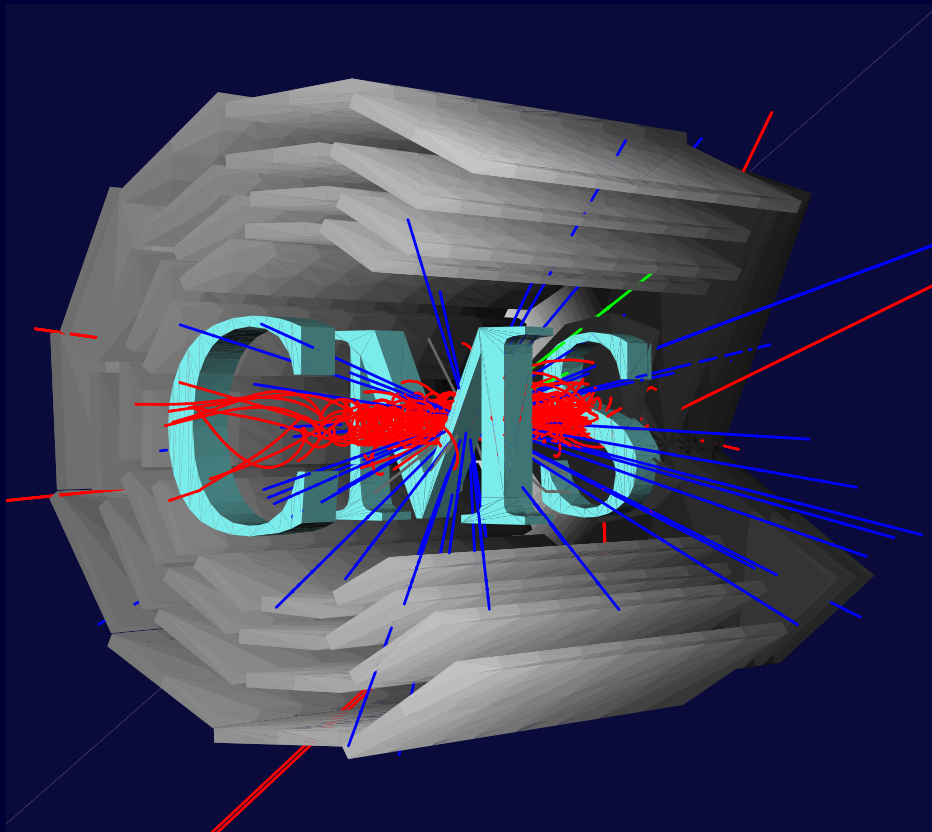


Fizyka CMS

Czego My Szukamy?

G.Wrochna



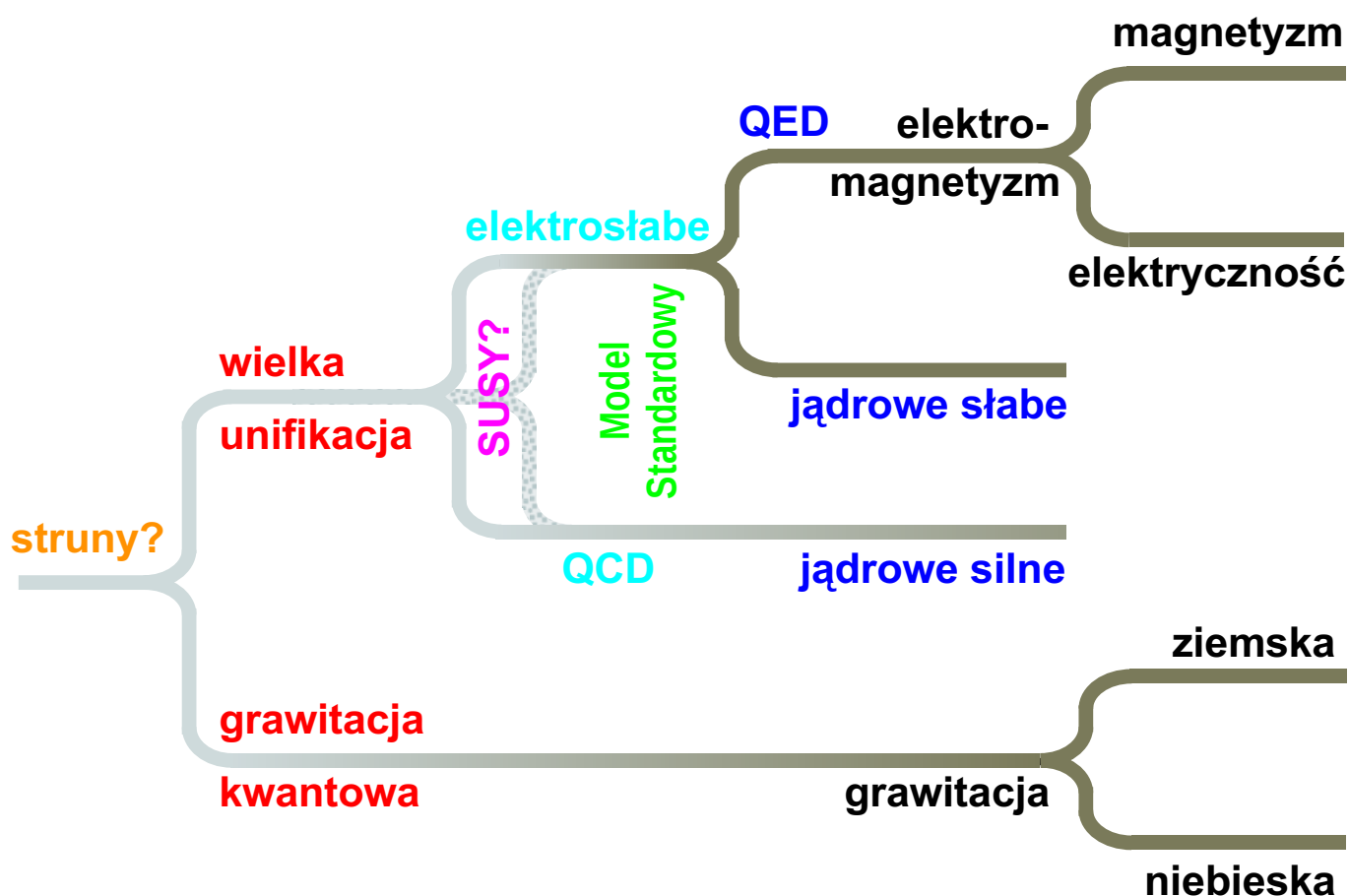
- Krótka historia fizyki cząstek
- Sytuacja obecna
- Narzędzia badawcze
- Fizyka CMS
 - higgs Modelu Standardowego
 - łamanie CP i fizyka kwarku b
 - supersymetria: higgs i supercząstki

[illegible]

300000 lat



10⁻¹⁰ m
10 eV



QED - elektrodynamika kwantowa
QCD - chromodynamika kwantowa

Krótką historia fizyki



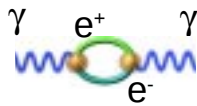
10^{-10}m

$<10\text{eV}$

$3 \cdot 10^7 \text{ lat}$

1900 ...

mechanika kwantowa,
fizyka atomowa



1940-50

elektrodynamika
kwantowa



10^{-15}m

MeV-GeV

3 min.

1950-65

jądra, hadrony,
teorie pola



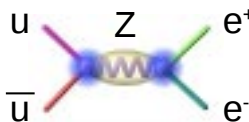
10^{-16}m

$>>\text{GeV}$

10^{-6}s

1965-75

kwarki, teorie pola
z cechowaniem



10^{-18}m

100 GeV

10^{-10}s

1970-83 SPS

QCD, unifikacja
elektrosłaba

3 leptony	ν_e	ν_μ	ν_τ
	e	μ	τ
3 kwarki	u	c	t
	d	s	b
x3 kolory	R	G	B

1990 LEP

3 rodziny fermionów

1995 Tevatron

kwark top

pochodzenie
mas

10^{-19}m

10^3GeV

10^{-12}s

2005 LHC

higgs? SUSY?

rozpad
protonu?

10^{-32}m

10^{16}GeV

10^{-32}s

?? eksp. podziemne?

Wielka Unifikacja?

początek
Wszechświata

10^{-35}m

10^{19}GeV

10^{-43}s

?? ??

gravitacja kwantowa?
superstruny?

Sytuacja obecna

Model Standardowy (SM) dobrze opisuje oddziaływania elektroslabe i silne. Dotychczas nie zaobserwowano żadnych znaczących odchyleń od jego przewidywań.

Ma jednak wady:

- ~20 wolnych parametrów
- masy cząstek generowane są przez mechanizm Higgsa nie wyjaśniony wewnątrz SM
- cząstka Higgsa nie została (jeszcze?) odkryta
- **SM nie wyjaśnia też**
 - istnienia trzech pokoleń fermionów
 - mieszania pomiędzy pokoleniami

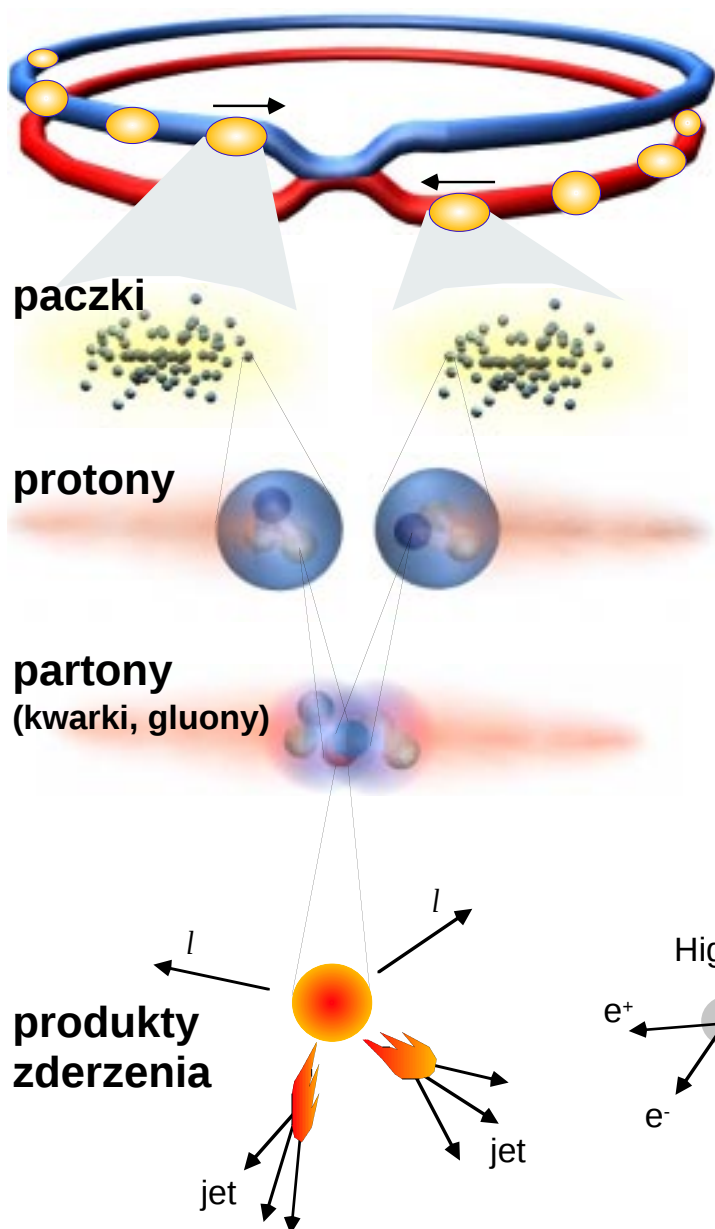
Strategia na najbliższą przyszłość:

- znaleźć cząstkę Higgsa lub wykluczyć jej istnienie w obszarze dopuszczalnym przez teorię (~1 TeV)
- poszukiwać odchyleń od Modelu Standardowego
- poszukiwać nowych cząstek (~50 GeV — ~5 TeV)

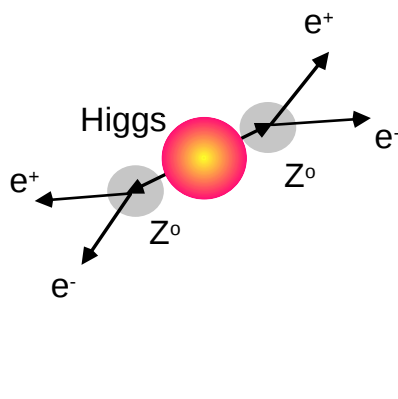
Potrzebne narzędzia

- **akcelerator**
 - duża energia
 - szeroki zakres energii
 - duża świetlność
- **detektory**
 - uniwersalność (e, γ , μ , dżety, brakująca energia)
 - granularność (duża liczba cząstek)
 - szybkość (duża świetlność)

Zderzenia proton-proton w LHC



energia	7+7 TeV
obwód	27 km
pole mag.	8.4 T
światłość	$10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
# paczek	2×2875
#p / paczka	10^{11}
przecięcia paczek:	
częstość	40 MHz
odstęp	25 ns
czyli	7.5 m



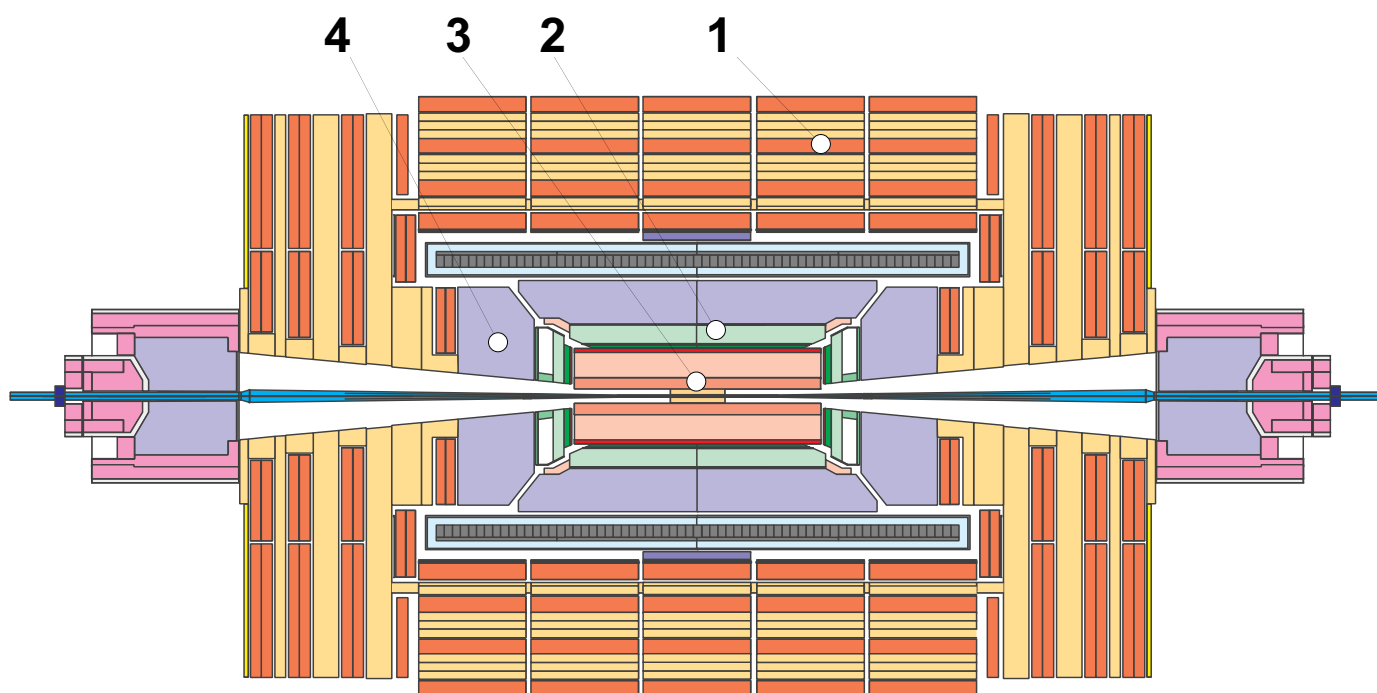
Przy nominalnej światłości w każdym przecięciu paczek zajdzie 10-20 zderzeń proton-proton.

Eksperyment CMS

Compact Muon Solenoid - to detektor przeznaczony do badania zderzeń proton-proton w akceleratorze LHC.

Podstawowe założenia projektowe:

1. **Bardzo dobry system mionowy**
– precyzja pomiaru, hermetyczność, redundancja
2. **Najlepszy możliwy kalorymetr elektromagnetyczny**
– zdolność rozdzielcza, jednorodność, granularność
3. **Wysokiej jakości detektor centralny**
– gęstość próbkowania, precyzja pomiaru
4. **Hermetyczny kalorymetr hadronowy**



Budowa detektora CMS

**SUPERCONDUCTING
COIL**

ECAL Scintillating PbWO_4
Crystals

CALORIMETERS

HCAL Plastic scintillator
copper
sandwich

IRON YOKE

TRACKER

Micro Strip Gas Chambers (MSGC)
Silicon Microstrips
Pixels

MUON BARREL

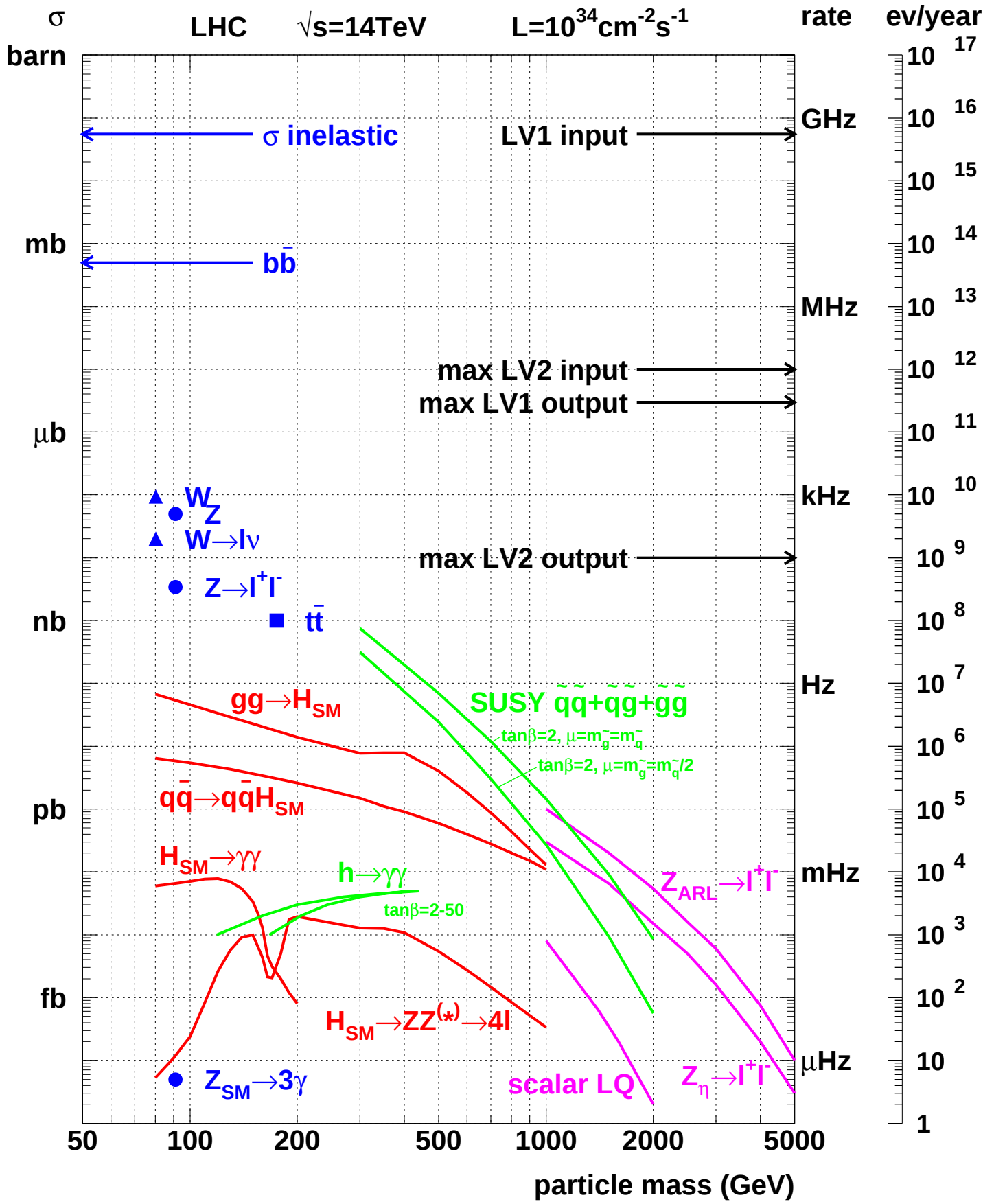
Drift Tube
Chambers (DT)

Resistive Plate
Chambers (RPC)

MUON ENDCAPS

Cathode Strip Chambers (CSC)
Resistive Plate Chambers (RPC)

Waga 12 500 ton
Średnica 15 m
Długość 22 m
Pole magn. 4 Tesle



Poszukiwanie higgsa

Model Standardowy opiera się na założeniu, że istnieje cząstka Higgsa, lżejsza niż ~ 1 TeV.

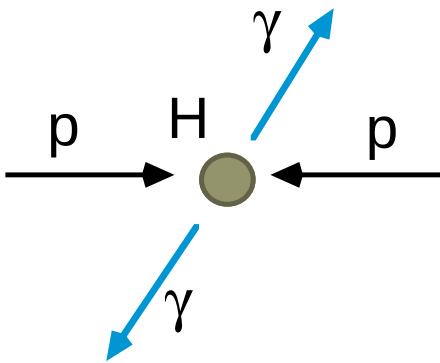
Eksperymentalnie wykluczono już $M_H < 77$ GeV.

Jeżeli higgs nie zostanie odkryty przy największej energii LEP (192 GeV), to do przeszukania pozostanie obszar $95 < M_H < 1000$ GeV.

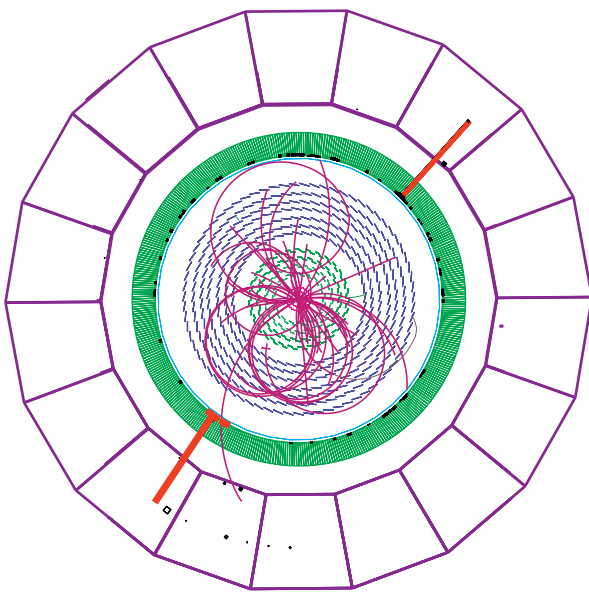
Optymalna strategia poszukiwania higgsa w LHC zależy od jego masy:

$80 < M_H < 140$ GeV	$H \rightarrow \gamma\gamma$
$130 < M_H < 700$ GeV	$H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4$ leptony
$500 < M_H < 1000$ GeV	$H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 2$ leptony + 2 dżety

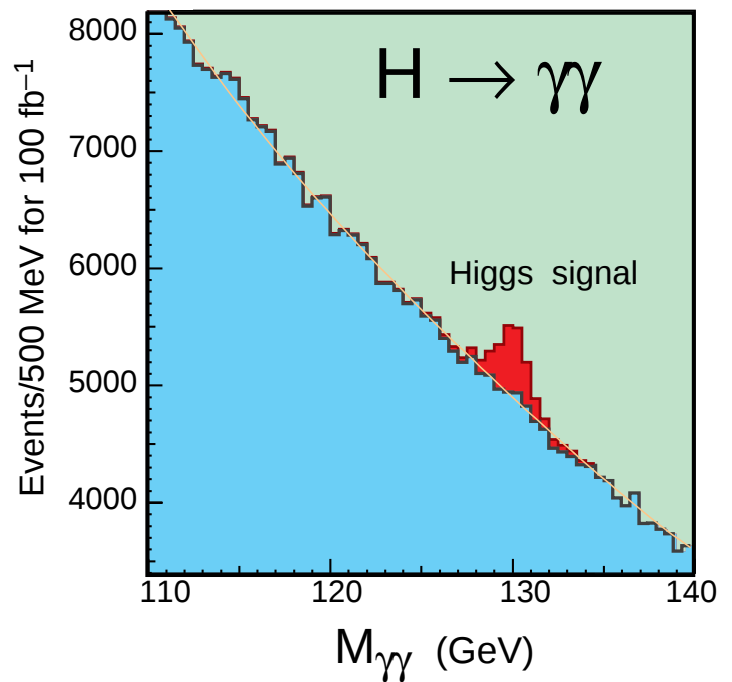
$$H \rightarrow \gamma\gamma \quad (80 < M_H < 140 \text{ GeV})$$



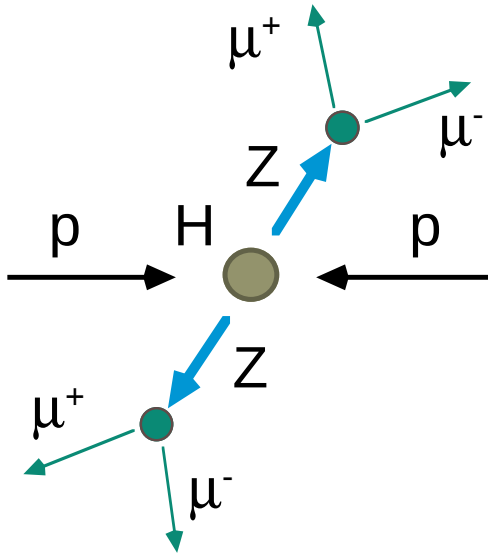
Precyzyjny pomiar energii i kierunku fotonów pozwala zrekonstruować masę $M_H \sim 100 \text{ GeV}$ z dokładnością do 1% i wydobyć sygnał spod olbrzymiego tła.



$M_{\text{Higgs}} = 100 \text{ GeV}$



$H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4 \text{ leptony} \quad (130 < M_H < 500 \text{ GeV})$

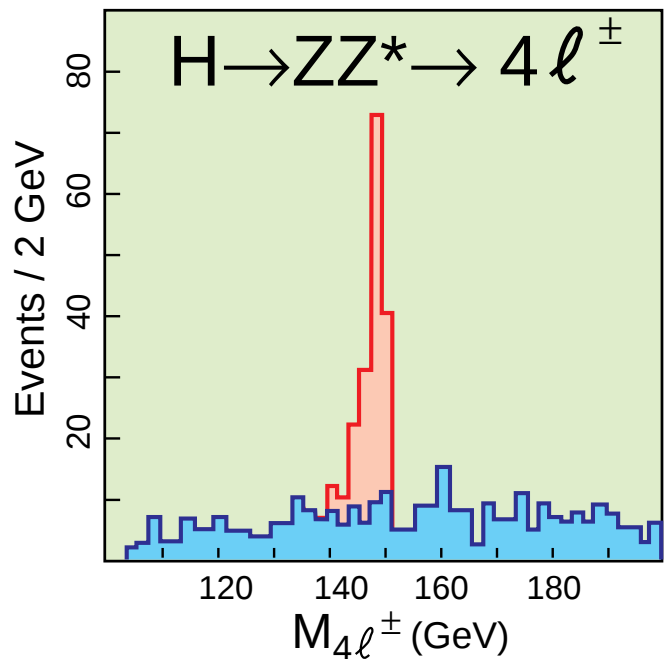
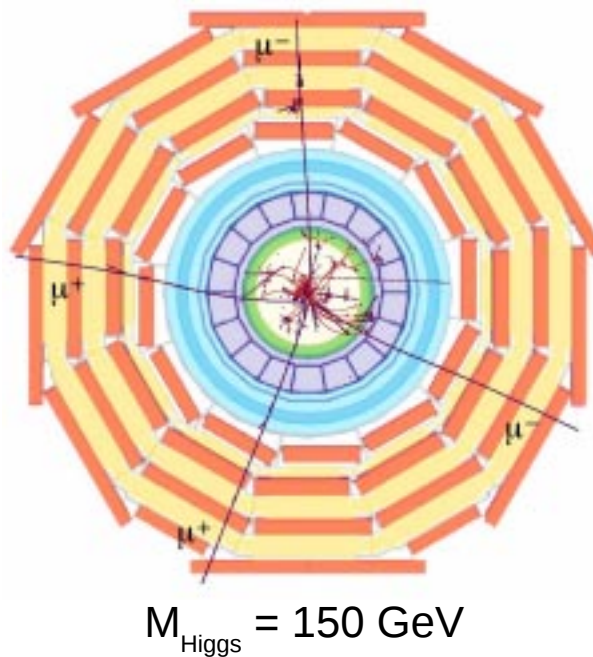


Przypadku z czterema wysoko-energetycznymi leptonami (e lub μ) nie da się nie zauważyć.

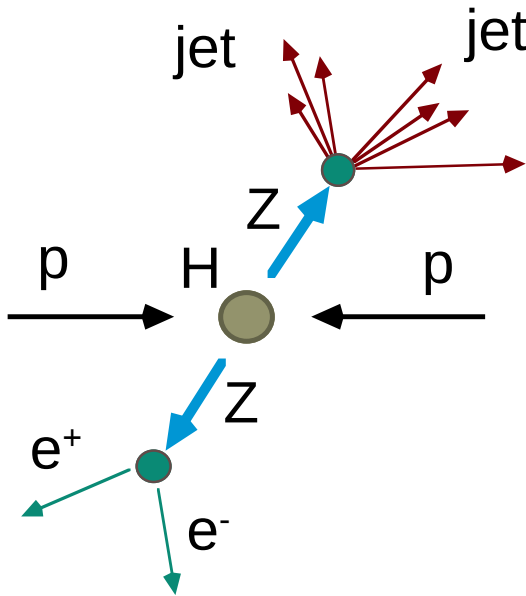
Zwłaszcza pewna identyfikacja mionów ("złoty kanał") pozwala niemal całkowicie wyeliminować tło.

Precyzja:

$$\sigma (M_H \sim 170 \text{ GeV}) = 1 \text{ GeV}.$$



$H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow \text{leptony} + \text{dżety}$ ($130 < M_H < 500 \text{ GeV}$)



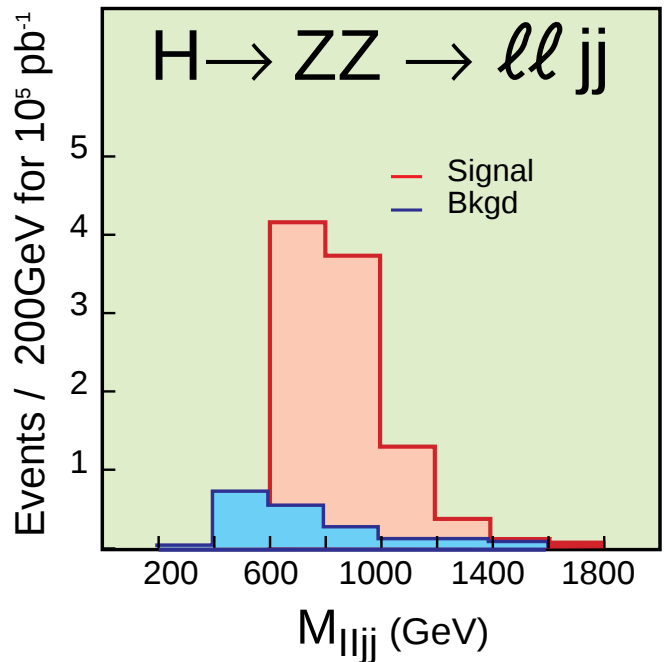
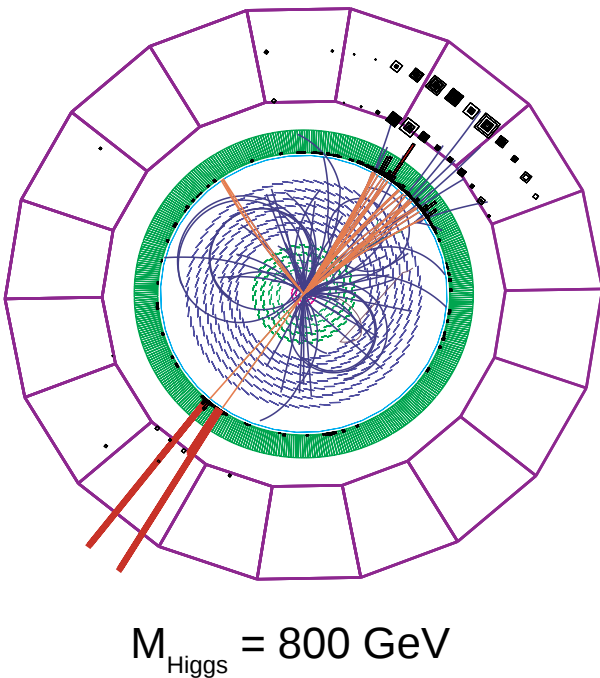
W reakcjach:

$$H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow \ell^+ \ell^- jj$$

$$H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow \ell^+ \ell^- \nu \nu$$

$$H \rightarrow W^+ W^- \rightarrow \ell^\pm \nu jj$$

kalorymetr hadronowy mierzy energię dżetów (j) i brakującą energię poprzeczną E_t^{miss} , charakterystyczną dla neutrin (ν).



Łamanie symetrii CP

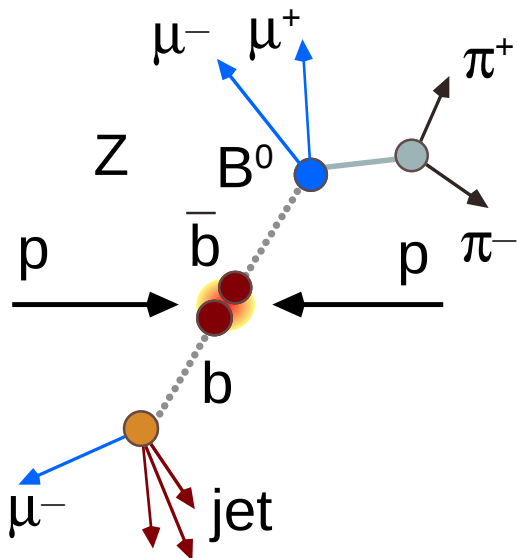
Symetria **CP** oznacza, że cząstka oddziałuje (rozpada się) identycznie jak jej antycząstka (**C**) odbita w lustrze (**P**).

Fakt, że w obserwowanym Wszechświecie jest zdecydowanie więcej materii niż antymaterii sugerowałby istnienie łamania CP.

Dotychczas jedynym zjawiskiem, w którym zaobserwowano łamanie CP są *słabe oddziaływania* mezonów **K⁰** zawierających kwark **s**.

Jeśli to *oddziaływania słabe* są odpowiedzialne za łamanie CP, to powinno się ono przejawiać dużo silniej w przypadku kwarku **b**, znacznie cięższego niż **s**.

Fizyka kwarku *b*



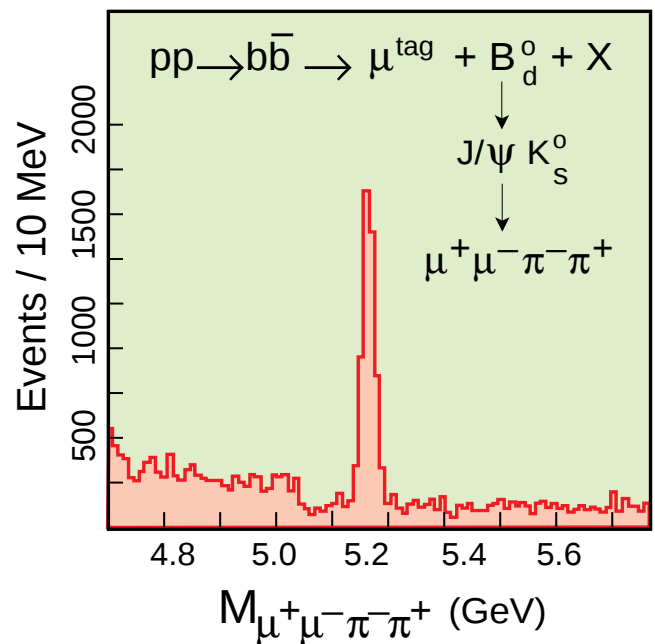
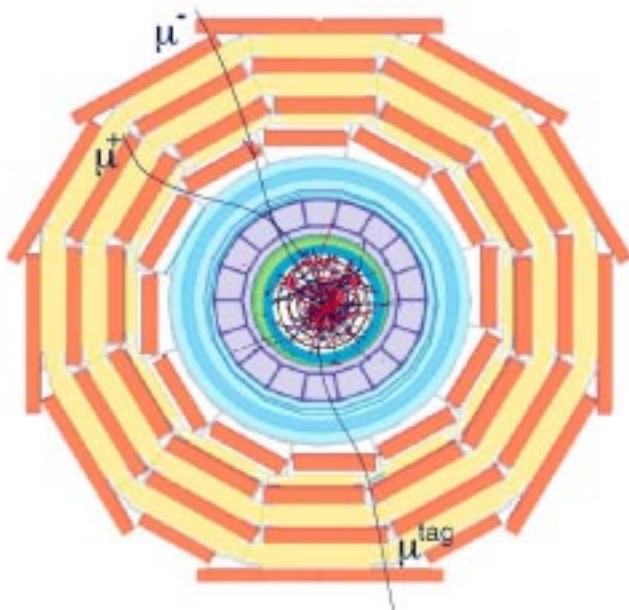
Łamanie CP najsilniej powinno przejawiać się w różnicy częstości rozpadów

$$B^0 \rightarrow J/\psi K_S^0 \quad \text{ i } \quad \bar{B}^0 \rightarrow J/\psi K_S^0$$

gdzie

$$J/\psi \rightarrow \mu^+ \mu^-, \quad K_S^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$$

Można je rozróżnić rekonstruując topologię przypadku.



Supersymetria

Teorie supersymetryczne zakładają, że każda znana (dzisiaj) cząstka ma (jeszcze) nieodkrytego partnera:

fermion (spin połówkowy) $\Leftrightarrow$ **bozon** (spin całkowity)

Atrakcyjność supersymetrii:

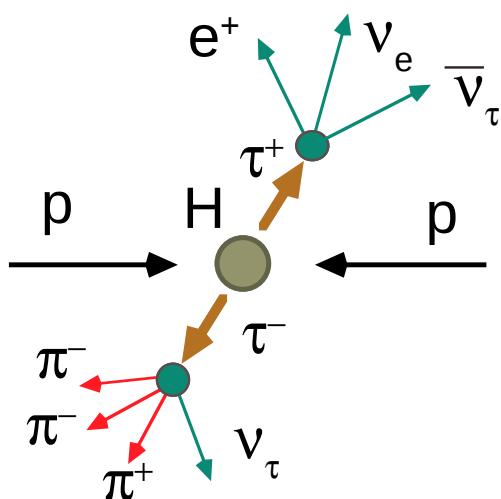
- elegancja symetrii
- wyjaśnienie małej masy higgsa
- krok w stronę Wielkiej Unifikacji
- możliwość wyjaśnienia ciemnej materii we Wszechświecie (**neutralino**)

Najprostszy z modeli,

"Minimal Supersymmetric Standard Model" (MSSM),
przewiduje istnienie pięciu bozonów Higgsa:

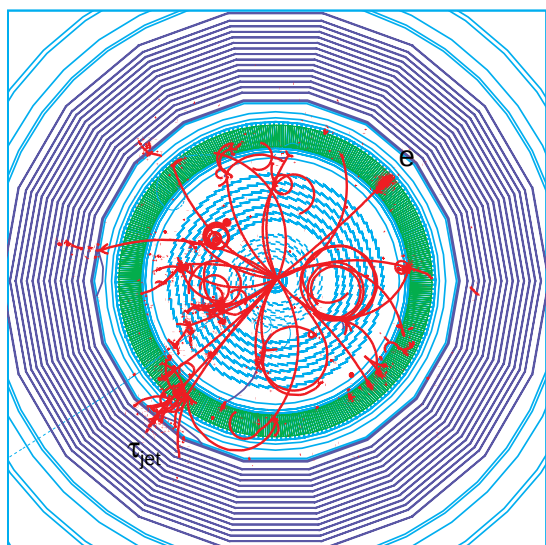
h^0 , H^0 , A^0 , H^+ , H^-

Supersymetryczne higgisy



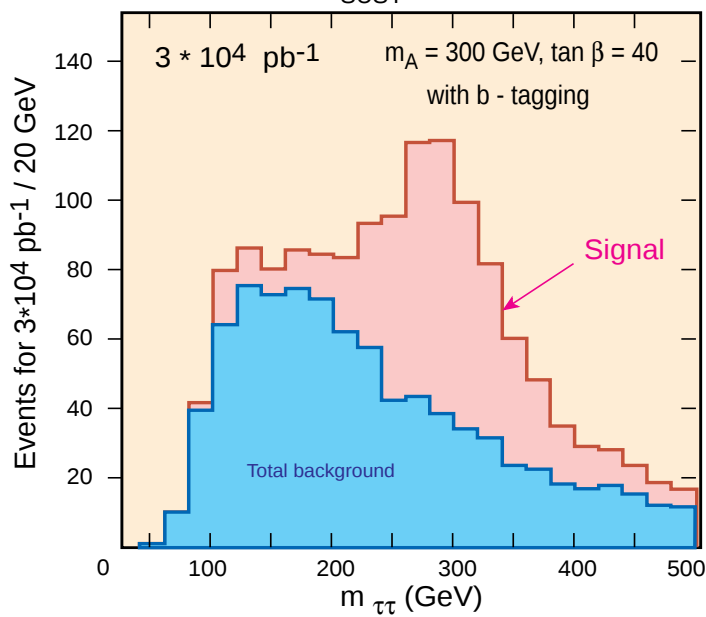
Poszukiwać ich można metodami podobnymi jak w przypadku H_{MS} .

Pojawiają się jednak nowe możliwości, np. rozpad higgosa na 2 leptyony.

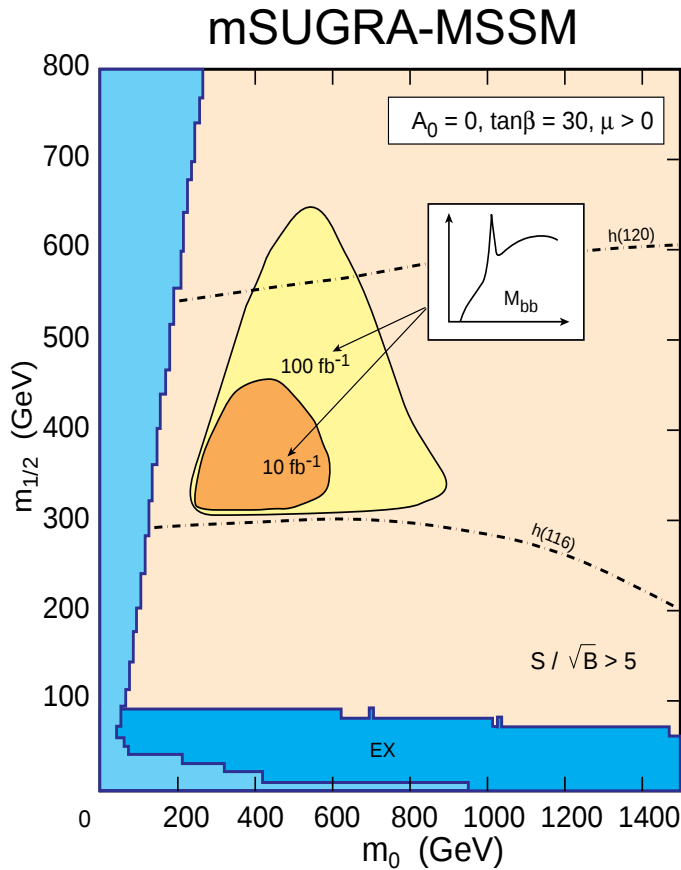


$H \rightarrow \tau\tau \rightarrow e + \tau_{\text{jet}}$ ("3-prong")

$A^0, H^0, h^0 \rightarrow \tau^+\tau^- \rightarrow e/\mu + \tau_{\text{jet}} + E_{\text{t}}^{\text{miss}}$
in $b\bar{b}H_{\text{SUSY}}$ final states



Możliwości odkrycia supersym. higgsa

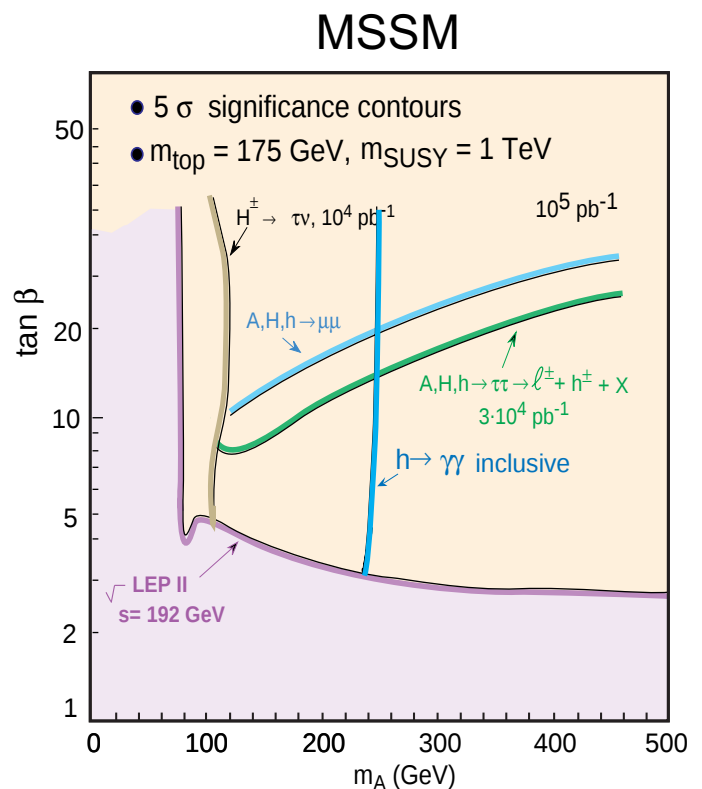


Poszukiwanie higgsa w różnych reakcjach pozwala pokryć znaczną część przestrzeni parametrów podstawowych modeli supersymetrycznych.

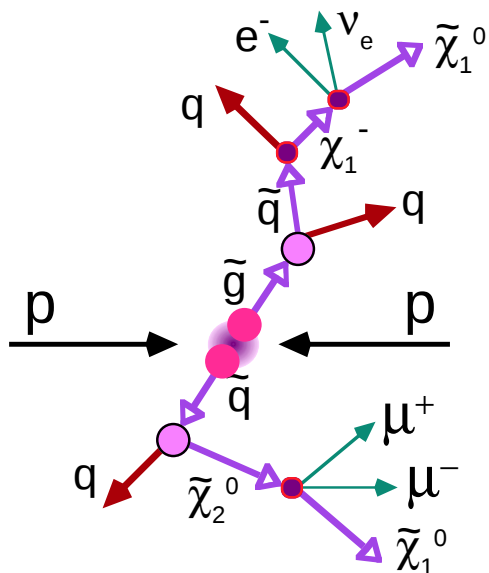
Założmy, że cząstka może być odkryta jeżeli sygnał **S** przekracza pięciokrotnie niepewność wielkości tła $\sqrt{B}$.

B - liczba przypadków tła.

Kontury $S/\sqrt{B}=5$ dla h, H, A zaznaczono na wykresach.



Supercząstki



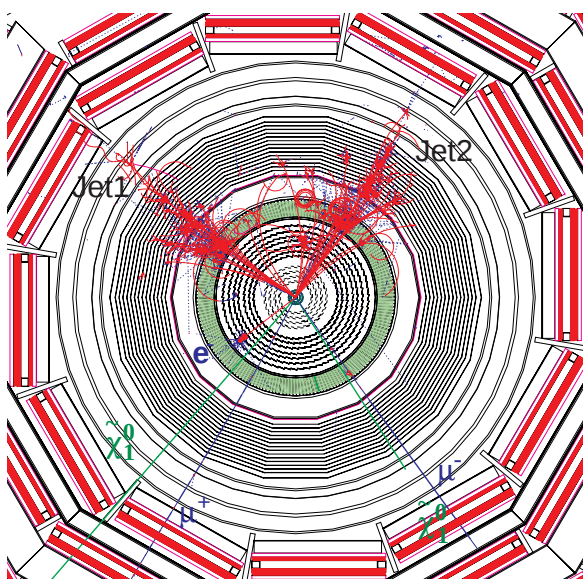
Istnienie supercząstek powinno przejawiać się bogactwem spektakularnych procesów z brakującą energią, obfitujących w wysokoenergetyczne dżety i leptony o nietypowych spektrach.

Przykład:

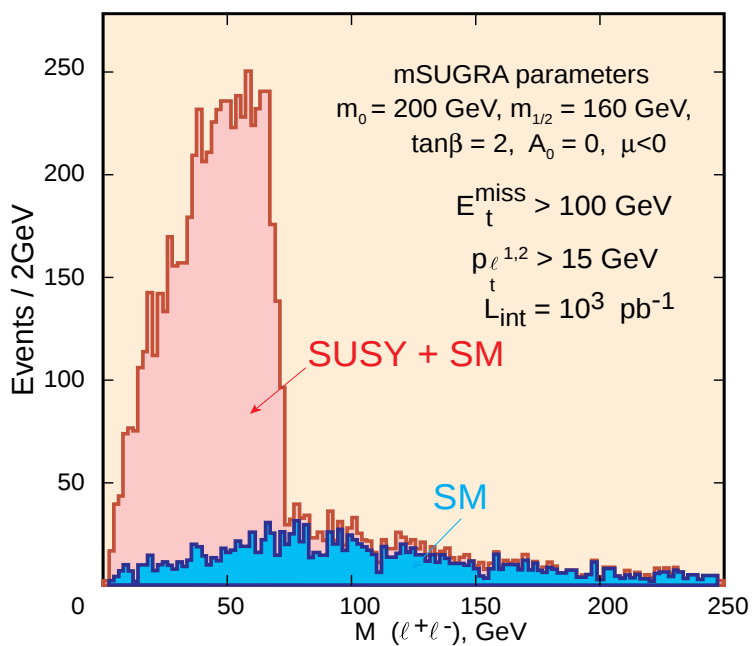
"urwany" rozkład $M_{\ell\ell}$ w rozpadzie

$$\chi_2^0 \rightarrow \chi_1^0 \ell^+ \ell^-$$

Inclusive $\ell^+ \ell^- + E_t^{\text{miss}}$ final states



SUSY event with
3 leptons + 2 Jets signature

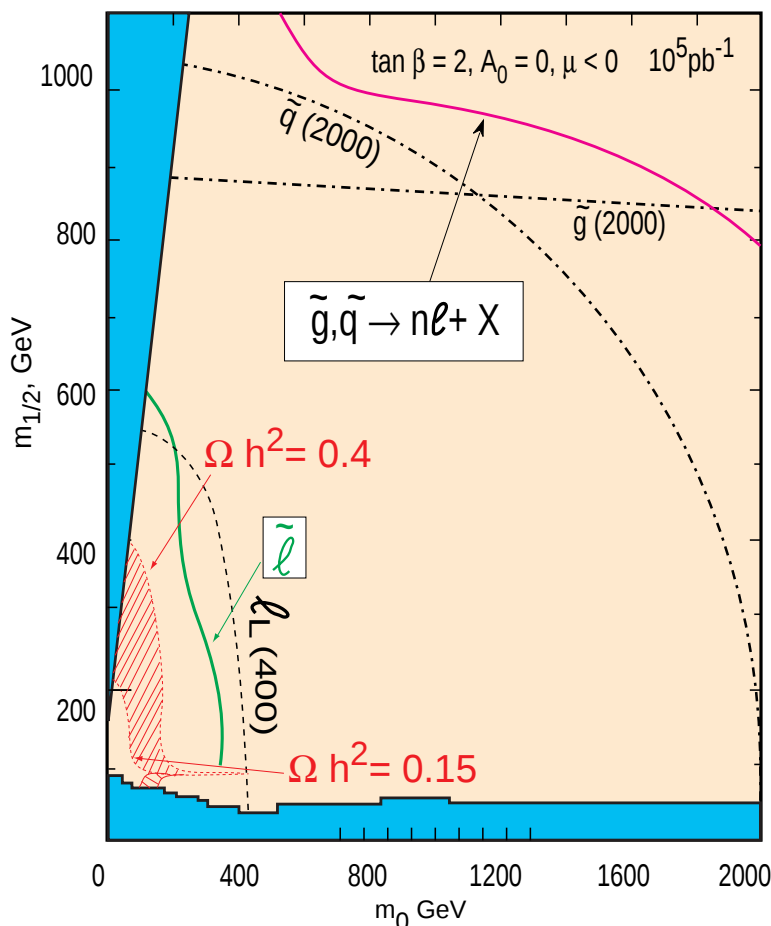


mSUGRA parameters
 $m_0 = 200 \text{ GeV}$, $m_{1/2} = 160 \text{ GeV}$,
 $\tan\beta = 2$, $A_0 = 0$, $\mu < 0$

$E_t^{\text{miss}} > 100 \text{ GeV}$
 $p_{\ell}^{1,2} > 15 \text{ GeV}$
 $L_{\text{int}} = 10^3 \text{ pb}^{-1}$

Możliwości odkrycia supercząstek w LHC

Zakres parametrów mSUGRA
pokrywany przez LHC



W LHC można
będzie poszukiwać
skwarków i gluin
do $M \sim 2.2$ TeV,
sleptonów
do $M \sim 350$ GeV.

Można też będzie
przebadać zakres
masy neutralina,
w którym może ono
stanowić zimną,
ciemną materię
Wszechświata:

$$0.15 < \Omega h^2 < 0.4$$

**Supersymetria, jeżeli istnieje,
będzie niemal na pewno odkryta w LHC.**