

ENRICO BERTUZZO (DFMA-IFUSP)

UMA INTRODUÇÃO À FÍSICA DE PARTÍCULAS

PLANO DO CURSO

- ▶ Aula 1- Uma história da Física de Partículas (parte 1: 1897-1936)
- ▶ Aula 2 - Uma história da Física de Partículas (parte 2: 1936-1964)
- ▶ Aula 3 - Introdução à teoria quântica de campos
- ▶ **Aula 4 - Modelo Padrão: previsões e confirmações**
- ▶ Aula 5 - Problemas do Modelo Padrão

POR QUE A SIMETRIA INTERNA
DO MODELO PADRÃO É
 $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$?

LEMBRETE: TEORIA QUÂNTICA DE CAMPO COM SIMETRIA INTERNA

Simetria interna: U(1) $\psi_e \rightarrow e^{i\alpha(x)}\psi_e$

$$\mathcal{L} = \bar{\psi}_e \gamma^\mu \partial_\mu \psi_e - m_e \bar{\psi}_e \psi_e$$

QED


$$\partial_\mu \rightarrow \partial_\mu + ieA_\mu$$

$$\mathcal{L} = \bar{\psi}_e \gamma^\mu \partial_\mu \psi_e - \frac{1}{4} F^{\mu\nu} F_{\mu\nu} - m_e \bar{\psi}_e \psi_e - eA_\mu \bar{\psi}_e \gamma^\mu \psi_e$$

Já vimos um exemplo: QED (campo de gauge = fóton)

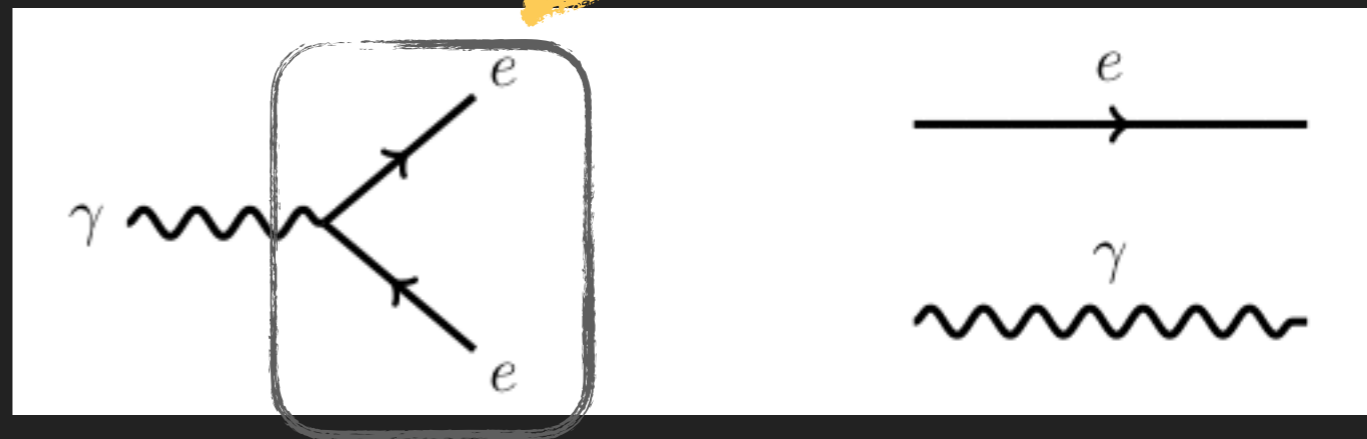
TEORIA QUÂNTICA DE CAMPOS

$$\mathcal{L} = \bar{\psi}_e \gamma^\mu \partial_\mu \psi_e - \frac{1}{4} F^{\mu\nu} F_{\mu\nu} - m_e \bar{\psi}_e \psi_e - e A_\mu \bar{\psi}_e \gamma^\mu \psi_e$$

QED

DIAGRAMAS DE FEYNMAN

CORRENTE

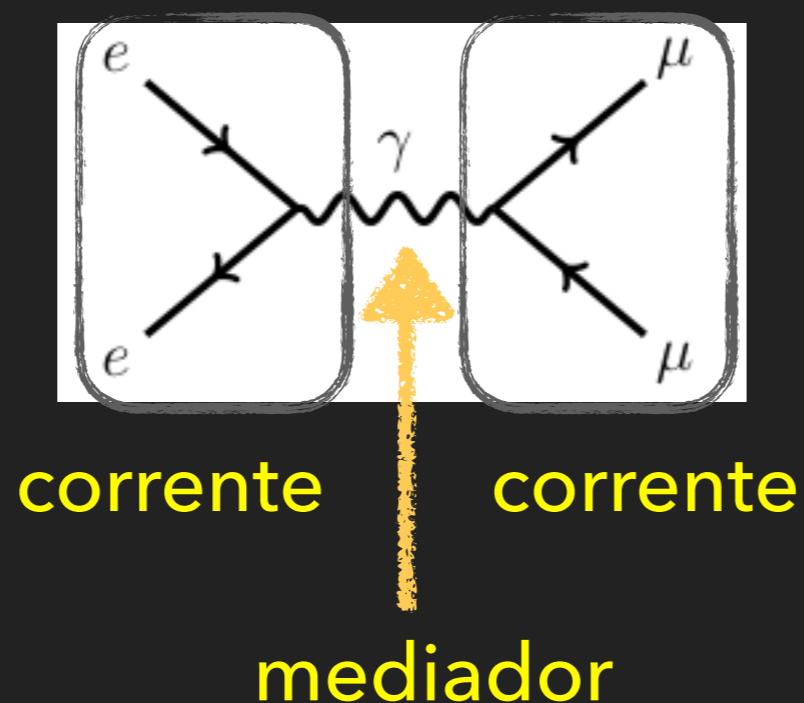


TEORIA QUÂNTICA DE CAMPOS: QED

$$\mathcal{L} = \bar{\psi}_e \gamma^\mu \partial_\mu \psi_e - \frac{1}{4} F^{\mu\nu} F_{\mu\nu} - m_e \bar{\psi}_e \psi_e - e A_\mu \bar{\psi}_e \gamma^\mu \psi_e$$

QED

FORÇA EM

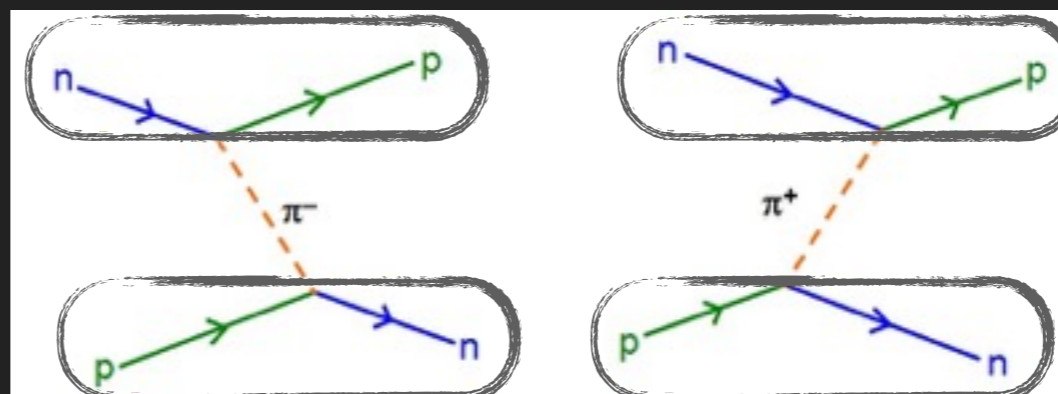
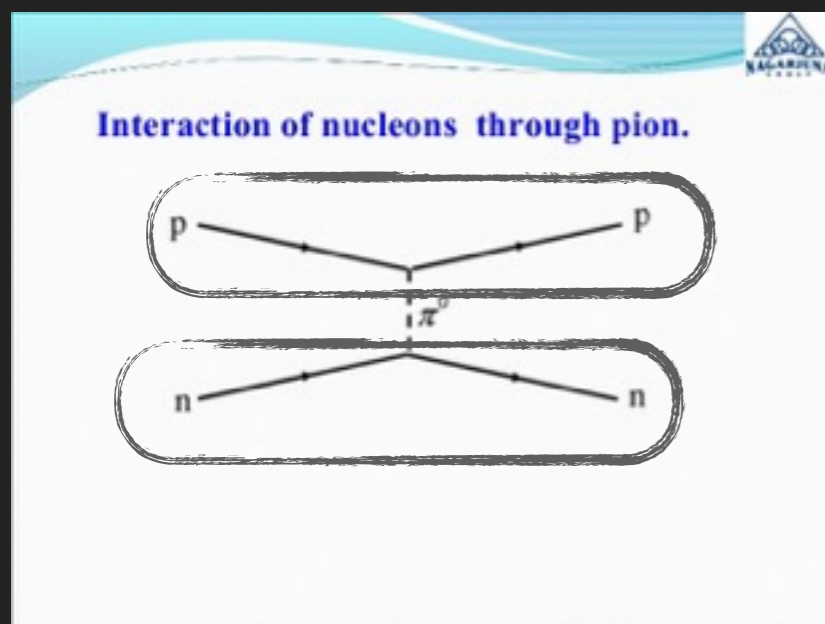


Entre corrente e corrente, com troca do mediador

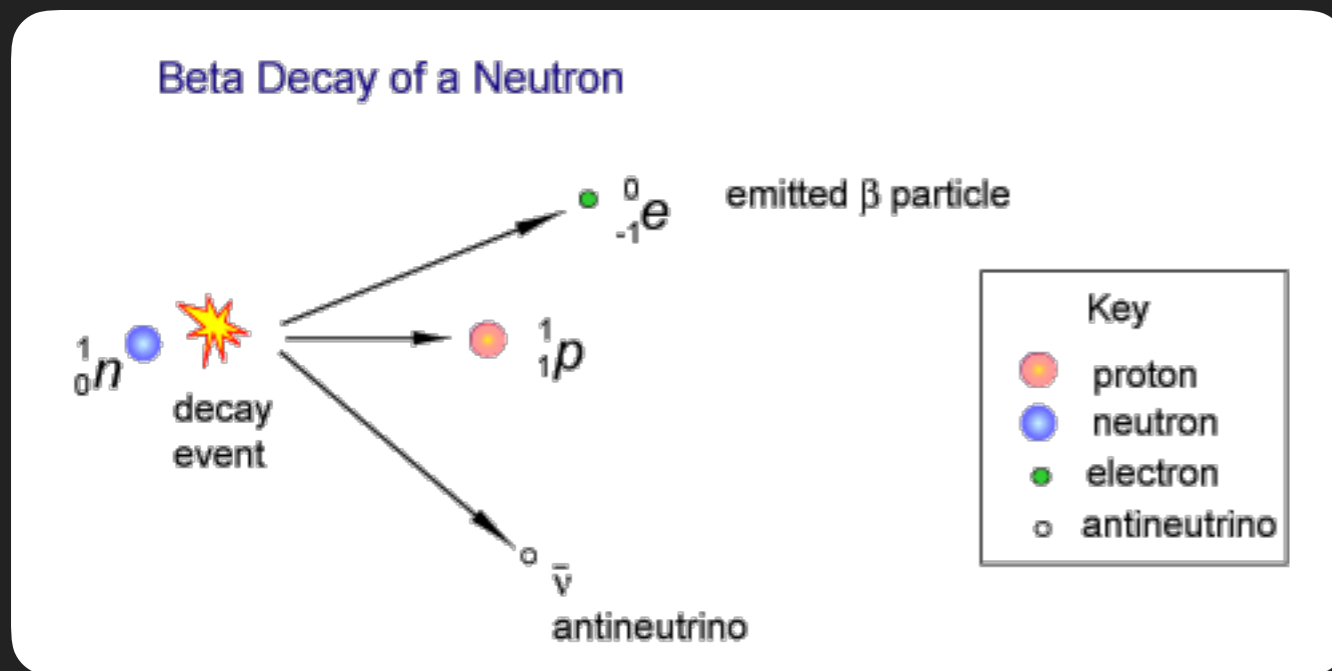
TEORIA QUÂNTICA DE CAMPOS: FORÇA FORTE ENTRE NÚCLEONS

FORÇA FORTE

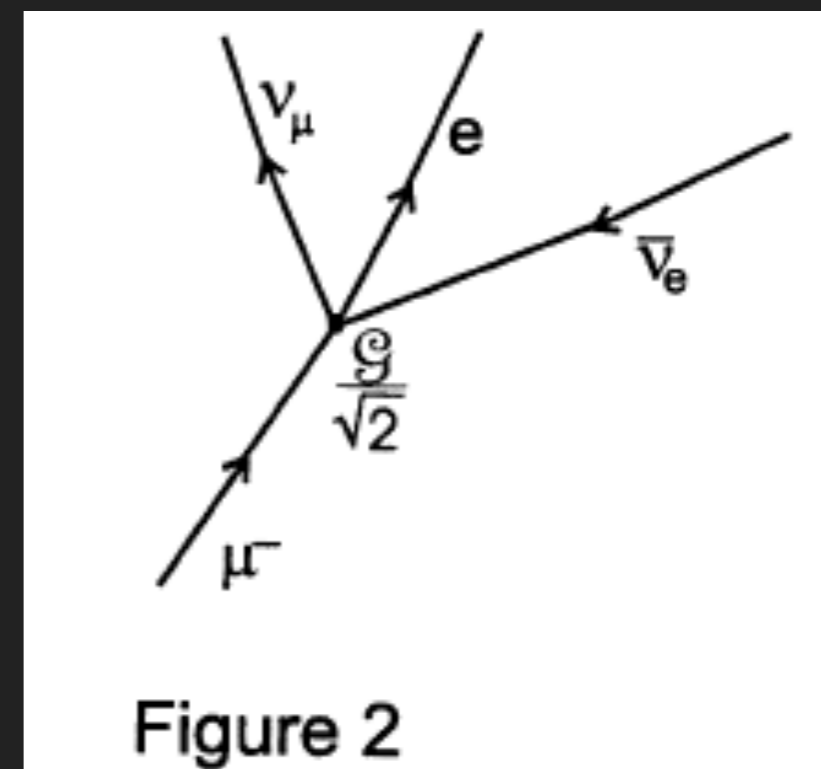
Entre corrente e corrente, com troca do mediador



OUTROS PROCESSOS MEDIDOS EXPERIMENTALMENTE



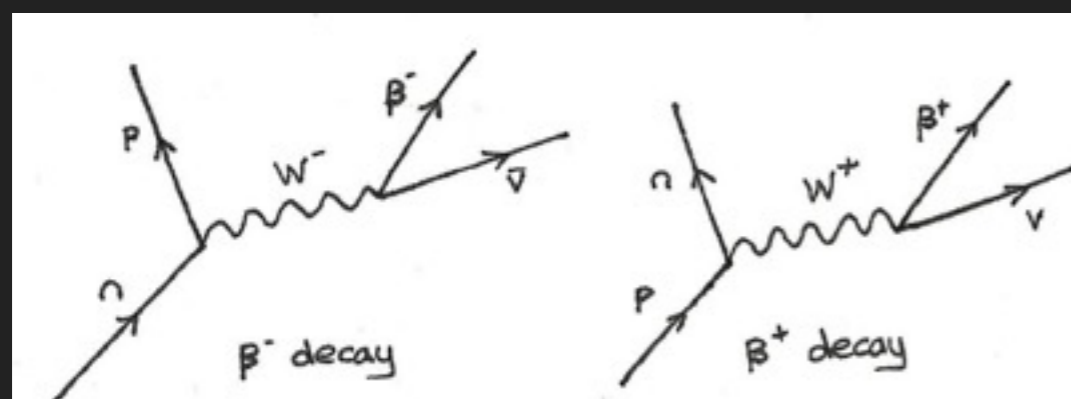
decaimento beta nêutron



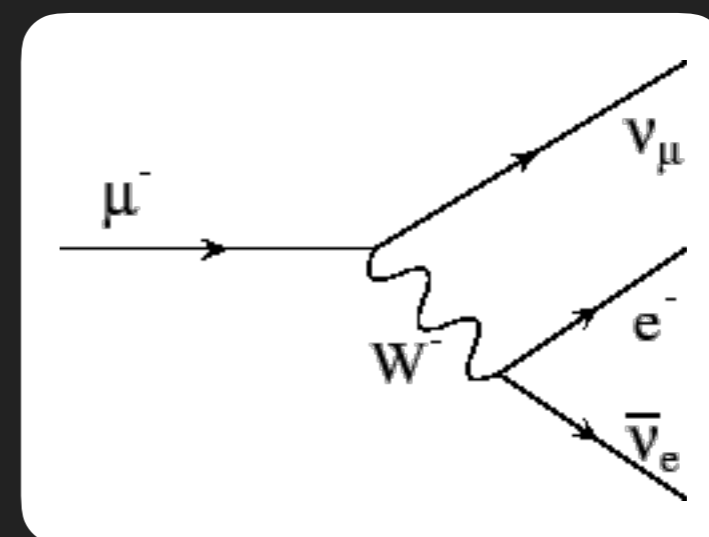
decaimento múon

possível interpretar como corrente x corrente?

OUTROS PROCESSOS MEDIDOS EXPERIMENTALMENTE



decaimento beta nêutron



decaimento múon

é
corrente x corrente
com
novo mediador

W^\pm

SIMETRIA INTERNA DO MODELO PADRÃO

Simetria interna mínima que prevê um mediador W^\pm
(e o fóton)

$$SU(2) \times U(1)$$

Glashow
Weinberg
Salam
1962-1968

prevê também um outro mediador sem carga elétrica

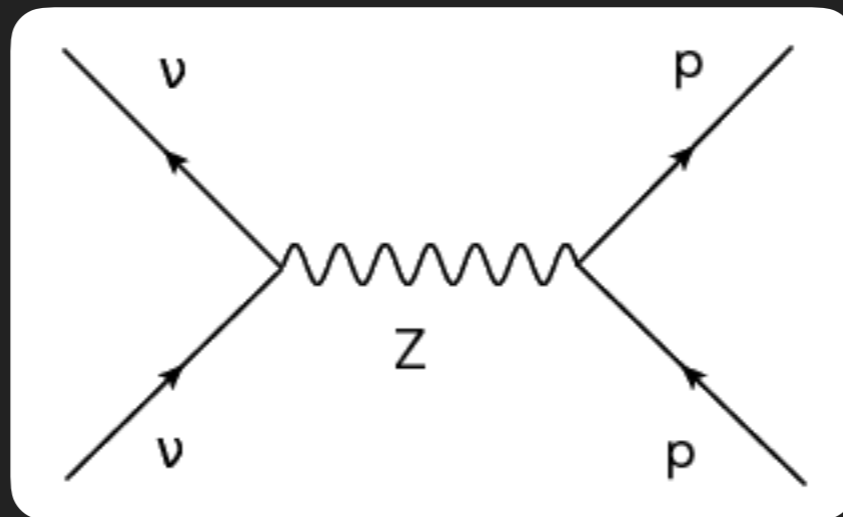
Z

SIMETRIA INTERNA DO MODELO PADRÃO

prevê também um outro mediador sem carga elétrica

Z

envolvido em processos tipo



observado em 1983

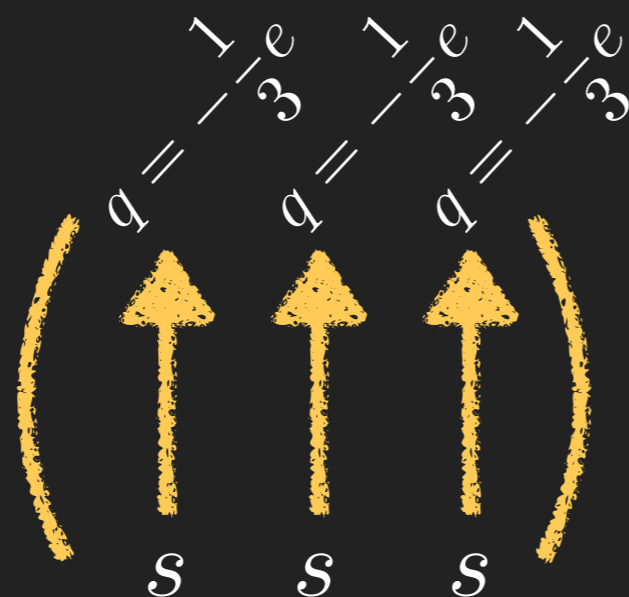
POR QUE A SIMETRIA INTERNA
DO MODELO PADRÃO É
 $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$?

1964 - CONFIRMAÇÃO DO SU(3)

Descoberta de Omega em 1964
confirmação do SU(3) de Gell-Mann

contradição das regras da Mecânica Quântica
(Princípio de Pauli)

$$\Omega^-$$
$$spin = \frac{3}{2}$$

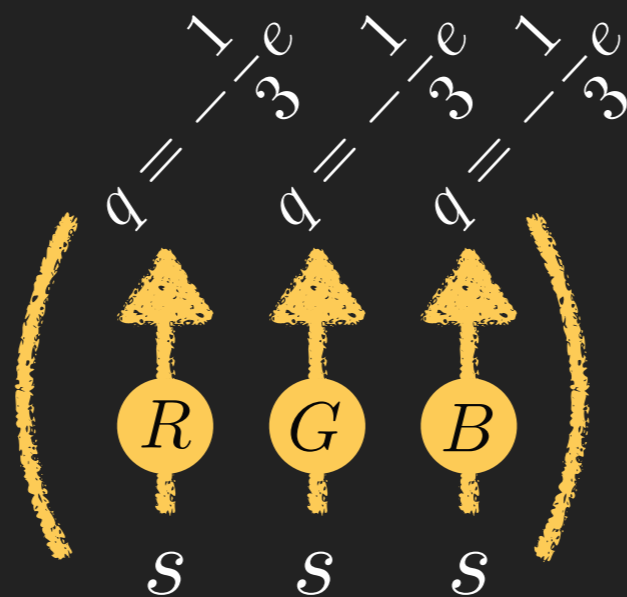


3 partículas
no mesmo estado

1964 - COR (COLOR)

1964 - Greenberg, Han, Nambu: existe outro número quântico que deixa os três quarks diferentes

$$\Omega^-$$
$$spin = \frac{3}{2}$$



Princípio de Pauli
respeitado

1964 - COR (COLOR)

Para implementar o novo número quântico em teoria quântica de campos, é preciso que a simetria interna seja

$$SU(3)$$

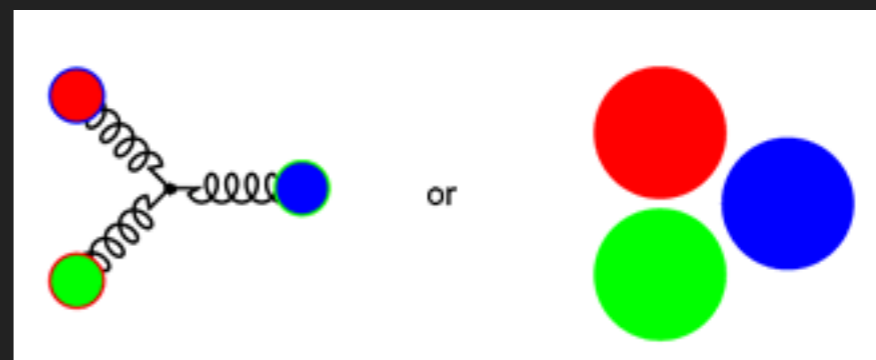


novo mediador = glúon

1964 - COR (COLOR)

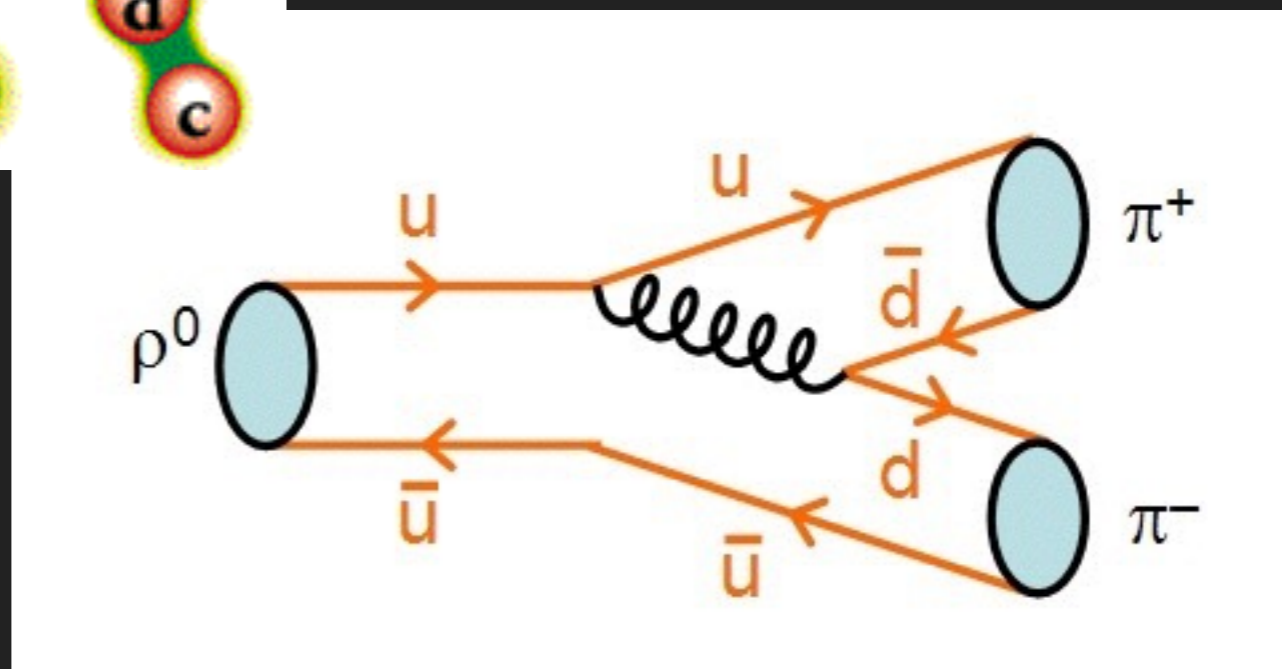
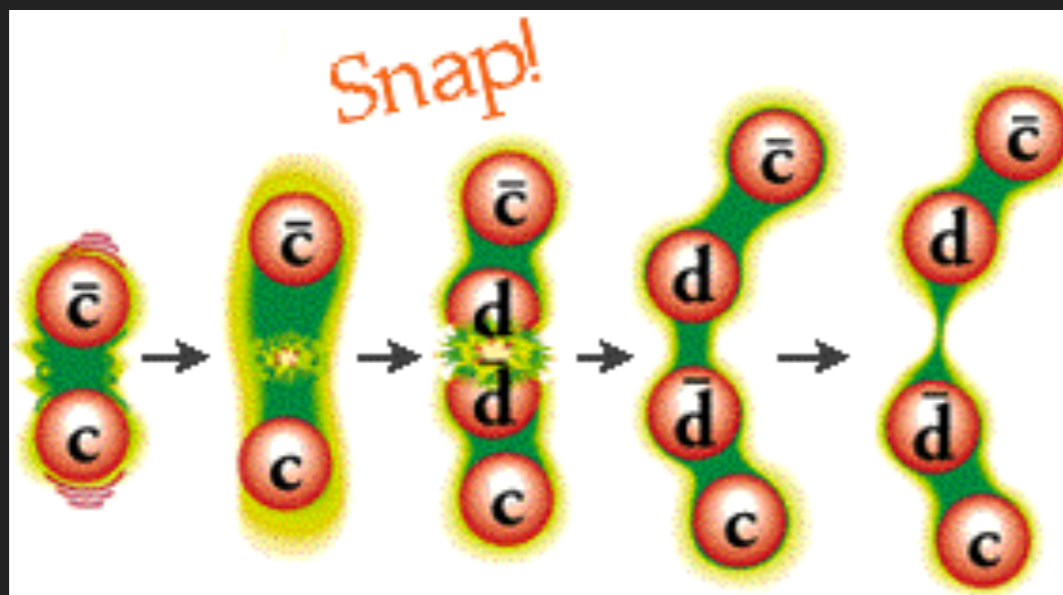
Mas por que não observamos quarks (ou glúons) em natureza, mas só mésons e bárions?

Ao contrário da força eletromagnética, a nova força (mediada pelos glúons) é tão forte que só estados ligados podem aparecer na natureza



1964 - COR (COLOR)

Quando tentamos afastar um quark, a força fica tão forte que uma dupla quark/antiquark é criada do vácuo quântico

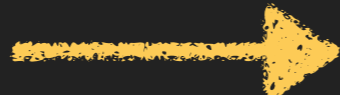


CONFIRMAÇÕES DO
MODELO PADRÃO

ÚLTIMO INGREDIENTE QUE FALTA

Há uma diferença fundamental entre fótons (e glúons) e os mediadores da força eletrofraca W e Z

fóton
(glúon)



sem massa

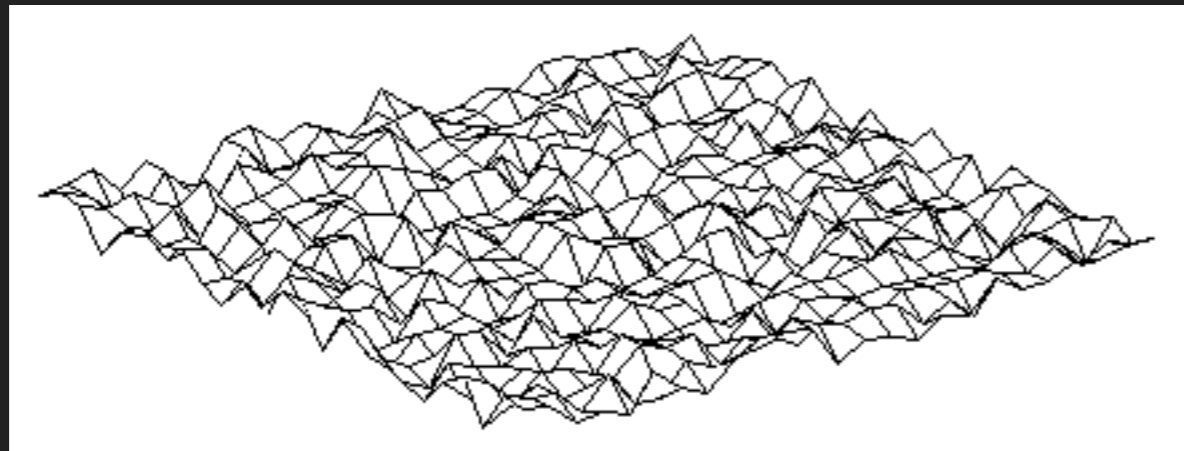
W, Z



com massa

COMO DAR MASSA ÀS PARTÍCULAS - BÓSON DE HIGGS

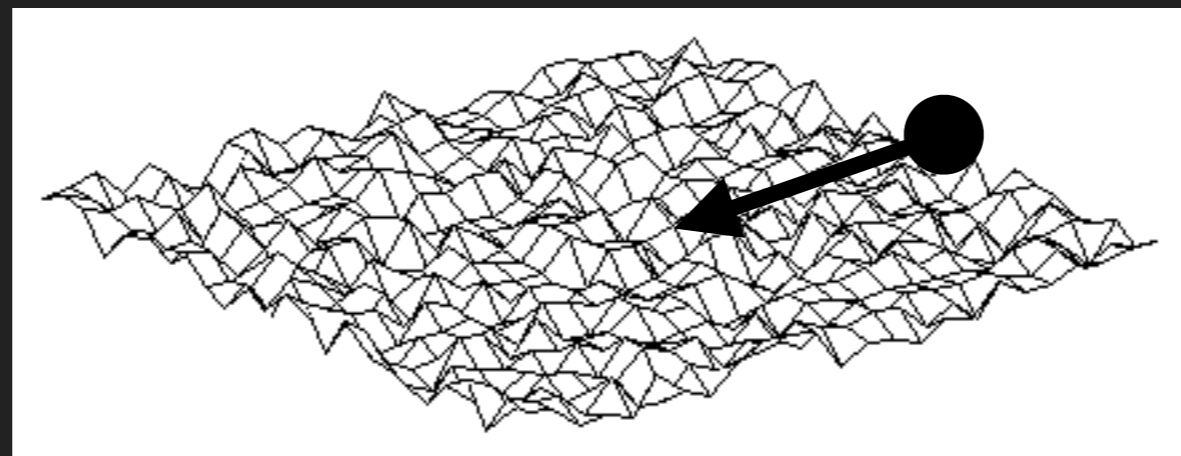
Por razões técnicas, há só um jeito de dar massa aos mediadores W e Z sem estragar a consistência da teoria: usar a energia do vácuo de um campo escalar



O vácuo do campo de Higgs possui energia maior do vácuo dos outros campos

COMO DAR MASSA ÀS PARTÍCULAS - BÓSON DE HIGGS

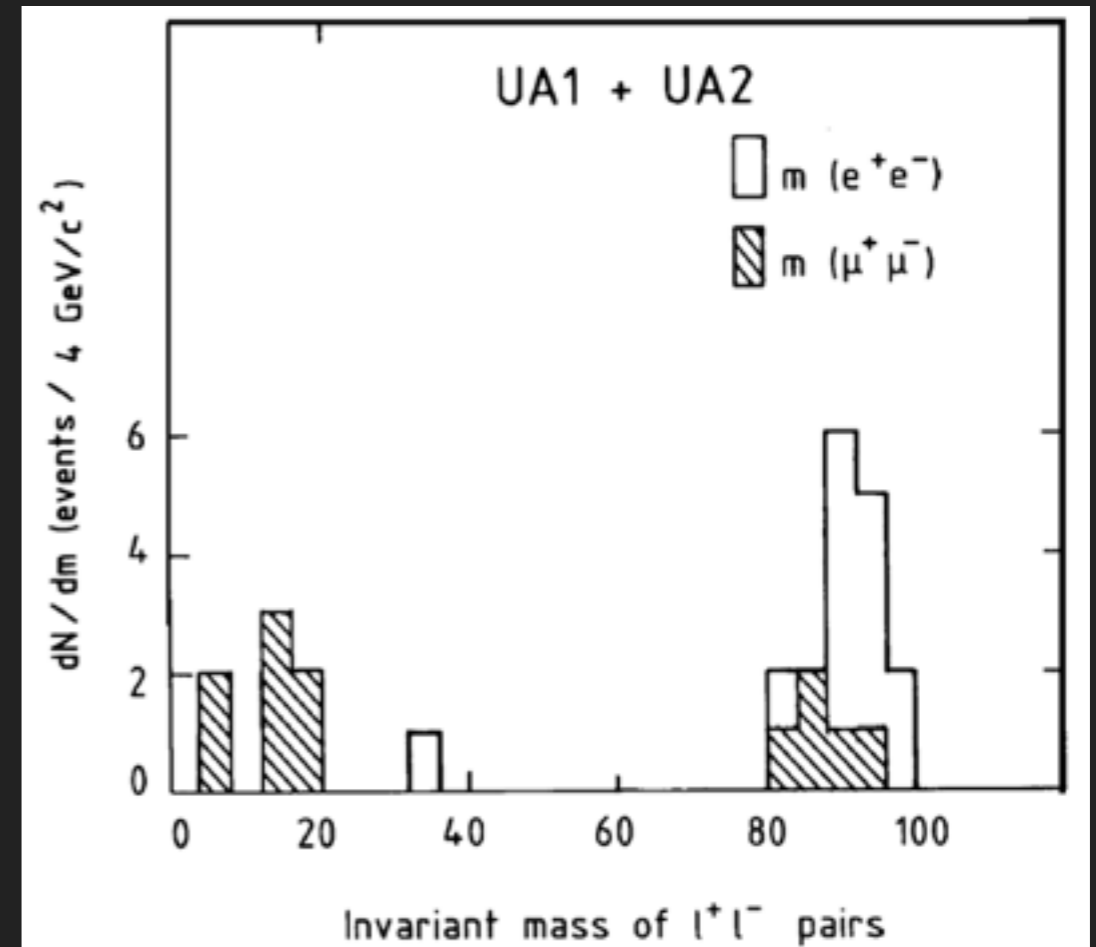
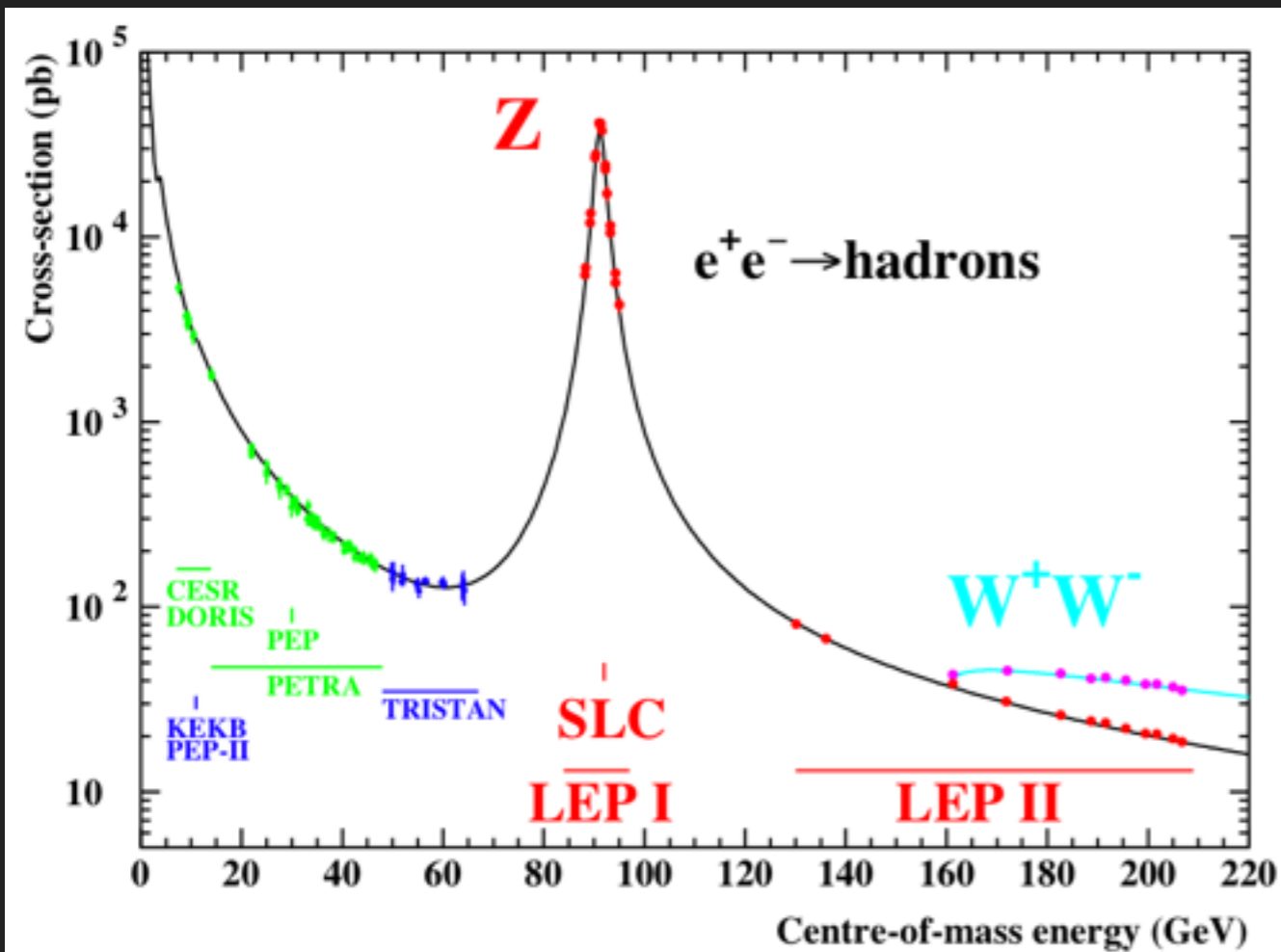
Massa = atrito que as partículas percebem se movimentando no vácuo do bóson de Higgs



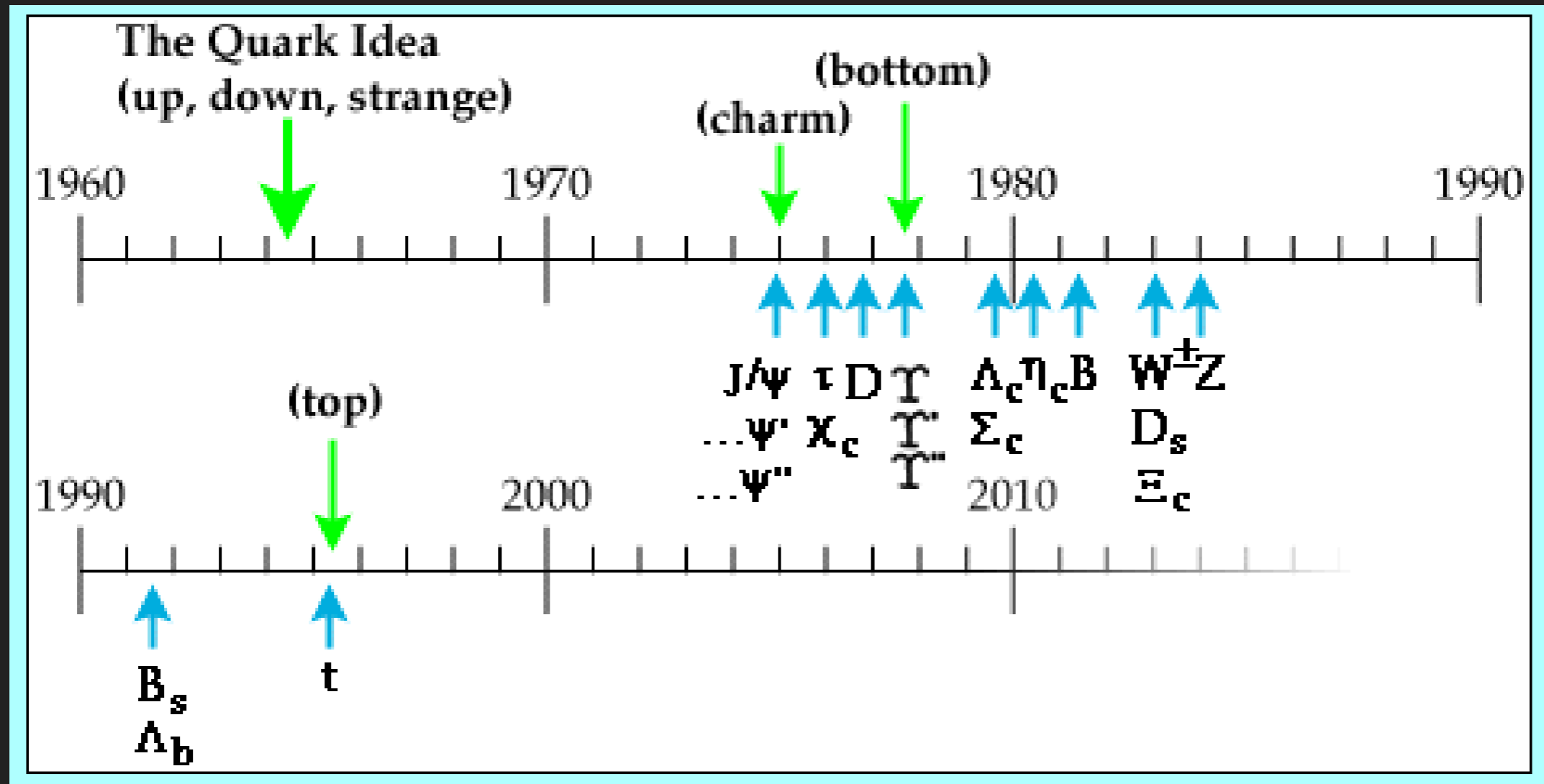
mesmo mecanismo para todas as partículas

1983 - DESCOBERTA DOS MEDIADORES W E Z

Experimentos UA1 e UA2 no CERN



OUTRAS PARTÍCULAS DESCOBERTAS

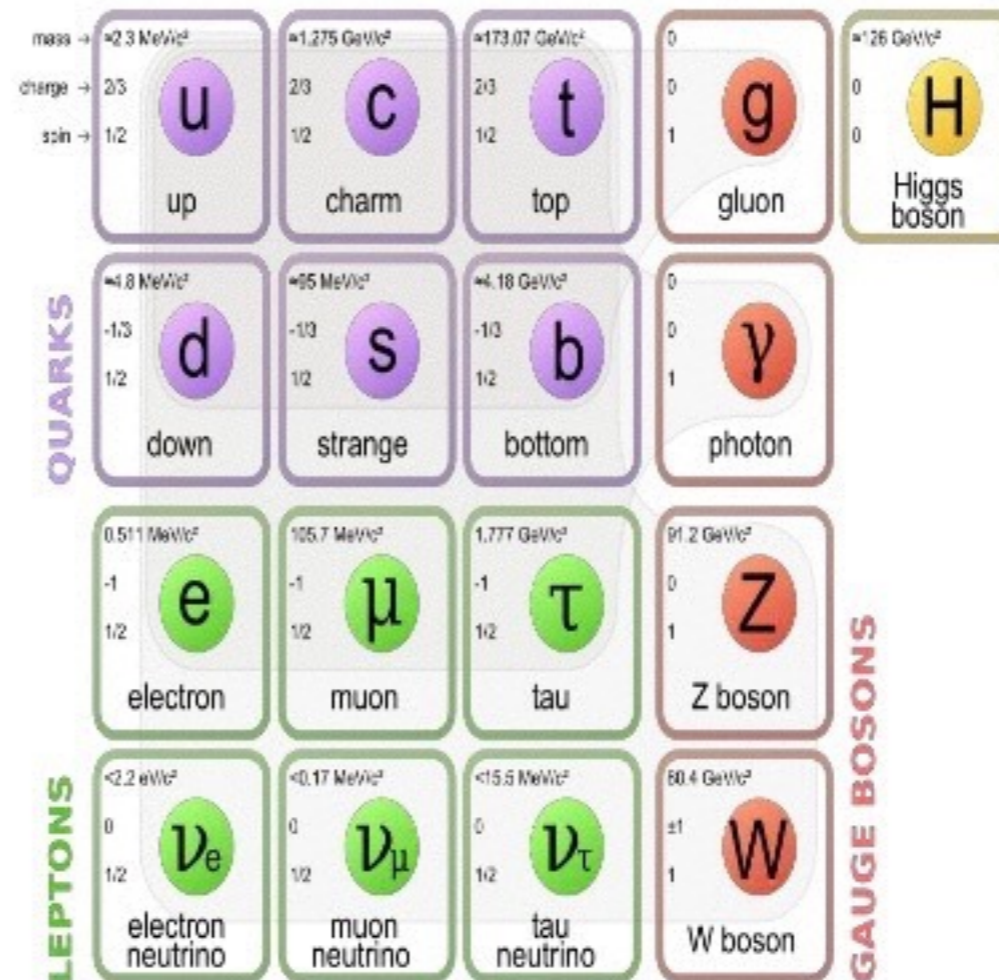


As partículas se organizam em famílias ou gerações (3)

OUTRAS PARTÍCULAS DESCOBERTAS

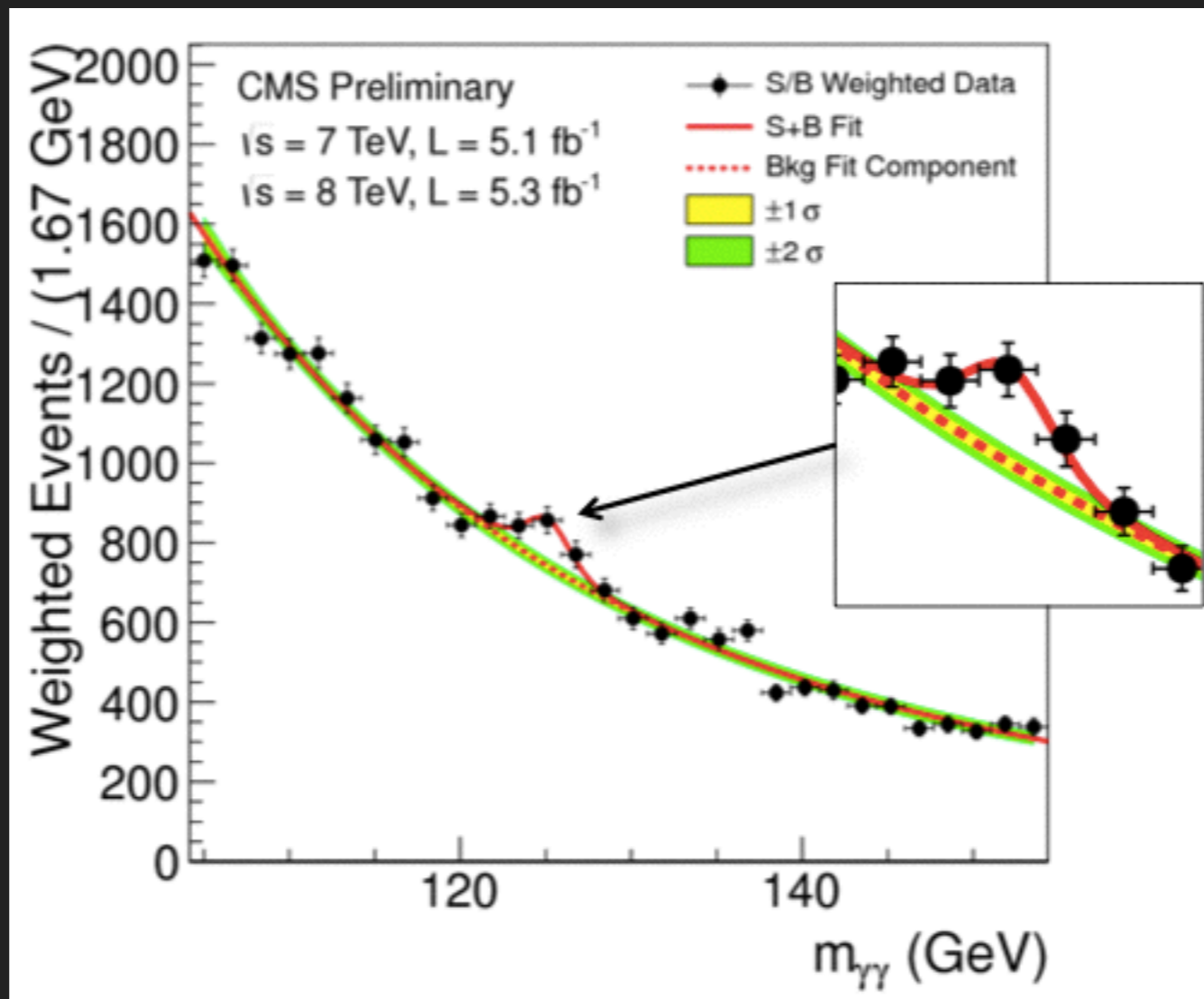
WHAT IS STANDARD MODEL ?

The Standard Model explains how the basic building blocks of matter interact, governed by four fundamental forces and classifies all the subatomic particles known. Because of its success in explaining a wide variety of experimental results, the Standard Model is sometimes regarded as a "theory of almost everything".



2012 - DESCOBERTA DO BÓSON DE HIGGS

Experimentos ATLAS e CMS no CERN



...MAS O MODELO PADRÃO
NÃO CONSEGUE EXPLICAR
TUDO O QUE OBSERVAMOS...