

# Trzy zapachy neutrin

Agnieszka Zalewska

sesja naukowa z okazji 50-lecia IFJ PAN, 18.09.2005

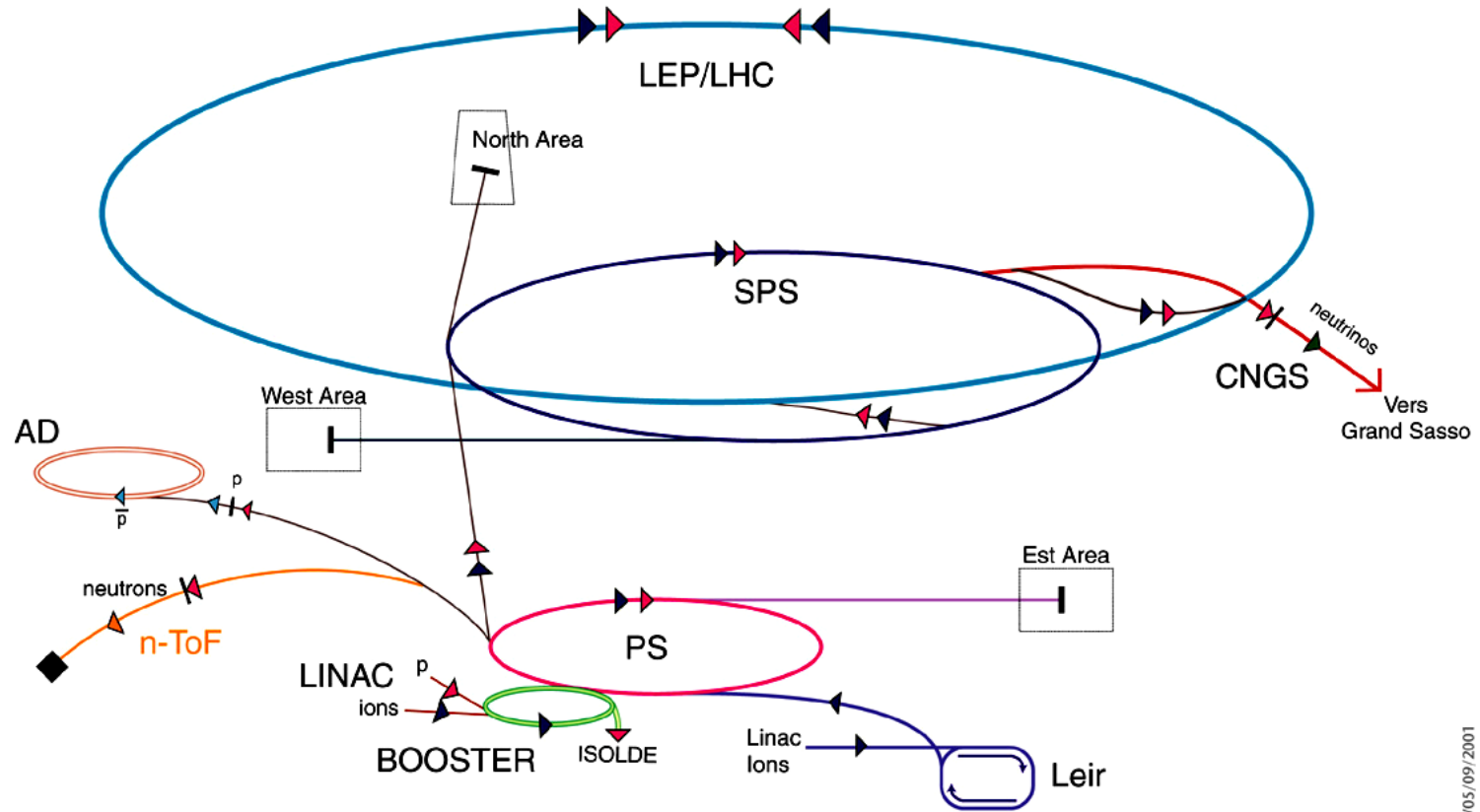
W imieniu zespołu fizyków, inżynierów i techników  
pracujących w eksperymencie DELPHI  
przy akceleratorze LEP

J. Błocki, P. Brückman, A. Budziak, K. Cieřlik, B. Dąbrowski, A. Despet,  
W. Duliński, A. Florek, B. Florek, K. Gałuszka, T. Gdański, J. Godlewski,  
Z. Hajduk, P. Jałocha, W. Janczur, P. Kapusta, B. Kisielewski, J. Knapik,  
W. Kucewicz, M. Kucharczyk, T. Lesiak, M. Michałowski, B. Muryn,  
K. Pakoński, H. Paćka, G. Polok, K. Rybicki, M. Stodulski, M. Turaća,  
M. Witek, A. Zalewska

**Bohaterem tej opowieści jest  
LEP (Large Electron Positron  
collider), jego 4 eksperymenty  
(w tym eksperyment DELPHI)  
oraz zegarmistrzowska precyzja  
w fizyce cząstek**

# CERN - akceleratoratory

## Accelerator chain of CERN (operating or approved projects)



- ▶ p (proton)
- ▶ ion
- ▶ neutrons
- ▶  $\bar{p}$  (antiproton)
- ▶  $\leftrightarrow$  proton/antiproton conversion
- ▶ neutrinos

- AD Antiproton Decelerator
- PS Proton Synchrotron
- SPS Super Proton Synchrotron

- LHC Large Hadron Collider
- n-ToF Neutrons Time of Flight
- CNGS Cern Neutrinos Grand Sasso

# 1989-2000 - okres pracy akceleratora LEP



Największy zderzacz  $e^+e^-$ ,  
dł. obwodu 27 km,  
maksymalna energia 209 GeV,  
zatwierdzony w 1981 r.

# 4 eksperymenty: ALEPH, DELPHI, L3, OPAL

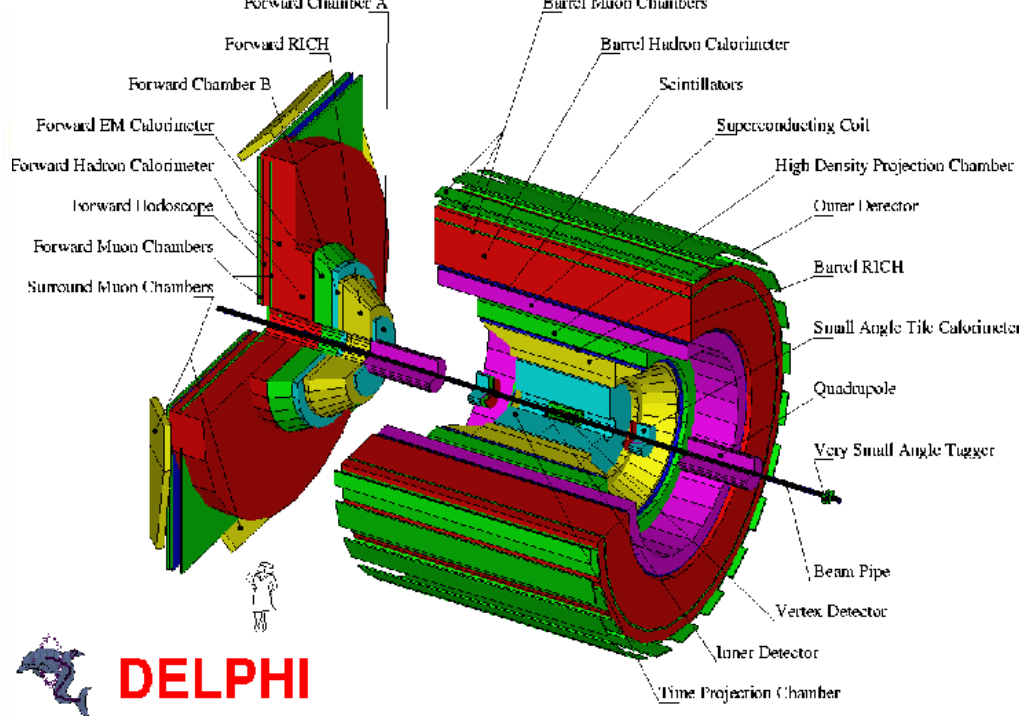
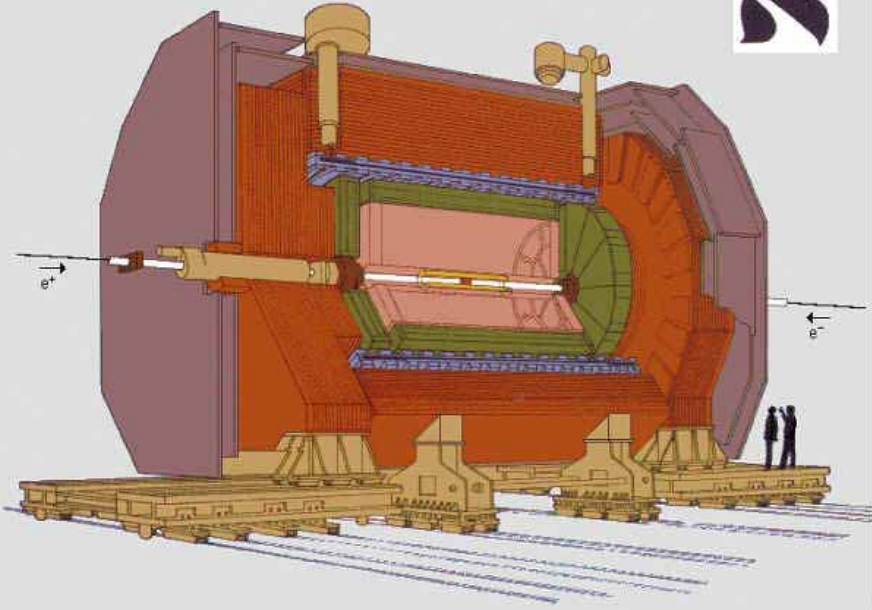


Dwie fazy pracy akceleratora LEP:

1989-1995 -  $E_{CMS} \approx m_Z$

1995-2000 - stopniowe podnoszenie  $E_{CMS}$  aż do 209 GeV

# ALEPH



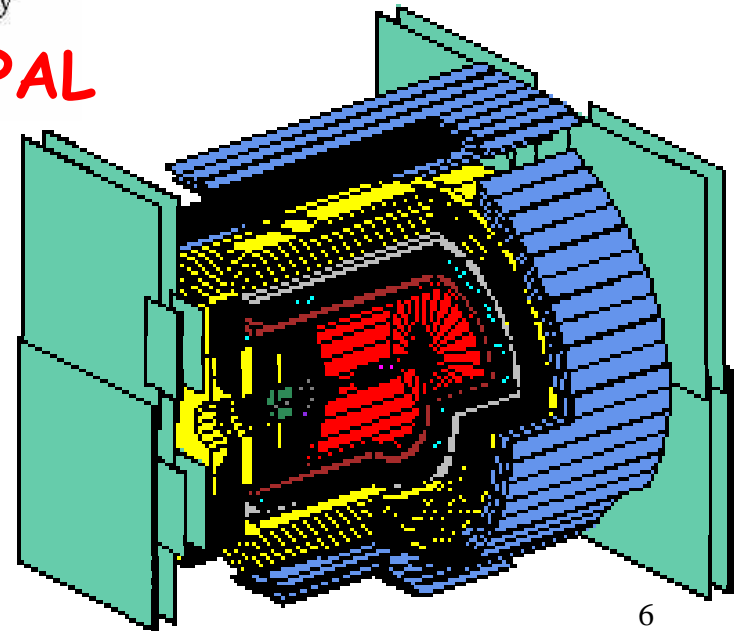
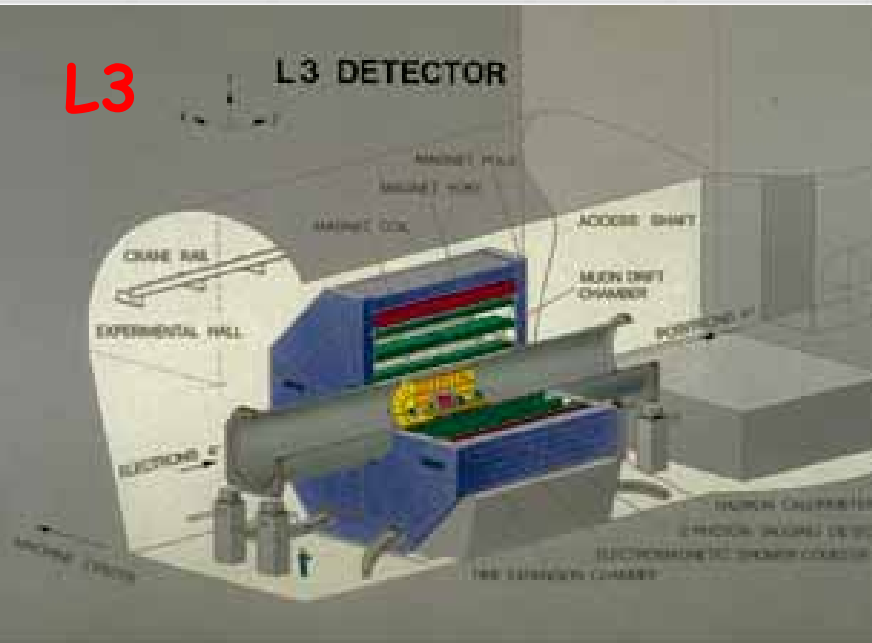
# DELPHI

■ Luminosity  
Monitors

# OPAL

# L3

## L3 DETECTOR

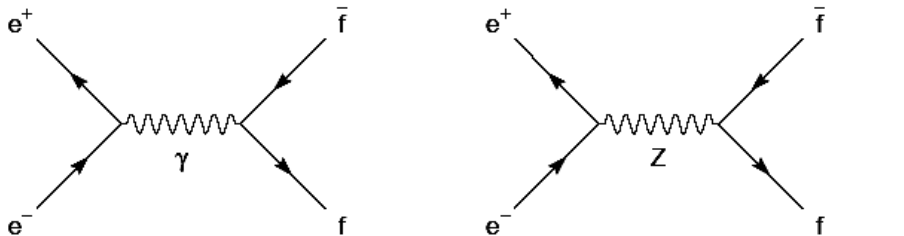
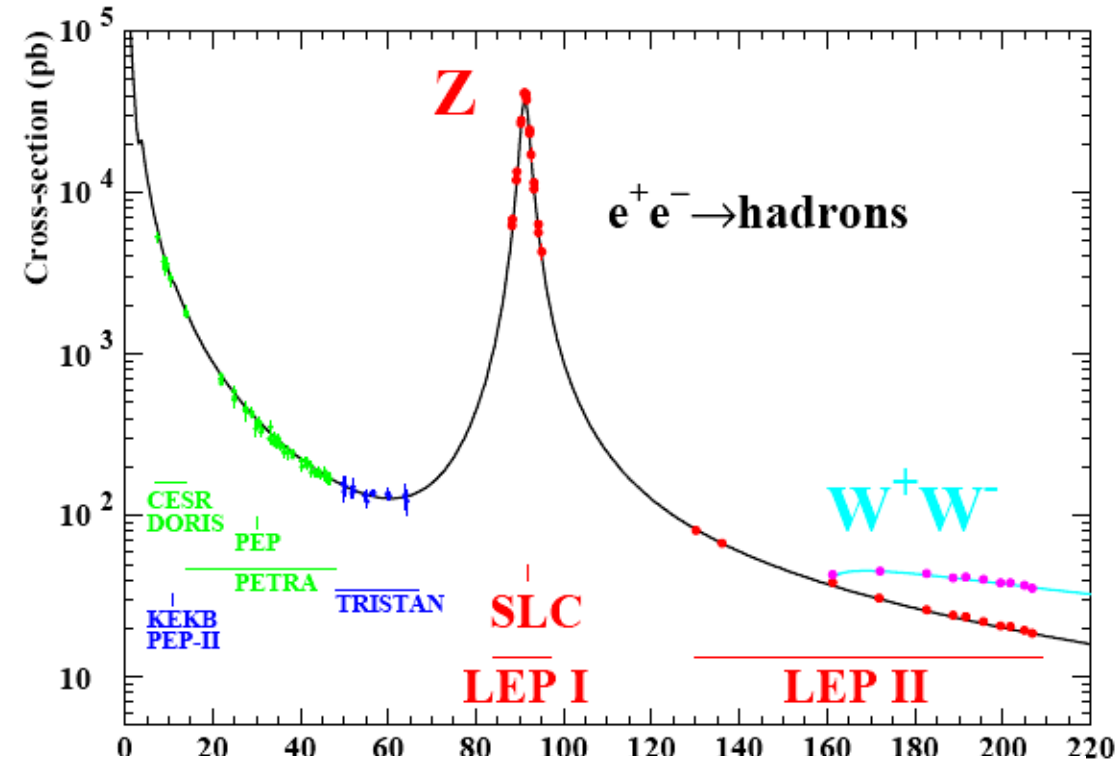


# Eksperyment DELPHI przy akceleratorze LEP

Prace rozpoczęły się w 1980, w 2005 roku analizy danych na ukończeniu, w eksp. DELPHI uczestniczyły dwie duże polskie grupy z Krakowa i Warszawy, poważny wkład aparaturowy (detektory VD, ID, HPC, RICH) polski ołów jako ekwiwalent wkładu finansowego



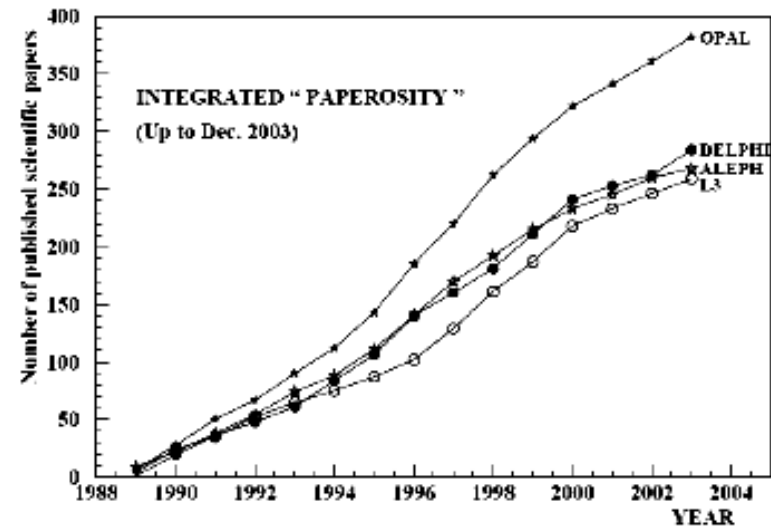
# Program fizyczny LEP: precyzyjne testy Standardowego Modelu cząstek



A.Zalewska, 50-lecie IFJ, 18.09.2003

Teoria elektrosłaba dla oddziaływań EM i słabych

Chromodynamika kwantowa dla oddziaływań silnych



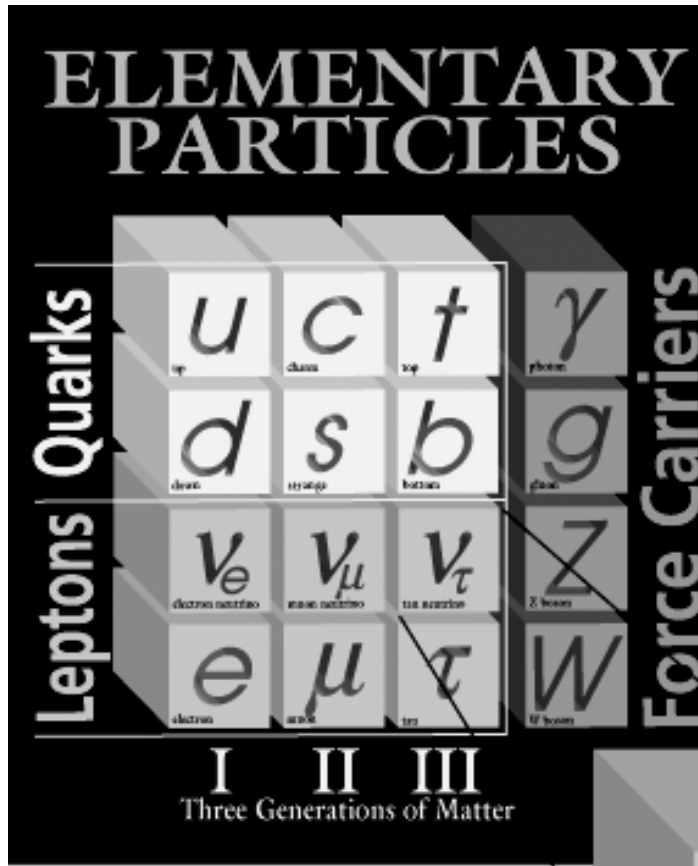
Dziedzictwo LEPu: m.in.  
ok.1300 publikacji naukowych



## Trzy wyniki:

- trzy zapachy neutrin
- masa kwarku  $t$
- co z tym Higgsem?
- w tle precyzja, precyzja, precyzja!

# Trzy zapachy neutrin = trzy rodziny elementarnych fermionów



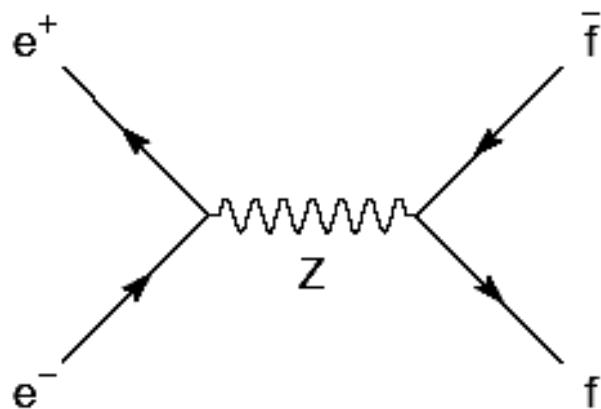
**Dlaczego istnieje więcej niż jedna rodzina?**

A.Zalewska, 50-lecie IFJ, 18.09.2005

Przed startem LEP-u wiadomo było, że są co najmniej trzy rodziny kwarkowo-leptonowe, bo znany był już kwark  $b$  i lepton  $\tau$ , należące do trzeciej rodziny

To, czy istnieje więcej rodzin, można było sprawdzić poprzez poszukiwanie rozpadów bozonu  $Z^0$  na dodatkowe pary neutrin-antyneutrino

# Jak wyznaczyć $N_\nu$ ?



$Z^0$  rozpada się na pary  $f \bar{f}$ :

kwarki:  $u \bar{u}$ ,  $d \bar{d}$ ,  $s \bar{s}$ ,  $c \bar{c}$ ,  $b \bar{b}$

naładowane leptony:  $e^-e^+$ ,  $\mu^-\mu^+$ ,  $\tau^-\tau^+$

neutrino:  $\nu_e \bar{\nu}_e$ ,  $\nu_\mu \bar{\nu}_\mu$ ,  $\nu_\tau \bar{\nu}_\tau$  + ??

$$\Gamma_Z = \Gamma_{ee} + \Gamma_{\mu\mu} + \Gamma_{\tau\tau} + \Gamma_{\text{had}} + \Gamma_{\text{inv}}$$

$$\sigma_{\text{had}}^0 \equiv \frac{12\pi}{m_Z^2} \frac{\Gamma_{ee}\Gamma_{\text{had}}}{\Gamma_Z^2}$$

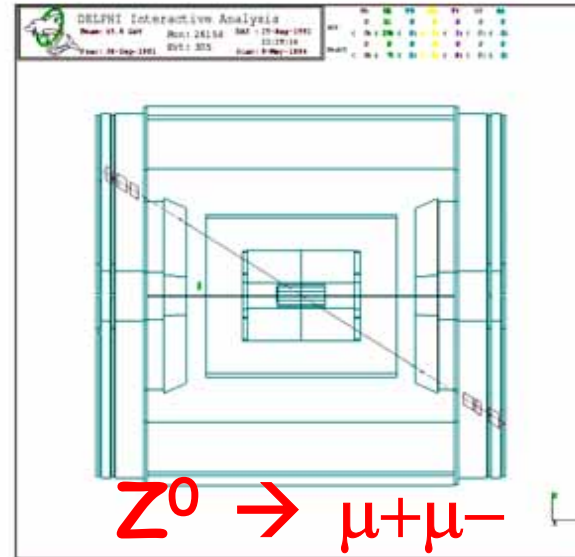
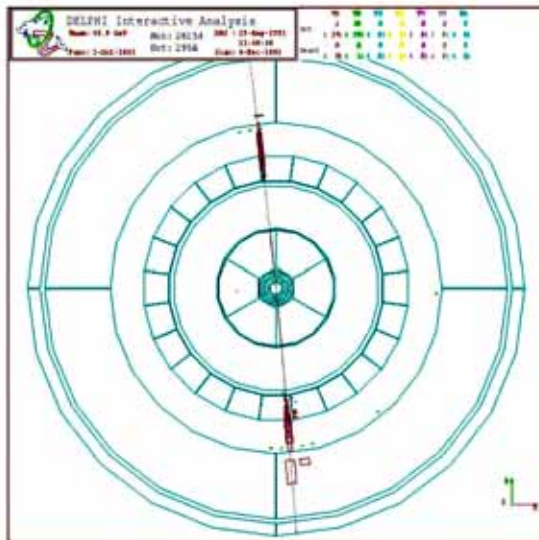
$$R_\ell^0 \equiv \Gamma_{\text{had}}/\Gamma_{\ell\ell}$$

$$R_{\text{inv}}^0 = \left( \frac{12\pi R_\ell^0}{\sigma_{\text{had}}^0 m_Z^2} \right)^{\frac{1}{2}} - R_\ell^0 - (3 - \delta_\tau)$$

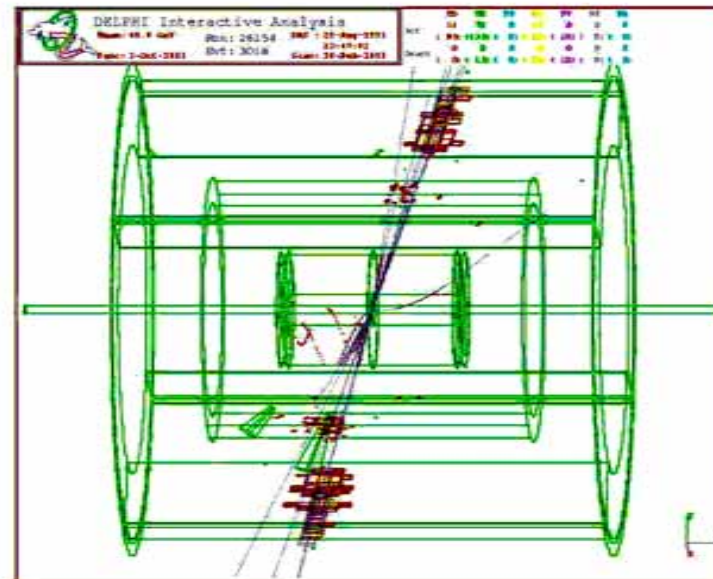
$$R_{\text{inv}}^0 = N_\nu \left( \frac{\Gamma_{\nu\bar{\nu}}}{\Gamma_{\ell\ell}} \right)_{\text{SM}}$$

# Klasyfikacja rozpadów $Z^0$

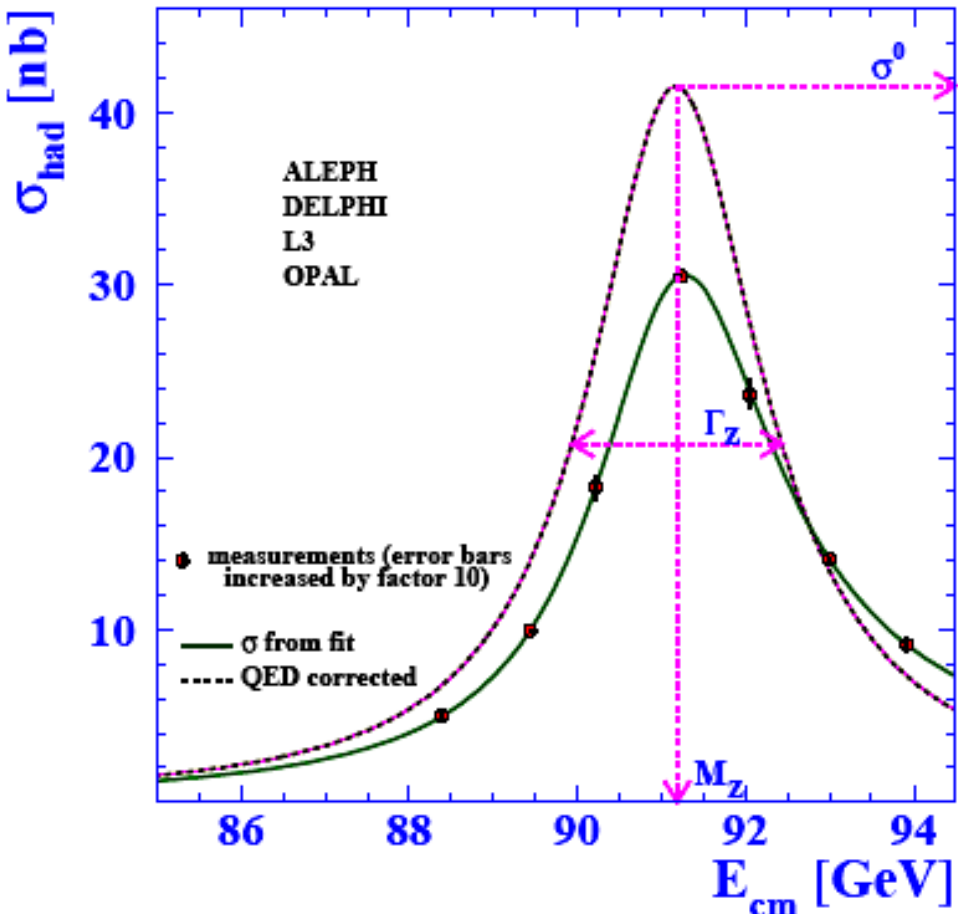
$Z^0 \rightarrow e^+e^-$



$Z^0 \rightarrow \text{hadrony}$

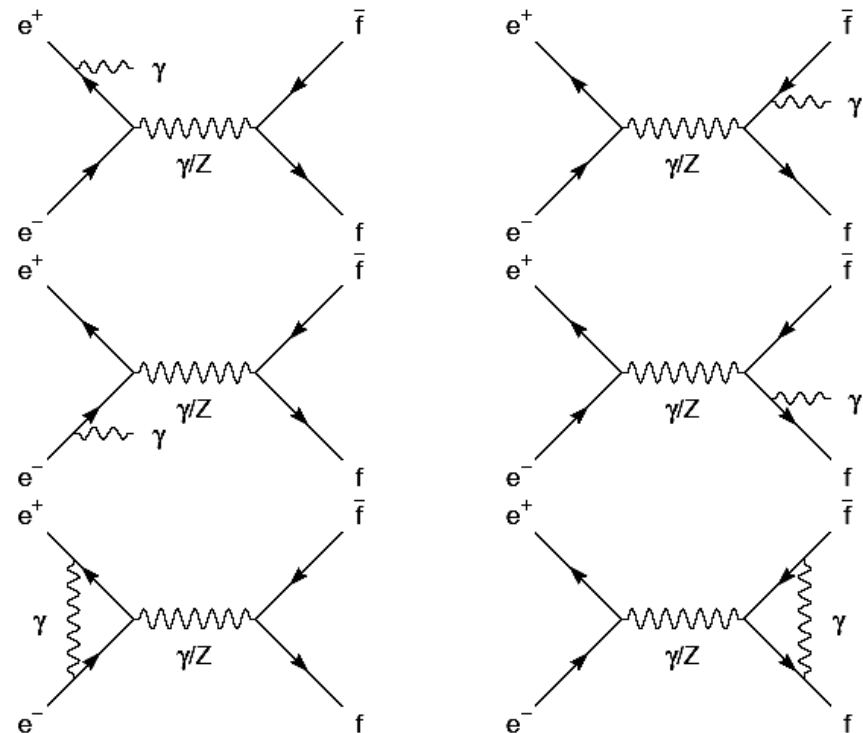


# Pomiar kształtu linii $Z^0$ - poprawki radiacyjne QED



Mierzony i poprawiony  $\sigma^0_{\text{had}}$  różnią się o 36%, poprawki policzone aż do 3-go rzędu rachunku zaburzeń

A.Zalewska, 50-lecie IFJ, 18.09.2005

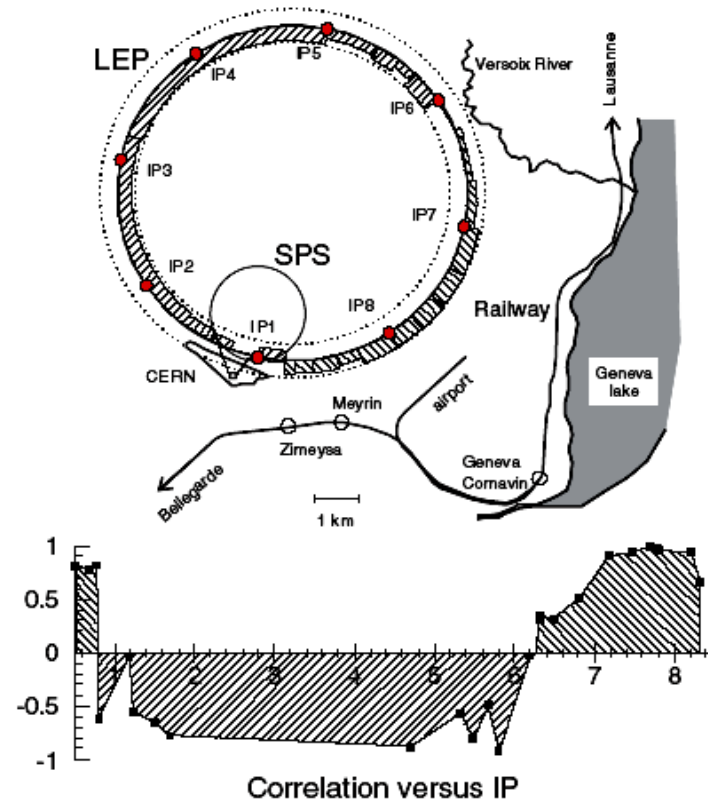
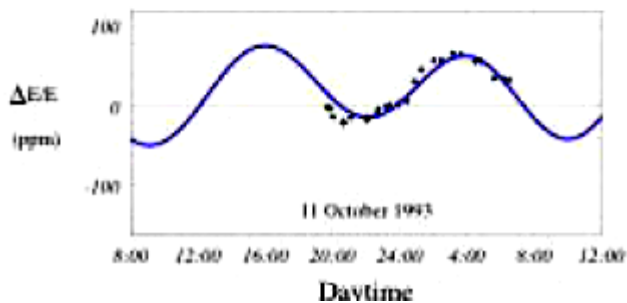
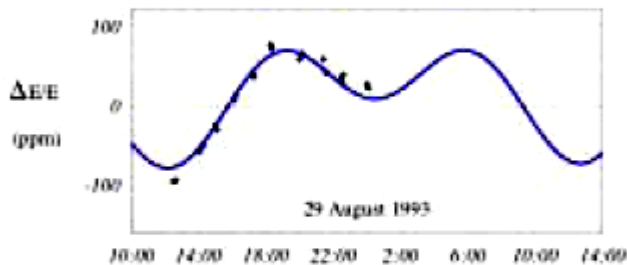
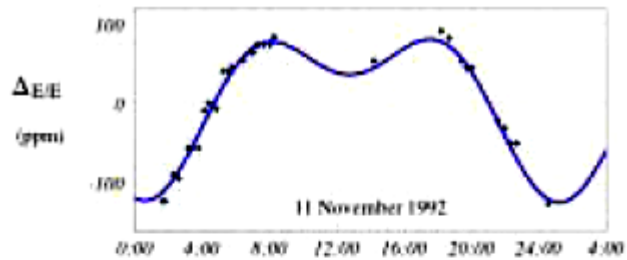


## Przykłady poprawek QED

Poprawki QED równie ważne w przypadku rozpraszania  $e^+e^-$  pod małymi kątami  $\rightarrow$  świetność LEPu (program BHLUMI - S.Jadach i in)

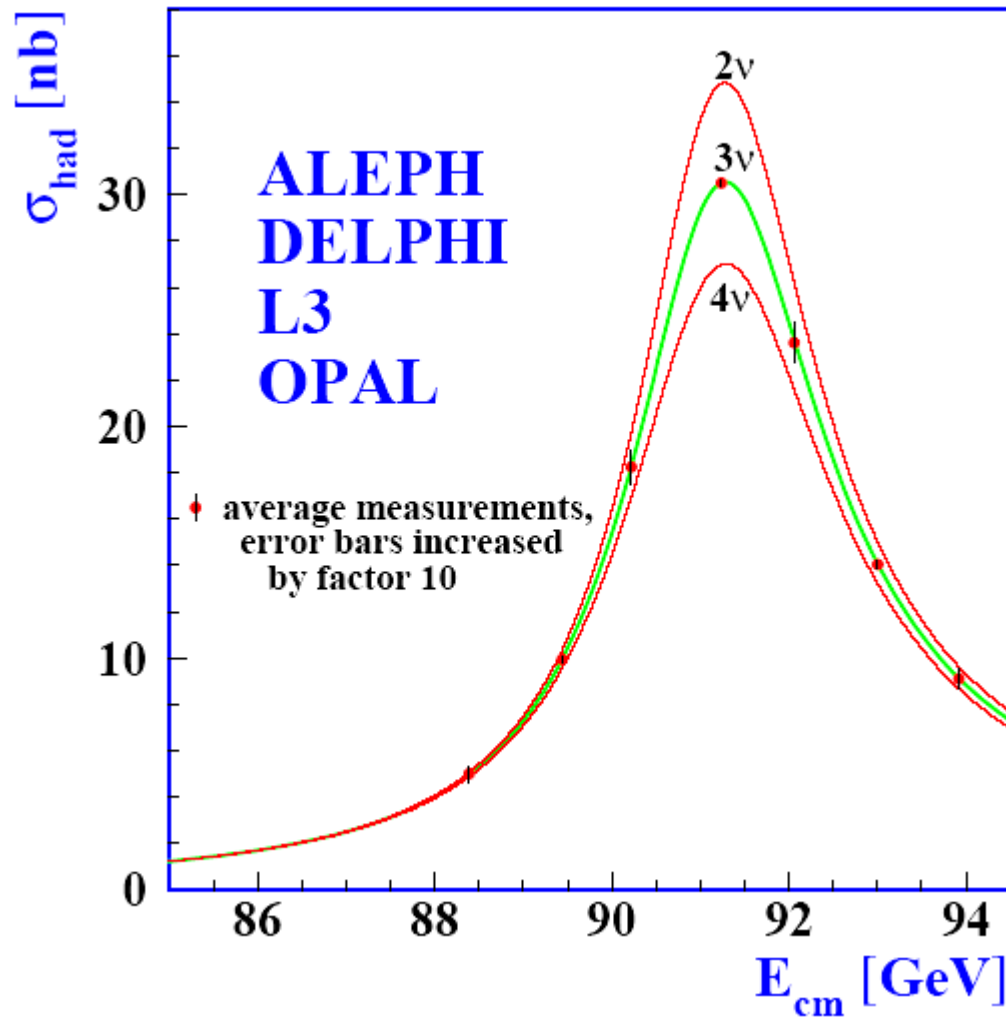
# Precyzyjny pomiar masy $Z^0$

Prowadzona była kalibracja energii wiązek z zastosowaniem metody rezonansowej depolaryzacji wiązki oraz uwzględniane były efekty systematyczne powodujące zmianę orbity wiązek, np. przyciąganie Księżyc-Ziemia, poziom wód gruntowych, rozkład jazdy pociągów TGV



# Liczba zapachów neutrin = liczba rodzin

$$N_\nu = 2.9840 \pm 0.0082$$



# Precyzja pomiarów z LEP-u

1989 - lato

$$m_Z = 91.12 \pm 0.16 \text{ GeV},$$
$$m_W = 80.0 \pm 0.36 \text{ GeV},$$
$$\sin^2 \theta_W = 0.227 \pm 0.006,$$
$$N_\nu = 3.0 \pm 0.9.$$

2005

$$m_Z = 91.1875 \pm 0.0021 \text{ GeV}$$
$$m_W = 80.450 \pm 0.039$$
$$\sin^2 \theta_{\text{eff}}^{\text{lept}} = 0.23153 \pm 0.00016$$
$$N_\nu = 2.9840 \pm 0.0082$$

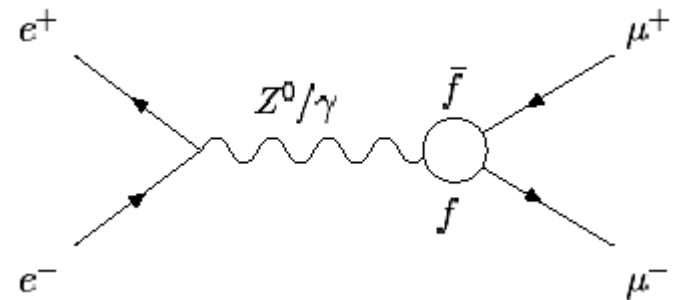
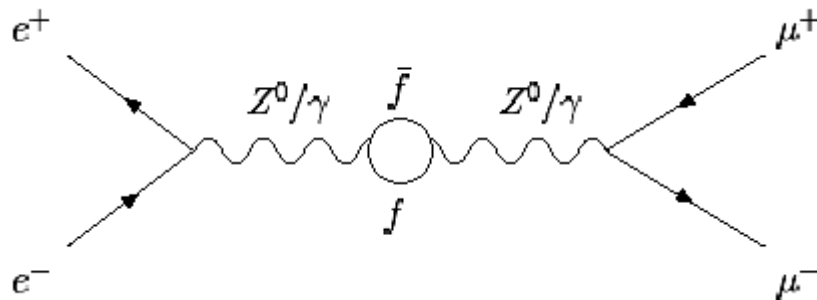
hep-ex/0509008  
7 Sep 2005  
(17 milionów  $Z^0$ )

Quantity	Expected error	Achieved
$m_Z$	50 to 20 MeV	2.1 MeV
$m_W$	100 MeV	39 MeV
$N_\nu$	0.3	0.008
$A_{FB}^{0,\mu}$	0.0035	0.0013
$A_{FB}^{0,b}$	0.0050	0.0017
$A_\tau$	0.0110	0.0043



# Masa kwarku $t$

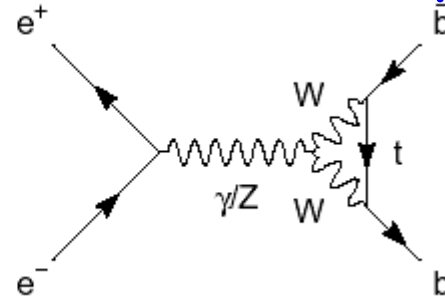
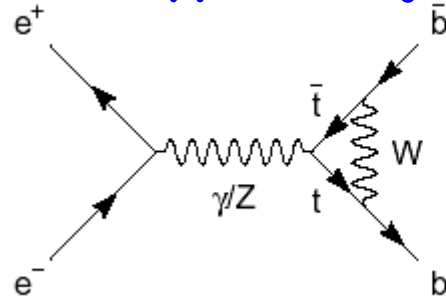
W oparciu o elektro-słabe poprawki radiacyjne



Polaryzacja próżni

są małe - typowo dają wkład rzędu ułamków procenta

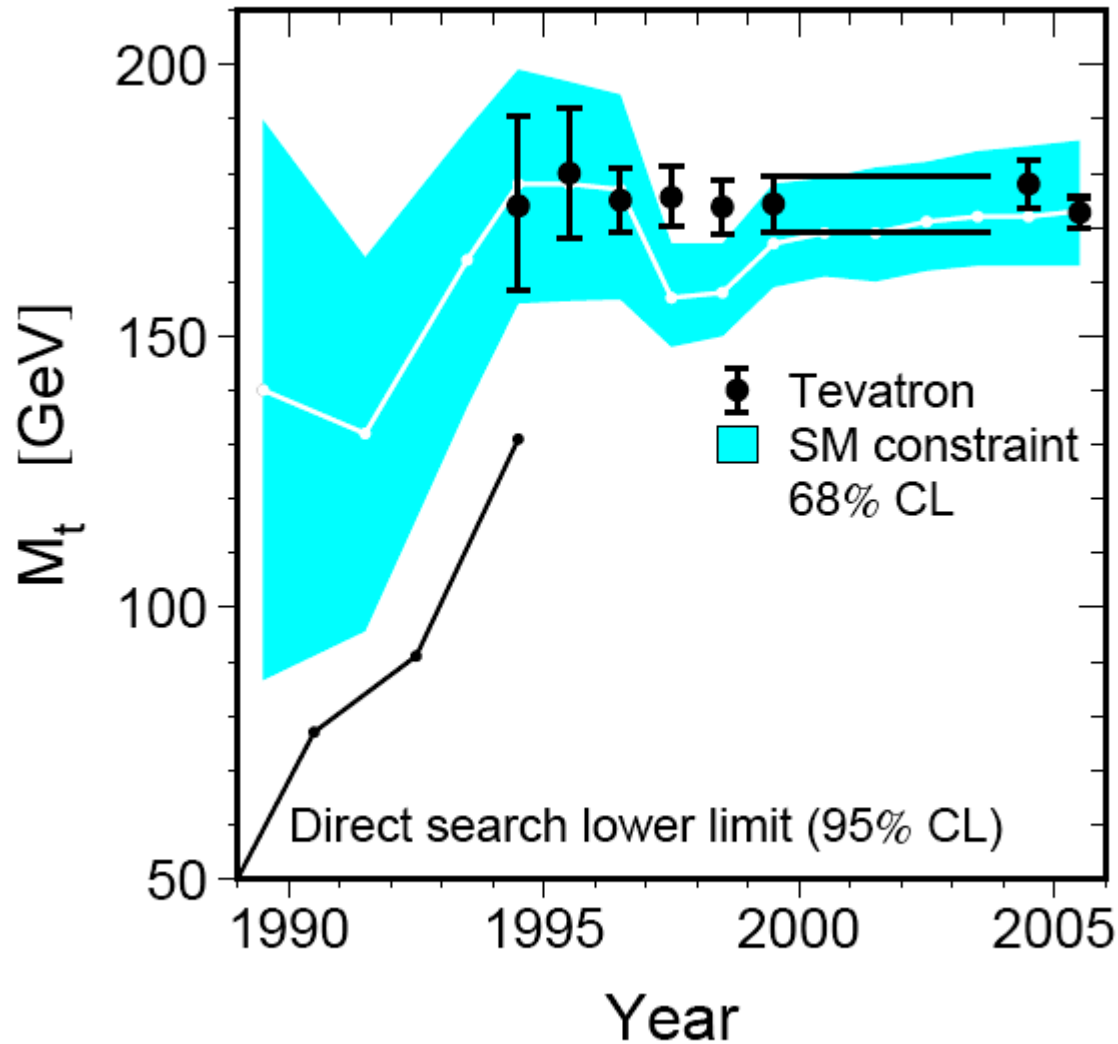
Poprawki wierzchołkowe



Niektóre poprawki elektro-słabe zawierają kwark  $t$

→ pośrednia informacja o masie kwarku  $t$

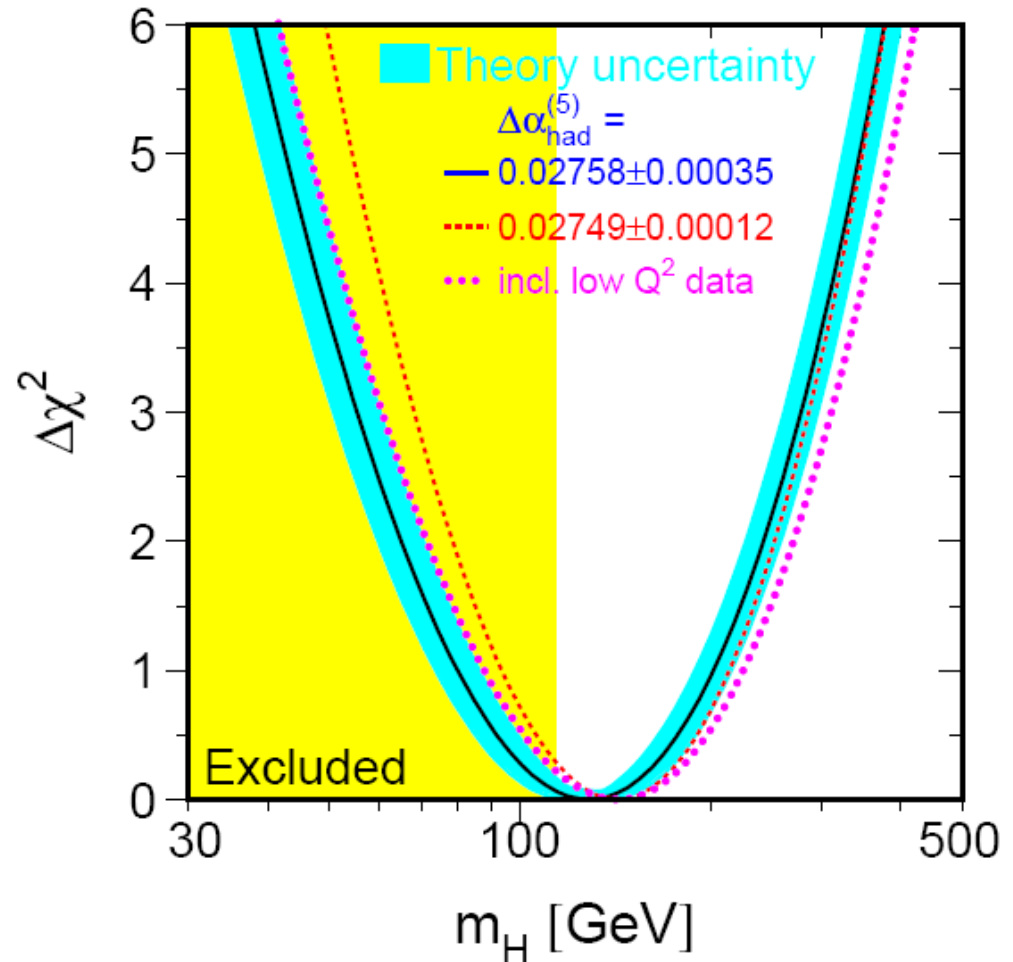
# Masa kwarku $t$ - pośredni i bezpośredni pomiar



# Masa bozonu Higgsa

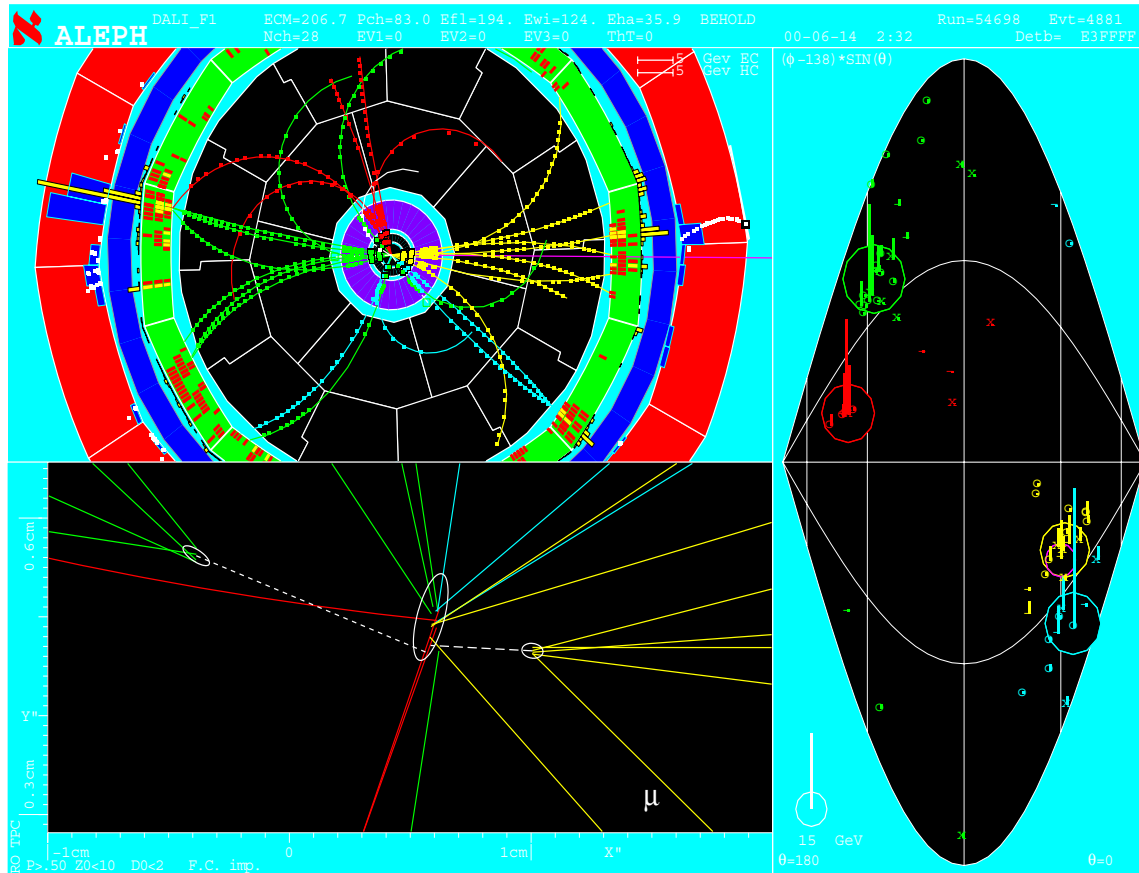
Przewidywania na podobnej zasadzie jak dla kwarku t, ale wnioski trudniejsze, bo w tym przypadku logarytmiczna zależność od masy

$m_H < 285 \text{ GeV}$  dla CL 95



# Bozon Higgosa - bezpośrednie poszukiwania

Dolne ograniczenie masy:  $m_H > 114.4 \text{ GeV}$



2 b cand.

HZ hyp.  
 $m_H = 114$   
 GeV

$\pm 3$

GeV

NN = 0.996

jet b-tag:

Z

1 0.14

2 0.01

H

3 0.99

4 0.99

Sygnal Higgosa przy najwyższych energiach w LEP-ie?

**pokaże przyszłość!**

**I jeszcze dwie dygresje**

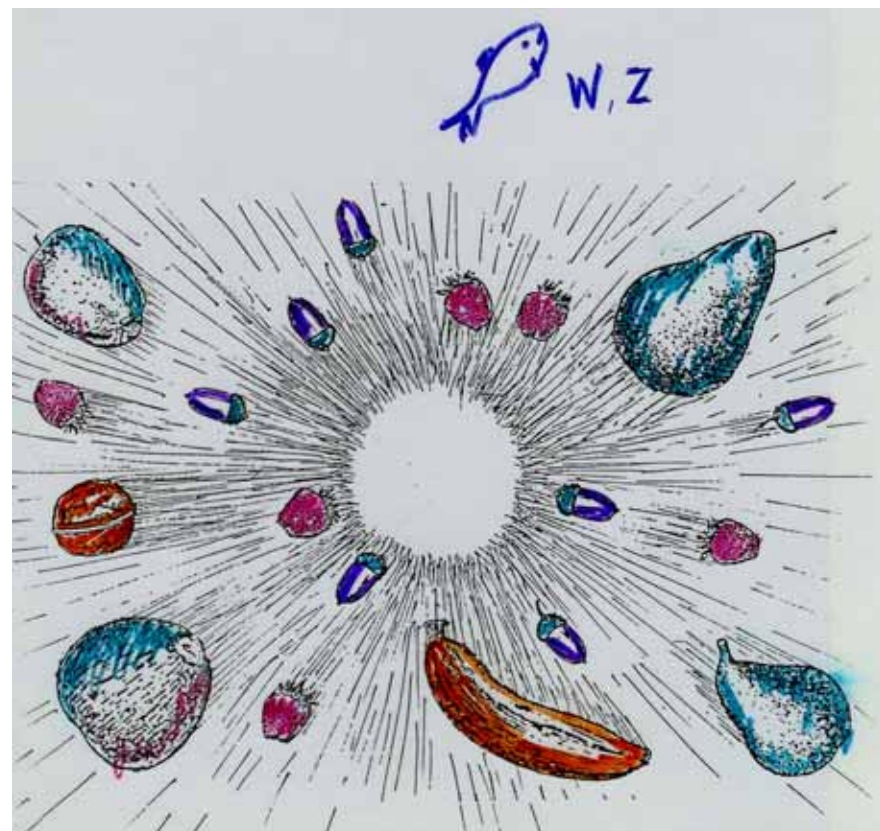
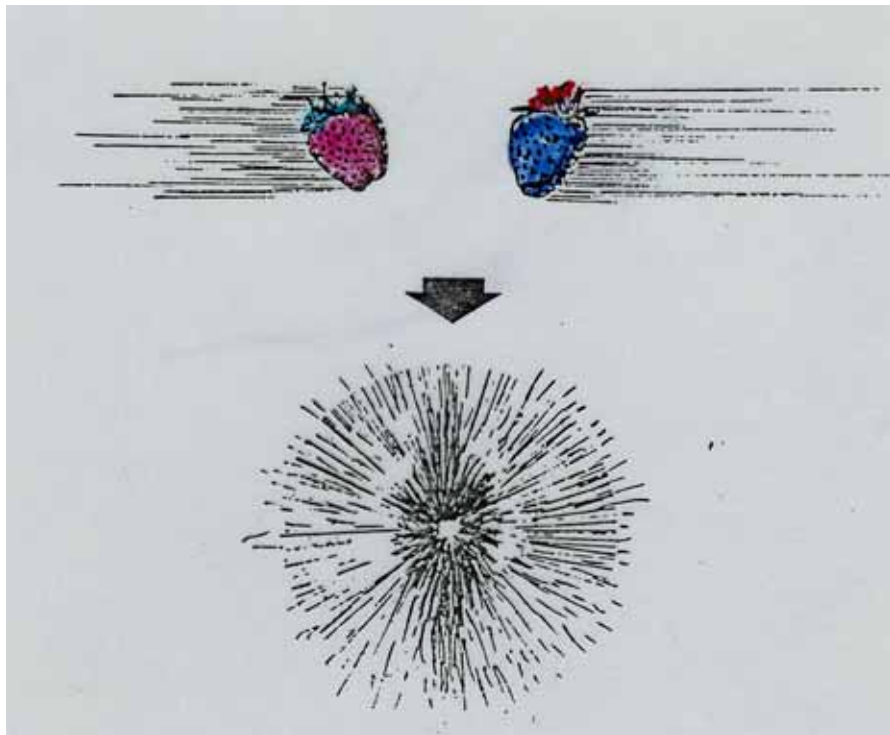
# Zdarzyło się w czasach LEP-u



A.Zalewska, 50-lecie IFJ, 18.09.2005

**Czerwiec 1982**

# „Kreacja” czy „produkcja” materii?



Production  
Creation of matter

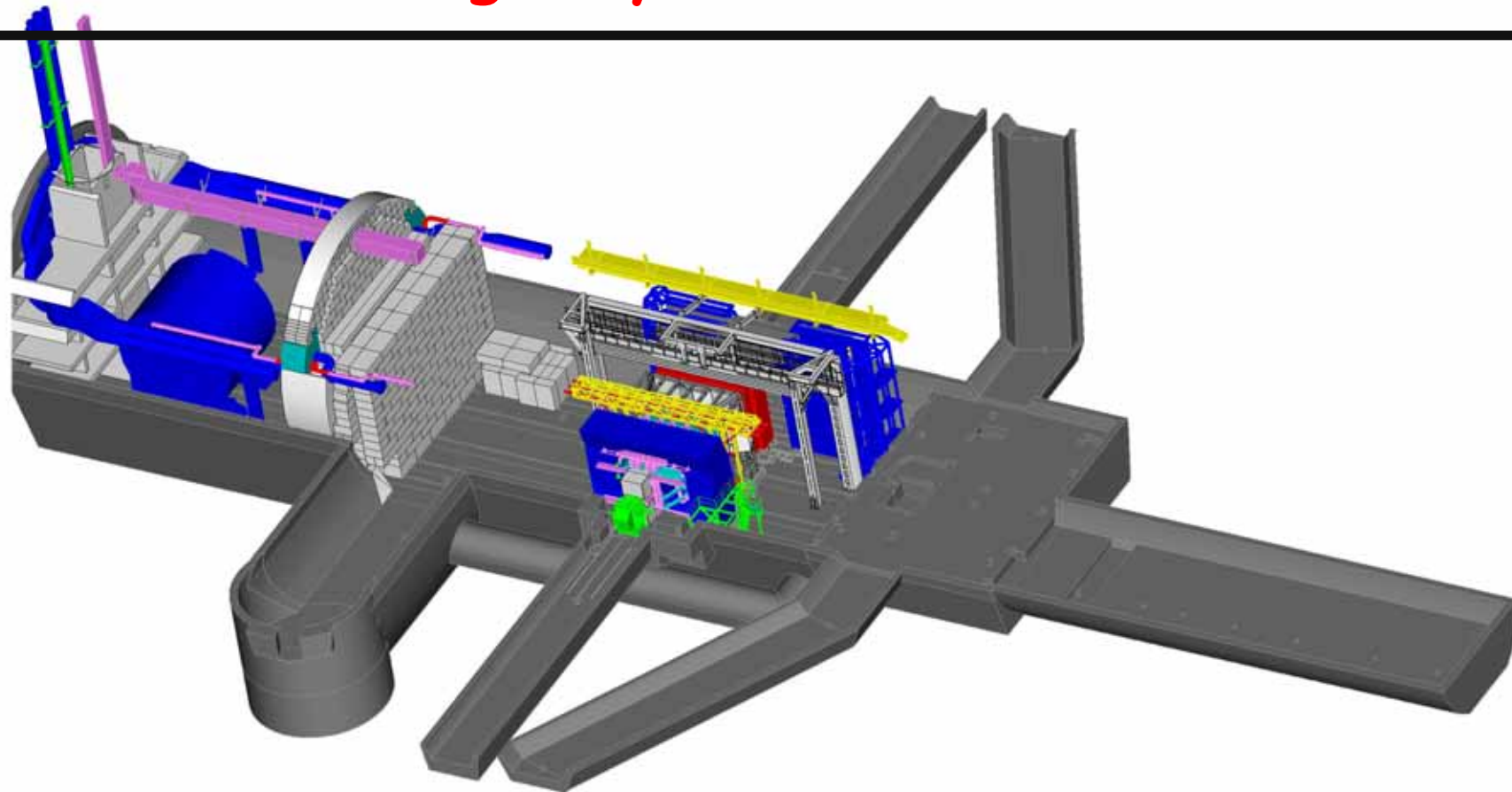
# 2005 - w tunelu LEP-u powstaje LHC



Życzymy mu długiego życia  
i wielkich odkryć



# 2005 - drugie życie detektora DELPHI



Podziemna hala eksperymentu LHCb - spektrometr LHCb będzie koegzystował z częścią muzealną, a mianowicie z częścią aparatury DELPHI, pokazywaną wycieczkom odwiedzającym CERN