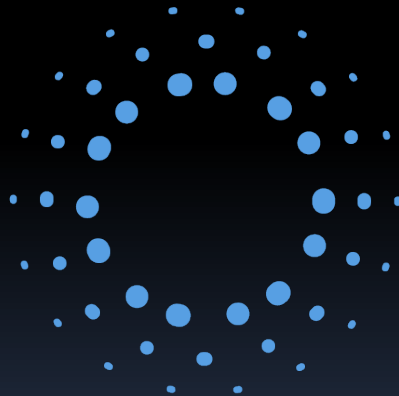


Papos de Física

$$|\Psi\rangle = |\text{copa cheia}\rangle + |\text{copa vazia}\rangle$$

As Partículas Elementares e seus Segredos

Ricardo D'Elia Matheus



ICTP
SAIFR

International Centre
for Theoretical Physics
South American Institute
for Fundamental Research

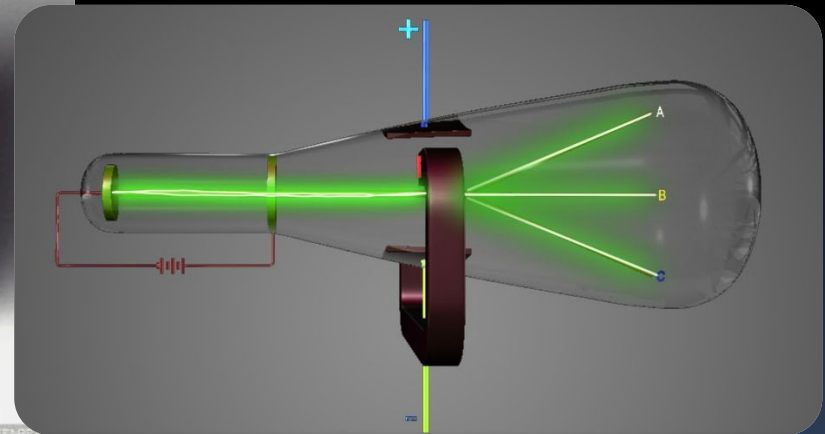
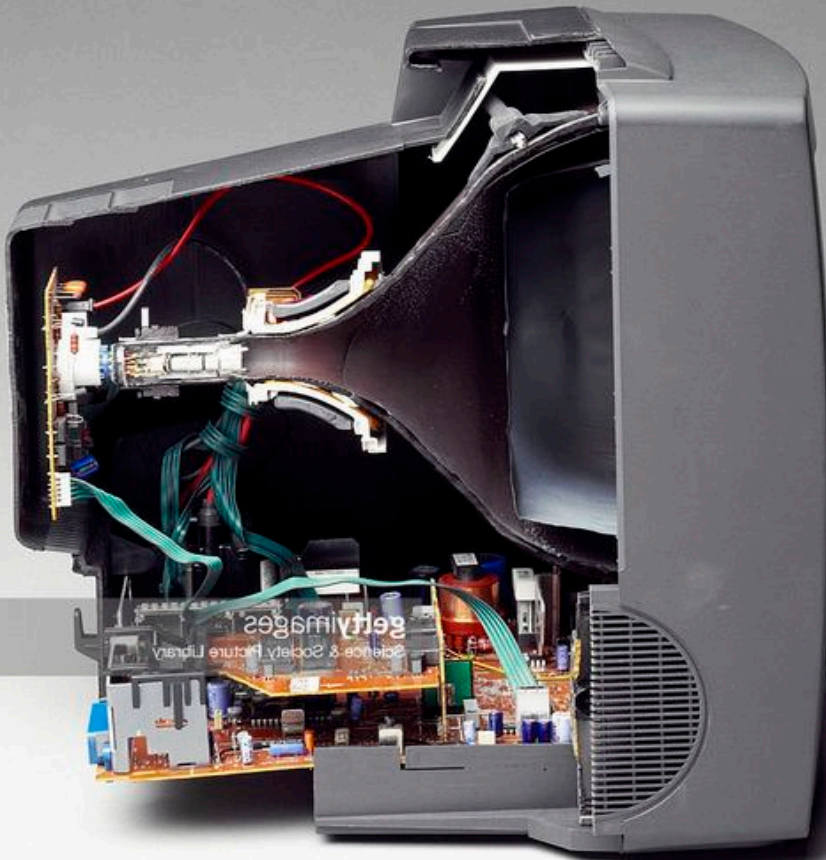
IFT - UNESP

INSTITUTO DE FÍSICA TEÓRICA

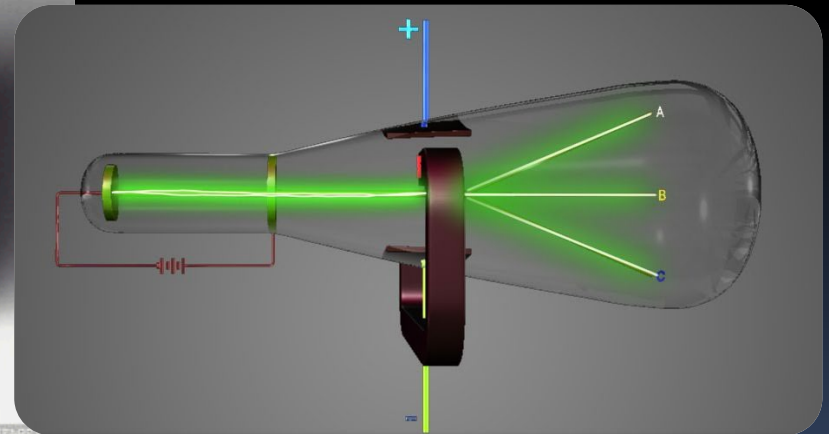
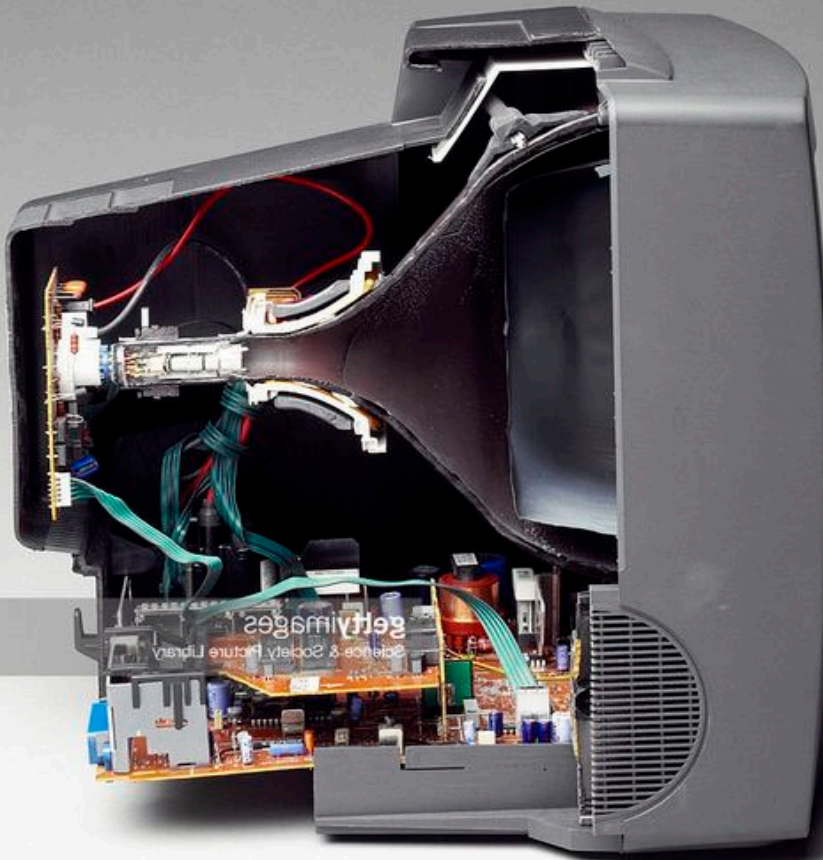
Nós quebramos coisas!



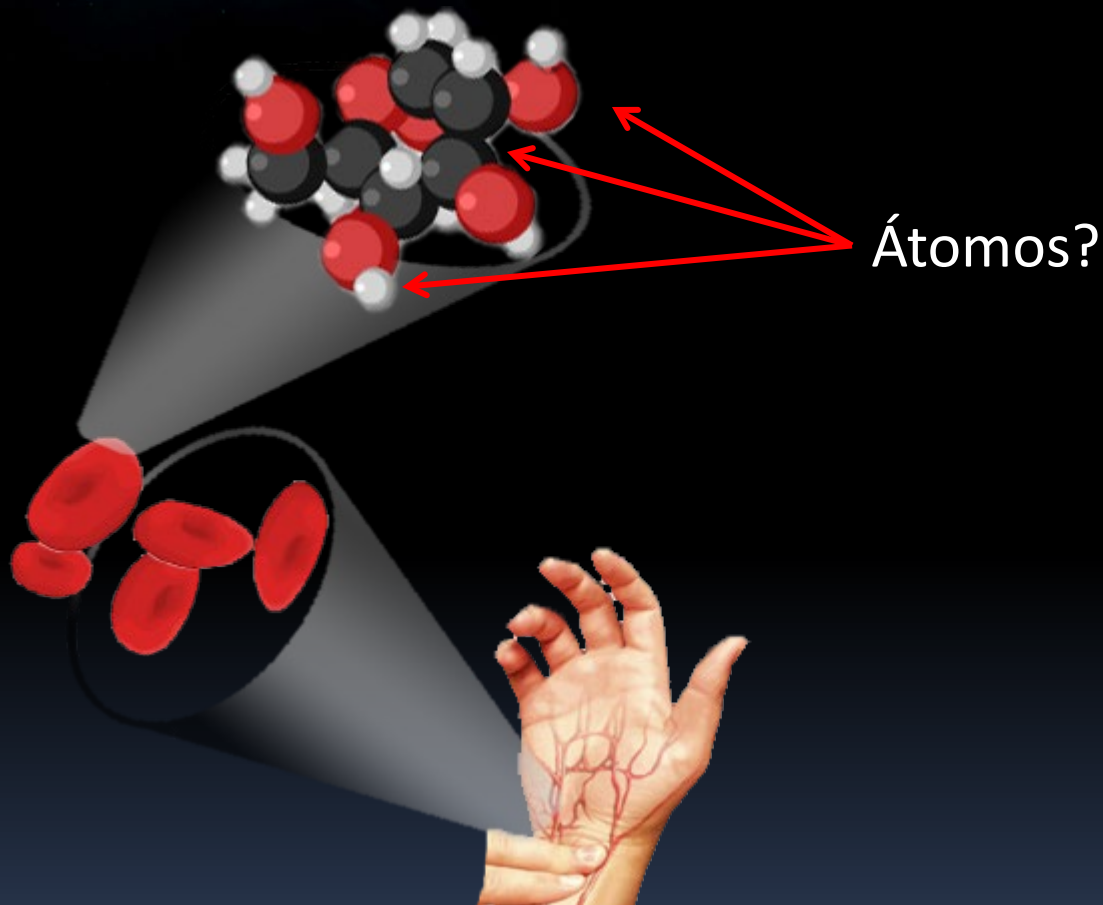
Nós quebramos coisas!



Nós quebramos coisas!



Mas: qual é a curiosidade mesmo?



Uma tabela para os “Átomos”

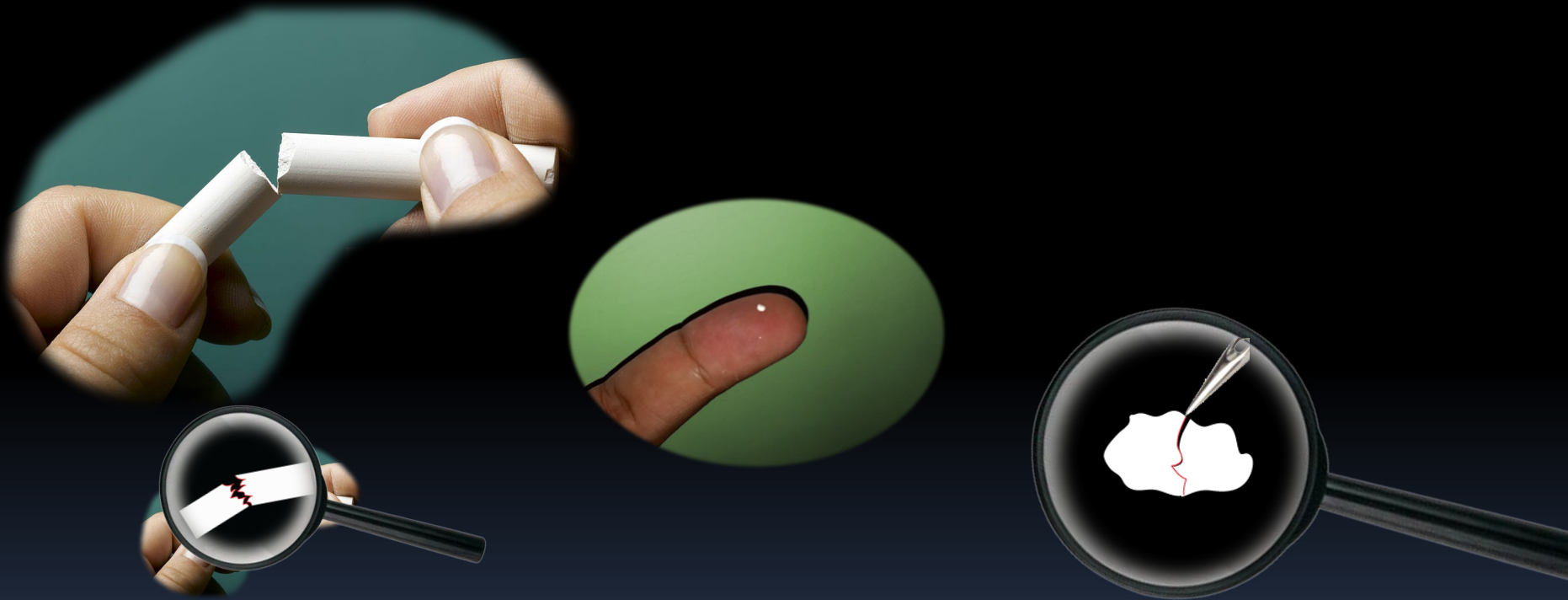
Periodic Table of the Elements																	
1 H Hydrogen 1.01																	2 He Helium 4.00
3 Li Lithium 6.94	4 Be Beryllium 9.01											5 B Boron 10.81	6 C Carbon 12.01	7 N Nitrogen 14.01	8 O Oxygen 16.00	9 F Fluorine 19.00	10 Ne Neon 20.18
11 Na Sodium 22.99	12 Mg Magnesium 24.31											13 Al Aluminum 26.98	14 Si Silicon 28.09	15 P Phosphorus 30.97	16 S Sulfur 32.06	17 Cl Chlorine 35.45	18 Ar Argon 39.95
19 K Potassium 39.10	20 Ca Calcium 40.08	21 Sc Scandium 44.96	22 Ti Titanium 47.88	23 V Vanadium 50.94	24 Cr Chromium 51.99	25 Mn Manganese 54.94	26 Fe Iron 55.93	27 Co Cobalt 58.93	28 Ni Nickel 58.69	29 Cu Copper 63.55	30 Zn Zinc 65.39	31 Ga Gallium 69.73	32 Ge Germanium 72.61	33 As Arsenic 74.92	34 Se Selenium 78.09	35 Br Bromine 79.90	36 Kr Krypton 84.80
37 Rb Rubidium 84.49	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.91	40 Zr Zirconium 91.22	41 Nb Niobium 92.91	42 Mo Molybdenum 95.94	43 Tc Technetium 98.91	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.91	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Silver 107.87	48 Cd Cadmium 112.41	49 In Indium 114.82	50 Sn Tin 118.71	51 Sb Antimony 121.76	52 Te Tellurium 127.6	53 I Iodine 126.90	54 Xe Xenon 131.29
55 Cs Cesium 132.91	56 Ba Barium 137.33	57-71 Lanthanides	72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.95	74 W Tungsten 183.85	75 Re Rhenium 186.21	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.22	78 Pt Platinum 195.08	79 Au Gold 196.97	80 Hg Mercury 200.59	81 Tl Thallium 204.38	82 Pb Lead 207.20	83 Bi Bismuth 208.98	84 Po Polonium [208.98]	85 At Astatine 209.98	86 Rn Radon 222.02
87 Fr Francium 223.02	88 Ra Radium 226.03	89-103 Actinides	104 Rf Rutherfordium [261]	105 Db Dubnium [262]	106 Sg Seaborgium [266]	107 Bh Bohrium [264]	108 Hs Hassium [269]	109 Mt Meitnerium [268]	110 Ds Darmstadtium [269]	111 Rg Roentgenium [272]	112 Cn Copernicium [277]	113 Uut Ununtrium unknown	114 Fl Flerovium [289]	115 Uup Ununpentium unknown	116 Lv Livermorium [298]	117 Uus Ununseptium unknown	118 Uuo Ununoctium unknown
57 La Lanthanum 138.91	58 Ce Cerium 140.12	59 Pr Praseodymium 140.91	60 Nd Neodymium 144.24	61 Pm Promethium 144.91	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.97	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.93	66 Dy Dysprosium 162.50	67 Ho Holmium 164.93	68 Er Erbium 167.26	69 Tm Thulium 168.93	70 Yb Ytterbium 173.04	71 Lu Lutetium 174.97			
89 Ac Actinium 227.03	90 Th Thorium 232.04	91 Pa Protactinium 231.04	92 U Uranium 238.03	93 Np Neptunium 237.05	94 Pu Plutonium 244.06	95 Am Americium 243.06	96 Cm Curium 247.07	97 Bk Berkelium 247.07	98 Cf Californium 251.08	99 Es Einsteinium [254]	100 Fm Fermium 257.10	101 Md Mendelevium 258.10	102 No Nobelium 259.10	103 Lr Lawrencium [262]			
Alkali Metal	Alkaline Earth	Transition Metal	Basic Metal	Semimetal	Nonmetal	Halogen	Noble Gas	Lanthanide	Actinide								

©2011
Todd Helmen
science

R.D. Matheus

Como “olhamos” coisas tão pequenas?

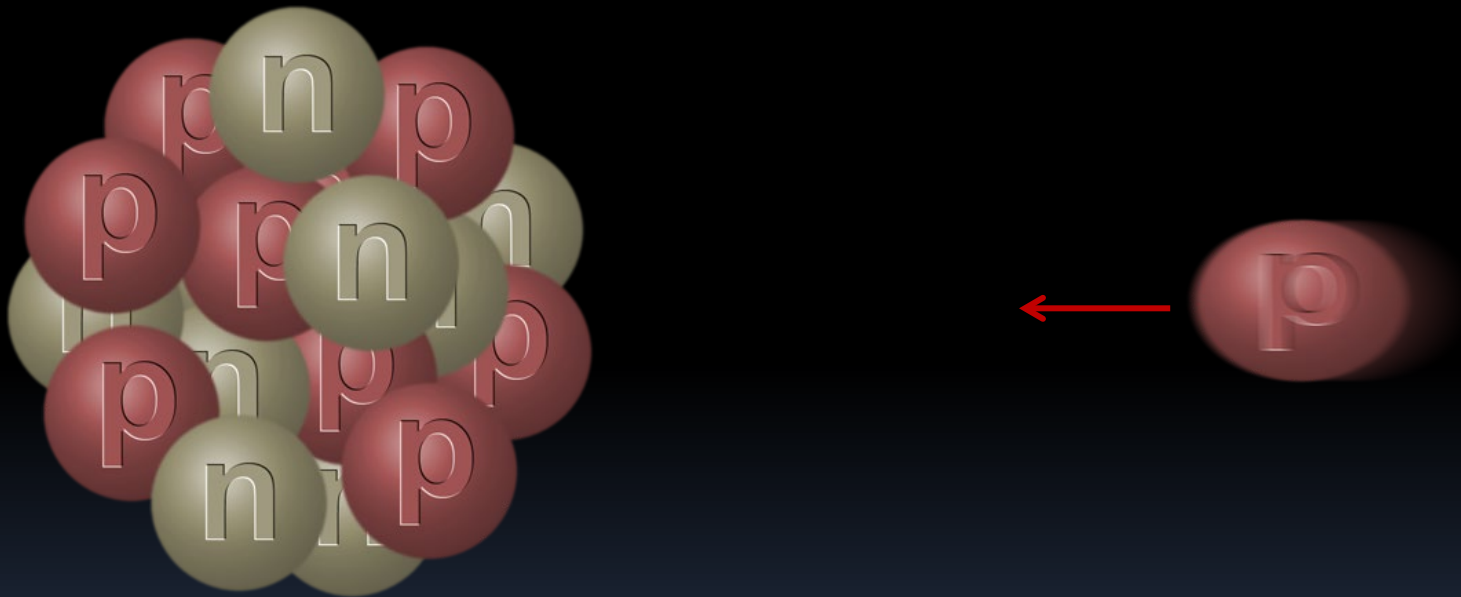
Vamos botando para quebrar:



Precisamos colocar **muita energia** em um volume **muito pequeno**!

Acelerando partículas!

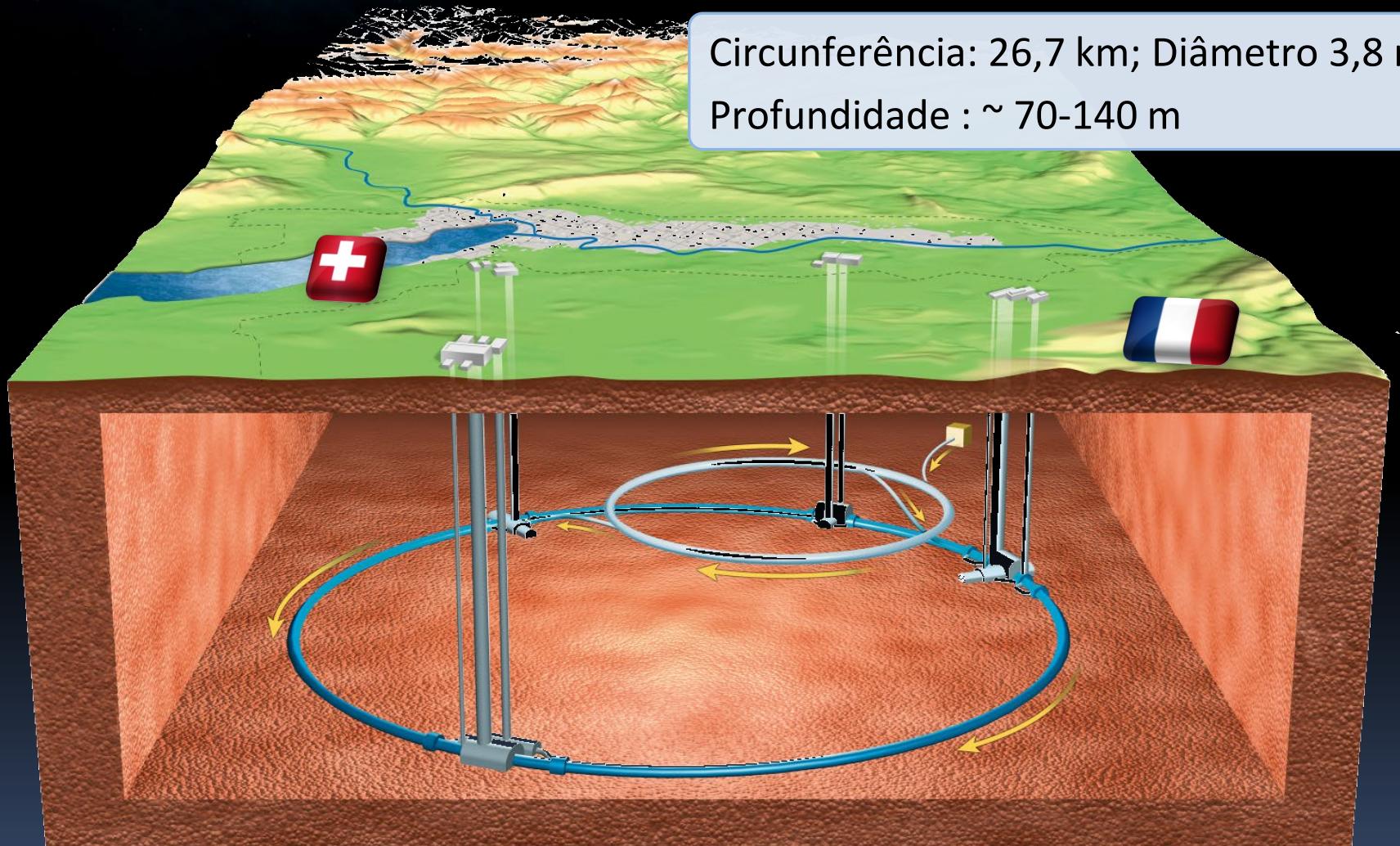
Podemos usar como a “ponta da nossa agulha” uma partícula:



E como acelerar?

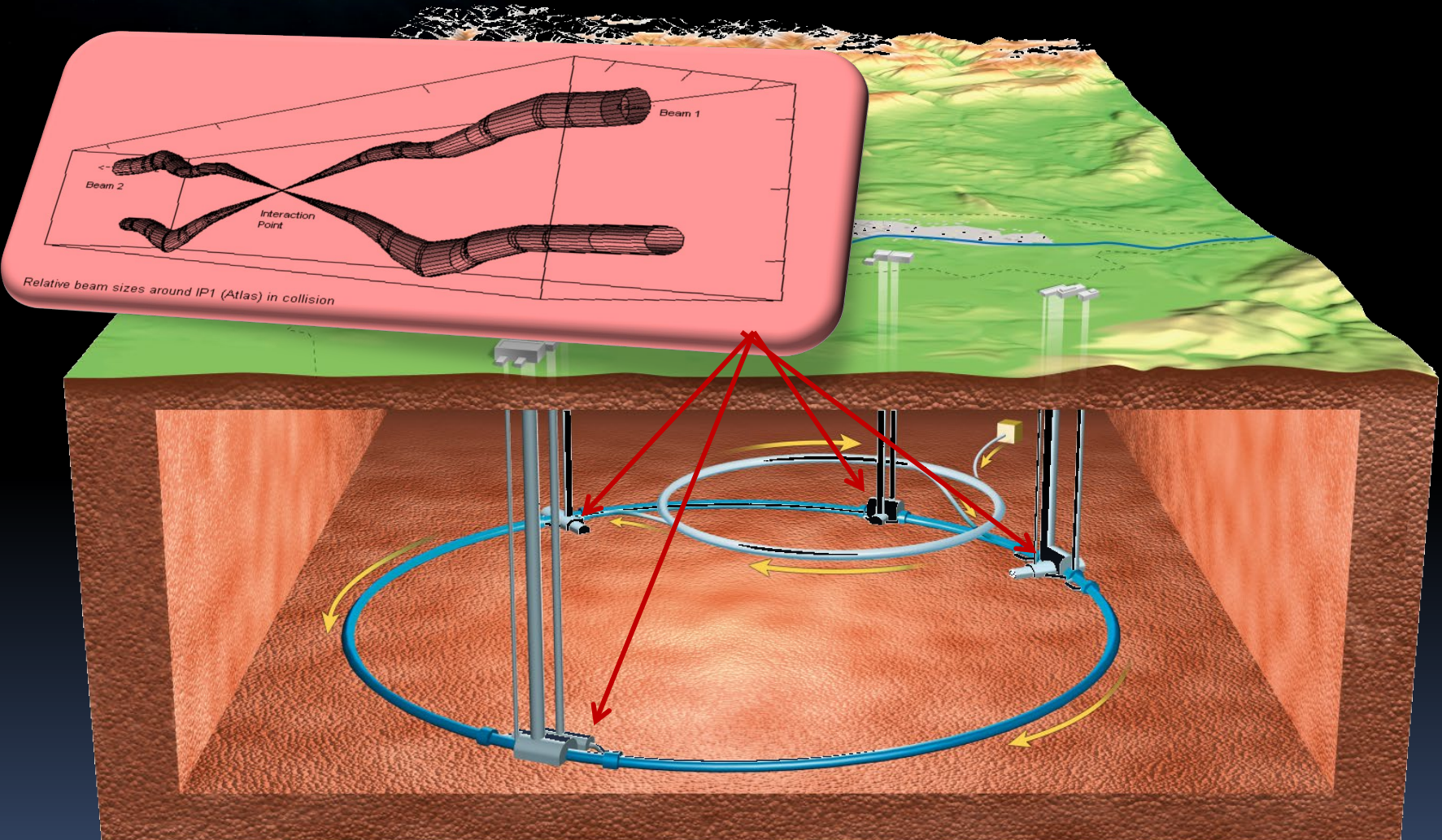
A maior máquina já construída: o Large Hadron Collider (LHC)

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



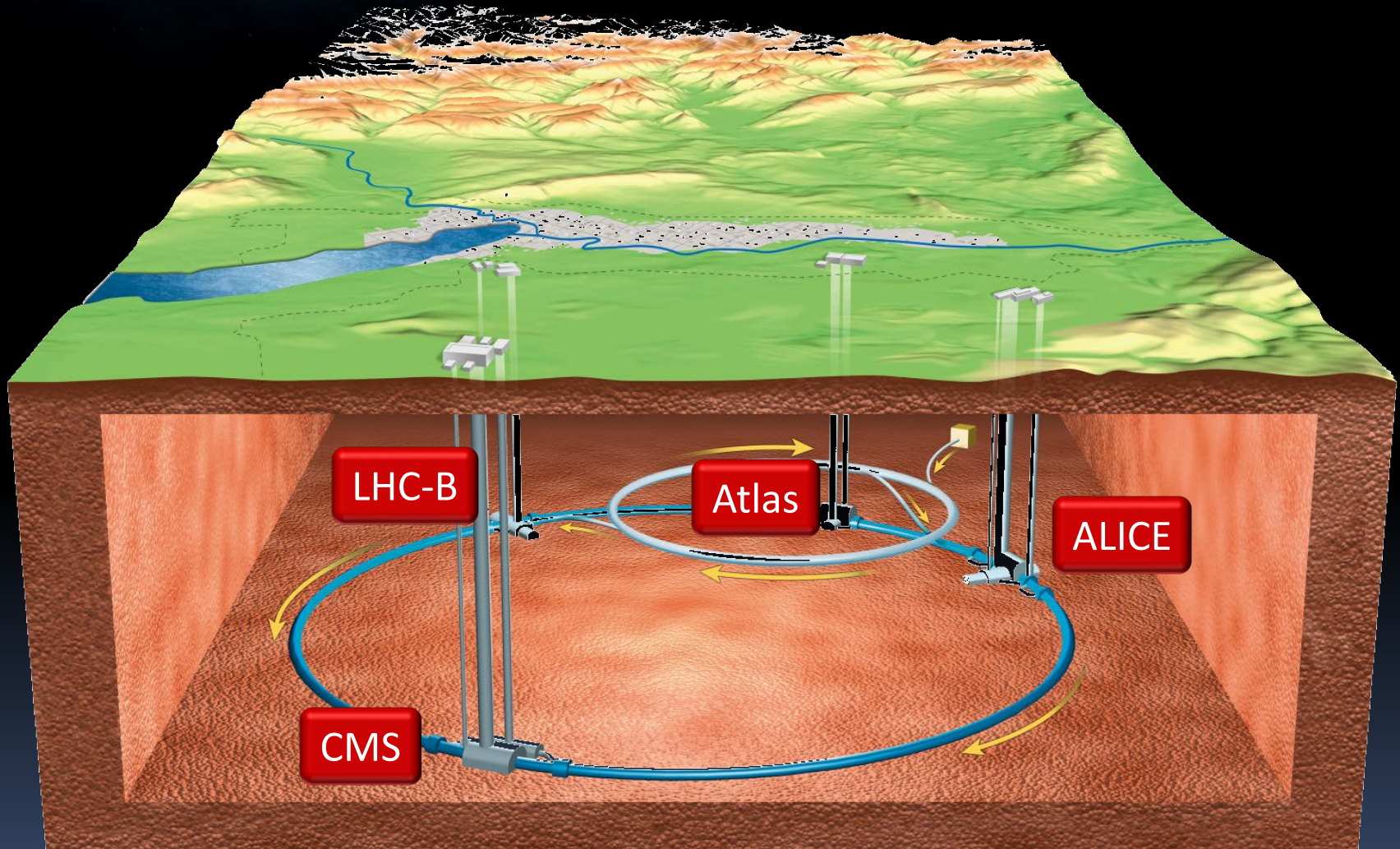
O LHC (Large Hadron Collider)

A maior máquina já construída: o LHC



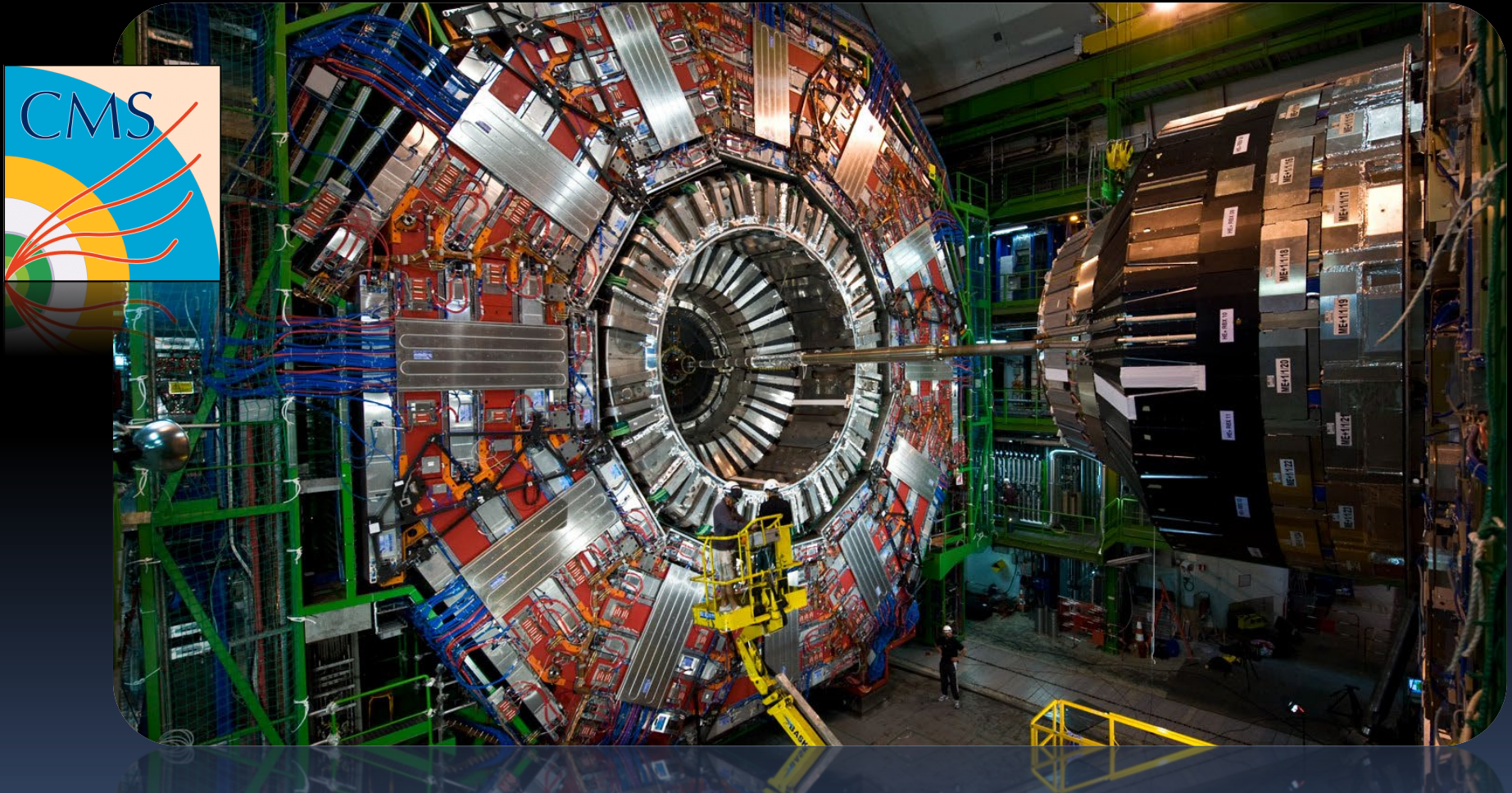
O LHC (Large Hadron Collider)

A maior máquina já construída: o LHC



O LHC (Large Hadron Collider)

A maior máquina já construída: o LHC



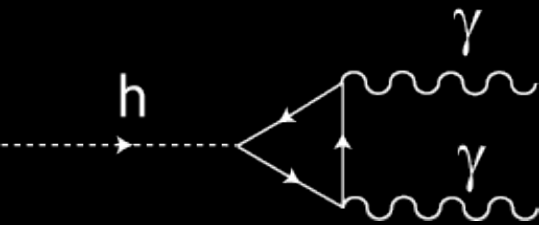
O LHC (Large Hadron Collider)

A maior máquina já construída: o LHC

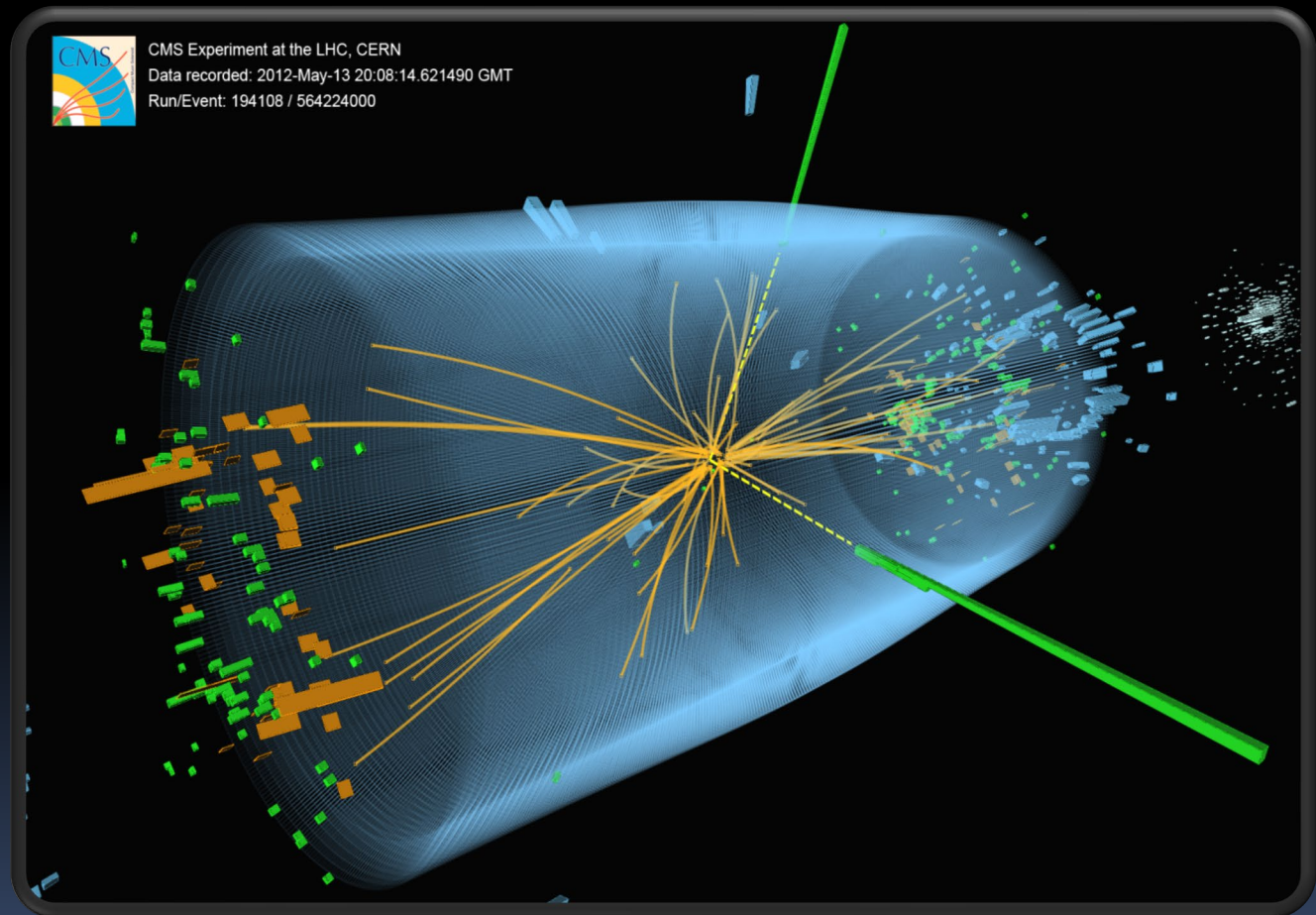


Encontrando partículas

Procuramos eventos como o abaixo:

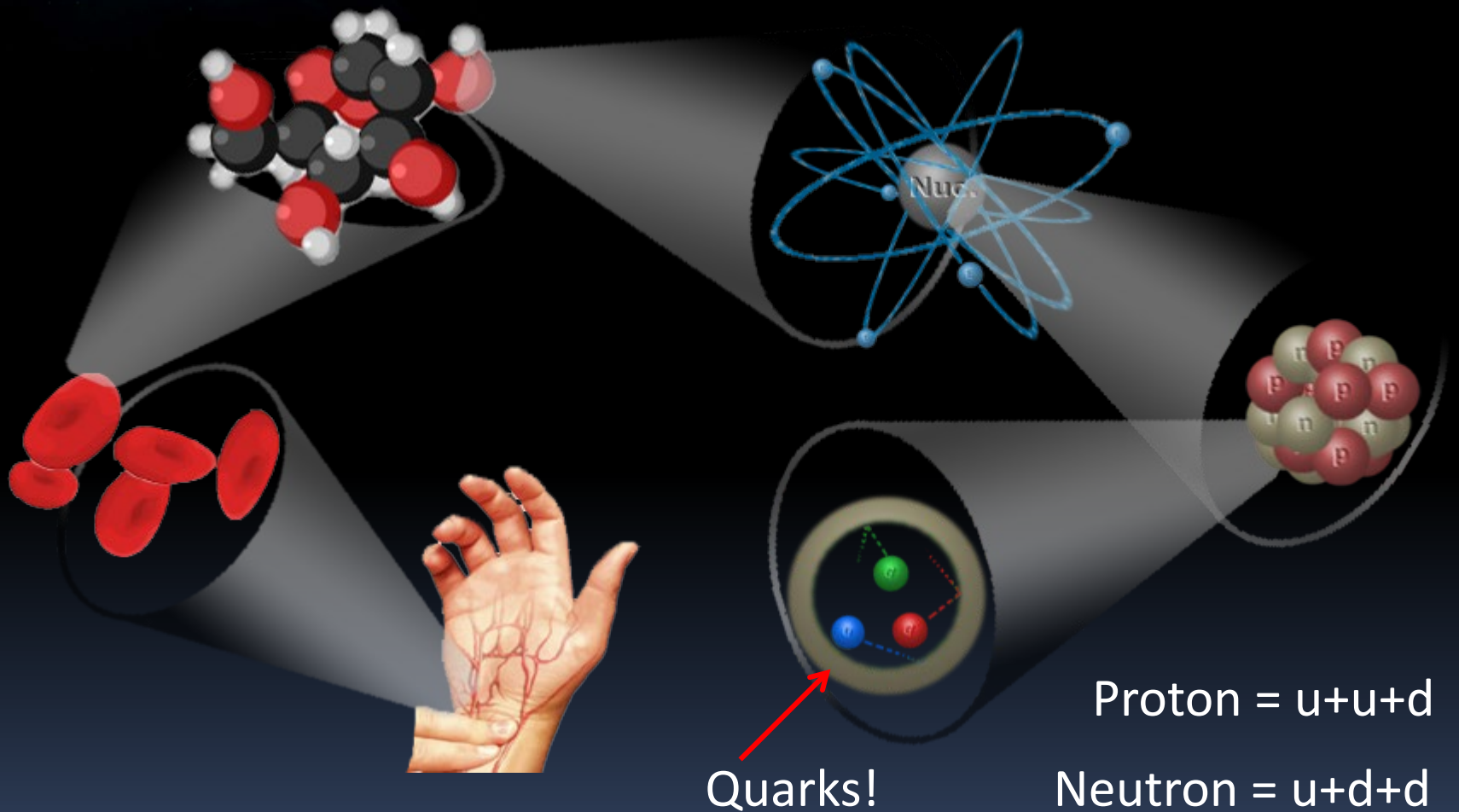


25/10/2018



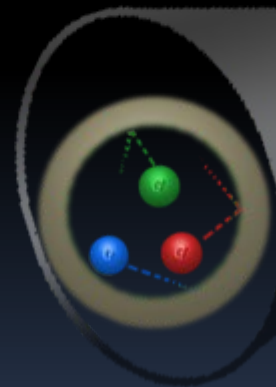
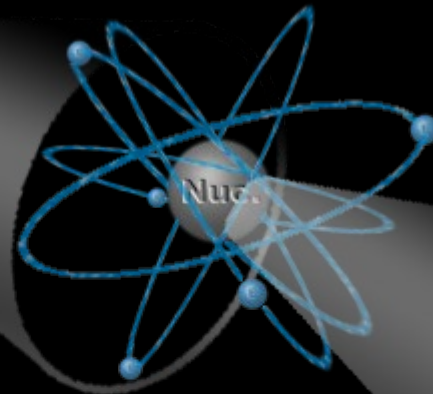
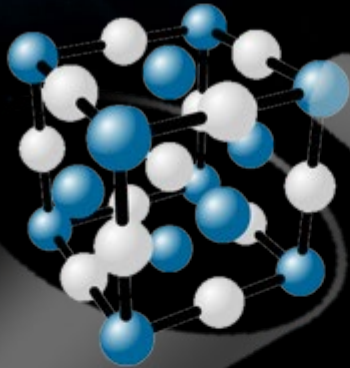
R.D.Matheus

Dentro do Átomo

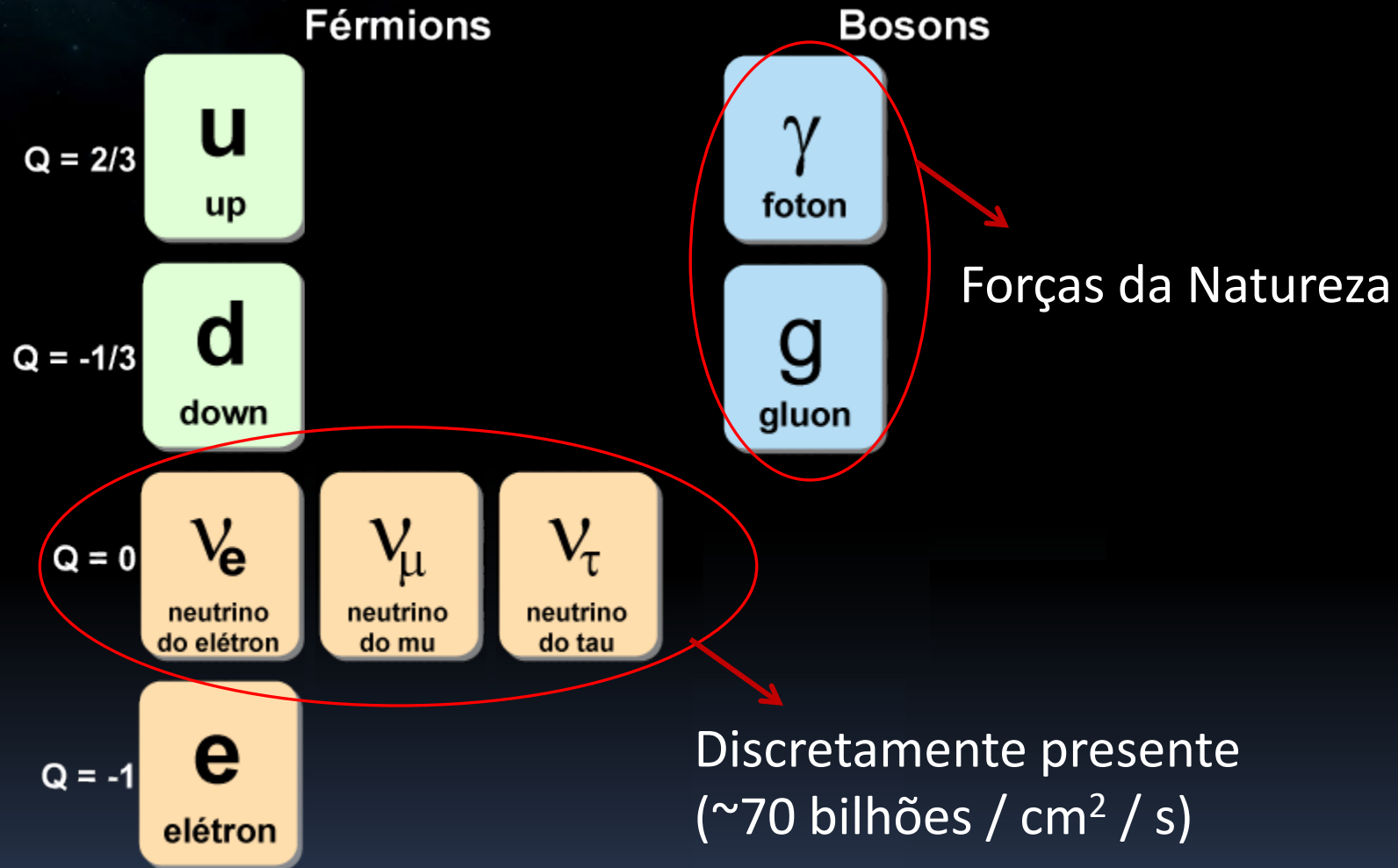


Dentro do Átomo

Um viva ao reducionismo!



Uma tabela para os novos “átomos”

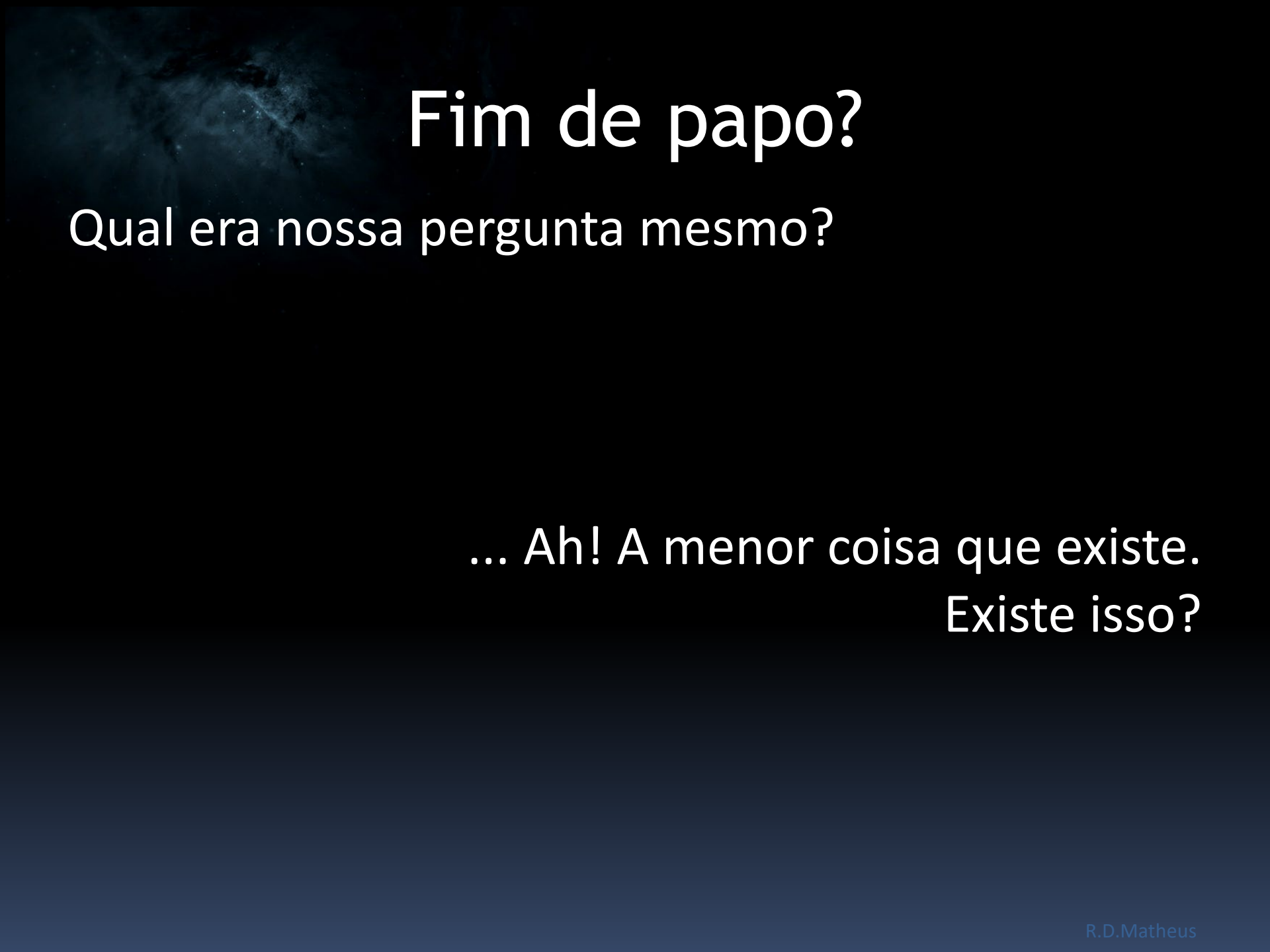


Aumenta a energia, aumenta a tabela

O MODELO PADRÃO

	Férmions			Bosons	
$Q = 2/3$	u up	c charm	t top	γ foton	
$Q = -1/3$	d down	s strange	b bottom	g gluon	
$Q = 0$	ν_e neutrino do elétron	ν_μ neutrino do mu	ν_τ neutrino do tau	Z boson Z	h boson de Higgs
$Q = -1$	e elétron	μ mu	τ tau	W bosons W	
	1ª geração	2ª geração	3ª geração		

Estes caras
“pesadões”
decaem nos mais
leves!

The background of the slide is a dark, deep blue space filled with faint, wispy clouds of light blue and white, resembling a cosmic nebula or star-forming region. The clouds are more concentrated in the upper left corner, with some brighter, more defined structures. The rest of the background is a dark, uniform blue.

Fim de papo?

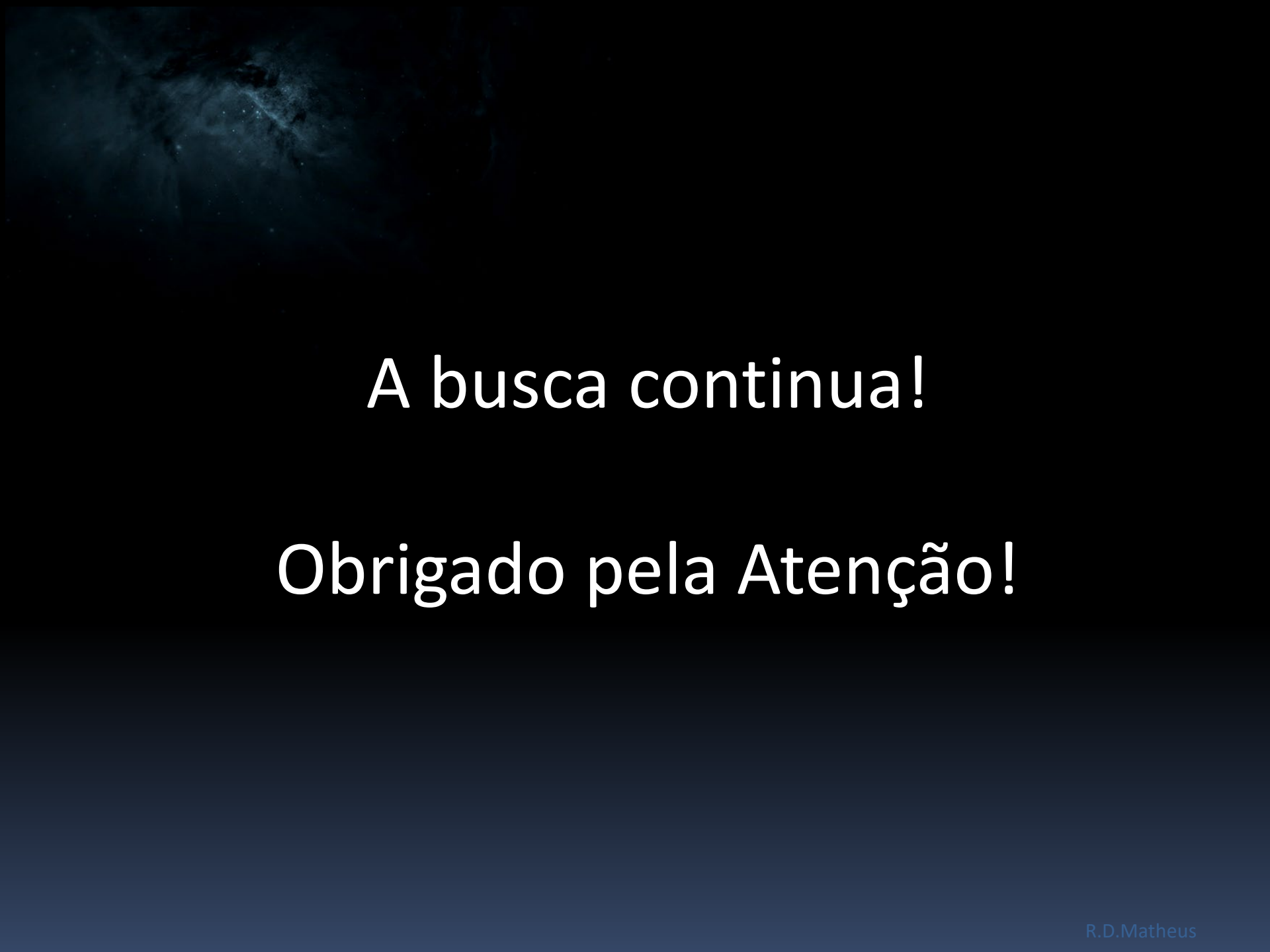
Qual era nossa pergunta mesmo?

... Ah! A menor coisa que existe.
Existe isso?

O Grande Deserto

The Estimated Size
of the Universe

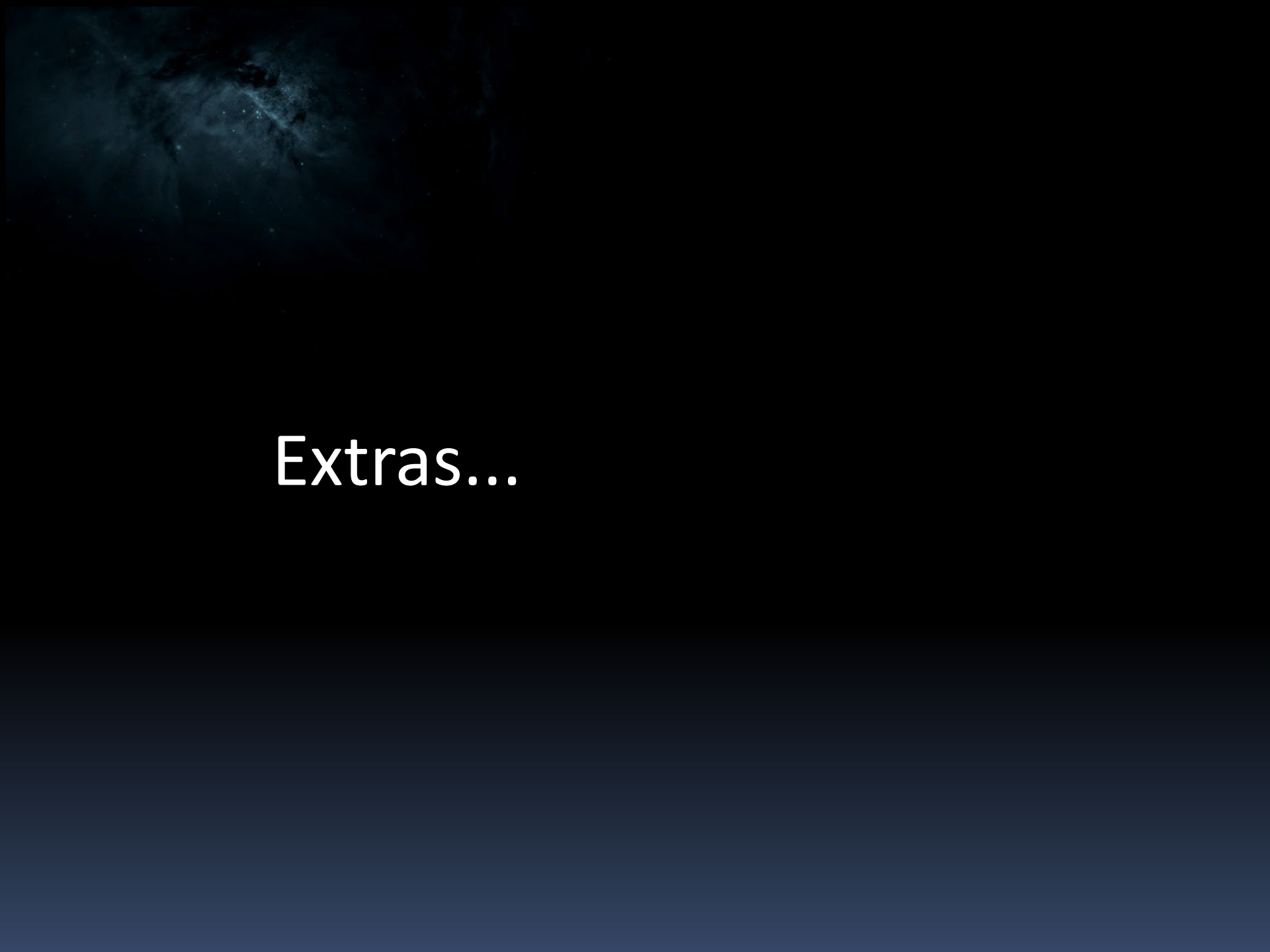




A busca continua!

Obrigado pela Atenção!

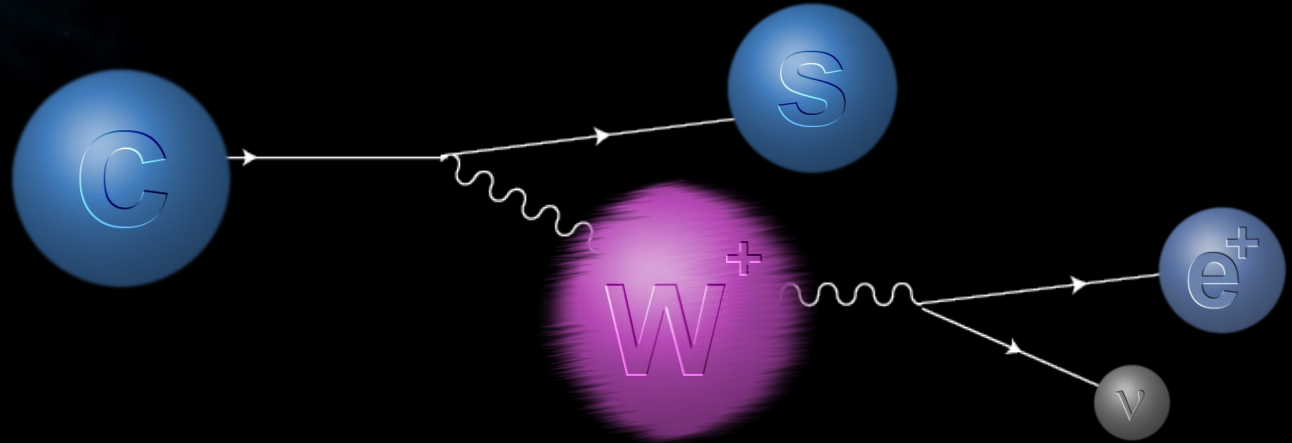


A dark blue and black background with a faint, wispy nebula or galaxy structure in the upper left corner. The rest of the image is a solid dark blue gradient.

Extras...

Como somem os pesos?

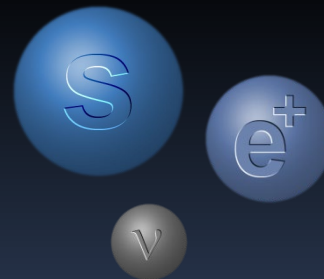
Decaimento:



Antes

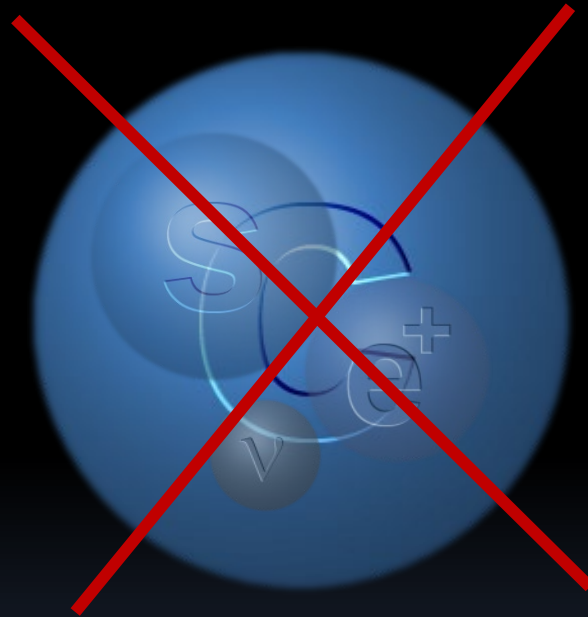


Depois



Como somem os pesados?

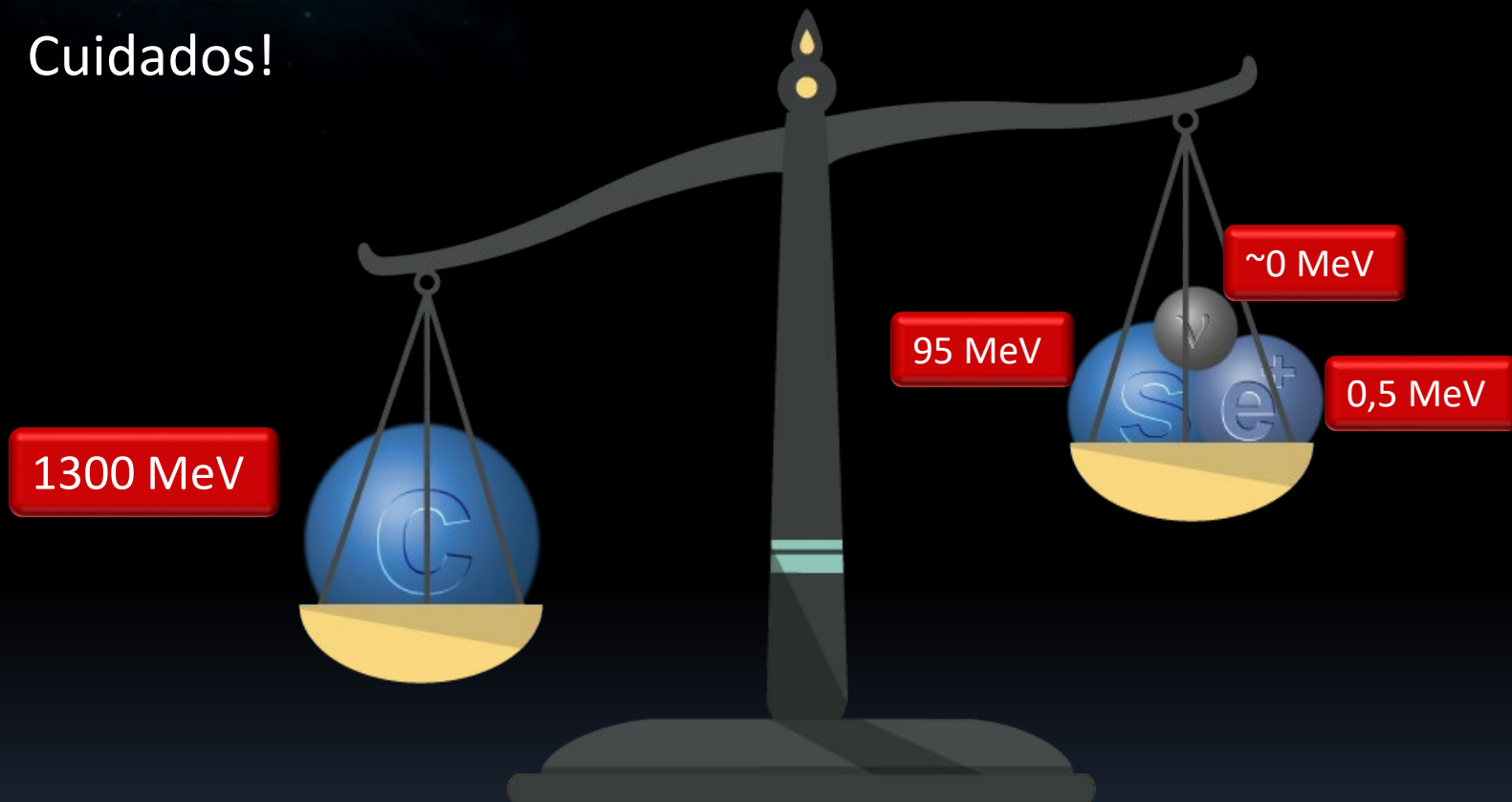
Cuidados!



O decaimento não significa que algumas destas partículas são feitas das outras!

Como somem os pesados?

Cuidados!



Se eu olhar **só as massas** da partícula inicial e das finais vai parecer que eu perdi alguma coisa!

Como somem os pesados?

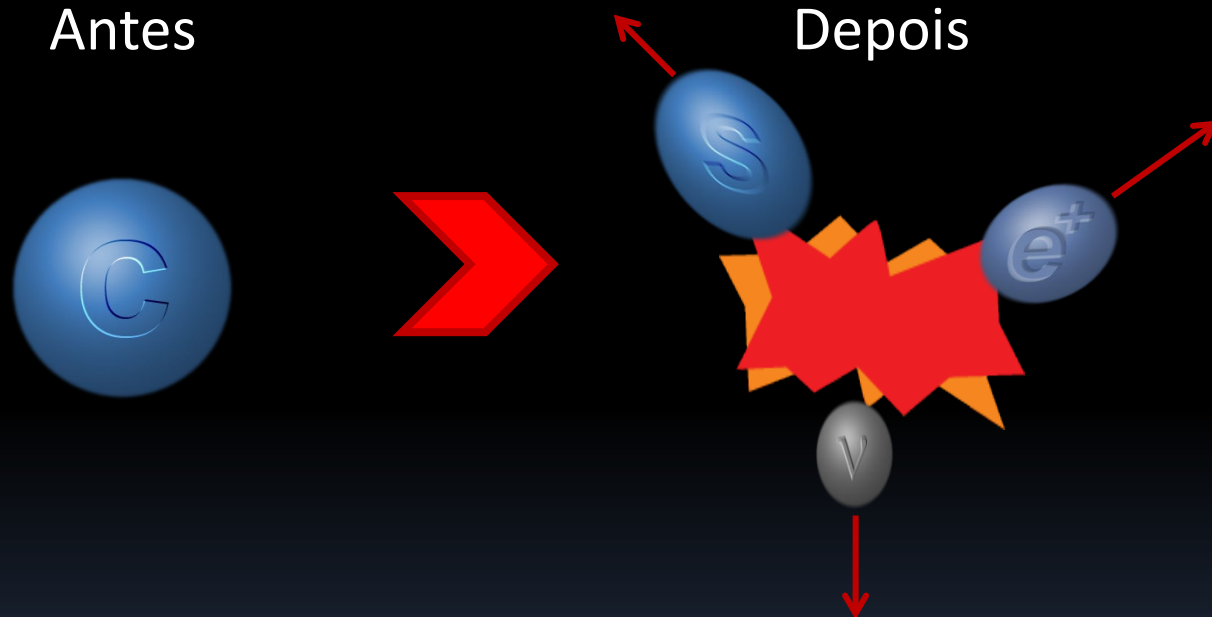
Cuidados!



A massa que falta **vira energia** para as partículas que foram produzidas!

Como somem os pesados?

Cuidados!

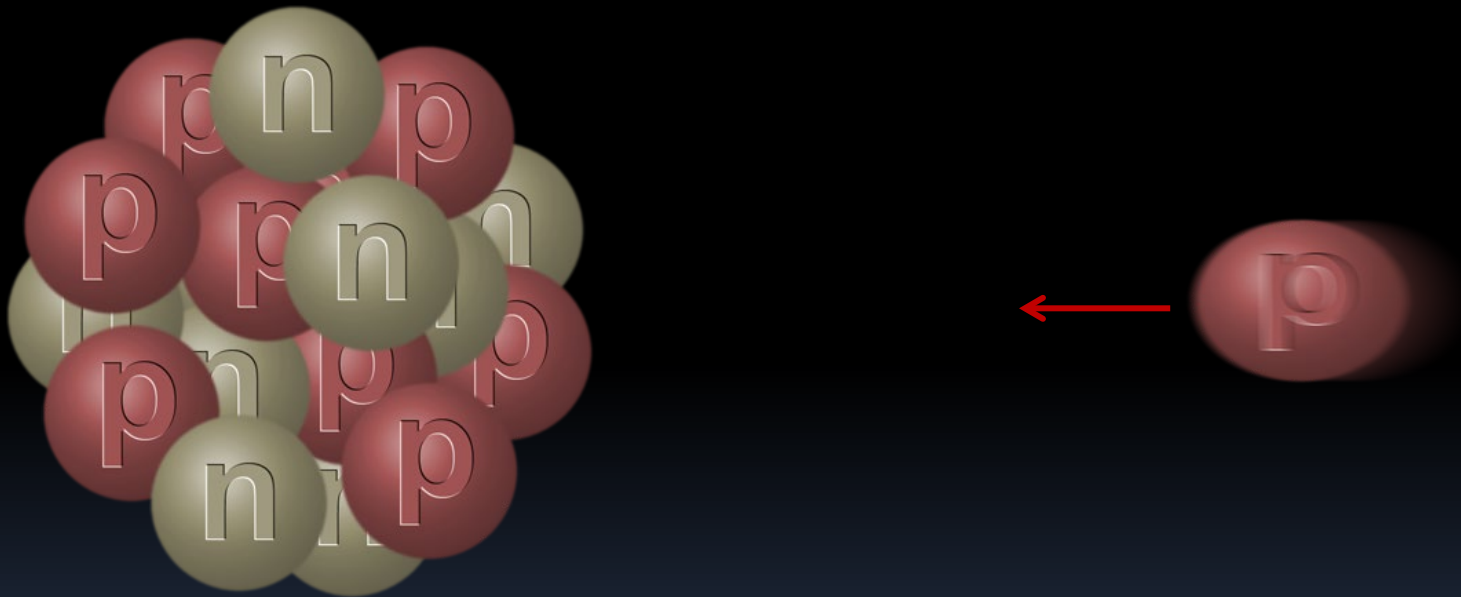


O total de energia no final está ligado à massa inicial!

$$E = mc^2$$

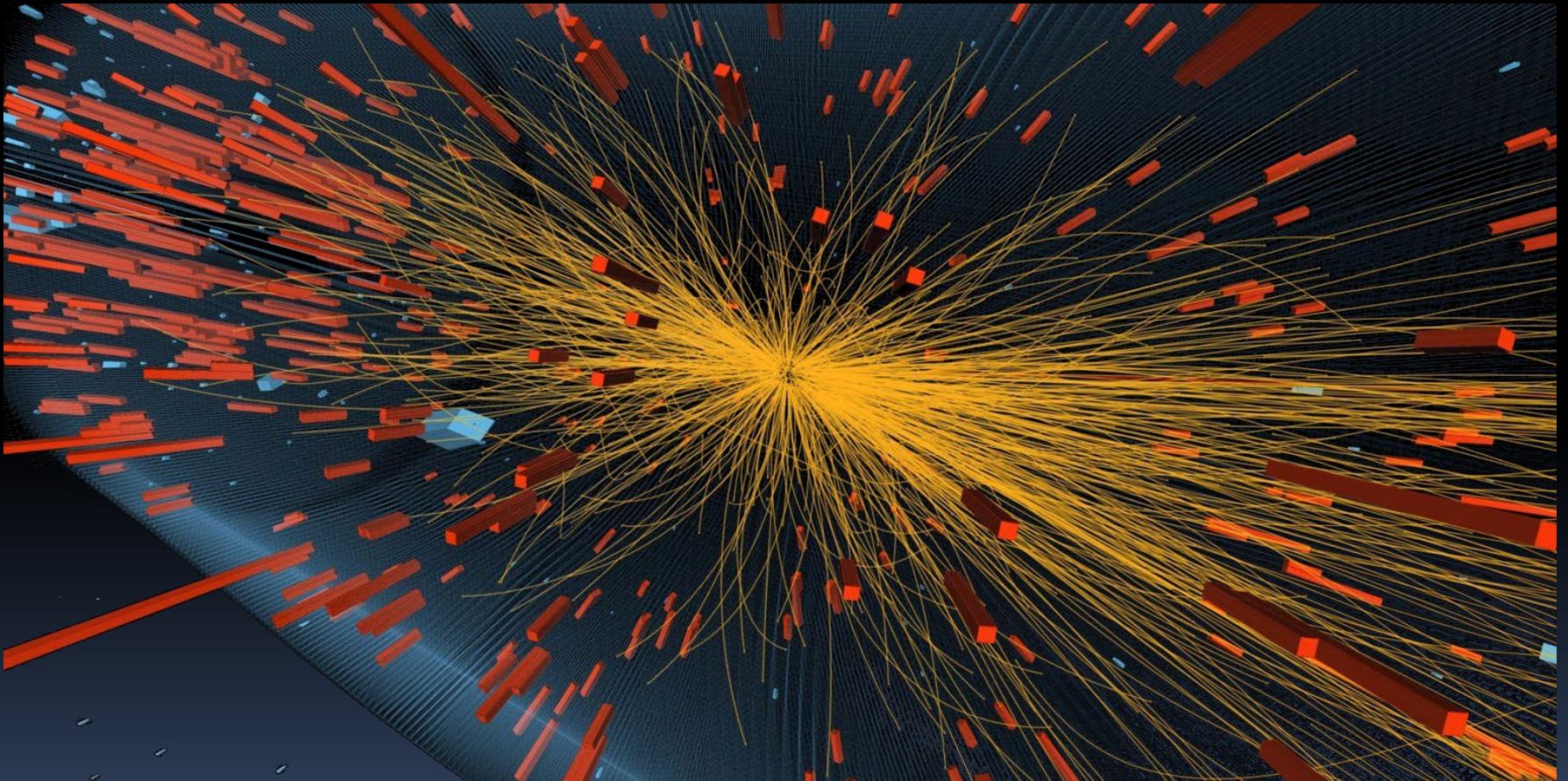
Acelerando partículas!

Podemos usar como a “ponta da nossa agulha” uma partícula:



Acelerando partículas!

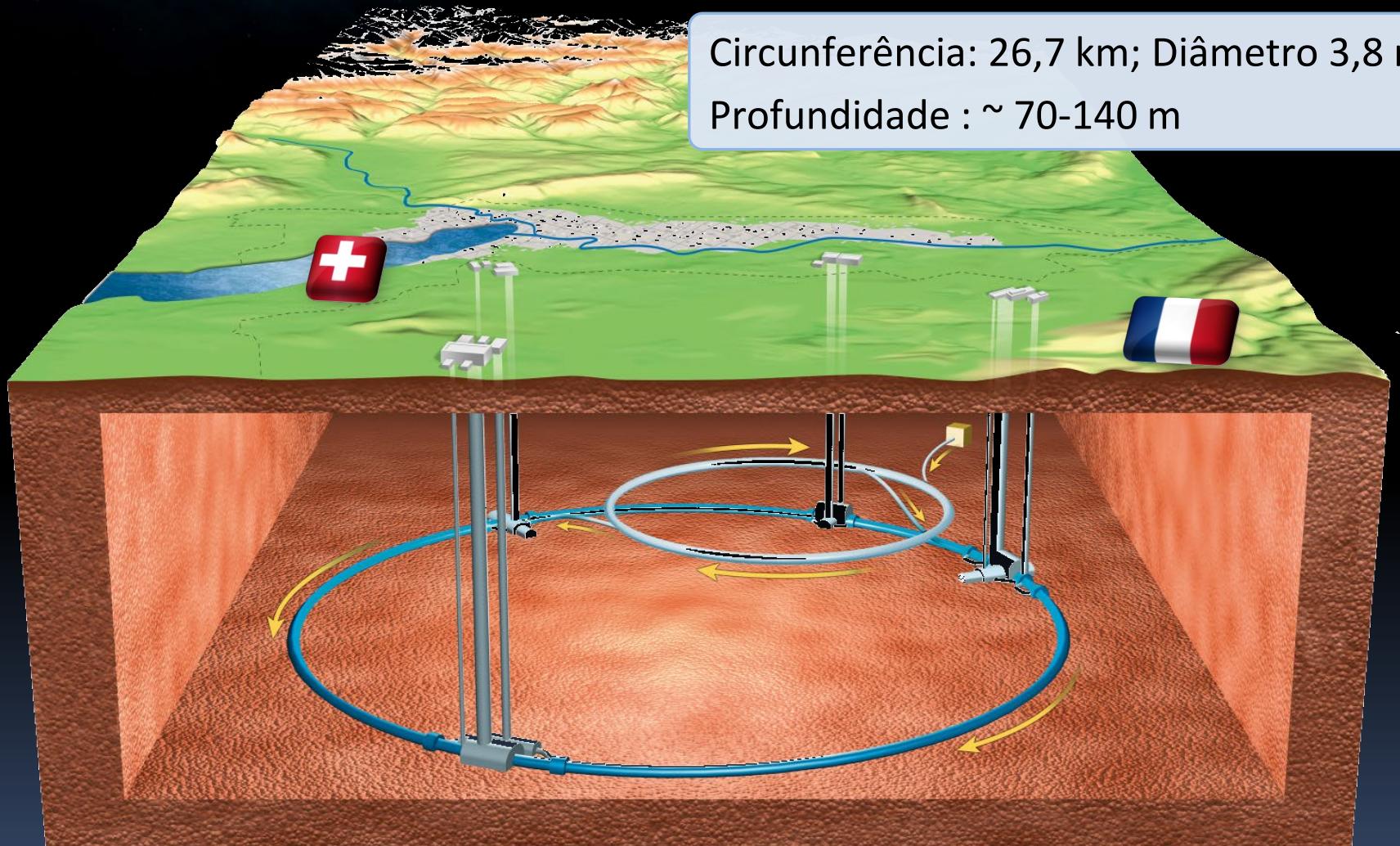
Podemos usar como a “ponta da nossa agulha” uma partícula:



E como acelerar?

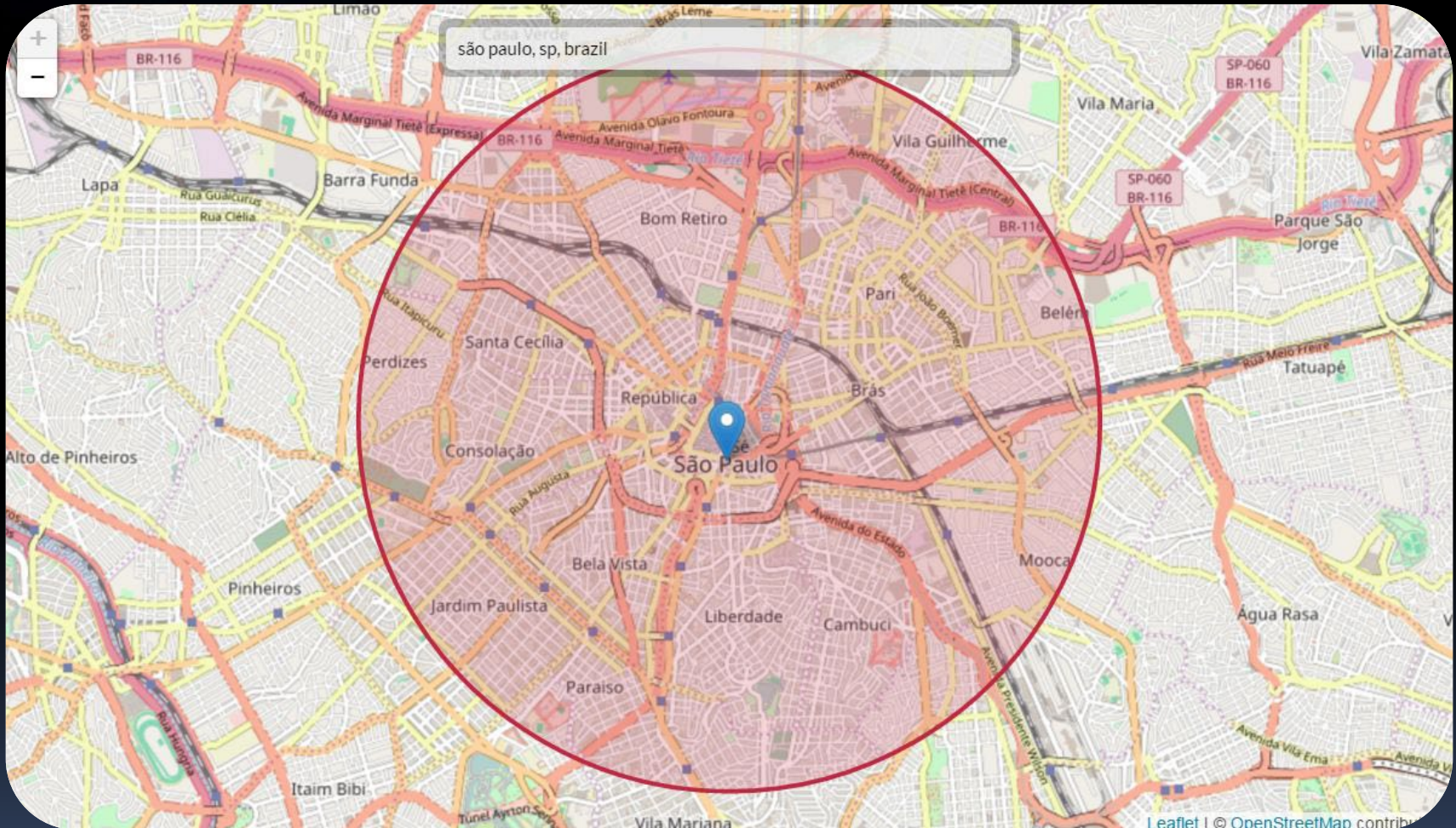
A maior máquina já construída: o Large Hadron Collider (LHC)

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



O LHC (Large Hadron Collider)

A maior máquina já construída: o LHC

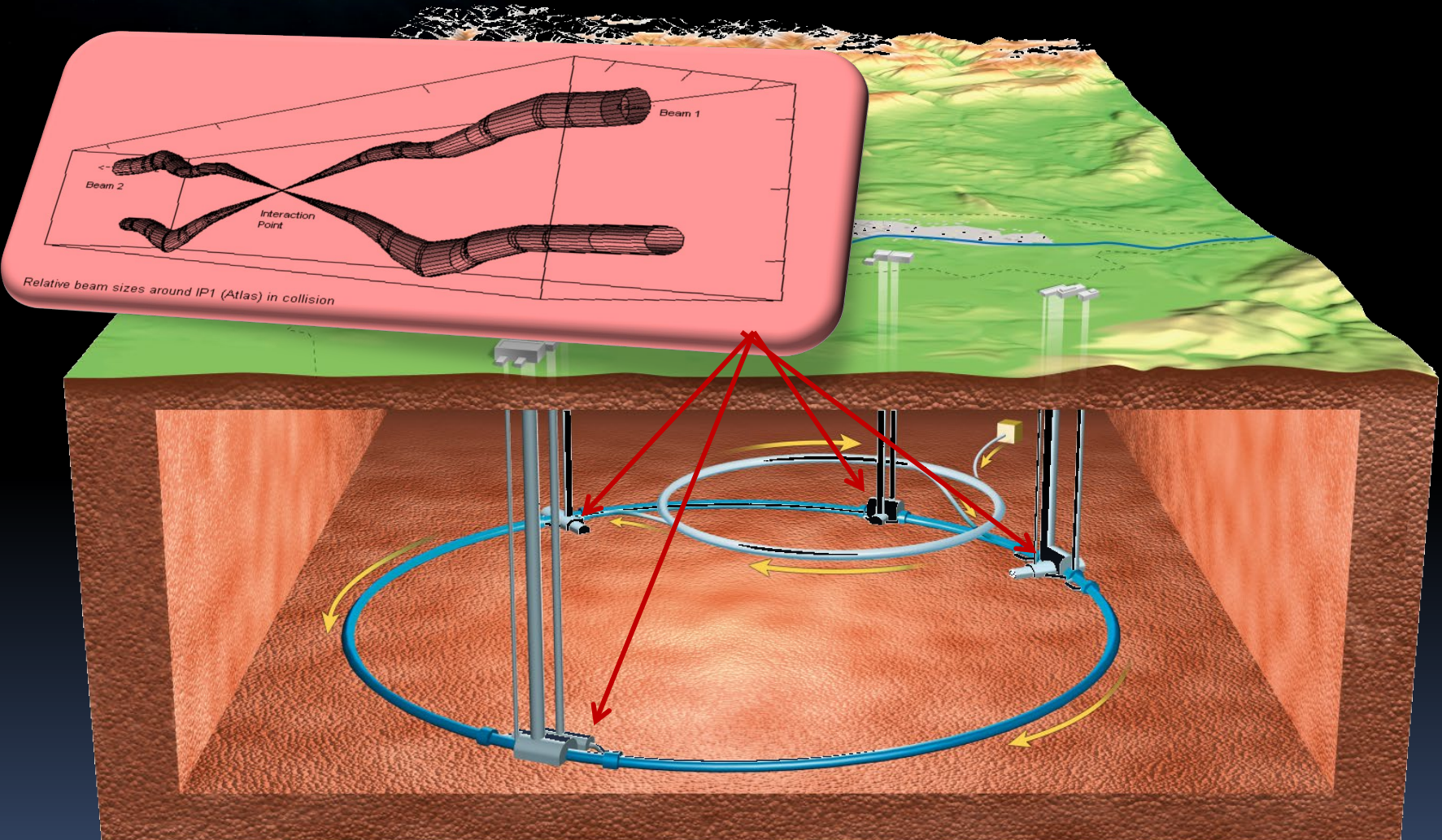


<https://natronics.github.io/science-hack-day-2014/lhc-map/>

R.D. Matheus

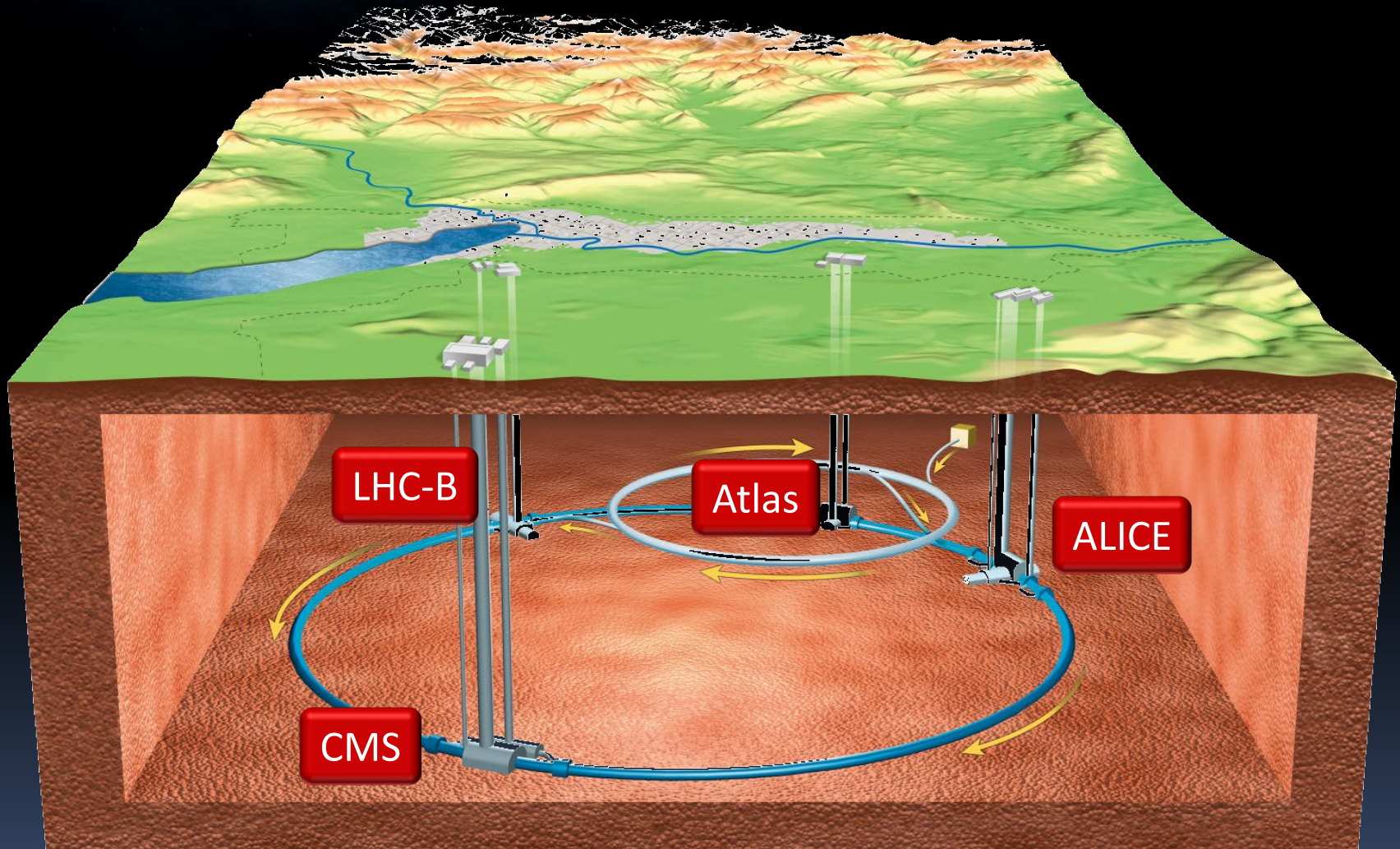
O LHC (Large Hadron Collider)

A maior máquina já construída: o LHC



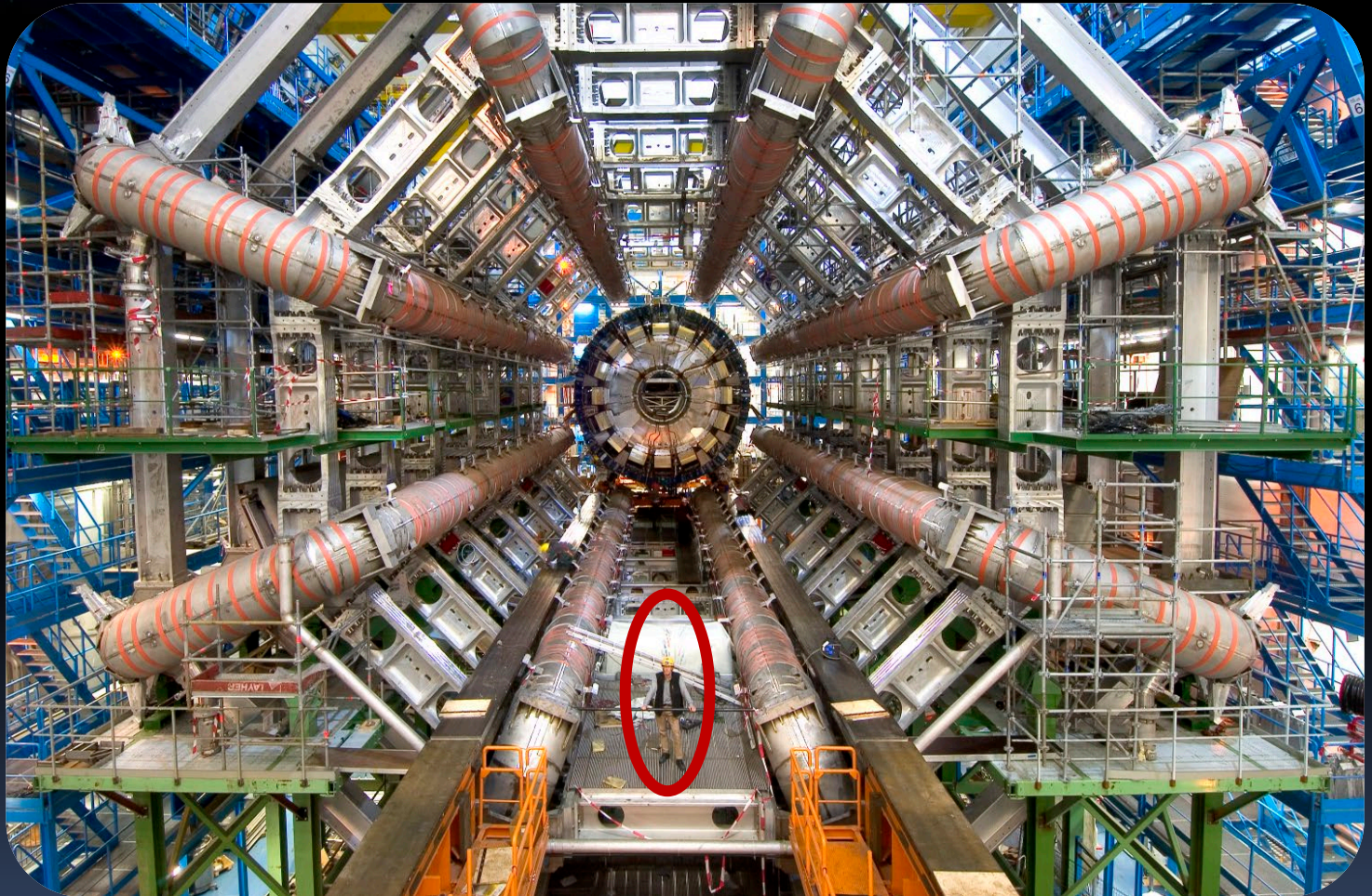
O LHC (Large Hadron Collider)

A maior máquina já construída: o LHC



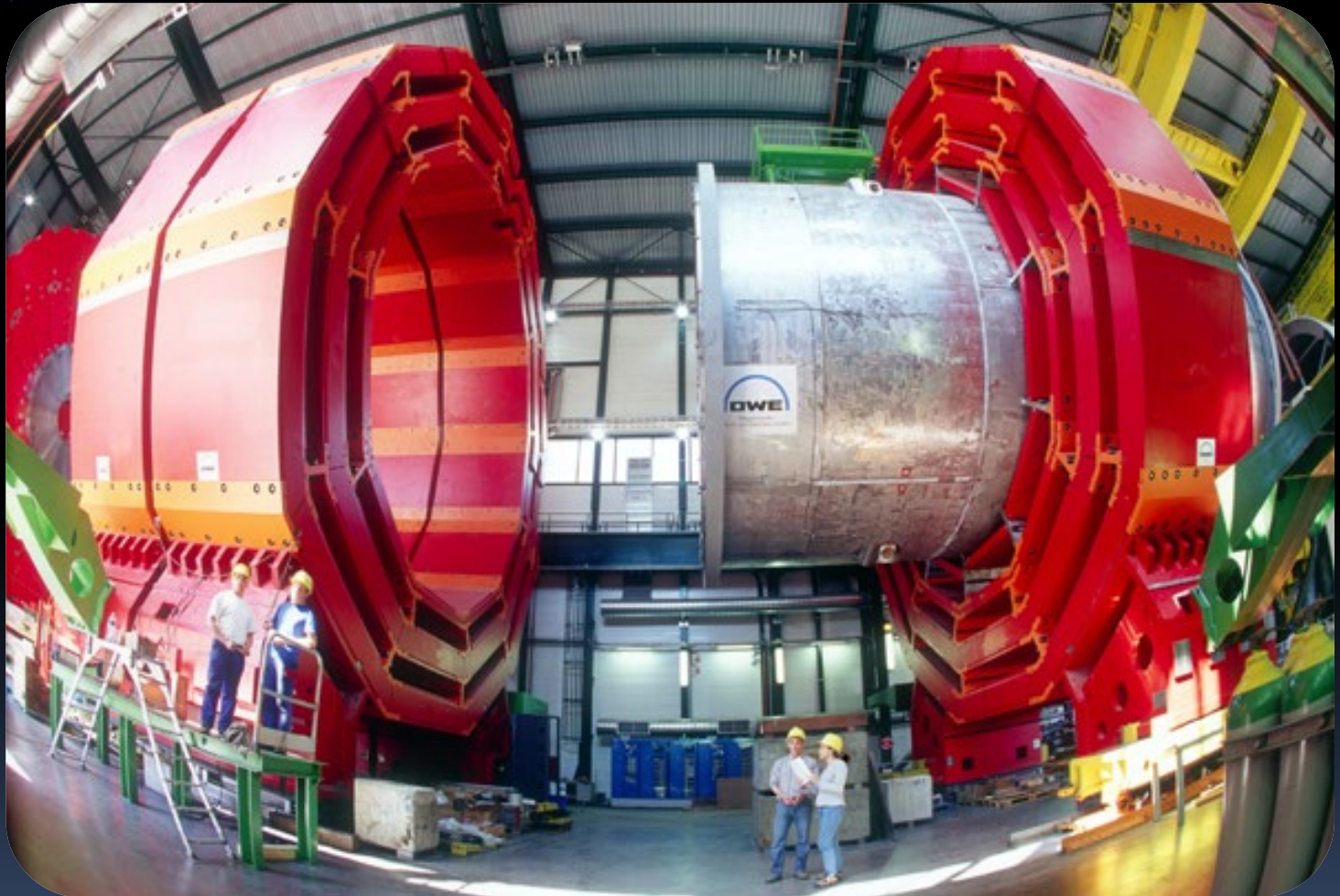
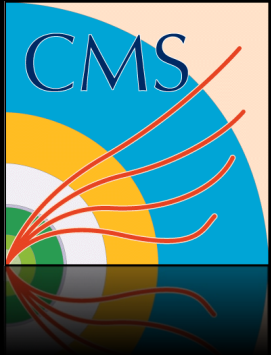
O LHC (Large Hadron Collider)

A maior máquina já construída: o LHC



O LHC (Large Hadron Collider)

A maior máquina já construída: o LHC

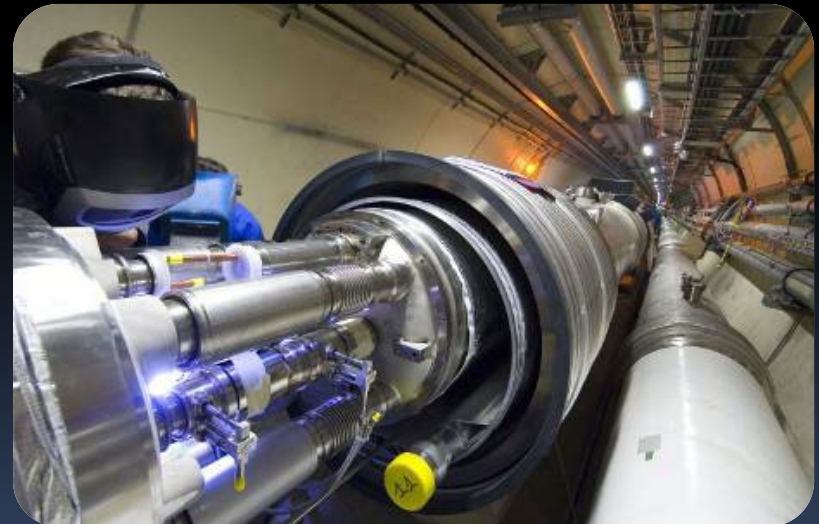


O LHC (Large Hadron Collider)



Protons se movendo a 99.9999991% da velocidade da luz dão 11000 voltas por segundo no túnel de 27 km.

Para permitir velocidades tão altas, o vácuo dentro do tubo deve ser similar ao espaço sideral. É 10 vezes “mais vazio” do que na Lua, não há espaço “tão vazio” dentro do sistema solar.



O LHC (Large Hadron Collider)



O LHC não é só mais vazio que o espaço, também é bem mais frio. Os imãs funcionam a -271°C , isto é 1,9 graus acima do zero absoluto!

600 milhões de colisões ocorrem POR SEGUNDO, e precisam ser registradas com precisão. O detector CMS é equivalente a uma câmera de 75 Mpixel tirando 40 milhões de fotos por segundo.

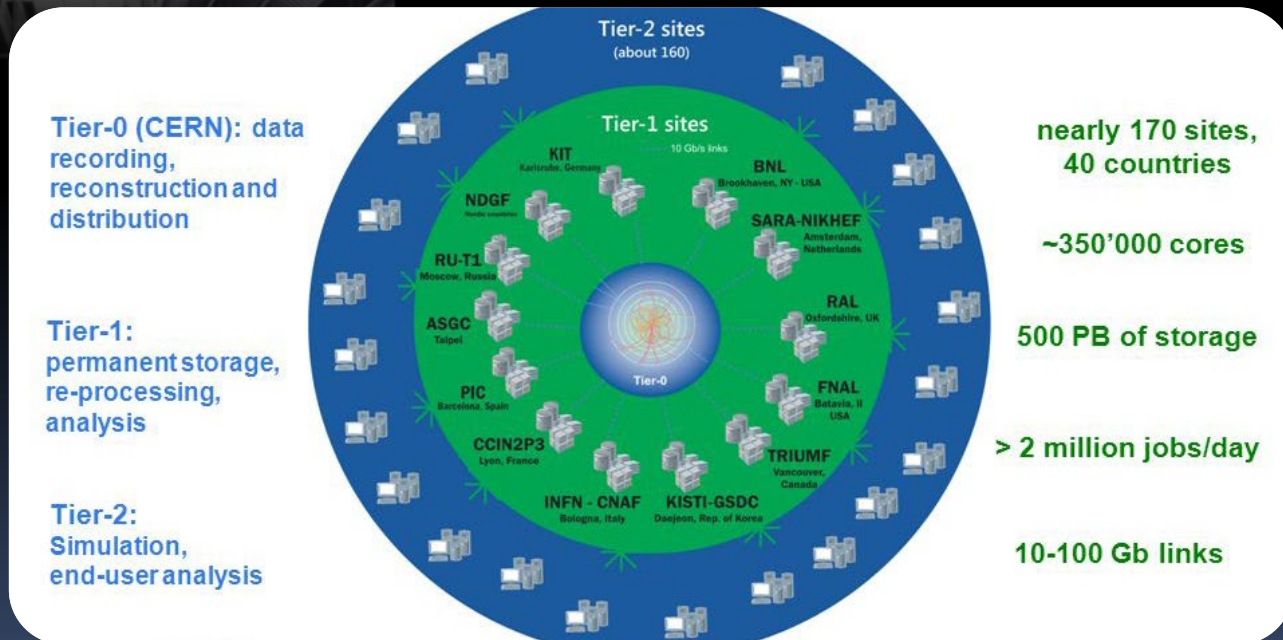


O LHC (Large Hadron Collider)

Datacenter do CERN

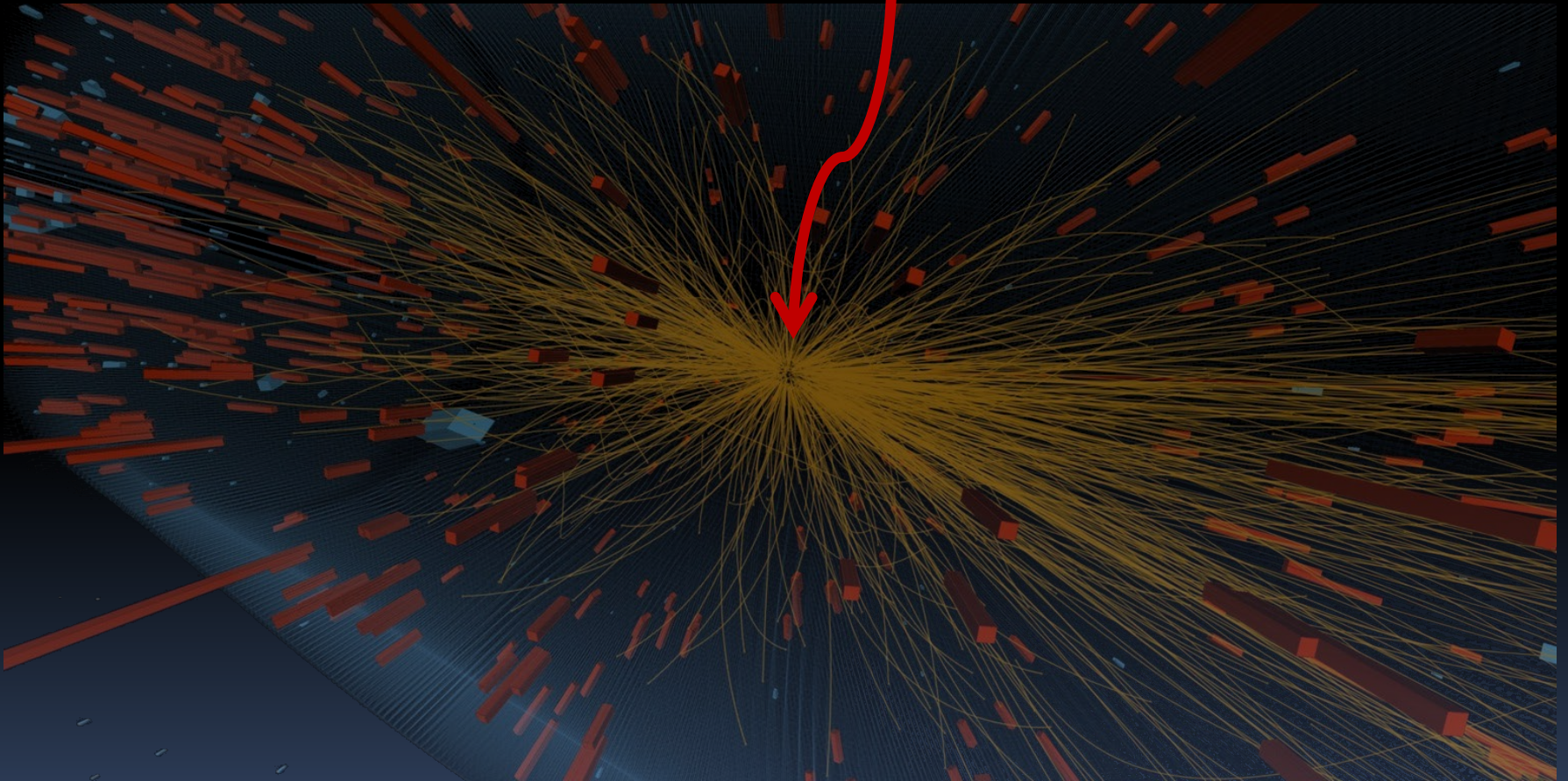


Cerca de 30 PB (30.000 TB) de dados são produzidos por ano! O datacenter ao lado ocupa 1450 m² e conta com 100.000 núcleos de processamento e 45 PB de espaço em disco.
(<https://home.cern/about/computing>)



Entendendo o resultado

Como é que eu sei o que aconteceu ali?



Entendendo o resultado

Eu posso, por exemplo, encontrar partículas novas procurando o resultado dos seus **decaimentos**:

125 GeV



Entendendo o resultado

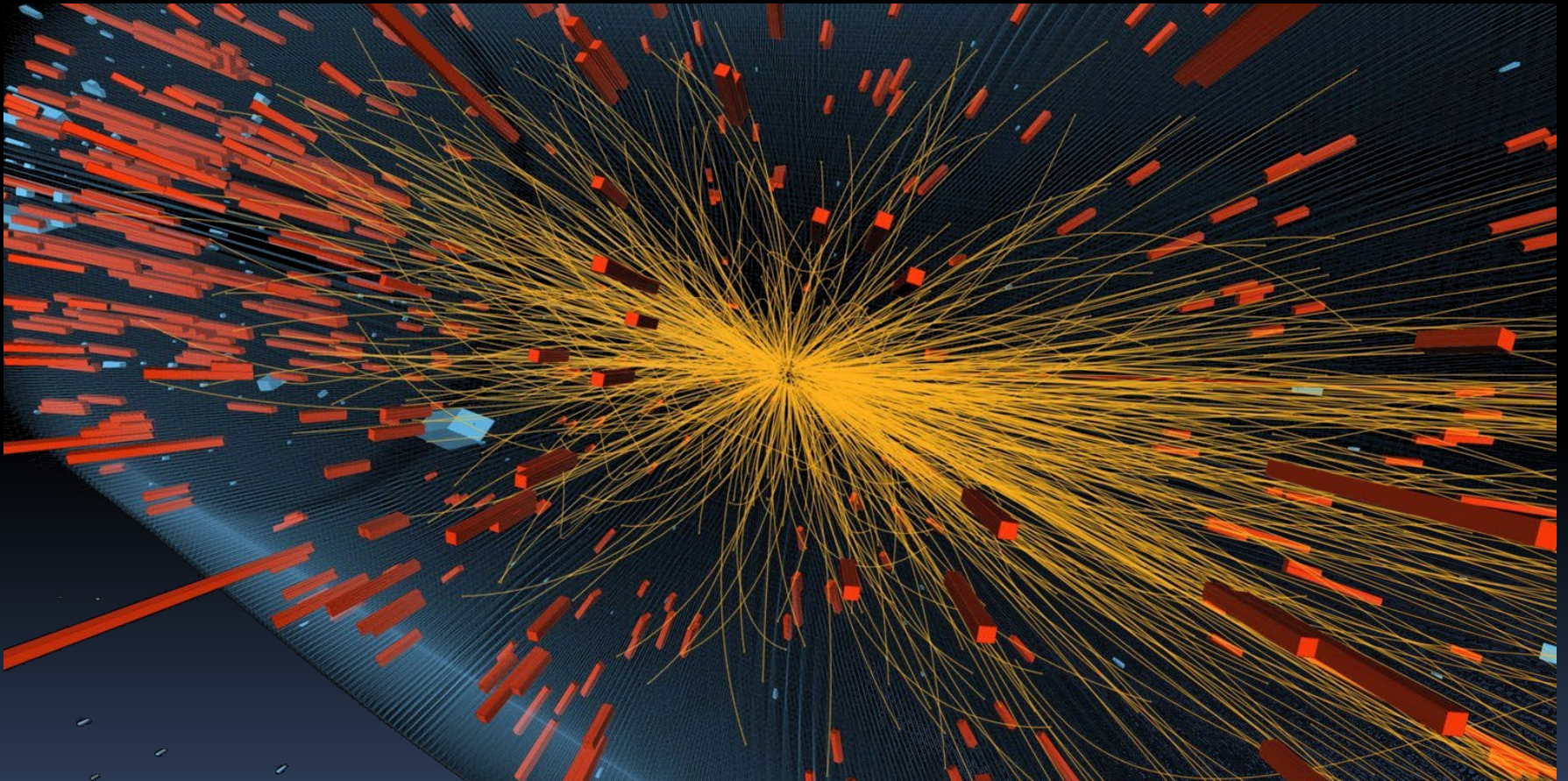
Eu posso, por exemplo, encontrar partículas novas procurando o resultado dos seus **decaimentos**:



Basta achar dois fótons que somem esta energia. **Fácil, né?**

Entendendo o resultado

Ache os fótons!



Entendendo o resultado

Ache os fótons!

O problema não é identificar quem aí é fóton ou não (temos métodos para distinguir partículas diferentes, que funcionam razoavelmente bem)

O problema mais sério é que **COM CERTEZA** vou encontrar fótons nos eventos que somem os 125 GeV por **ACASO**, e não têm nada a ver com o decaimento do Higgs.

Achando o louco na sala

Mas somos salvos pela estatística!

Imagine o seguinte exercício:

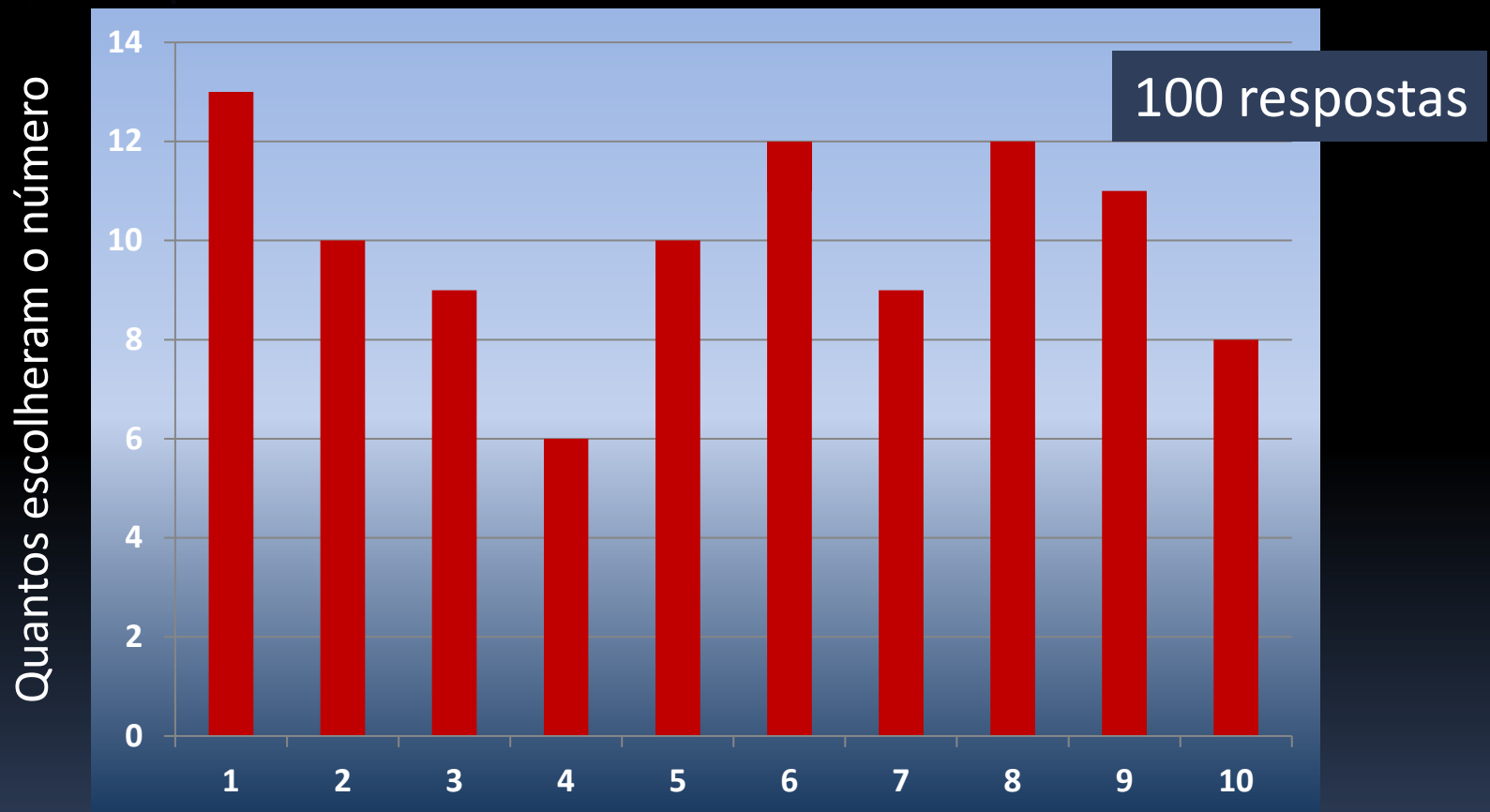
Acho que há um louco na sala! (tá, me diz algo que eu não sabia)

Loucura: Toda vez que você pedir para que ele escolha um número entre 1 e 10 ele vai responder o mesmo número (não sei qual é este número)

Como acho o louco sem irritá-lo? (Mantendo a pesquisa anônima)
Como descobrir qual é o número que ele gosta?

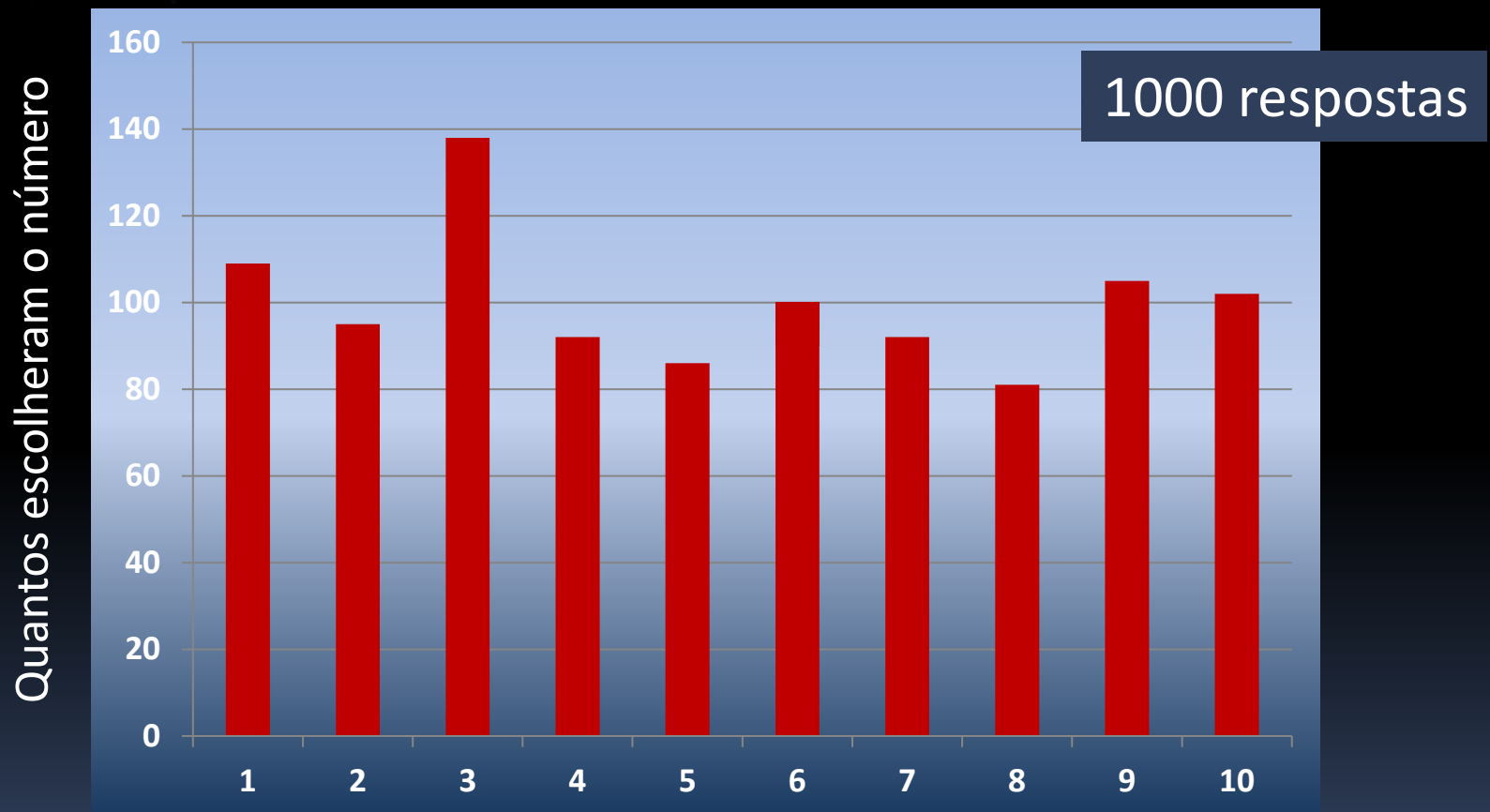
Achando o louco na sala

Peço para todos na sala escolherem números (de forma anônima)



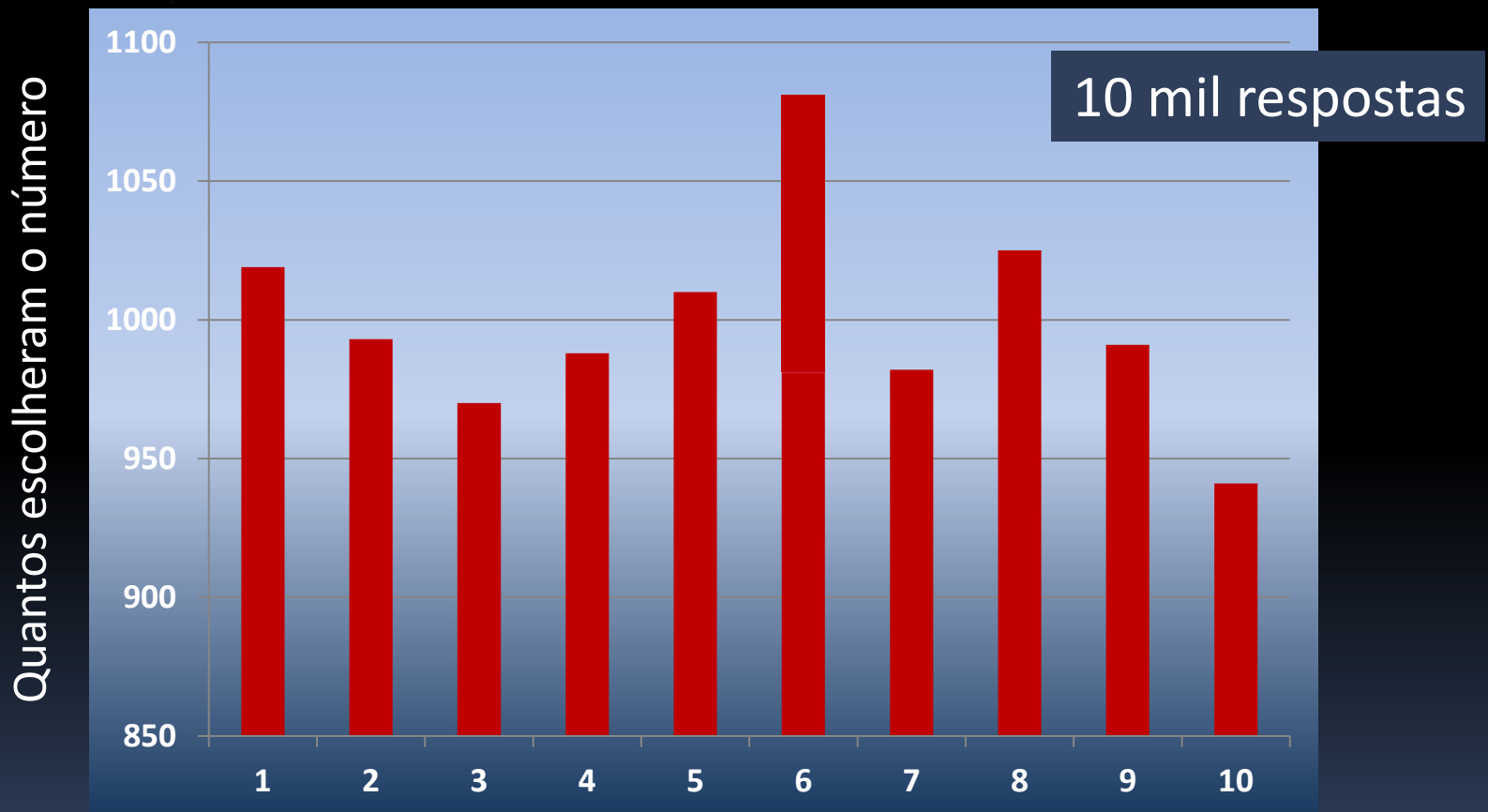
Achando o louco na sala

Peço para todos na sala escolherem números (de forma anônima)



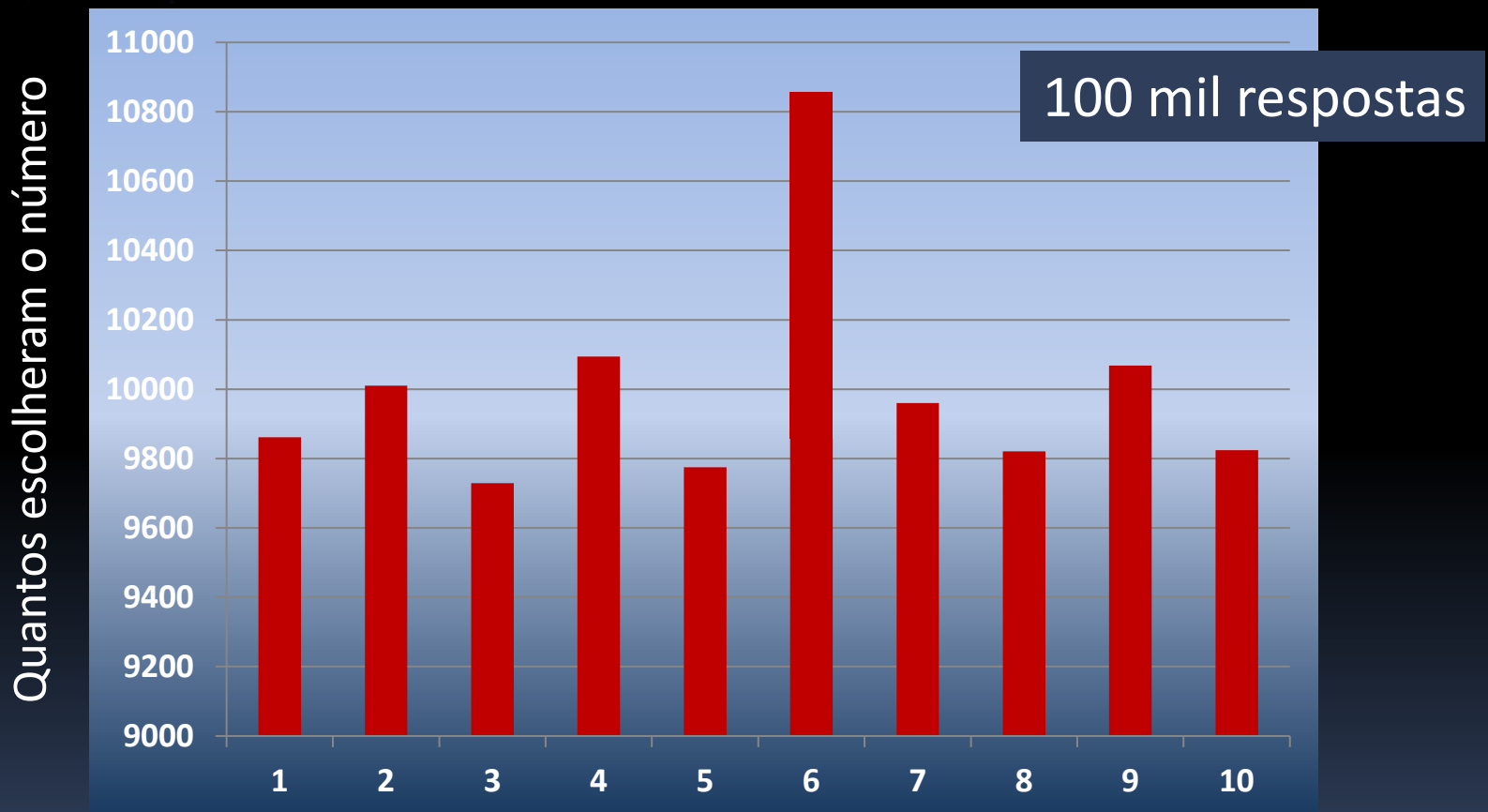
Achando o louco na sala

Peço para todos na sala escolherem números (de forma anônima)



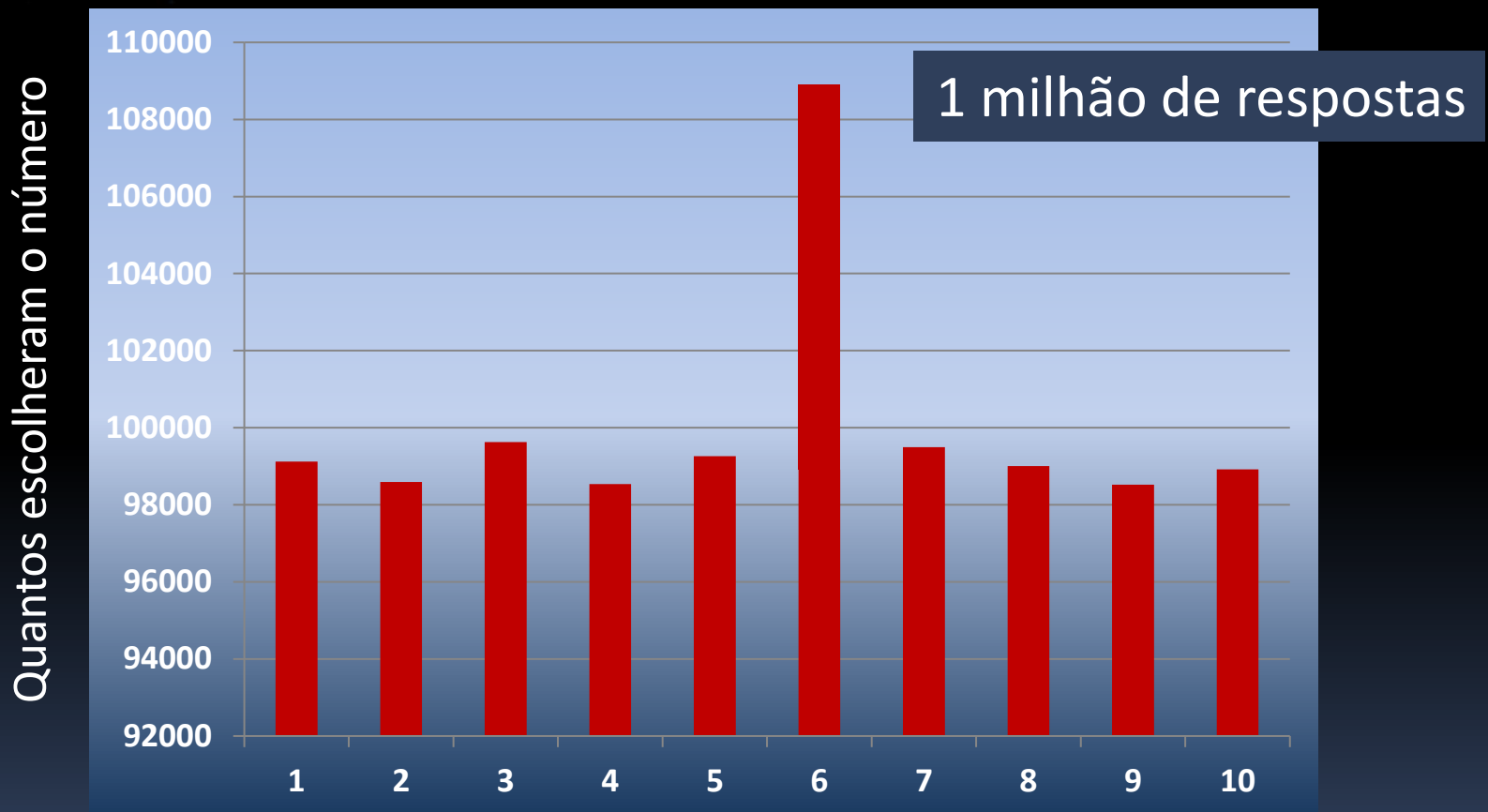
Achando o louco na sala

Peço para todos na sala escolherem números (de forma anônima)



Achando o louco na sala

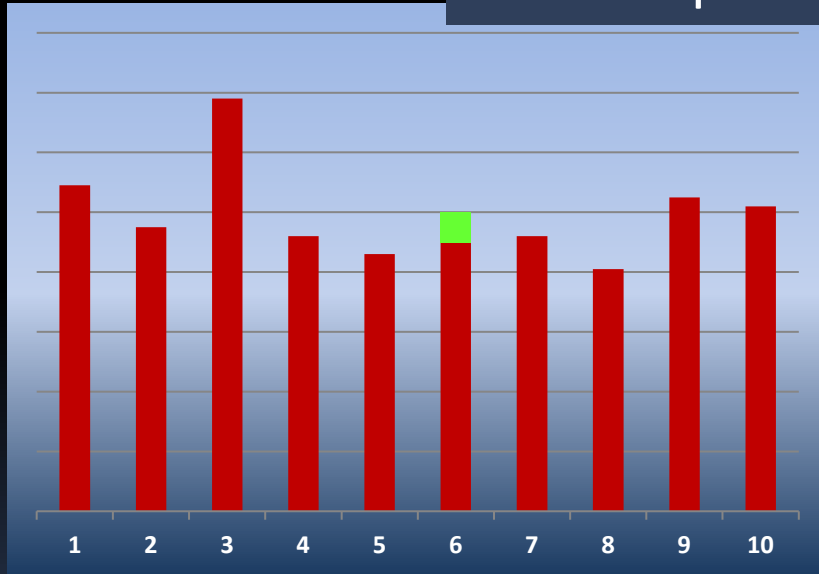
Peço para todos na sala escolherem números (de forma anônima)



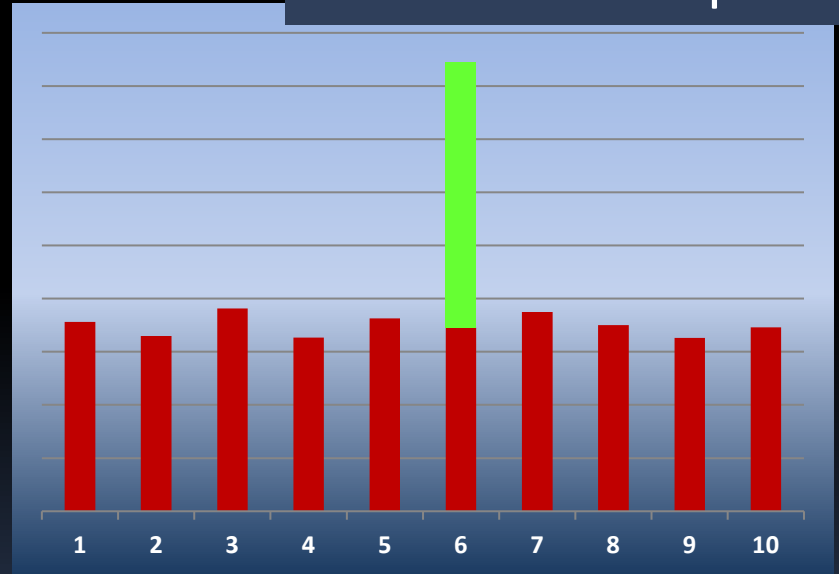
Achando o louco na sala

A loucura fica óbvia depois de um número suficientemente grande de repetições

1000 respostas

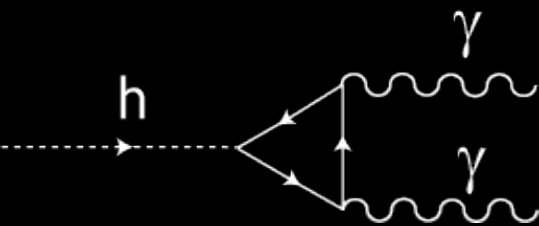


1 milhão de respostas

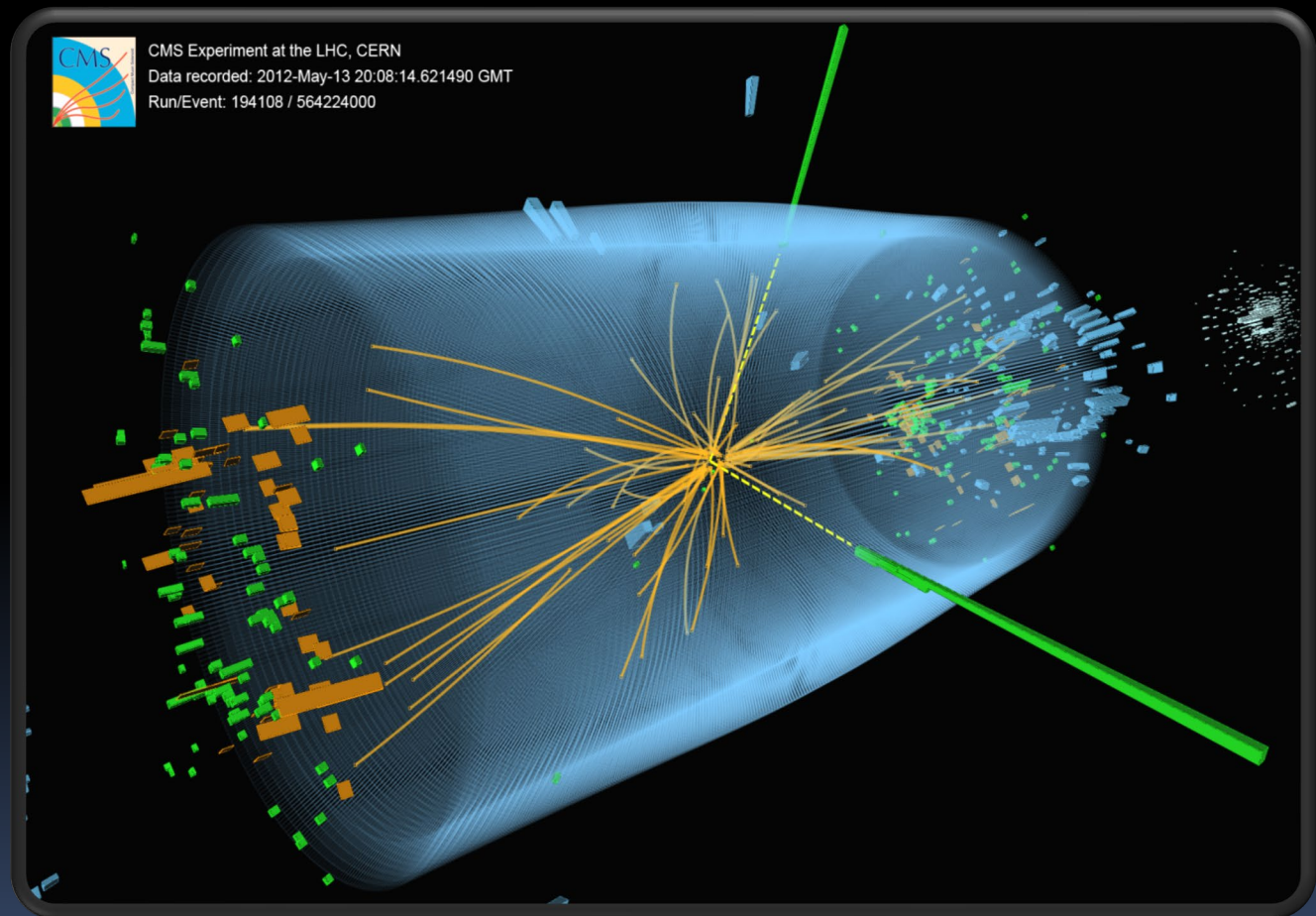


Encontrando o Higgs

Procuramos eventos como o abaixo:

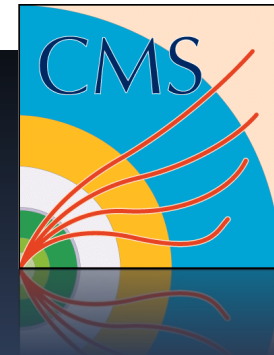
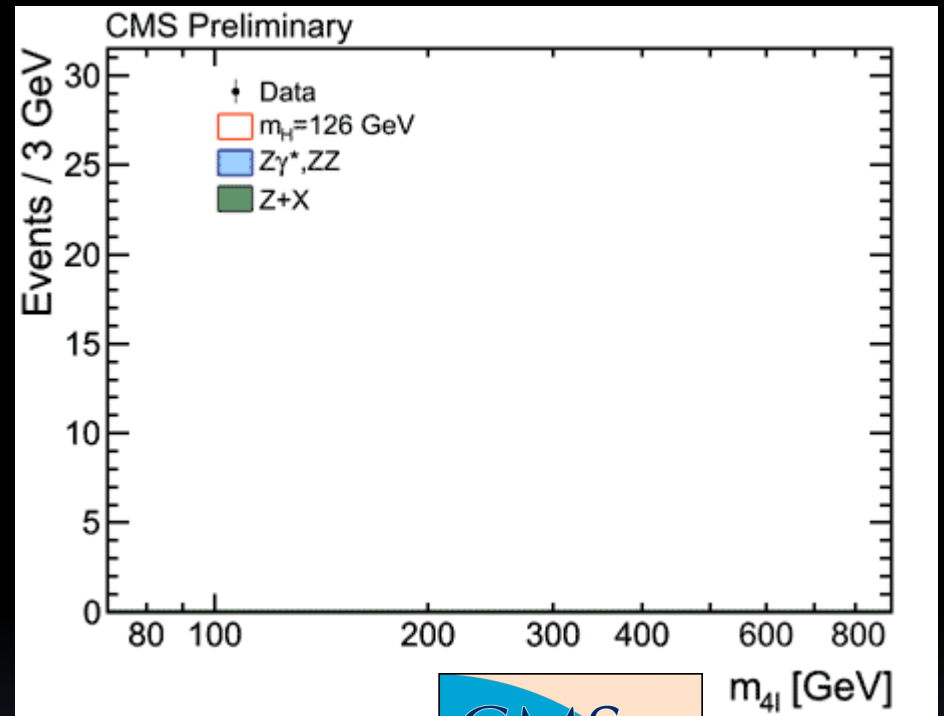
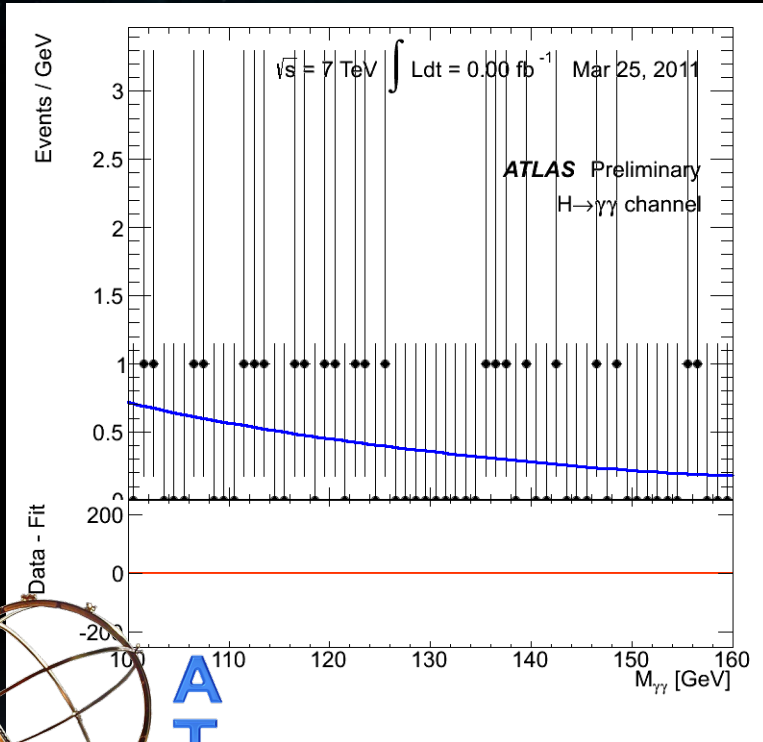


25/10/2018

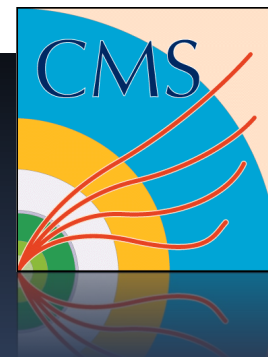
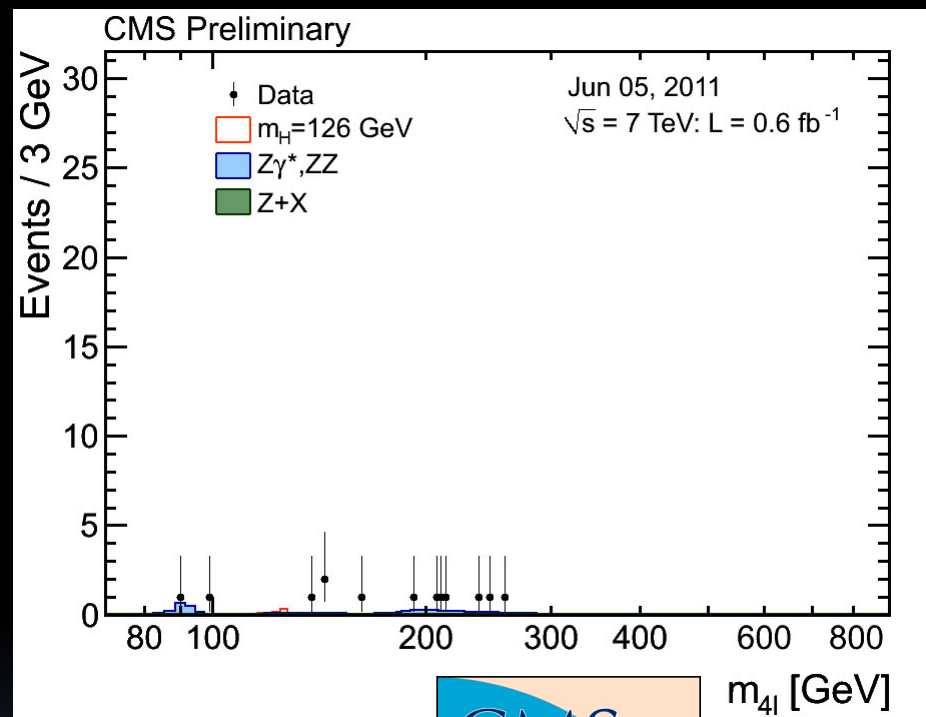
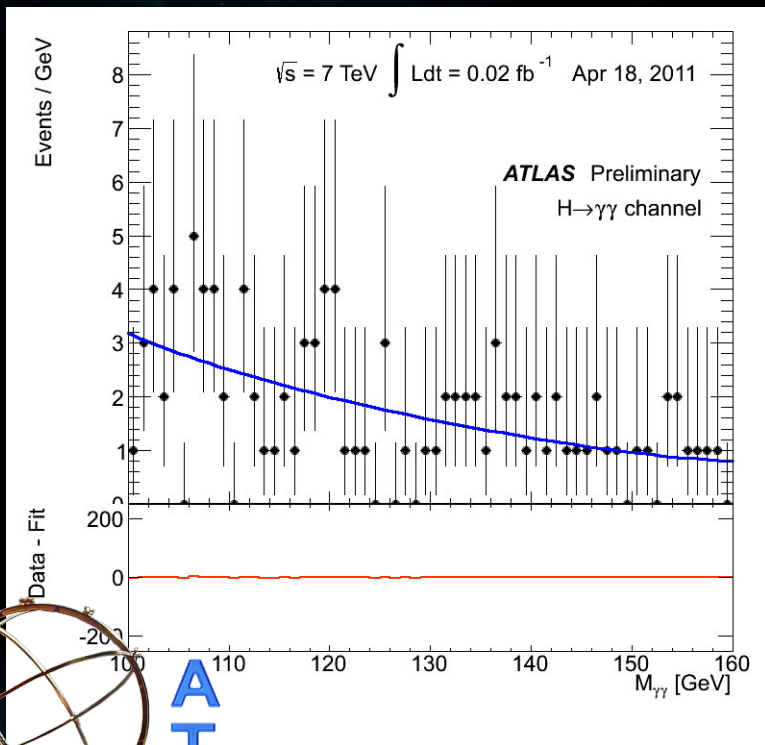


R.D.Matheus

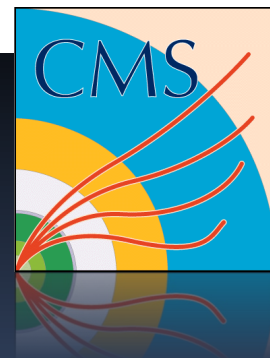
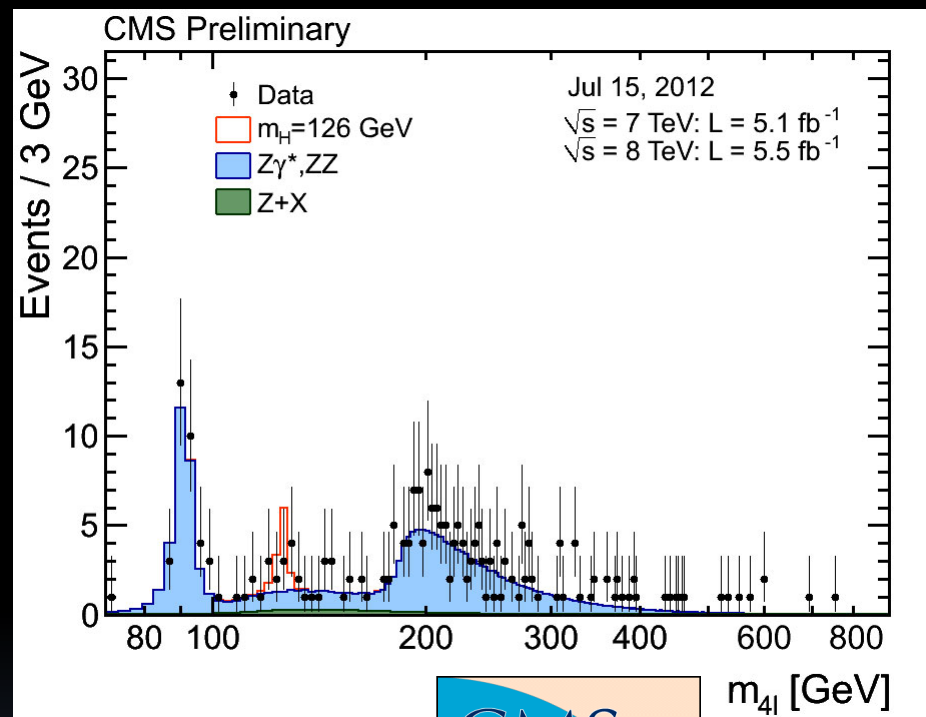
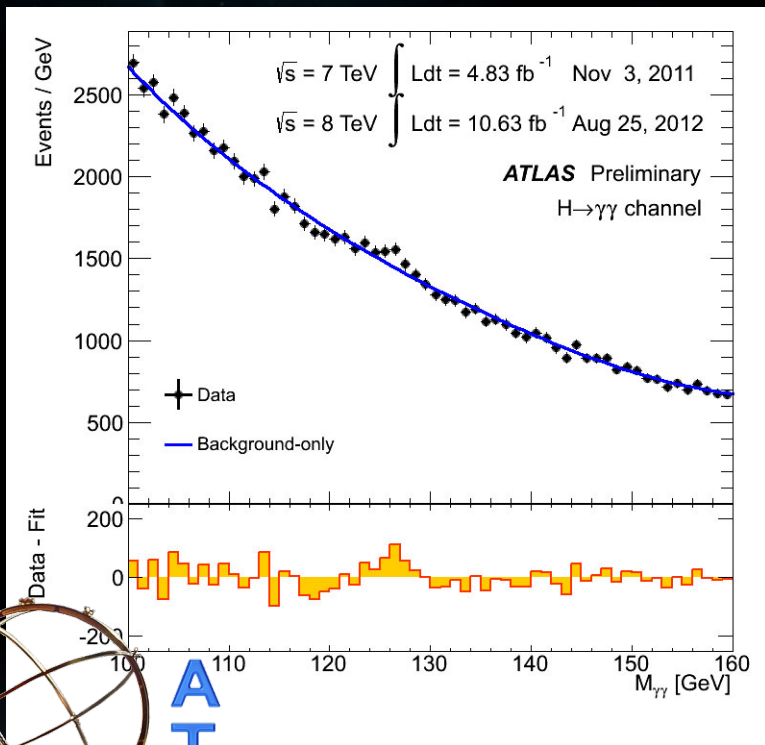
Encontrando o Higgs



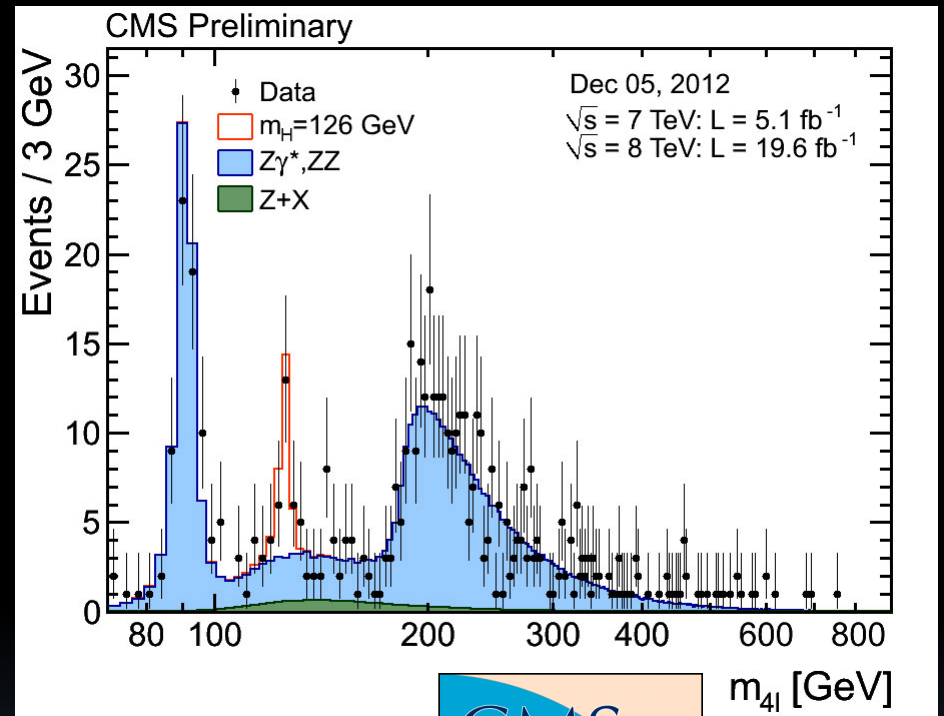
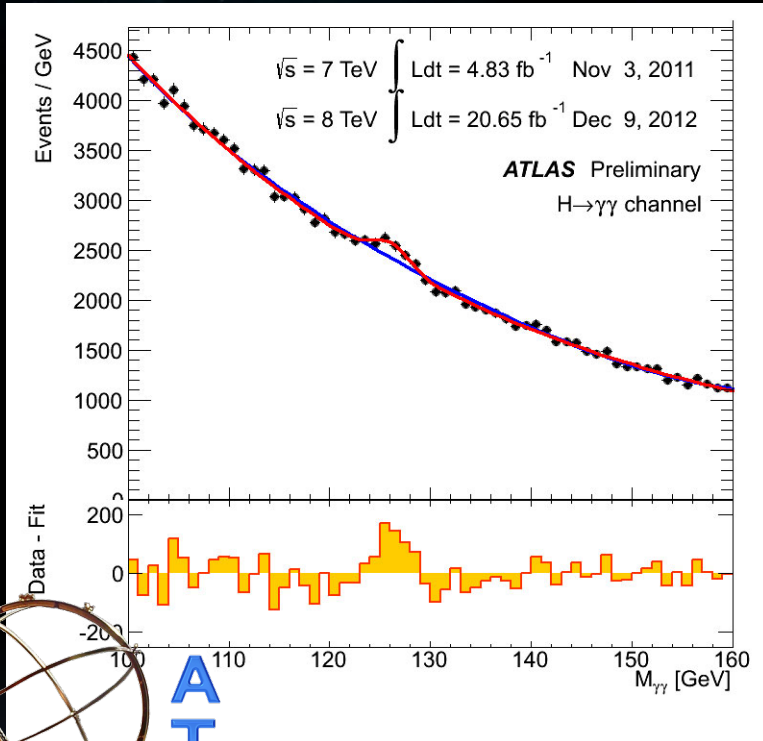
Encontrando o Higgs



Encontrando o Higgs

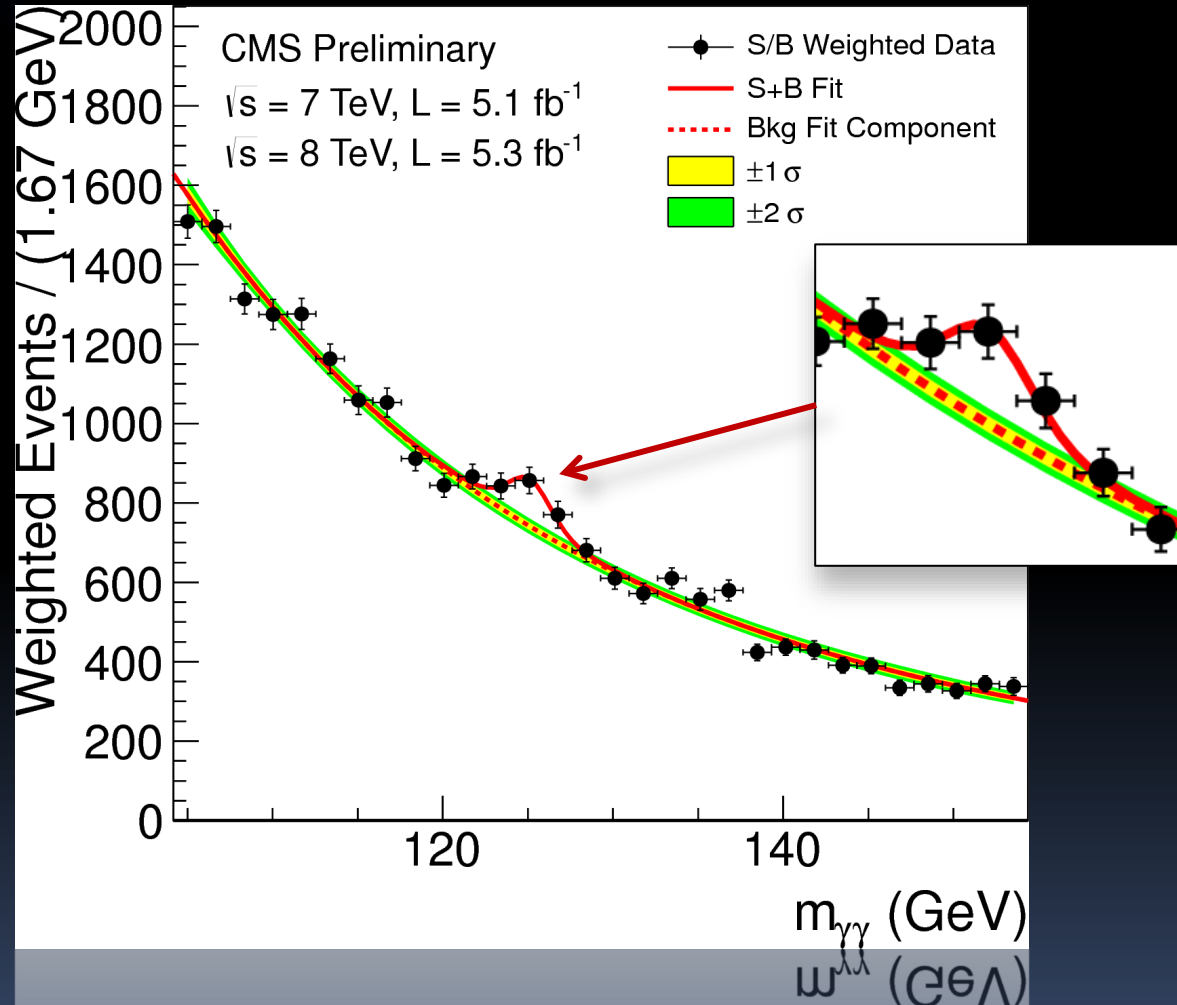
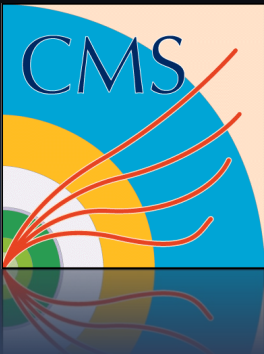
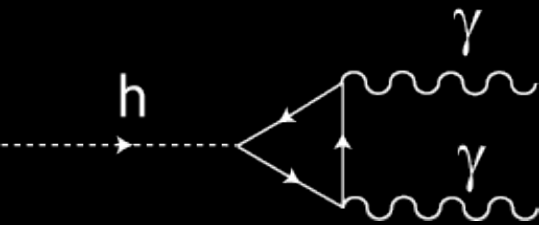


Encontrando o Higgs



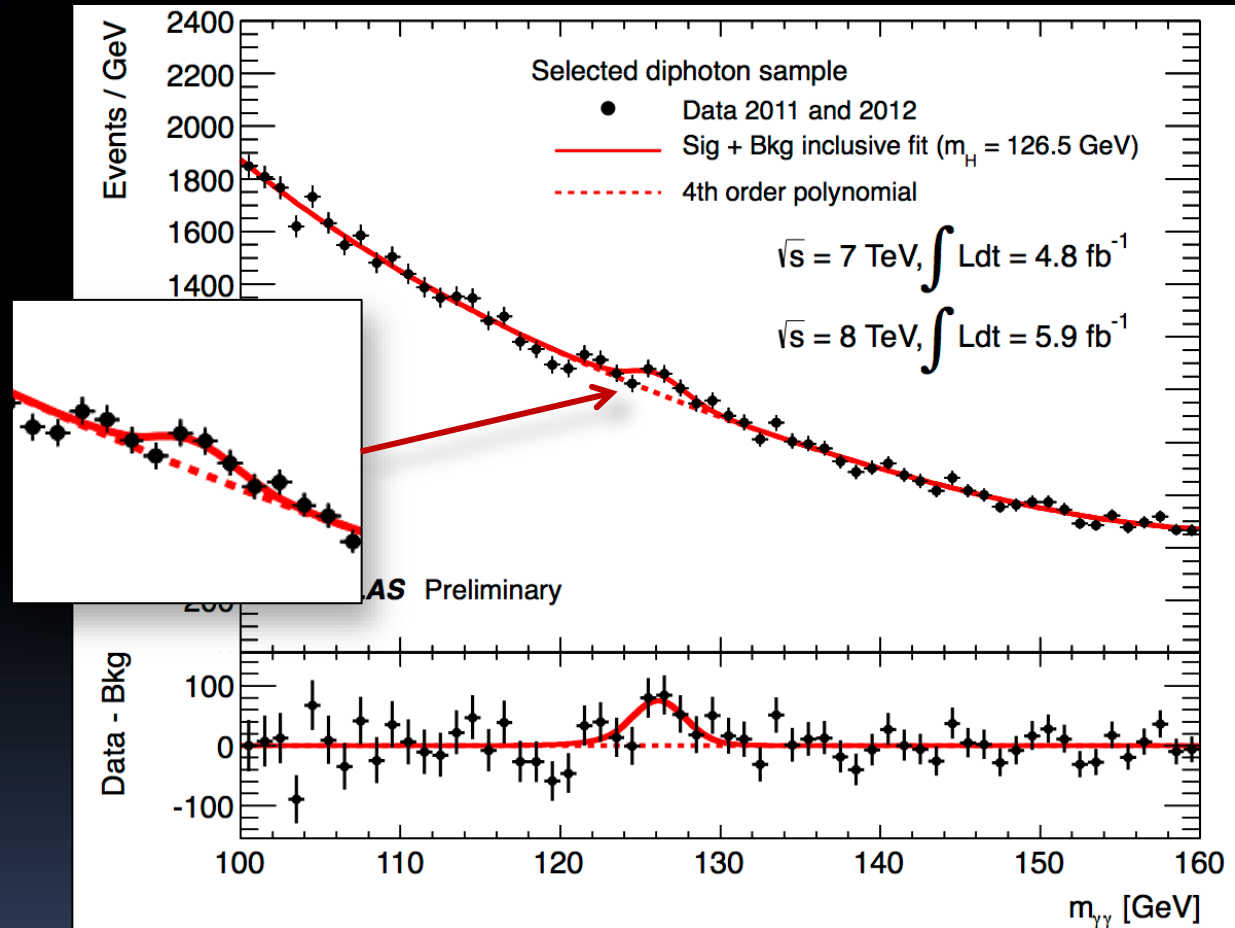
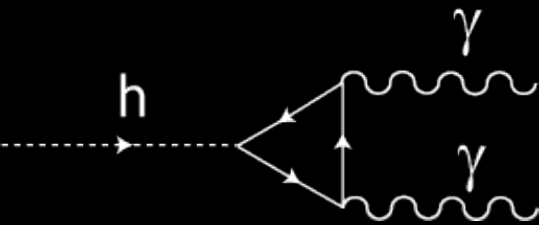
Encontrando o Higgs

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



Encontrando o Higgs

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



Fim de papo?

	Férmions			Bosons	
$Q = 2/3$	u up	c charm	t top	γ foton	
$Q = -1/3$	d down	s strange	b bottom	g gluon	
$Q = 0$	ν_e neutrino do elétron	ν_μ neutrino do mu	ν_τ neutrino do tau	Z boson Z	h boson de Higgs
$Q = -1$	e elétron	μ mu	τ tau	W bosons W	
	1ª geração	2ª geração	3ª geração		

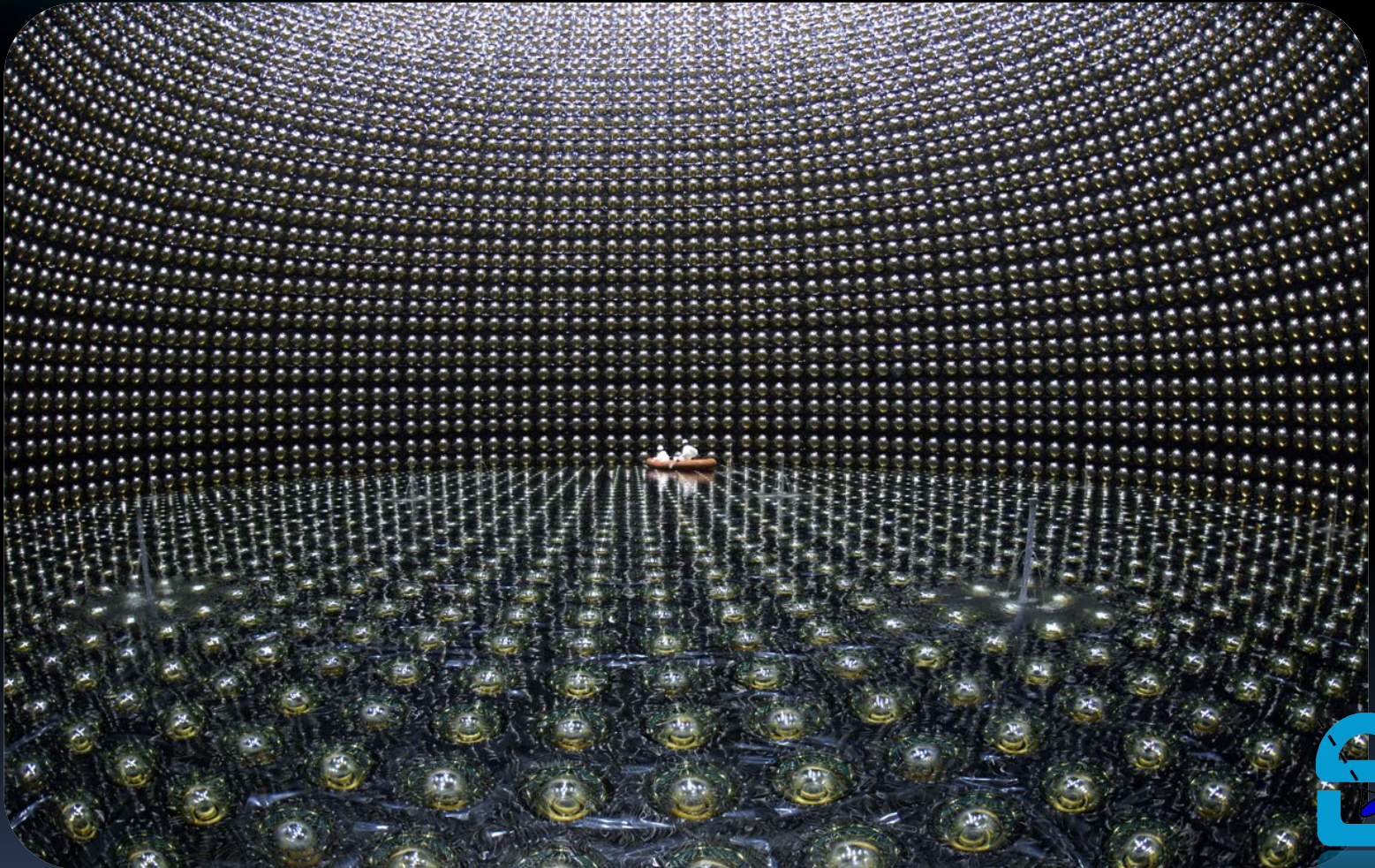
E agora?

Além de simplesmente querer explorar o “grande deserto”, há questões do próprio modelo padrão que não entendemos e coisas que ele não explica:

- O que gera a estrutura em famílias (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 ser bem mais pesado)
- Cadê a partícula da matéria escura?

Responder estas perguntas pode nos levar para
além do Modelo Padrão

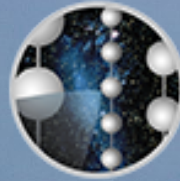
Procurando os “invisíveis”



Procurando os “invisíveis”



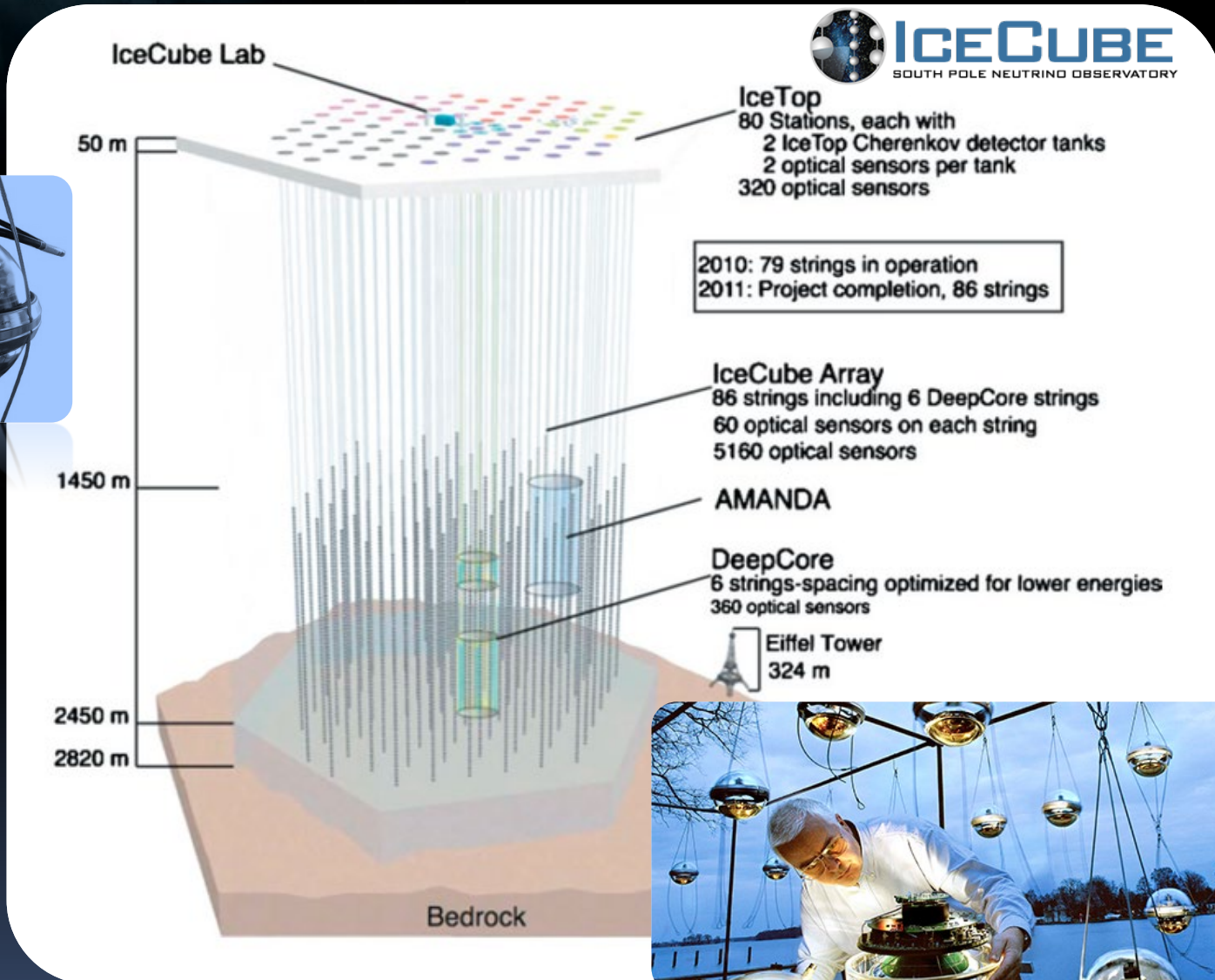
Procurando os “invisíveis”



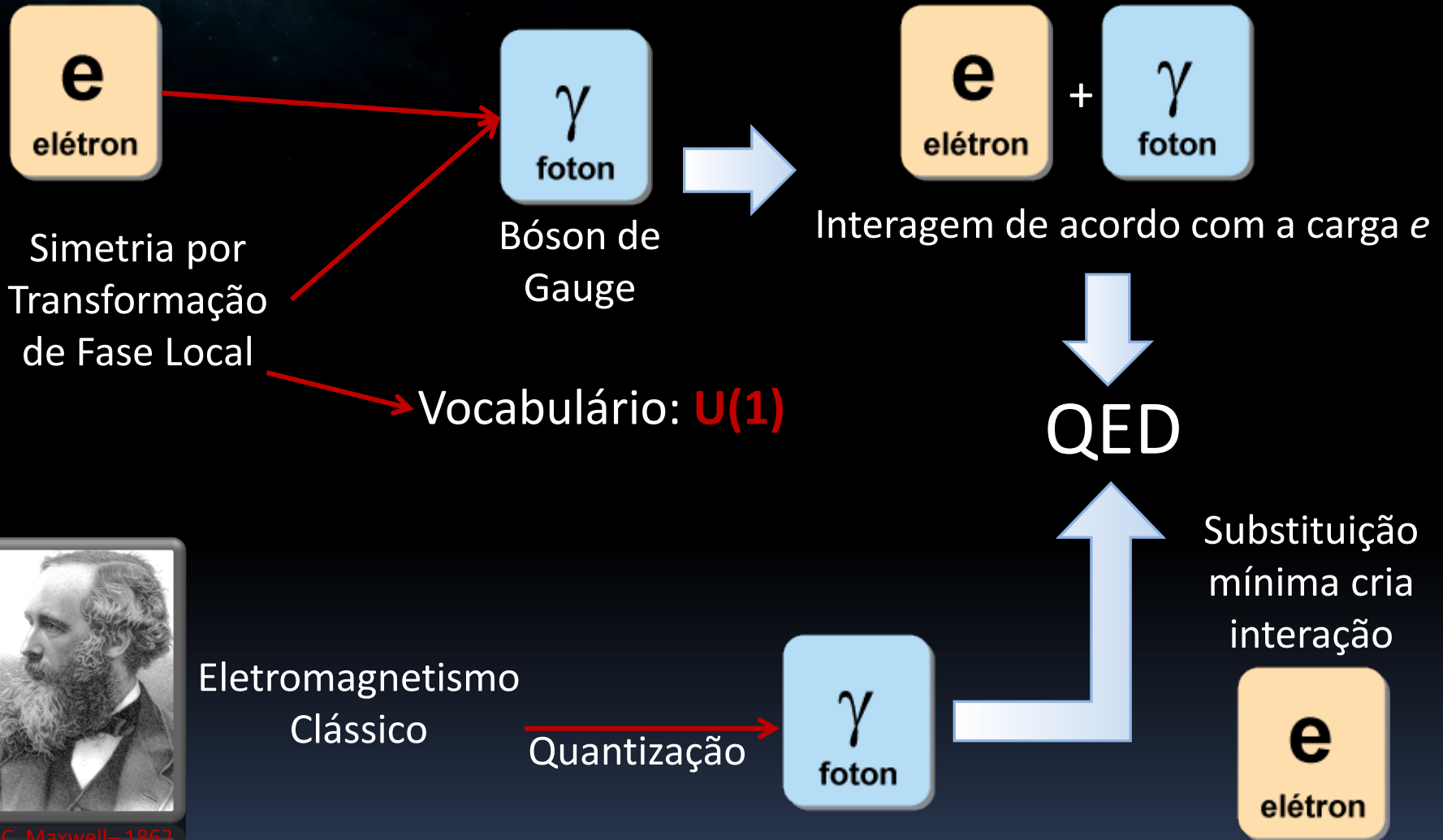
ICECUBE
SOUTH POLE NEUTRINO OBSERVATORY



Procurando os “invisíveis”



Eletrodinâmica Quântica (QED)



Cromodinâmica Quântica (QCD)



1963



G. Zweig



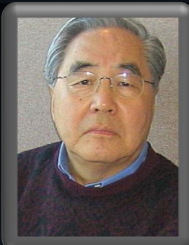
M. Gell-Mann

Simetria Local: **SU(3)**

1965



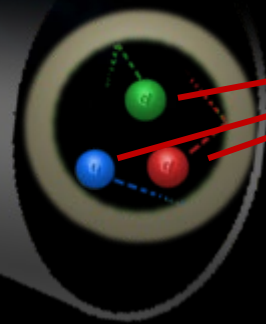
Y. Nambu



M-Y Han



O.W. Greenberg



Quarks

Qual força os mantém unidos?

Têm cargas de SU(3)

u
up

d
down

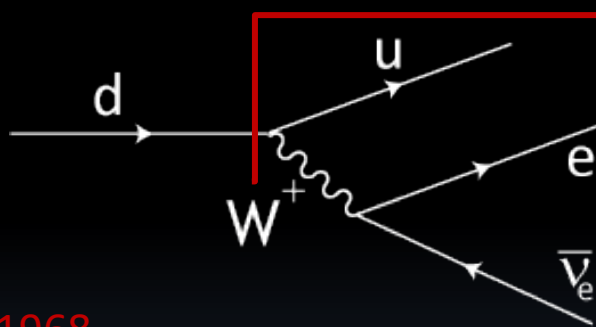
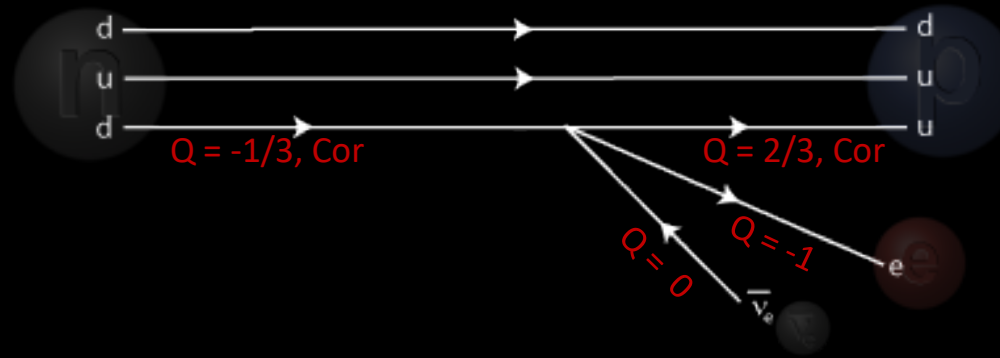
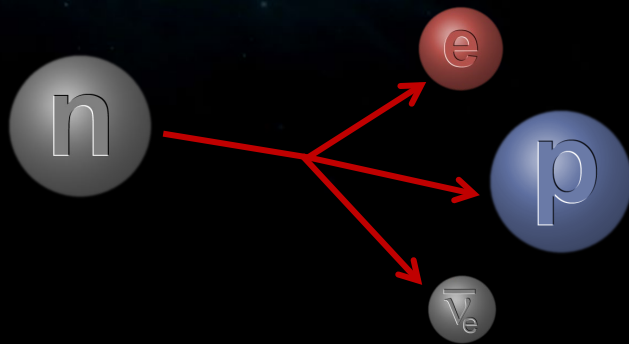
s
strange

Bóson de Gauge
de SU(3)

g
gluon

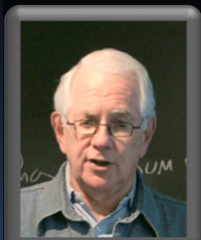
Teoria Eletrofraca (GWS)

Decaimento Beta:



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

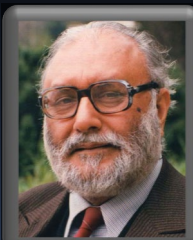
1968



Glashow



Weinberg

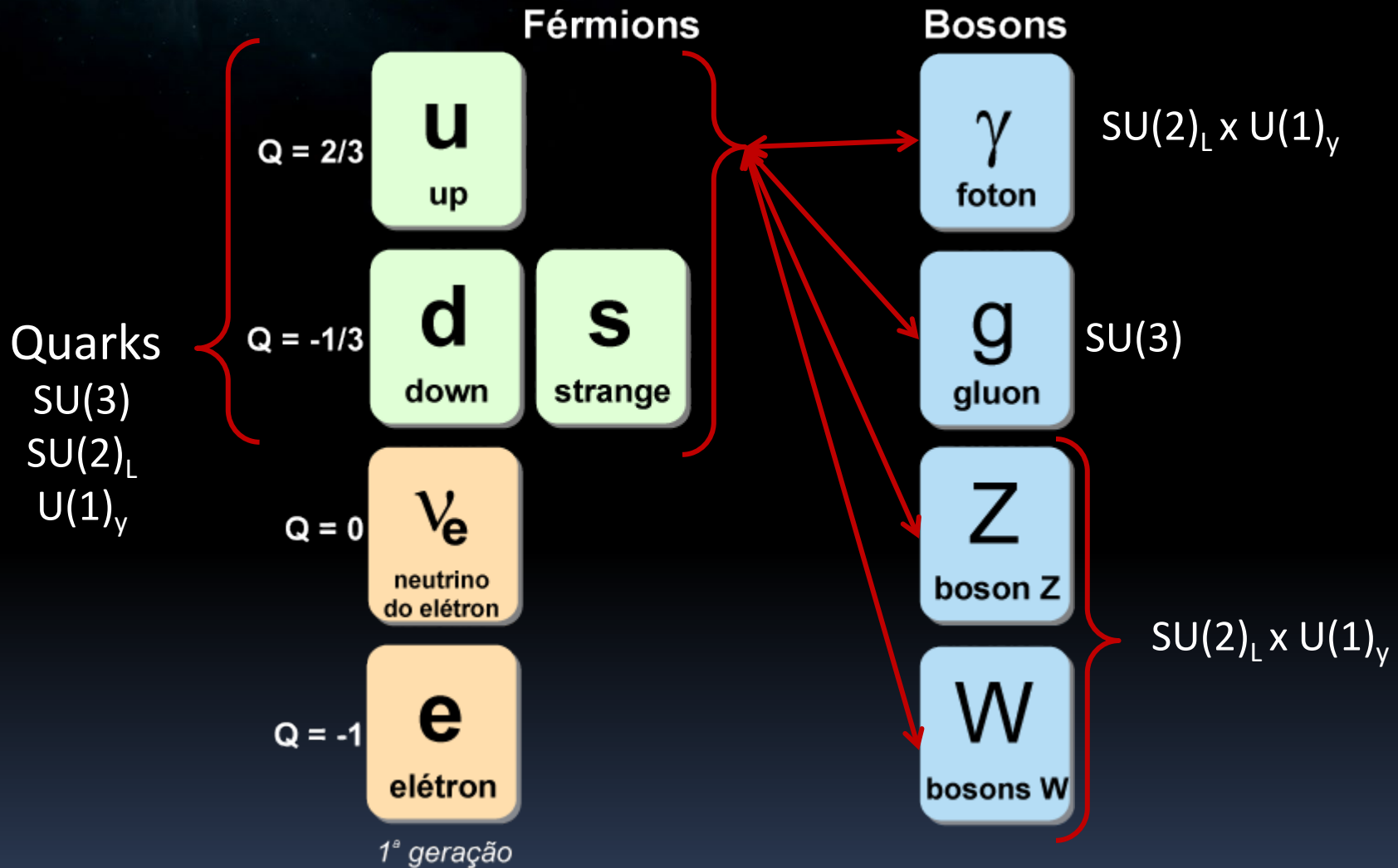


Salan

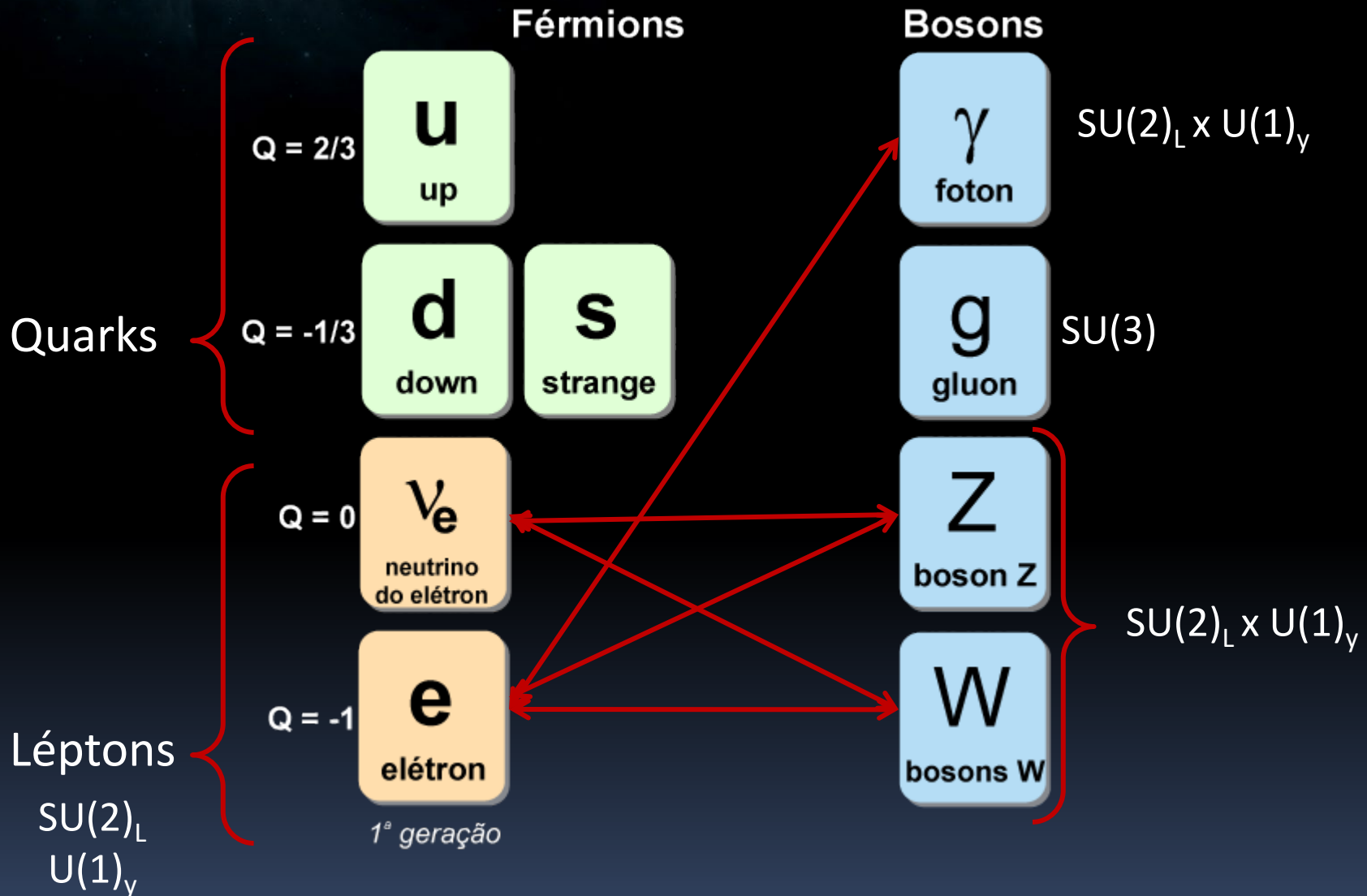
Bósons de Gauge de
 $SU(2)_L \times U(1)_Y$



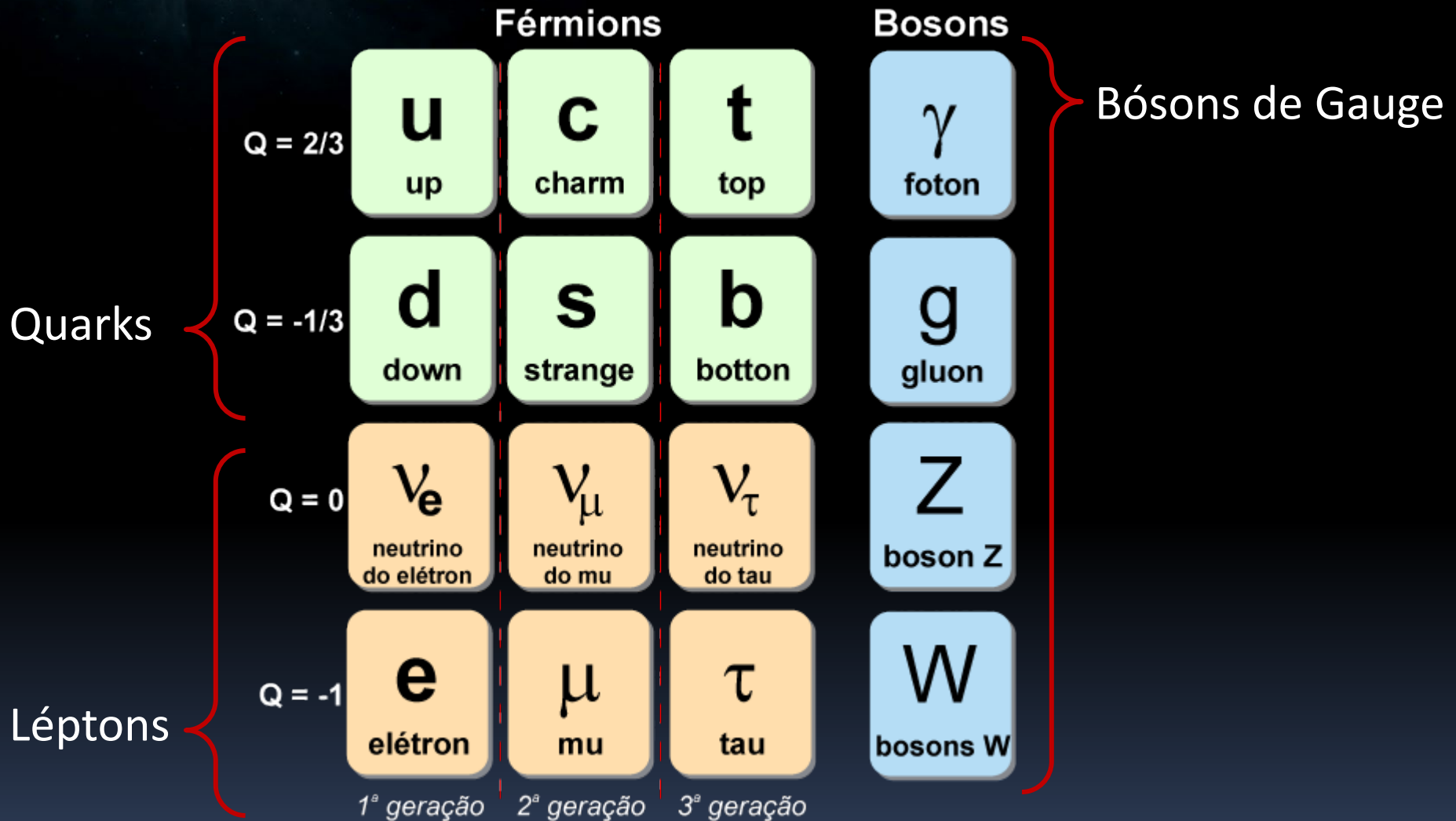
O Modelo Padrão



O Modelo Padrão



O Modelo Padrão



O Modelo Padrão

	Férmions			Bosons	
$Q = 2/3$	u up	c charm	t top	γ foton	
$Q = -1/3$	d down	s strange	b botton	g gluon	
$Q = 0$	ν_e neutrino do elétron	ν_μ neutrino do mu	ν_τ neutrino do tau	Z boson Z	h boson de Higgs
$Q = -1$	e elétron	μ mu	τ tau	W bosons W	
	1ª geração	2ª geração	3ª geração		

Propriedades do Higgs

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

CMS preliminary

$VH \rightarrow b\bar{b}$ CMS HIG-12-044

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

$H \rightarrow \tau\tau$ CMS HIG-13-004

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

$H \rightarrow \gamma\gamma$ CMS HIG-13-001

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

$H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4l$ CMS HIG-13-002

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

$H \rightarrow WW^{(*)} \rightarrow 2l2\nu$ 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

$m_H = 125.5 \text{ GeV}$

$W, Z H \rightarrow b\bar{b}$

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

$H \rightarrow \tau\tau$

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

$H \rightarrow WW^{(*)} \rightarrow l\nu l\nu$

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

$H \rightarrow \gamma\gamma$

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

$H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4l$

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

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 (μ)



ATLAS