



# MASTERCLASS 2008

SPRACE

Centro Regional de Análise de São Paulo

# Programa

- ◉ Do que o mundo é feito:  
As partículas e suas interações
- ◉ Explorando o mundo subatômico:  
Aceleradores e detectores
- ◉ Um pouco de história:  
Descobertas do último século
- ◉ O Large Electron Positron Collider e o Z
- ◉ Exercício MasterClass:  
Identificando eventos no decaimento do Z

Parte 4

# O Large Electron Positron Collider e o Z

# A Importância do Z

- Não havia nenhuma evidência experimental até ser proposto teoricamente
- Tornou-se um marco para a “confirmação” do Modelo Padrão
- Sua descoberta em 1983 foi um marco na história de sucesso do modelo
- Informações detalhadas sobre seu comportamento poderia dar indicações sobre a “validade” do modelo
- Estudar com detalhe o pólo do Z
  - Medida de massa, largura, frações, acoplamentos
  - Determinação no número de neutrino: número de famílias (partículas) existentes.

# Os Experimentos do LEP

- O teste experimental mais importante do Modelo Padrão na década de 90 foi feito no CERN por 4 colaborações: Aleph, Delphi, L3, and Opal
- ◉ Propósito Principal :
  - Testar o Modelo Padrão no nível das correções quânticas e tentar obter alguma dicas sobre o boson de Higgs
  - LEP-I (1990-1995):
    - Varreu a ressonância do Z: cerca de 18 milhões de eventos foram produzidos e estudados.
    - As medidas incluíram a produção de léptons, hádrons, simetrias *forward-backward* e *left-right*
  - LEP-II (1996-2000)
    - Operou a energias maiores para produzir pares de W

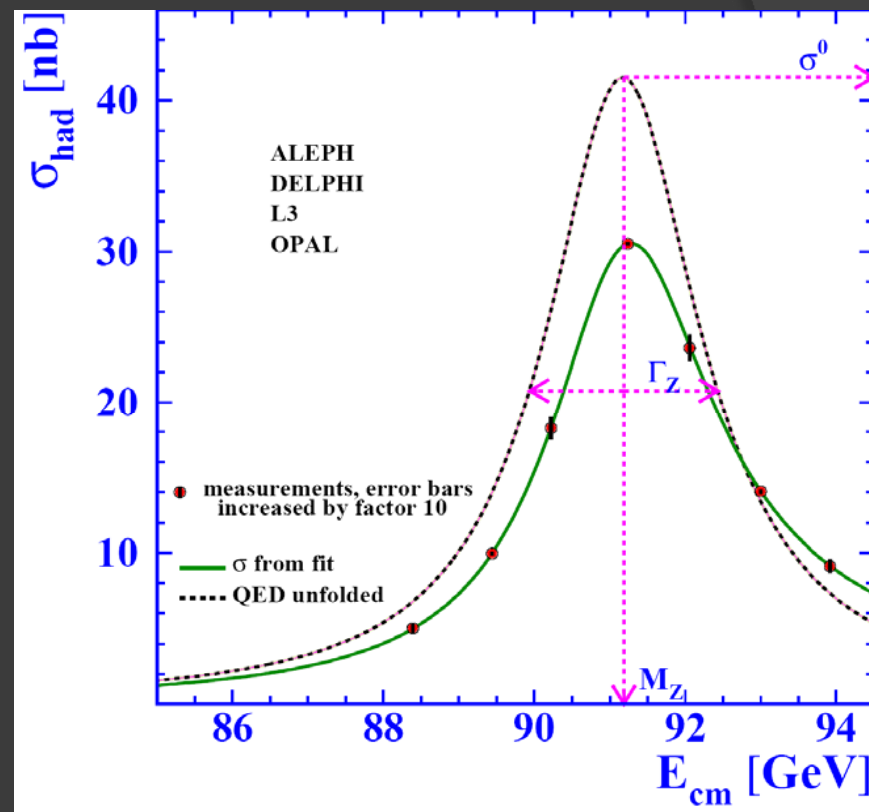
# LEP-I e o Polo do Z

## Colaborações

- Aleph
- Delphi
- L3
- Opal

## Polo do Z

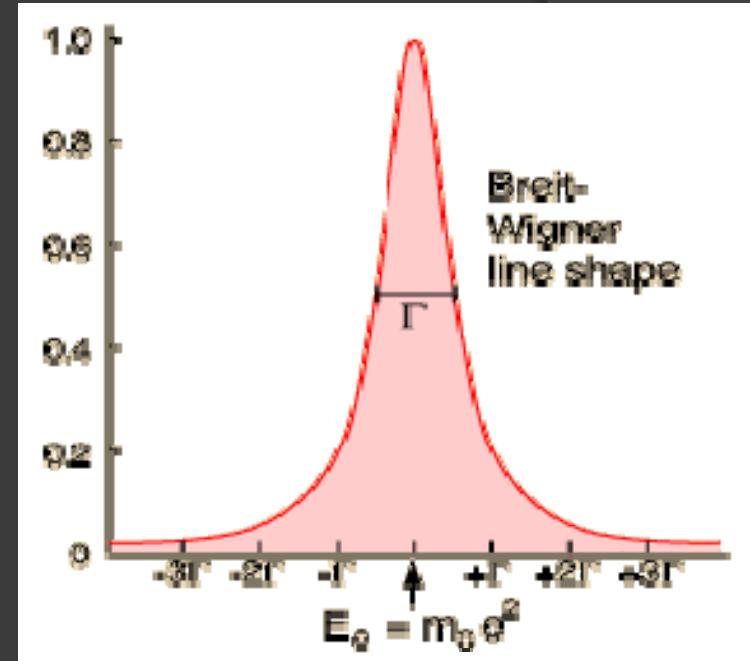
- Posição
  - $M_Z = 91.1876 \pm 0.0021$  GeV
- Largura
  - $\Gamma_Z = 2.4952 \pm 0.0023$  GeV
- Altura
  - $\sigma_0^h = 41.541 \pm 0.037$  nb



# O que é a Largura de Decaimento

- Na Mecânica Quântica existe o **Princípio da Incerteza**, segundo o qual:
  - Não se pode medir simultaneamente a **Energia** e o **Tempo** relacionados a um mesmo sistema com precisão arbitrariamente pequena.

$$\Delta E \Delta t \geq \frac{\hbar}{2}$$



- Isso teria como uma de suas conseqüências:
  - Uma partícula pode existir virtualmente, mesmo violando a conservação da energia, desde que ela exista por um período de tempo suficientemente curto.
- Ao medirmos essa partícula obtemos uma curva caracterizada por:
  - Valor médio:** a massa da partícula virtual  $\Delta E \approx M$
  - Largura:** inverso de seu tempo de existência  $\Delta t \approx 1/\Gamma$

# Decaimentos do Z

- O Z decai em todas as partículas acessíveis desde que não viole leis de conservação:

- Energia-momento:

- A massa do estado final deve ser menor a massa do Z

$$Z \rightarrow X + X \Rightarrow M_Z > 2 \times M_X$$

- Carga elétrica:

- Como o Z é neutro a soma das cargas das partículas deve ser zero

$$Z^0 \rightarrow X^+ + X^- \quad \text{ou} \quad Z^0 \rightarrow Y^0 + Y^0$$

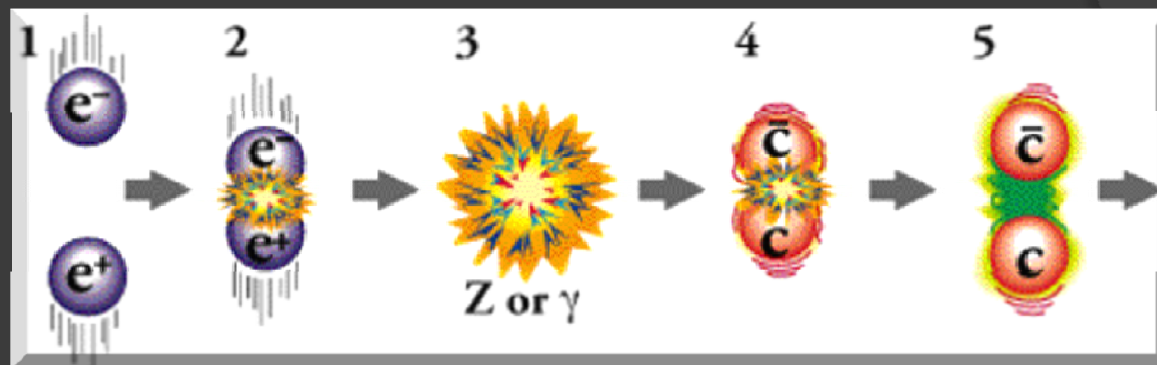
- Não existe violação de sabor:

- Correntes neutras (decaimentos do Z) devem acoplar partícula + anti-partícula de mesmo sabor

$$Z^0 \not\rightarrow X^+ + Y^-$$



# Possíveis Estados Finais



- $Z \rightarrow$  {
- $e^+e^-$
  - $\mu^+\mu^-$
  - $\tau^+\tau^-$
  - $\nu_e\bar{\nu}_e$
  - $\nu_\mu\bar{\nu}_\mu$
  - $\nu_\tau\bar{\nu}_\tau$
  - $\nu\bar{\nu}$
  - ... ..
  - $u\bar{u}$
  - $d\bar{d}$
  - $s\bar{s}$
  - $c\bar{c}$
  - $b\bar{b}$
  - ~~$t\bar{t}$~~

$$Z \rightarrow e^+e^- + \mu^+\mu^- + \tau^+\tau^- + \sum_{n=1}^n \nu_i\bar{\nu}_i + u\bar{u} + d\bar{d} + s\bar{s} + c\bar{c} + b\bar{b}$$

$$Z \rightarrow e^+e^- + \mu^+\mu^- + \tau^+\tau^- + \sum_i \nu_i\bar{\nu}_i + \sum \text{hadrons}$$

# Teoria X Experimento: O número de $\nu$ 's

- Portanto, da largura total do Z:

$$\Gamma_Z \equiv 3 \Gamma_{\ell^+\ell^-} + \Gamma_{\text{inv}} + \Gamma_{\text{had}}$$

- Podemos extrair a largura invisível das medidas

$$\Gamma_{\text{inv}} \equiv \Gamma_Z - \Gamma_{\text{had}} - 3 \Gamma_{\ell^+\ell^-}$$

$$\Gamma_{\text{inv}} \equiv 2495 - 1744 - 3 \times 84 = 499$$

- O modelo prediz teoricamente

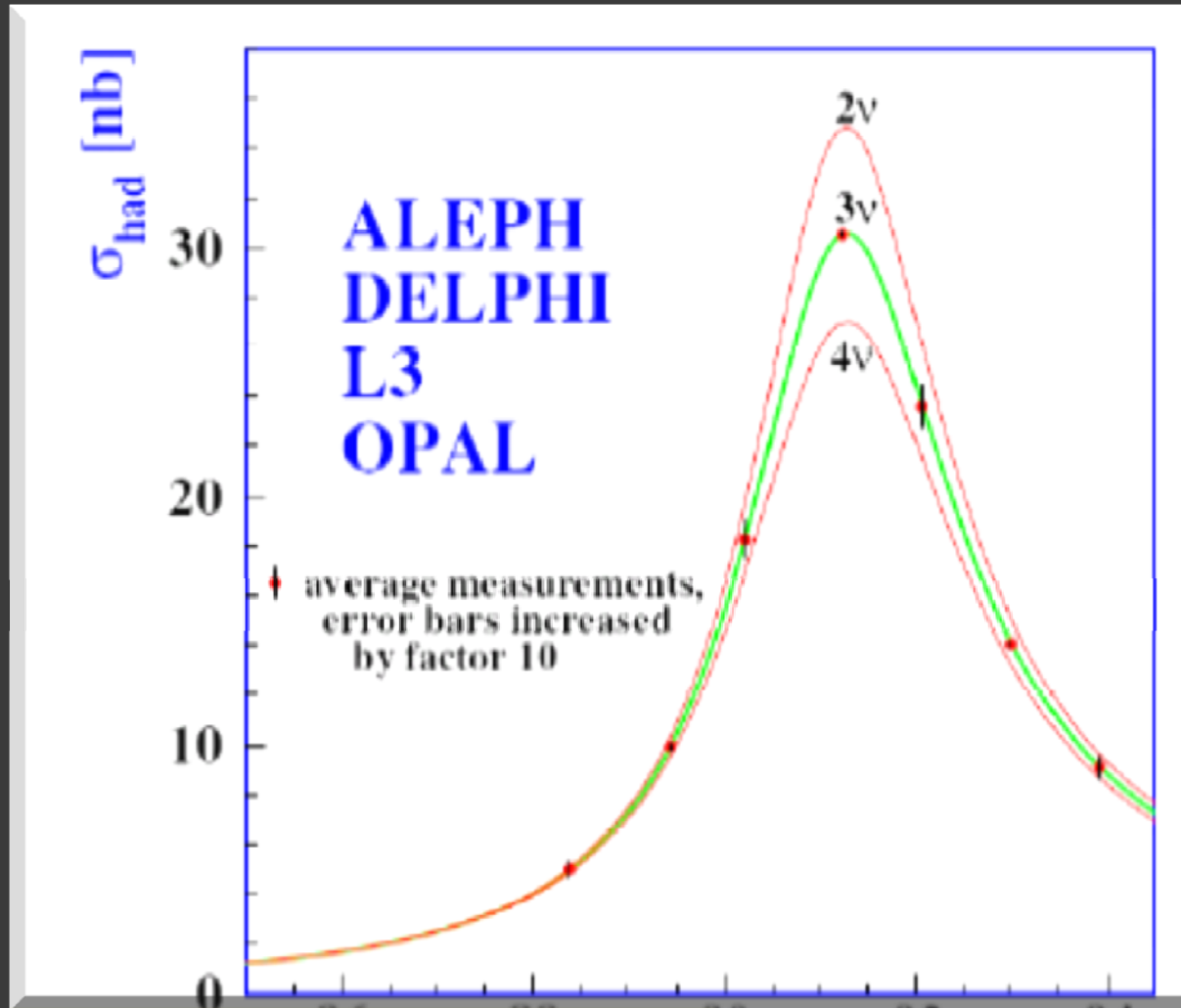
$$\Gamma_{\nu\bar{\nu}} = 167.25 \text{ MeV}, \quad \Gamma_{\ell^+\ell^-} = 84.01 \text{ MeV}$$

$$\Gamma_{u\bar{u}} = 300.30 \text{ MeV}, \quad \Gamma_{d\bar{d}} = 383.10 \text{ MeV}, \quad \Gamma_{b\bar{b}} = 376.00 \text{ MeV}$$

- Se toda a parte invisível vier dos neutrinos:

$$N_\nu = \frac{\Gamma_{\text{inv}}}{\Gamma_\nu} \equiv \frac{499}{167} = 2.99$$

# Existem Apenas 3 Famílias!



# Massa e Largura do Z

