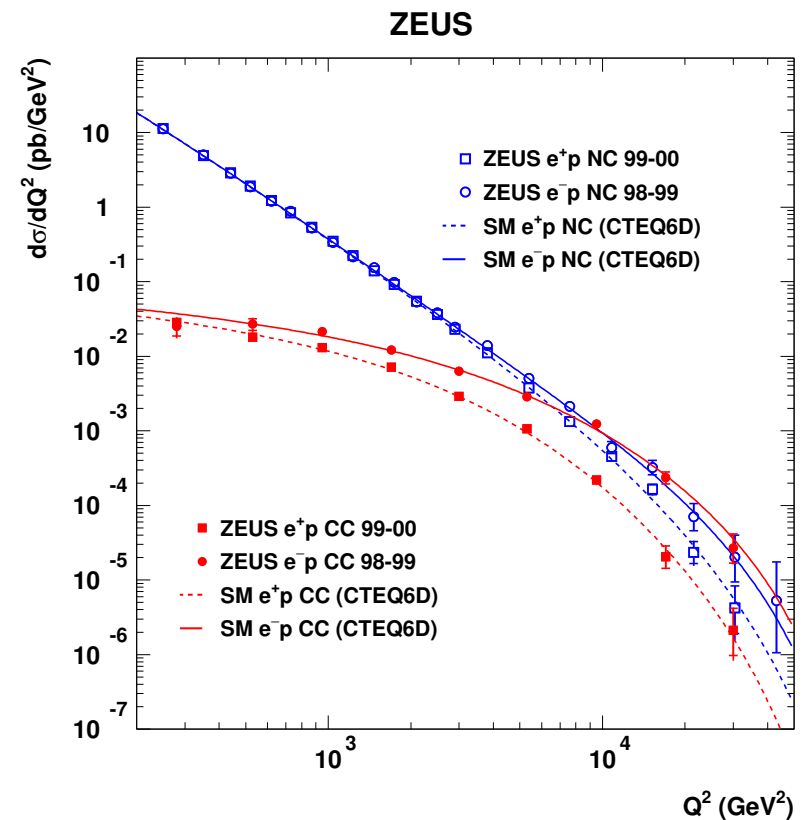
HERA-I: 1994-2000 Eksperymenty H1 i ZEUS zebrały po ok. 120 pb^{-1} danych $e^\pm p$

Pomiary tzw. funkcji struktury F_2 protonu \Rightarrow

Rozkłady kwarków bardzo dobrze opisane przez QCD



Unifikacja oddziaływań elektroslabych w obszarze dużych przekazów energii



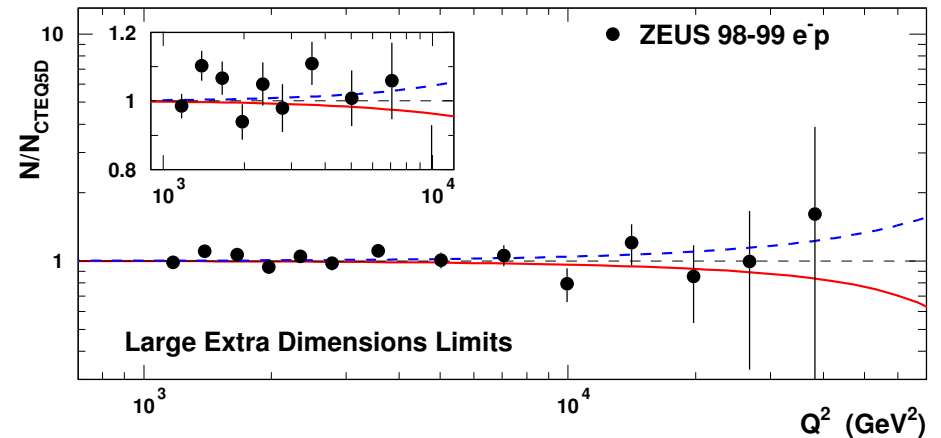
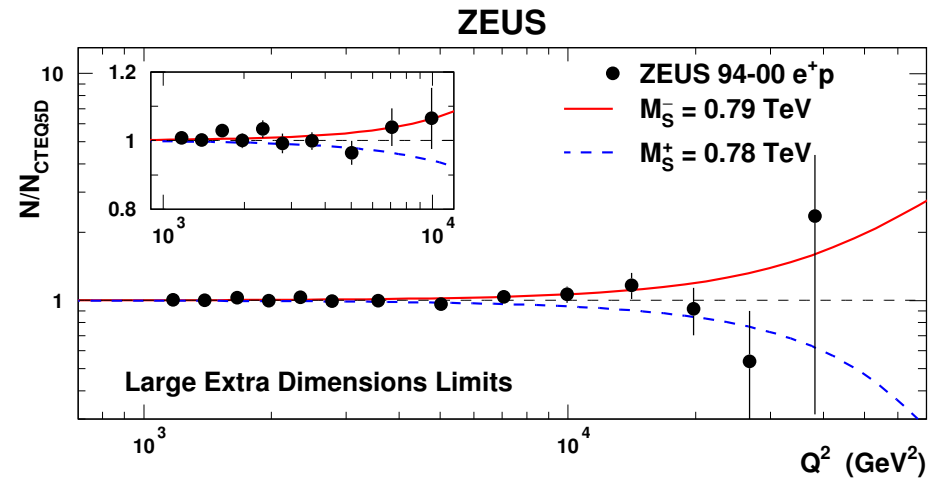
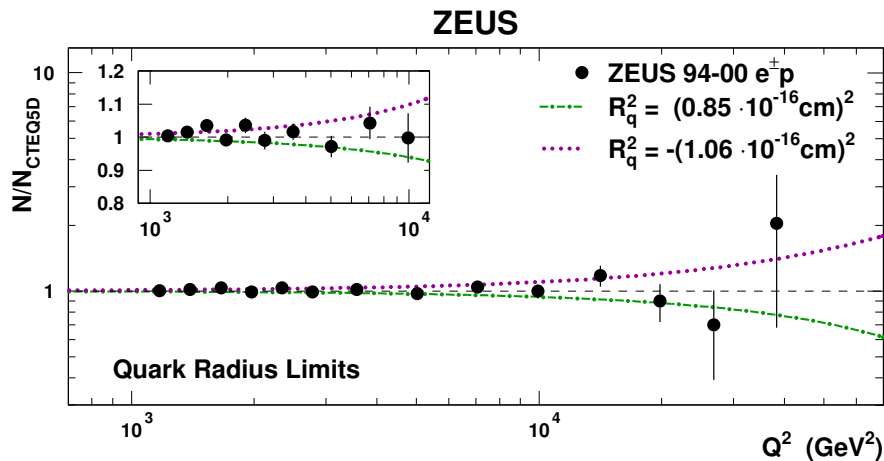
Eksperyment ZEUS

Bardzo dobra zgodność z SM

⇒ ograniczenia na “nową fizykę”

Wyniki uzyskane w ramach grupy:

- ograniczenia na skale masowe dodatkowych wymiarów ⇒
- ograniczenia na promień kwarku

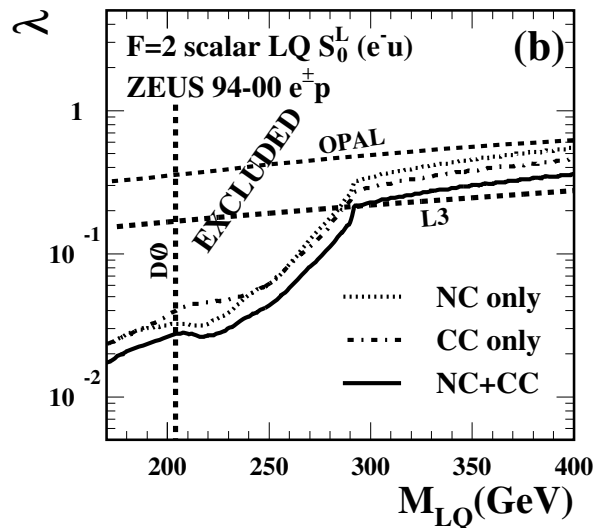
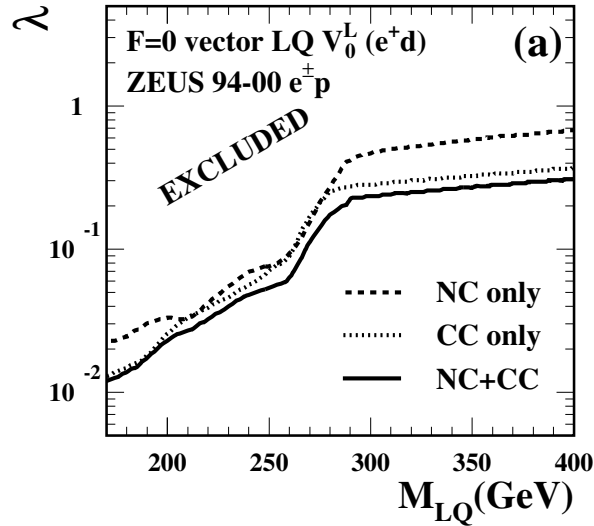


$$R_q < 0.85 \cdot 10^{-16} \text{ cm}$$

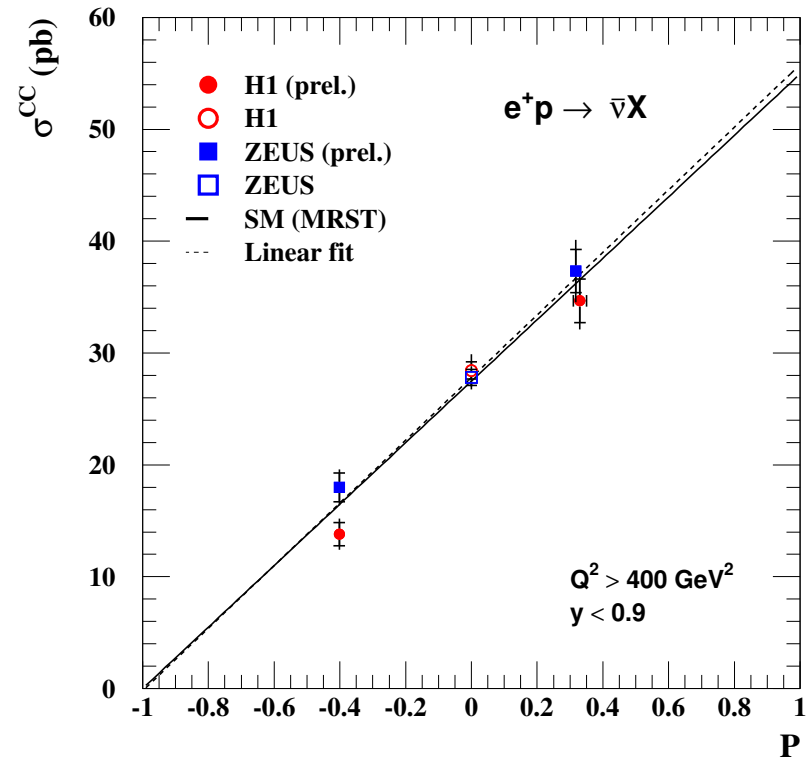
Eksperyment ZEUS

- Leptokwarki

Po modernizacji akceleratora HERA dane ze zderzeń spolaryzowanych e^\pm



HERA II

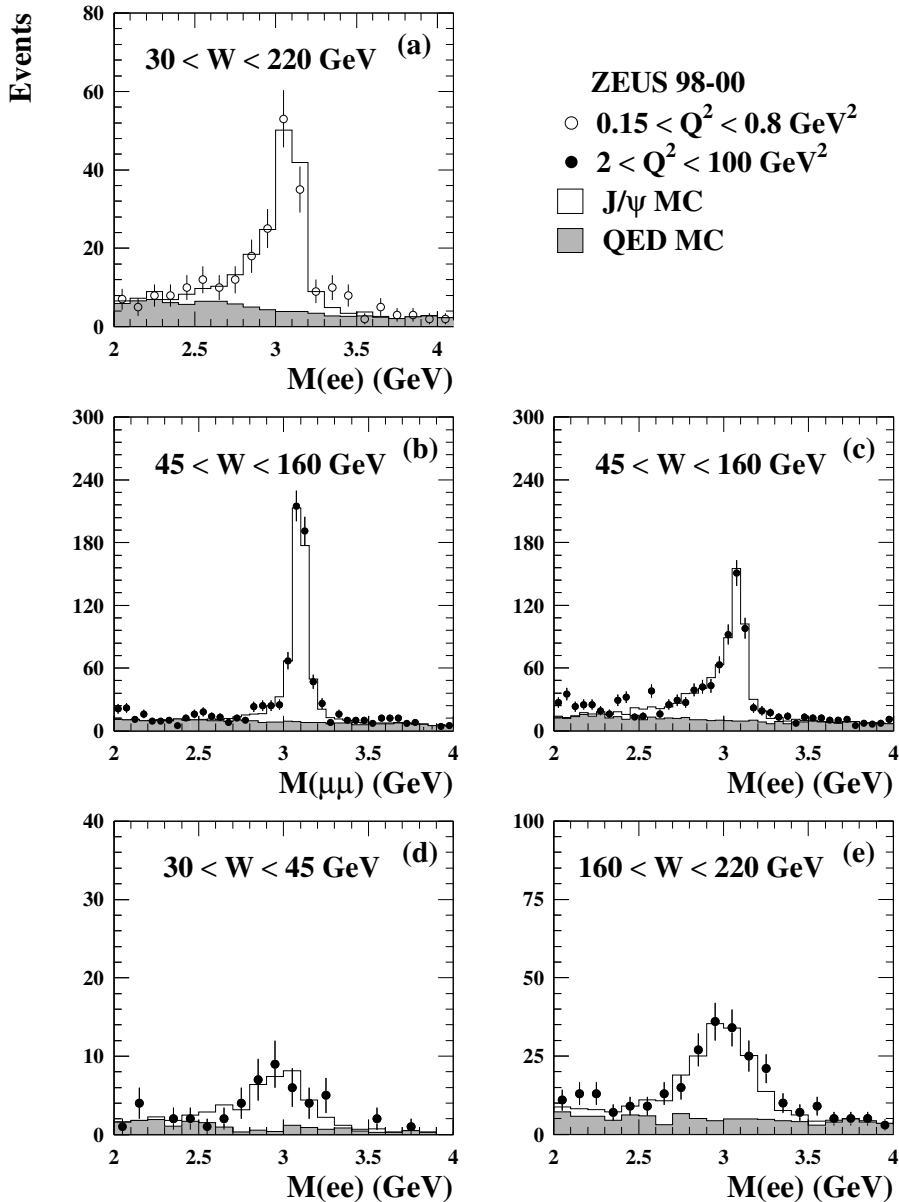


⇒ nowe i bardziej precyzyjne testy MS

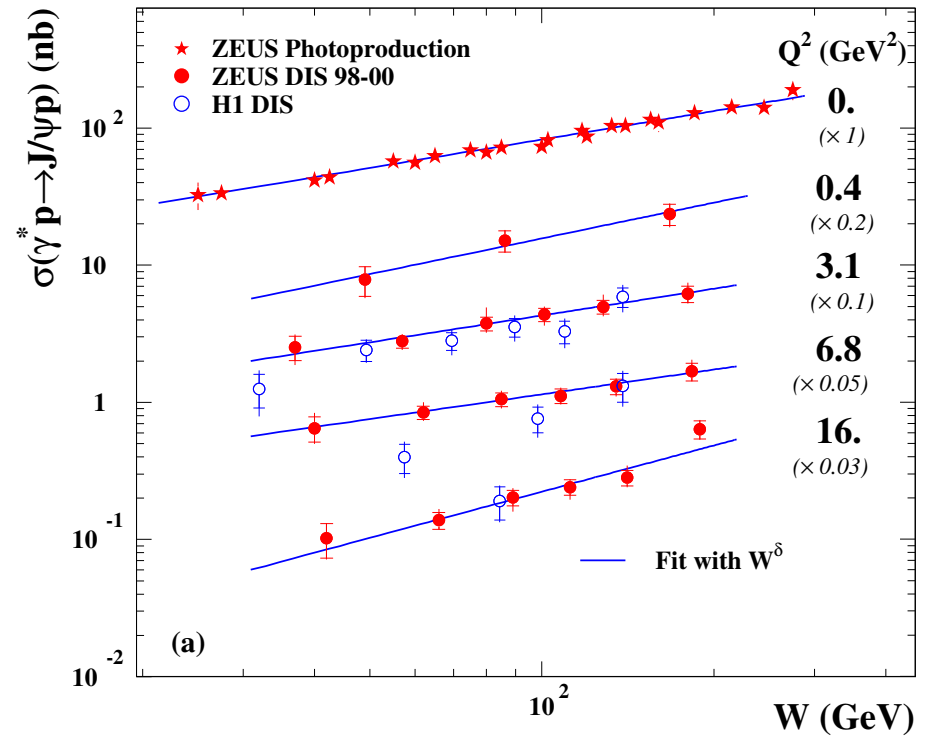
R. Ciesielski:

Badanie elastycznej produkcji J/Ψ

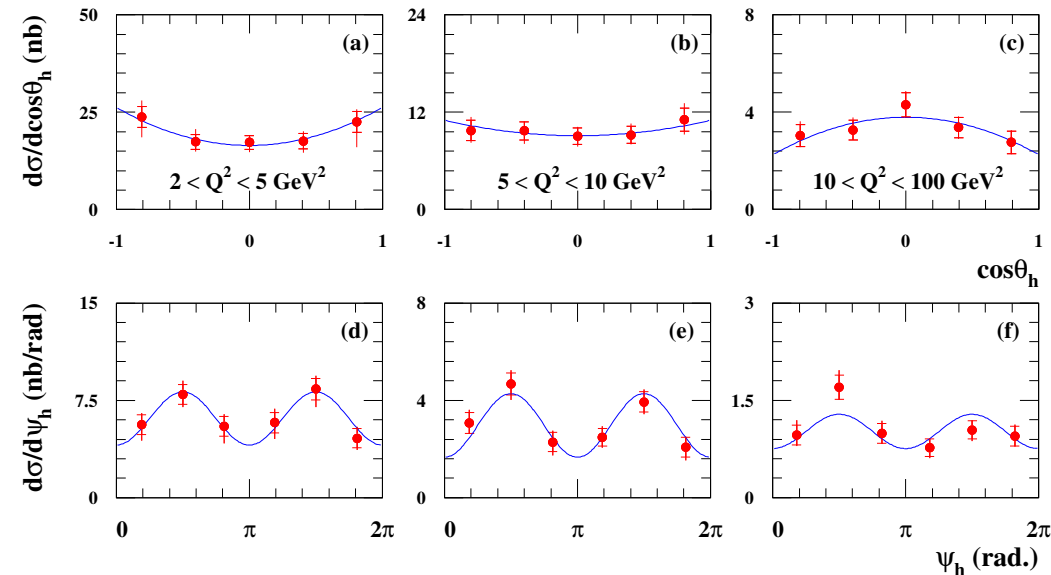
Rozkład masy niezmienniczej:



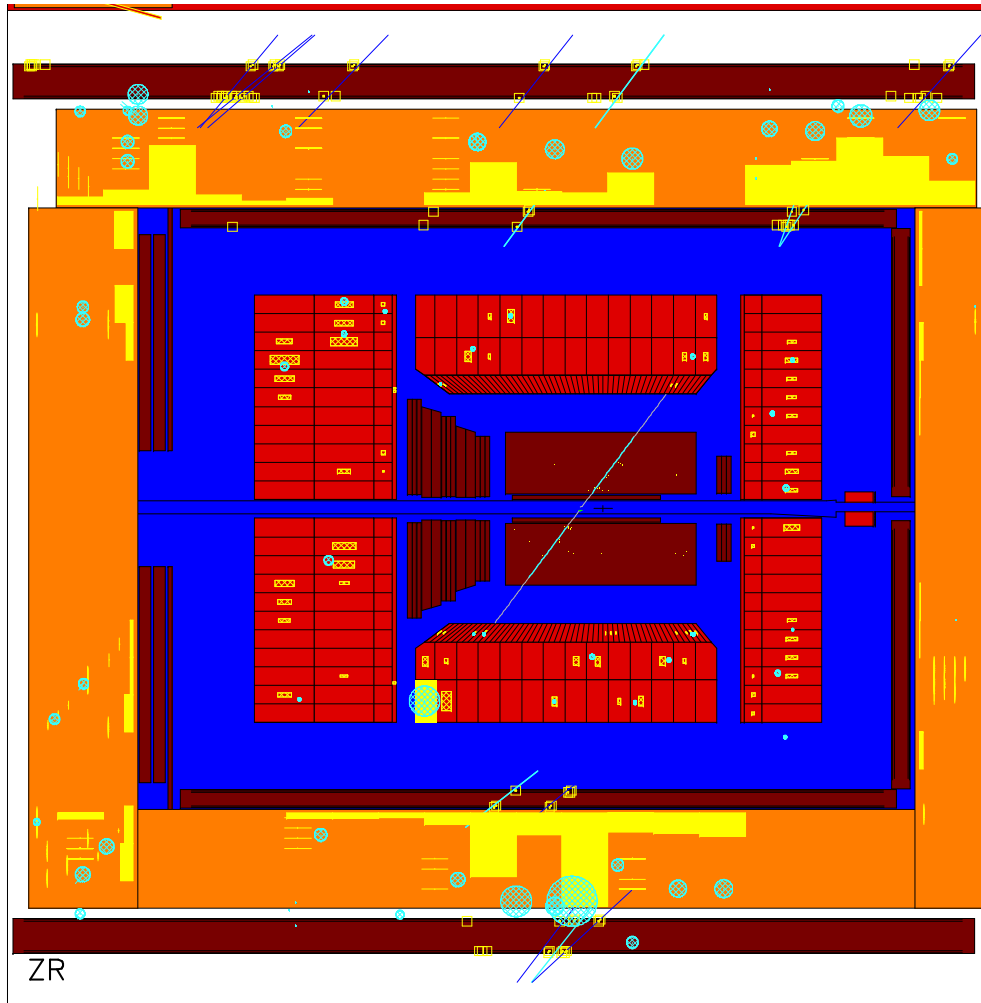
Zależność przekroju czynnego od energii:



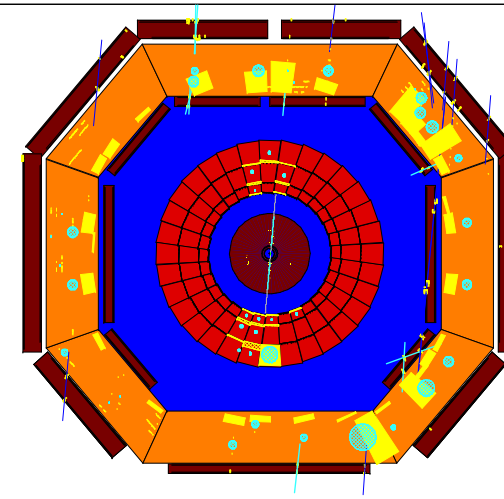
Rozkłady kątowe produktów rozpadu:



Struga cząstek wywołana przez oddziaływanie w atmosferze wysokoenergetycznej cząstki promieniowania kosmicznego



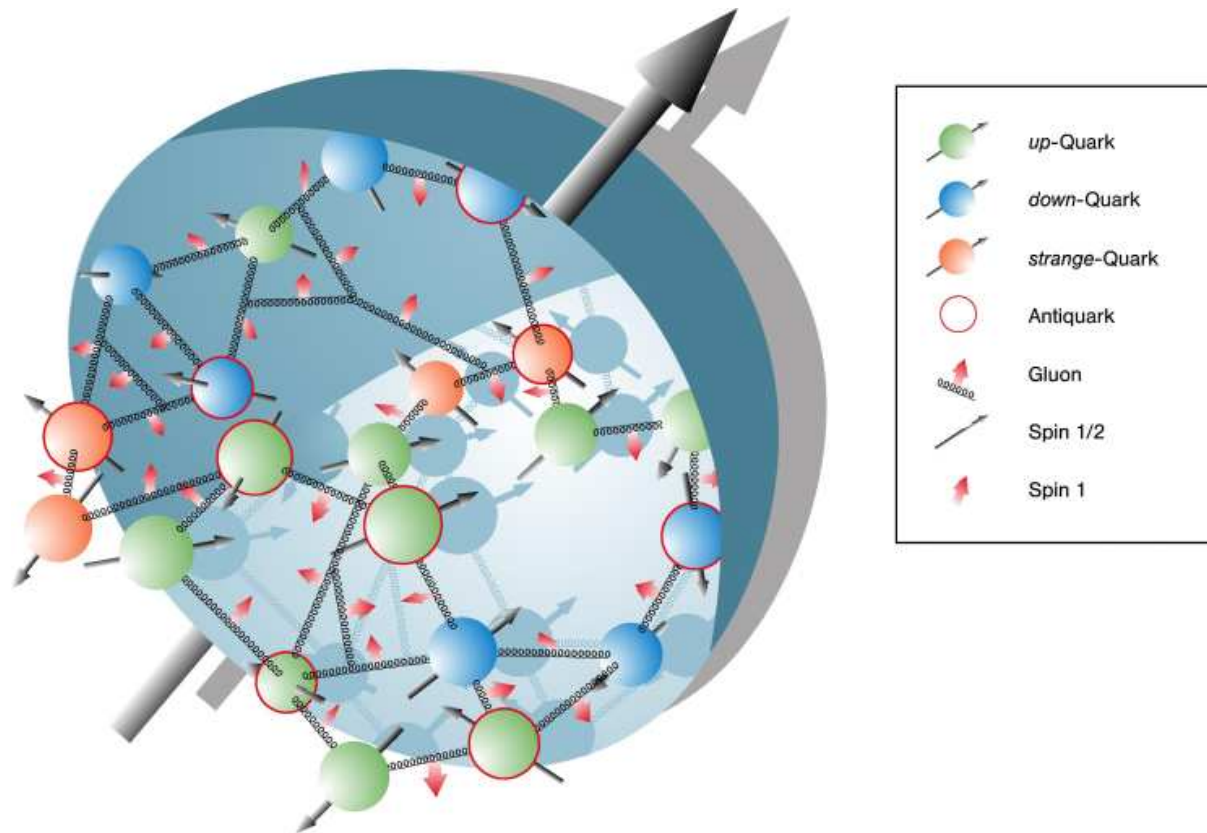
ZEUS



Eksperyment COMPASS

Eksperyment COMPASS

W języku kwarków potrafimy dokładnie opisać budowę i oddziaływania protonu.
Nie rozumiemy jednak do końca skąd się bierze jego spin



w jaki sposób składają się spiny kwarków, gluonów oraz ich momenty pędu ?...

Eksperyment COMPASS

Metoda pomiaru

Rozpraszanie **spolaryzowanych mionów** na **spolaryzowanych nukleonach** (p lub D)
spolaryzowanych - o spinie ustawionym w znany sposób

Eksperyment **COMPASS** prowadzony jest w **CERN** przez około 220 fizyków z 25 laboratoriów na całym świecie.

Podobne eksperymenty także w USA (BNL, NY) i Niemczech (DESY, Hamburg)

Grupa warszawska 11 osób

- projekt i budowa **elektroniki do detektorów pozycyjnych** (we współpracy z PW)
- przygotowanie **programów symulacji** eksperymentu oraz **rekonstrukcji** przypadków

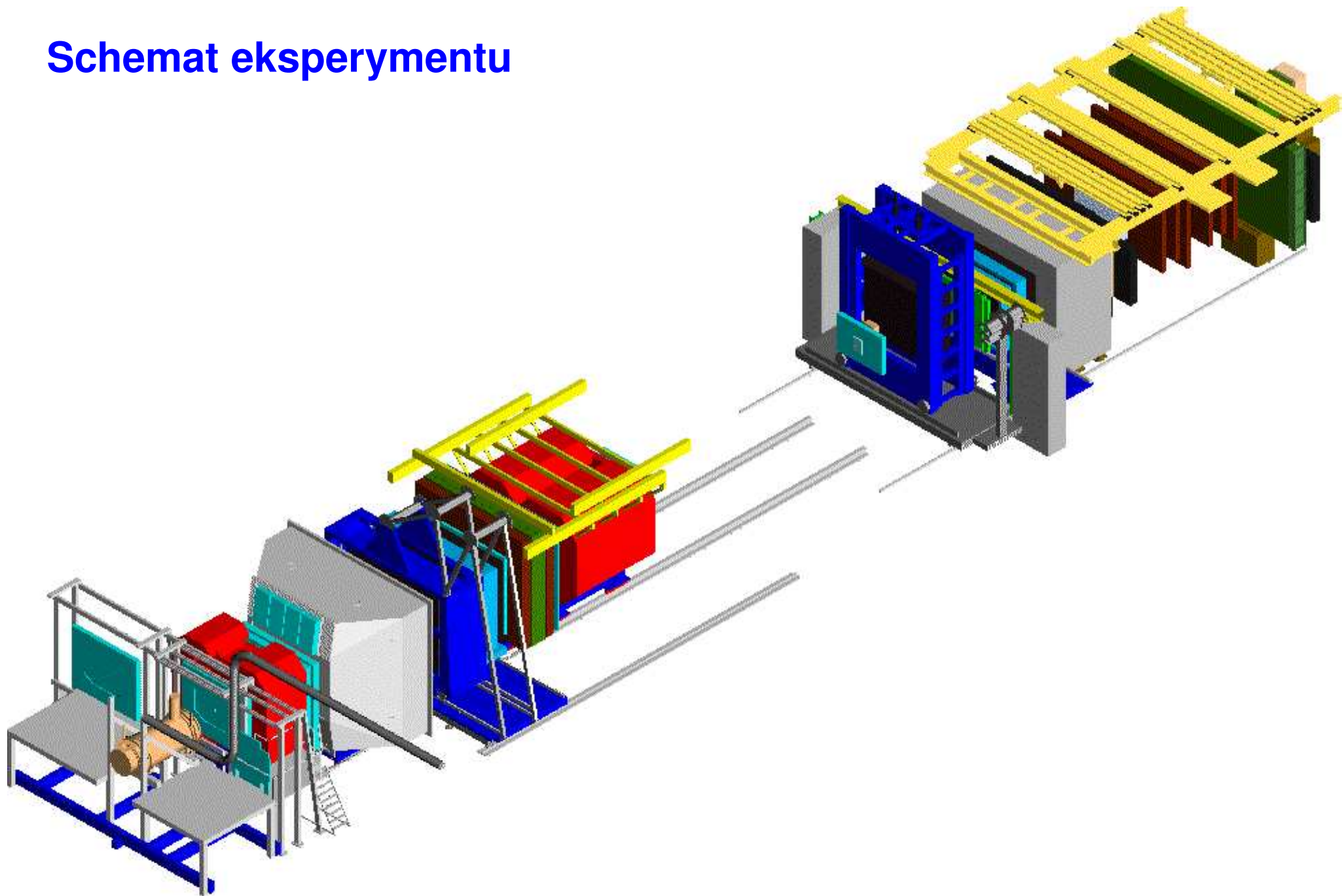
Dziedzina bardzo “gorąca” i dynamiczna. Supernowoczesna technologia doświadczalna i komputerowa (pomiaru to ok. 3 TB danych dziennie!!!).

Są pierwsze wyniki, analiza w toku. Zbieranie danych ≥ 2010

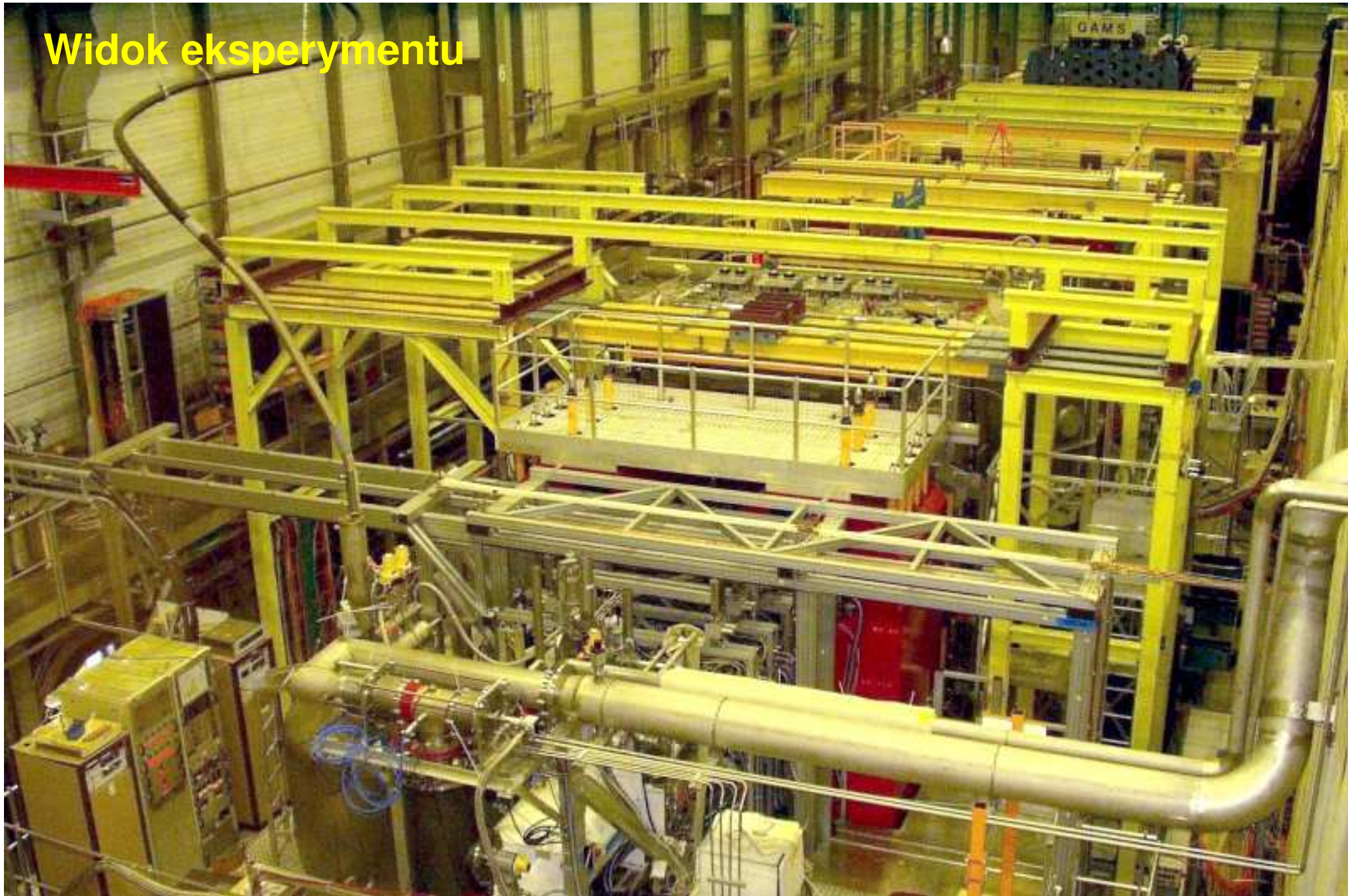
⇒ pomiar rozkładów spinowych kwarów

⇒ pomiar wkładu gluonów do spinu nukleonu $\Delta G/G$

Schemat eksperymentu



Widok eksperymentu



Grupa warszawska



Eksperyment CMS

Eksperyment CMS

Akcelerator LHC

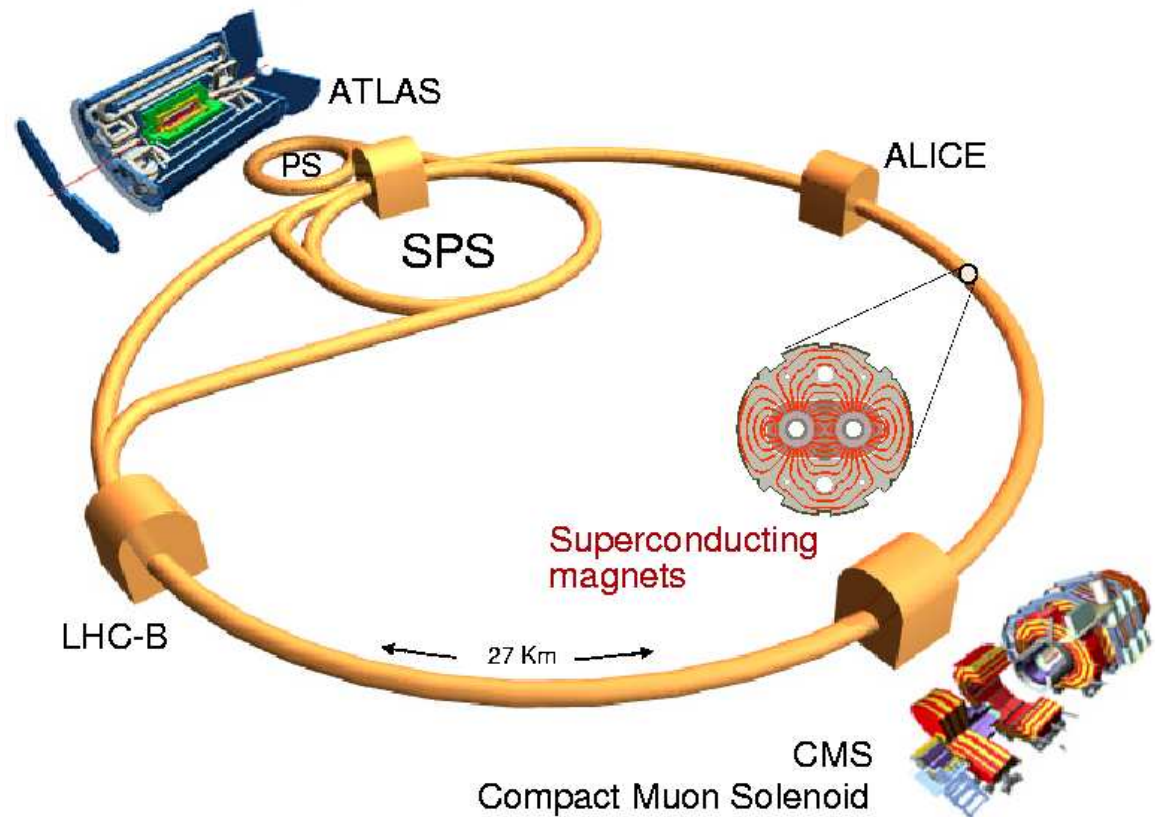
Przeciwbieżne wiązki protonów w LHC mają mieć energię $2 \times 7 \text{ TeV}$

Zderzenia pp badać będą dwa eksperymenty: **ATLAS** i **CMS**

Dwa pozostałe eksperymenty:

- **ALICE** - badanie zderzeń ciężkich jonów
- **LHC-B** - pomiary łamania CP w rozpadach mezonów B

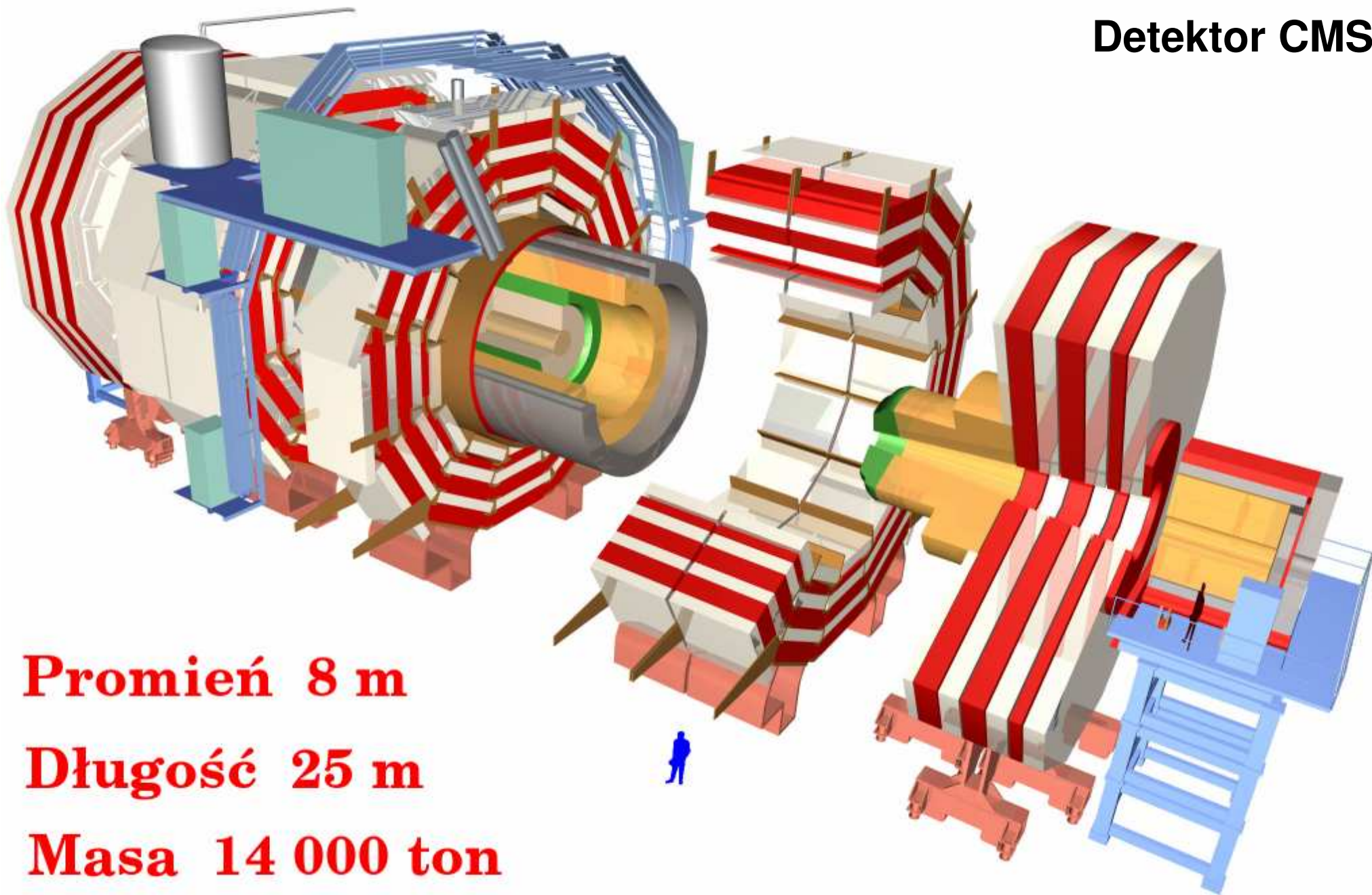
The Large Hadron Collider (LHC)



LHC, CERN Genewa



Detektor CMS



Promień 8 m
Długość 25 m
Masa 14 000 ton

widok obecny



Eksperyment CMS

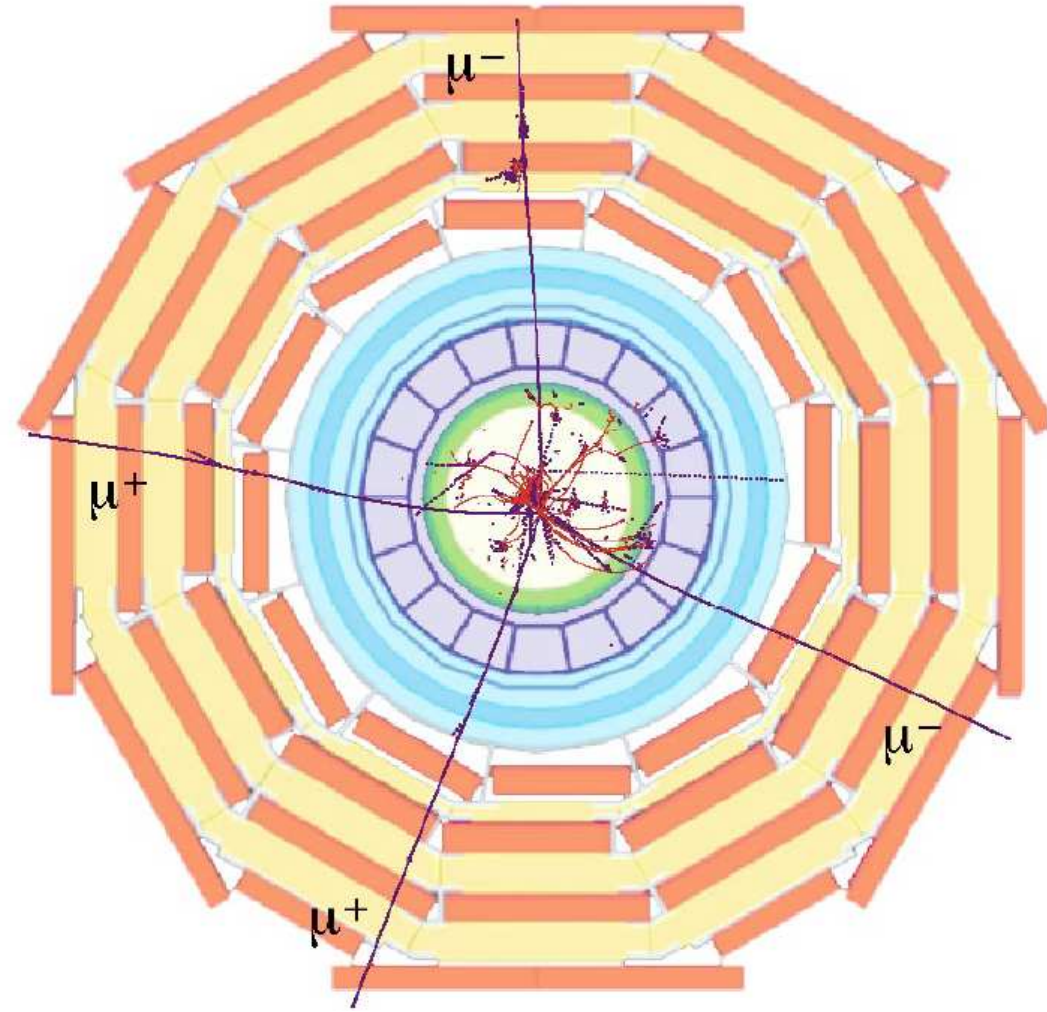
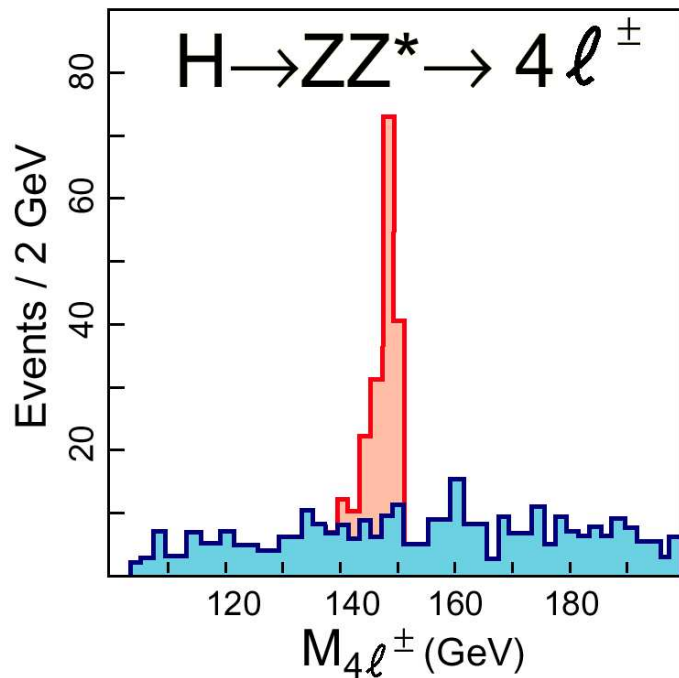
Poszukiwanie Higgosa

Najbardziej obiecujący kanał:

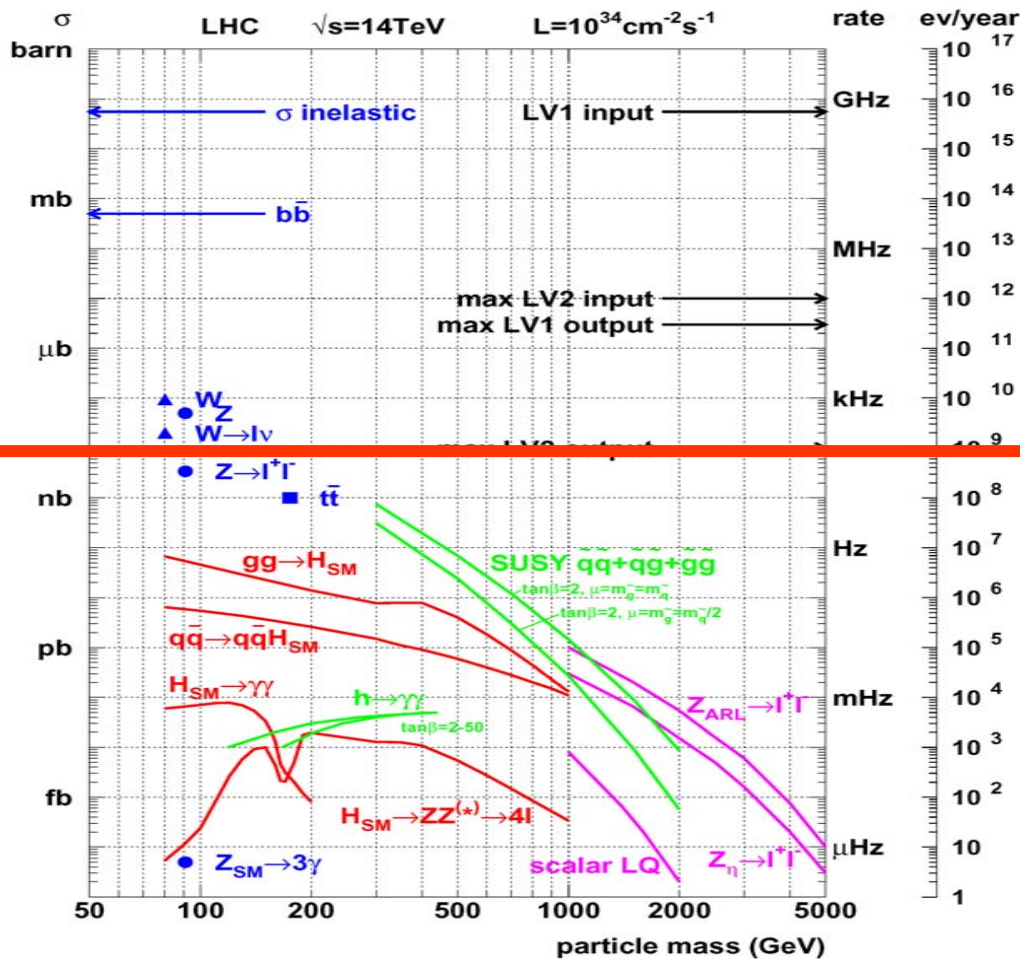
$$pp \rightarrow H \rightarrow Z^0 Z^0 \rightarrow l^+ l^- l^+ l^-$$

naładowane leptony (e^\pm i μ^\pm)

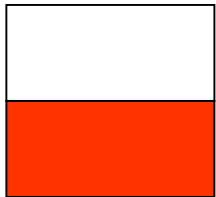
można łatwo zidentyfikować



Dlaczego potrzebujemy systemu wyzwiania?



Tyle możemy zapisać na dysk

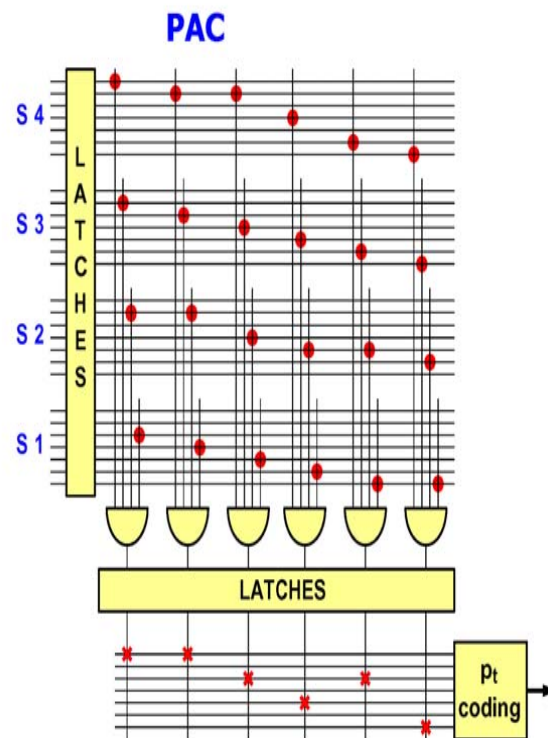
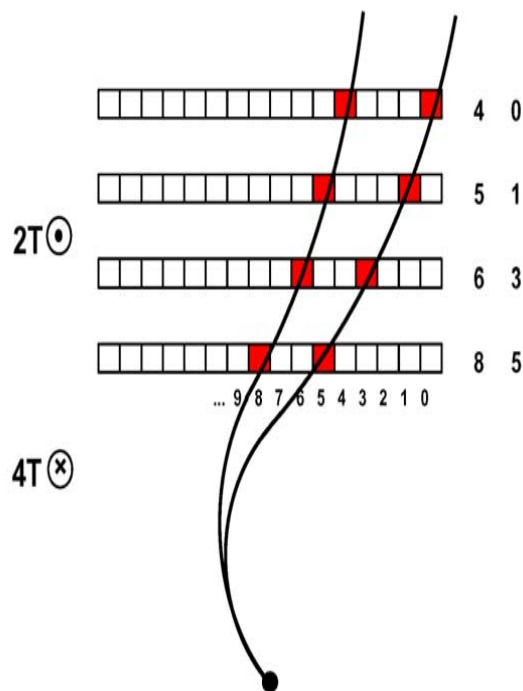


Algorytm Pattern Comparator Trigger PACT



IDEA TRYGERA PACT JEST OPARTA O RÓWNOLEŻNE PORÓWNYWANIE UKŁADU ZLICZEŃ Z 4 PŁASZCZYZN DETEKTORÓW RPC ZE WZORCOWYMI UKŁADAMI POCHODZĄCYMI Z SYMULACJI PRZEJSCIA MIONÓW O ZADANYCH PĘDACH PRZEZ TE PŁASZCZYZNY

Obecnie będziemy używali informacji z 6 płaszczyzn RPC



Główne zadanie grupy warszawskiej w CMS

- Zbudowanie szybkiego systemu wyzwiania na miony o dużych pędach poprzecznych opartego o komory RPC.
- Zadanie to wymaga:
 - Symulacji sygnałów mionowych w warstwach RPC,
 - Wymyślenia, symulacji i optymalizacji algorytmu wyzwiania,
 - Zaprojektowania i optymalizacji programowalnej elektroniki,
 - Budowy i testowania na wiązkach prototypów elektroniki,
 - Zbudowania i uruchomienia całego systemu

Grupa warszawska CMS

doktoranci oznaczeni kursywą

- IFD UW

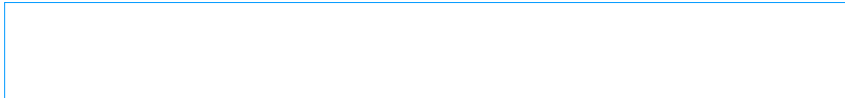
K. Buńkowski, M. Ćwiok, H. Czyrkowski, R. Dąbrowski, W. Dominik, K. Doroba, M. Kazana, A. Kalinowski, M. Konecki¹, J. Królikowski, M. I. Kudła, K. Nawrocki, M. Pietrusiński, P. Zych

- IPJ

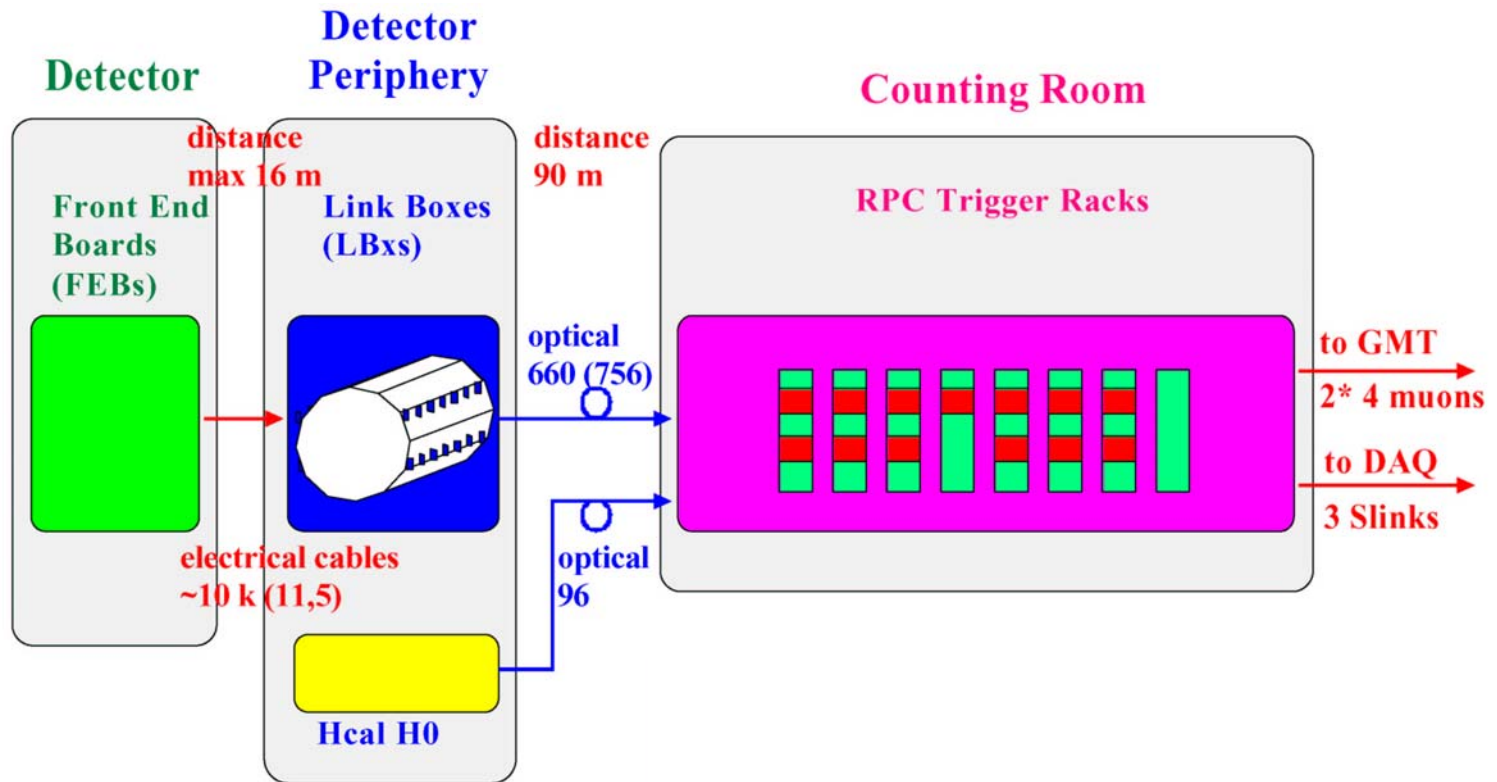
M. Bluj, R. Gokieli, M. Górski, L. Gościło, P. Traczyk, G._Wrochna, P. Zalewski

- ISE PW

K. Poźniak, R. Romaniuk, W. Zabołotny + liczni studenci i doktoranci

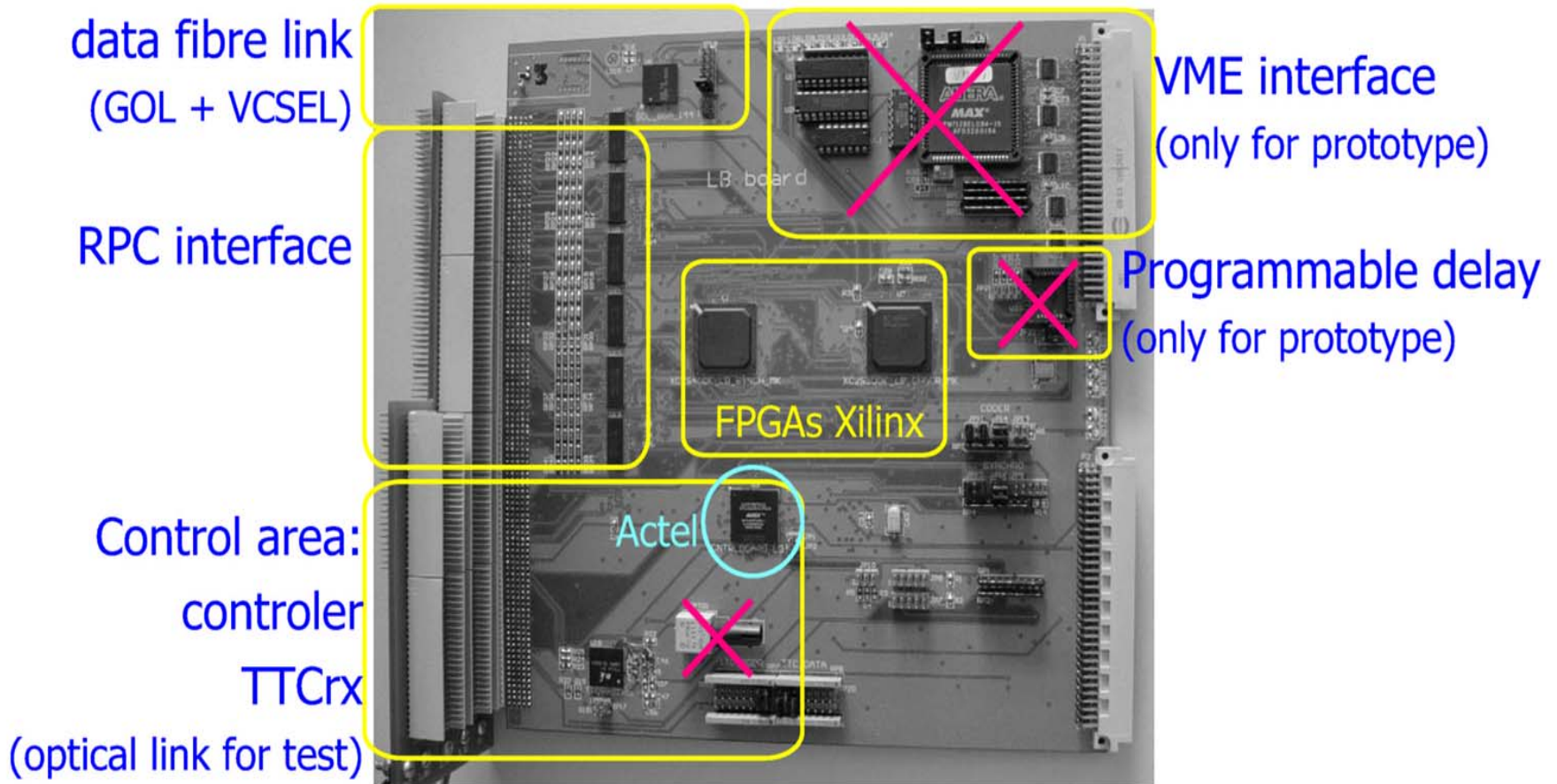


Elektronika PACT: jej rozmieszczenie



(*) - with RE5

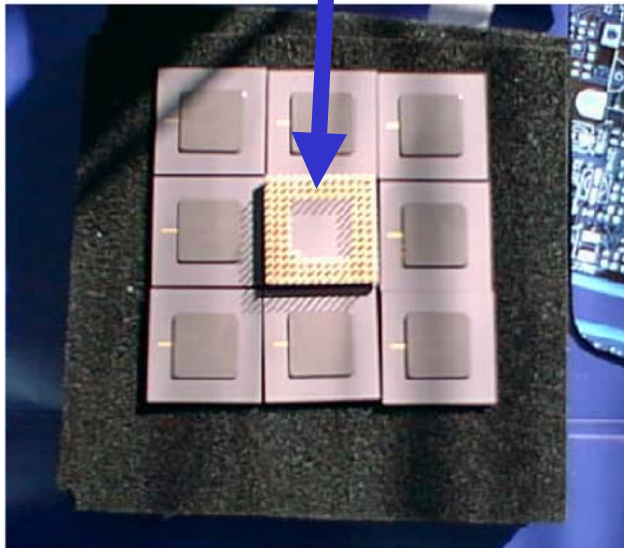
LB RE1/1 prototype 2003



PROCESOR PAC wersja ASIC technologia 0.35 μm 2000/01

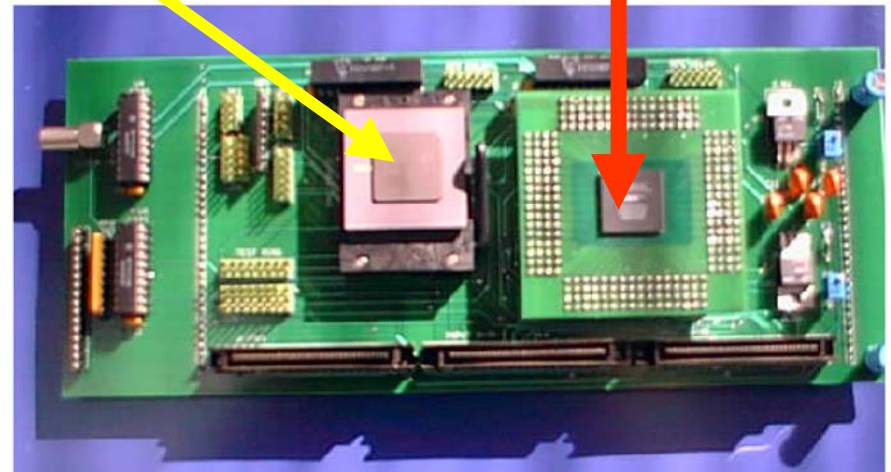
PAC ASIC v.2

Płytki testowa procesora PAC v.2



PAC ASIC

Kontrolujące
FPGA Altera

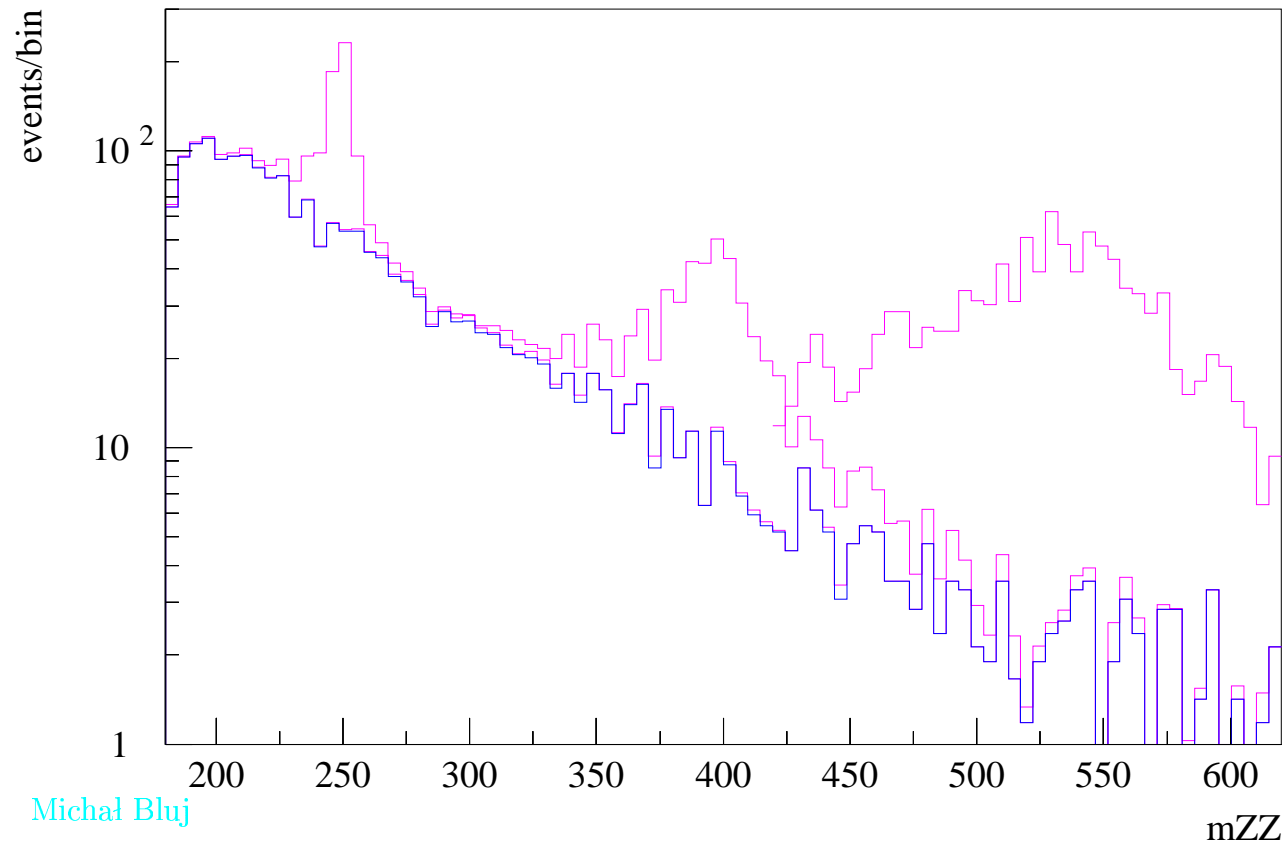


800 000 transystorów
Ok.. 1 cm^2 krzemu

M.Bluj

Analiza korelacji kątowych w rozpadach bozonu Higgsa w CMS

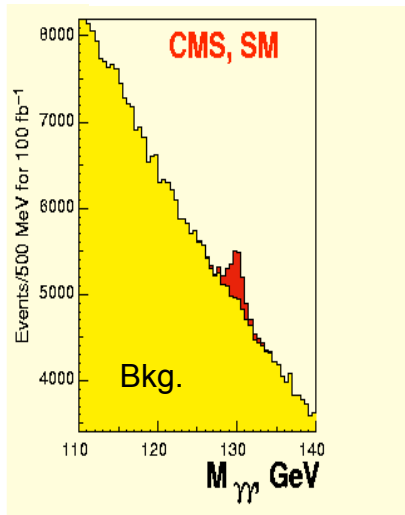
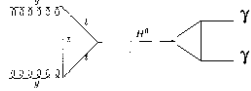
**Oczekiwany rozkład masy niezmienniczej 4 mionów,
dla różnych mass bozonu Higgsa:**



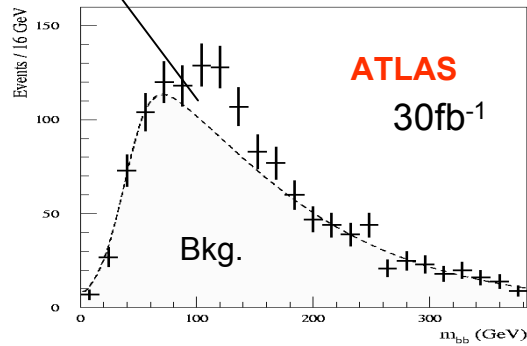
International Linear Collider

LHC Higgs signal

$$H \rightarrow \gamma\gamma$$

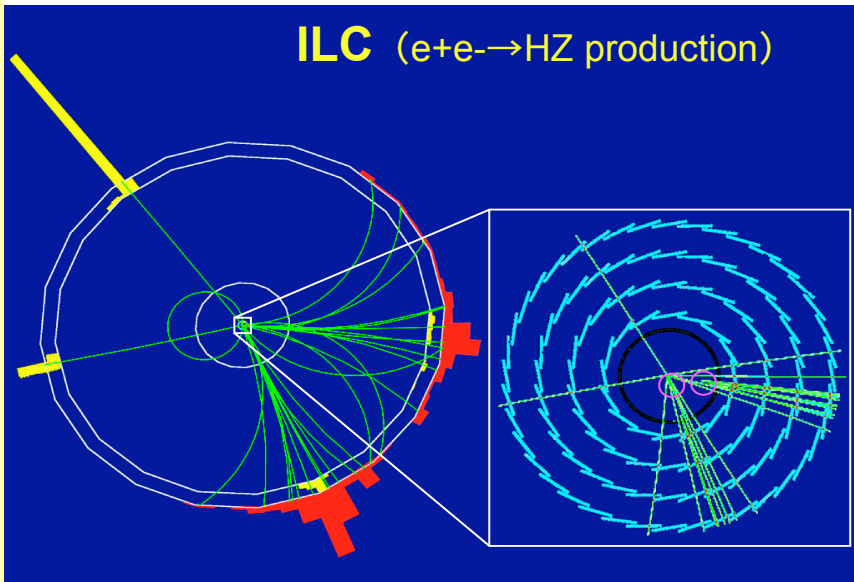
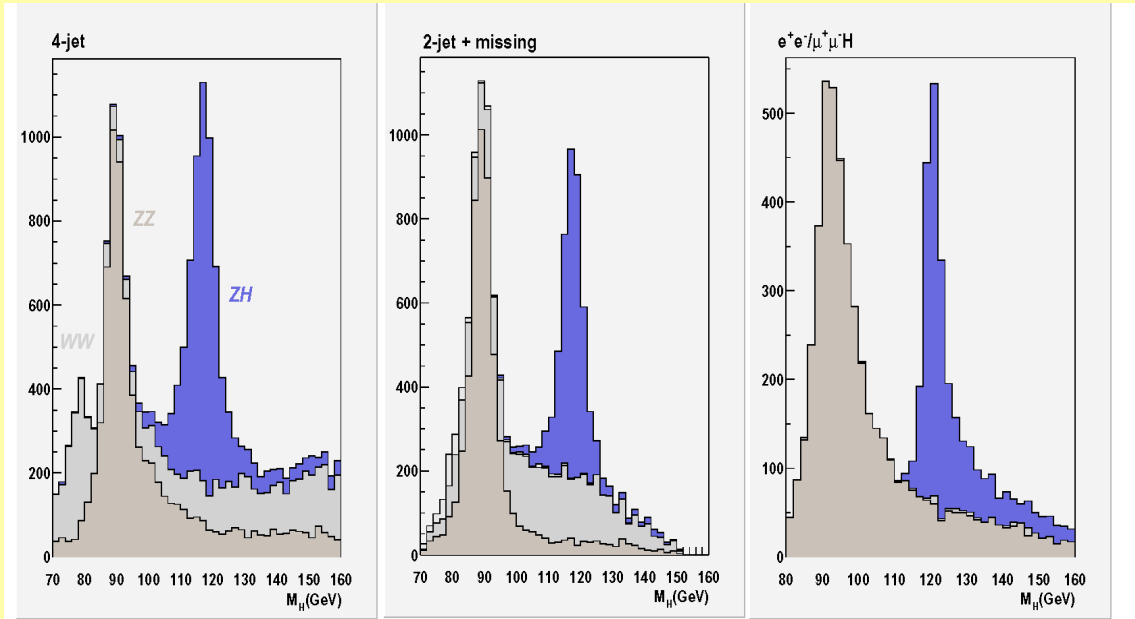


$$ttH \rightarrow WbWbb \rightarrow l\nu jj bbbb$$



Nov.9 2004

ILC Higgs signal



Typical numbers
 Tagging efficiency
 ~ 30-50 %
 S/N > 1

Nie ma alternatywy dla liniowych akceleratorów e^+e^- kołowy zająłby pół Europy...

"LEP 1000"
2 TeV in Center-of-Mass
Diameter \approx 900 km
Linear Collider at 50 MeV/m
Length = 40 km \rightarrow \leftarrow

Why LEP 1000 gave way to the idea of linear colliders



Projekt ILC

TESLA

Jeden z trzech projektów liniowy akcelerator e^+e^- w ośrodku DESY w Hamburgu.

Zbudowany z wykorzystaniem nadprzewodzących wnęk rezonansowych.

Długość 2×15 km

⇒ energie wiązek 250–400 GeV

“Warszawska” Grupa Tesla

~10 osób (IFD + IFT + UŁ)

szeroła współpraca międzynarodowa

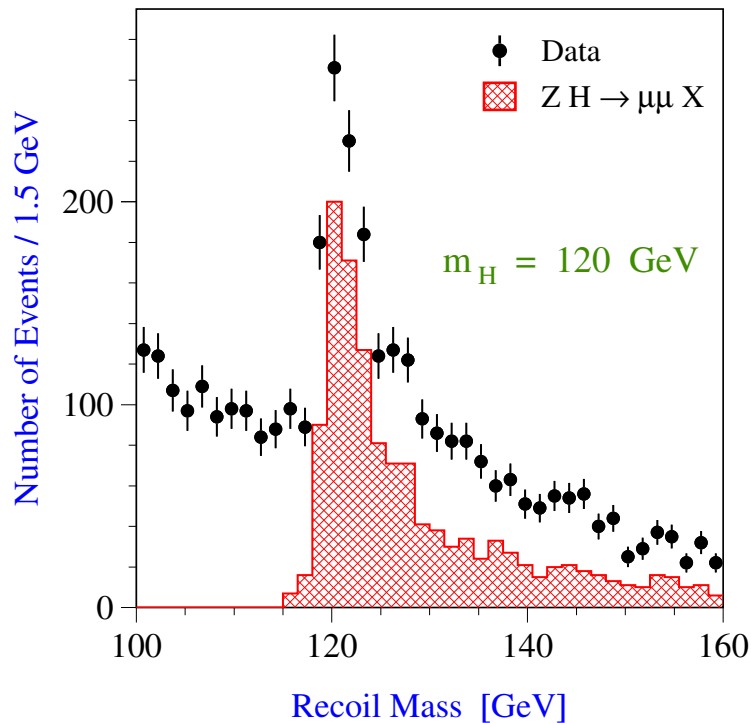


Projekt ILC

Główne kierunki badań

- Precyzyjny pomiar własności bozonu Higgsa.

Rozkład mierzonej masy bozonu Higgsa
w procesie $e^+e^- \rightarrow Z^0 H$



- dokładny pomiar własności kwarku t
- cząstki supersymetryczne
- leptokwarki
- struktura fotonu, fizyka $b\bar{b}$,...

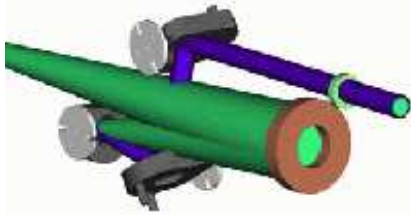
Prace prowadzone w Warszawie:

- rachunki teoretyczne
- symulacja procesów fizycznych i działania detektora
- optymalizacja i ocena dokładności planowanych pomiarów
- prace nad projektem detektora (VTX)

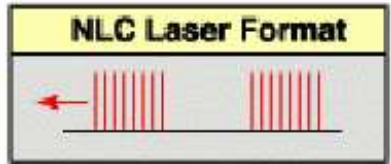
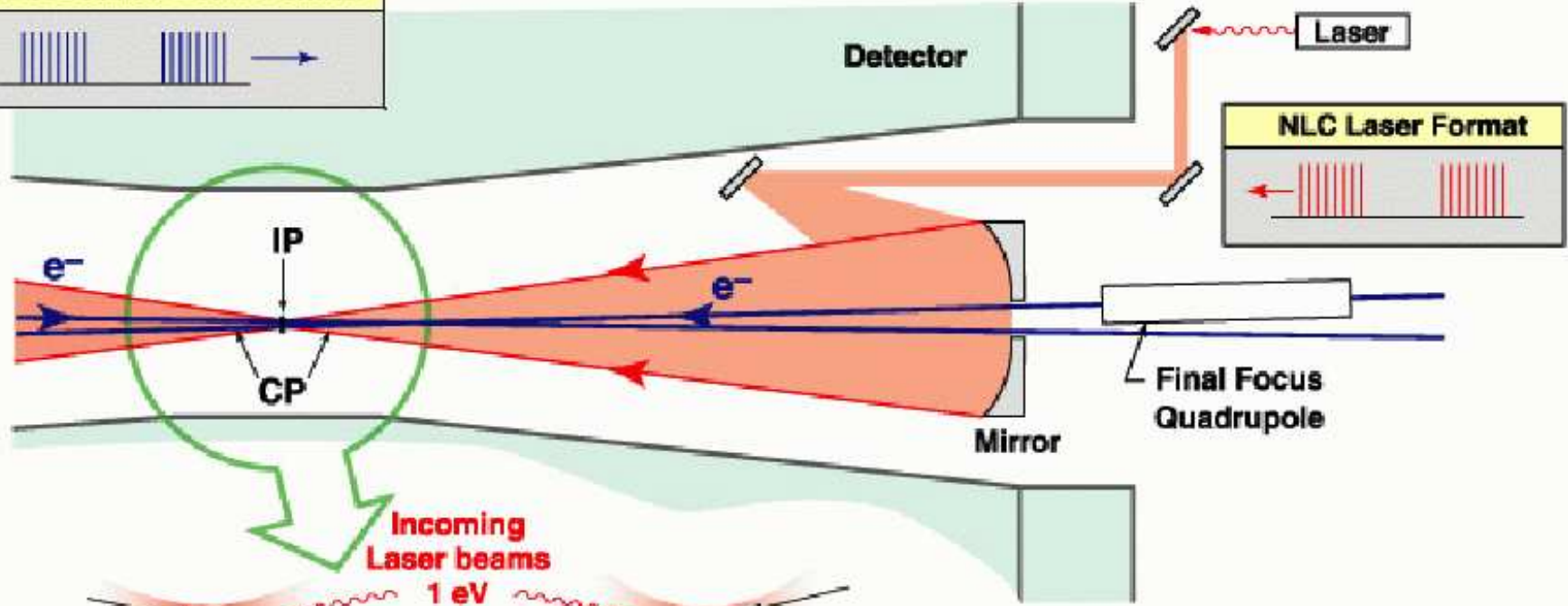
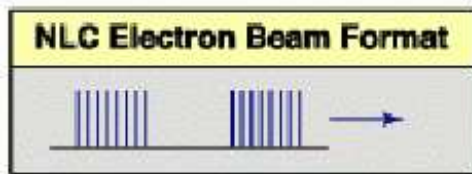
Precyzyjne pomiary bozonu Higgsa

Higgs w świetle kolajdera liniowego



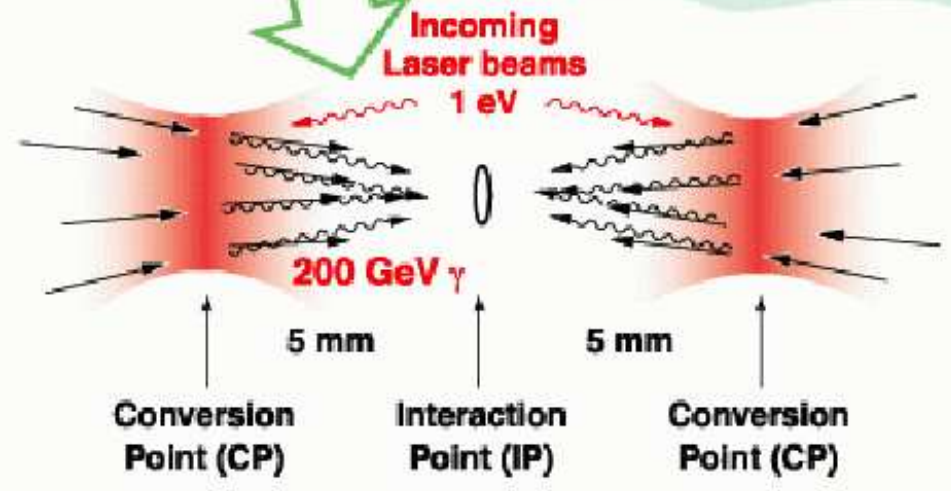


Photon Colliders – The marriage of lasers and electron linear colliders



Projekt NLC
 e^- : 250 GeV

$\gamma \sim 200$ GeV



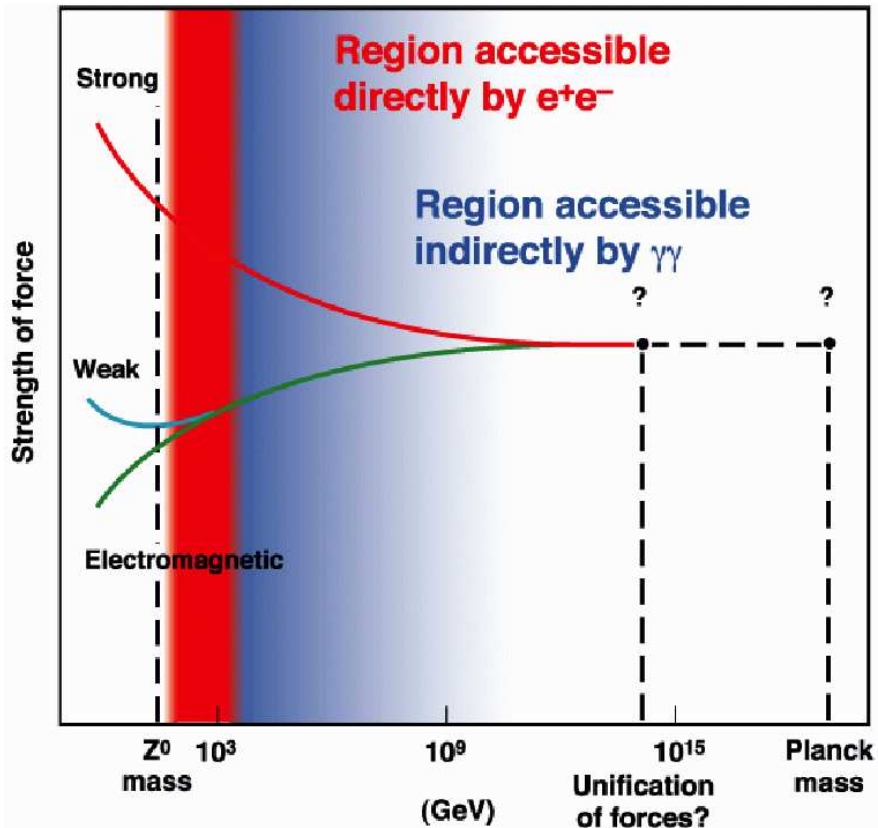
NLC Laser

- ~ 1 Joule/bunch
- 95 1-ps bunches/pulse
- 2.8 nsec spacing

Photon Collider

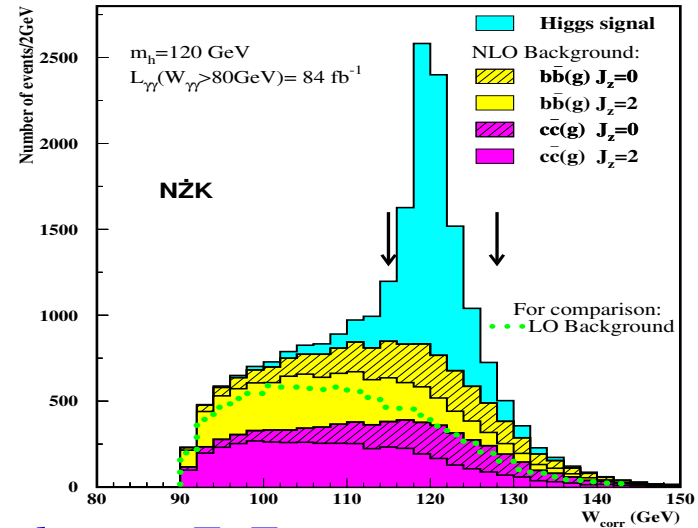
Fizyka

Jedyny kolajder, który może “sięgnąć”
skali unifikacji

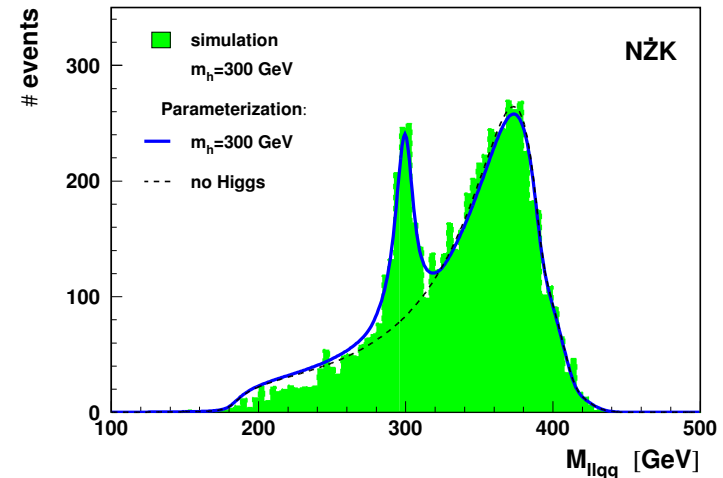


Wyniki symulacji prowadzonych w Warszawie:

$$\gamma\gamma \rightarrow h \rightarrow b\bar{b} \quad e^-e^- \text{ beams with } \sqrt{s_{ee}} = 210 \text{ GeV}$$



$$\gamma\gamma \rightarrow h \rightarrow ZZ$$

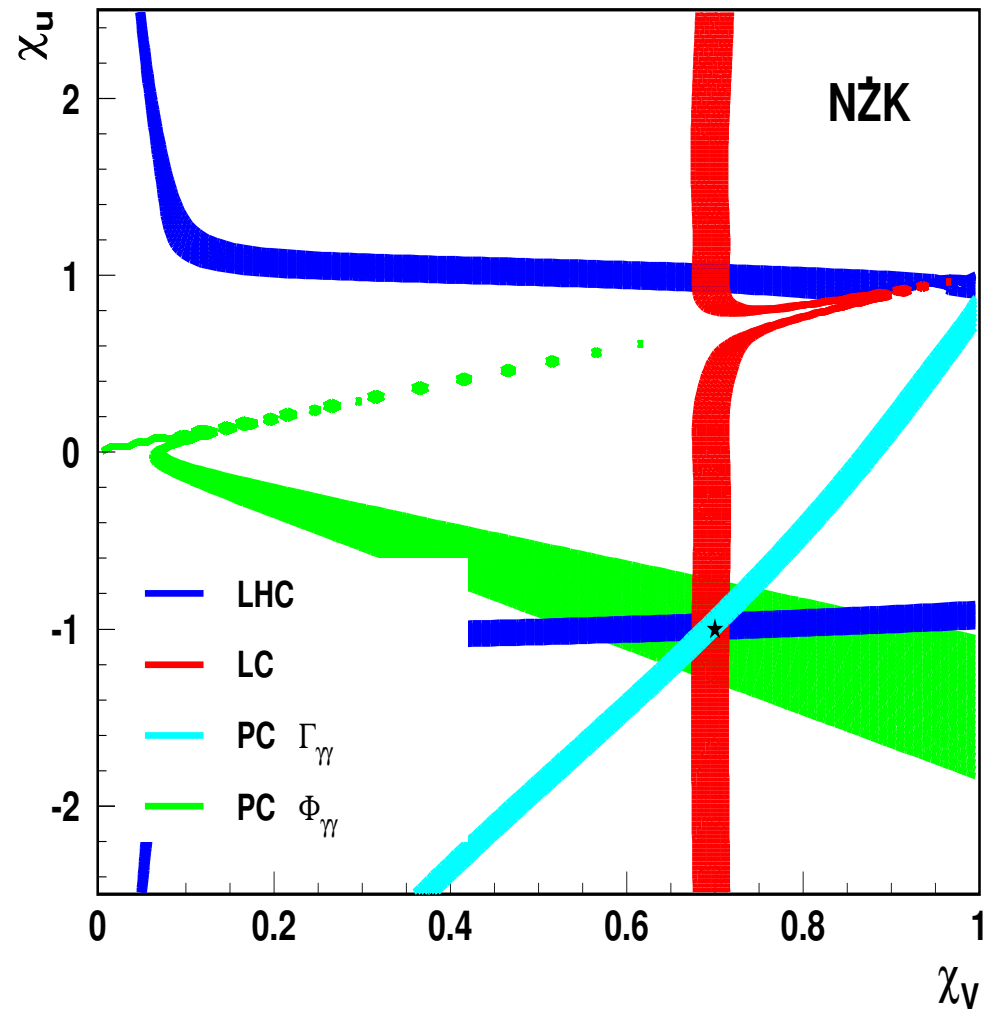


Photon Collider

Kolajder fotonowy jest **niezastąpiony** w precyzyjnych pomiarach własności **bozonu Higgsa**.

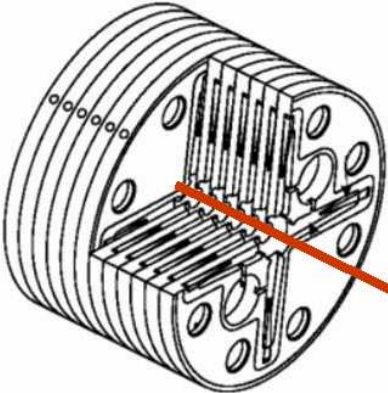
Tylko z porównania pomiarów w **LHC**, **ILC** i **PC** będzie można wyznaczyć sprzężenia Higgsa w ogólnym przypadku i zmierzyć ewentualne **łamanie symetrii CP** \Rightarrow

Dodatkowy koszt to $< 10\%$ kosztu budowy ILC...

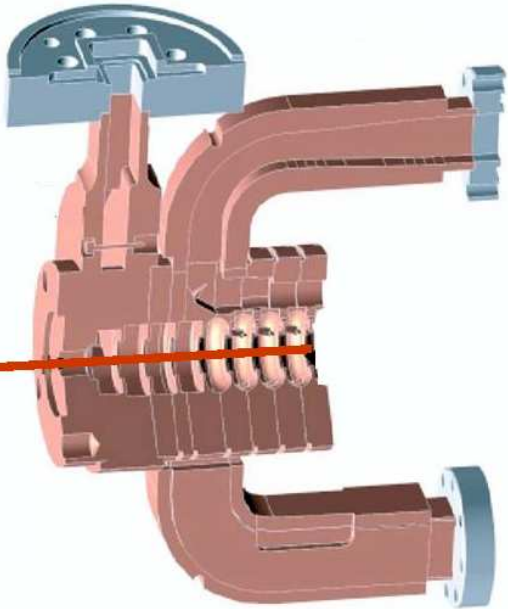


Projekt ILC

W sierpniu 2004 dokonano wyboru technologii, w której będzie budowany ILC



30 GHz - Warm



NLG



11.4 GHz - Warm

APPROVED



TESLA

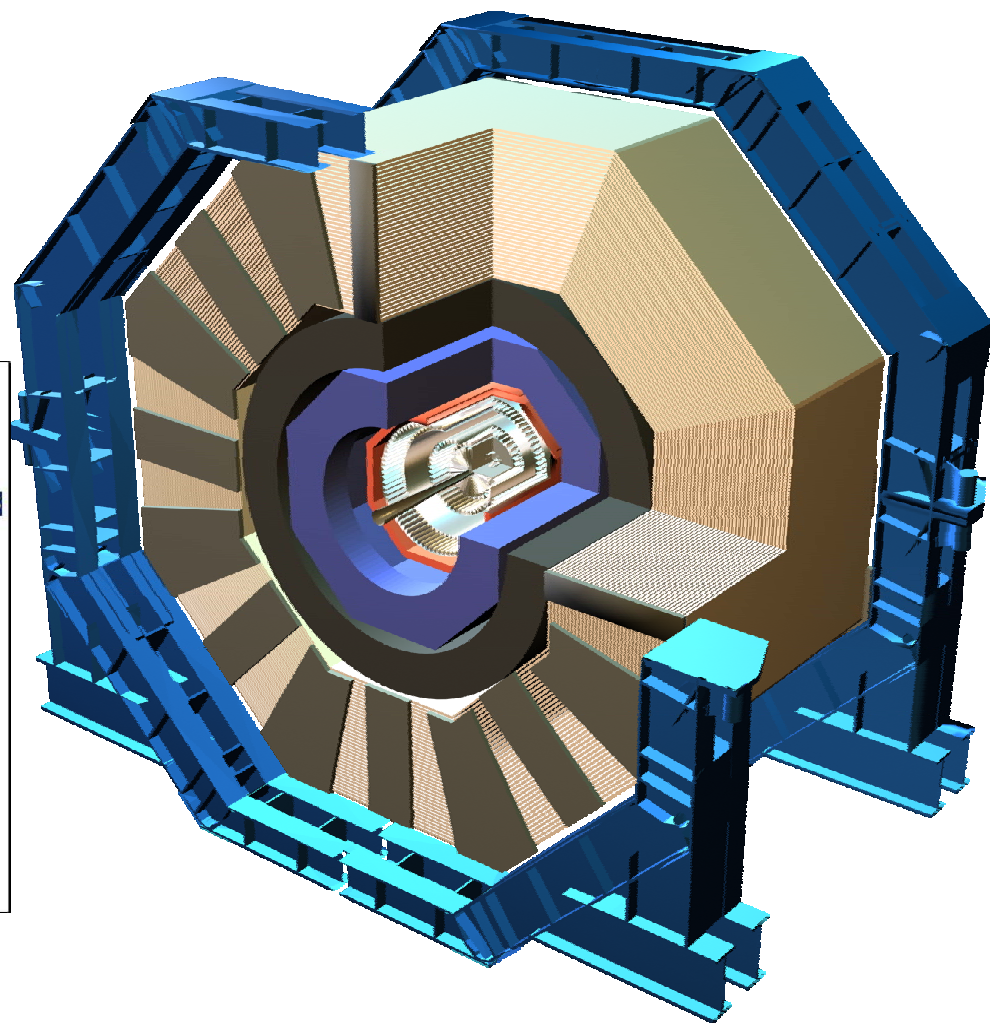
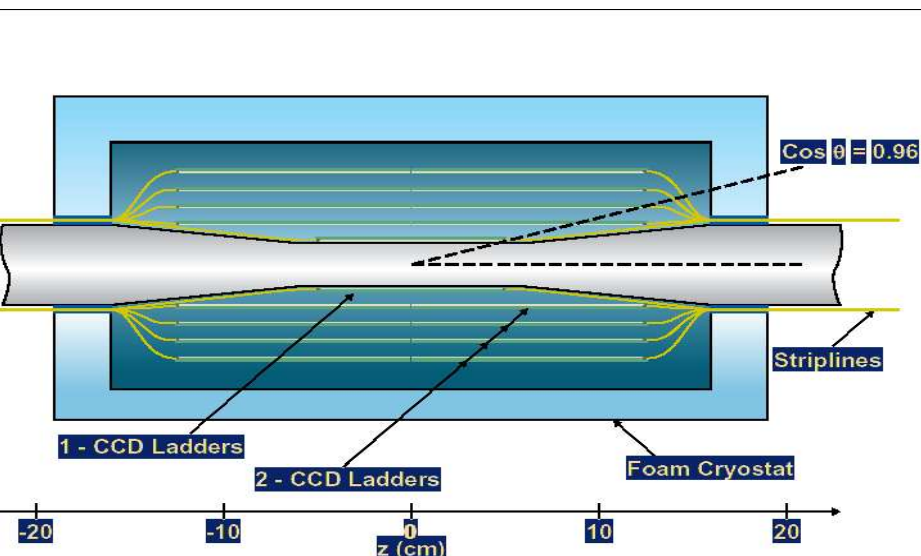
1.3 GHz - Cold



Zaawansowane są już prace nad przygotowaniem ostatecznych projektów detektorów dla ILC

Rozważane są trzy koncepcje detektora...

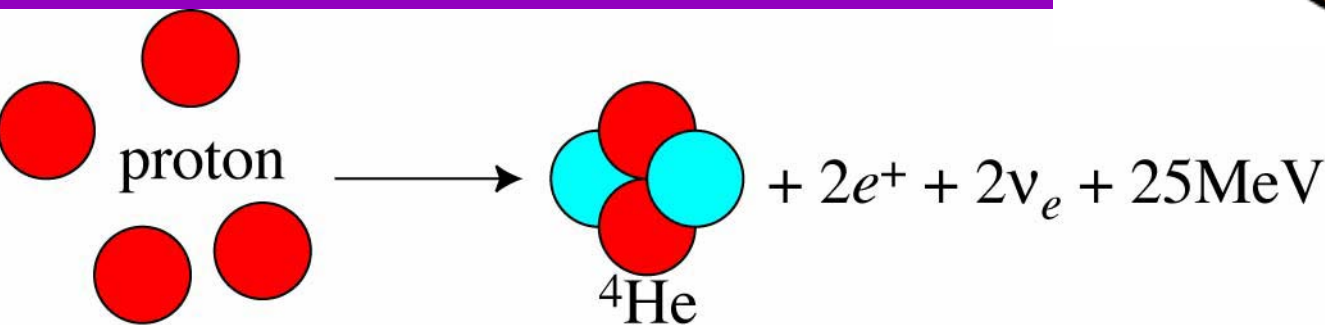
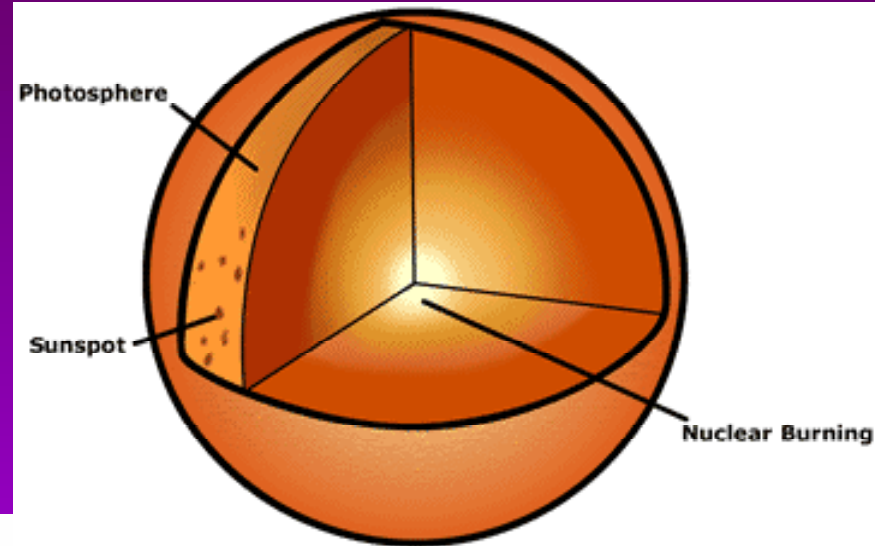
Grupa zaangażowana jest w prace nad projektem detektora wierzchołka



Eksperymenty neutrinowe

Dlaczego Słońce świeci

W wyniku fuzji termojądrowych dostajemy energię:



$$\Phi_{\nu} = \frac{2L_{\text{sun}}}{25\text{MeV}} \frac{1}{4\pi(1\text{AU})^2} = 7 \cdot 10^{10} \text{ sec}^{-1} \text{ cm}^{-2}$$

gdzie L_{sun} jest świetlnością Słońca
1AU jest odległością Słońce - Ziemia

Neutrina słoneczne

Widmo energii

Widmo energii **neutrino elektronowych** produkowanych w reakcjach jądrowych na słońcu ⇒

Strumień neutrino o energiach poniżej kilku MeV może być zmierzony **metodami radiochemicznymi**: mierzymy produkcję powstających **izotopów**:

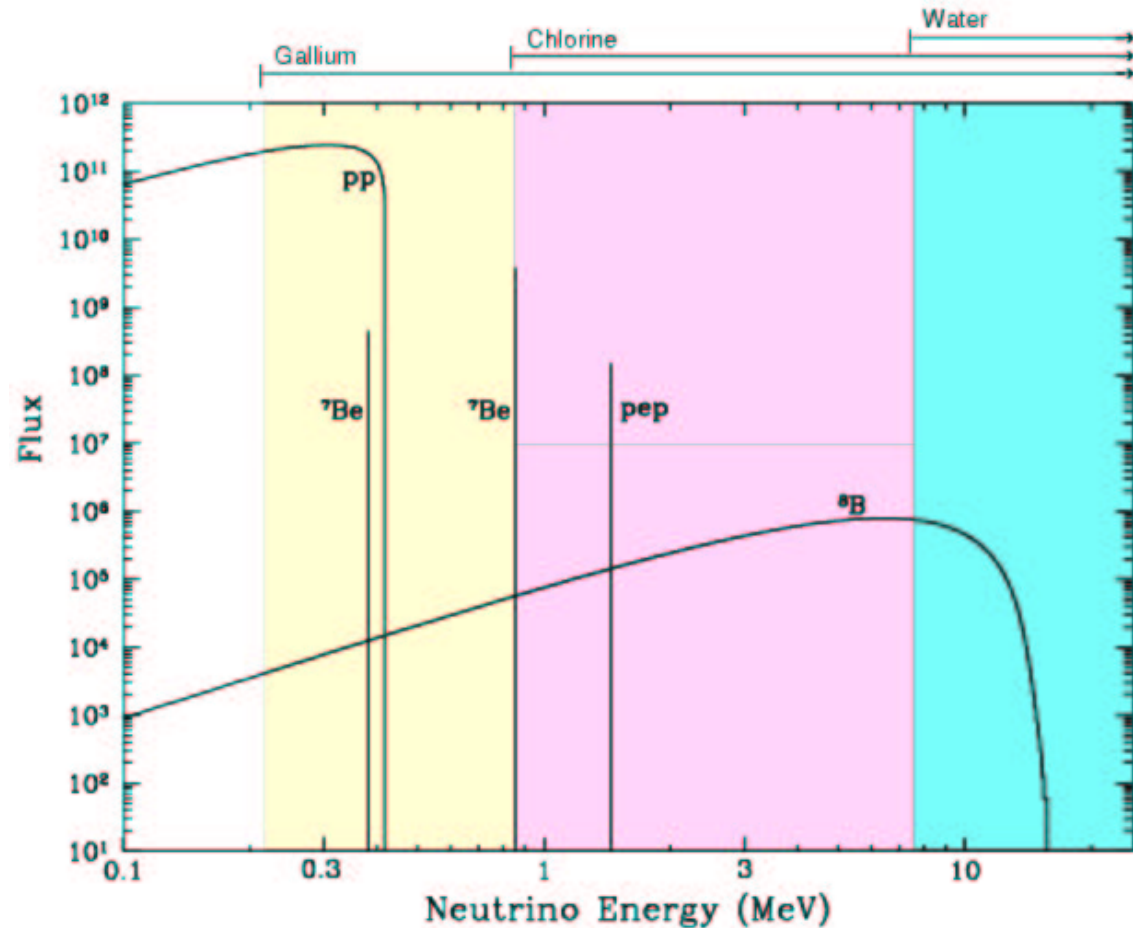


(eksperyment Homestake)



(SAGE, GALLEX, GNO)

Tylko neutrino elektronowe !



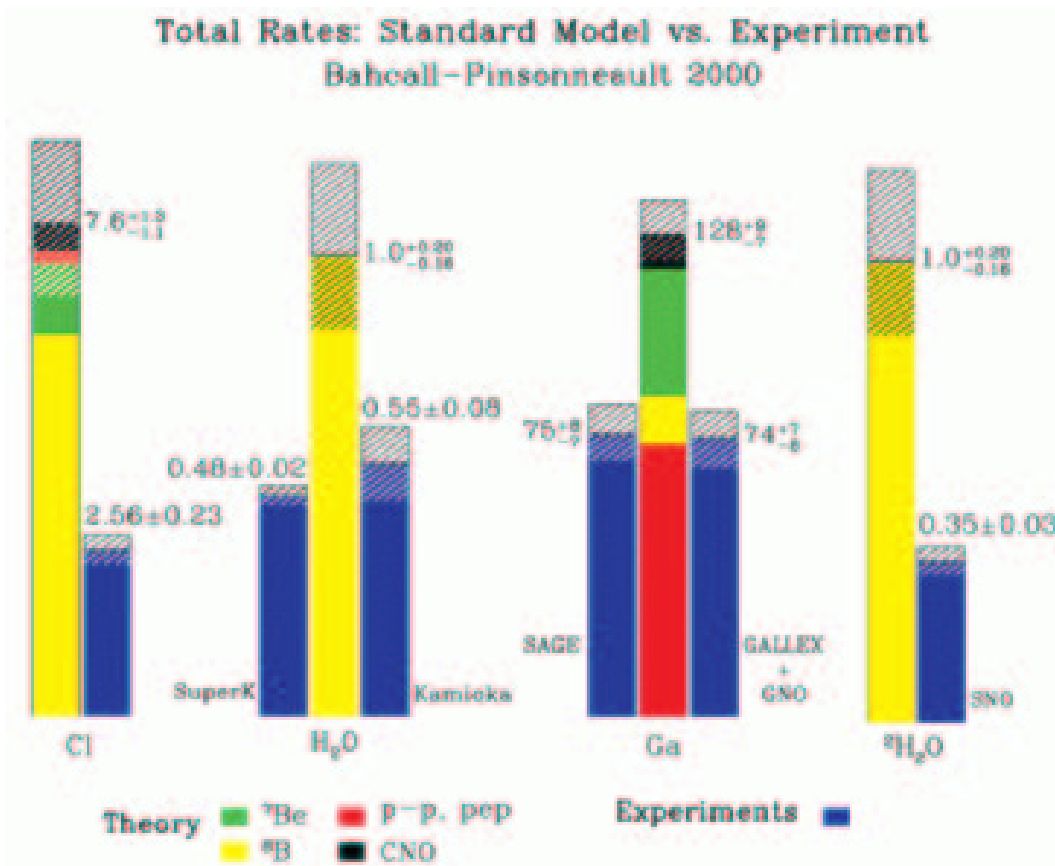
Ga

Cl

woda

Neutrina słoneczne

Deficyt neutrin słonecznych



Wszystkie przeprowadzone eksperymenty wykazały, że dociera do nas zbyt mało neutrin elektronowych !

Aby wytłumaczyć wyniki pomiarów trzeba by założyć, że:

- reakcja ${}^8_5B \rightarrow {}^8_4Be + e^+ + \nu_e$ zachodzi 2 × rzadziej
- reakcja ${}^7_4Be + e^- \rightarrow {}^7_3Li + \nu_e$ wogóle nie zachodzi !...

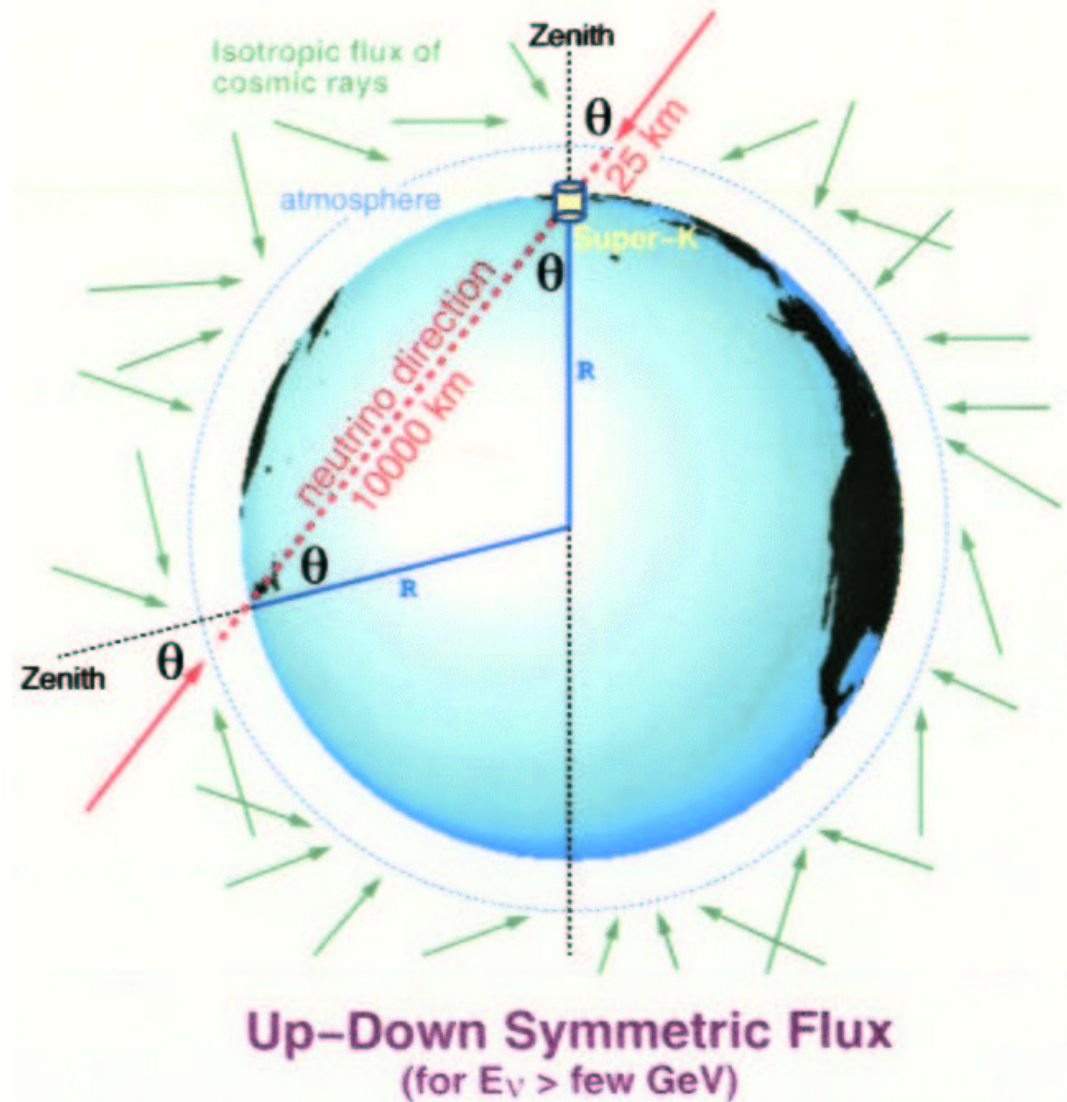
Ale Słońce świeciłoby wtedy zupełnie inaczej...

Neutrina atmosferyczne

Rozkład kątowy

Pierwotne promieniowanie kosmiczne jest izotropowe.

Ponieważ neutrino praktycznie nie oddziałują z Ziemią, strumienie neutrin “do dołu” i “do góry” powinny być sobie równe.



Neutrino atmosferyczne

Eksperyment Super-Kamiokande

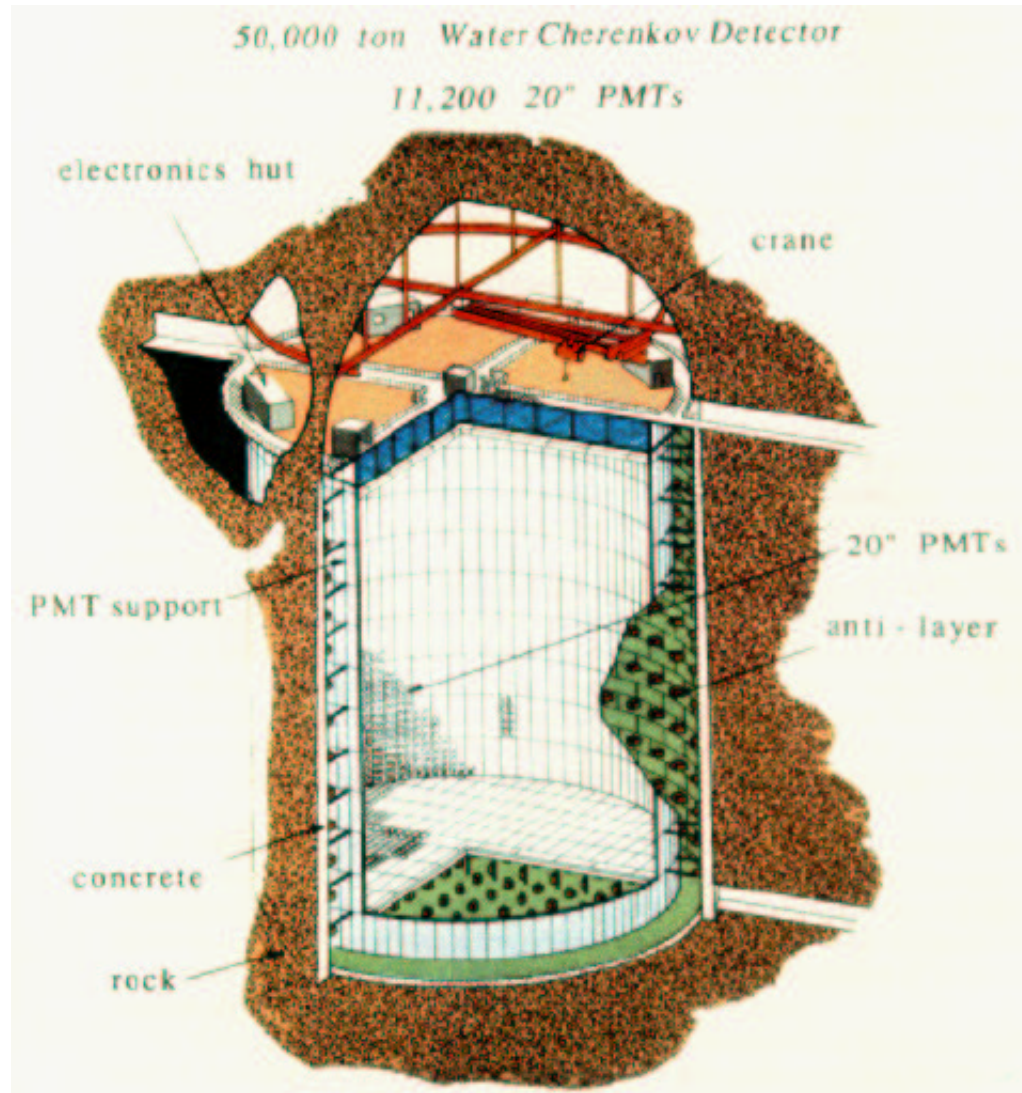
Japonia, w starej kopalni, 1 km pod górą Kamioka, komora o wysokości 40 m i średnicy 40 m, wypełniona **wodą**

11'000 fotopowielaczy (50 cm średnicy!) rejestruje przechodzące cząstki

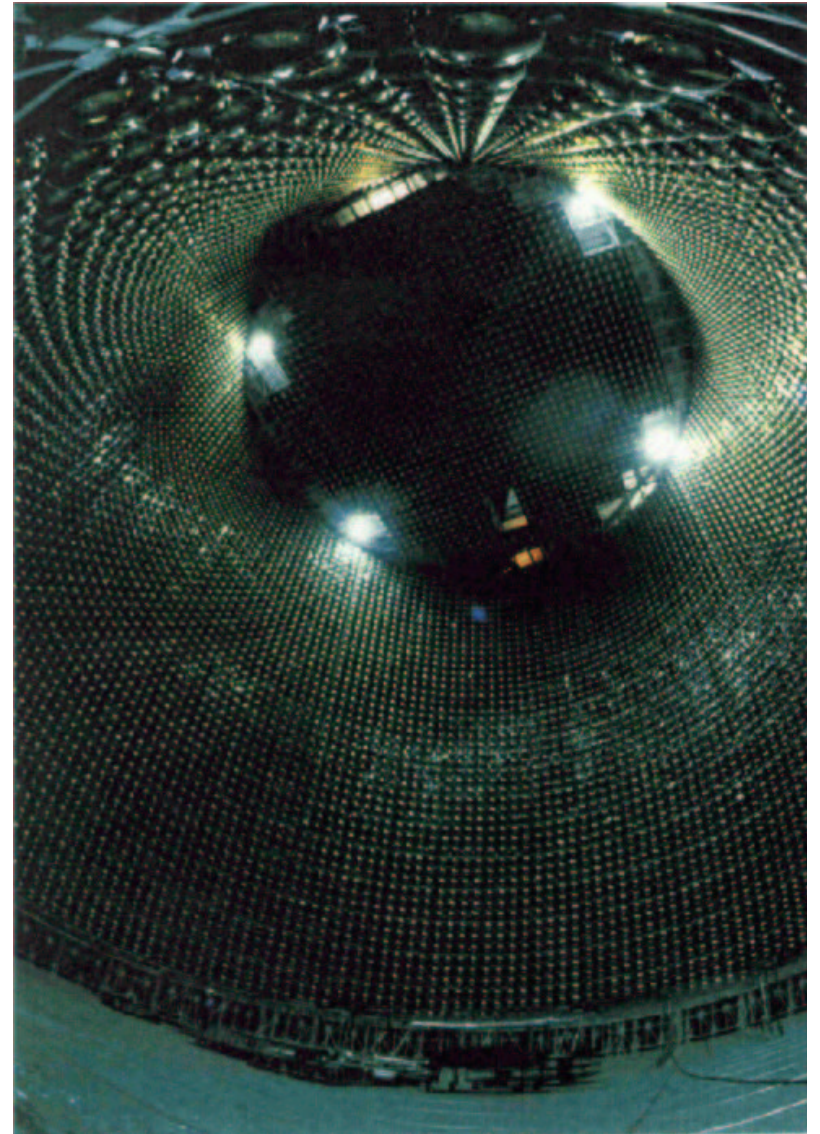
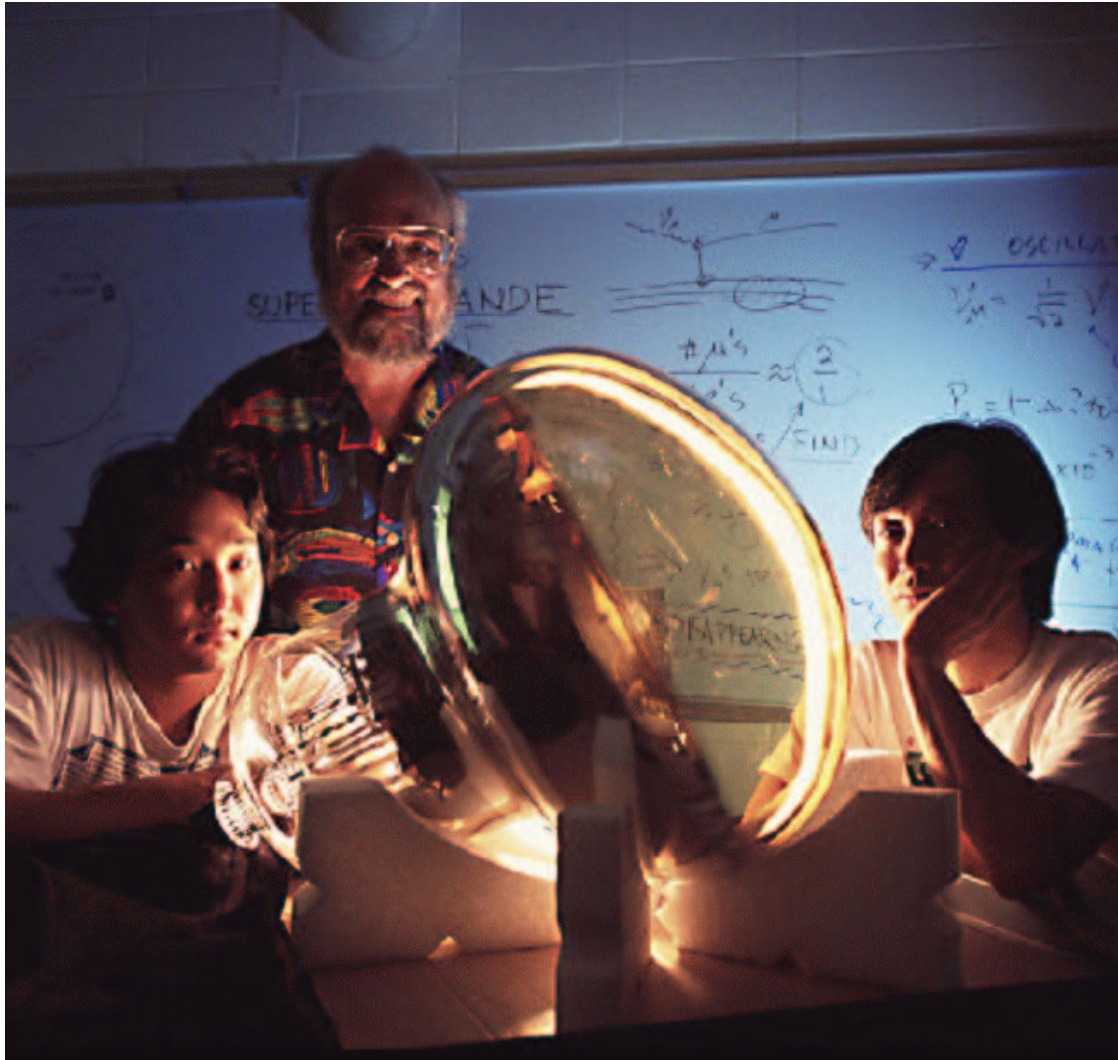
rejestrowane jest

promieniowanie Czerenkowa

emitowane w kierunku ruchu przez cząstki poruszające się z prędkością większą od prędkości światła (w wodzie)



Super-Kamiokande



Super-Kamiokande

Wyniki

Zależność liczby obserwowanych przypadków **elektronowych** i **mionowych** od kierunku (przypadki typu FC) \Rightarrow

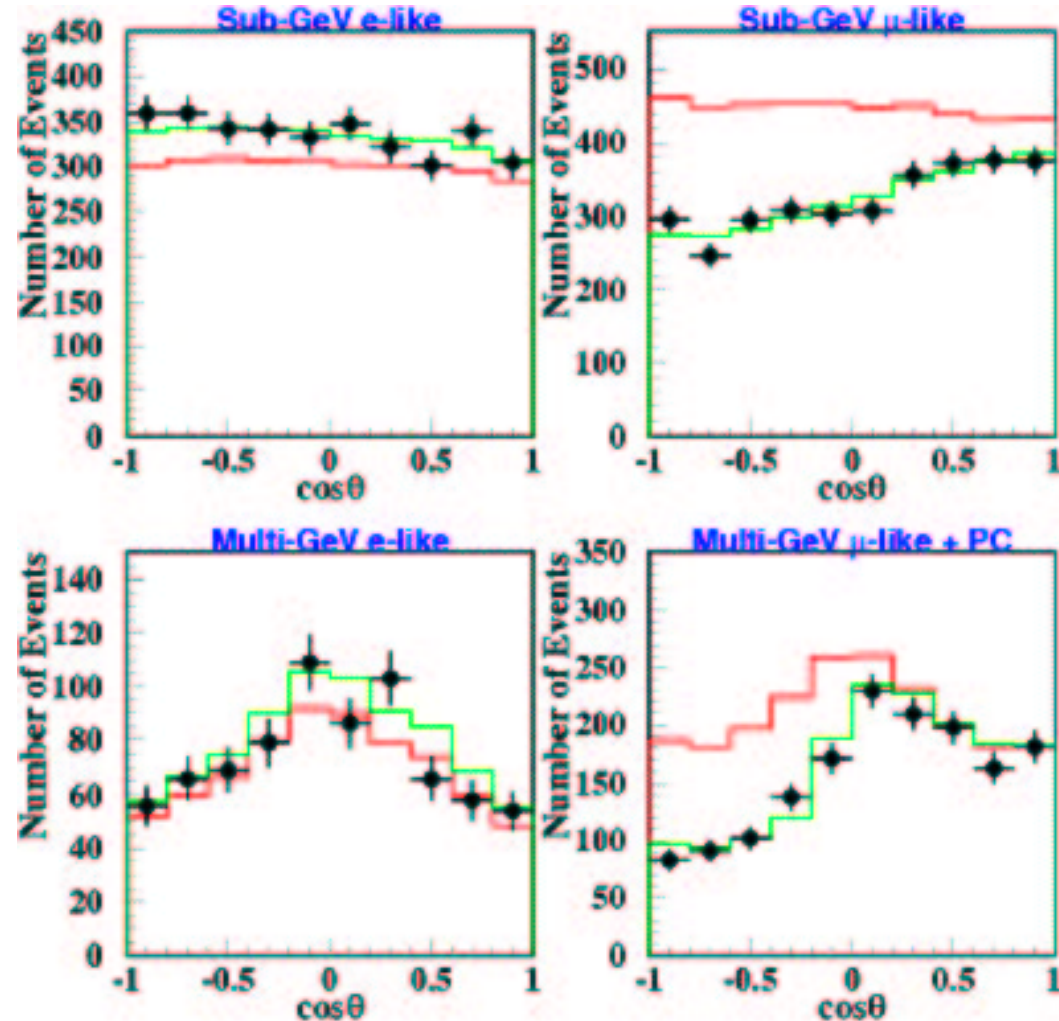
Zgodnie z oczekiwaniami **tyle samo** neutrin **elektronowych** leci **do dołu** ($\cos\theta > 0$) i **do góry** ($\cos\theta < 0$).

Neutrino mionowych **mniej** niż oczekujemy (**czerwona linia**) !

Wyraźnie **mniej** ν_μ lecących **od dołu** niż z góry !

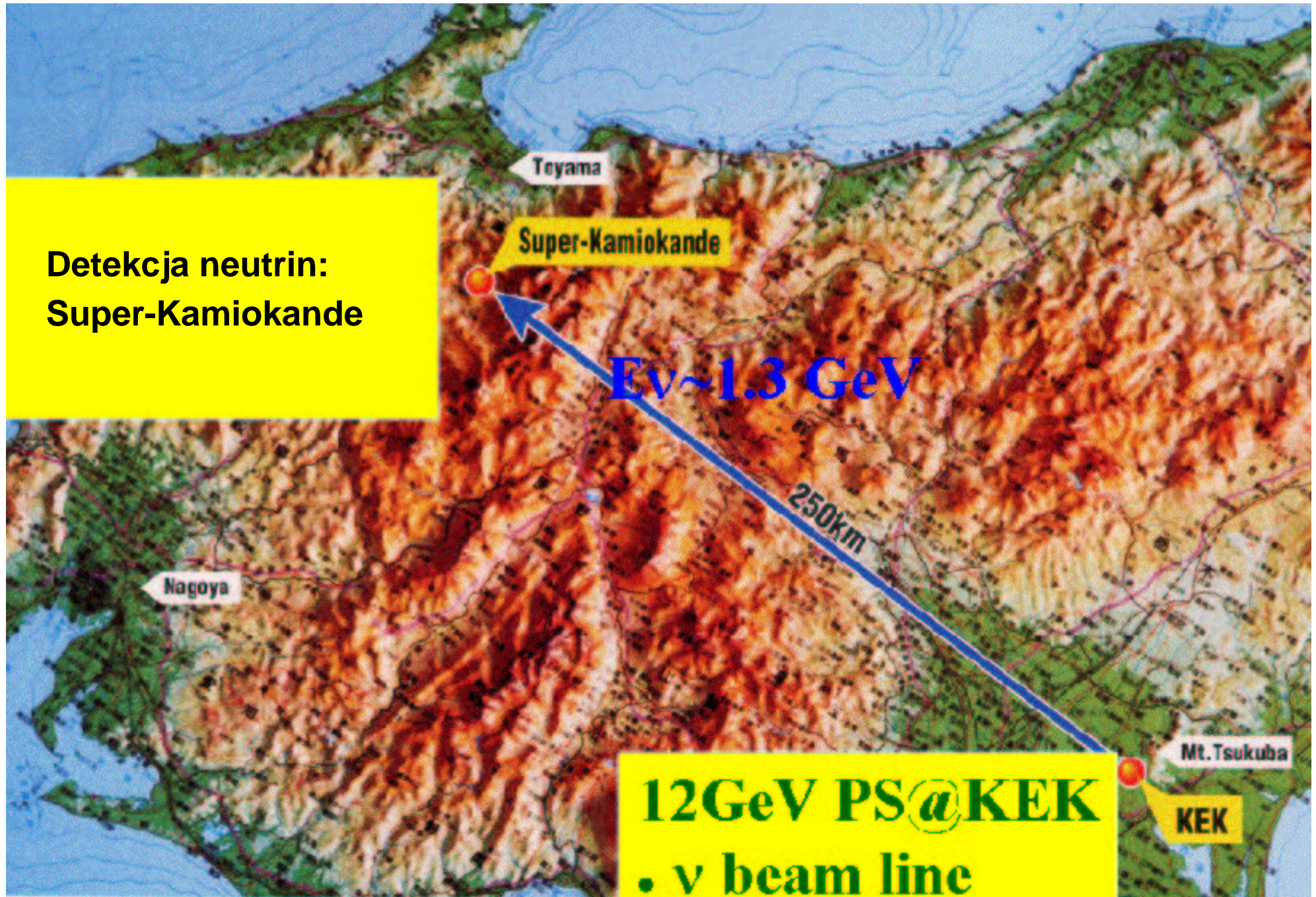
Czy neutrino mionowe mogą “znikać” przechodząc przez Ziemię ?

2003



zielona linia - dopasowanie modelu oscylacji

"Znikanie" neutrin mionowych potwierdzone w eksperymencie "z długą bazą" K2K



Oscylacje neutrin

Stany fizyczne neutrin są **mieszkankami** stanów o ustalonym **zapachu**.

Prowadzi to do **oscylacji neutrin**, które zostały dokładnie zmierzone w dwóch "sektorach":

- neutrina **atmosferyczne** + K2K

$$\nu_\mu \leftrightarrow \nu_\tau: \quad \Delta m_{\mu\tau}^2 \sim 0.002 \text{ eV}^2$$

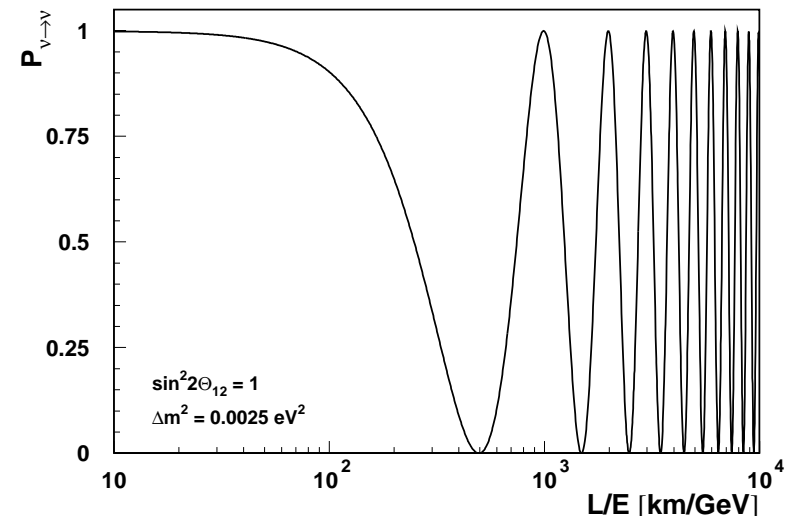
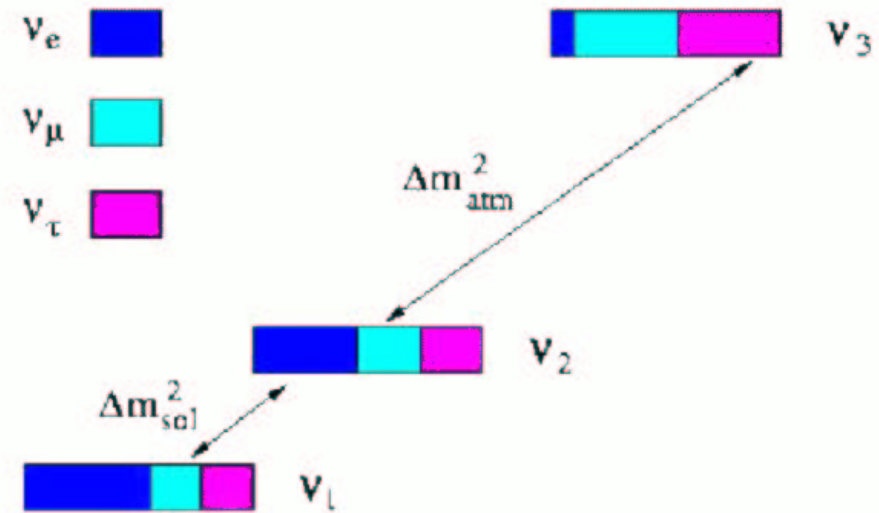
- neutrina **słoneczne** + KamLAND

$$\nu_e \leftrightarrow \nu_\mu (?): \quad \Delta m_{e\mu}^2 \sim 0.00006 \text{ eV}^2$$

Prawdopodobieństwo obserwacji neutrina tego samego rodzaju w funkcji stosunku odległości do energii neutrina

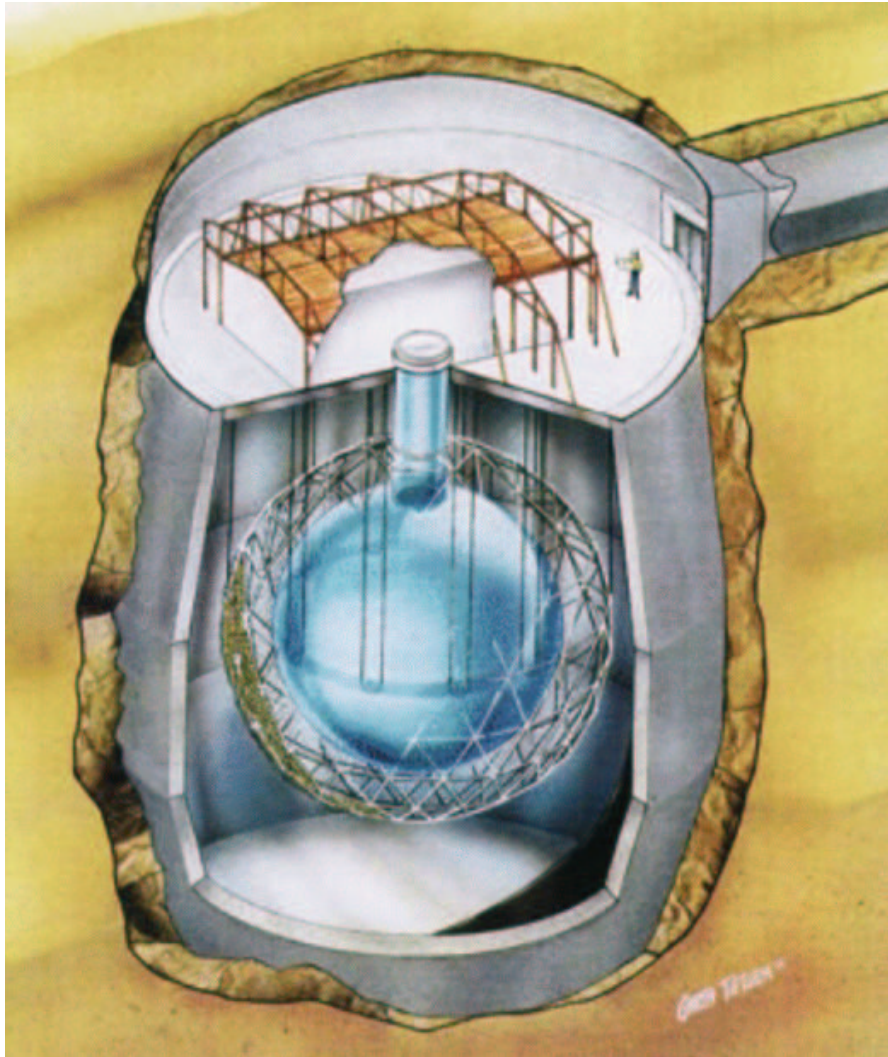
dla parametrów odpowiadających oscylacji neutrin atmosferycznych

Widmo mas (jedna z możliwości):



SNO

Eksperyment SNO (Sudbury Neutrino Observatory)

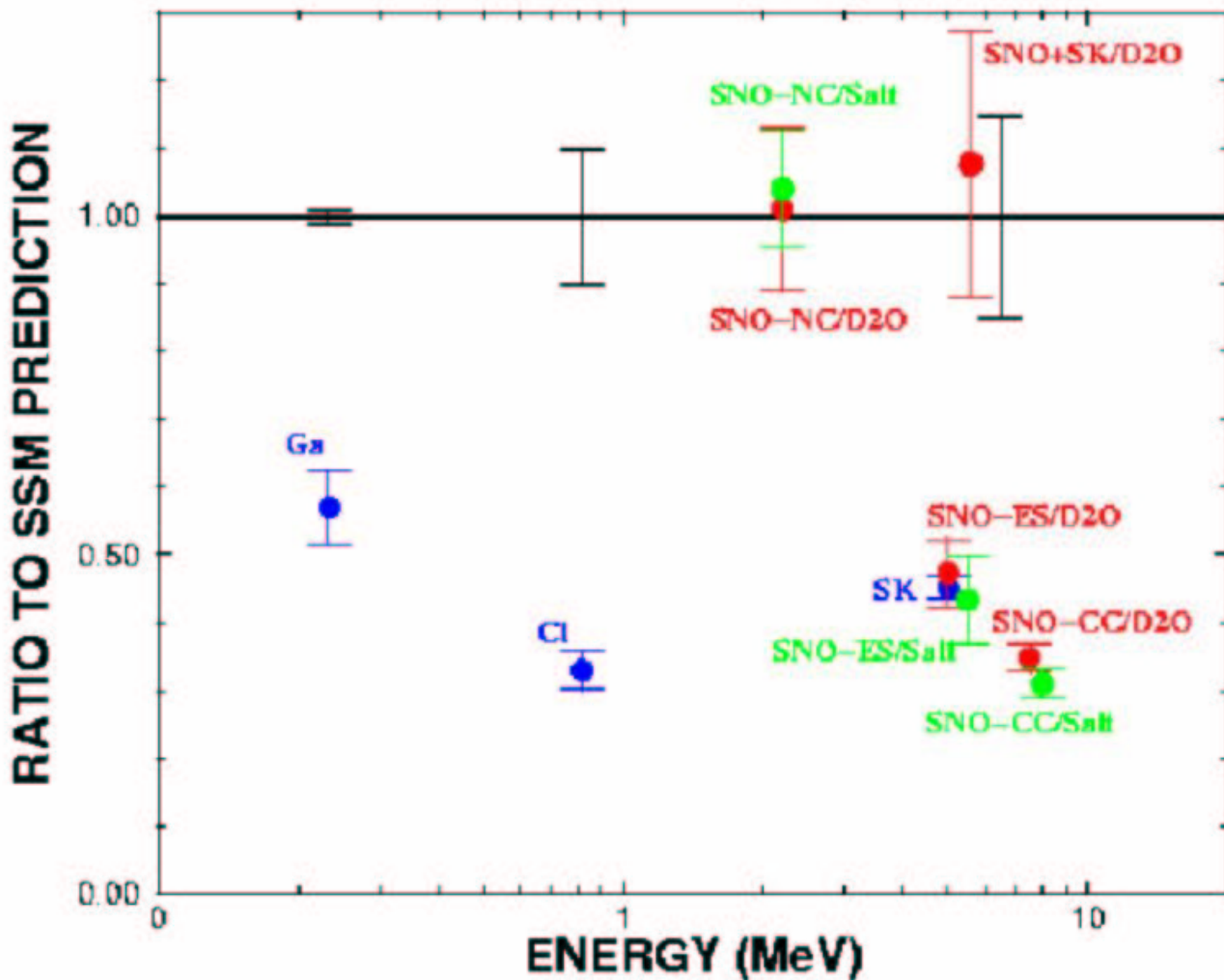


- ogromny zbiornik wypełniony 7000 t wody (H_2O)
- w środku kula wypełniona 1000 t ciężkiej wody (D_2O)
- promieniowanie Czerenkowa mierzone przez ok. 9500 fotopowielaczy.
- całość umieszczona na głębokości ponad 2000 m

Dzięki wykorzystaniu ciężkiej wody detektor jest czuły na wszystkie rodzaje neutrin !

SNO

Porównanie wyników



Całkowity strumień neutrin w dobrej zgodności z SSM.

neutrina elektronowe ~40%

Bardzo dobra zgodność z poprzednimi wynikami.

pozostałe ulegają "przemianie" w neutrina mionowe i taonowe

Grupa warszawska

10 osób (IFD + IPJ) bliska współpraca z innymi ośrodkami
w kraju: Katowice, Kraków Wrocław

Udział w eksperymentach Super-Kamiokande i K2K
Przygotowywanie eksperymentów Icarus i Minos

**Super-Kamiokande
K2K**

kalibracja i obsługa wodnego detektora czerenkowskiego w KEK

Icarus

**budowa komór wielodrutowych,
programy rekonstrukcji torów cząstek**

**Prowadzone
analizy**

Poszukiwanie oscylacji neutrin elektronowych w mionowe
Identyfikacja elektronów w detektorach

- wodnych czerenkowskich (SK i K2K)**
- detektorze TPC (Icarus)**

Poszukiwanie neutrin taonowych
Rekonstrukcja mezonów neutralnych

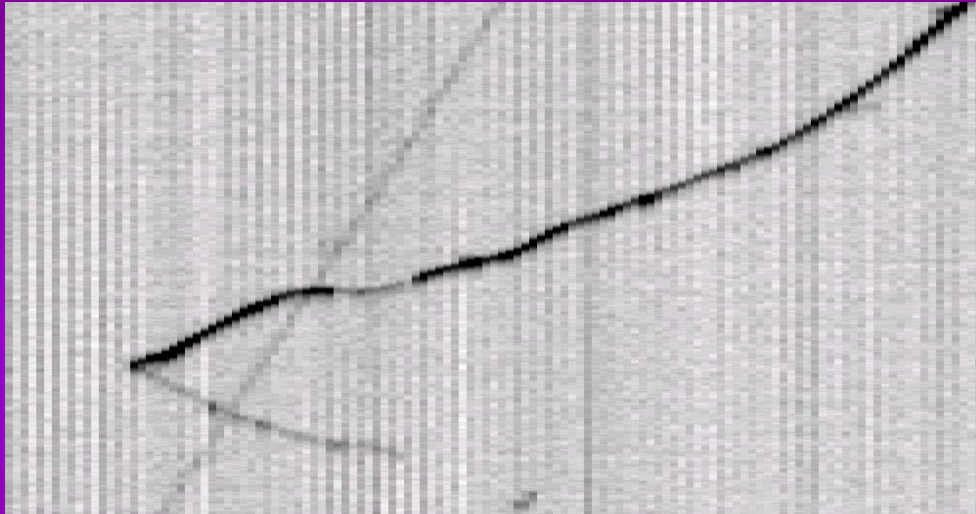
Detektor ICARUS „T600”

Nowatorska technika: TPC (time projection chamber) z ciekłym argonem
-umożliwia budowę dużych detektorów ze zdolnością rozdzielczą komór
pęcherzykowych.

- Elektrony powstałe w wyniku jonizacji dryfują w polu elek. 500 V/cm.
- Rejestrowane są przez komory wielodrutowe (odl. między drutami 3mm)
- Argon musi być bardzo czysty, żeby droga dryfu była długa
-



Rejestracja zdarzeń w detektorze TPC z ciekłym argonem



Detektor ICARUS z 600 tonami ciekłego Ar będzie wkrótce zainstalowany w podziemnym laboratorium w Gran Sasso (Włochy)

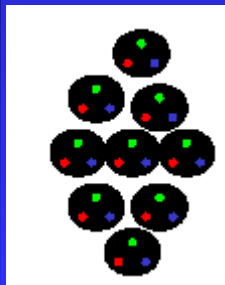
Będzie służył do:

- badania oscylacji neutrin wyprodukowanych w CERNie (730 km) w szczególności obserwacji neutrin ν_{τ} powstałych z oscylacji ν_{μ}
- poszukiwania rozpadu protonu
- rejestracji neutrin z supernowych itd...

Zderzenia relatywistycznych jonów

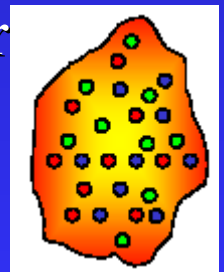
Eksperyment NA49

Ewa Skrzypczak, Katarzyna Grebieszko – IFD
UW



Helena Białkowska, Bożena Boimska, Wiktor
Trubnikow -

Instytut Problemów Jądrowych im. Andrzeja
Sołtana



- Relatywistyczne jądra całkowicie odarte z elektronów
- Wysokie energie wiązek:
ponad sto GeV/N na tarczach stacjonarnych (CERN)
do stu GeV/N dla wiązek przeciwbieżnych (RHIC)
- Wysokie gęstości:
rzędu kilku GeV/fm³ w zderzeniach centralnych

Ocena gęstości energii

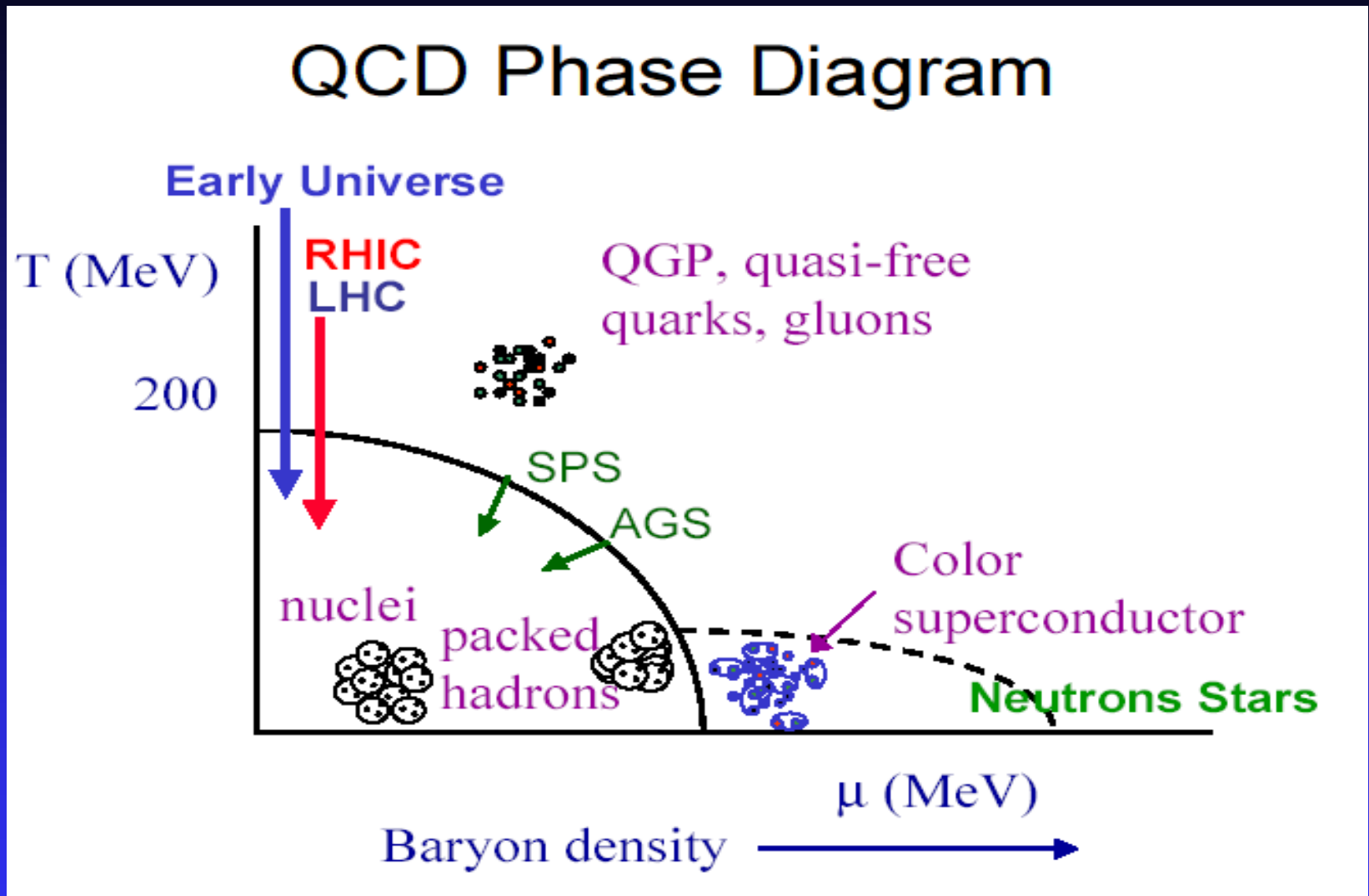
Z krotkości – oraz widm pędu poprzecznego

CERN SPS ~ 3 GeV/fm³

RHIC $\sim 5-8$ GeV/fm³

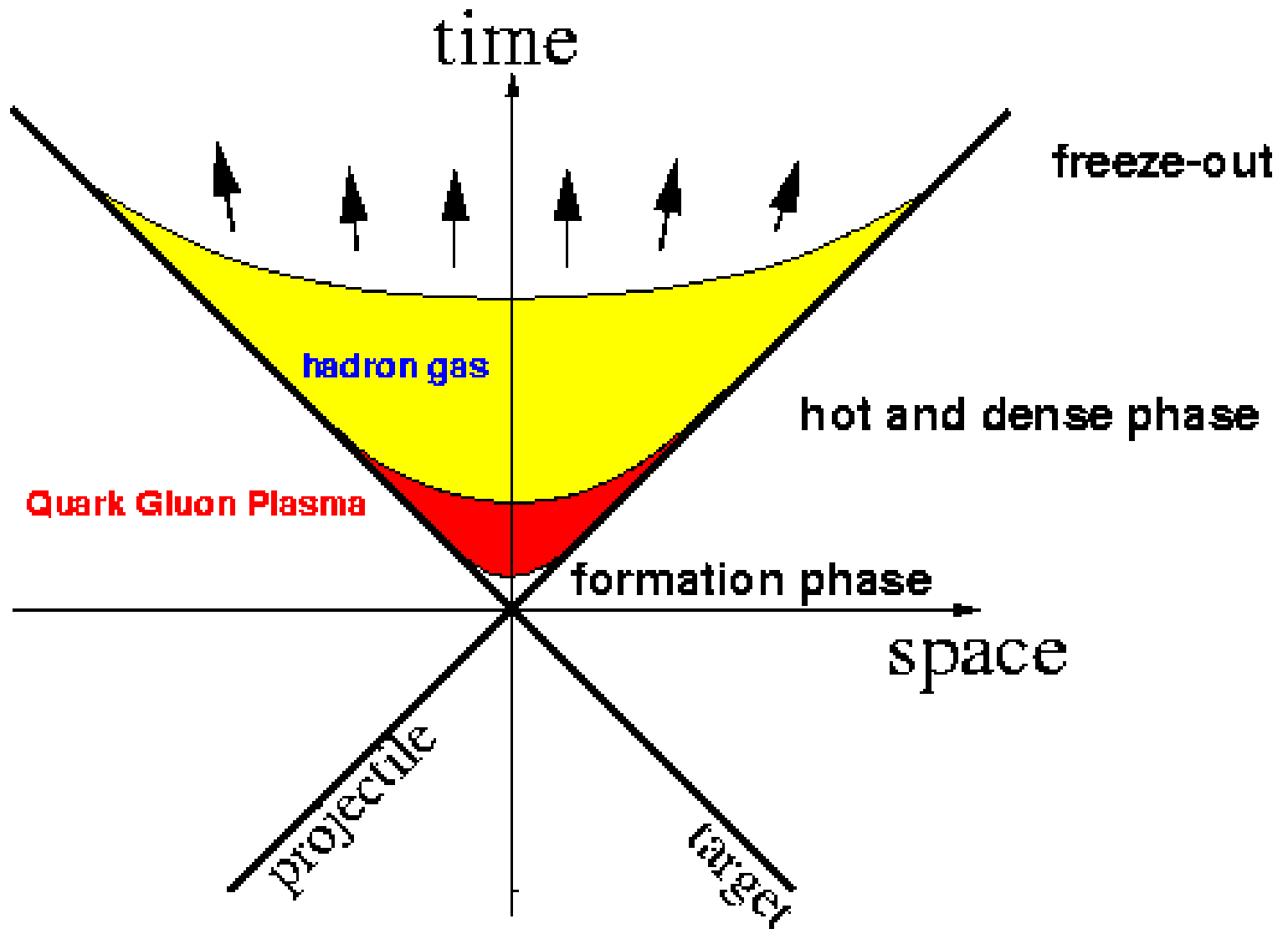
dla porównania proton ~ 0.5 GeV/fm³

Po co nam to:

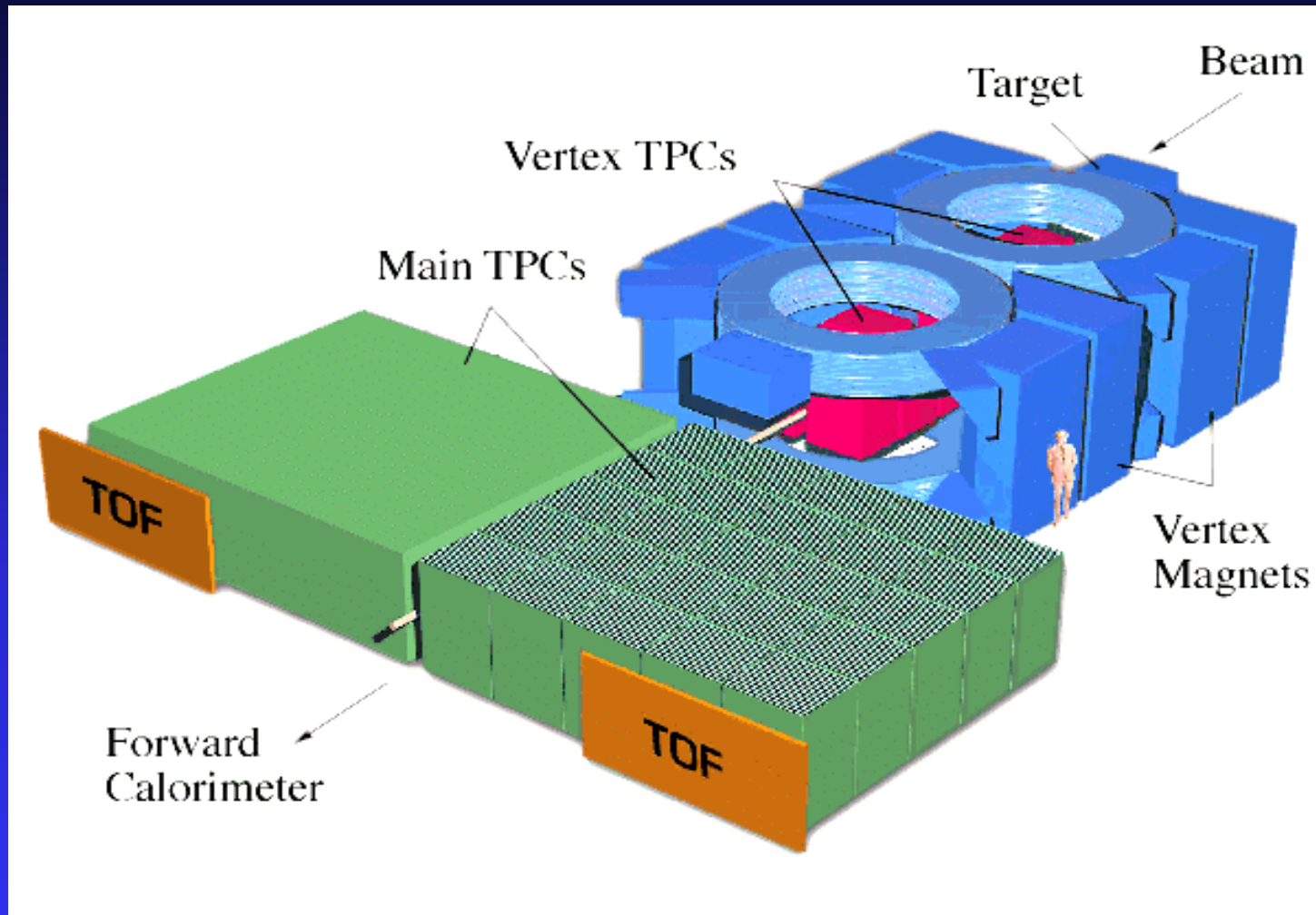


Oceny gęstości `krytycznej' (dla przejścia fazowego) to powyżej $2 - 3 \text{ GeV}/\text{fm}^3$

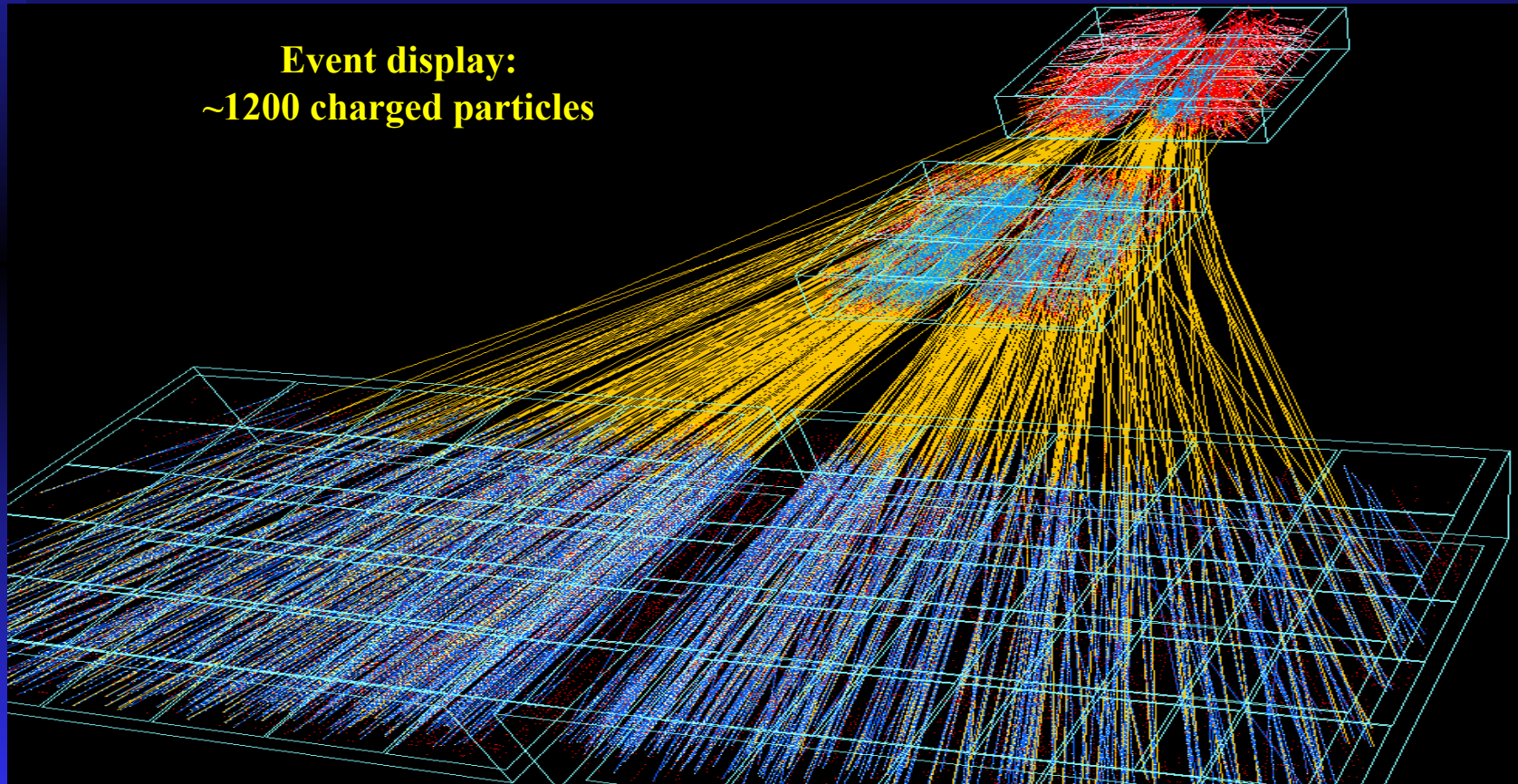
Schemat zderzenia:



Układ eksperymentalny NA49



Tak wygląda rekonstruowany przypadek zderzenia:

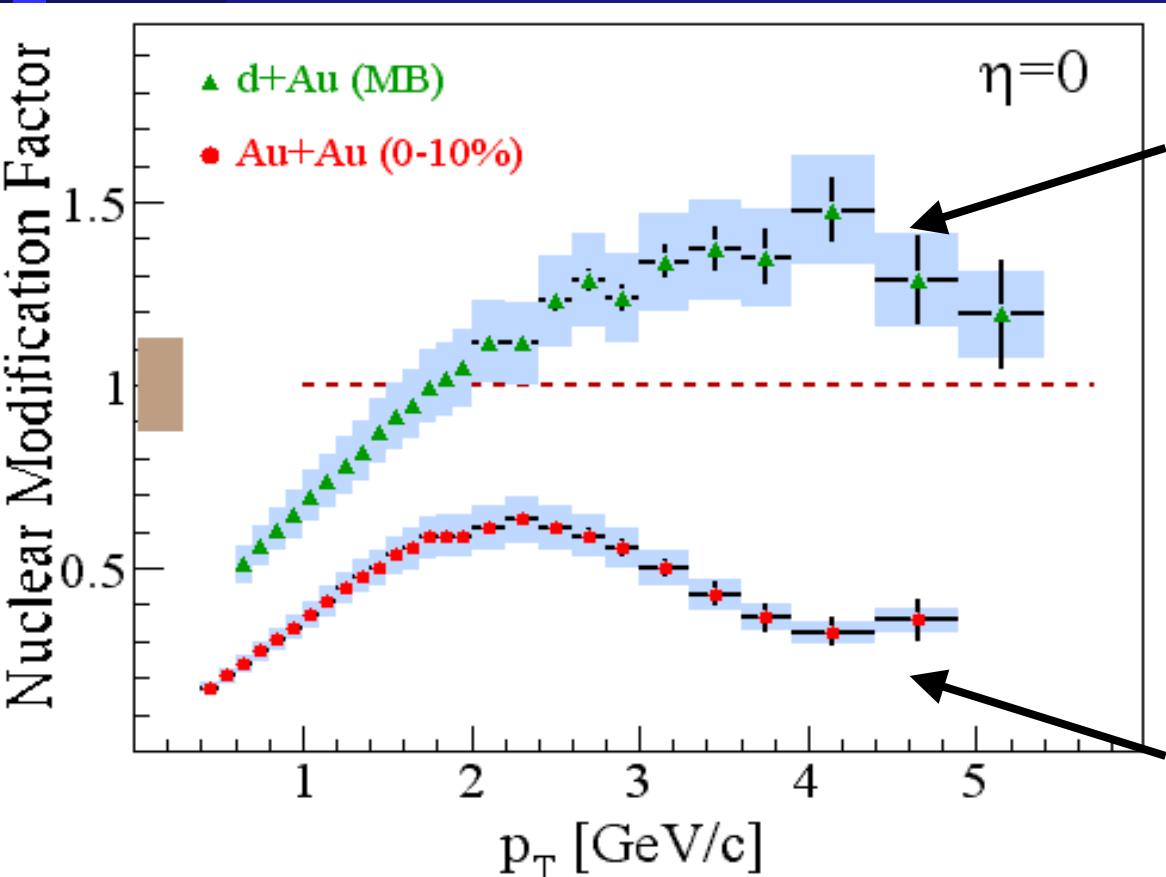


Co mierzymy:

- Krotkości produkowanych cząstek (głównie hadrony)
 - Skład zapachowy produkowanych hadronów: niedziwne, dziwne, powabne
 - Gęstość barionów netto
 - Widma pędów tych cząstek
 - Częstość produkcji leptonów
 - Korelacje
- + zależność wszystkich pomiarów od energii, centralności zderzenia, rodzaju jądra

Jeden z najciekawszych wyników z RHIC:
jety w gęstym gorącym ośrodku:

$[\sigma \text{ zmierzone}]/[\sigma \text{ oczekiwane}]$
jeśli skalowanie z liczbą zderzeń



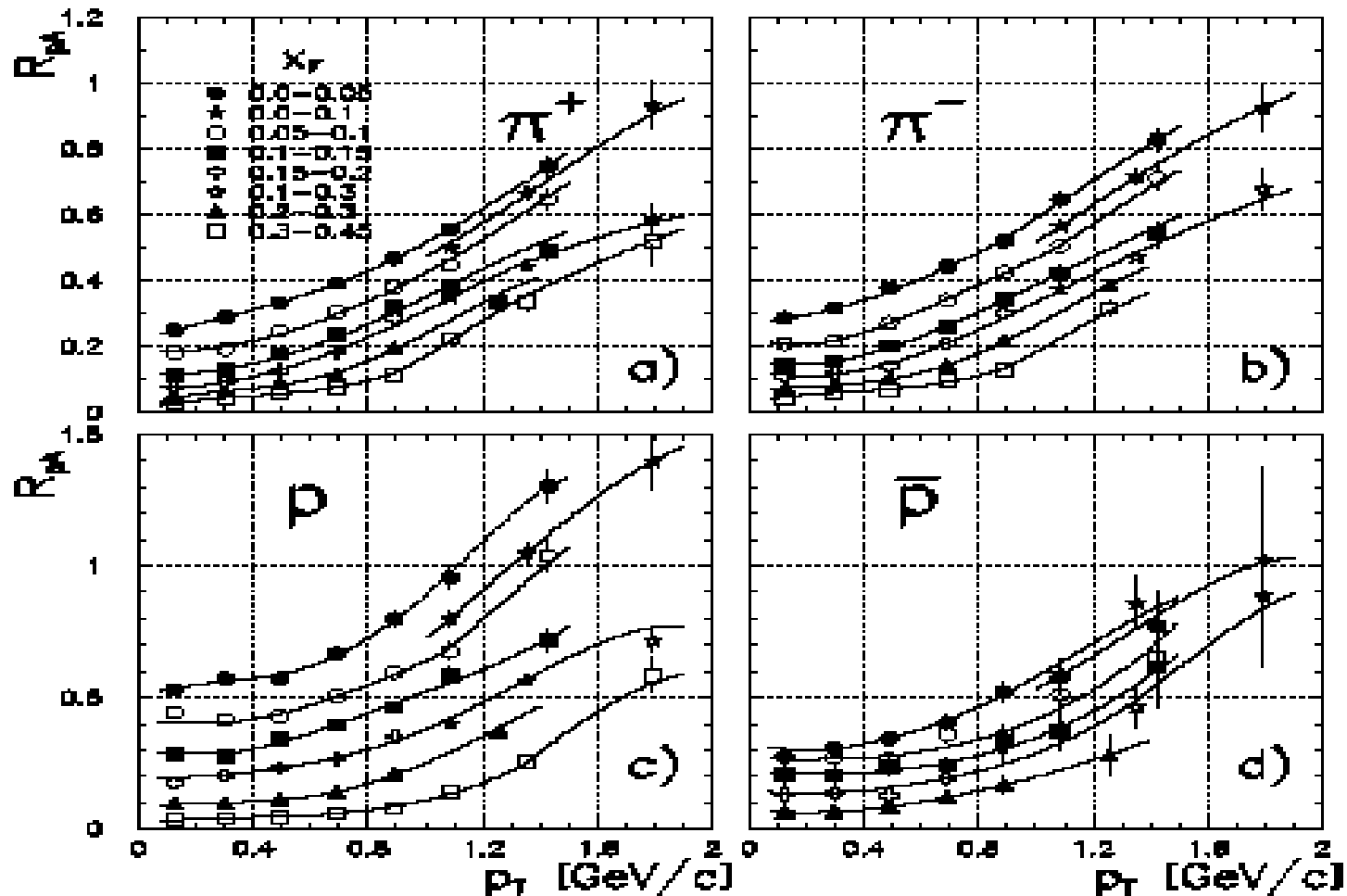
- dAu: brak tłumienia
- Linia przerywana – skalowanie z liczbą zderzeń
- AuAu: tłumienie

Co robimy w Warszawie:

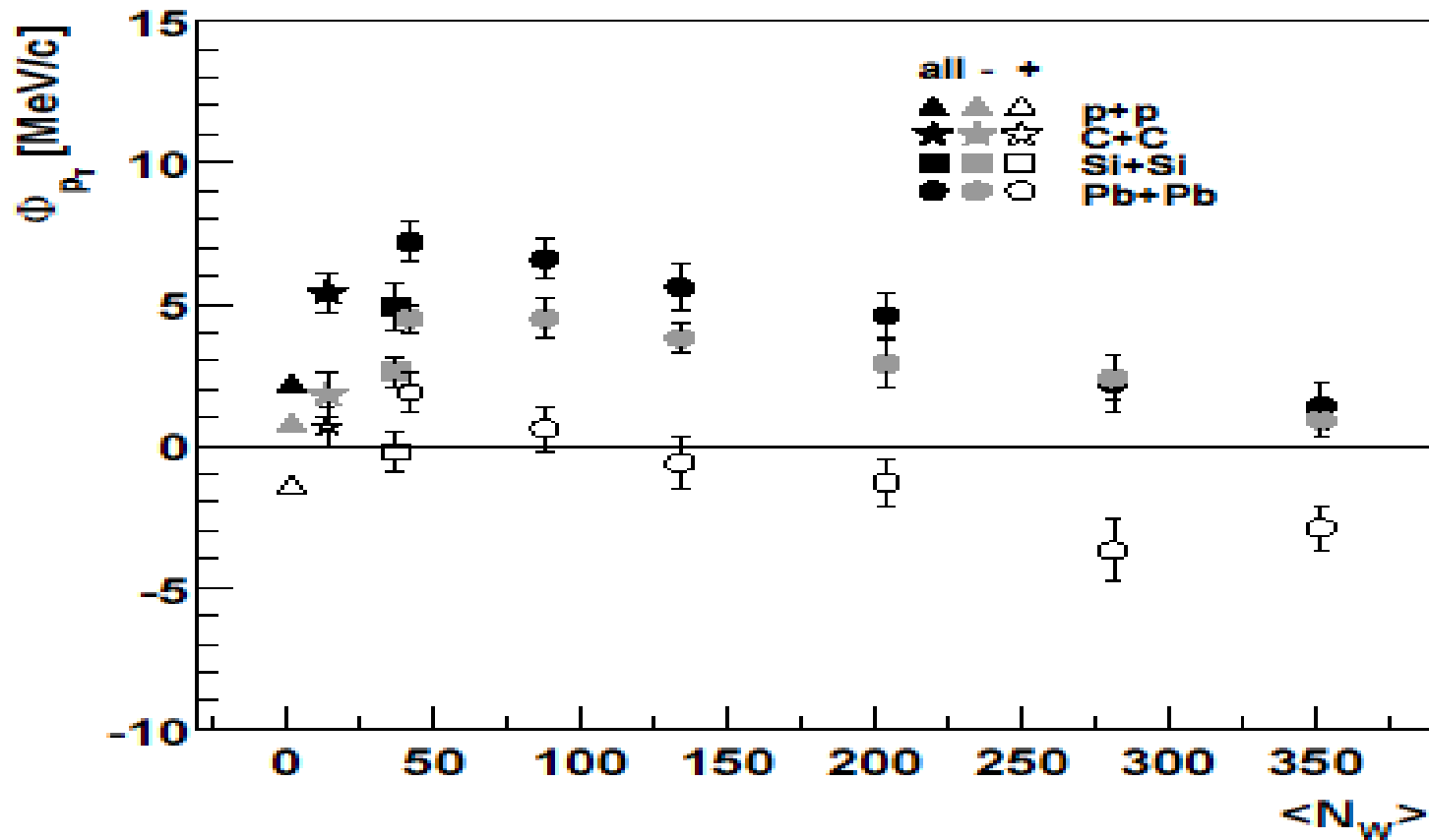
Zbieranie danych w eksperymencie NA49 jest już zakończone ale dostępne są bogate zasoby zebranych danych czekające na analizę:

- Badanie fluktuacji w centralnych zderzeniach różnych jąder (doktorat KG na ukończeniu)
- Badanie widm pędu poprzecznego dla mezonów i barionów w zderzeniach hadron-jądro (doktorat BB w maju 2004) –przygotowanie publikacji
- Badanie nie-centralnych zderzeń Pb-Pb (doktorat WT, w trakcie pracy)

Badanie 'nuclear modification factor' dla p-Pb: żeby zobaczyć jak 'dochodzi się' do tłumienia jetów):



Badanie fluktuacji w pędzie poprzecznym w zależności od centralności:



Eksperyment

π of the Sky

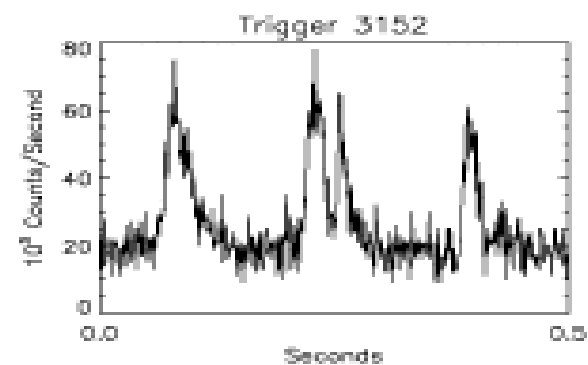
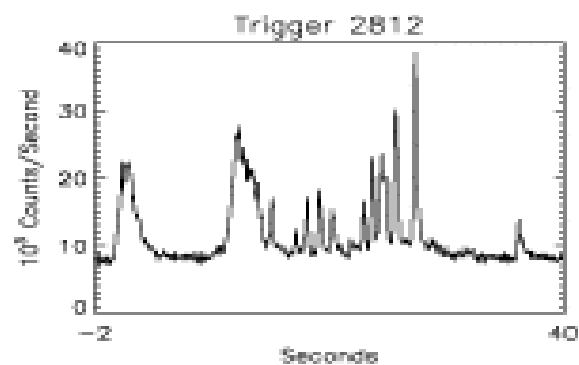
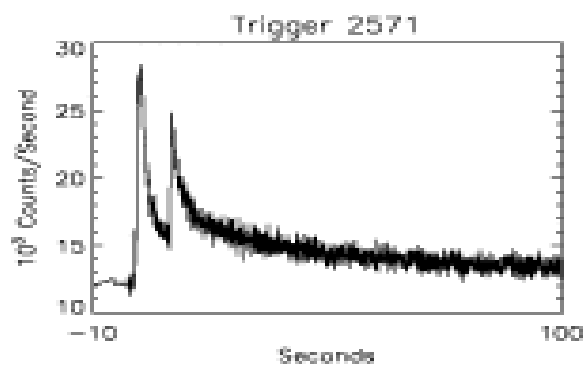
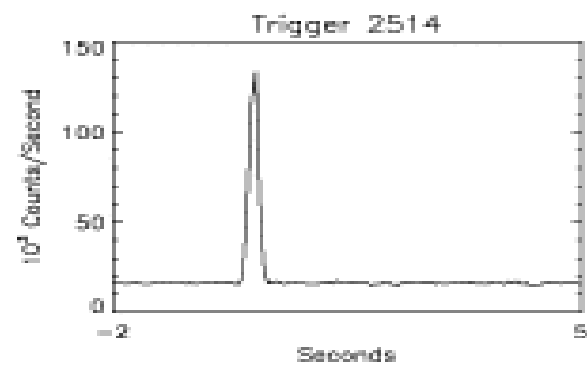
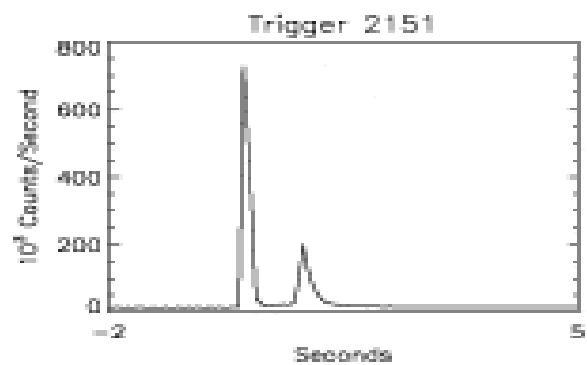
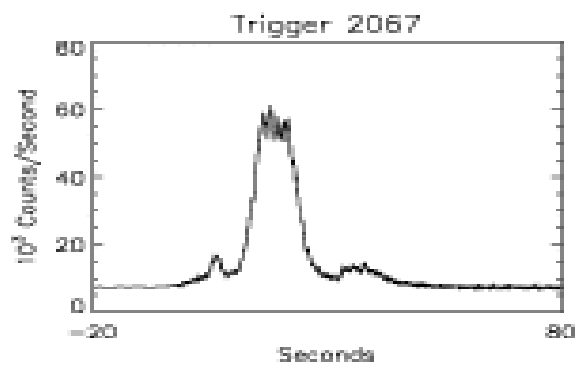
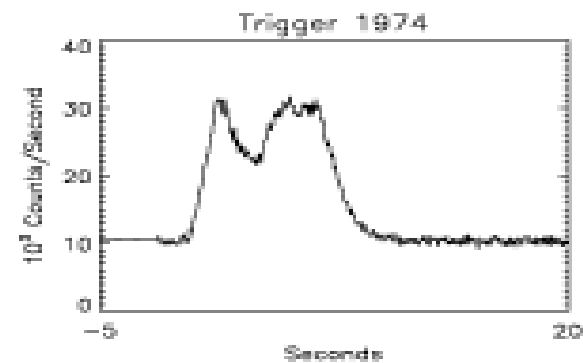
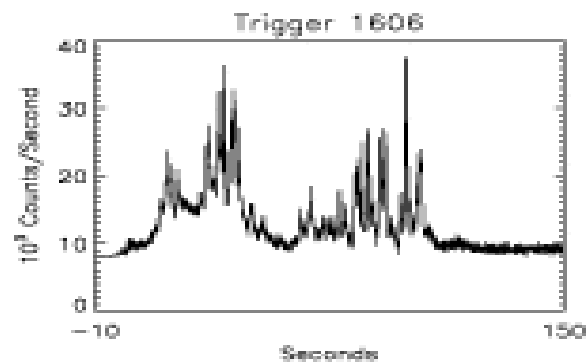
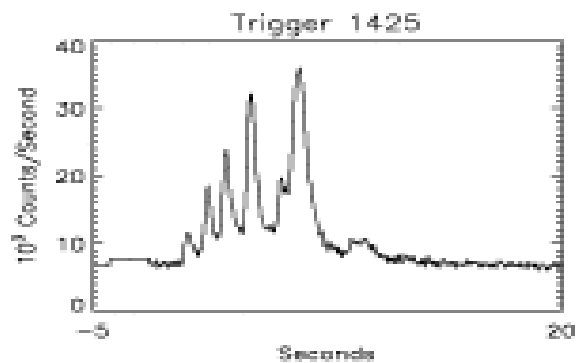
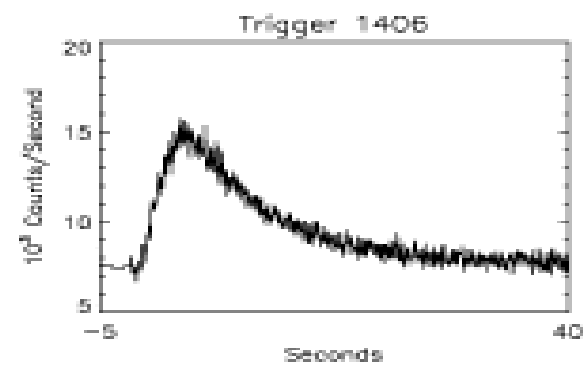
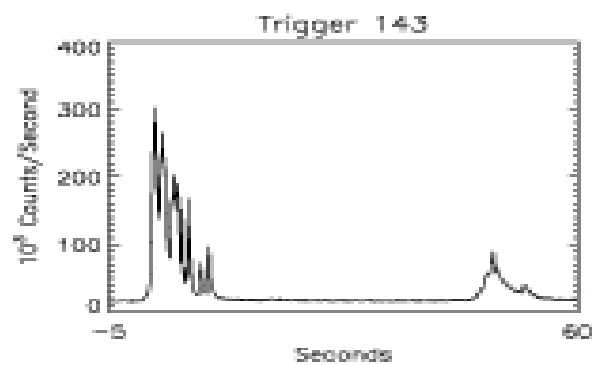
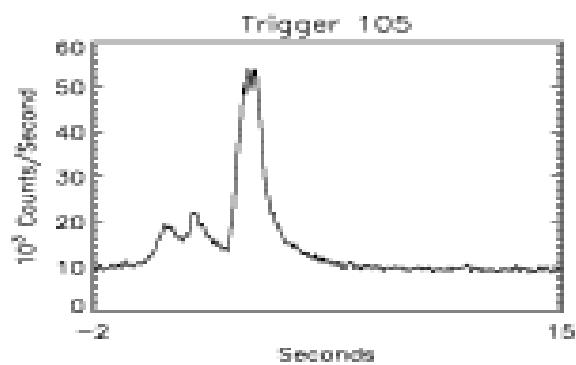
Poszukiwanie błysków pozagalaktycznych

grb.fuw.edu.pl

Błyski gamma

ang. Gamma Ray Bursts (GRB)

- krótkie (0.1-100s) pulsy promieni gamma z punktowych źródeł na niebie
- odkryte w 1967r. przez satelity szpiegowskie USA
- “świecą” jaśniej niż cała reszta nieba
- największe obserwowane kataklizmy
 10^{51} erg = 10^{44} J = 0.001 $M_{\text{Słońca}} c^2$
- pochodzą spoza Galaktyki
- częstość: ~3 dziennie (obecnie rejestrowane ~3/miesiąc)



Pochodzenie błysków gamma

Najgorętszy temat astrofizyki:

- **~500 prac rocznie**

Hipotezy:

- zderzenie czarnych dziur lub gwiazd neutronowych
- kolaps rotującej gwiazdy neutronowej
- powstanie lub kolaps gwiazdy kwarkowej
- nowa fizyka?

Gwiazda neutronowa zapadająca się do czarnej dziury może przejść przez egzotyczne stany materii

- plazma kwarkowo-gluonowa?
- nowe stany stabilne?

Optyczne odpowiedniki błysków gamma

Aby zrozumieć naturę GRB należy obserwować całe widmo

Bardzo ważna część optyczna: precyzyjna pozycja, pomiar z

Na ok. 3000 GRB zarejestrowanych przez satelity
jedynie 57 zaobserwowano optycznie

- słaba zdolność rozdzielcza detektorów gamma
- małe pole widzenia i duża bezwładność wielkich teleskopów
- szybki spadek jasności źródła

Prawie wszystkie obserwacje wiele godzin po błysku

- bardzo słabe obiekty $>20^m$

Skala wielkości gwiazdowych *magnitudo*:

$$m_1 - m_2 = 2.5 \log_{10} (I_2/I_1)$$

- najjaśniejsze gwiazdy: ok. -1^m
- najśłabsze, widoczne gołym okiem: ok. 5^m

Projekt “ π of the Sky”

Rozwiązania zaczerpnięte z eksperymentów fizyki cząstek

- Stałe monitorowanie ~całego nieba
- Duży strumień danych
- Analiza w czasie rzeczywistym (on-line)
- Wielostopniowy system selekcji (tryger)

Realizacja

- Faza 1 - dwie kamery na ruchomym montażu ($33^\circ \times 33^\circ$)
- Faza 2 - dwa moduły po 16 nieruchomych kamer ($>\pi$ sterad)
- Kamery CCD, każda 2032×2032 pikseli
- obiektywy fotograficzne $f=50\text{mm}$, $f/2$
- rozmiar piksla $\sim 15\mu\text{m}$, pokrycie kątowe $1'$

Detektor na stanowisku testowym w Polsce

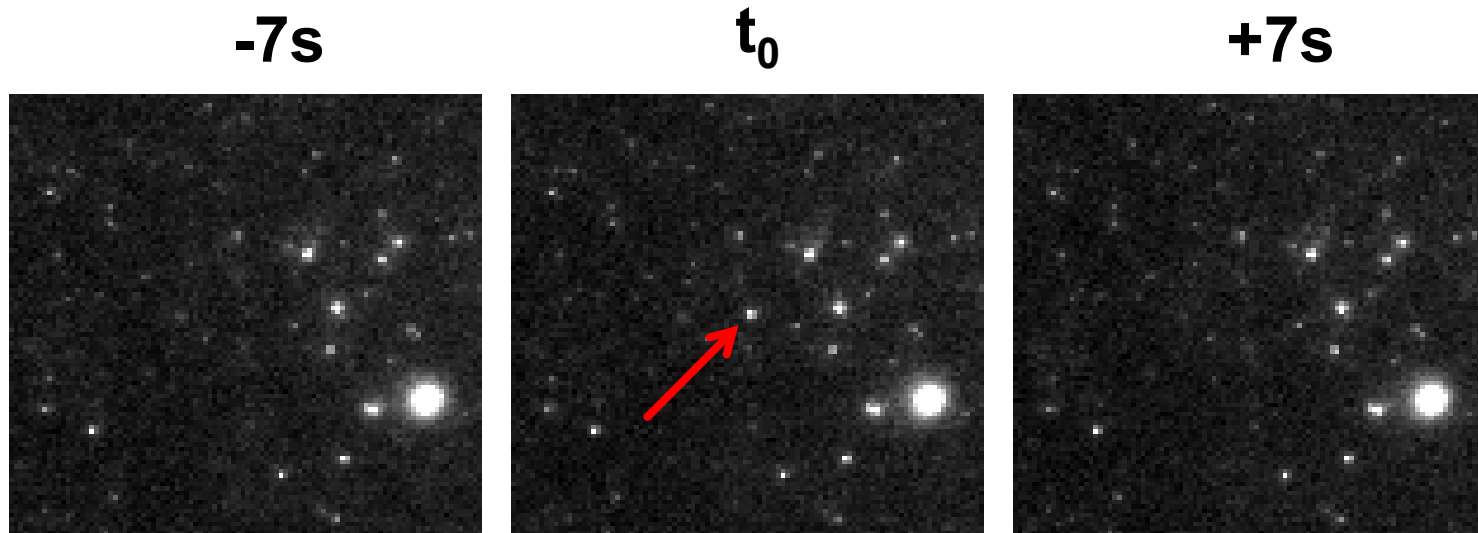


Płaskowyż Las Campanas w Chile



Pierwsze wyniki:

Optical flash $\sim 9^m$ detected at 2004.07.04 4:01:19 UT
RA 17h 40m 39s, Dec $-11^\circ 13'$ (J2000) ± 2 arcmin



**Aparatura działa od 5 miesięcy -
na analizę czeka już dużo zebranych danych**

Rozpoczęły się już przygotowania do realizacji drugiej fazy projektu

We współpracy z Zakładem Spektroskopii Jądrowej prowadzimy

Badanie promieniotwórczości dwuprotonowej

**Odkryta w roku 2002 w ośrodku GSI w Darmstadt
przez grupę kierowana przez dr hab. Marka Pfutznera (ZSJ)**

**W Pracowni Detektorów ZCzOF
prowadzone są prace nad projektem
specjalnej komory gazowej
umożliwiającej pełną, trójwymiarową
rekonstrukcję przypadków.**

**Dwie współrzędne: odczyt optyczny
(kamera CCD)**

Trzecia składowa: czas dryfu elektronów.

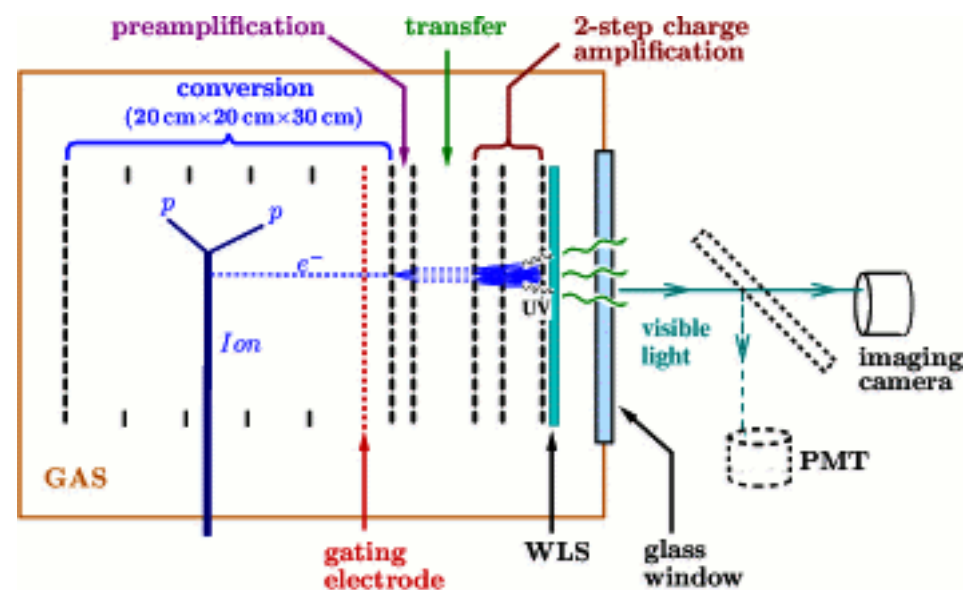


Fig. 1. A scheme of the Optical Time Projection Chamber.

Zakład Cząstek Elementarnych IPJ

serdecznie zaprasza wszystkich studentów na

Seminarium Sprawozdawcze

7 XII 2004 od 9:00 w sali 22 (IPJ)

Semestr letni 2004/2005:

Elementy fizyki cząstek elementarnych

wykład, 2 godziny w tygodniu

Przybliżenie **najważniejszych**, **najciekawszych** i **najnowszych**:

- metod pomiarowych
- eksperymentów
- wyników doświadczalnych
- modeli teoretycznych

fizyki cząstek elementarnych

Serdecznie zapraszam

A.F.Żarnecki

