

Bem vindos ao Instituto de Física Teórica!

Física ao Entardecer



Nossa página na internet: <http://www.ift.unesp.br>

Acompanhe e compartilhe: <http://www.facebook.com/ift.unesp>

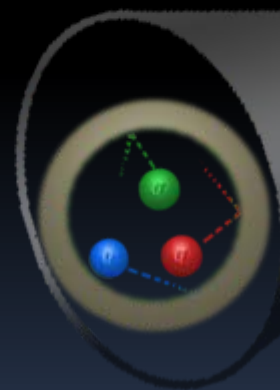
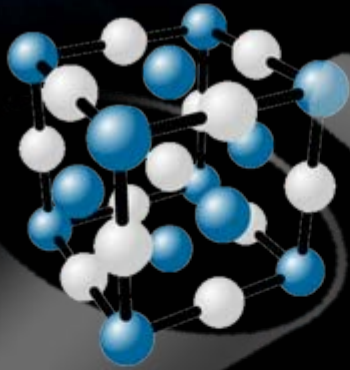


Física ao Entardecer

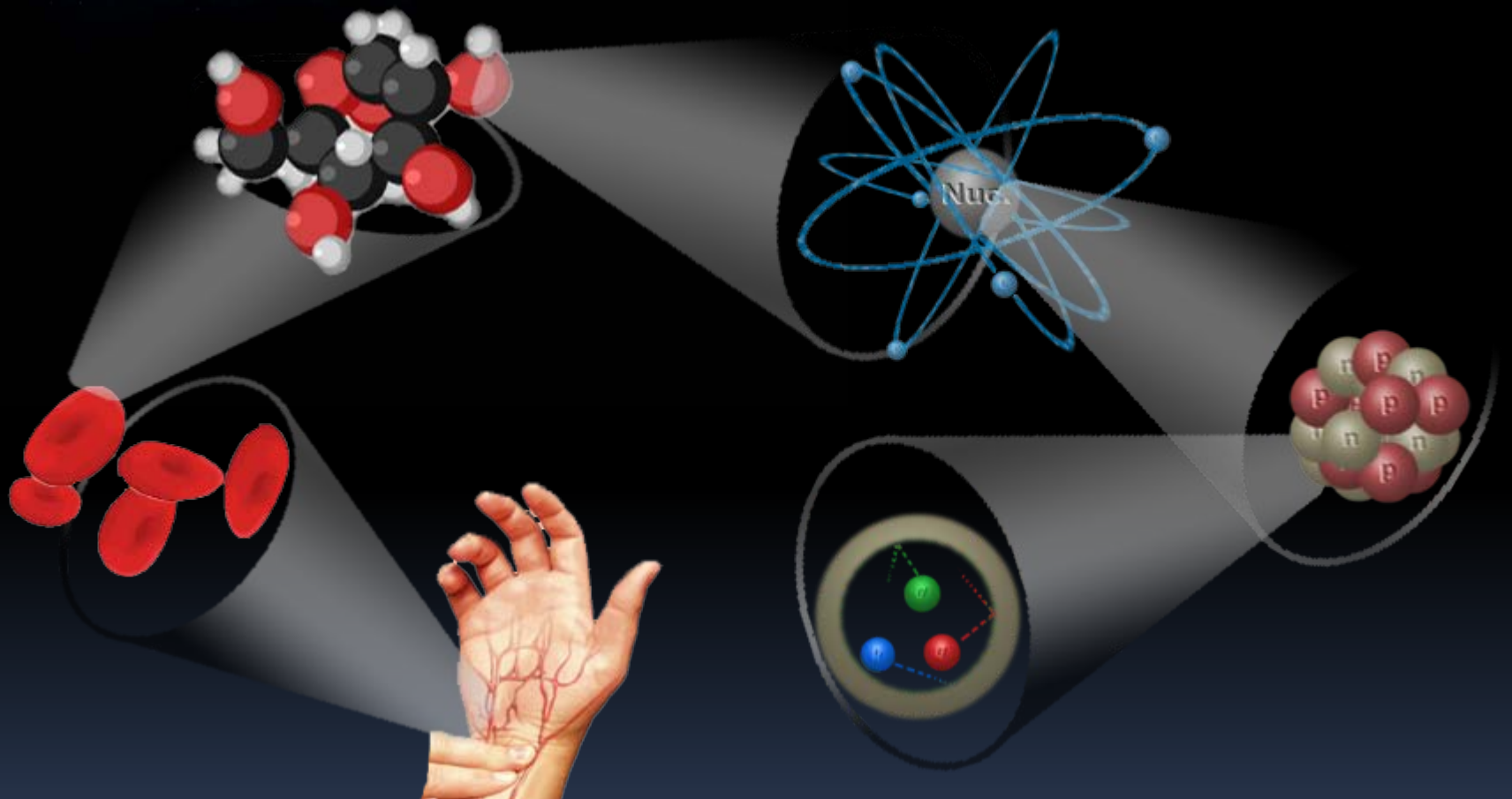
O Bóson Higgs: porque o procurávamos e o que achamos.

Ricardo D'Elia Matheus

# O que queremos da Física de Partículas?

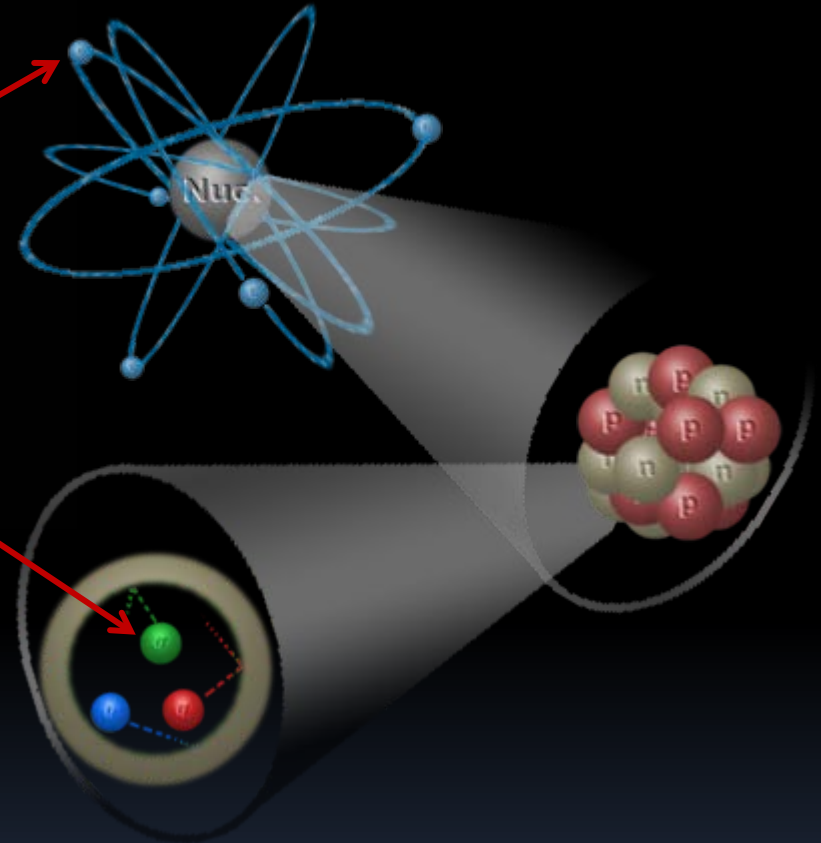


# O que queremos da Física de Partículas?



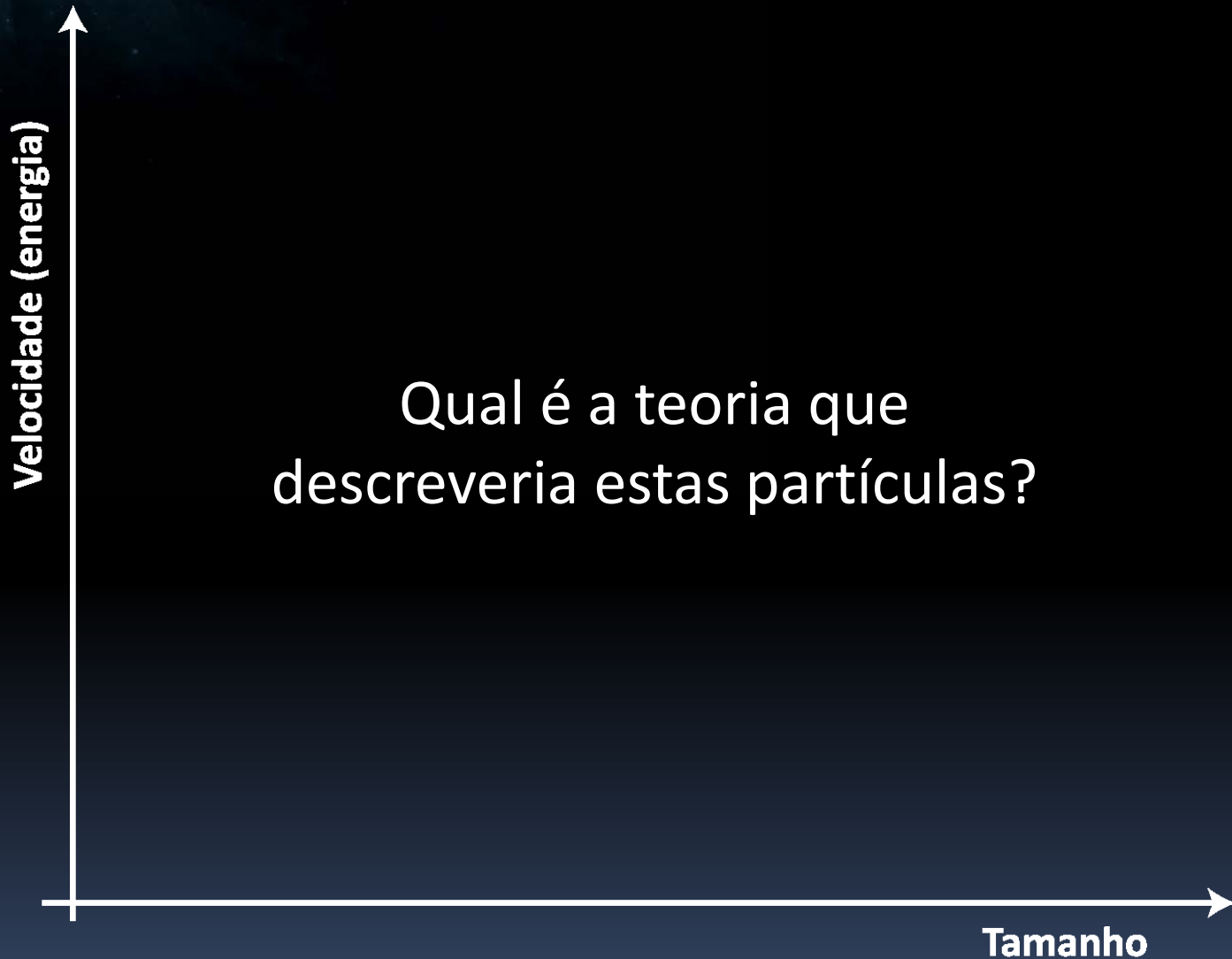
# O que queremos da Física de Partículas?

Mas, estas “partículas” podem realmente ser tratadas como “bolinhas”?



Em física “codificamos” fenômenos naturais usando a linguagem da matemática. Quais objetos matemáticos são apropriados para estas partículas?

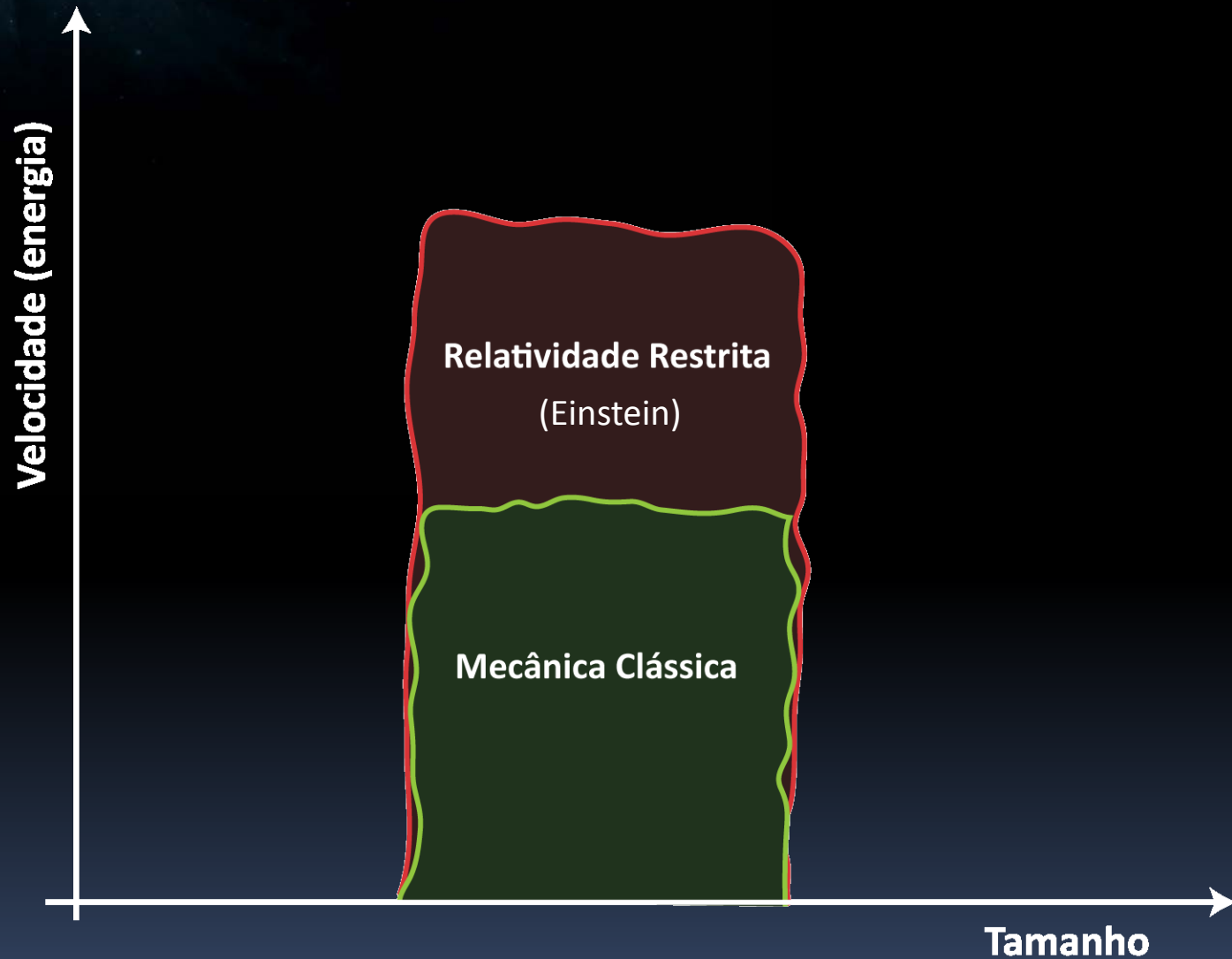
# Partículas: Pequenas e Rápidas!



# Partículas: Pequenas e Rápidas!



# Partículas: Pequenas e Rápidas!

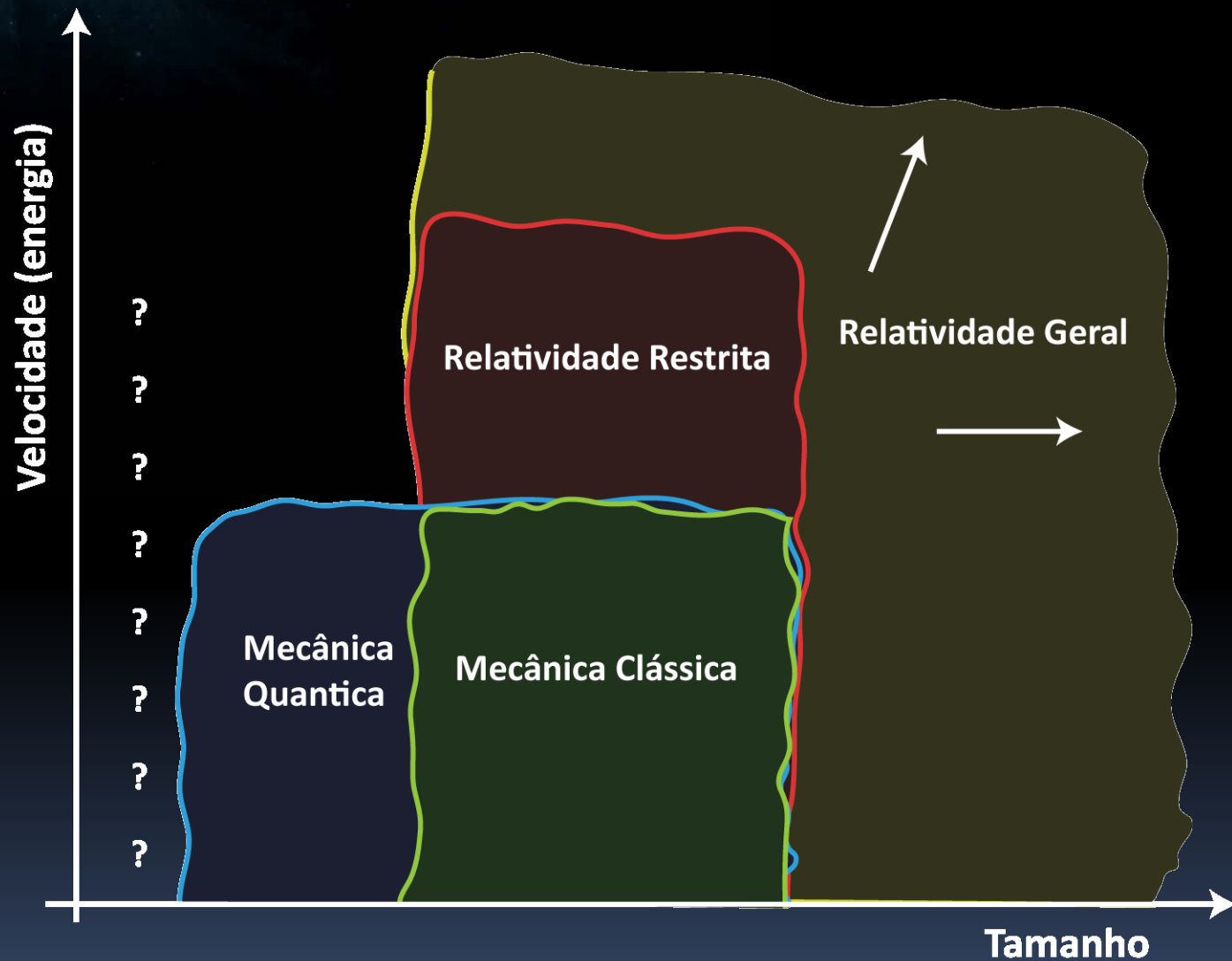




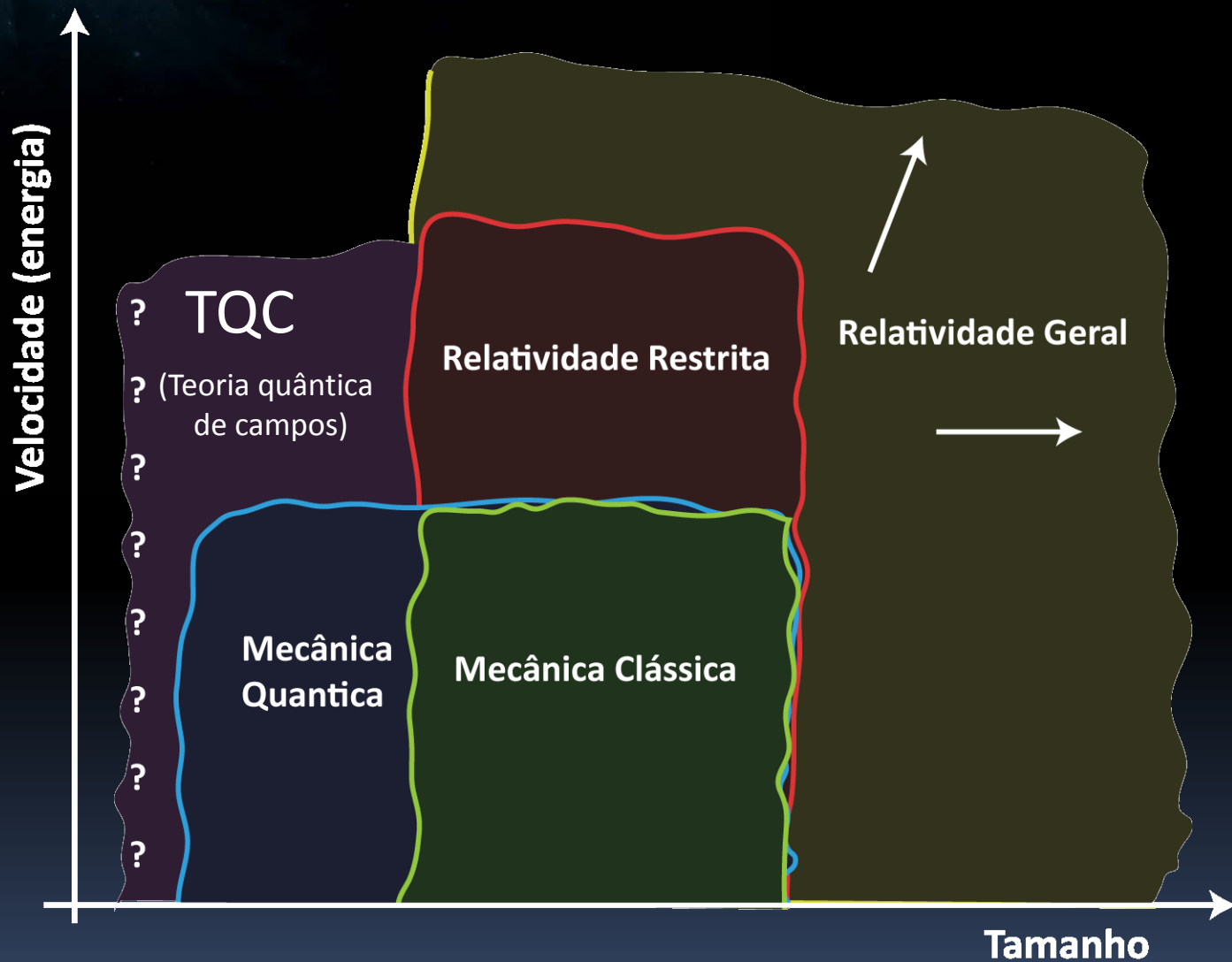
# Partículas: Pequenas e Rápidas!



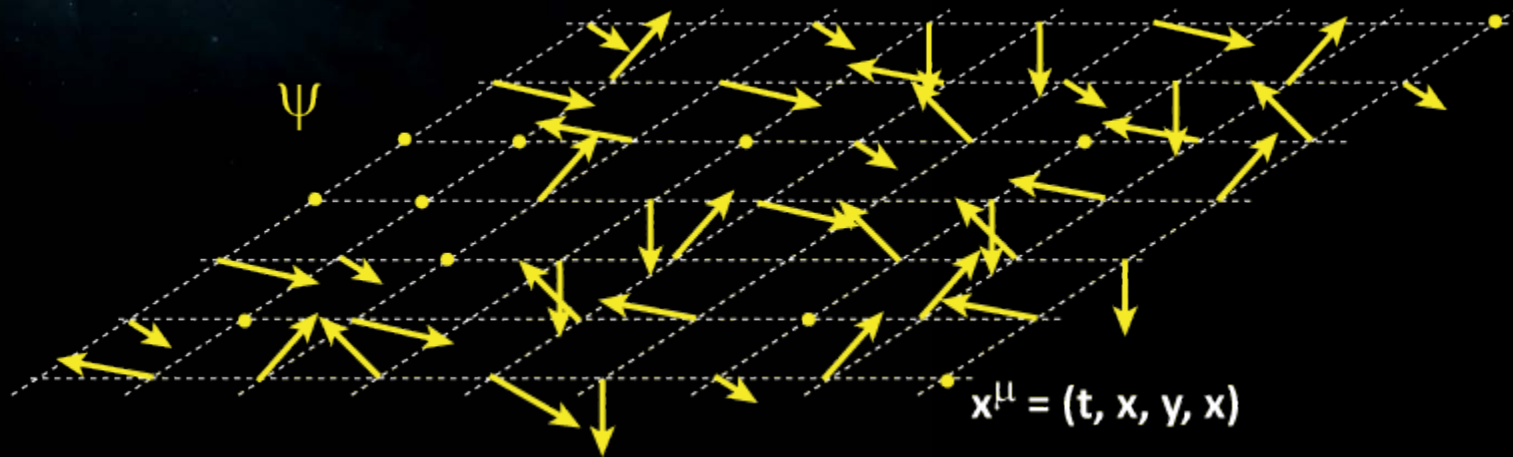
# Partículas: Pequenas e Rápidas!



# Partículas: Pequenas e Rápidas!



# Campos

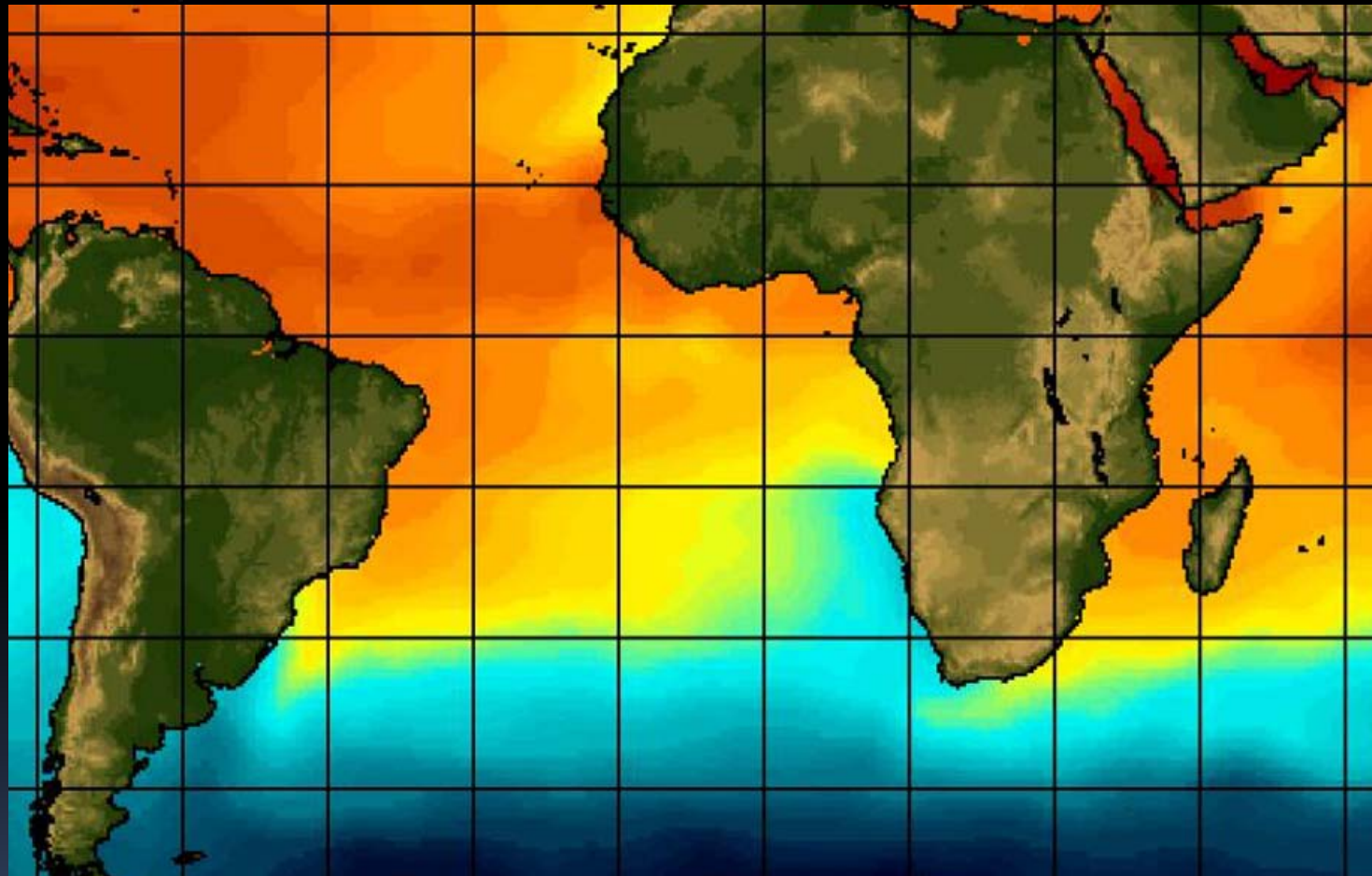


Podemos ter campos de vários tipos

- Escalares. Ex: Temperatura, Energia
- Vetoriais. Ex: Elétrico, Velocidades em um Fluido
- Outros...

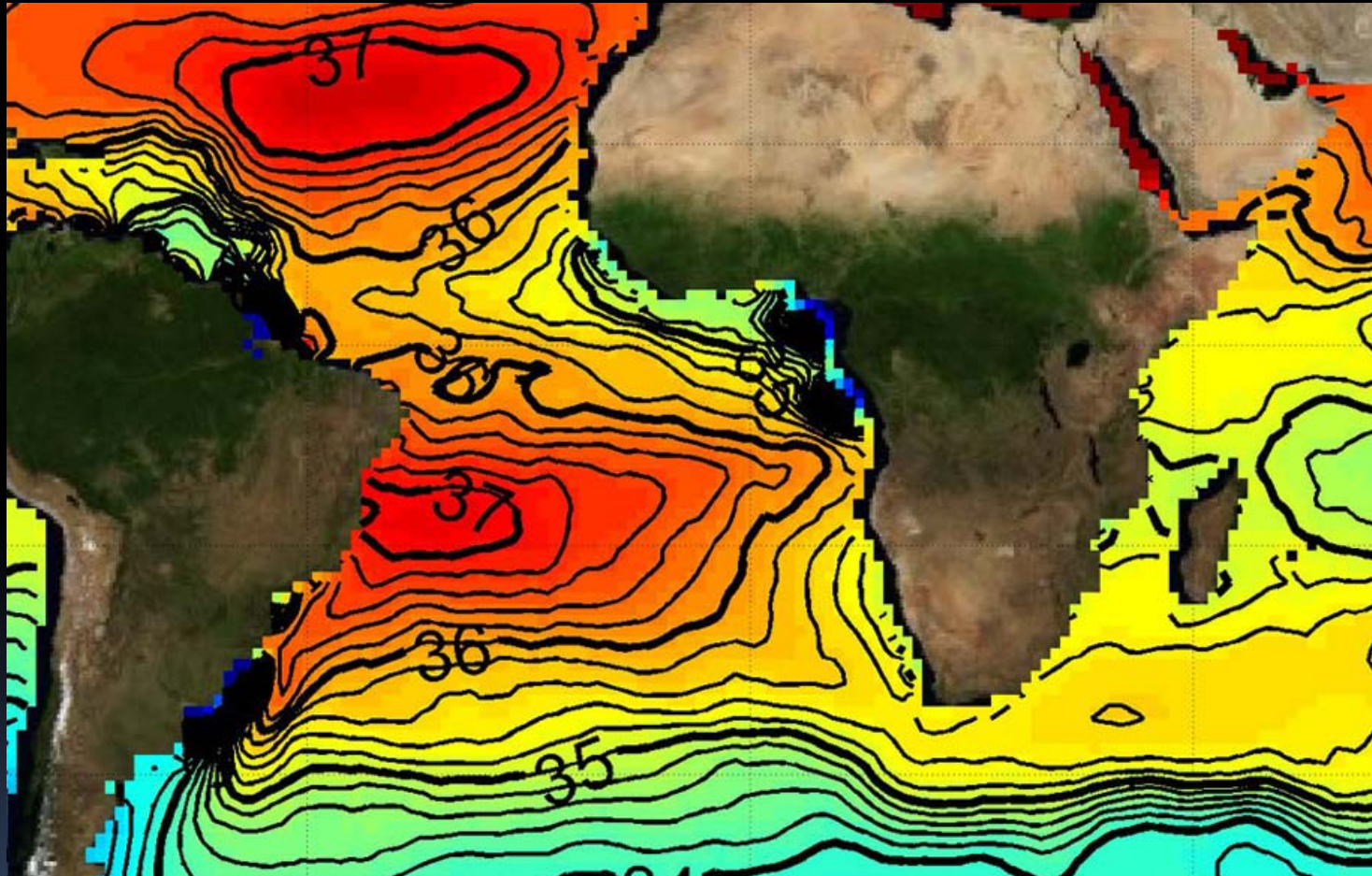
# Campos

Exemplo: temperatura dos oceanos (campo escalar)



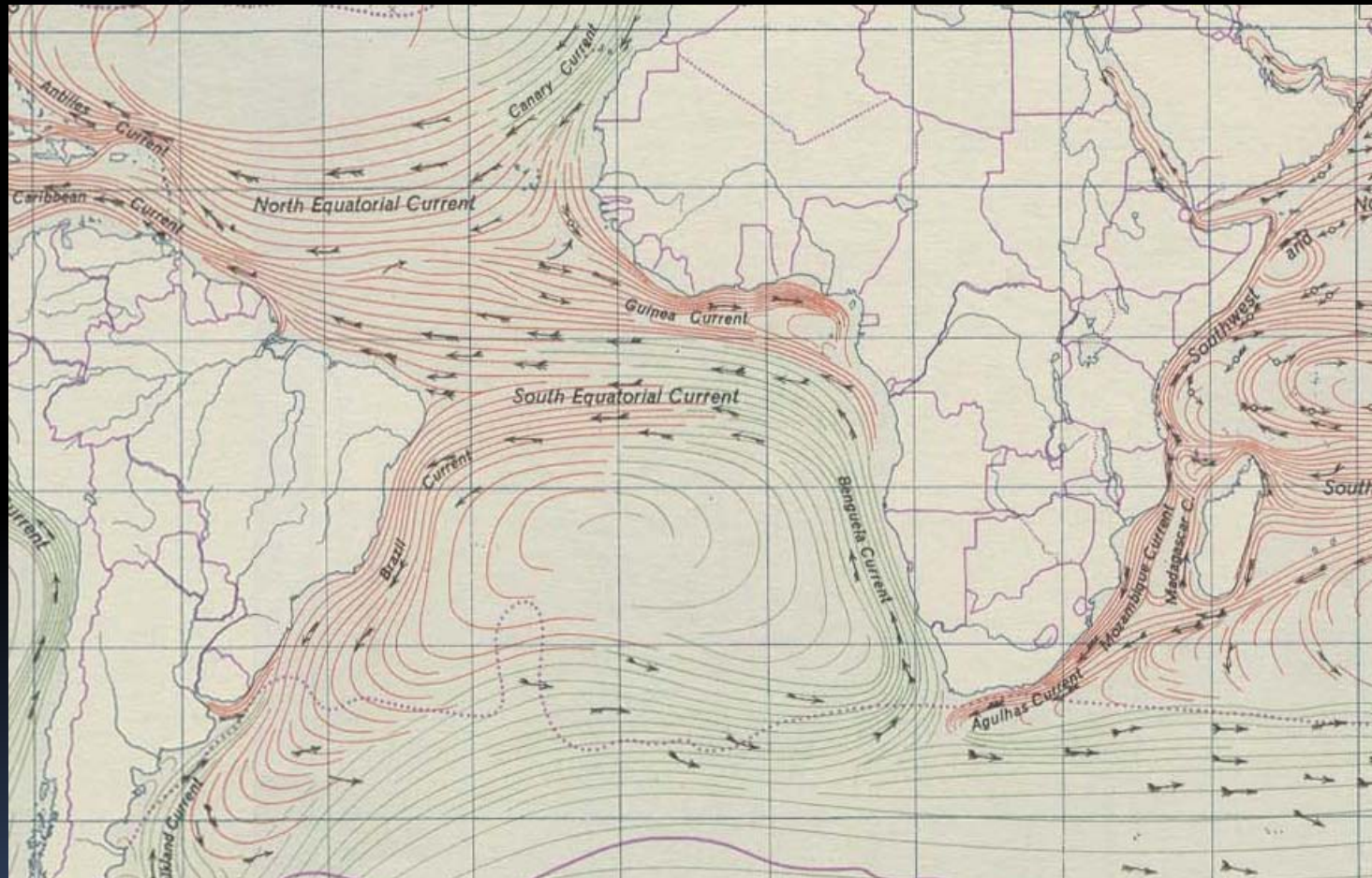
# Campos

Exemplo: salinidade dos oceanos (campo escalar)



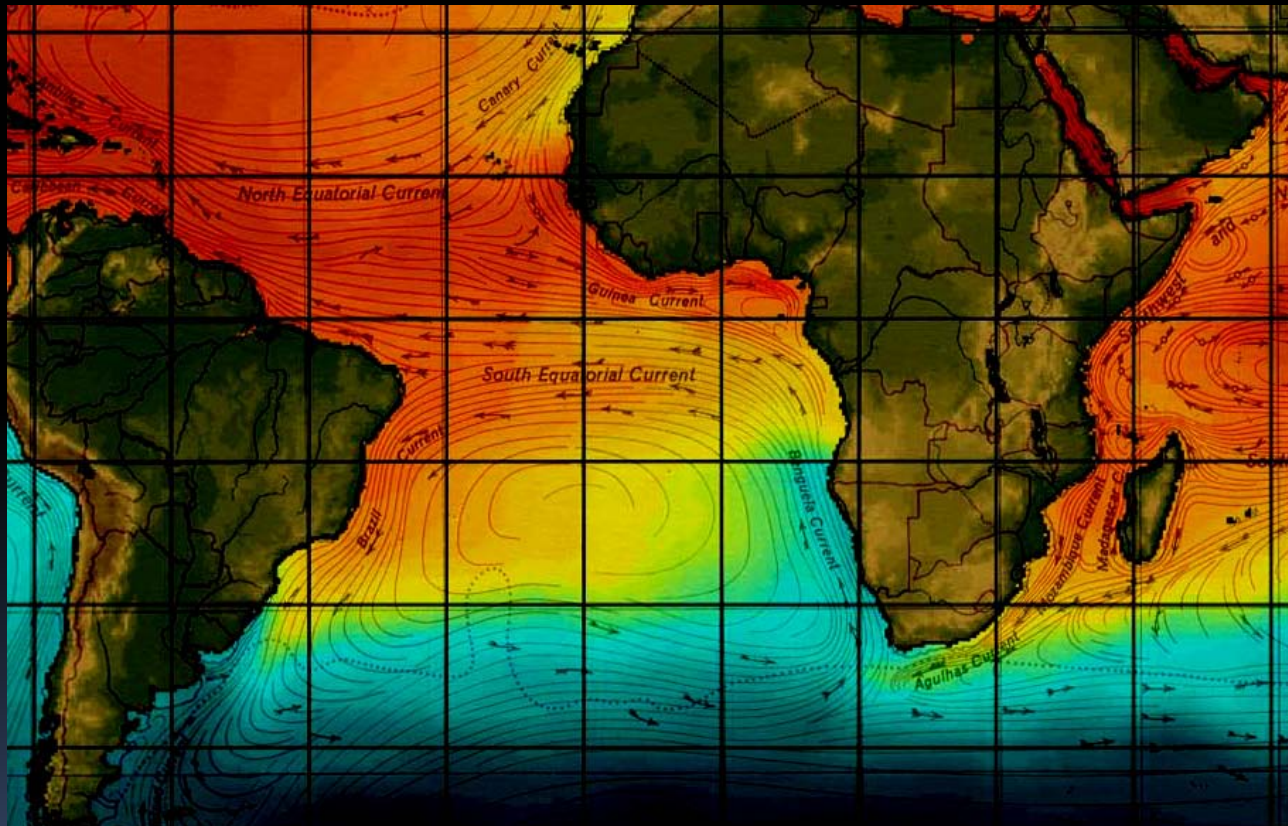
# Campos

Exemplo: correntes oceânicas (campo vetorial)



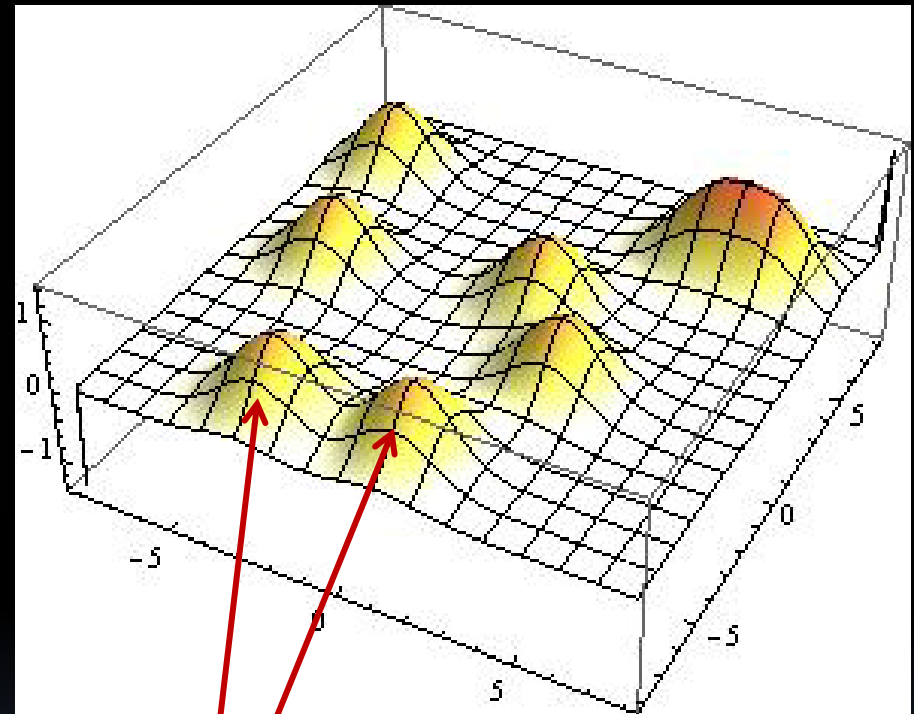
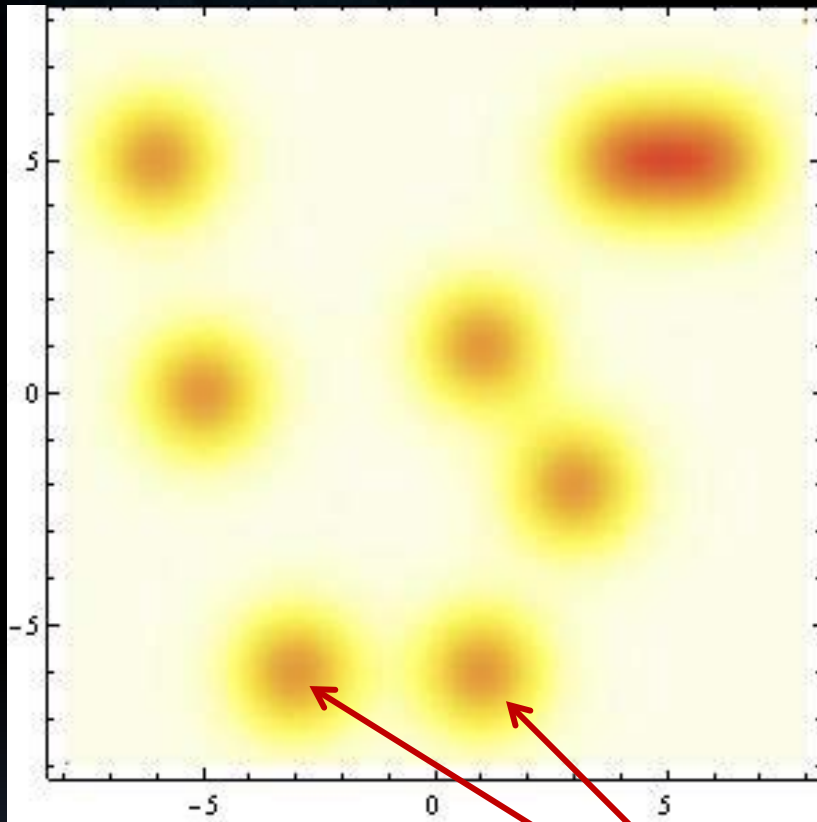
# Campos

Seria ótimo se conseguíssemos combinar os diversos “campos oceânicos” em um campo composto (que associa vários números para cada ponto), e descobrir quais leis regem o comportamento deste novo campo!



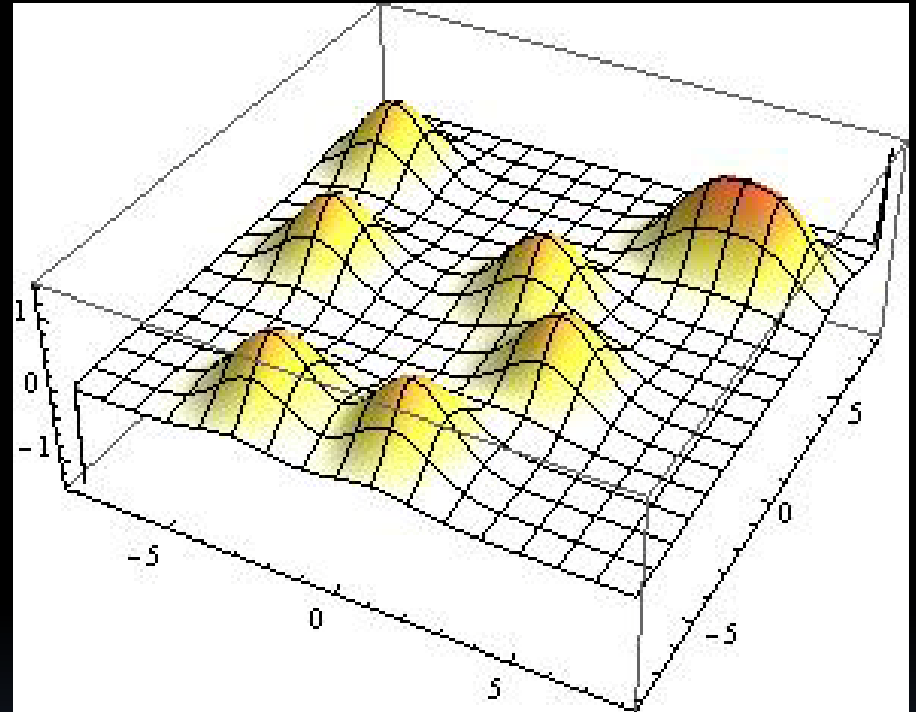
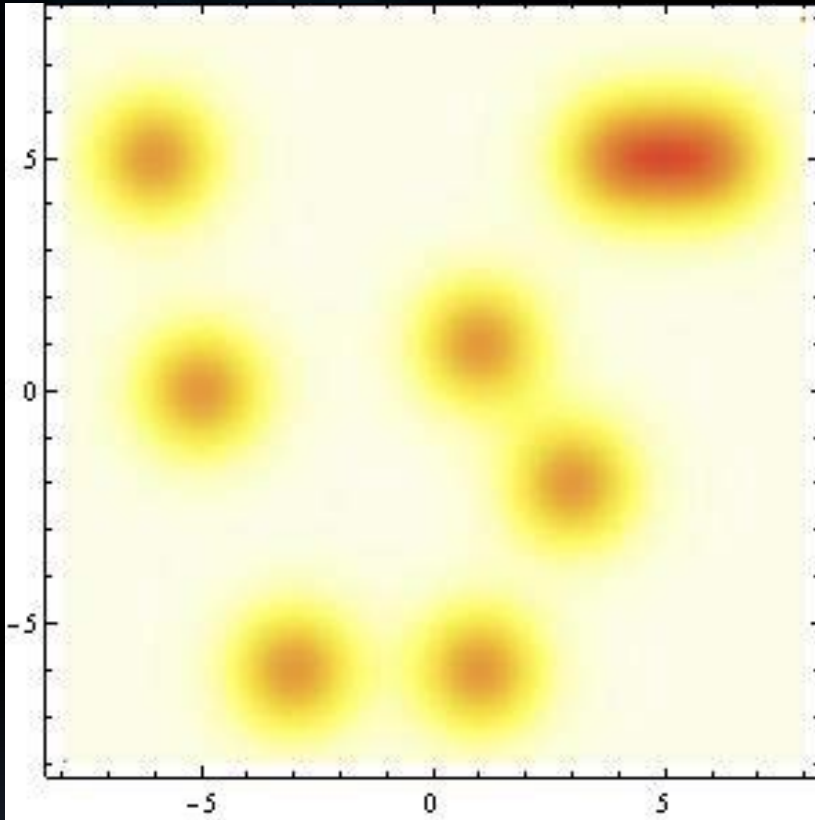


# Partículas: Descritas por Campos!



Partículas

# Partículas: Descritas por Campos!

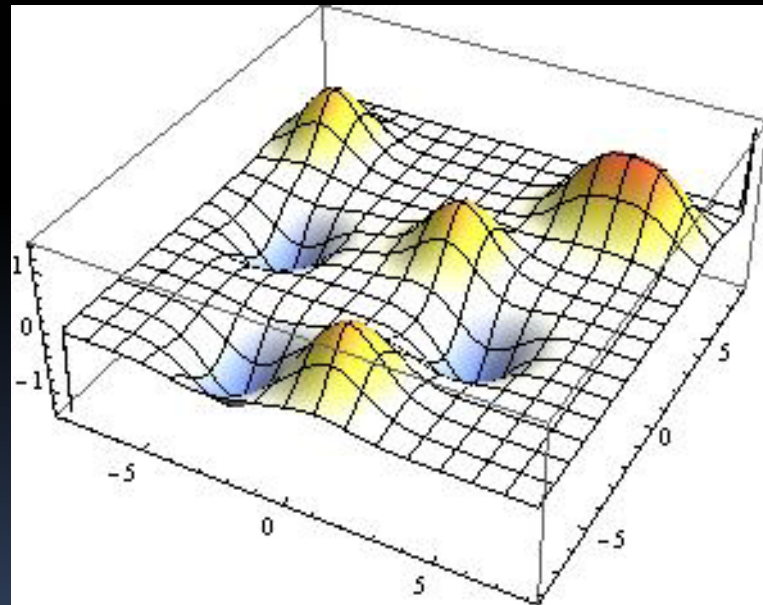
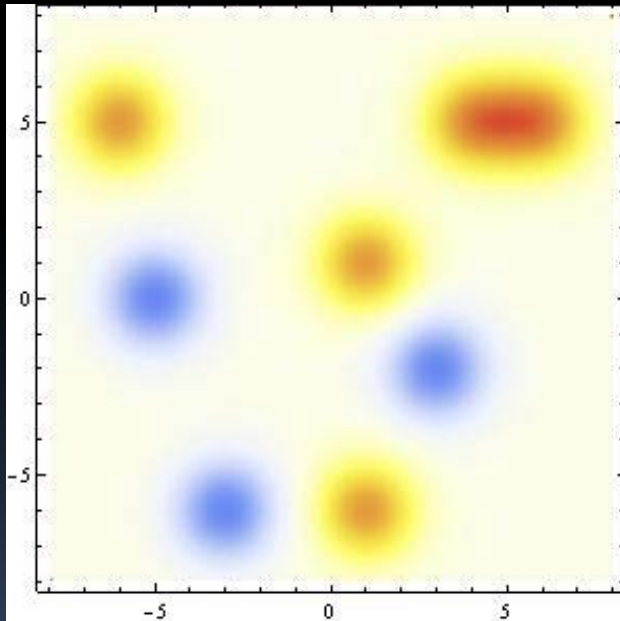


O campo codifica probabilidades de encontrar partículas numa certa região do espaço-tempo, incluindo informação sobre carga, velocidade, spin, etc..

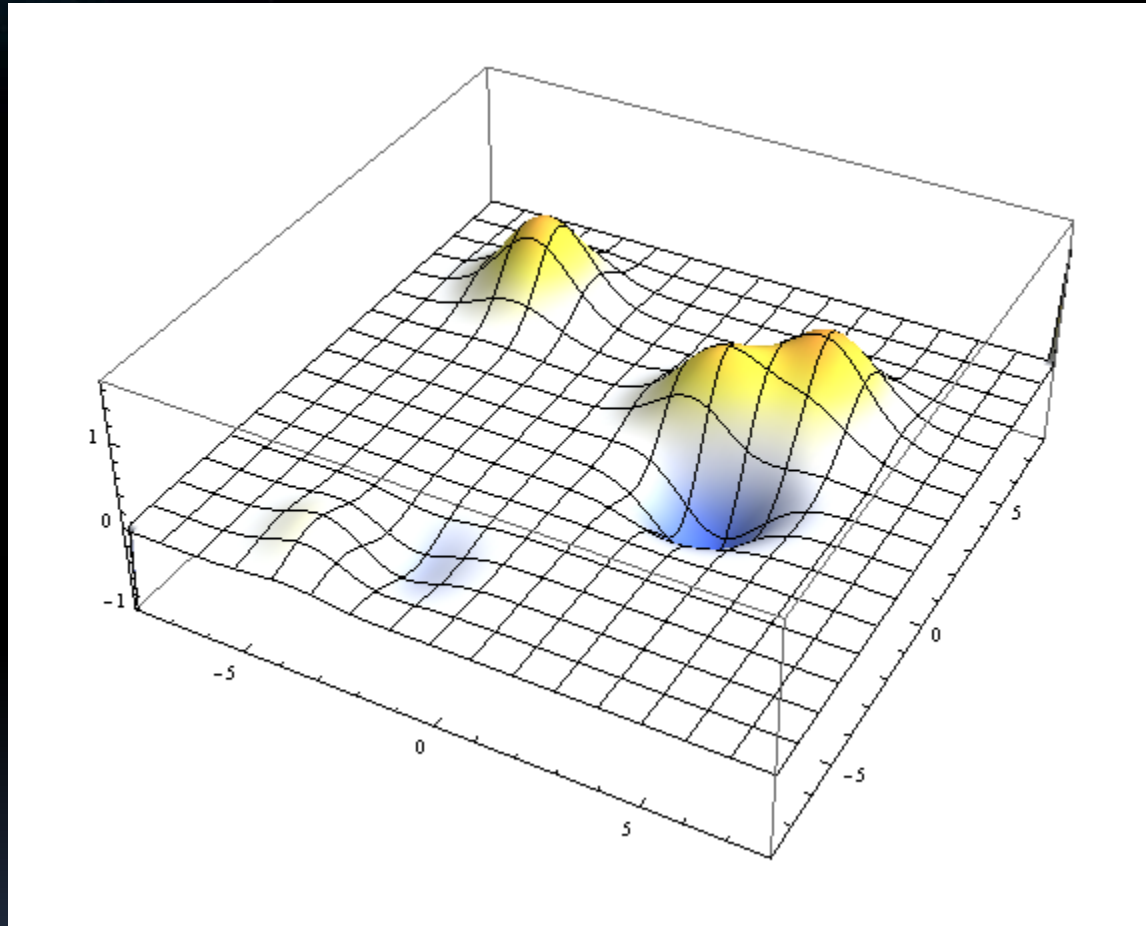
# Campos Quânticos e Relativísticos

Tanto a quântica quanto a relatividade trazem “novidades” que escapam a nossa intuição (clássica). Algumas delas são:

- Excitações do campo são quantizadas (**partículas!**)
- Temos anti-partículas, numero total de partículas muda com o tempo



# Campos Quânticos e Relativísticos



(note o que ocorre o que acontece quando as partículas passam umas pelas outras)

# Campos Quânticos e Relativísticos

Tanto a quântica quanto a relatividade trazem “novidades” que escapam a nossa intuição (clássica). Algumas delas são:

- Campos complexos

$$Z = a + b i = r e^{i \theta}$$

→ Fase  
→ Módulo

# Campos Quânticos e Relativísticos

Tanto a quântica quanto a relatividade trazem “novidades” que escapam a nossa intuição (clássica). Algumas delas são:

- Campos complexos

$$Z = a + b i = r e^{i\theta}$$

Diagram illustrating the decomposition of a complex number  $Z = a + b i = r e^{i\theta}$ . Red arrows point from the terms in the equation to their respective labels:  $a$  and  $b$  are grouped as "Módulo",  $i$  is labeled "Fase", and  $r$  is labeled "Módulo". A red arrow from the  $\theta$  term points to "Fase". A red arrow from the "Fase" label points to the underlined text "No entanto o que observamos não depende desta fase".

No entanto o que observamos não depende desta fase

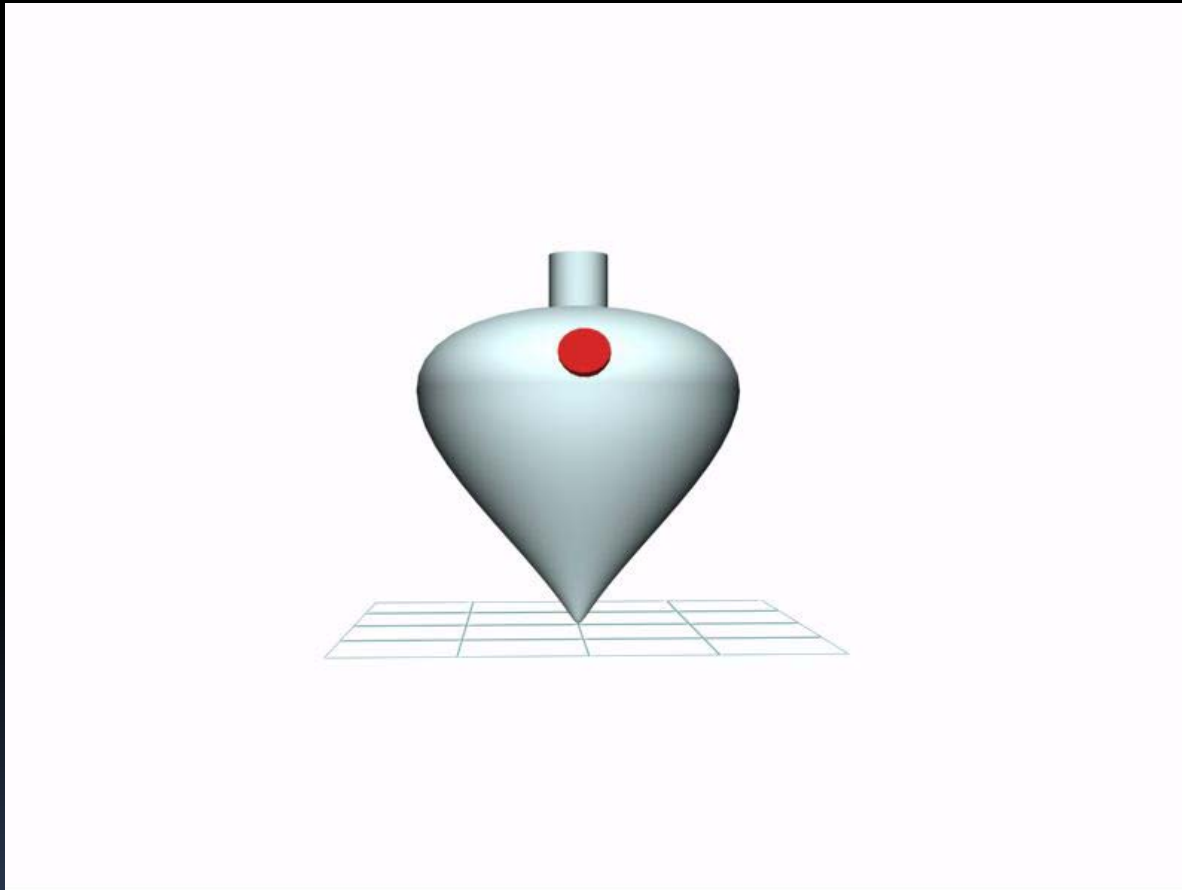


Simetria!!



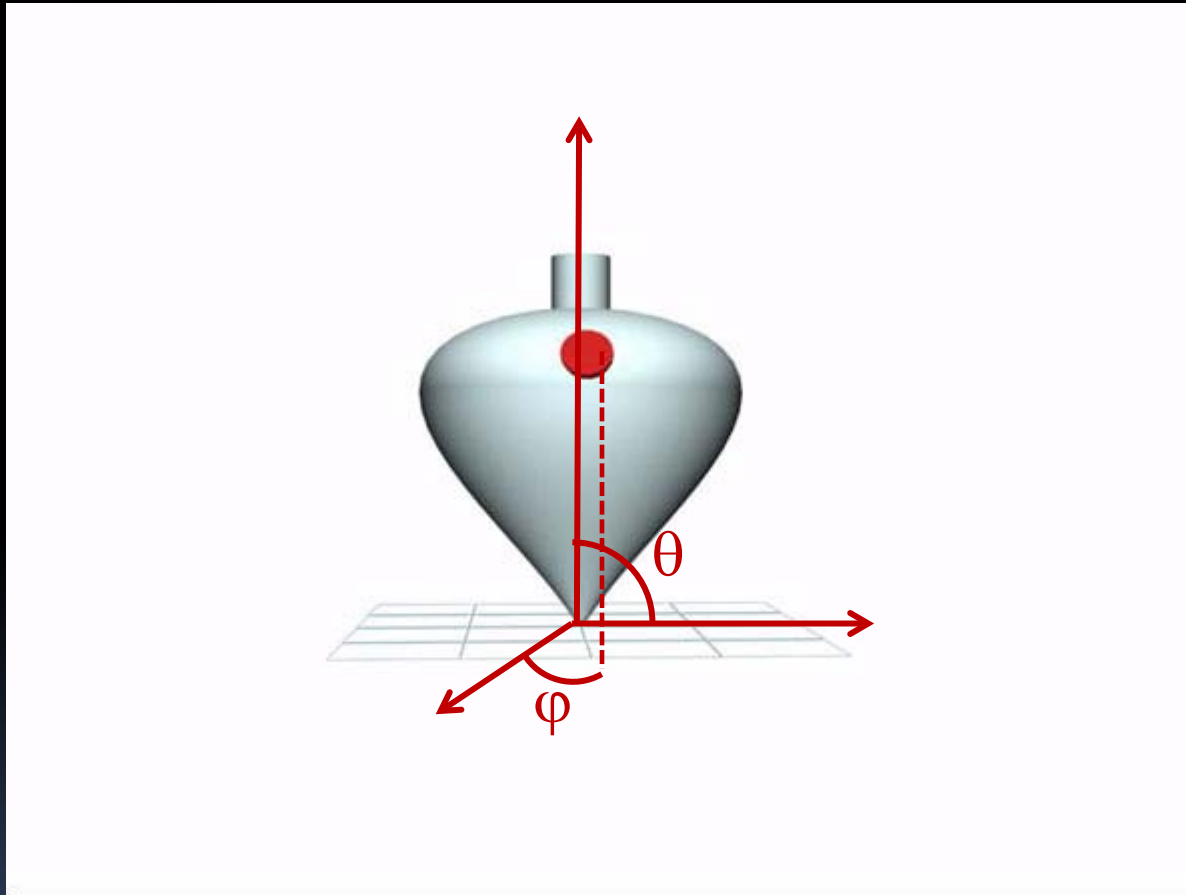
# Papel das Simetrias em Física

O que é uma simetria?



# Papel das Simetrias em Física

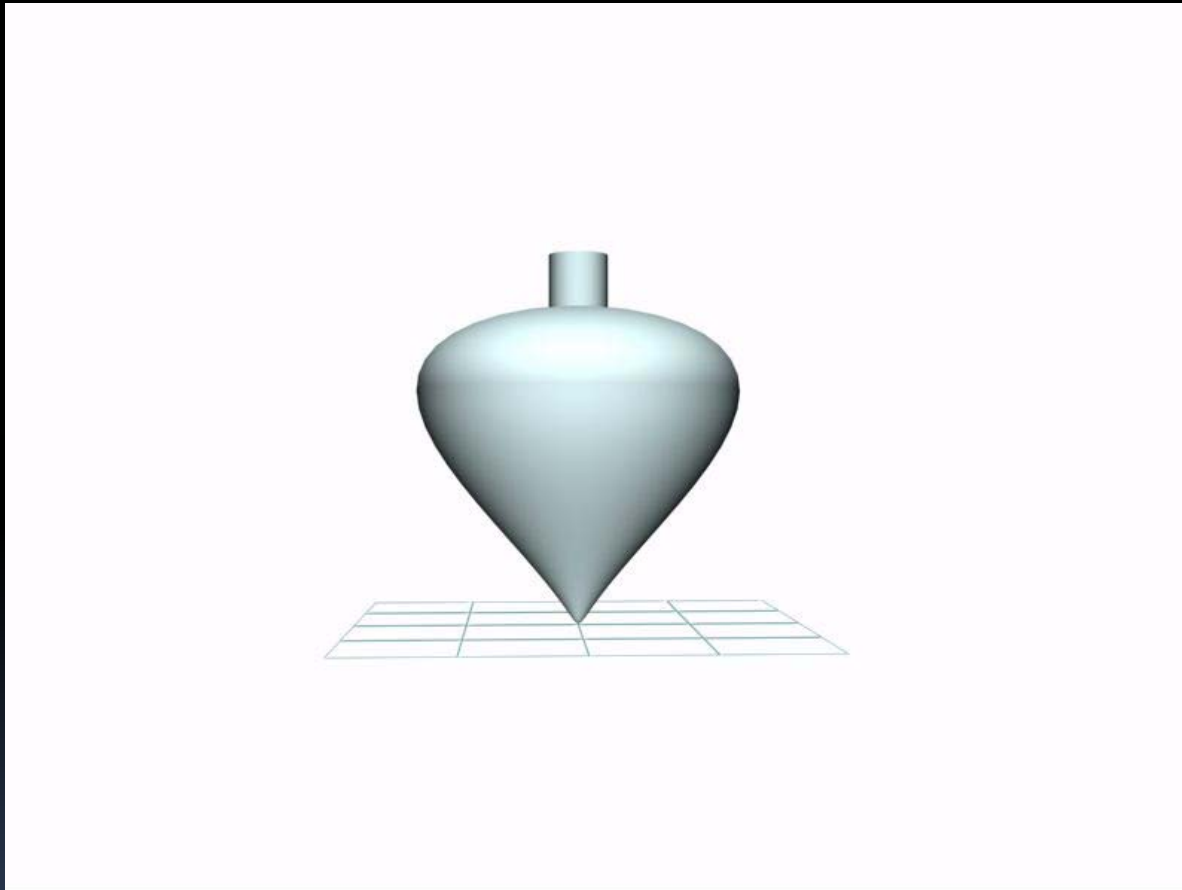
O que é uma simetria?





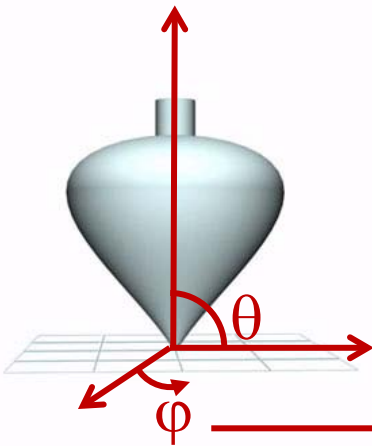
# Papel das Simetrias em Física

O que é uma simetria?



# Papel das Simetrias em Física

O que é uma simetria?



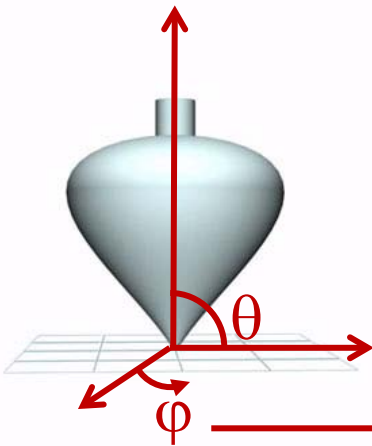
Mudanças deste ângulo não alteram em nada no sistema.



Isto nos permite prever qual é o eixo “preferido” do pião. Neste caso a presença da simetria diminui a complexidade do estudo do sistema.

# Papel das Simetrias em Física

O que é uma simetria?

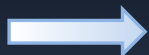


Mudanças deste ângulo não alteram em nada no sistema.



Isto nos permite prever qual é o eixo “preferido” do pião. Neste caso a presença da simetria diminui a complexidade do estudo do sistema.

Simetria



Toda vez que tivermos uma variável do sistema físico em estudo que possa ser mudada sem alterar o comportamento do sistema.

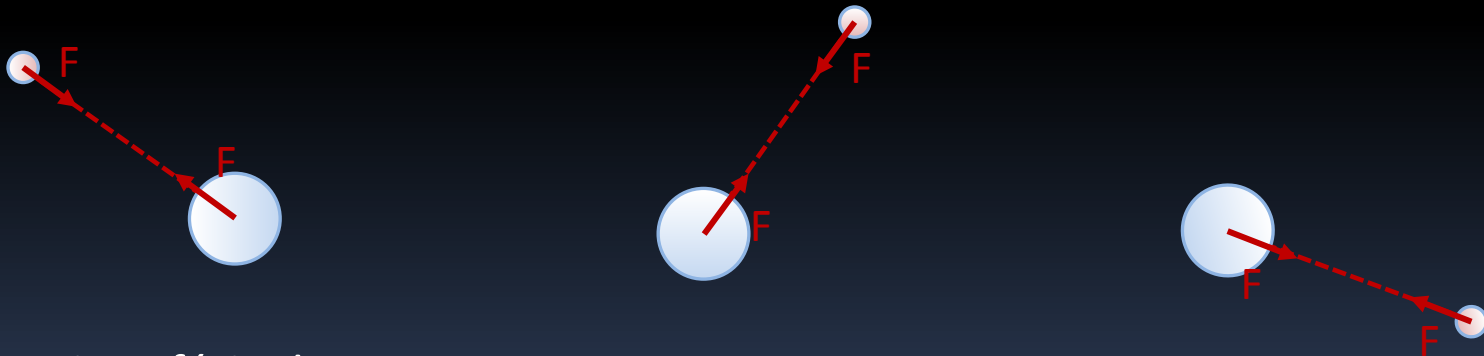
# Papel das Simetrias em Física

Antes do séc. XX:



## Exemplo: gravitação de Newton

...força proporcional à massa de cada um deles e inversamente proporcional ao quadrado da **distância** que separa esses corpos.



Simetria Esférica!

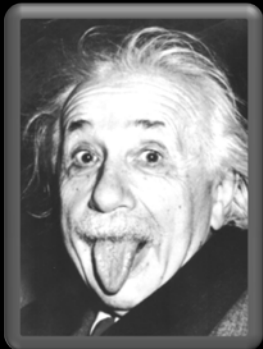
# Papel das Simetrias em Física

Começo do séc. XX: os papéis começam a se inverter

Simetria



Leis da Natureza



Desenvolve a Relatividade (Especial e Geral) basicamente partindo de argumentos de simetria (leis da física não podem mudar com mudanças de referencial)



Restringe as Leis da Física “Possíveis”

A. Einstein – 1905 ~ 1915

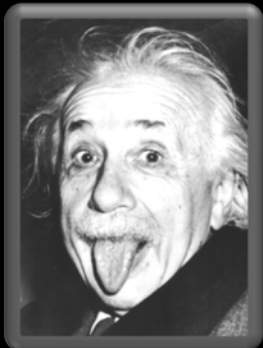
# Papel das Simetrias em Física

Começo do séc. XX: os papéis começam a se inverter

Simetria



Leis da Natureza



Desenvolve a Relatividade (Especial e Geral) basicamente partindo de argumentos de simetria (leis da física não podem mudar com mudanças de referencial)



Restringe as Leis da Física “Possíveis”

A. Einstein – 1905 ~ 1915



Certas simetrias implicam em leis de conservação



Invariância por translação no espaço  Conservação de Momento

Invariância por translação no tempo  Conservação de Energia

Invariância por rotações  Conservação de Momento Angular

A.E. Noether - 1918

# Papel das Simetrias em Física

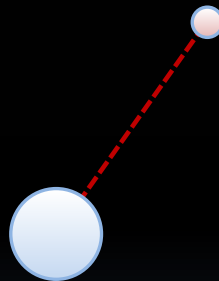
Começo do séc. XX: os papéis começam a se inverter

Simetria



Leis da Natureza

**Exemplo:** gravitação de Newton



# Papel das Simetrias em Física

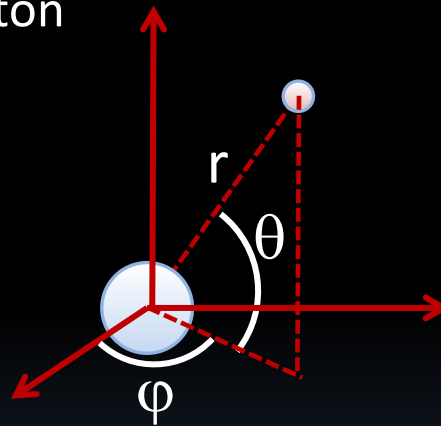
Começo do séc. XX: os papéis começam a se inverter

Simetria



Leis da Natureza

**Exemplo:** gravitação de Newton





# Papel das Simetrias em Física

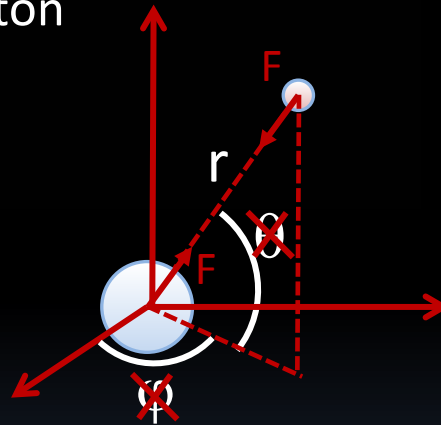
Começo do séc. XX: os papéis começam a se inverter

Simetria

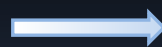


Leis da Natureza

**Exemplo:** gravitação de Newton

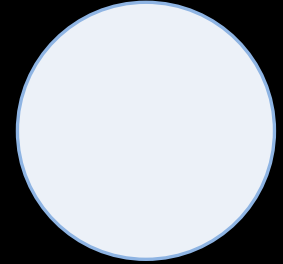
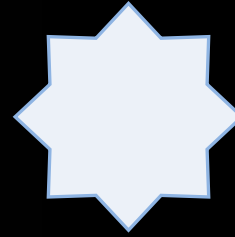


Simetria Esférica

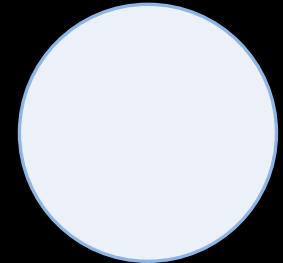
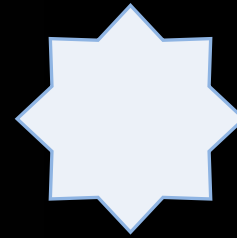
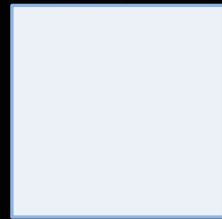


Força só depende da distância

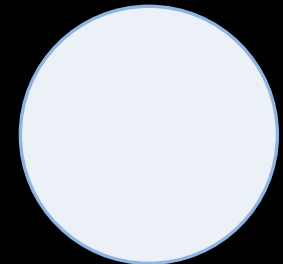
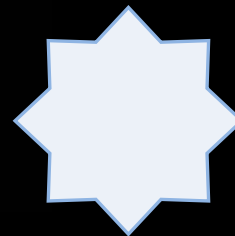
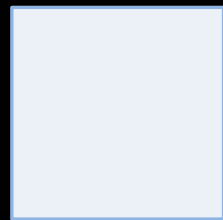
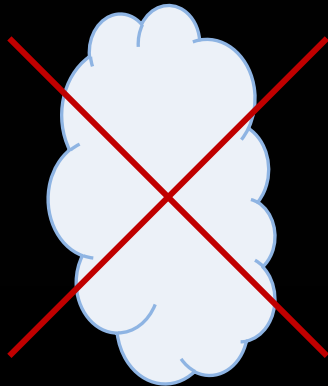
# Assumir Simetrias $\rightarrow$ Restrições



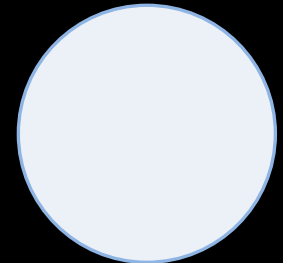
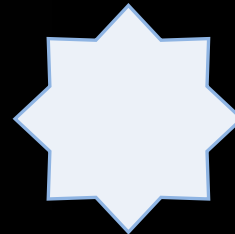
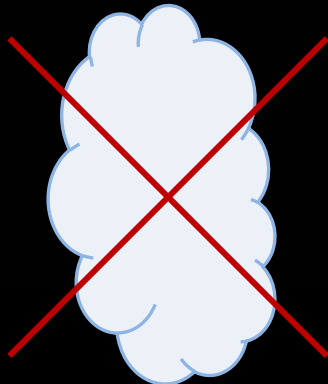
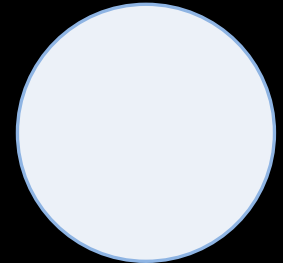
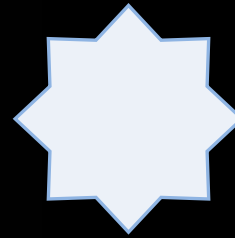
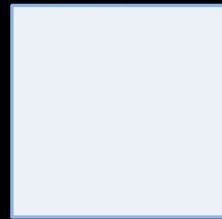
# Assumir Simetrias $\rightarrow$ Restrições



Rotação de  $90^\circ$



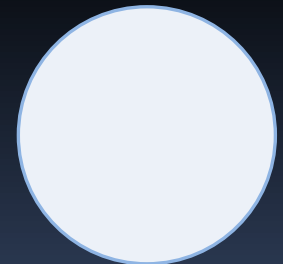
# Assumir Simetrias $\rightarrow$ Restrições



Rotação de  $90^\circ$



Rotação de  $45^\circ$



# Simetria para os Campos Quantizados



Campo Complexo:  $Z = a + b i = r e^{i\theta}$  → Deve ser simétrico por mudança nesta **fase**

# Simetria para os Campos Quantizados



Campo Complexo:  $Z = a + b i = r e^{i\theta}$  → Deve ser simétrico por mudança nesta **fase**



Noether: Simetria → Grandeza conservada

# Simetria para os Campos Quantizados



Campo Complexo:  $Z = a + b i = r e^{i\theta}$  → Deve ser simétrico por mudança nesta fase



Noether: Simetria → Grandeza conservada

Conservação da CARGA ELÉTRICA

# Simetria para os Campos Quantizados



Campo Complexo:  $Z = a + b i = r e^{i\theta}$  → Deve ser simétrico por mudança nesta **fase**



Noether: Simetria → Grandeza conservada

Conservação da **CARGA ELÉTRICA**

Campos complexos descrevem partículas carregadas!



(o campo do elétron tem uma propriedade a mais, necessária para descrever também o seu **spin 1/2**, campos deste tipo não são chamados de **campos espinoriais**, em contraste com os campos escalares ou vetoriais)



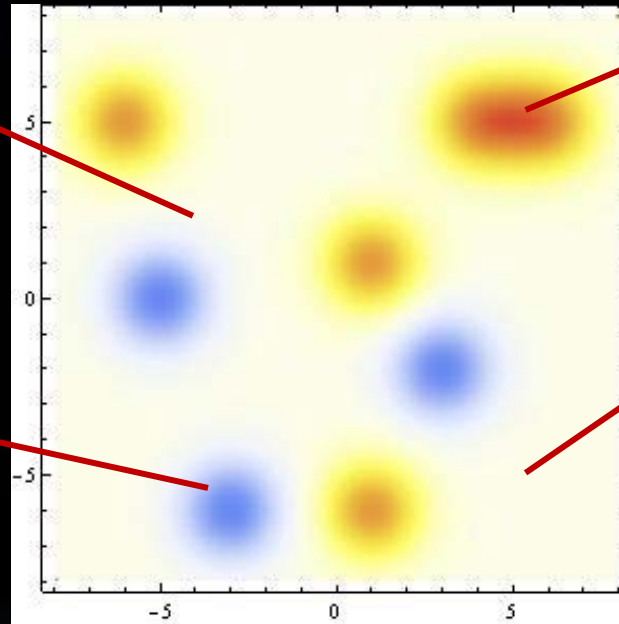
# Simetrias Globais e Locais

$$Z_1 = r_1 e^{i(\theta_1)}$$

$$Z_2 = r_2 e^{i(\theta_2)}$$

$$Z_3 = r_3 e^{i(\theta_3)}$$

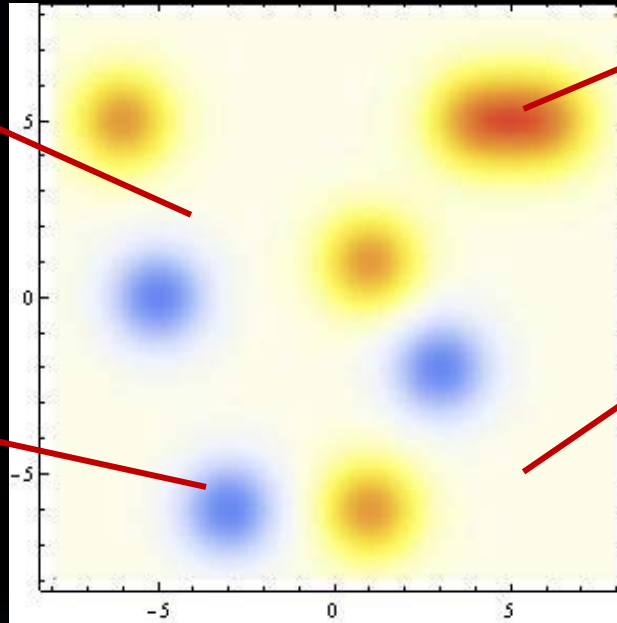
$$Z_4 = r_4 e^{i(\theta_4)}$$



# Simetrias Globais e Locais

$$Z_1 = r_1 e^{i(\theta_1)}$$

$$Z_2 = r_2 e^{i(\theta_2)}$$



$$Z_3 = r_3 e^{i(\theta_3)}$$

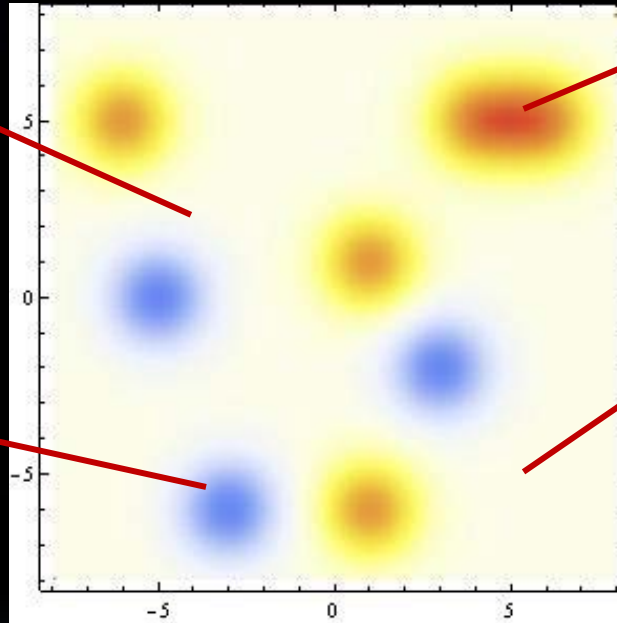
$$Z_4 = r_4 e^{i(\theta_4)}$$

Transformação Global: mudar todas as fases de um mesmo valor  $\alpha$

# Simetrias Globais e Locais

$$Z_1 = r_1 e^{i(\theta_1 + \alpha)}$$

$$Z_2 = r_2 e^{i(\theta_2 + \alpha)}$$



$$Z_3 = r_3 e^{i(\theta_3 + \alpha)}$$

$$Z_4 = r_4 e^{i(\theta_4 + \alpha)}$$

Transformação Global: mudar todas as fases de um mesmo valor  $\alpha$

Se o sistema não muda  $\longrightarrow$  Conservação da **CARGA ELÉTRICA**  
(Simetria)

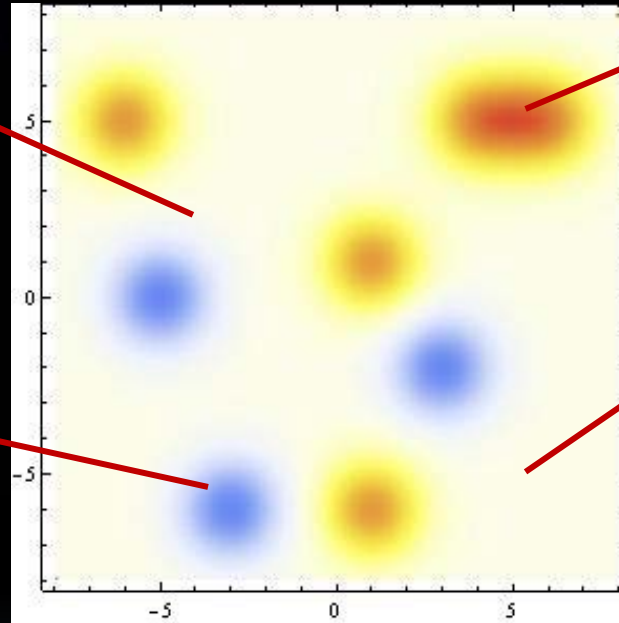
# Simetrias Globais e Locais

$$Z_1 = r_1 e^{i(\theta_1 + \alpha)}$$

$$Z_2 = r_2 e^{i(\theta_2 + \gamma)}$$

$$Z_3 = r_3 e^{i(\theta_3 + \beta)}$$

$$Z_4 = r_4 e^{i(\theta_4 + \delta)}$$



Transformação Local: em cada ponto eu mudo a fase de valor diferente.

Se o sistema não muda  $\longrightarrow$  ???  
(Simetria Local)

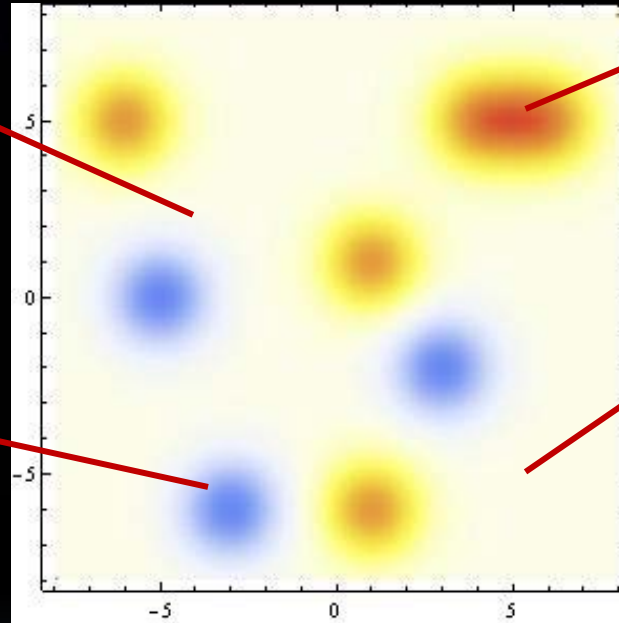
# Simetrias Globais e Locais

$$Z_1 = r_1 e^{i(\theta_1 + \alpha)}$$

$$Z_2 = r_2 e^{i(\theta_2 + \gamma)}$$

$$Z_3 = r_3 e^{i(\theta_3 + \beta)}$$

$$Z_4 = r_4 e^{i(\theta_4 + \delta)}$$



Transformação Local: em cada ponto eu mudo a fase de valor diferente.

Se o sistema não muda  $\Rightarrow$  Obtenho **INTERAÇÕES!**  
(Simetria Local)

# Simetrias Locais → Interações

Campo complexo não  
interagente (escalar ou  
espinorial)

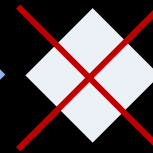
Simetria por Transformação  
de Fase Local

# Simetrias Locais → Interações

Campo complexo não interagente (escalar ou espinorial)

Simetria por Transformação de Fase Local

Impossível!

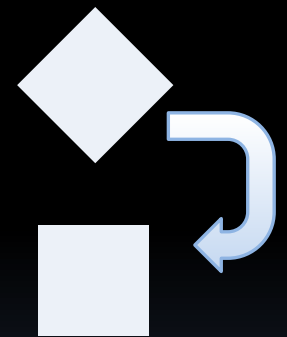
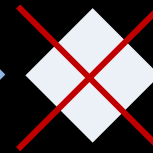


# Simetrias Locais → Interações

Campo complexo não interagente (escalar ou espinorial)

Simetria por Transformação de Fase Local

Impossível!



Para obter essa simetria local sou forçado a introduzir um **novo campo**.  
Este conjunto de dois campos é simétrico

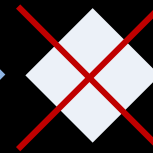


# Simetrias Locais → Interações

Campo complexo não interagente (escalar ou espinorial)

Simetria por Transformação de Fase Local

Impossível!



Para obter essa simetria local sou forçado a introduzir um **novo campo**.  
Este conjunto de dois campos é simétrico

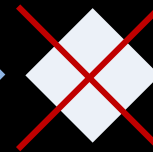


# Simetrias Locais → Interações

Campo complexo não interagente (escalar ou espinorial)

Simetria por Transformação de Fase Local

Impossível!



Para obter essa simetria local sou forçado a introduzir um **novo campo**.

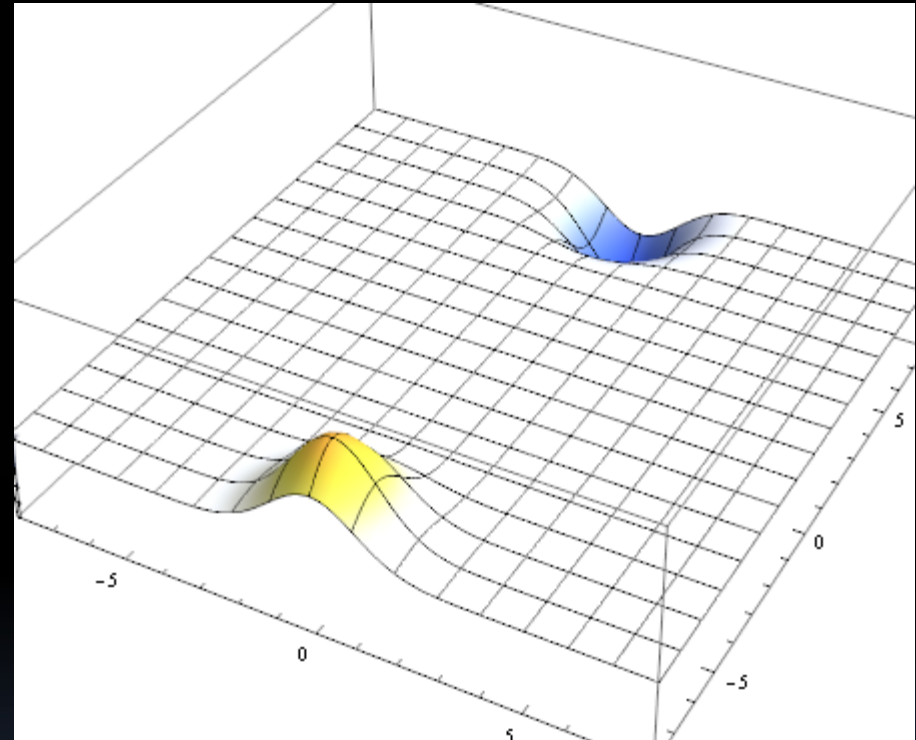
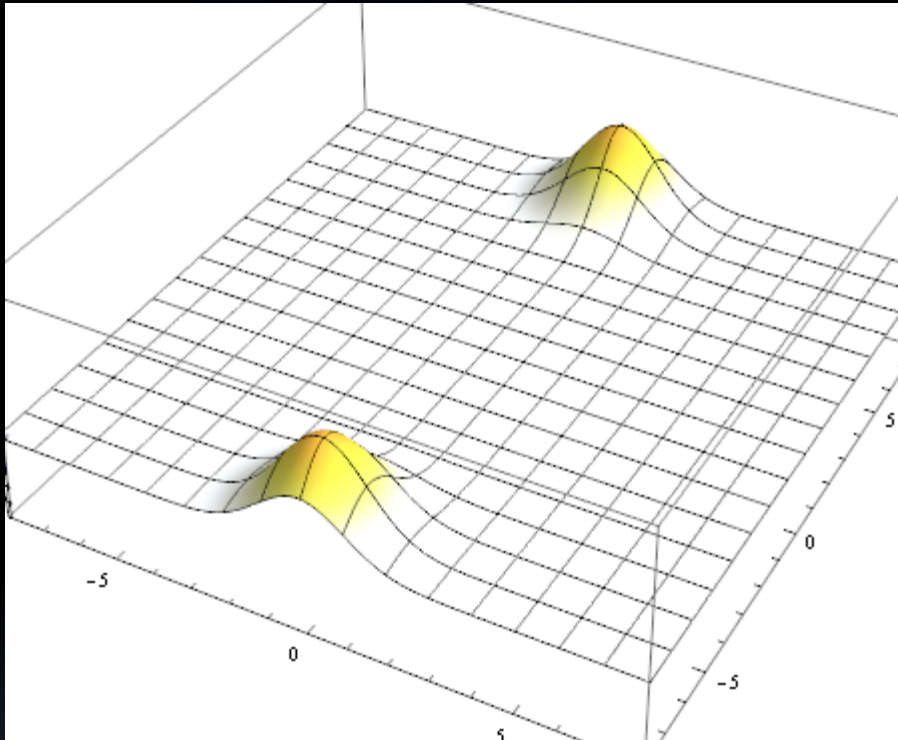
Este conjunto de dois campos é simétrico



- Campo Vetorial
- Excitações do campo **NÃO TEM MASSA** 
- Os dois campos interagem proporcionalmente à **carga conservada**

# Simetrias Locais → Interações

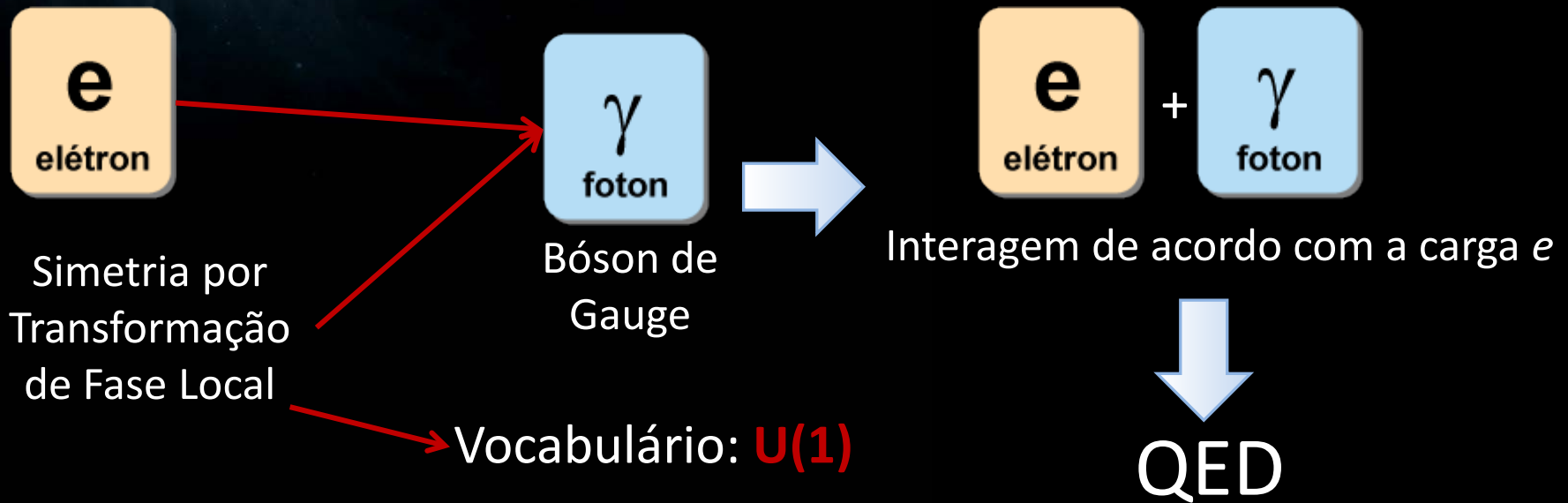
Probabilidade da interação proporcional à carga (acoplamento)



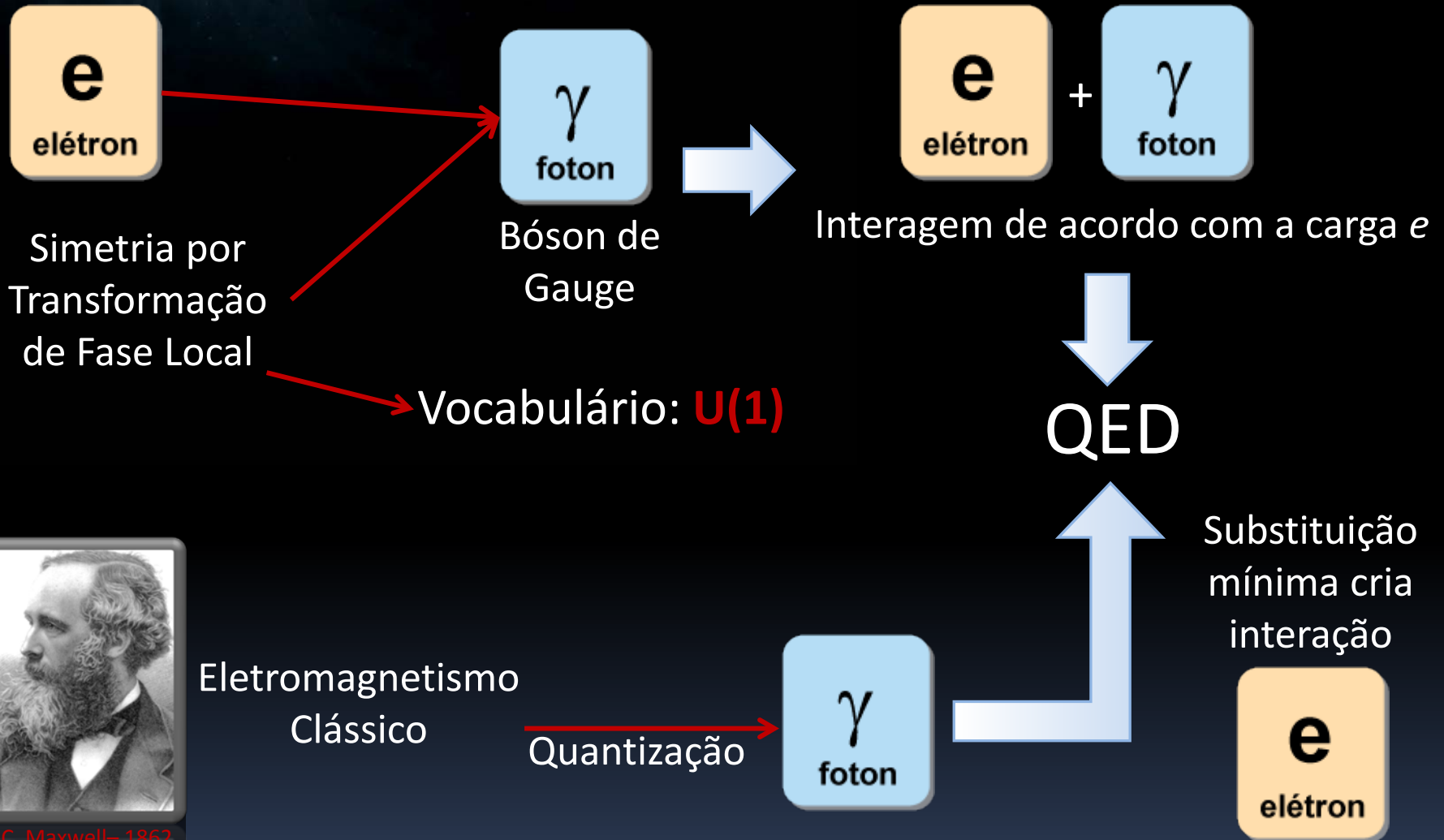
Vocabulário:

- Simetria de Fase Local: SIMETRIA DE GAUGE
- Partículas sem massa do campo novo: BÓSONS DE GAUGE

# Eletrodinâmica Quântica (QED)

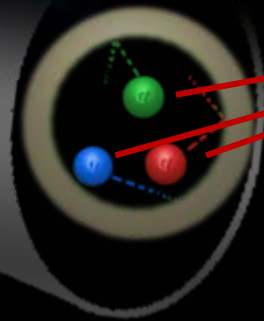


# Electrodinâmica Quântica (QED)



J.C. Maxwell - 1862

# Cromodinâmica Quântica (QCD)



Quarks

Qual força os mantém unidos?

1963



G. Zweig



M. Gell-Mann

Simetria Local: **SU(3)**

1965



Y. Nambu

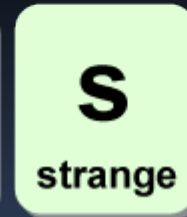
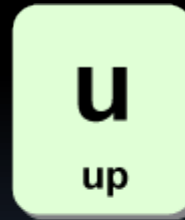


M-Y Han



O.W. Greenberg

Têm cargas de SU(3)

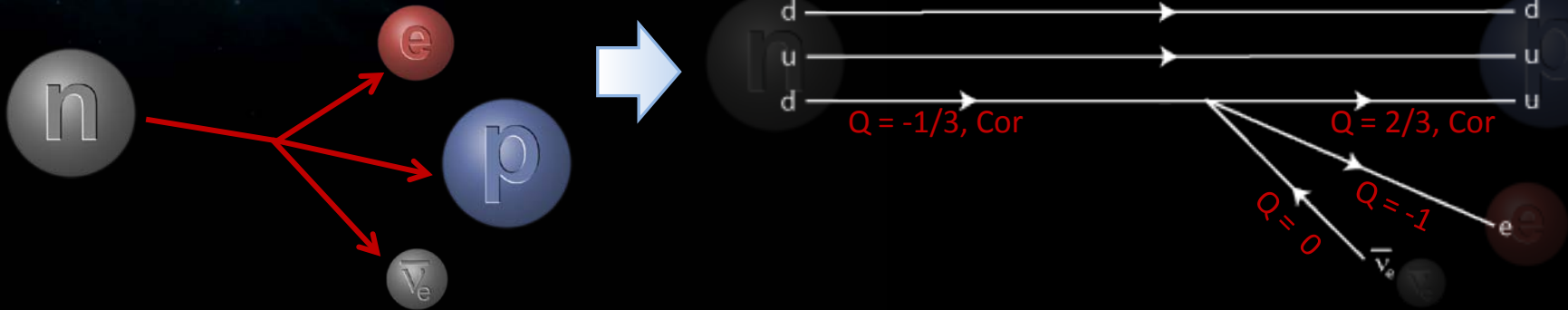


Bóson de Gauge de SU(3)

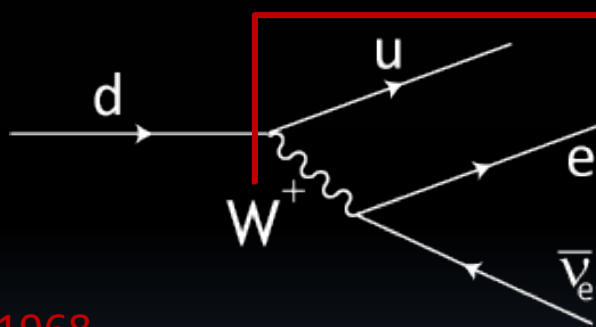


# Teoria Eletrofraca (GWS)

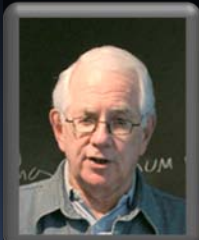
Decaimento Beta:



Simetria Local:  $SU(2)_L \times U(1)_Y$



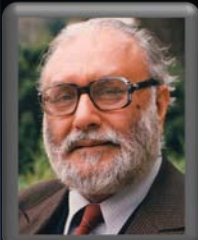
1968



Glashow



Weinberg



Salan

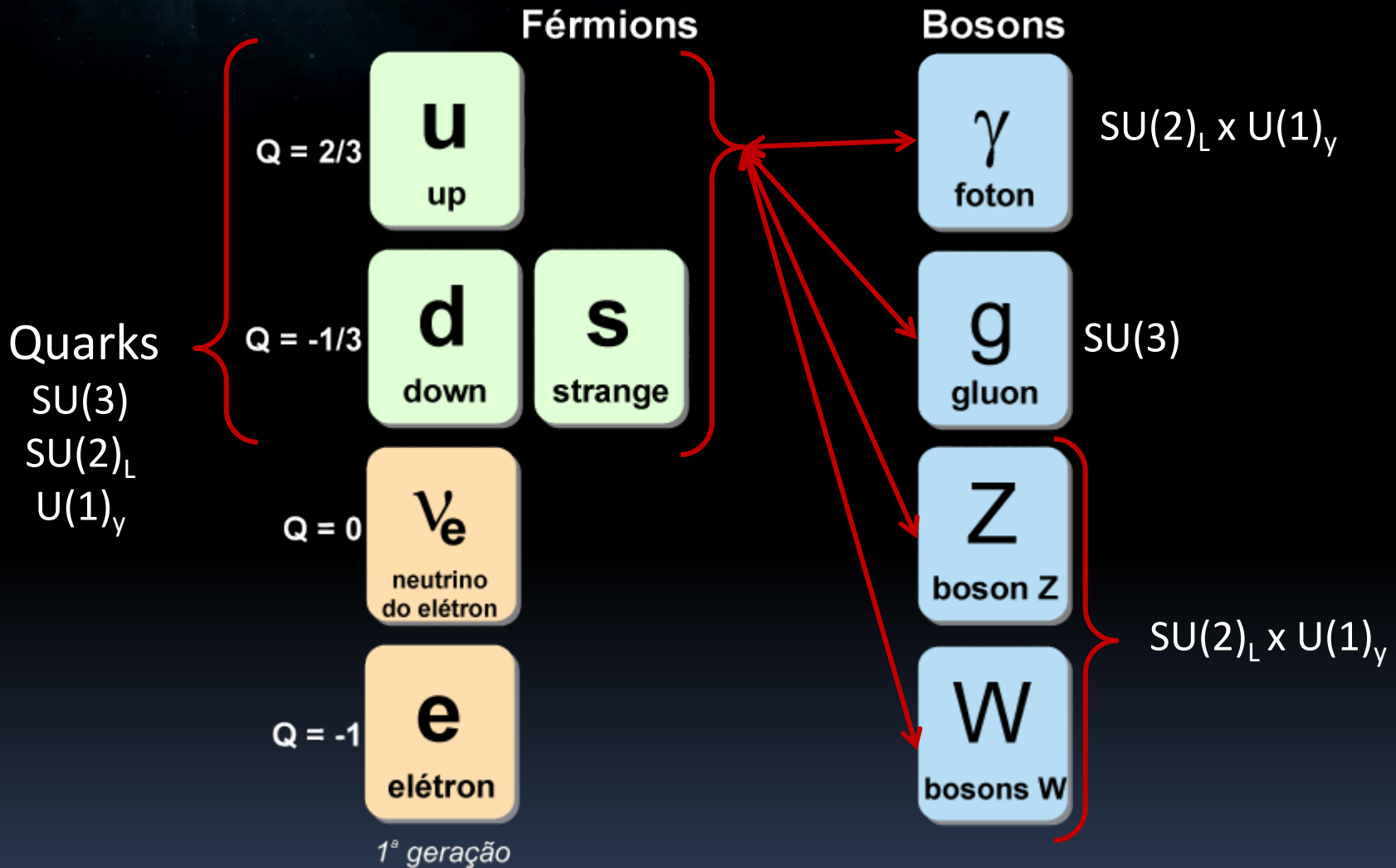
Bósons de Gauge de  $SU(2)_L \times U(1)_Y$

Z  
boson Z

$\gamma$   
foton

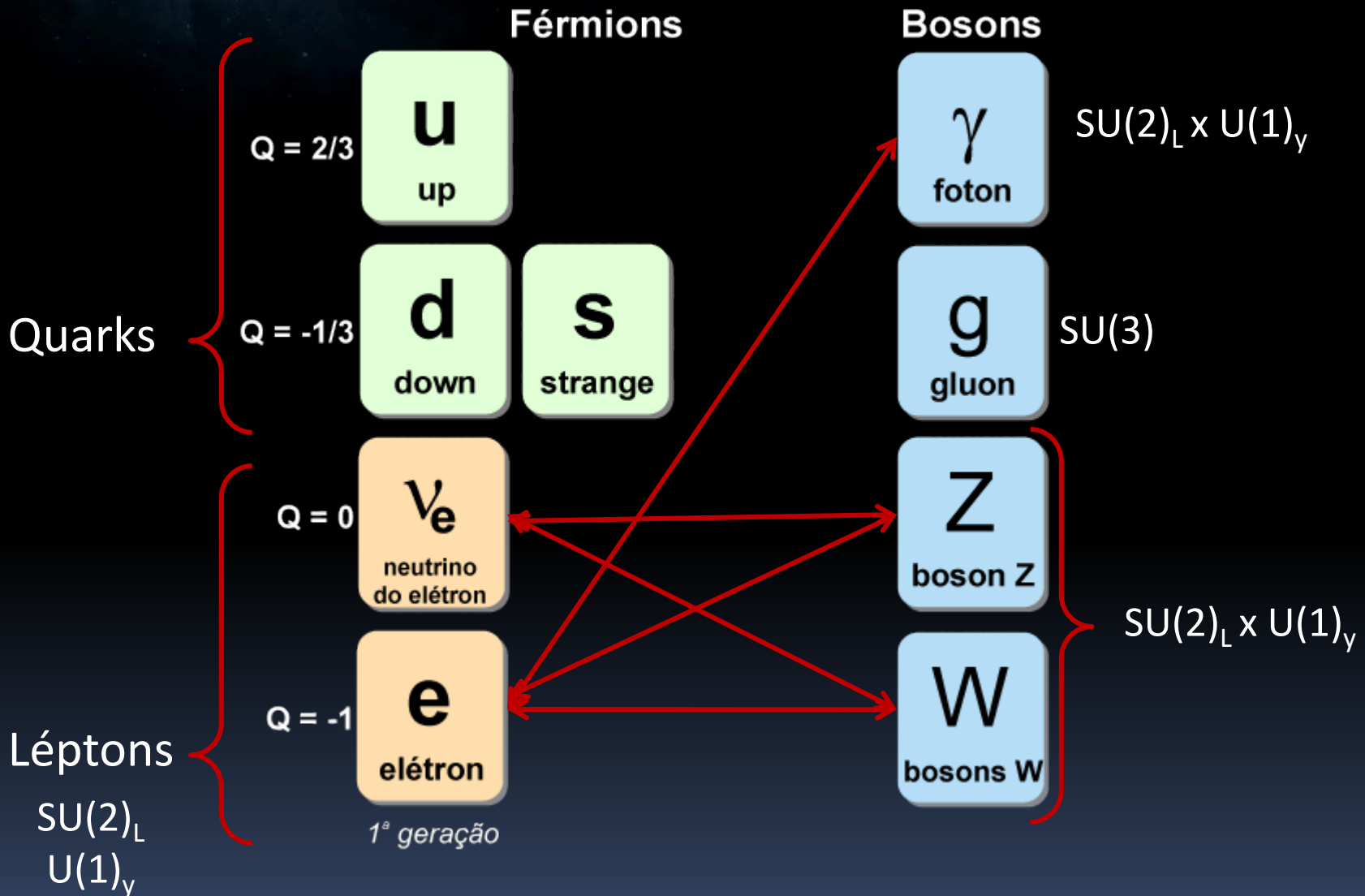
W  
bosons W

# O Modelo Padrão

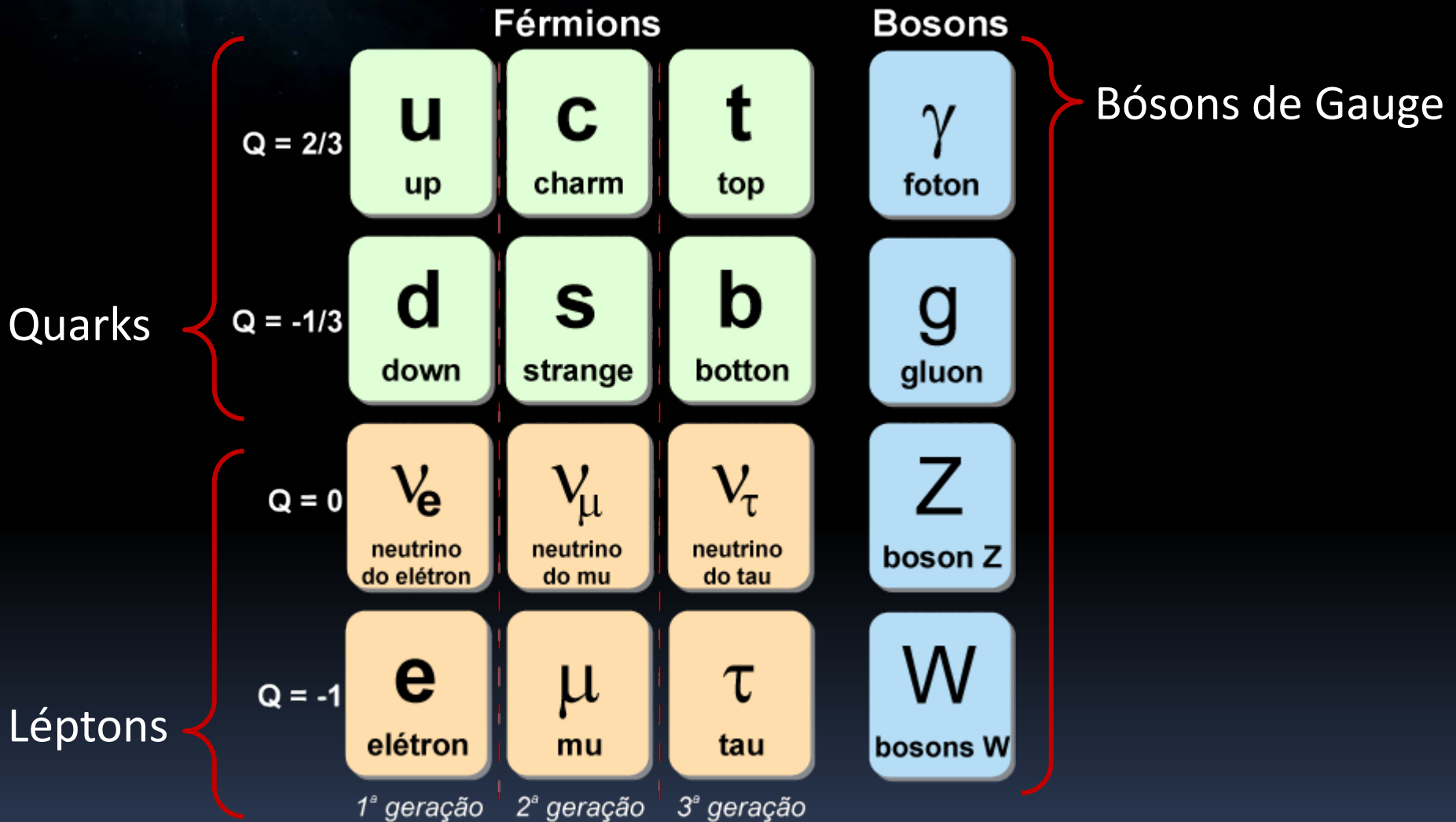




# O Modelo Padrão



# O Modelo Padrão



# O Modelo Padrão

**Isso é tudo então? Podemos ir para casa?**

Bem, vamos lembrar de um fato:



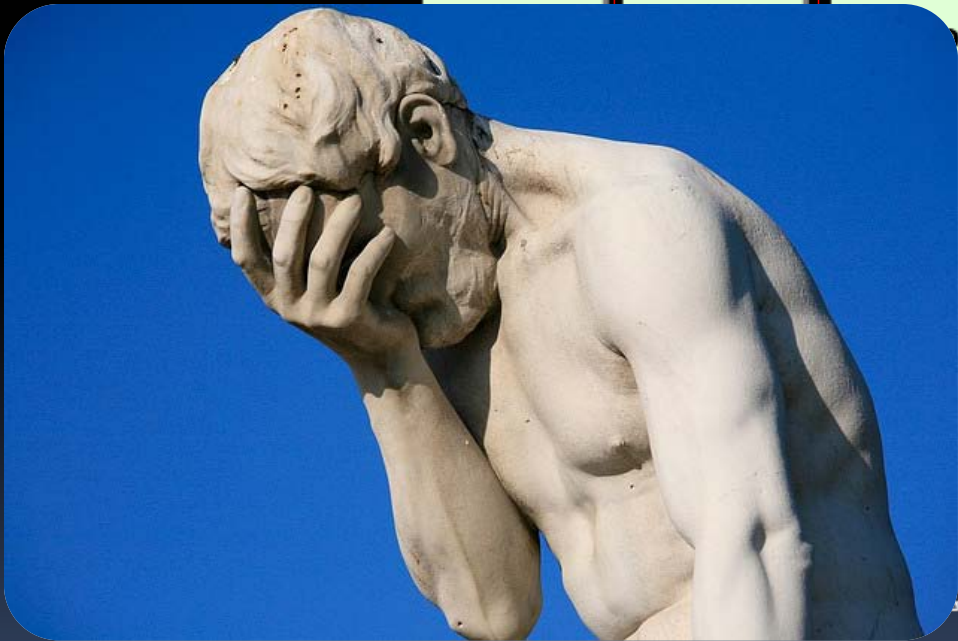
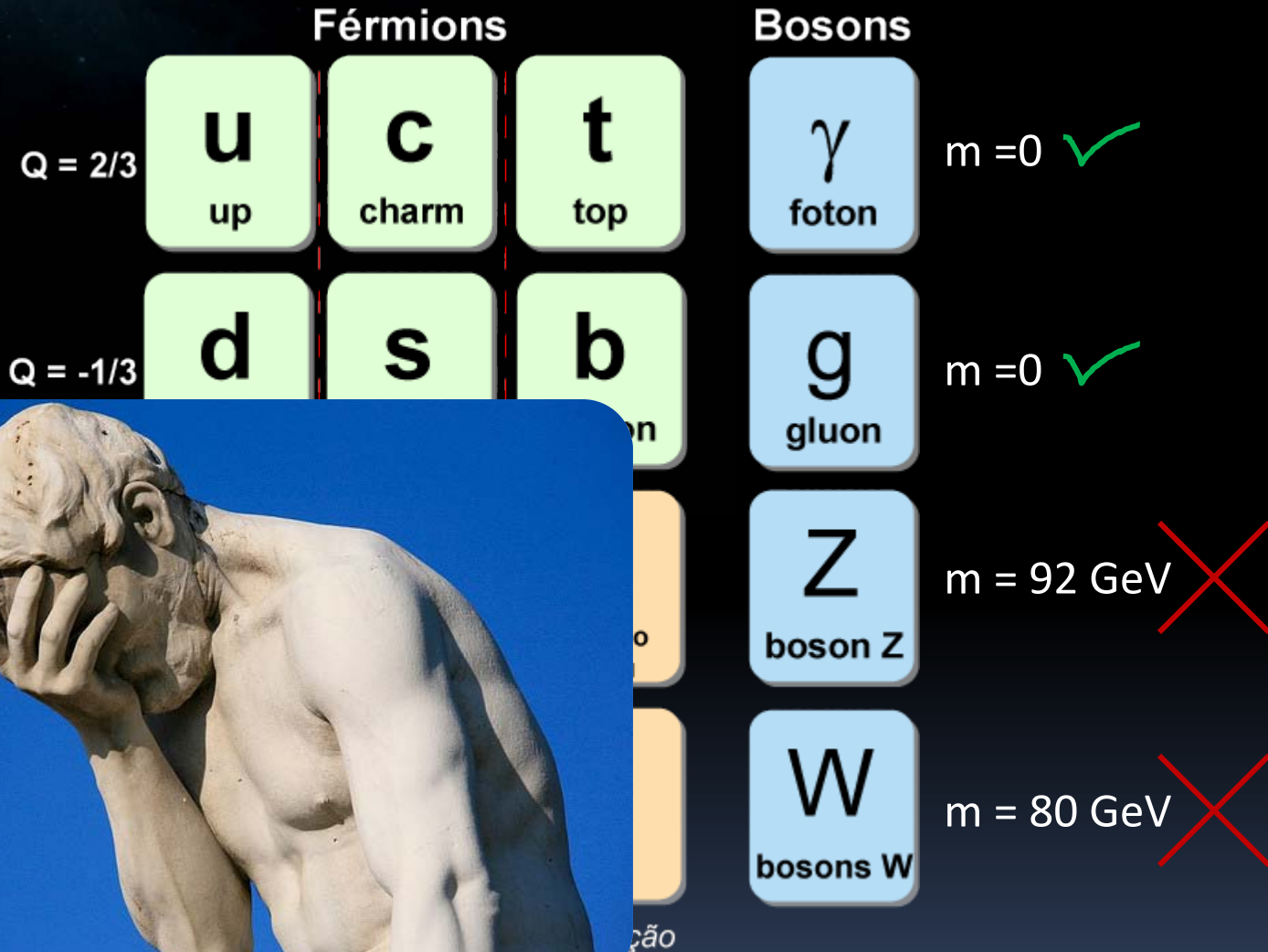
“Excitações do campo de interação (Bósons de Gauge) **NÃO TÊM MASSA**”

**... vamos dar uma olhada.**

# O Modelo Padrão

	Férmions			Bosons	
$Q = 2/3$	<b>u</b> up	<b>c</b> charm	<b>t</b> top	<b><math>\gamma</math></b> foton	$m = 0$ ✓
$Q = -1/3$	<b>d</b> down	<b>s</b> strange	<b>b</b> botton	<b>g</b> gluon	$m = 0$ ✓
$Q = 0$	<b><math>\nu_e</math></b> neutrino do elétron	<b><math>\nu_\mu</math></b> neutrino do mu	<b><math>\nu_\tau</math></b> neutrino do tau	<b>Z</b> boson Z	$m = 92 \text{ GeV}$ ✗
$Q = -1$	<b>e</b> elétron	<b><math>\mu</math></b> mu	<b><math>\tau</math></b> tau	<b>W</b> bosons W	$m = 80 \text{ GeV}$ ✗
	1ª geração	2ª geração	3ª geração		

# O Modelo Padrão



# O Modelo Padrão

**Isso é tudo então? Podemos ir para casa?**

Bem, vamos lembrar de um fato:



“Excitações do campo de interação (Bósons de Gauge) **NÃO TÊM MASSA**”

**Os bósons W e Z têm todas as propriedades previstas pela simetria  $SU(2)_L \times U(1)_Y$ , mas eles têm **MASSA****

# O Modelo Padrão

**Isso é tudo então? Podemos ir para casa?**

Bem, vamos lembrar de um fato:

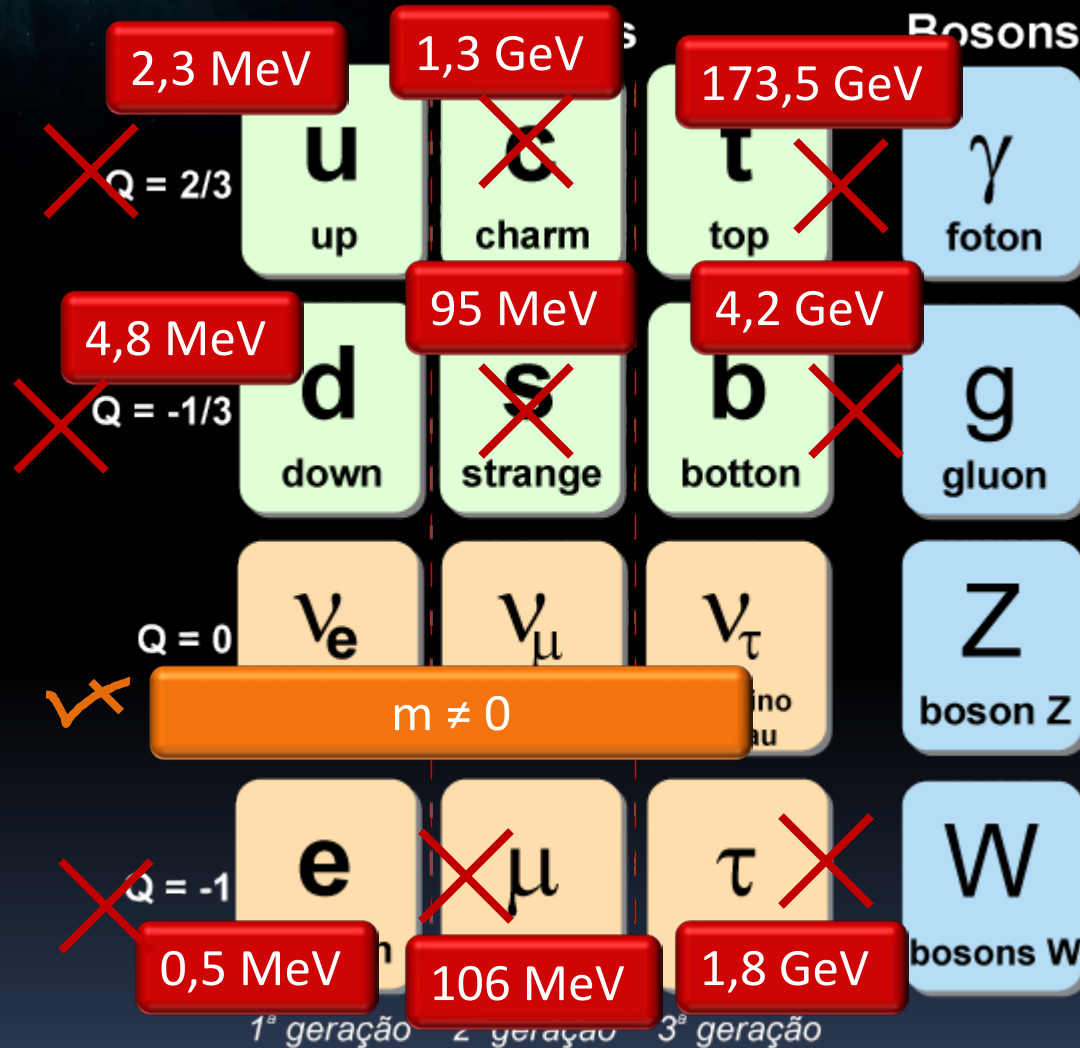


“Excitações do campo de interação (Bósons de Gauge) **NÃO TÊM MASSA**”

**Os bósons W e Z tem todas as propriedades previstas pela simetria  $SU(2)_L \times U(1)_Y$ , mas eles têm **MASSA****

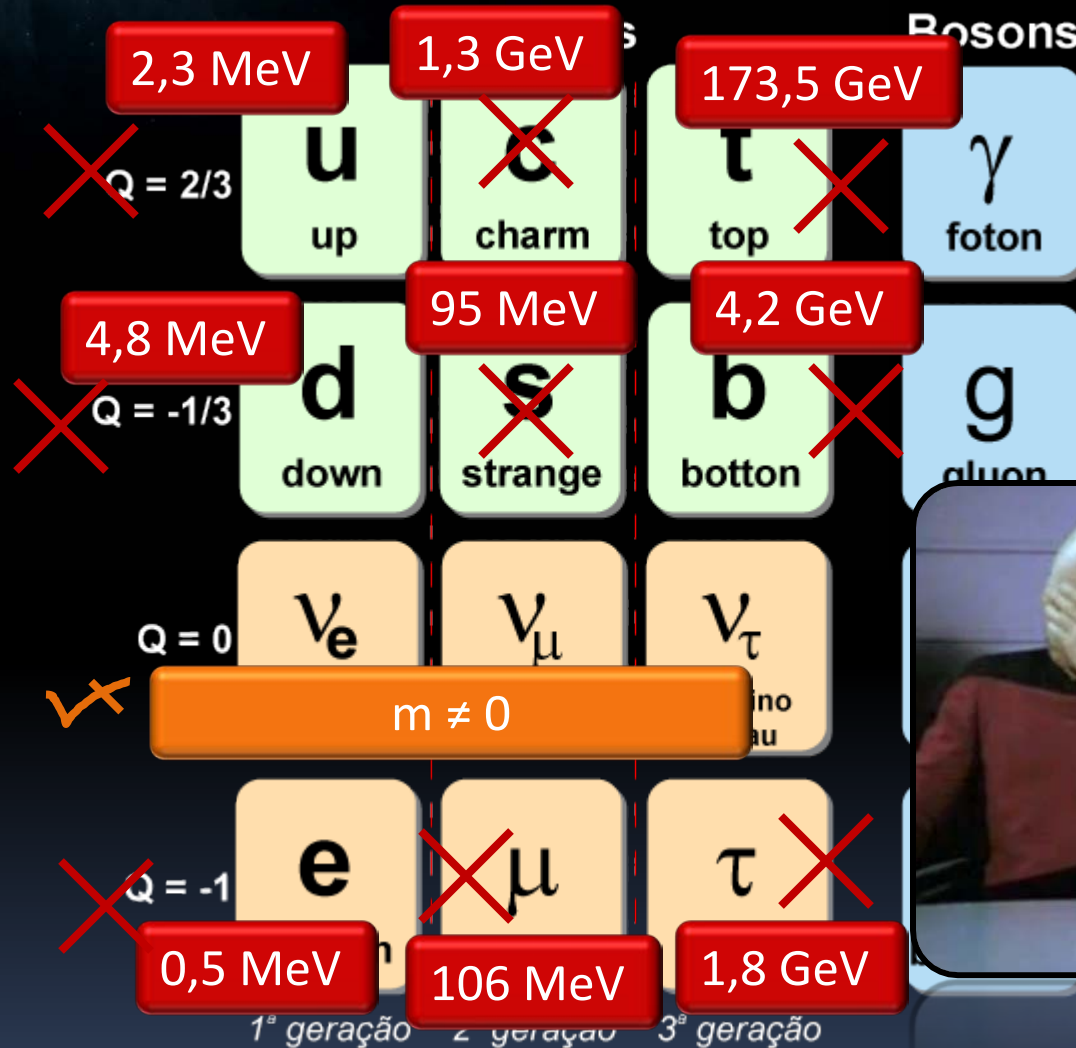
**E não é só isso:** a simetria  $SU(2)_L$  proíbe que os **férmions** tenham massa também! Vamos ver...

# O Modelo Padrão





# O Modelo Padrão



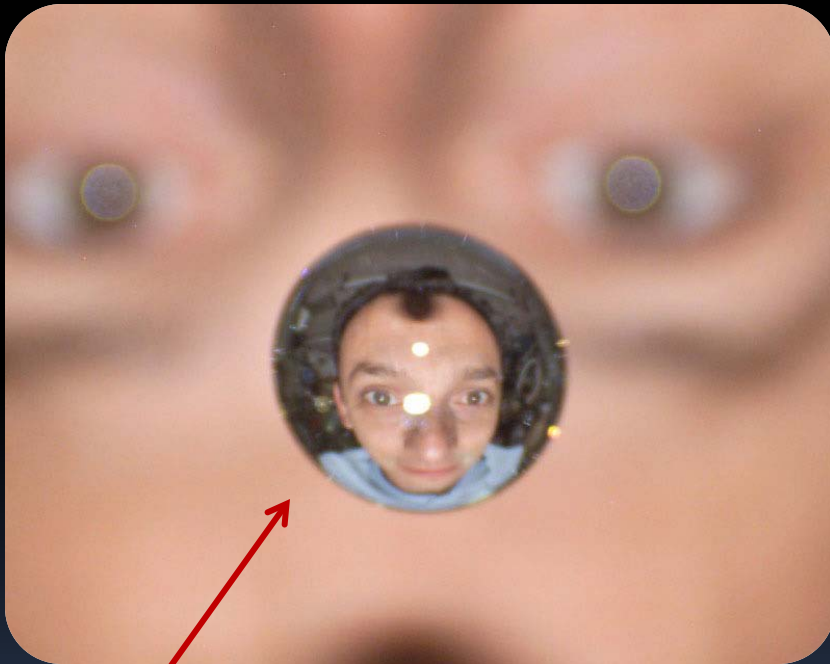
# O Bóson de Higgs (finalmente)

**Dilema:** As simetrias funcionam! **VS** Uma delas proíbe a massa!

# O Bóson de Higgs (finalmente)

**Dilema:** As simetrias funcionam! **VS** Uma delas proíbe a massa!

Quebra espontânea de simetria:

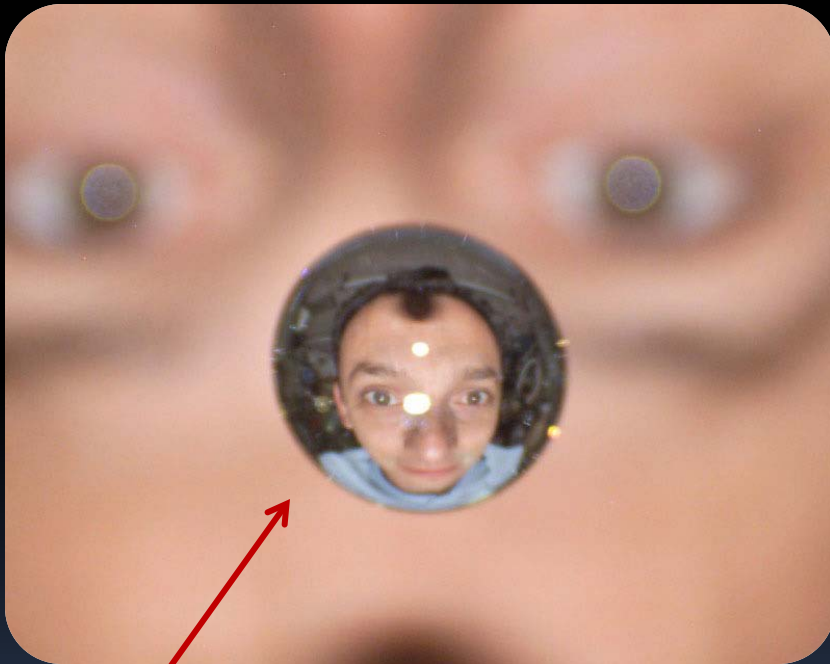


Gota de água (no espaço)

# O Bóson de Higgs (finalmente)

**Dilema:** As simetrias funcionam! **VS** Uma delas proíbe a massa!

Quebra espontânea de simetria:



Gota de água (no espaço)

Frio  
→  
(abaixo a  
energia do  
sistema)

Simetria rotacional “menor”



Mas de fato **PERDEMOS** a simetria?

# O Bóson de Higgs (finalmente)

**Dilema:** As simetrias funcionam! **VS** Uma delas proíbe a massa!

Mas de fato **PERDEMOS** a simetria?



Frio  
→  
(abaixo a  
energia do  
sistema)

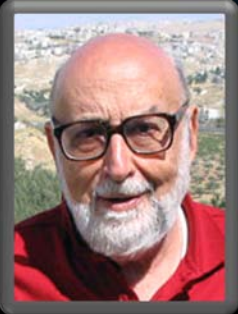
Todas possíveis e igualmente  
prováveis



**NÃO!** Ela apenas está se manifestando de uma forma mais sutil

# O Bóson de Higgs (finalmente)

Englert



Brout



Higgs



Guralnik



Hagen



Kibble



1964

Campo escalar:



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

Estado de menor energia (vácuo), não respeita a sim.

# O Bóson de Higgs (finalmente)

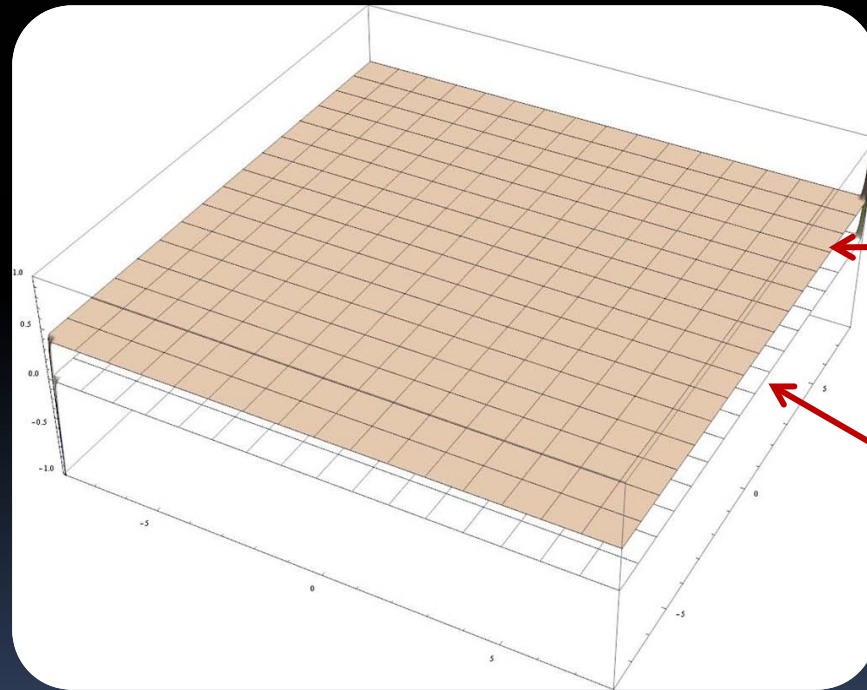
Campo escalar:



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

Estado de menor energia (vácuo), não respeita a sim.

**Efeito:** Valor esperado no vácuo (VEV)!



Nenhuma partícula aqui

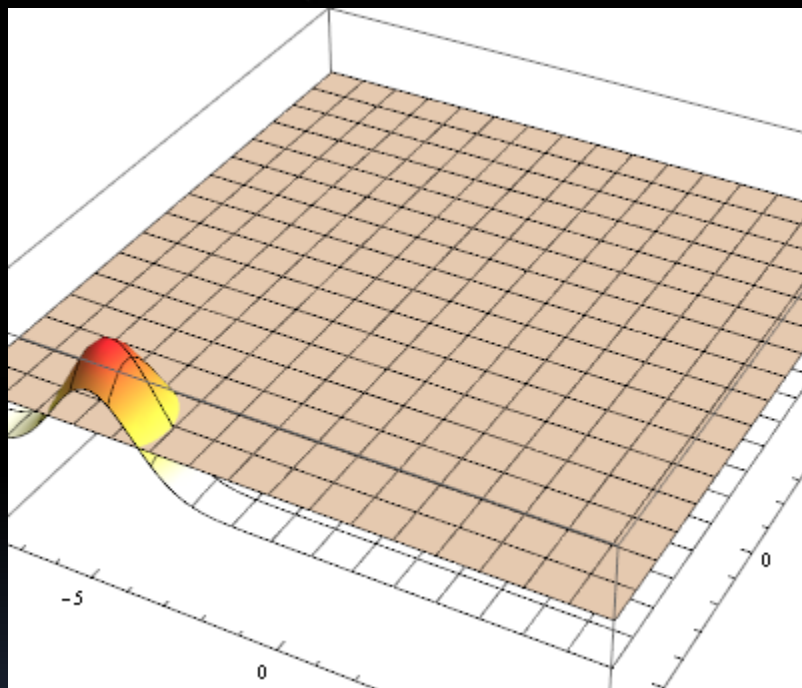
Vácuo do campo H  
(246 GeV)

Vácuo normal

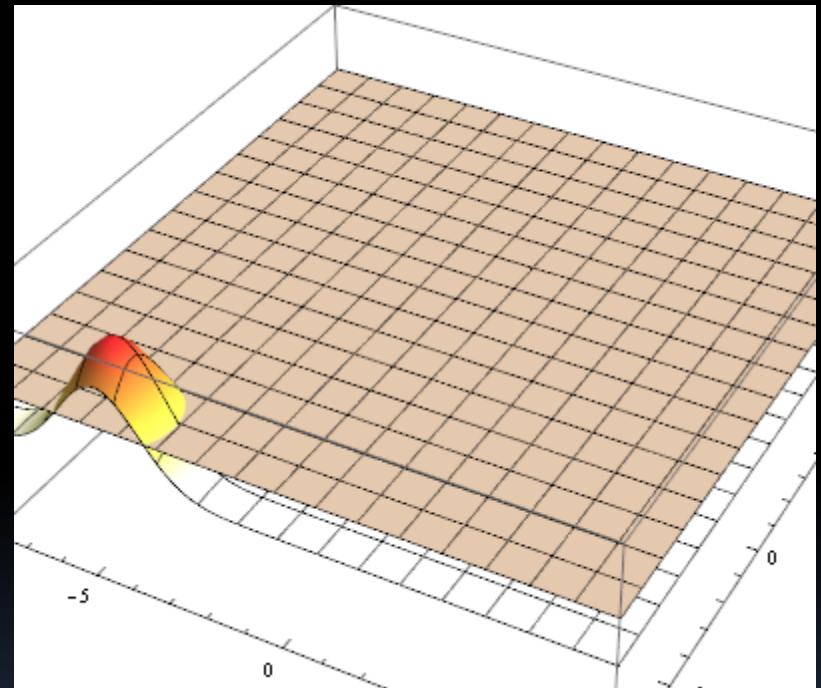
# O Bóson de Higgs (finalmente)

Qualquer campo que interaja com o campo H vai sentir este VEV

Não Interage



Interage Pouco



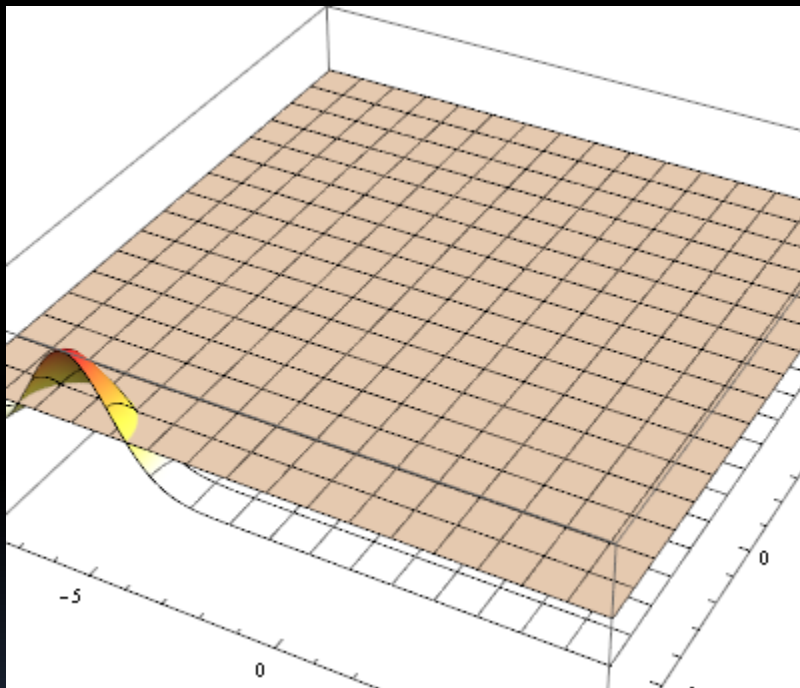
Mesmo que a excitação se mova na velocidade da luz, veremos ela efetivamente se deslocando mais devagar. Somente partículas com massa podem se deslocar em velocidade menor que a da luz.



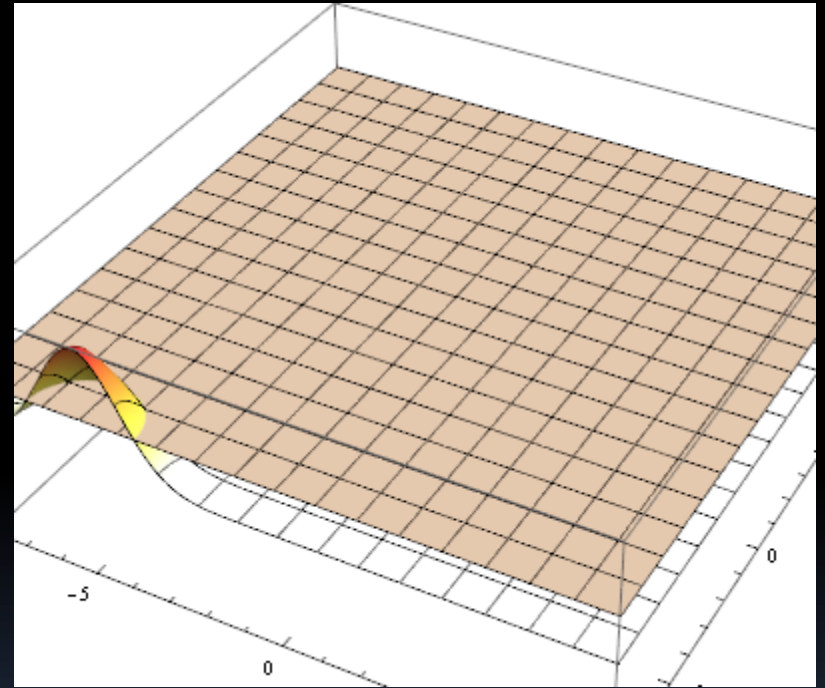
# O Bóson de Higgs (finalmente)

Qualquer campo que interaja com o campo H vai sentir este VEV

Interage Pouco



Interage Muito



Quanto maior a intensidade da interação, maior vai ser este efeito, mais difícil fica chegar perto da velocidade da luz. Isso equivale a aumentar a massa.

# O Bóson de Higgs (finalmente)

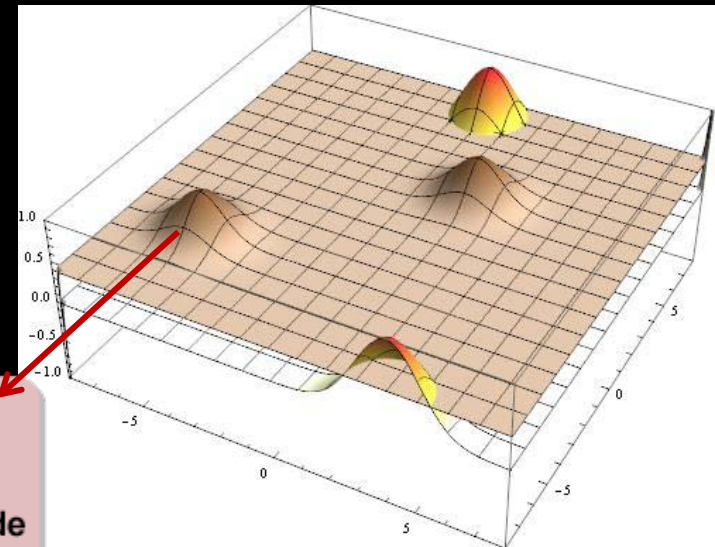
1968

Férmions

Bosons

	Férmions			Bosons
Q = 2/3	<b>u</b> up	<b>c</b> charm	<b>t</b> top	$\gamma$ foton
Q = -1/3	<b>d</b> down	<b>s</b> strange	<b>b</b> botton	<b>g</b> gluon
Q = 0	$\nu_e$ neutrino do elétron	$\nu_\mu$ neutrino do mu	$\nu_\tau$ neutrino do tau	<b>Z</b> boson Z
Q = -1	<b>e</b> elétron	$\mu$ mu	$\tau$ tau	<b>W</b> bosons W
	1ª geração	2ª geração	3ª geração	

**h**  
boson de Higgs



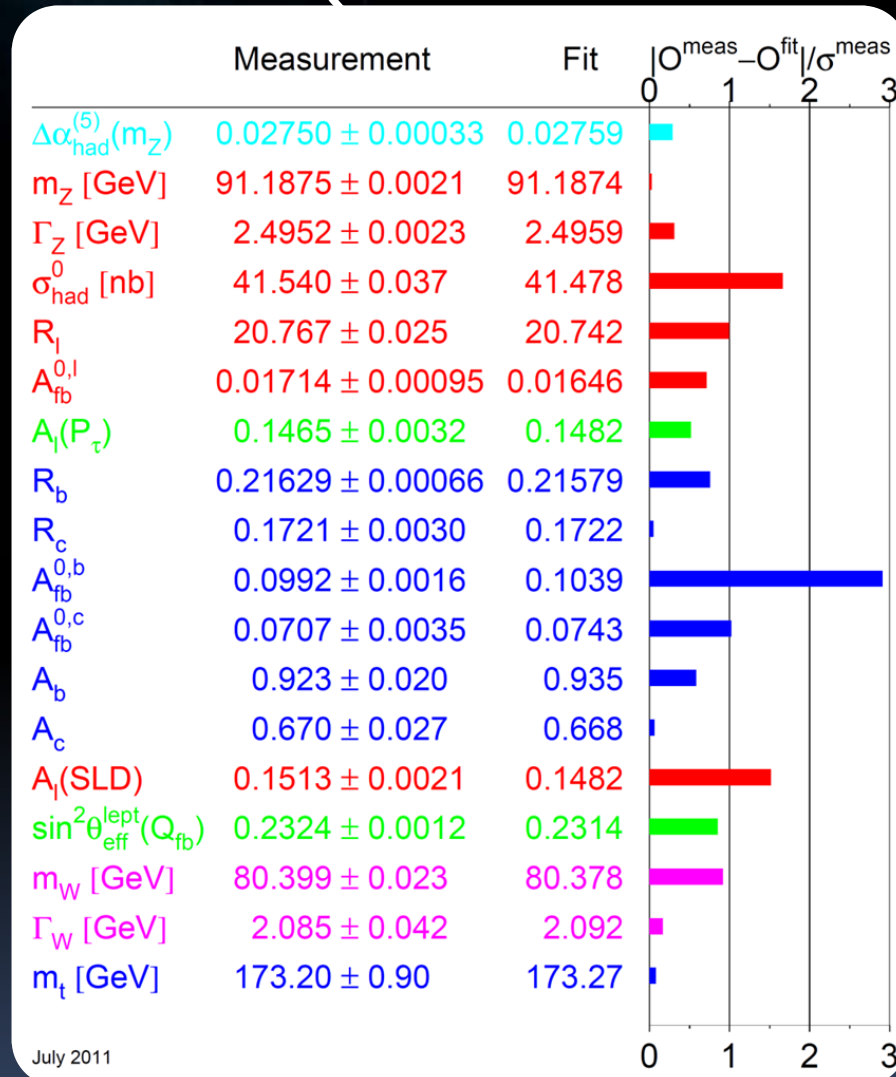
Dá massa para si próprio ( $m_h = ?$ )

A idéia é boa! (e resolve os problemas)

MAS... **É VERDADE?**

Leia-se: acontece na natureza?

# Testes do Modelo Padrão (antes de 2012)



LEP Electroweak Working Group,  
<http://lepewwg.web.cern.ch>

Sucesso!

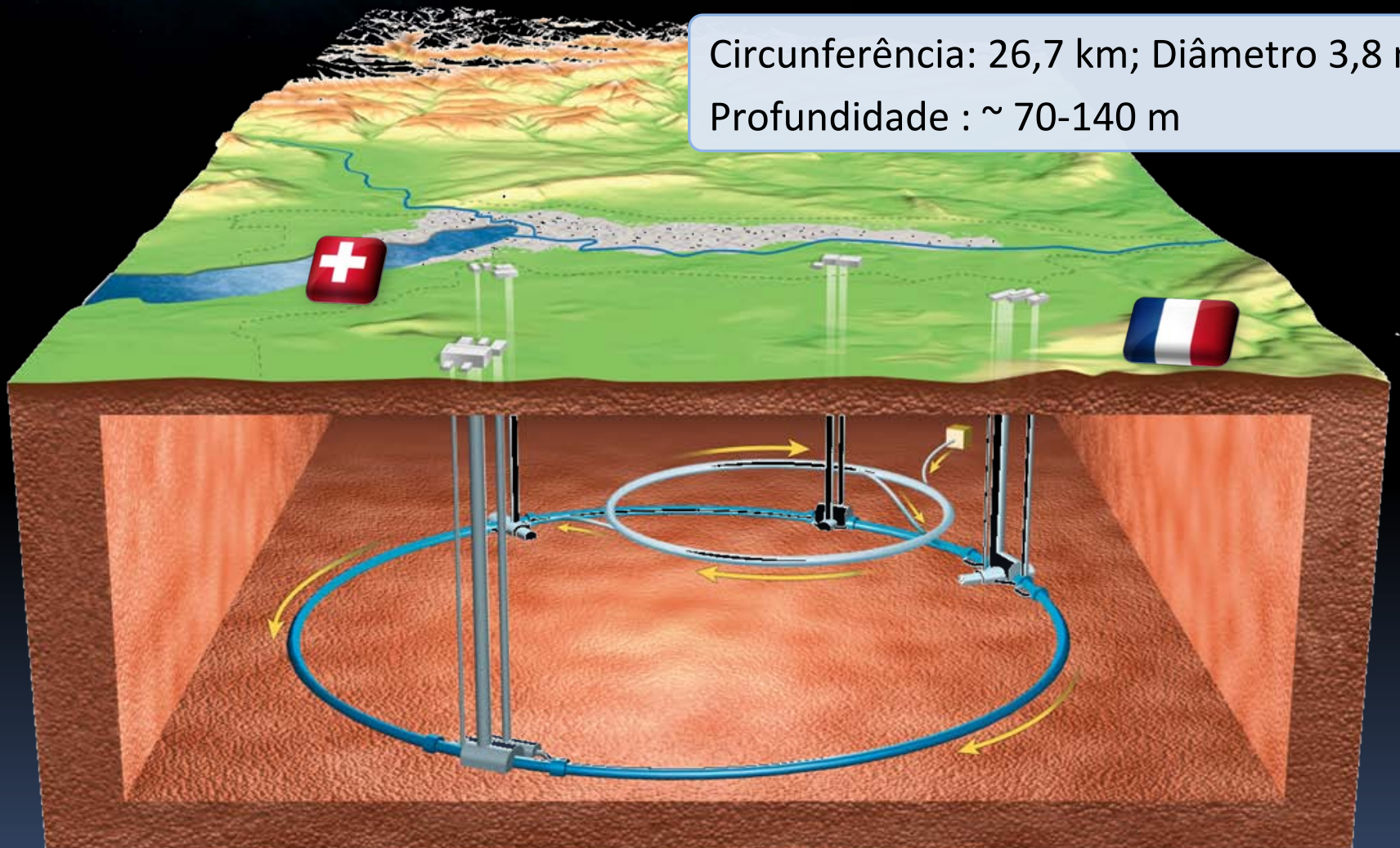
Só faltava achar o Higgs!

July 2011

# Procurando o Higgs

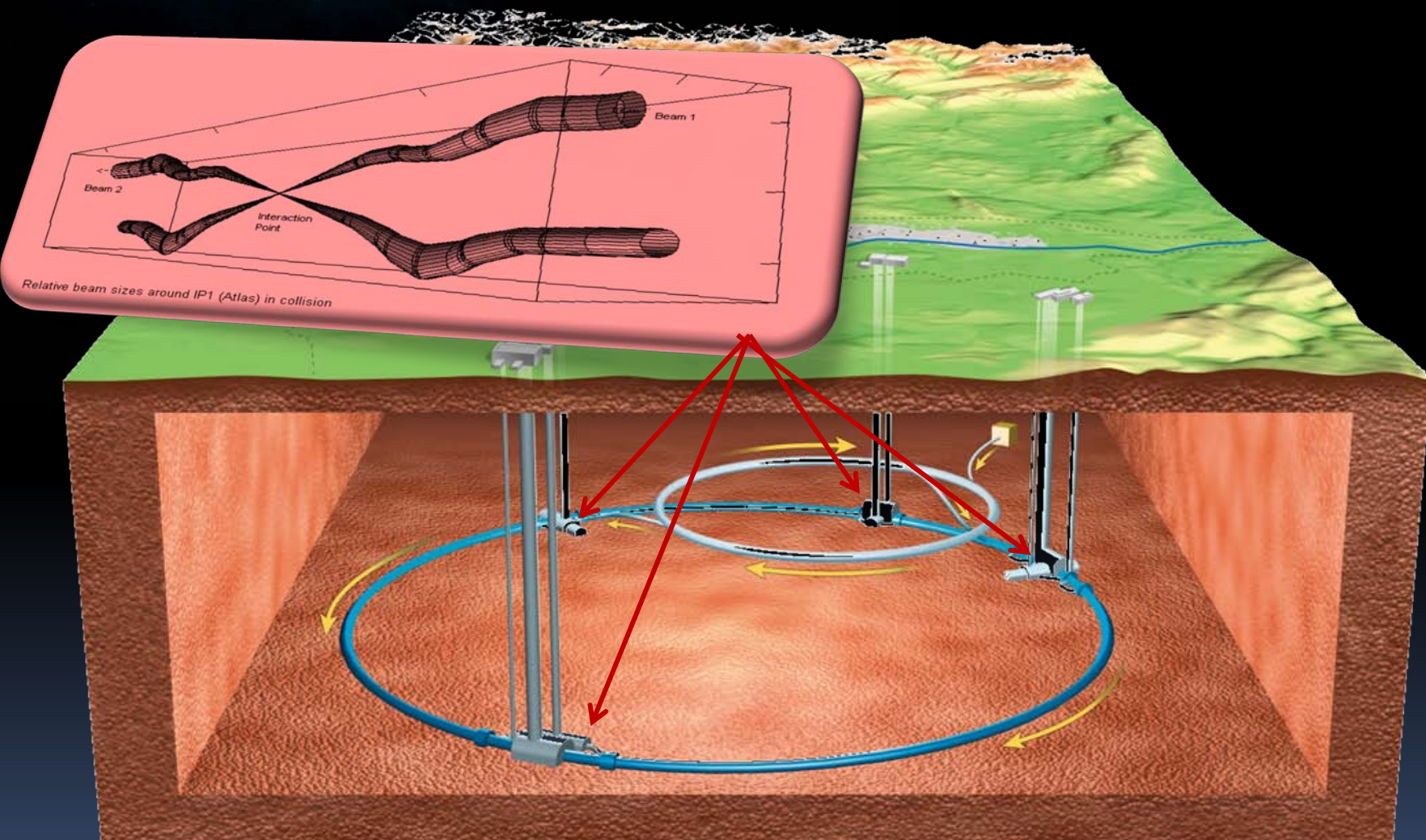
A maior máquina já construída pela humanidade: o LHC

Circunferência: 26,7 km; Diâmetro 3,8 m  
Profundidade : ~ 70-140 m



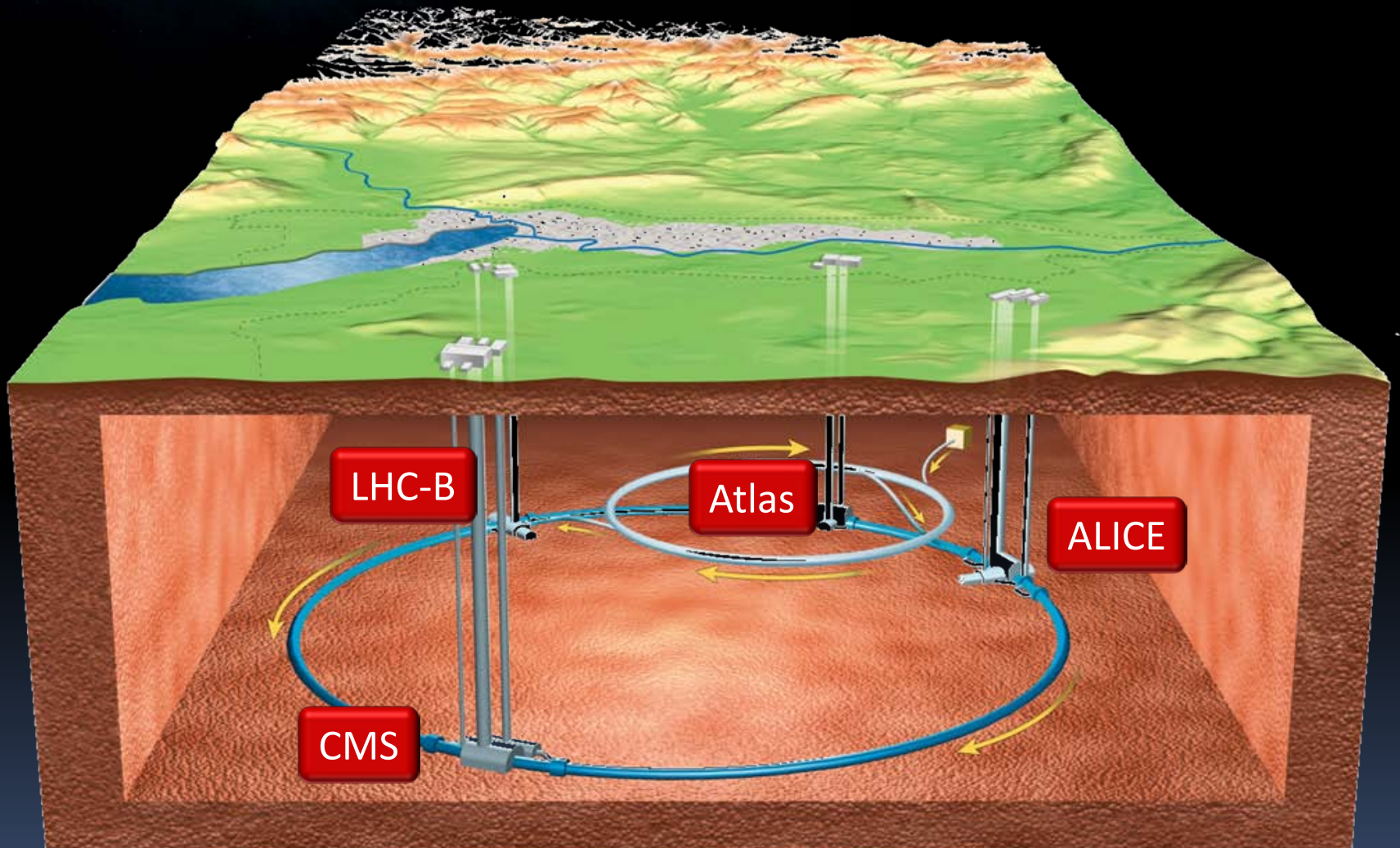
# Procurando o Higgs

A maior máquina já construída pela humanidade: o LHC



# Procurando o Higgs

A maior máquina já construída pela humanidade: o LHC

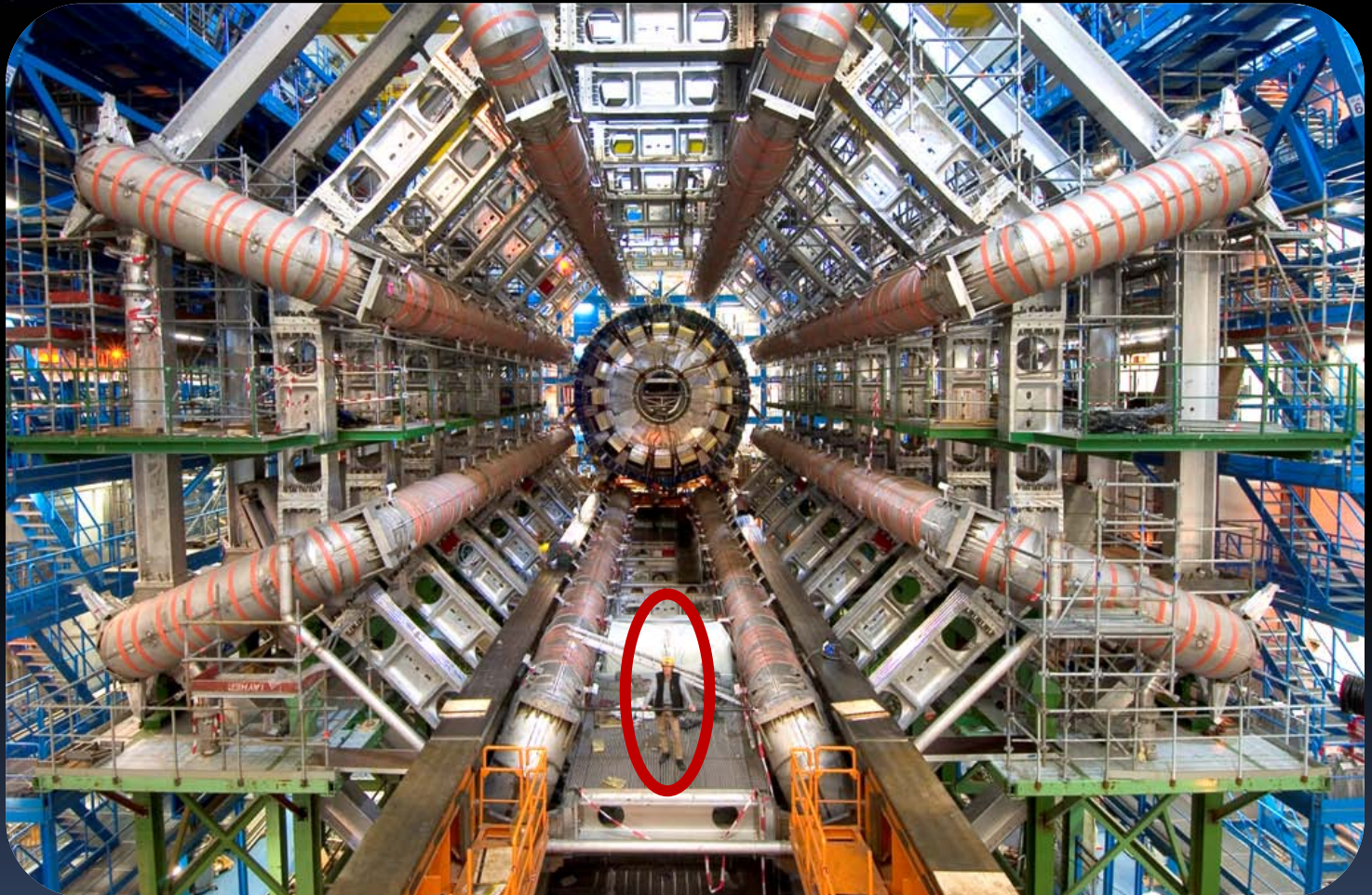


# Procurando o Higgs

A maior máquina já construída pela humanidade: o LHC

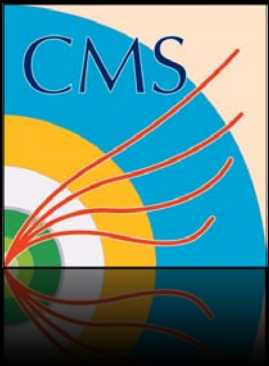


ATLAS



# Procurando o Higgs

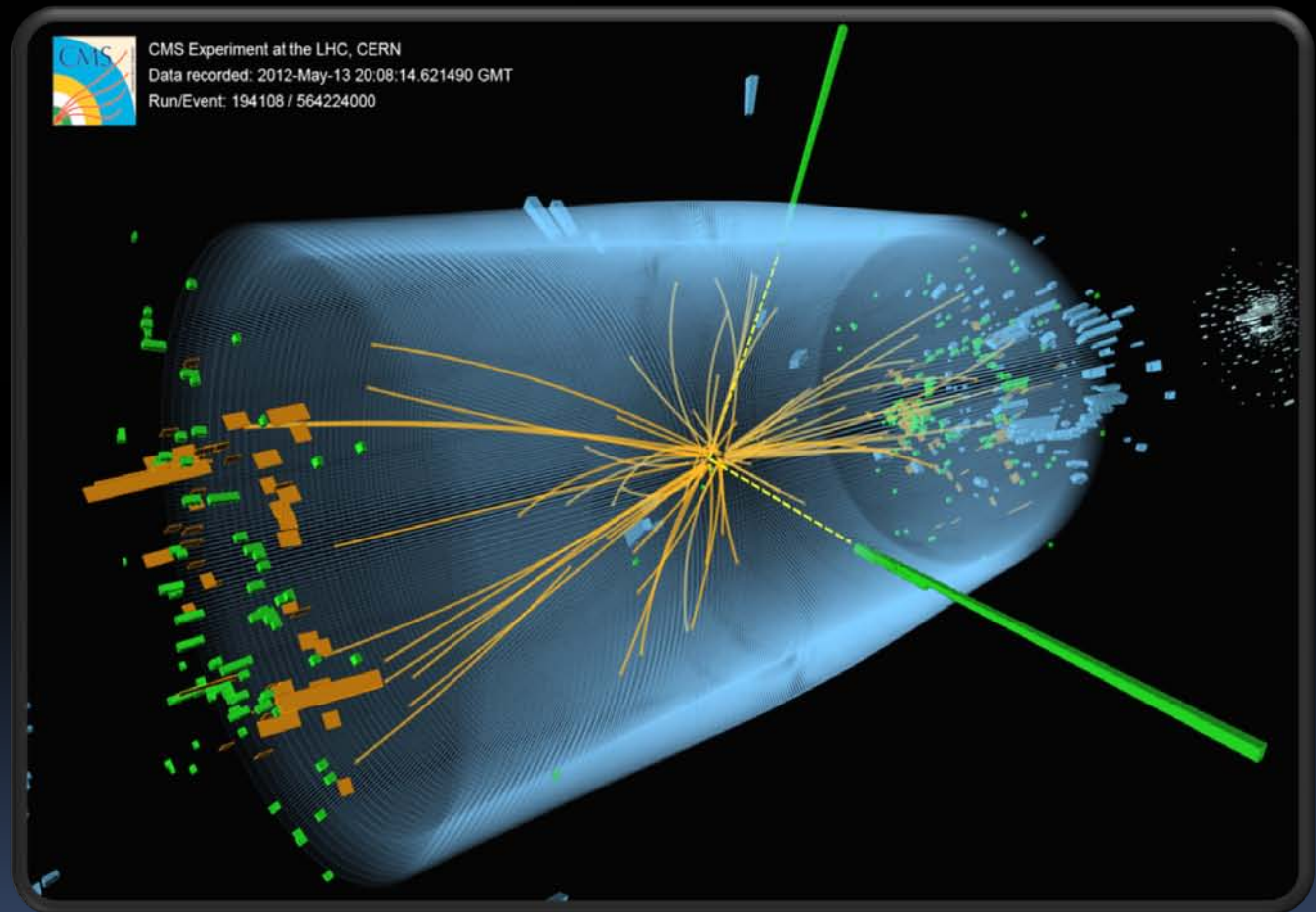
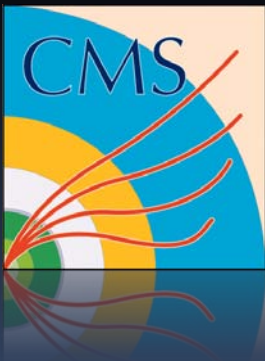
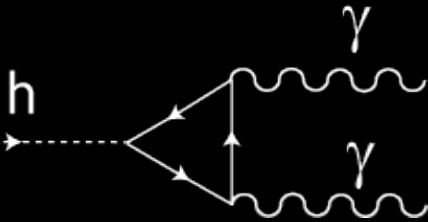
A maior máquina já construída pela humanidade: o LHC





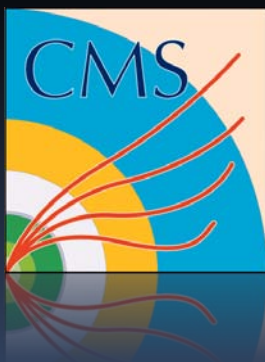
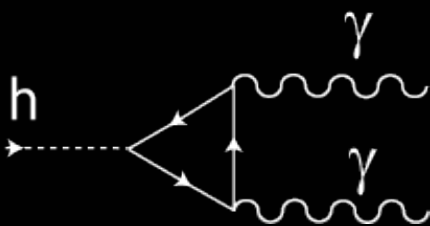
# Procurando o Higgs

Procuramos eventos como o abaixo:

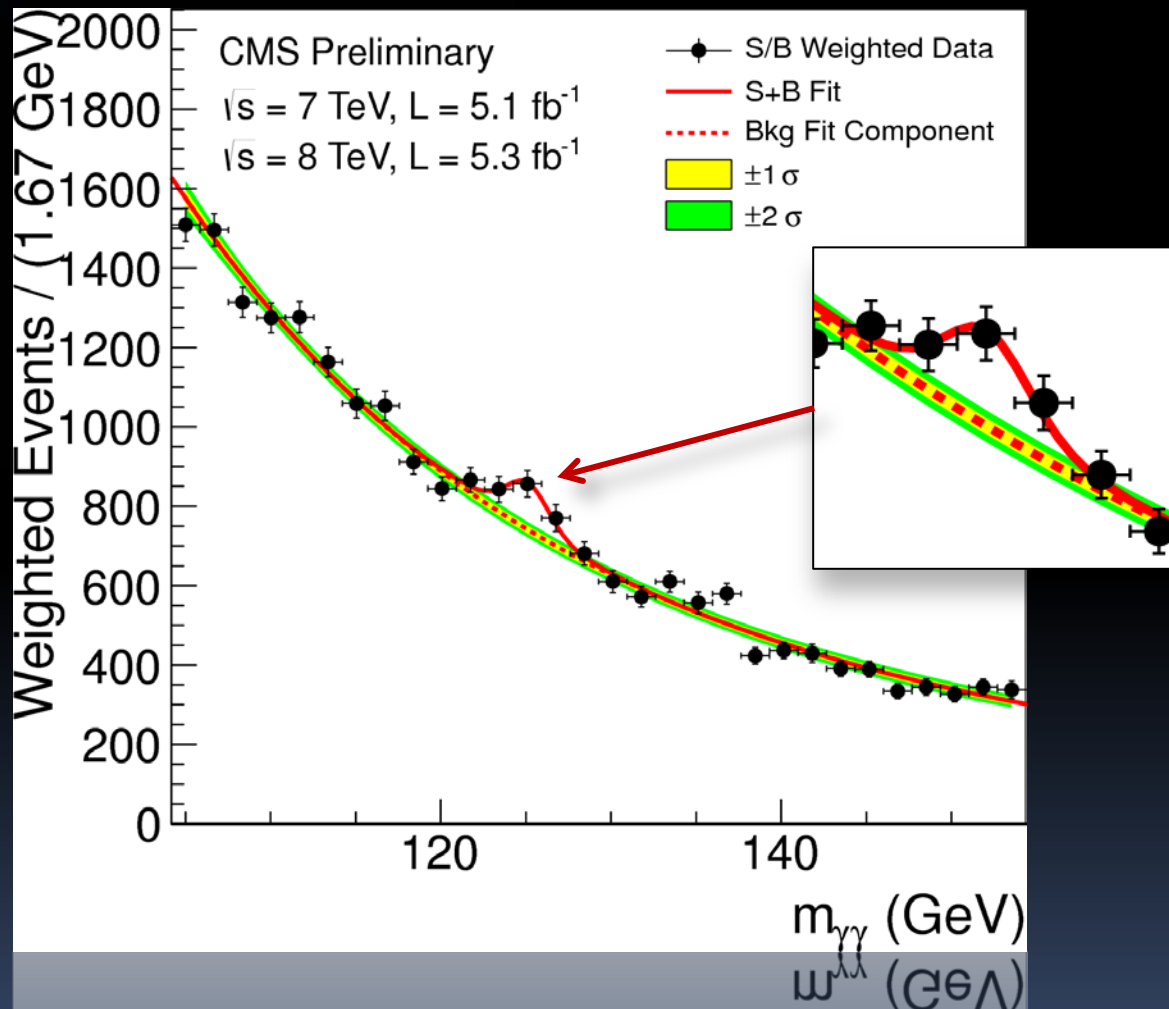


# Encontrando o Higgs

Primeiros sinais em Dez/2011, e finalmente em 4/Jul/2012:



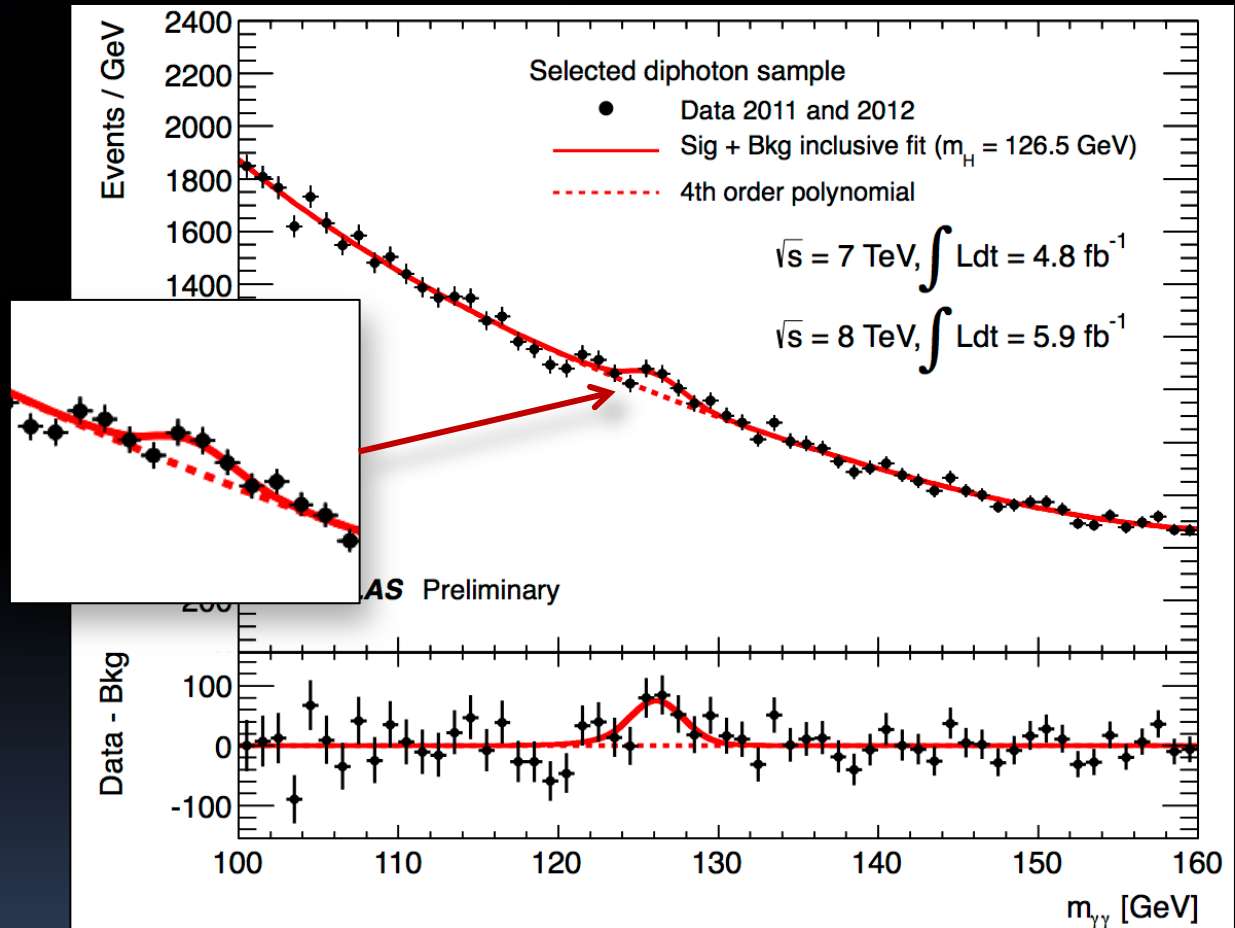
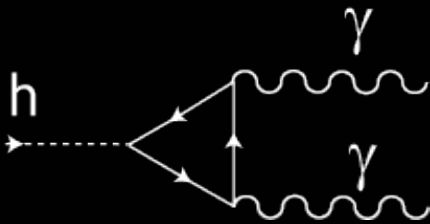
18/04/2013



O Bóson de Higgs - R.D.Matheus

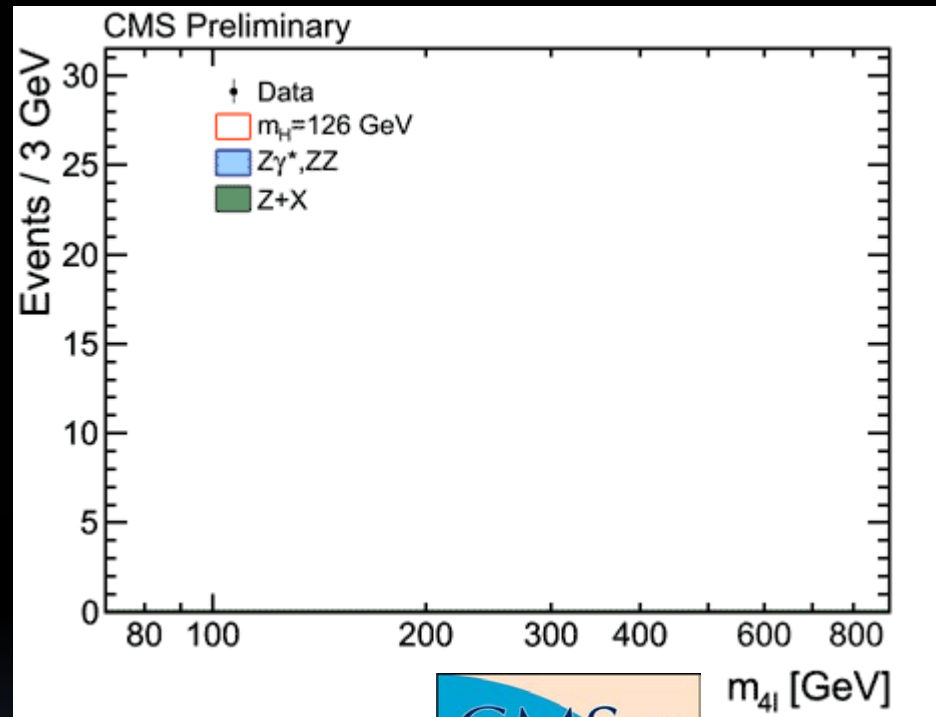
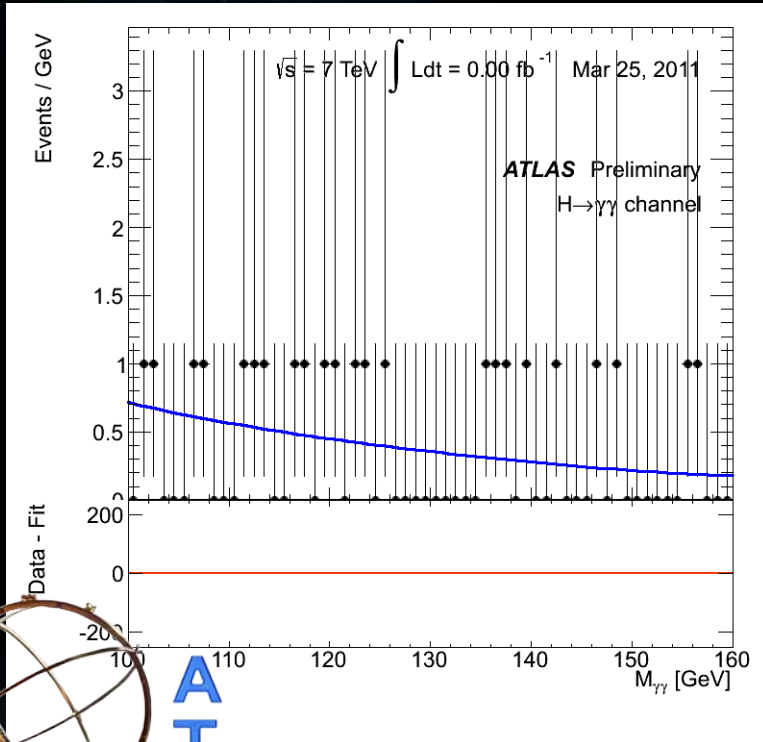
# Encontrando o Higgs

Primeiros sinais em Dez/2011, e finalmente em 4/Jul/2012:



# Encontrando o Higgs

CLIQUE NAS IMAGENS PARA VER A ANIMAÇÃO



# Propriedades do Higgs

Para ter certeza de que achamos exatamente o que estávamos procurando, precisamos testar se as propriedades batem com a previsão teórica:

- A massa não podia ser muito maior que algumas centenas de GeV

$m \sim 125 \text{ GeV}$  ✓

- Tem que interagir com o W e o Z, com a intensidade prevista ✓ ✓

- Tem que interagir com os férmions proporcionalmente a massa destes

t ✓  
(indireto)

$\tau$  ?

b ?

- Tem que ser escalar ✓  
(indireto)

# Propriedades do Higgs

$m_H = 125.0 \text{ GeV}$   
 $(H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4l) m_H = 125.8 \text{ GeV}$

**CMS preliminary**

**V H → bb** CMS HIG-12-044

$\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}, L = 4.9 \text{ fb}^{-1}$   
 $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}, L = 12.1 \text{ fb}^{-1}$

**H → ττ** CMS HIG-13-004

$\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}, L = 4.9 \text{ fb}^{-1}$   
 $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}, L = 19.4 \text{ fb}^{-1}$

**H → γγ** CMS HIG-13-001

$\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}, L = 5.1 \text{ fb}^{-1}$   
 $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}, L = 19.6 \text{ fb}^{-1}$

**H → ZZ<sup>(\*)</sup> → 4l** CMS HIG-13-002

$\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}, L = 5.1 \text{ fb}^{-1}$   
 $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}, L = 19.6 \text{ fb}^{-1}$

**H → WW<sup>(\*)</sup> → 2l2ν** CMS HIG-13-003

$\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}, L = 4.9 \text{ fb}^{-1}$   
 $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}, L = 19.5 \text{ fb}^{-1}$

Best Fit  $\sigma/\sigma_{SM} (\mu)$

**ATLAS Preliminary**

$m_H = 125.5 \text{ GeV}$

**W, Z H → bb**

$\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}: \int Ldt = 4.7 \text{ fb}^{-1}$   
 $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}: \int Ldt = 13 \text{ fb}^{-1}$

**H → ττ**

$\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}: \int Ldt = 4.6 \text{ fb}^{-1}$   
 $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}: \int Ldt = 13 \text{ fb}^{-1}$

**H → WW<sup>(\*)</sup> → lνlν**

$\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}: \int Ldt = 13 \text{ fb}^{-1}$

**H → γγ**

$\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}: \int Ldt = 4.8 \text{ fb}^{-1}$   
 $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}: \int Ldt = 20.7 \text{ fb}^{-1}$

**H → ZZ<sup>(\*)</sup> → 4l**

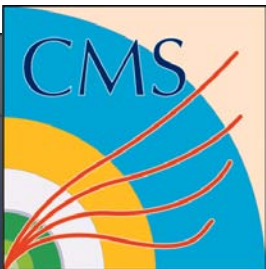
$\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}: \int Ldt = 4.6 \text{ fb}^{-1}$   
 $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}: \int Ldt = 20.7 \text{ fb}^{-1}$

**Combined**

$\mu = 1.43 \pm 0.21$

$\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}: \int Ldt = 4.6 - 4.8 \text{ fb}^{-1}$   
 $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}: \int Ldt = 13 - 20.7 \text{ fb}^{-1}$

Signal strength ( $\mu$ )



ATLAS

# E agora?

Parece que estamos caminhando para confirmar o Modelo Padrão mas (in-)felizmente ele não responde todas as nossas perguntas. Entre outras, podemos fazer as seguintes questões:

- Porque os diferentes férmions interagem com o Higgs com intensidades tão diferentes? (o elétron é 350.000 vezes mais leve que o quark top)
- Porque o próprio Higgs tem a massa que tem? (uma das previsões da teoria é que ele deveria receber contribuições quânticas enormes)

Responder estas perguntas pode nos levar para além do Modelo Padrão

# E agora?

## The Scale of the Universe 2



Use the scroll bar  
to zoom in and out.



Click on objects  
to learn more.

By Cary Huang

Technical support by Michael Huang

Copyright © 2012 Cary and Michael Huang (<http://htwins.net>)

Music - "Frozen Star" by Kevin MacLeod (<http://incompetech.com>)

Start





Obrigado pela Atenção!