Czego oczekujemy od LHC?

Piotr Traczyk

IPJ Warszawa

Plan

1)Dwa słowa o LHC

2)Eksperymenty i program fizyczny

3)Kilka wybranych tematów - szczegółowo

LHC – Large Hadron Collider

UWAGA! Start jeszcze w tym roku!

LHC w liczbach (dla prasy)

- Zderzenia proton-proton, przy E=14 TeV
- Zderzenia ciężkich jonów (E/nukleon=2,76 TeV)
- Obwód tunelu – 27 km
- Prędkość lotu protonów: 0.999999991 c
- Nadprzewodzące magnesy wytwarzają pole magnetyczne 8,33 T
- Temperatura 1,9 K
- Koszt akceleratora ~4,7 GCHF (czyli 1,5x tyle co koszt polskiej eskadry F-16)

LHC w liczbach (dla fizyka)

- Energia – po raz pierwszy dostęp do fizyki przy energiach rzędu TeV
- Świetlność – rocznie produkowane około 10^{10} bozonów W i Z, 10^8 par tt, 10^7 cząstek Higgsa,...
- Częstotliwość zderzeń - 25 ns (40 MHz)

Quantity	number
Circumference	26 659 m
Dipole operating temperature	1.9 K (-271.3°C)
Number of magnets	9300
Number of dipoles	1232
Number of quadrupoles	858
Number of RF cavities	8 per beam
Nominal energy, protons	7 TeV
Nominal energy, ions	2.76 TeV/u (*)
Peak magnetic dipole field	8.33 T
Min. distance between bunches	~7 m
Design luminosity	10^{34} cm^{-2} s^{-1}
No. of bunches per proton beam	2808
No. of protons per bunch (at start)	1.1×10^{11}
Number of turns per second	11 245
Number of collisions per second	600 million

(*) Energy per nucleon

Samo zderzanie cząstek nic nie da...

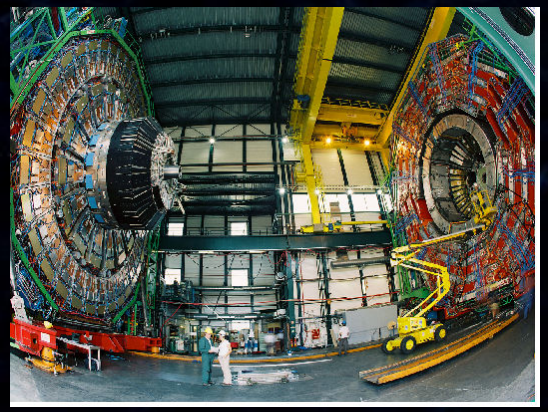
...trzeba jeszcze zobaczyć i zrozumieć co w tym zderzeniu powstało.

...i wyciągnąć z tego wnioski.

Samo zderzanie cząstek nic nie da...

...trzeba jeszcze zobaczyć i zrozumieć co w tym zderzeniu powstało.

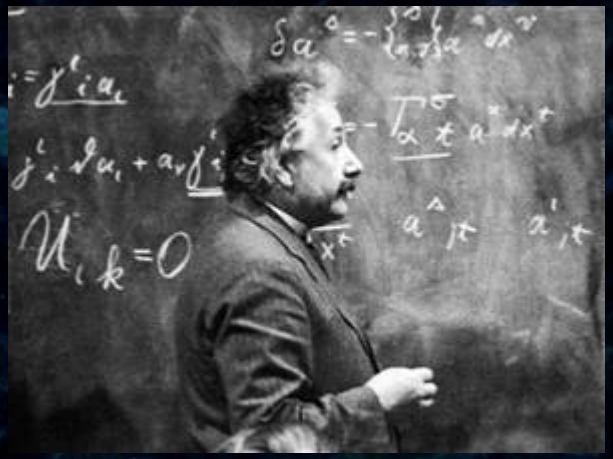
Potrzebny: DETEKTOR



...i wyciągnąć z tego wnioski.

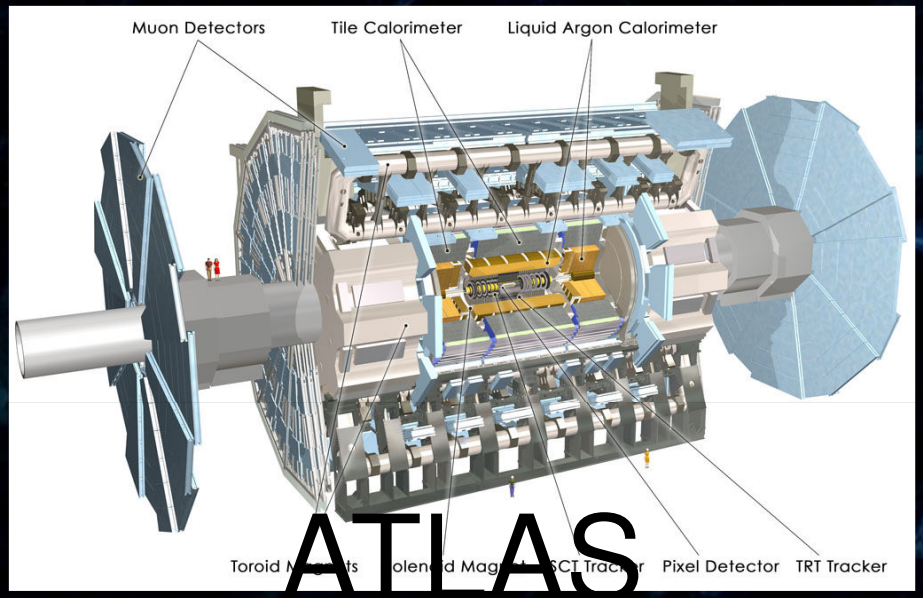
Potrzebny: FIZYK

TEORETYK

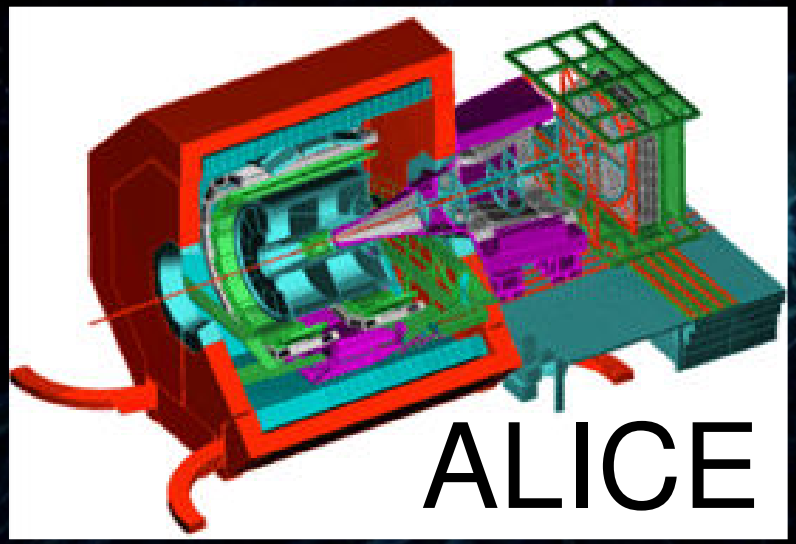


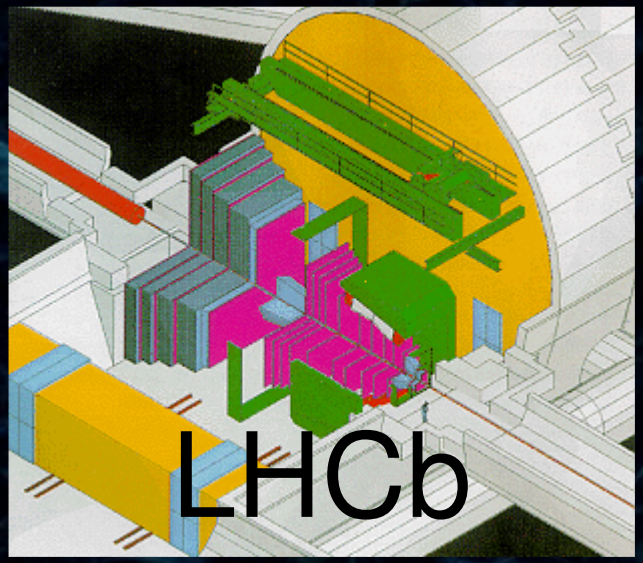
Detektory przy LHC

- Planowane są 4(+2) eksperymenty na LHC



CMS





Program fizyczny LHC

Program fizyczny LHC

- Model Standardowy i Cząstka Higgsa
- Poza Model Standardowy: supersymetria, technicolor, wyższe wymiary, nowe oddziaływania, 4-ta rodzina leptonów, ...
- Fizyka kwarków *b*: łamanie parzystości CP - LHCb
- Fizyka ciężkich jonów: poszukiwanie plazmy kwarkowo-gluonowej – ALICE, (CMS)

Bozon Higgsa (od strony teoretycznej)

- Równania teorii oddziaływań elektrosłabych można napisać tylko dla cząstek bezmasowych
- Człony masowe łamią jedną z podstawowych symetrii tych równań
- Ale w przyrodzie występują cząstki masywne...

Bozon Higgsa (od strony teoretycznej)

- Równania teorii oddziaływań elektrosłabych można napisać tylko dla cząstek bezmasowych
- Człony masowe łamią jedną z podstawowych symetrii tych równań
- Ale w przyrodzie występują cząstki masywne...

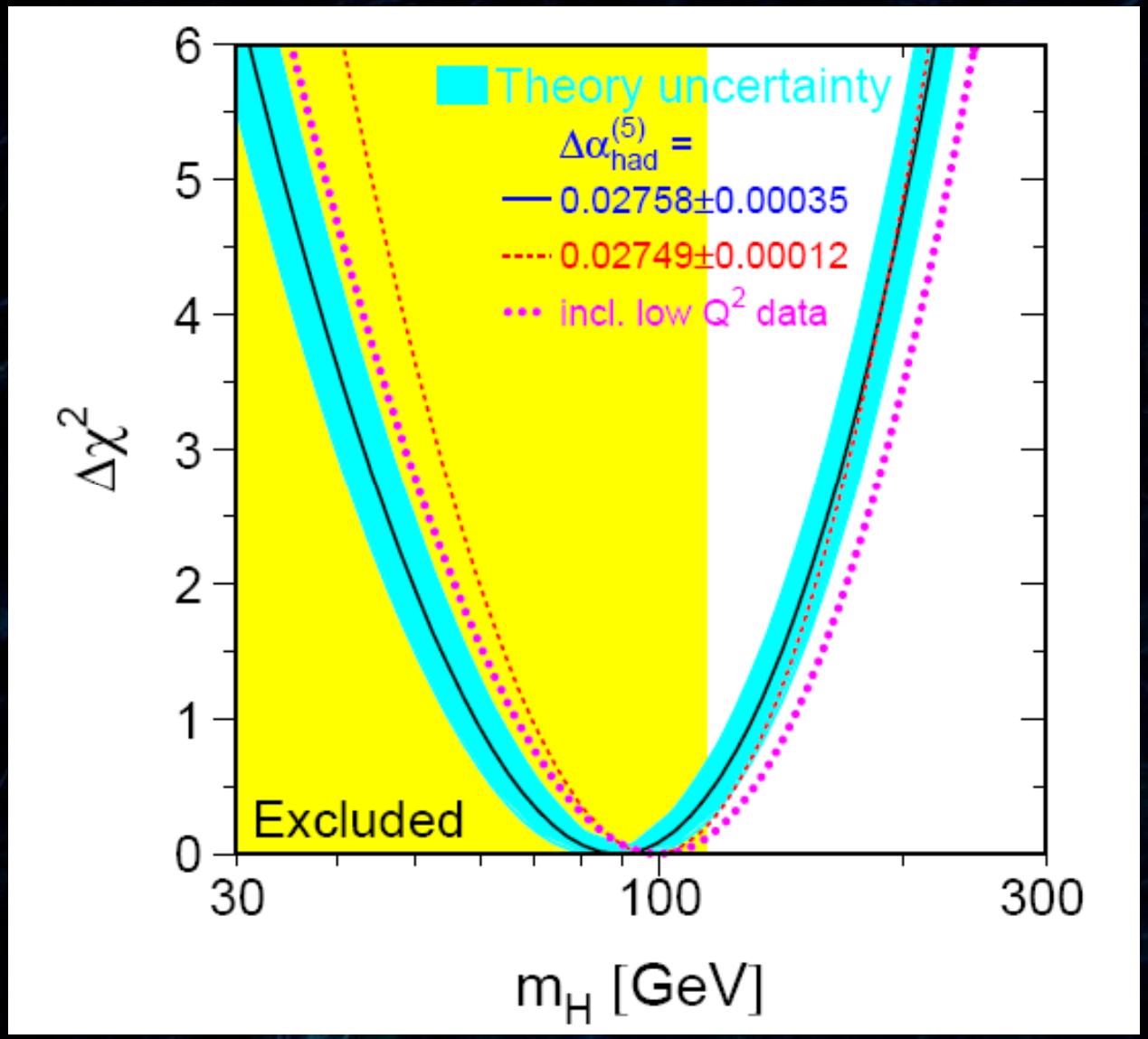
- Mechanizm Higgsa – układ ma mniejszą symetrię niż równania które go opisują – *spontaniczne łamanie symetrii.*
- Konsekwencja: konieczność dodania nowego pola do teorii. Wzbudzenia tego pola – cząstka Higgsa

Bozon Higgsa (od strony praktycznej)

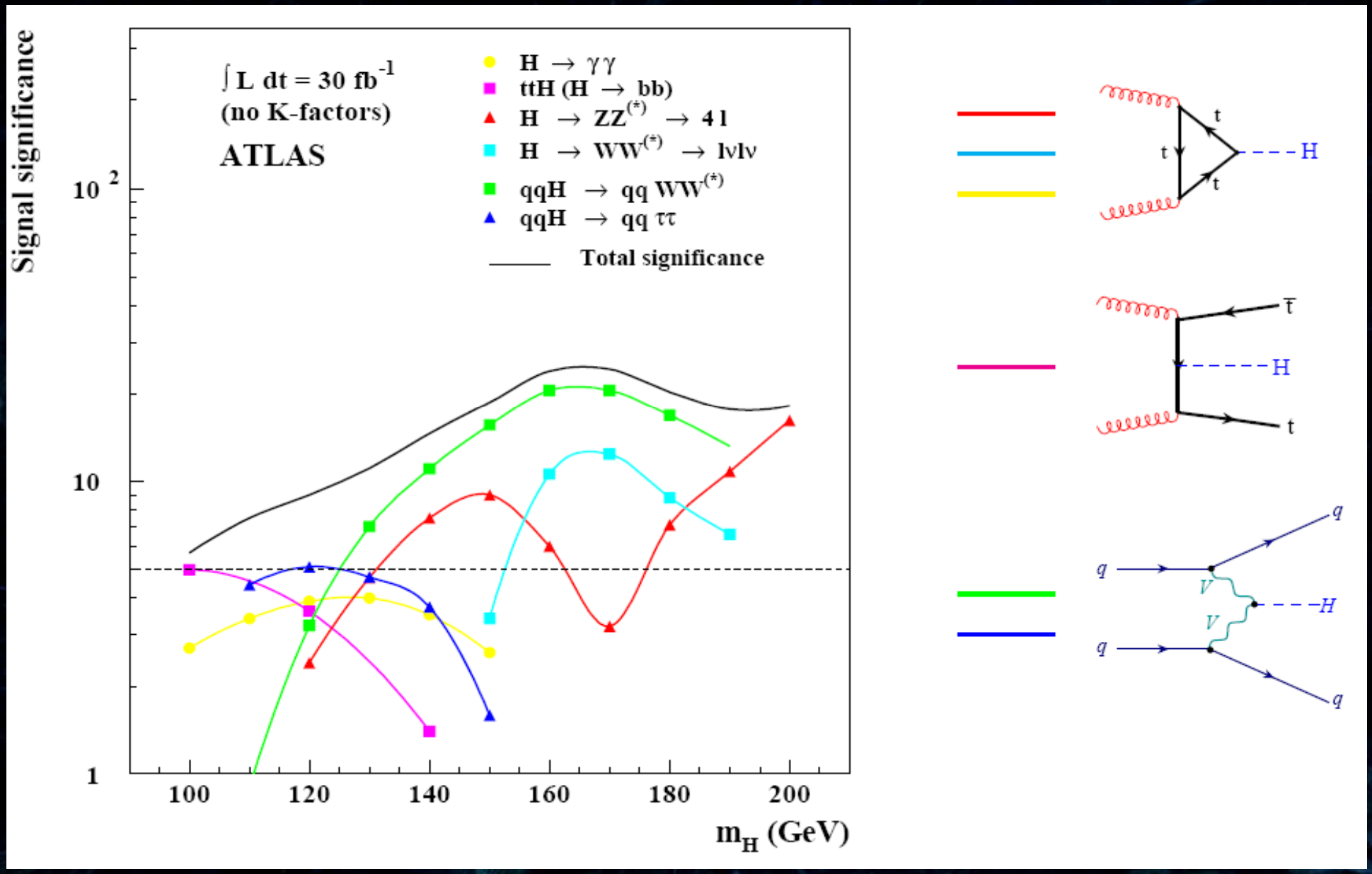
- Pole Higgsa nadaje masy cząstkom:

- Cząstka Higgsa:

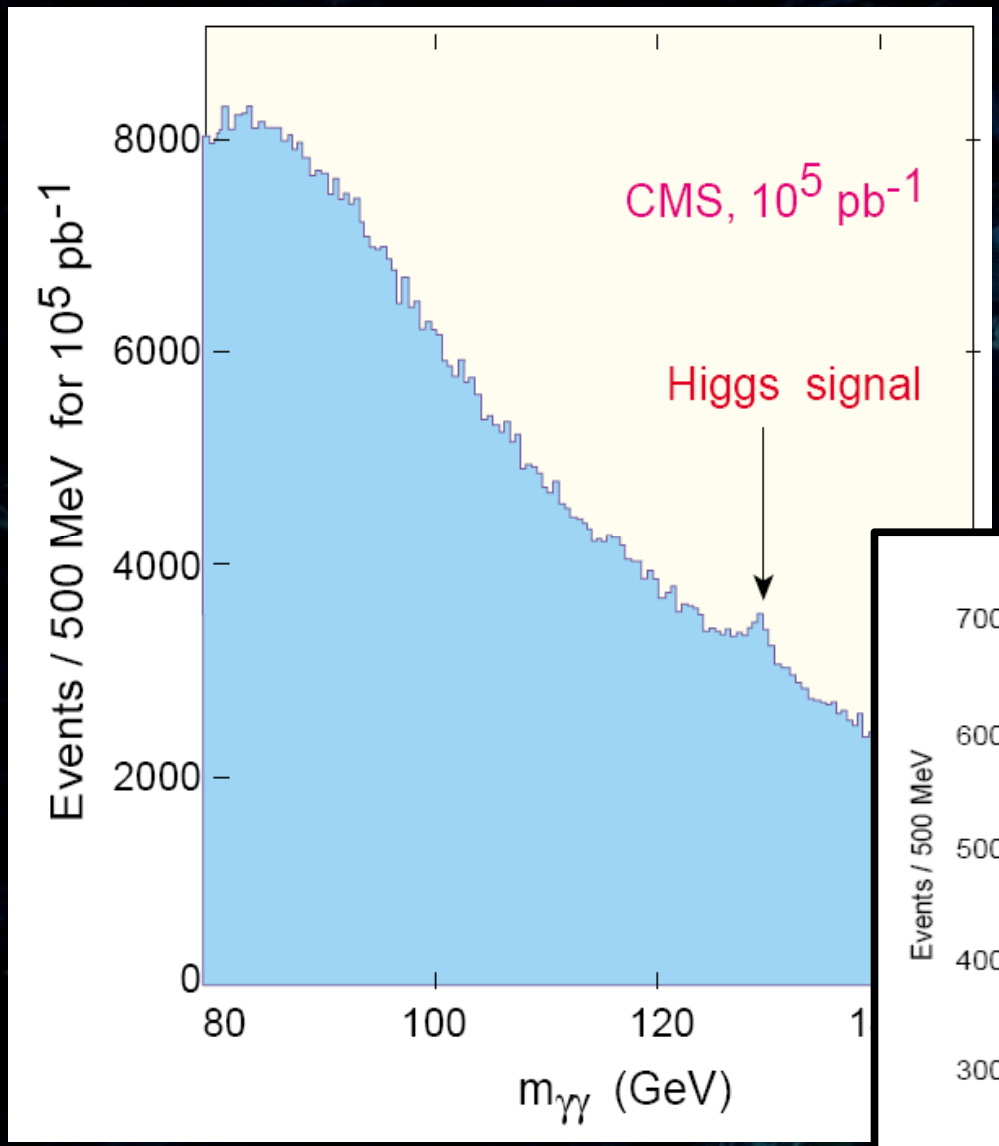
Poszukiwanie Higgsa - wczoraj



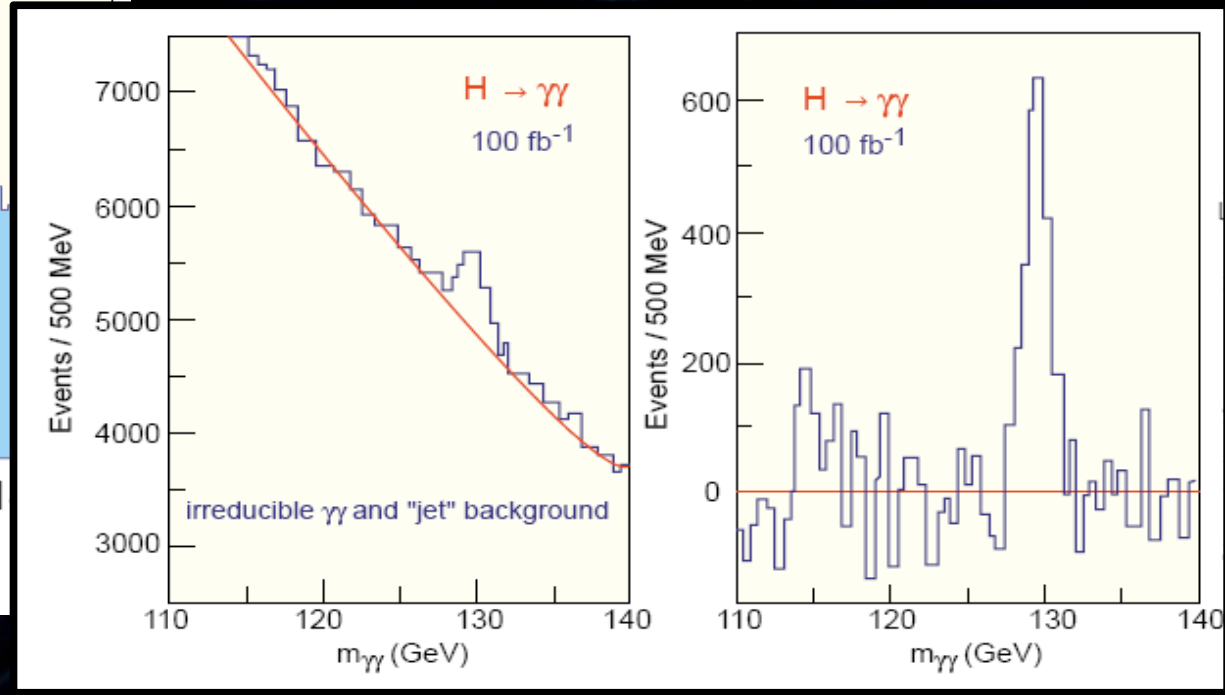
Poszukiwanie Higgsa - jutro



Higgs w LHC - przykład



- Wynik po „roku działania LHC"
- Słowa kluczowe: analiza, symulacje Monte Carlo, sygnał, tło, masa niezmiennicza



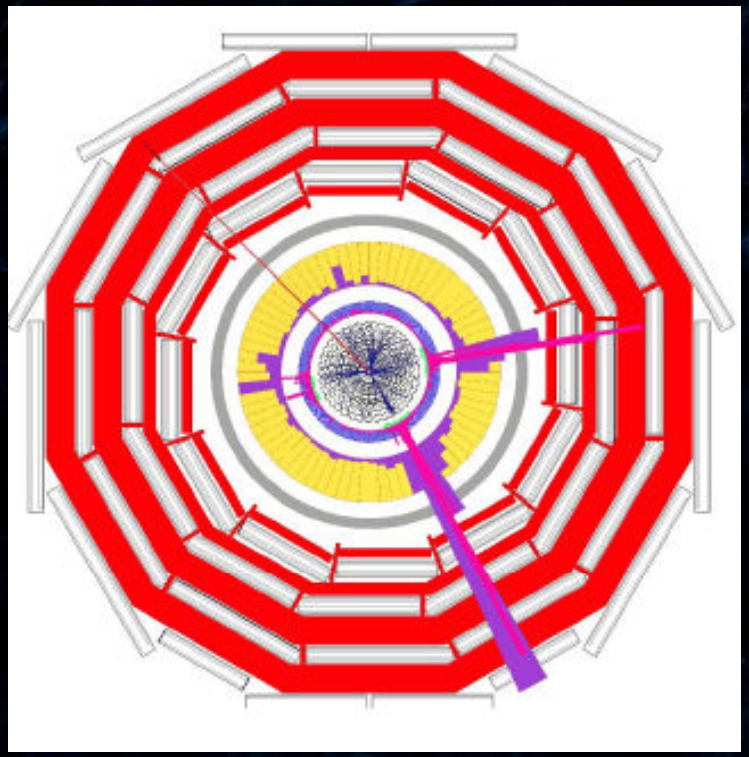
SuperSymetria

- Symetria pomiędzy bozonami a fermionami
- Każdy bozon ma superpartnera o spinie połówkowym, każdy fermion – analogicznie
- kwarki, leptony -> skwarki, sleptony
- gluon -> gluino; W,Z -> wino, zino itd...
- Parzystość R – nowa liczba kwantowa. Jeśli zachowana – cząstki supersymetryczne mogą powstawać i anihilować tylko parami

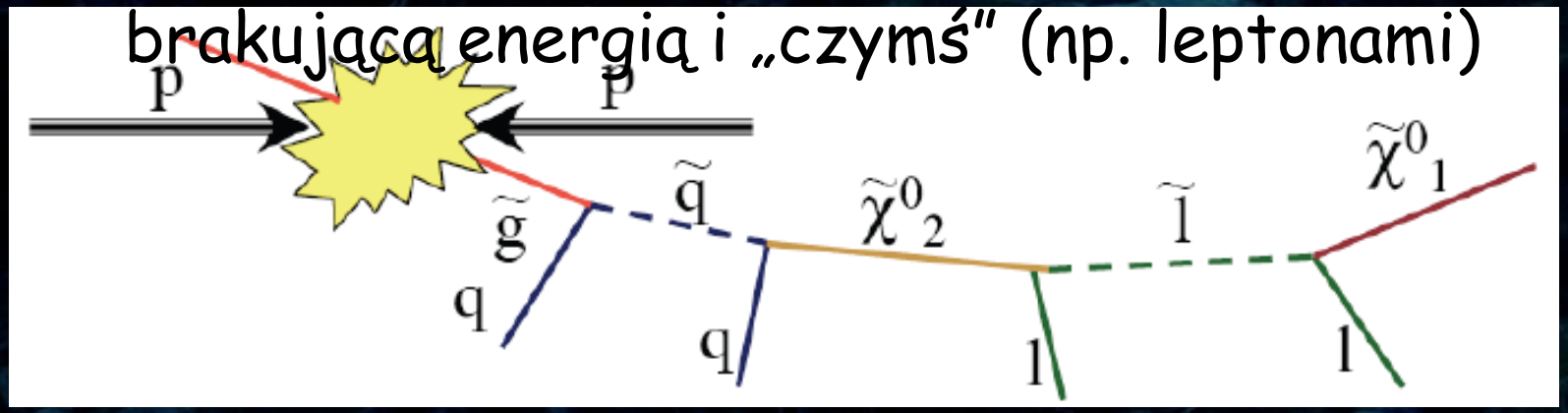
SuSy - dlaczego

- Rozwiązuje kilka głównych problemów Modelu Standardowego:
  - tzw. problem hierarchii, czyli olbrzymiej rozbieżności skal energetycznych elektrosłabej (10^2 GeV) i skali Plancka (10^{19} GeV)
  - naturalny kandydat na cząstkę ciemnej materii – LSP (Lightest Supersymmetric Particle)
  - pasuje do koncepcji unifikacji oddziaływań
  - konieczna w teorii strun

SuSy – jak szukać (przykład)

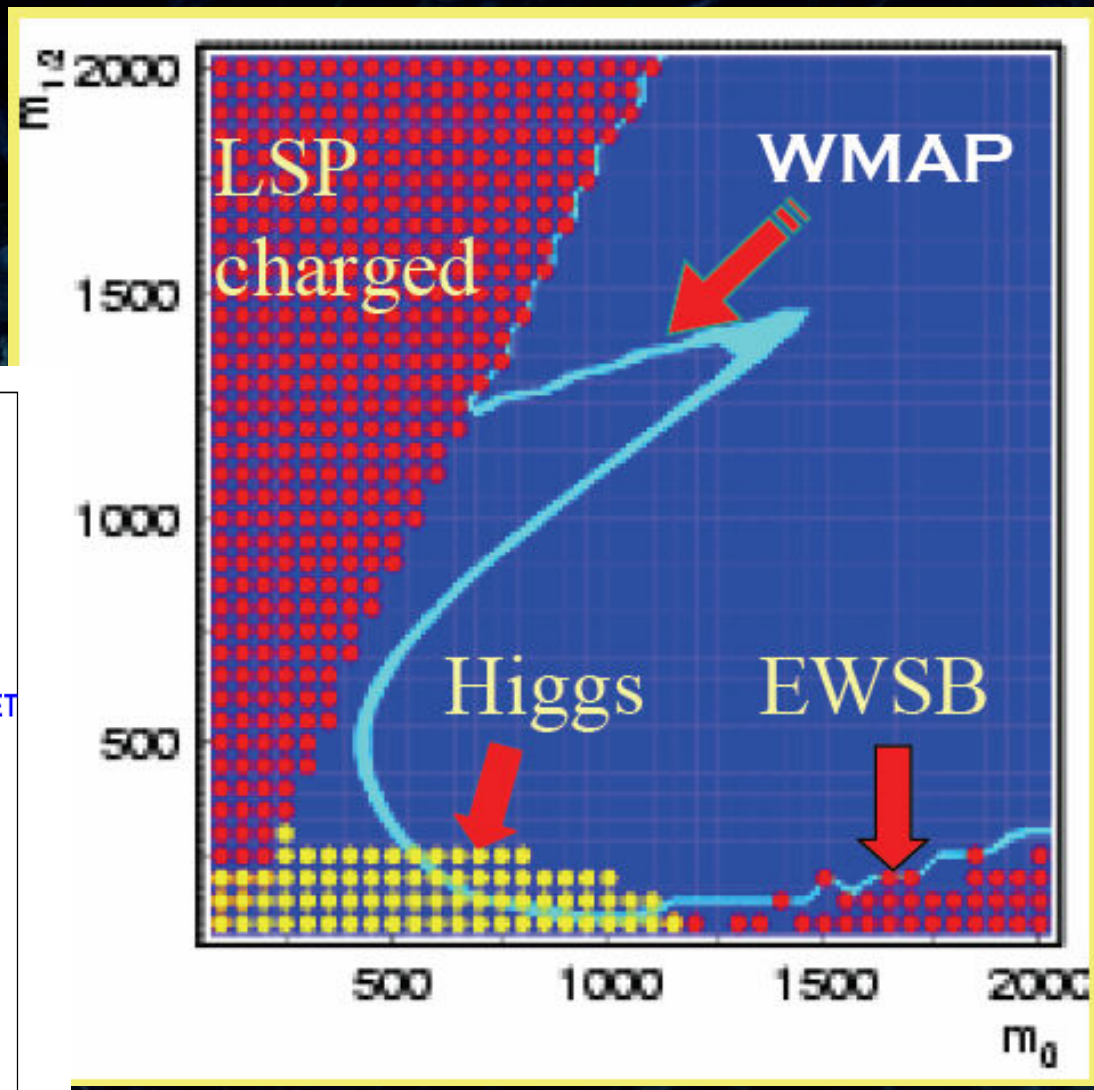


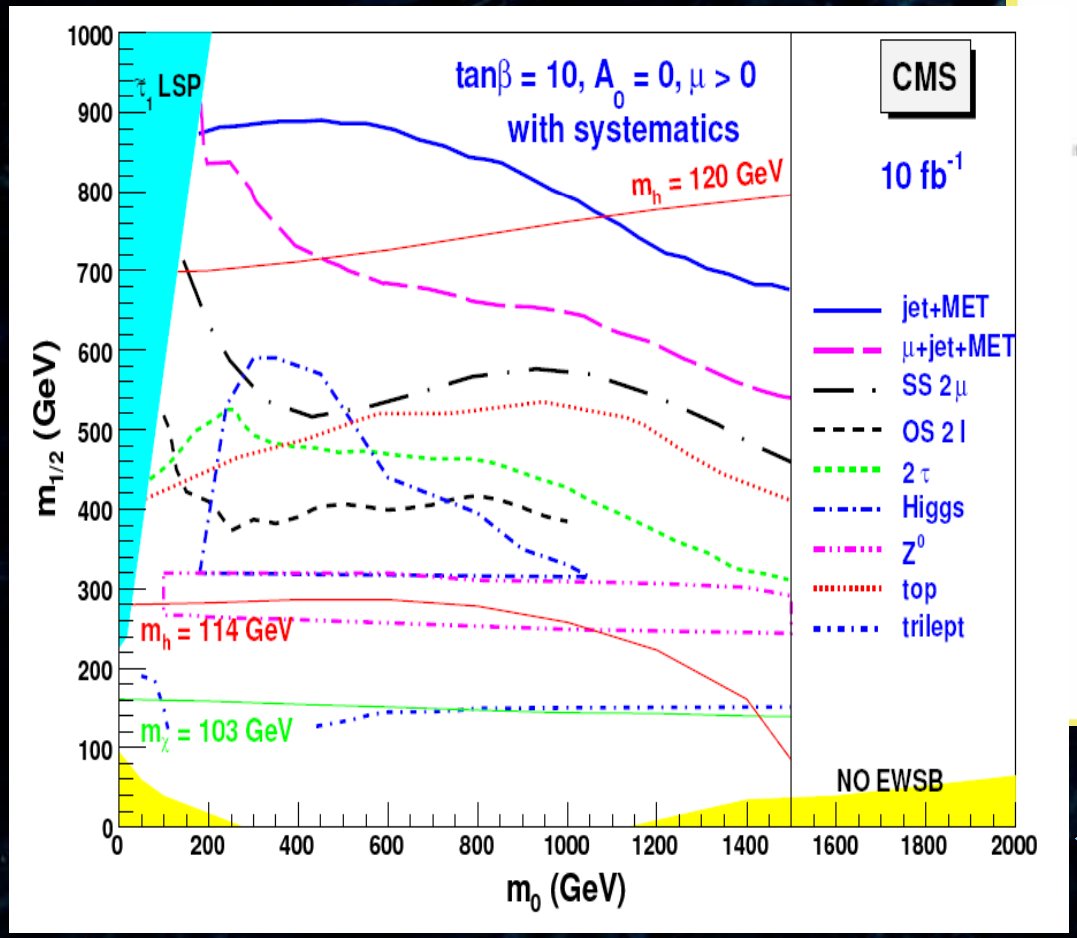
- Produkcja par skwarków lub gluin w zderzeniach pp
- Następuje kaskada kolejnych rozpadów, powstają znane cząstki
- Ostatnia cząstka (LSP) ucieka z detektora niezauważona – pojawia się tzw. brakująca energia
- Strategia – poszukiwanie przypadków brakującą energią i „czymś" (np. leptonami)



Optymistyczne perspektywy dla LHC

Teoria





Doświadczenie

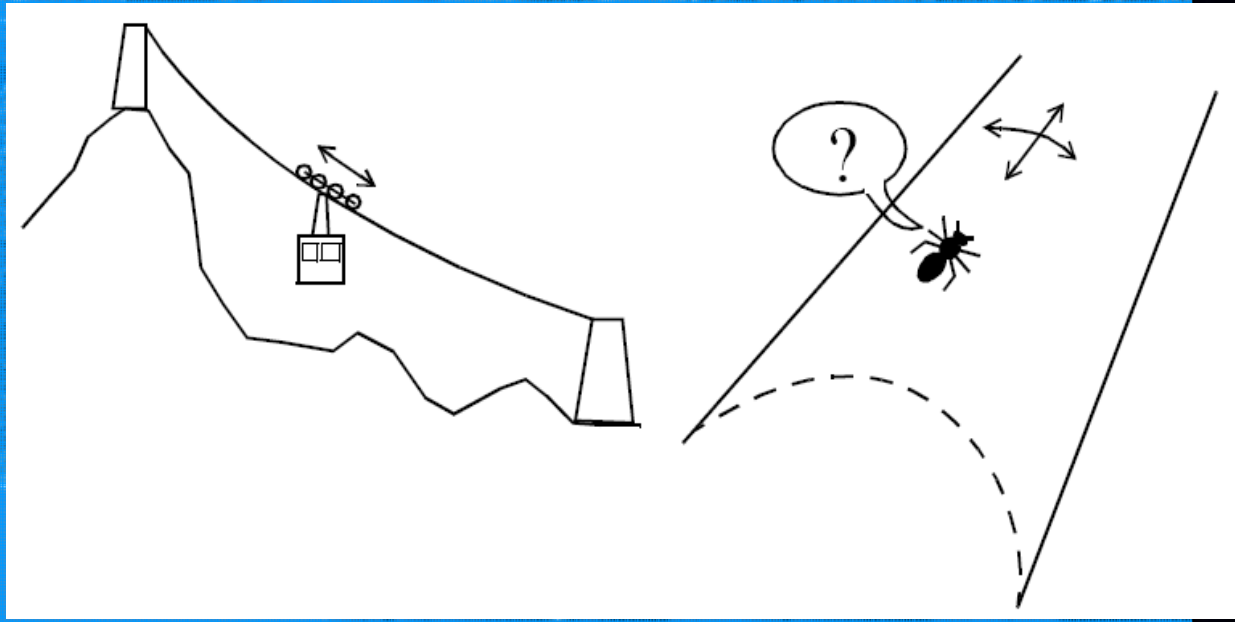
Wyższe wymiary

Wyższe wymiary

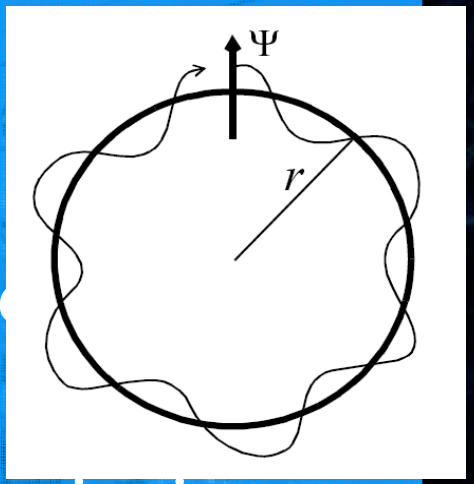
- Ogólna Teoria Względności A. Einsteina – siły grawitacyjne wynikają z geometrii 4-wymiarowej czasoprzestrzeni (1916)
- T. Kaluza – dodanie kolejnego wymiaru powoduje, że geometrycznie można opisać również elektromagnetyzm (1921)
- Ale czemu nie widzimy tego piątego wymiaru?
- Odpowiedź: kompaktyfikacja (O. Klein, 1926)

Jak ukryć wyższe wymiary

- Lina z punktu widzenia wagonika jest jednowymiarowa.
- Z punktu widzenia np. Mrówki wymiary są dwa.
- Wniosek: dodatkowy wymiar można ukryć poprzez "zwinięcie" go w okrąg o bardzo małym promieniu (np. $r_c \sim 10^{-33}$ cm)



Jak ukryć wyższe wymiary



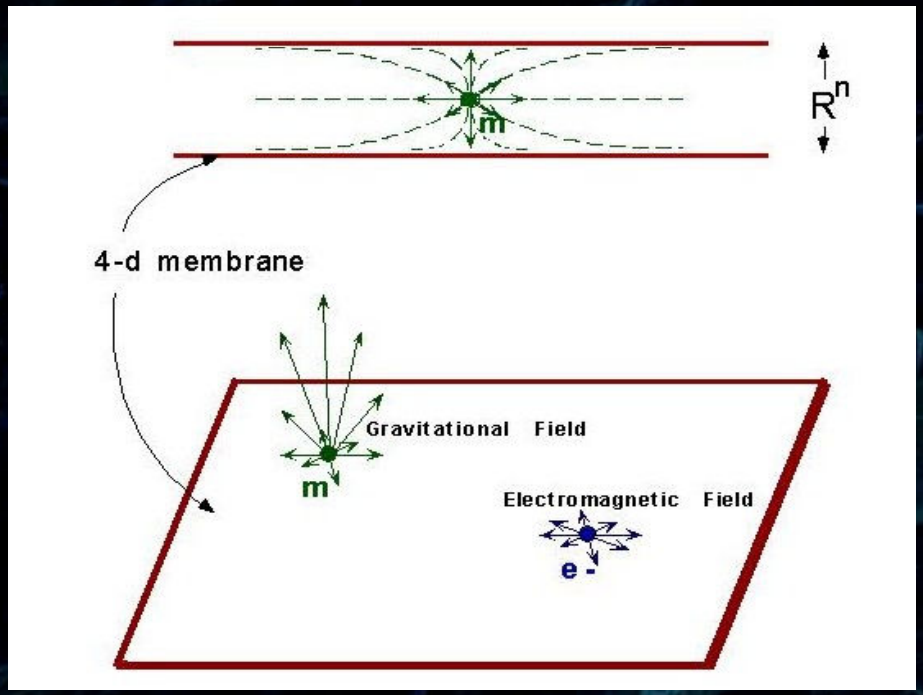
- Lina z punktu widzenia wagonika jest jednowymiarowa.
- Z punktu widzenia np. Mrówki wymiary są
- Wniosek: dodatkowy wymiar można ukryć "zwinięcie" go w okrąg o bardzo małym promieniu (np. $r_c \sim 10^{-33}$ cm)
- Pojawia się warunek periodyczności funkcji falowej dla cząstek w dodatkowym wymiarze
- Powstała w ten sposób drabina stanów odpowiada (z punktu widzenia 4-wymiarowej przestrzeni) stanom o różnych masach (w odstępach $1/r_c$)

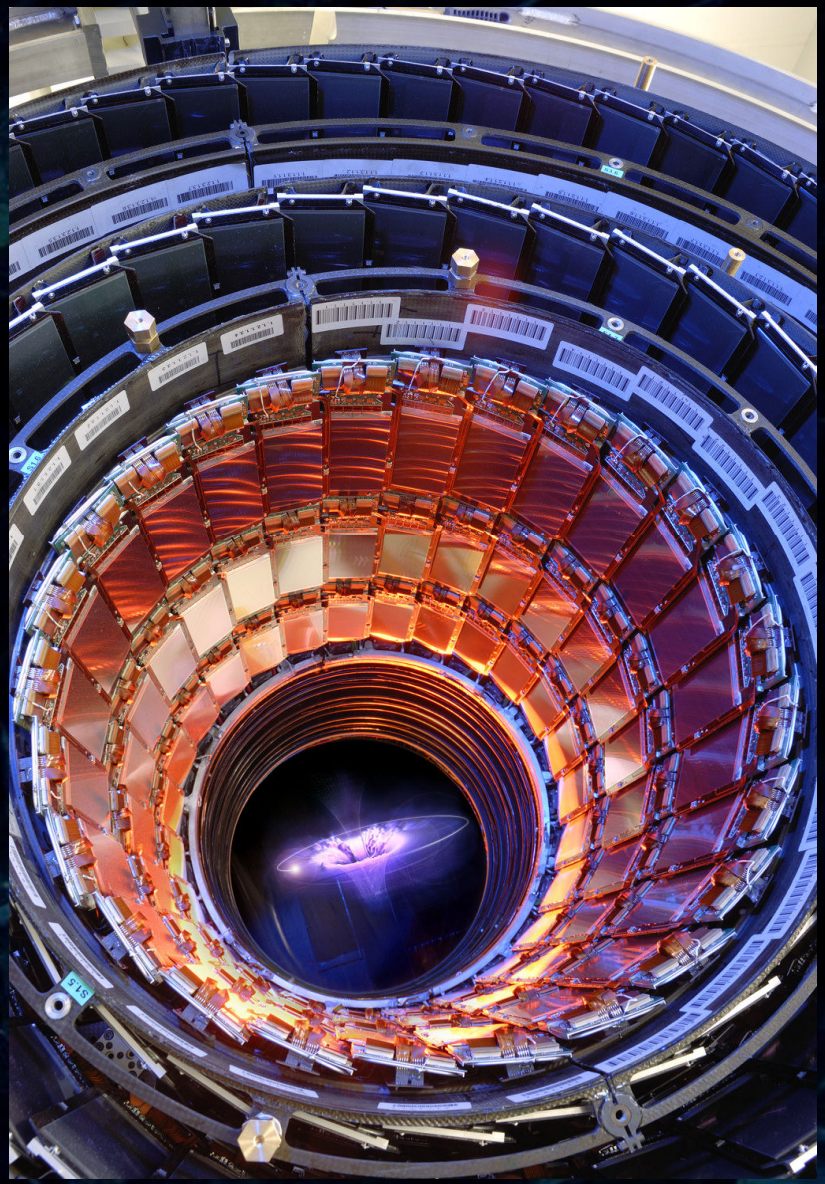
Współczesne teorie z wyższymi wymiarami

- 1970: teoria strun, 11 wymiarów – niesprawdzalna doświadczalnie
- 1998: nowa fala – modele ADD, RS, UED ...
  - ADD (Arkani-Hamed, Dimopoulos, Dvali): modyfikacja grawitacji na bardzo małych odległościach
  - RS (Randall-Sundrum): jeden, „zakrzywiony" nowy wymiar, nowe ciężkie cząstki w LHC
  - UED (Universal Extra Dimensions): wszystkie cząstki mają wzbudzenia KK, doświadczalnie wynik podobny do supersymetrii

Model ADD

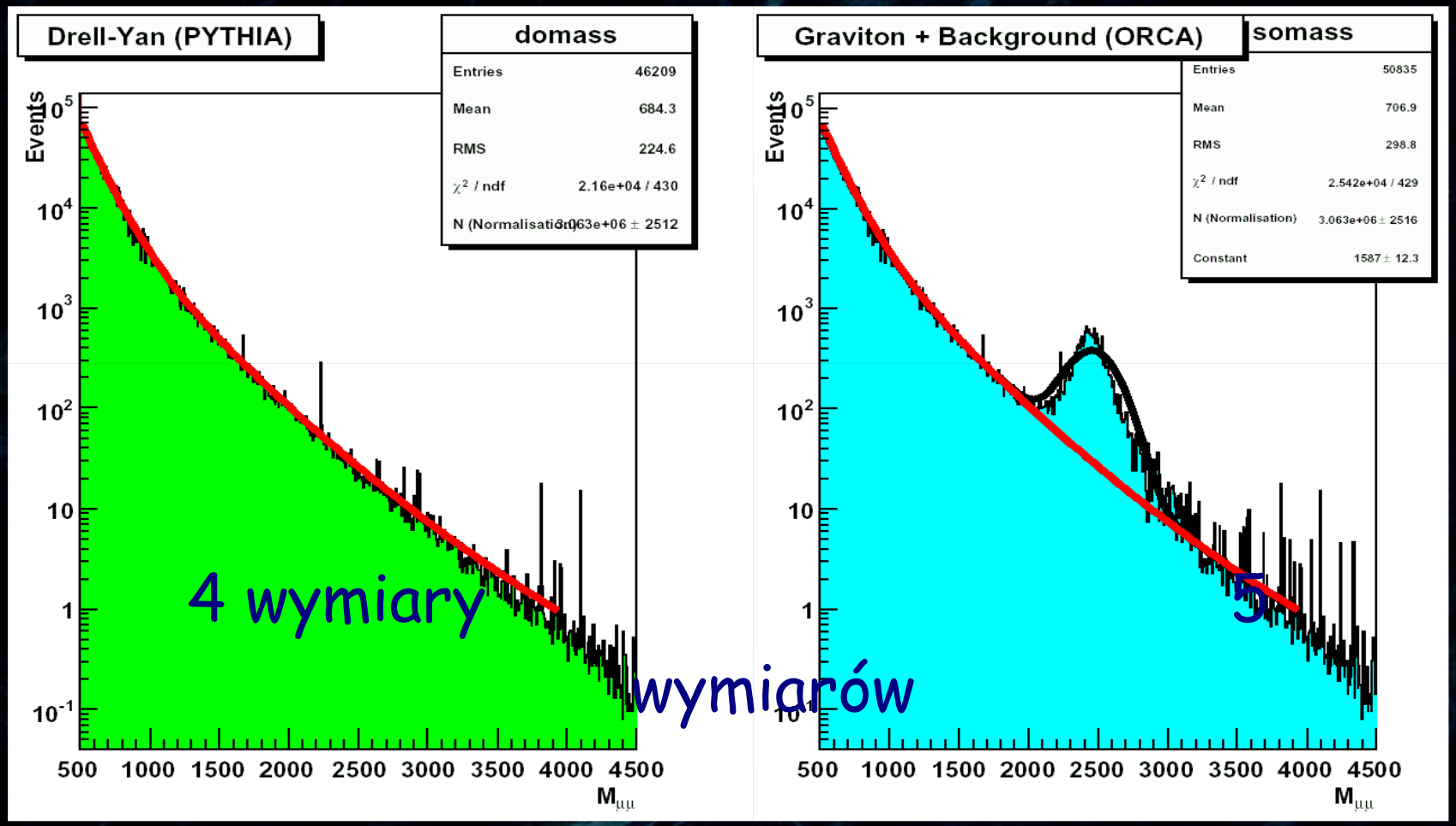
- Tylko grawitacja „widzi” wyższe wymiary
- Dzięki temu ich rozmiary mogą być nawet rzędu mm

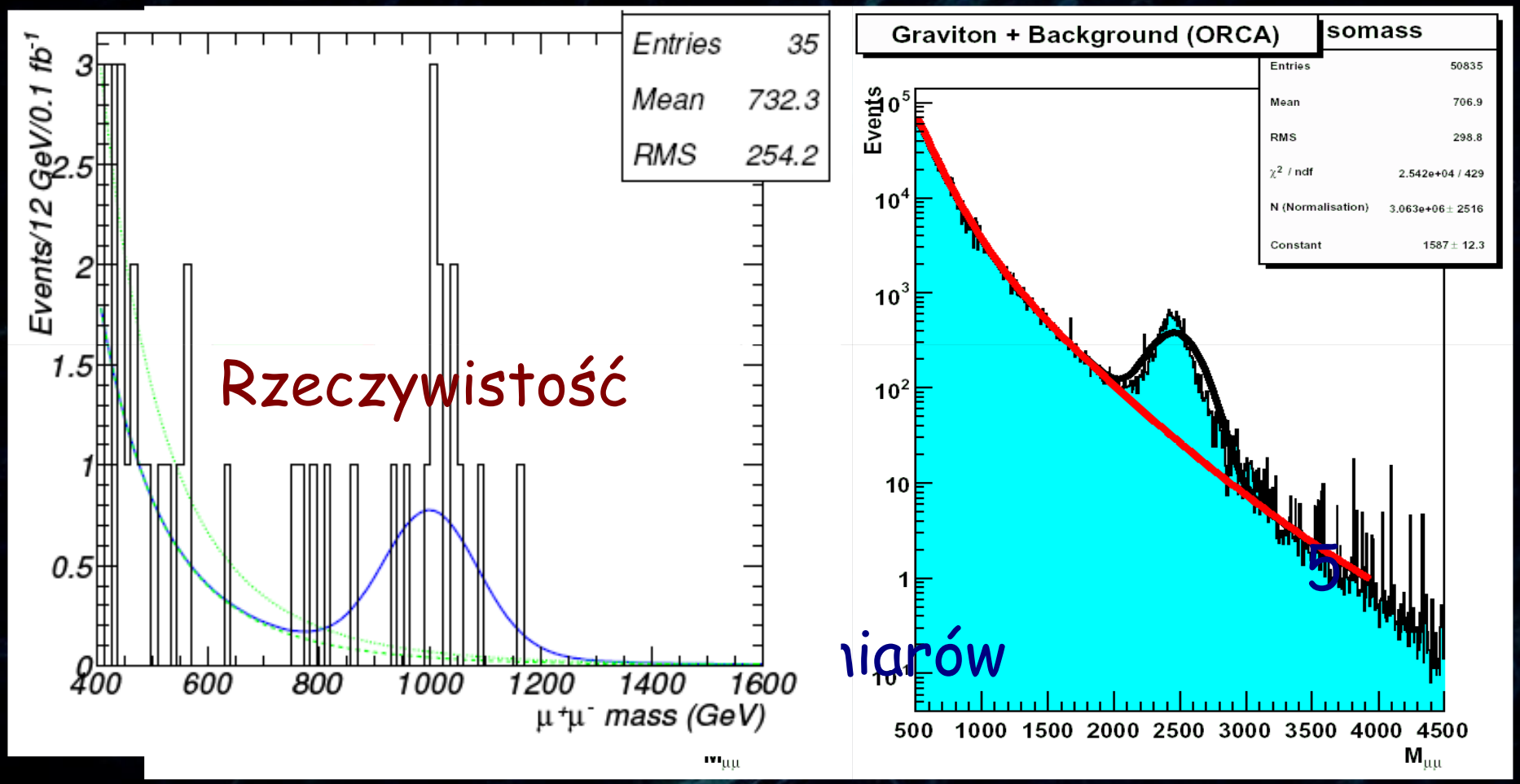




Model RS w LHC

- Nowa cząstka – ciężki grawiton (!) o masie kilku TeV



Model RS w LHC

- Nowa cząstka – ciężki grawiton (!) o masie kilku TeV