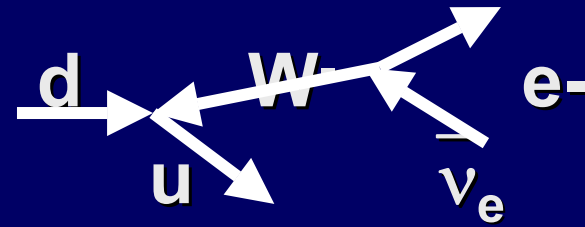
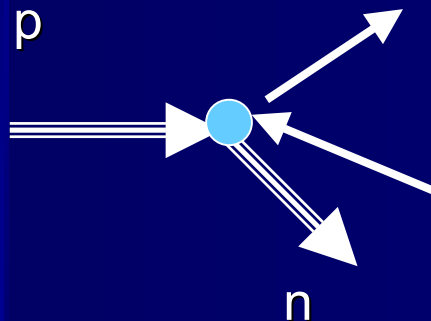


Rozpad $d \rightarrow u e \nu_e$



- W bardzo masywne (80.4 GeV)
wymiana opisuje wyrażenie $1/(q^2 - M_W^2)$
wielkość q^2 – mała w porównaniu do M_W^2

$$G_F/\sqrt{2} = g^2/(8 M_W^2)$$



4-fermionowe oddziaływanie Fermiego
efektywne sprzężenie $G_F = 10^{-5} m_p^{-2}$
słabe w porównaniu z α_{em}

Oddziaływania słabe
Symetria cechownia itp.
Spontaniczne łamanie symetrii
Generacja mas

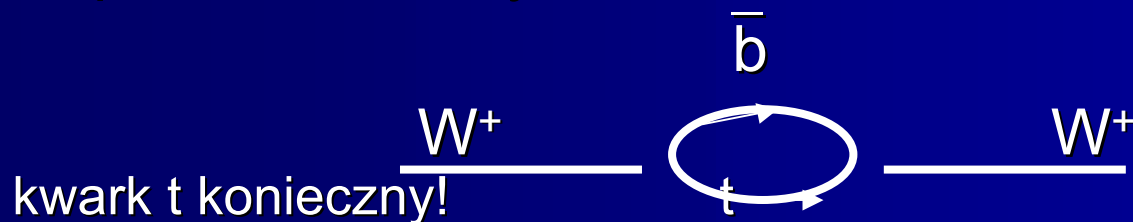
7 V 2008

Poszukiwanie cząstki Higgsa

- Jedna czy więcej?
- Mierzac ρ – jedna cząstka H wystarczy
- Poprawki do masy Z (energia własna Z) – wkłady osobliwe ale się kasują

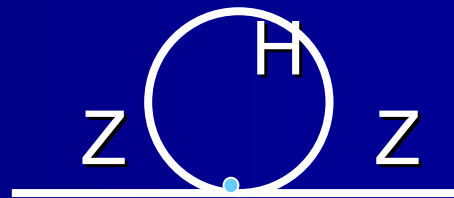
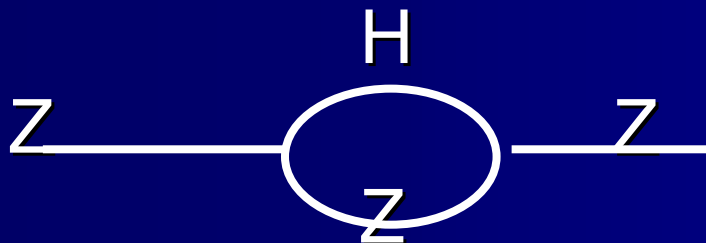


- Poprawki do masy W



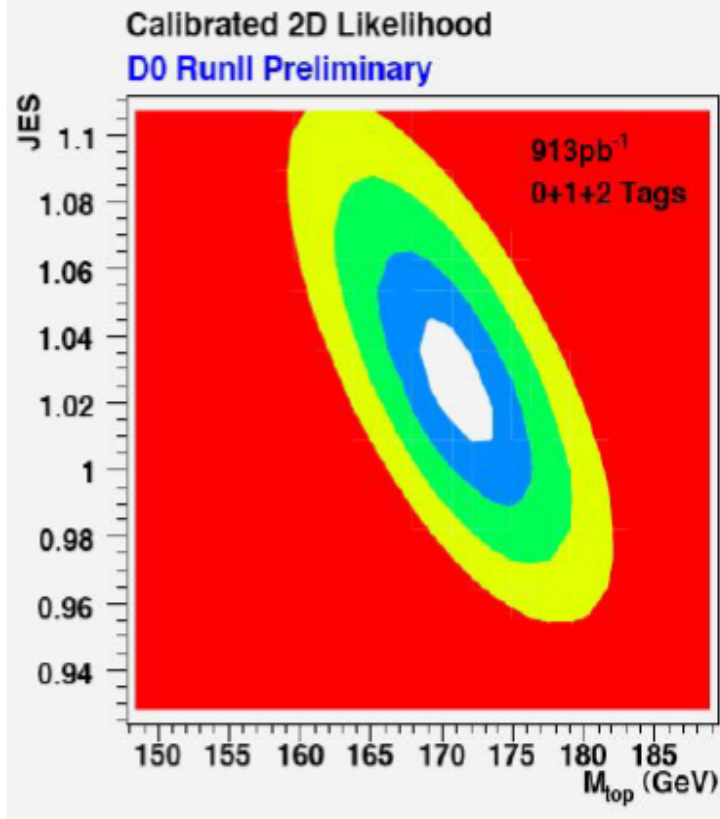
Poprawki do mas W/Z od H

- Pętle z H

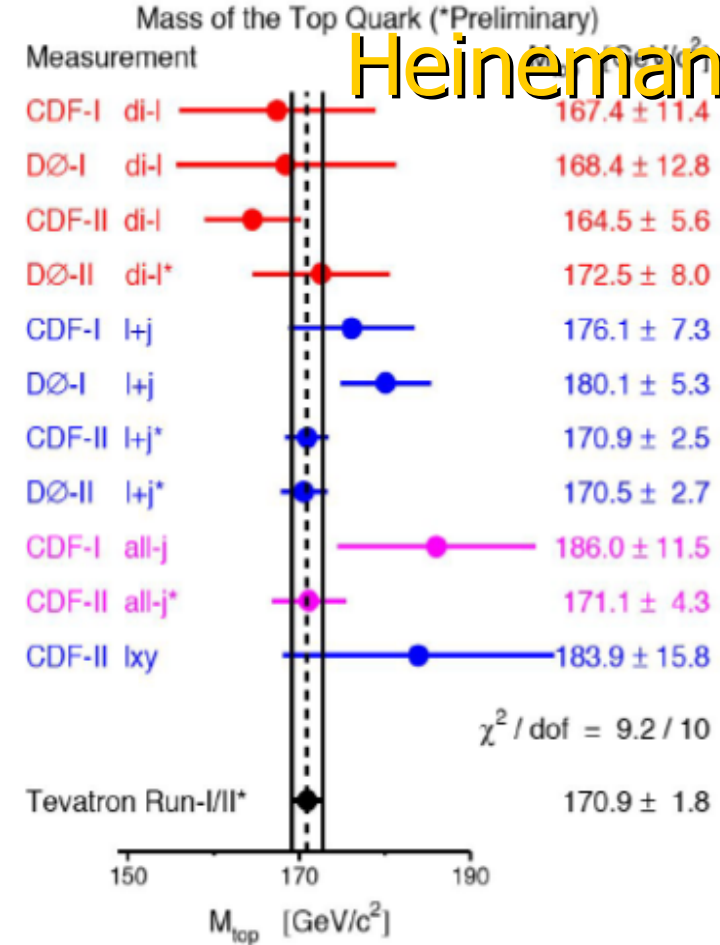


- Zmieniają stosunek mas W i Z ale znacznie mniej niż b i t
- Ale te wkłady od H powodują że przewidywania na masę t niepewne 5%
Po odkryciu kwarku t → oszacowania na masę H około 100 GeV

Top Quark Mass Results June 2007

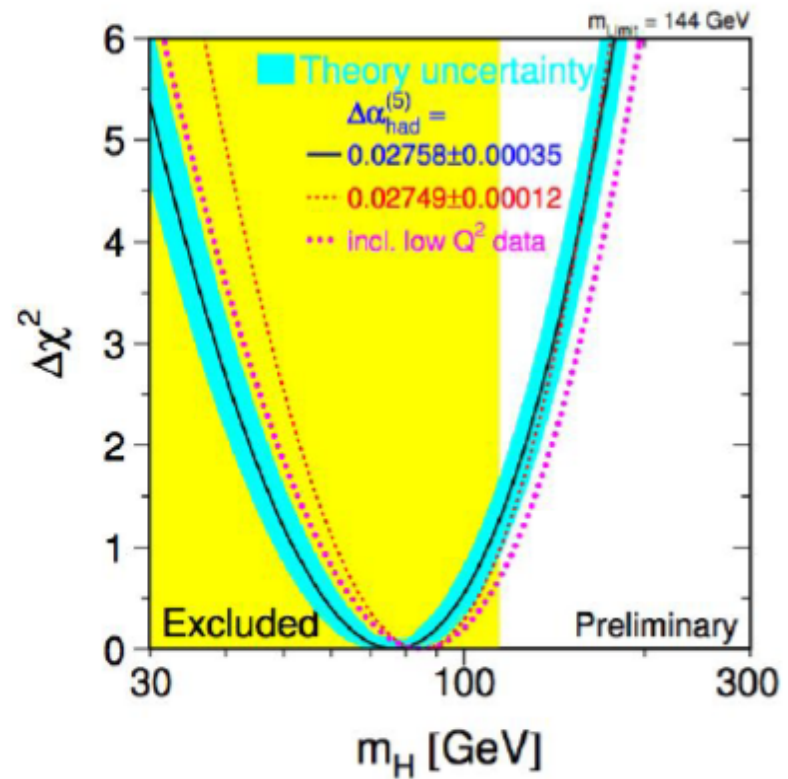
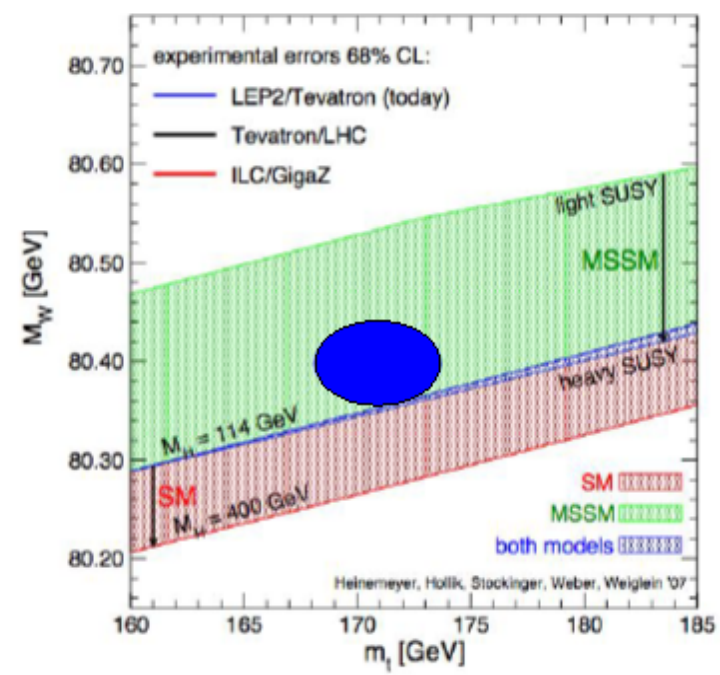


$m_{\text{top}} = 170.9 \pm 1.8 \text{ GeV}/c^2$



Prediction from LEP1, SLD, M_W, Γ_W : $178.9^{+11.7}_{-8.6} \text{ GeV}/c^2$

M_W , m_{top} and m_{Higgs}

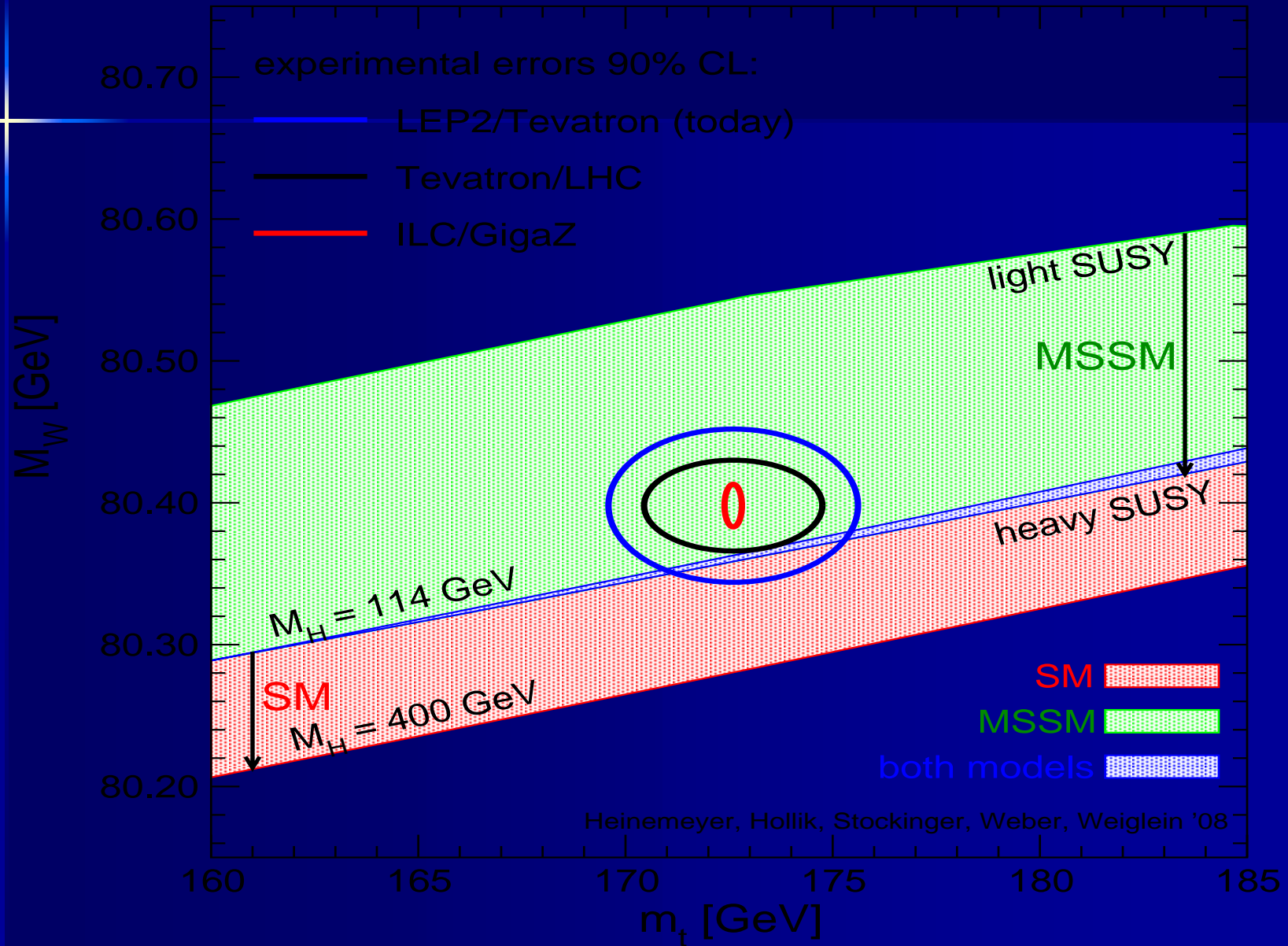


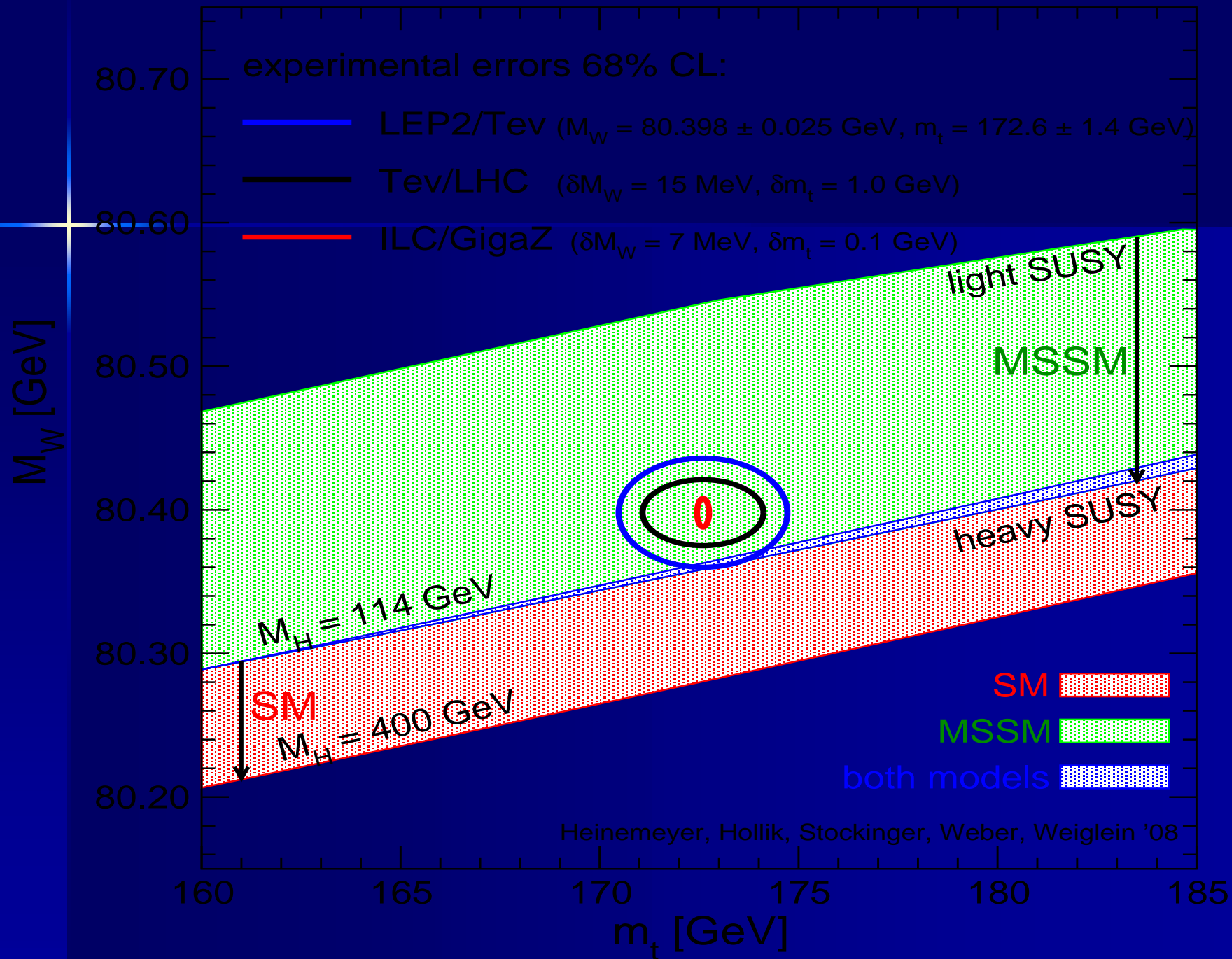
- Indirectly: $m_H < 144$ GeV @ 95% CL
- Directly (LEP): $m_H > 114$ GeV @ 95% CL
 - Standard Model excluded at 68% CL

S. Heinemeyer, W. Hollik, D. Stockinger, A.M. Weber, G. Weiglein Spring 2008

$M_W = 80.398 \pm 0.025$, $M_t = 172.6 \pm 1.4$

GeV





Samo-oddziaływanie cząstek H

- Dwie cząstki H przyciągają się- mogą powstać stany związane a pewna część energii ujemna (en. wiązania)
- Stan związany wielu (nieskończenie wielu) cząstek H i całkowita energia ujemna takiego stanu. Jest on rozciągły przestrzennie..
- Takie obiekty mogły powstać na początku Wszechświata, i oddziaływanie grawitacyjne
- Wszechświat wielkości piłki futbolowej - zakrzywienie Wszechświata
- Teorie, że Wszechświat był początkowo zakrzywiony w przeciwny sposób i po wystąpieniu stanów H zniesienie krzywizny → dziś Wszechświat płaski

The theory ends here - Veltman

- Samo-oddziaływanie H proporcjonalne do masy H
- Dla dużych mas (>500 GeV) załamuje się rachunek zaburzeń
- *The theory ends here. We need help. Experiments must clear up this mess.*
→ LHC pp, ILC e^+e^- (PLC $\gamma\gamma$, $e\gamma$)

Symetria

- Symetria – idea za pomocą której człowiek w ciągu wieków starał się zrozumieć i ustanowić porządek, piękno i doskonałość – H. Weyl (Getynga)
 - Pojęcie symetrii cechowania Weyl 1918
 - 1918 E. Noether związek symetrii i praw zachowania: symetria względem przesunięcia w czasie – zachowanie energii
 - w przestrzeni – .. pędu
 - obroty – ..momentu pędu
- Symetrie wewnętrzne np. prawo-lewo

Symetria globalna i lokalna

- Globalna – niezależnie od położenia i czasu
- Lokalna – zależna od (x,y,z) i t

Symetria (niezmienniczość) cechowania

- Względem zmiany skali (wycechowania) przyrzędu pomiarowego
- W wersji globalnej – zmiana kalendarza, skali temperatury czy położenia południka zerowego – nie wpływa na odstęp czasu, ilości ciepła potrzebnego do podgrzania wody czy czasu podróży. Podobnie zmiana nominalu pieniądza → globalnie niezmiennicze przychody czy straty firmy.
- W wersji lokalnej – całkowity chaos..

Symetria lokalna

- Zmiana opisu np. elektronu przez zmianę fazy

$$\psi' = \psi e^{i\theta}$$

nie wpływa na prawdopodobieństwo
(taka niezmienniczość teorii istotnie występuje
gdy globalna zmiany fazy)

- Lokalna zmiana opisu elektronu – OK,
jeżeli jest rekompensowana przez zmienność
lokalną innego czynnika
- Pojawiają się oddziaływania pomiędzy różnymi
elementami układu i ścisłe związki formy
oddziaływania z istnieniem symetrii lokalnej

Zasada cechowania

- Zasada cechowania jako konstrukcja opisu oddziaływań: niezmienniczość opisu względem **lokalnej** zmiany fazy fermionów o ile istnieje odpowiednio oddz. z odpowiednim charakterem kompensujących zmian opisu (cechowania) nośników tych oddziaływań – bozonów cechowania
- E-m: zmiana fazy (symetria $U(1)$) elektronu \rightarrow istnienie oddz e-m, które można cechować odpowiednio (cechowanie fotonu)
- Swoboda cechowania – znany fakt z fizyki klasycznej: wybór punktu (poziomu) zerowania się potencjałów elektrycznego lub grawitacyjnego

Oddziaływania elektroslabe

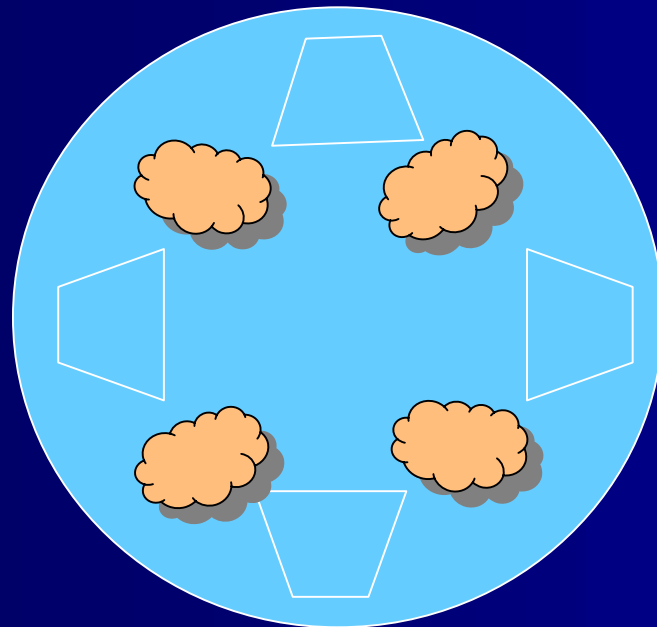
- bozony W i Z masywne

- Symetria wzg. lokalnej grupy cechowania przekształceń (transformacji) unitarnych $SU(2) \times U(1)$, nośniki - W^\pm , Z i γ
 $SU(2)$ – grupa nieabelowa (nieprzemienne) wynik złożenia dwóch przekształceń zależy od kolejności jak mnożenie macierzy
Teorie z cechowaniem typu Yanga-Millsa (nieabelowe)
- Cząstki W, Z , foton i fermiony (elektron, muon, kwarki...) zgodnie z tą symetrią muszą być bezmasowe, człony masowe łamią tę symetrię, ale przecież te cząstki (poza fotonem) nie są bezmasowe!
- Generowanie mas w specjalny sposób - **spontaniczne łamanie symetrii SSB**

Spontaniczne łamanie symetrii- np. ferromagnetyk, domeny poniżej temp Curie, a oddziaływanie dipoli magn. nie zależy od kierunku

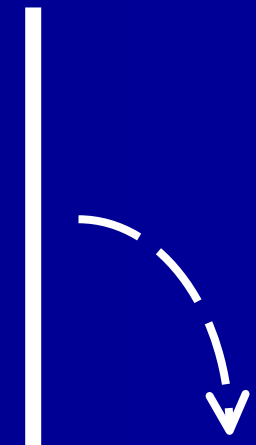


- Wybierz ciasteczko (lewe-prawe?)–



a inni muszą się dostosować

- Pionowy kijek – gdzie upadnie?



Mechanizm Brouta-Englerta-Higgsa

- Schwinger 1962 – łamanie symetrii lokalnej i globalnej różnią się; gdy lokalna nie muszą się pojawiać bezmasowe cząstki (bozony Goldstone'a)
- Anderson 1963 – nadprzewodnictwo to też przykład SSB oddz. e-m a nie pojawia się bezmasowa cząstka, wie może w innych lokalnie symetrycznych teoriach tak będzie
- R. Brout i F. Englert (Phys. Rev Lett. 13, 1964, 321) opis mechanizmu SSB dla teorii z cechowaniem lokalnym
- P. Higgs, Phys.Rev.Lett.13,1964, 508, Phys. Lett. 12,1964, 132 (praca początkowo odrzucona jako nieistotna dla fizyki cząstek elementarnych)

Generacja masy bozonów W i

Z

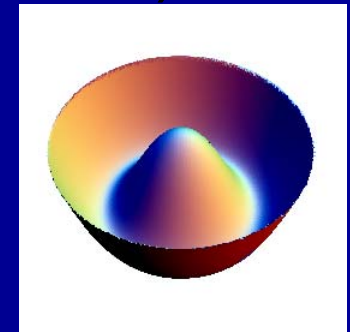
- Połączenie lokalnej symetrii cechowania i spontanicznego łamania symetrii – spójny opis oddziaływań EW
- Nieobserwowane bozony Goldstona po sklejeniu z nieobserwowanymi bezmasowymi bozonami cechowania tworzą masywne bozony W^\pm i Z
- Foton pozostaje bezmasowy
$$SU(2) \times U(1) \rightarrow U(1)_{em}$$
- Również fermiony dostają masę

Mechanizm BEH przewiduje istnienie neutralne, bezspinowej cząstki – bozonu Higgsa H

- Wszystkie sprzężenia H ze znanymi cząstkami – jak wynika z wymogów kasowania się niewłaściwych członów !!
- Masa Higgsa wolnym parametrem
- Skąd ta cząstka się bierze? Musimy coś dodać – dodajemy dublet pól skalarnych (zespolone). To oznacza dodanie 4 rzeczywistych pól, 3 są użyte na zbudowanie fizycznych cząstek W^\pm i Z a pozostałe pole opisuje cząstkę H

Symmetry - a main idea of modern particle physics

- Interactions are described by gauge principle
- Masses are generated by a spontaneous symmetry breaking (Higgs mechanism)
- Prediction: Higgs boson(s)
- **HIGGS SECTOR** – a key to underlying theory



SYMMETRY

from D. Gross talk at Photon2005

BEFORE EINSTEIN

Symmetries were regarded as consequences of the dynamical laws of nature.

AFTER EINSTEIN

Einstein recognized the relativistic symmetry implicit in Maxwell's equations and elevated it to a symmetry of space-time.

THE GEOMETRIZATION OF SYMMETRY

Symmetry is a primary feature of nature that constrains the allowable dynamical laws.

LOCAL SYMMETRY

GLOBAL SYMMETRY

Global symmetries are regularities of the laws of motion formulated in terms of physical events; the application of the symmetry transformation yields a different physical situation, but all observations are invariant under the transformation. The traditional symmetries discovered in nature were global symmetries, transformations of a physical system in a way that is the same everywhere in space.

LOCAL SYMMETRY

Local (or gauge) symmetries are of a totally different nature, are formulated only in terms of the laws of nature; the application of the symmetry transformation merely changes our description of the same physical situation, does not lead to a different physical situation.

SYMMETRY DICTATES DYNAMICS

1912-17 General Coordinate \longrightarrow Gravitation
1968-73 Gauge Invariance \longrightarrow Electro-Weak and Strong

THE THEORY OF MATTER and STANDARD MODEL(S)

F. Wilczek, LEPFest, Nov.2000 (hep-ph/0101187)

Theory of Matter = $SU(2)_I$ weak x $U(1)_Y$ weak x $SU(3)_{\text{color}}$

Theory of Matter refers to the core concepts

- quantum field theory
- gauge symmetry
- spontaneous symmetry breaking
- asymptotic freedom
- the assignments of the lightest quarks and leptons

Standard Models: Choose the number of Higgs (scalar) doublets
- 1HDM, 2HDM (MSSM), 3HDM ...

NonStandard Models are based on more radical assumptions.

See eg. *CP Study and the Nonstandard Higgs Workshop 2002-2006*
(CERN Report hep-ph/0608079)