Introducción a la Física Experimental de Partículas

Luis Roberto Flores Castillo

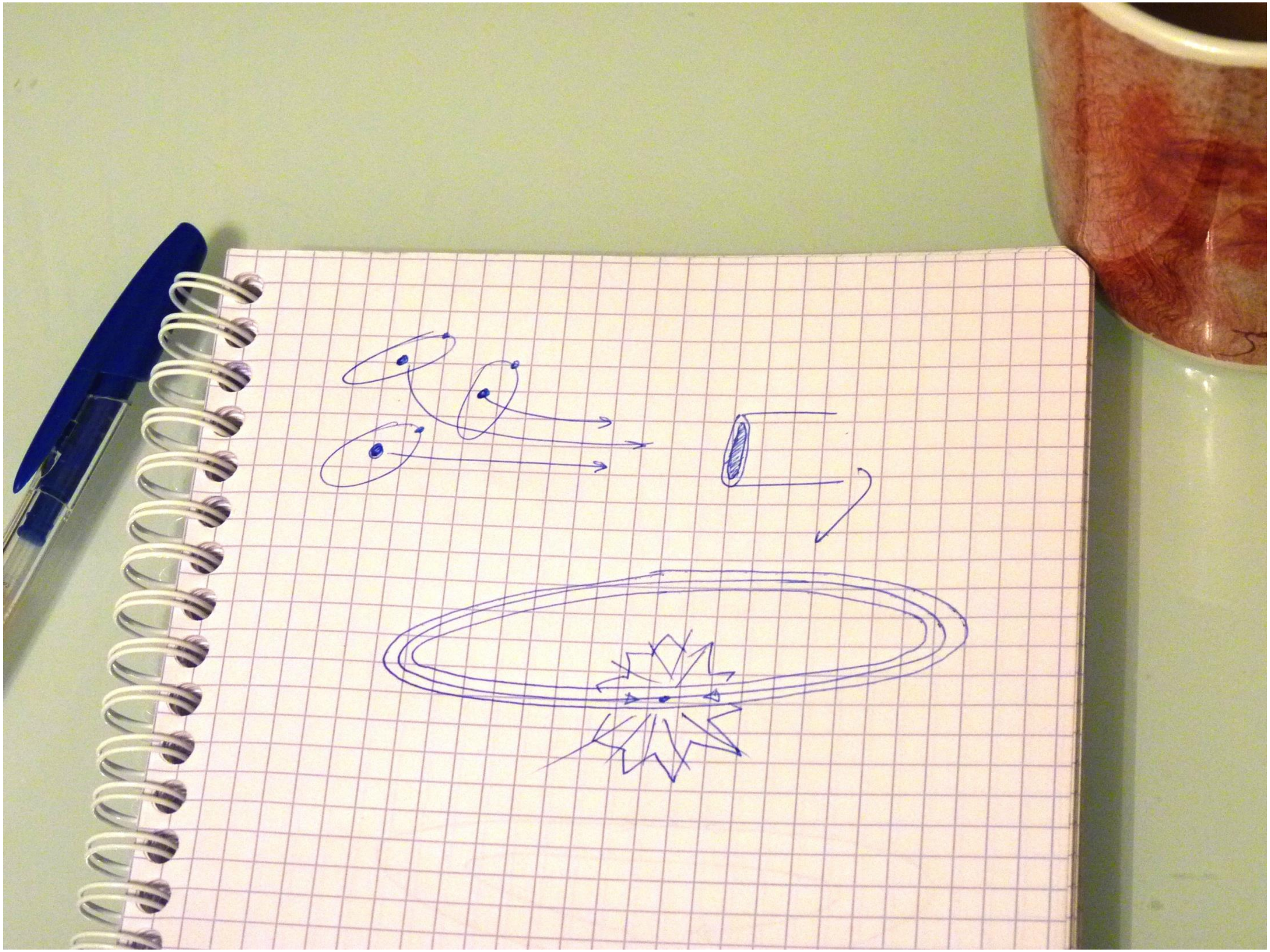
The Chinese University of Hong Kong

Spanish Language Teacher Program

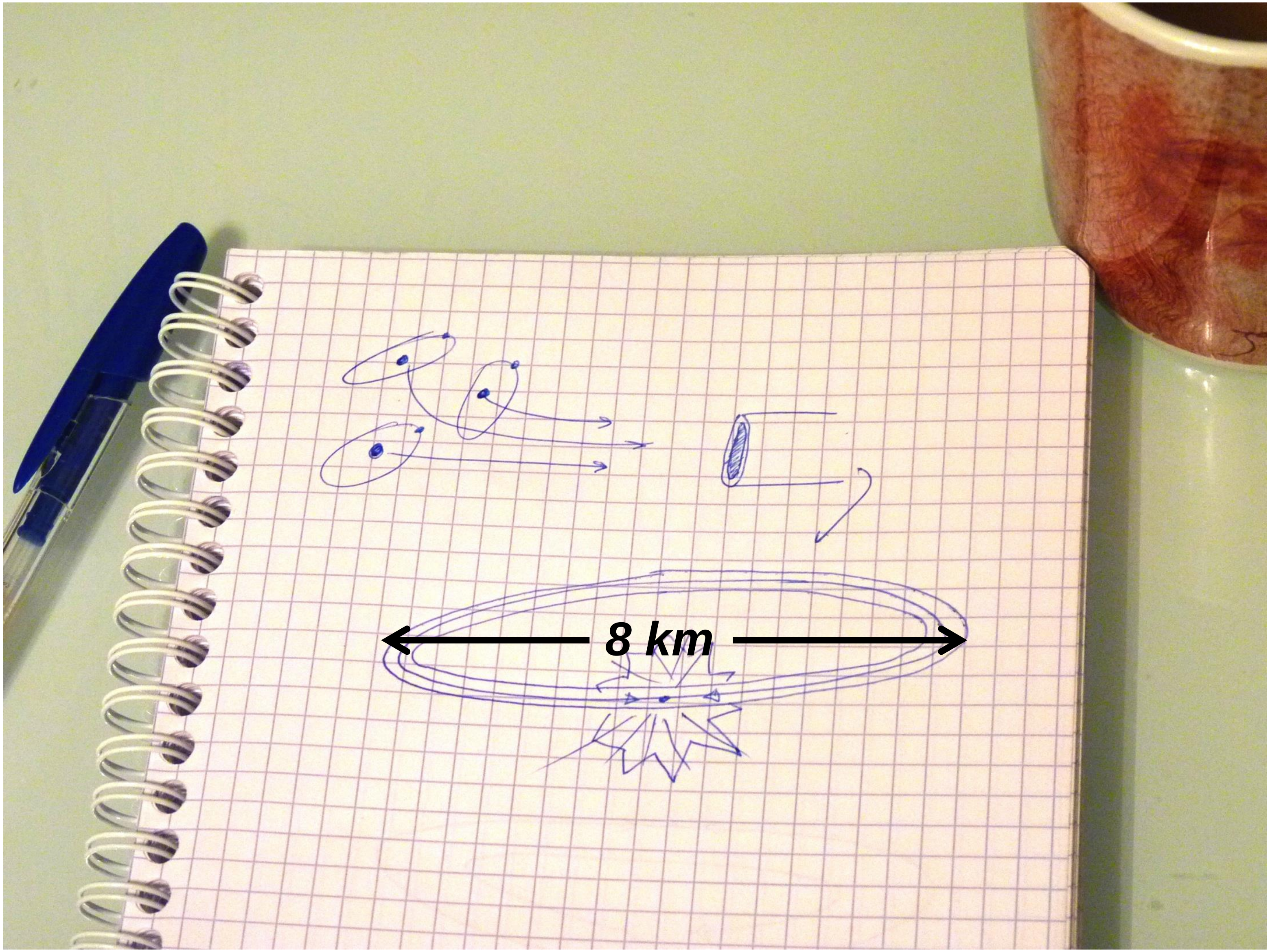
CERN

July 30, 2018

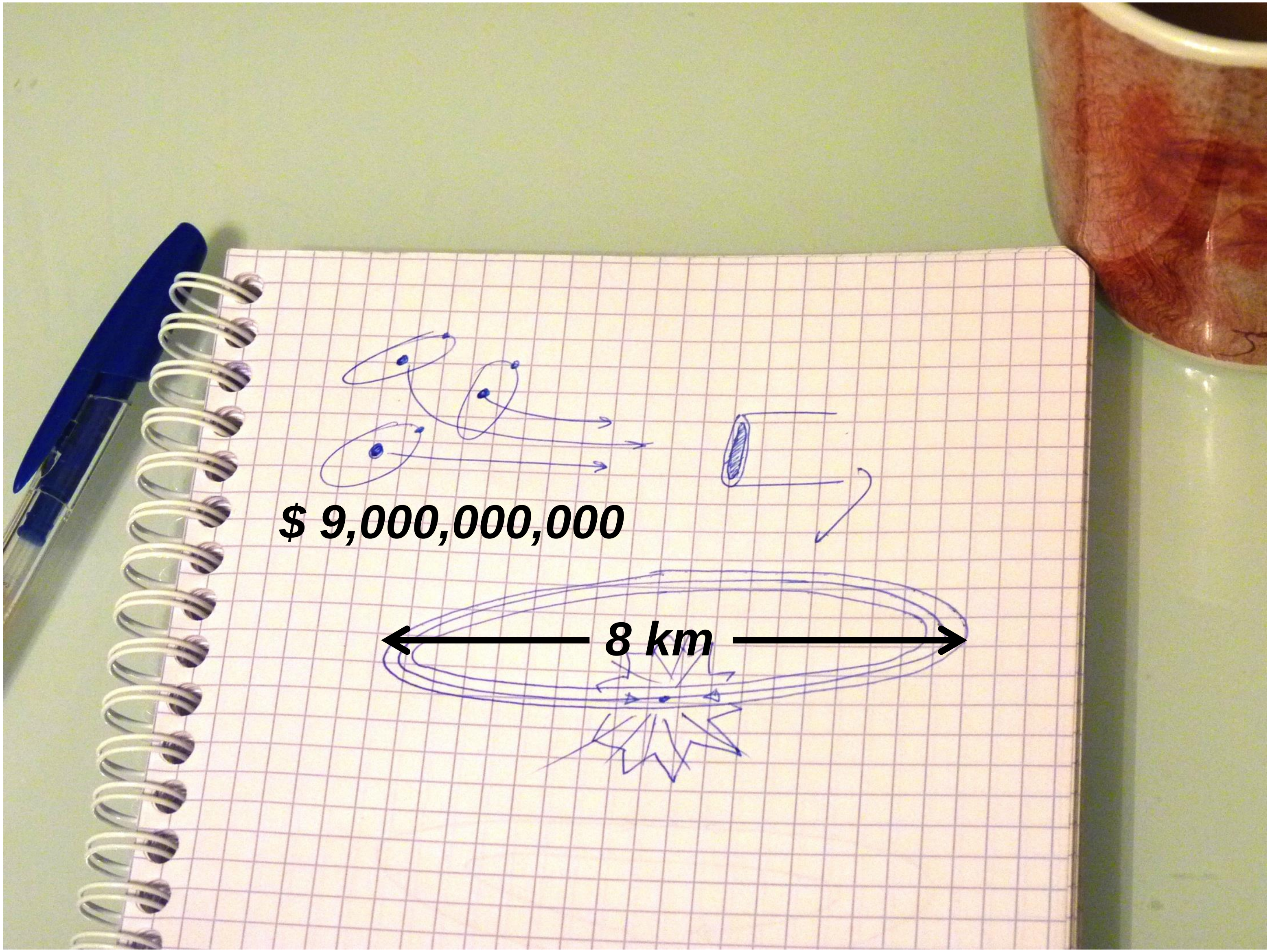
Soñando en grande



Soñando en grande



Soñando en grande

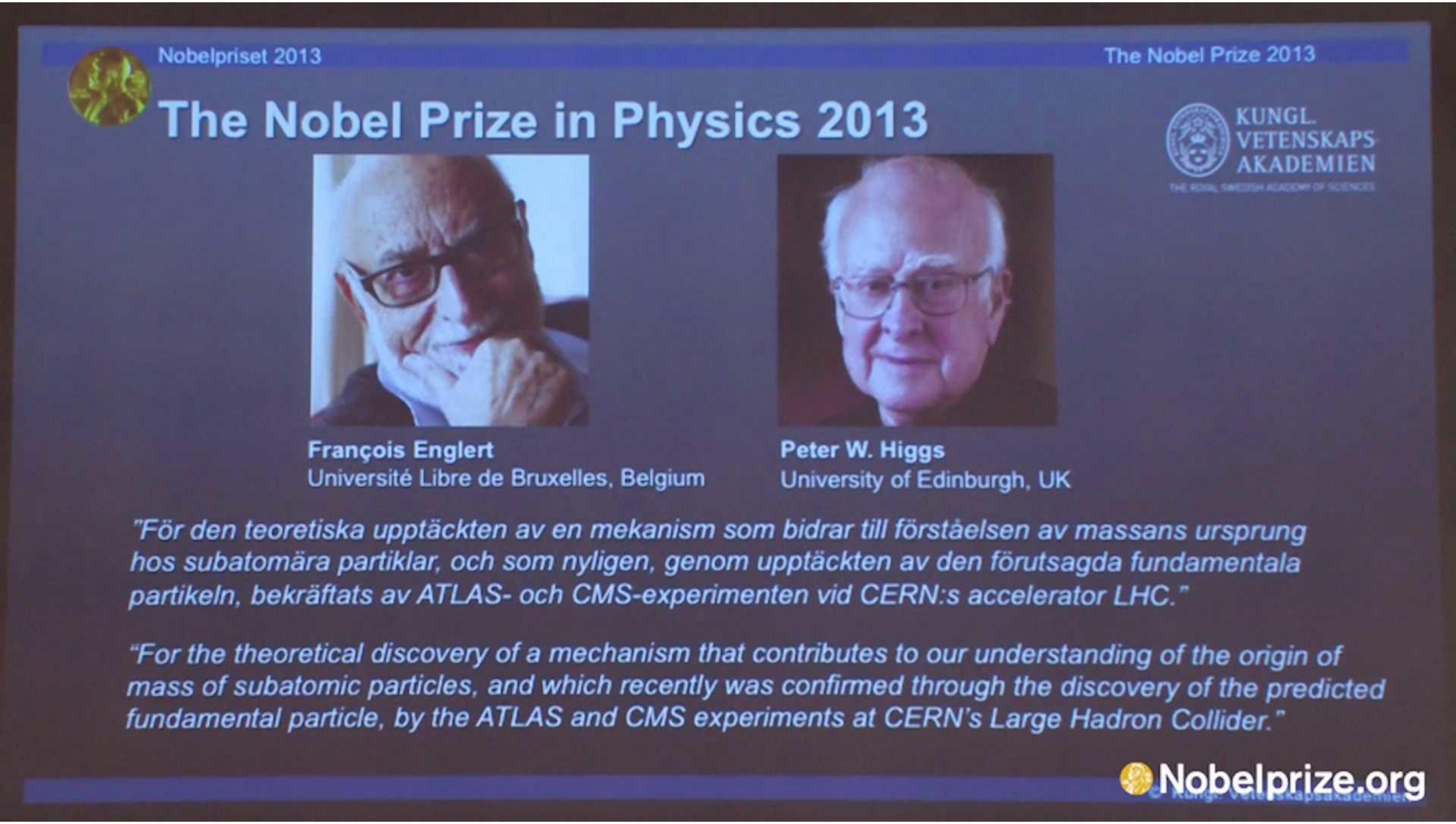


Soñando en grande

4 de Julio de 2012

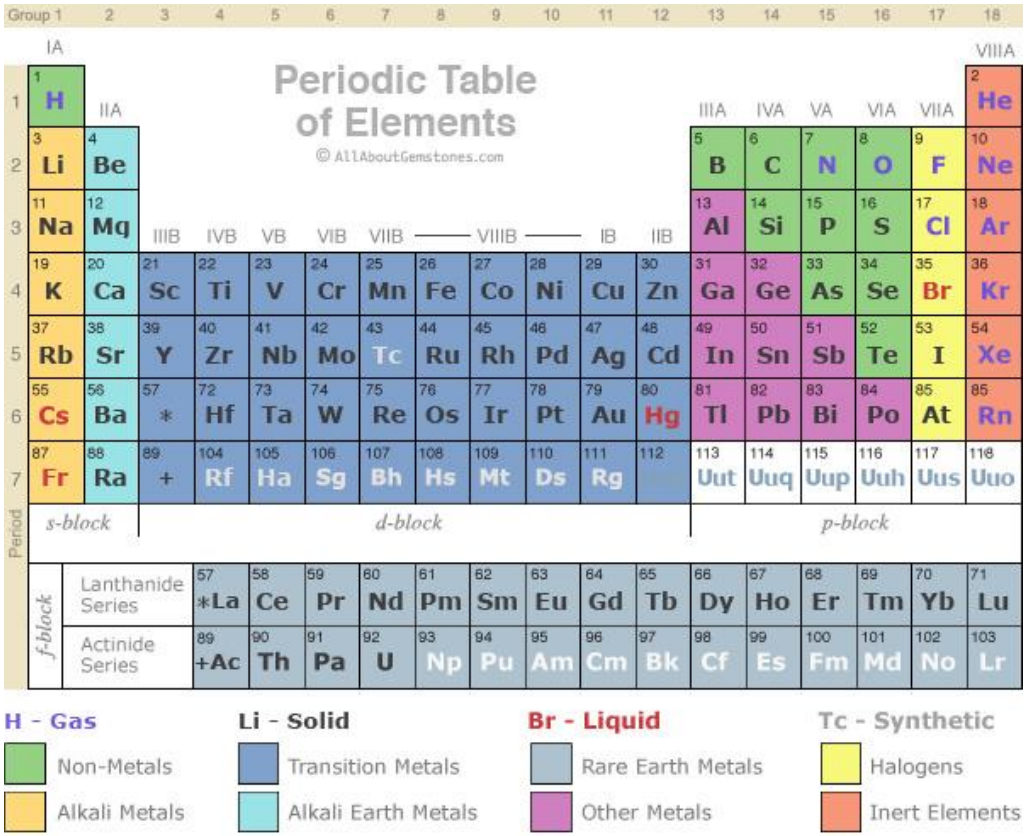
"I think we have it" – Rolf Heuer, Director General de CERN

8 de octubre de 2013



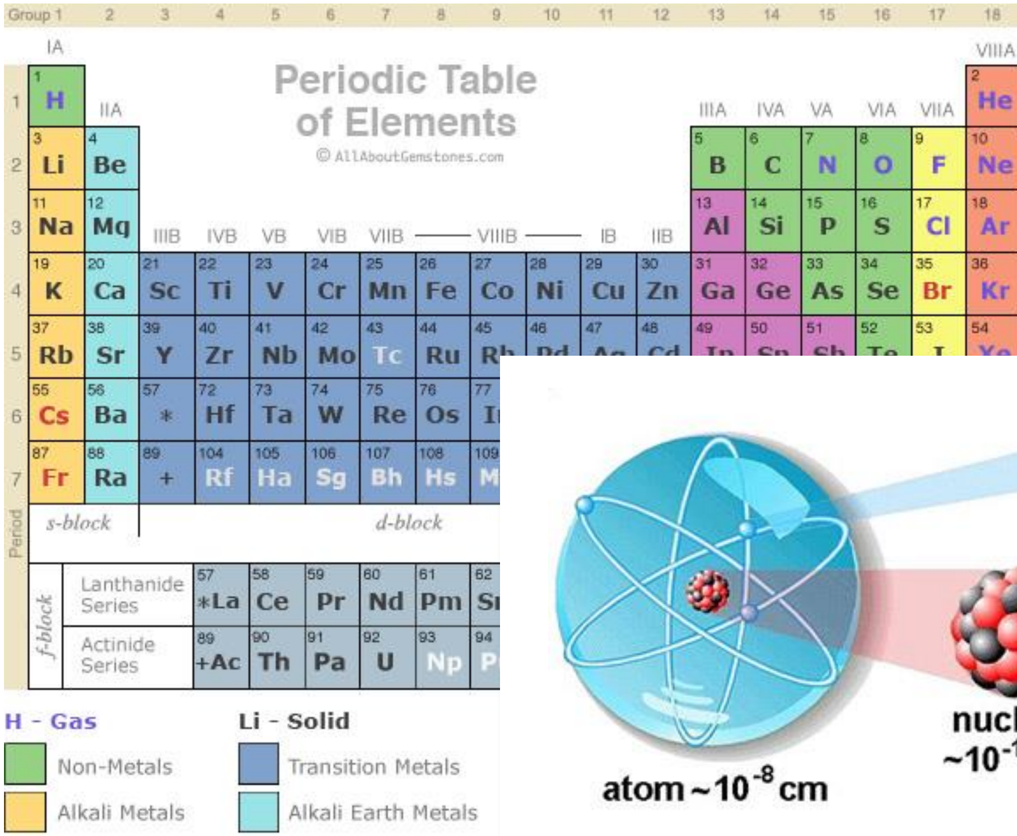
Piezas fundamentales

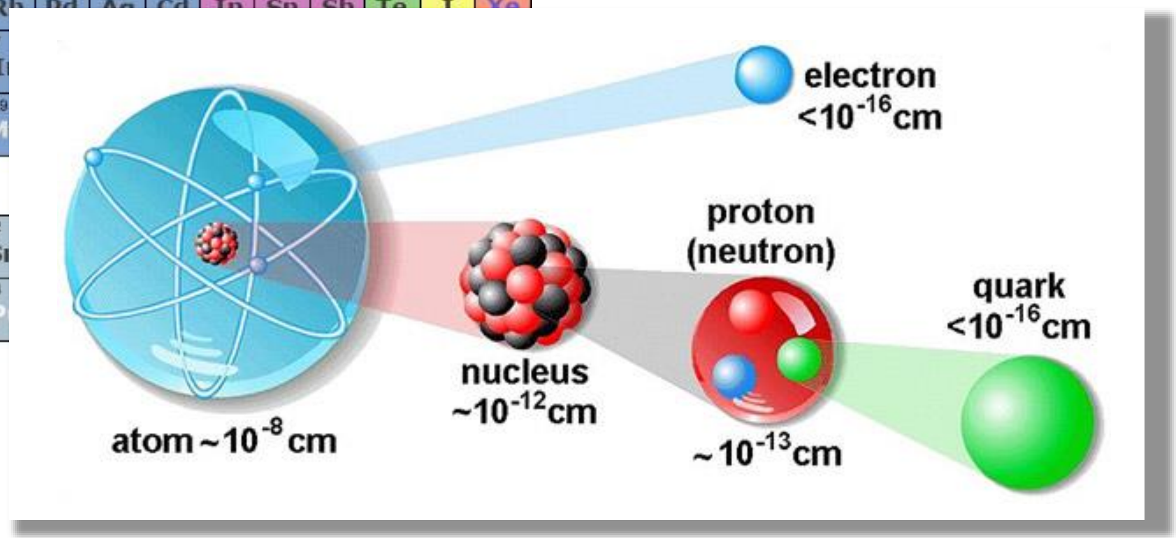
¿Piezas fundamentales?



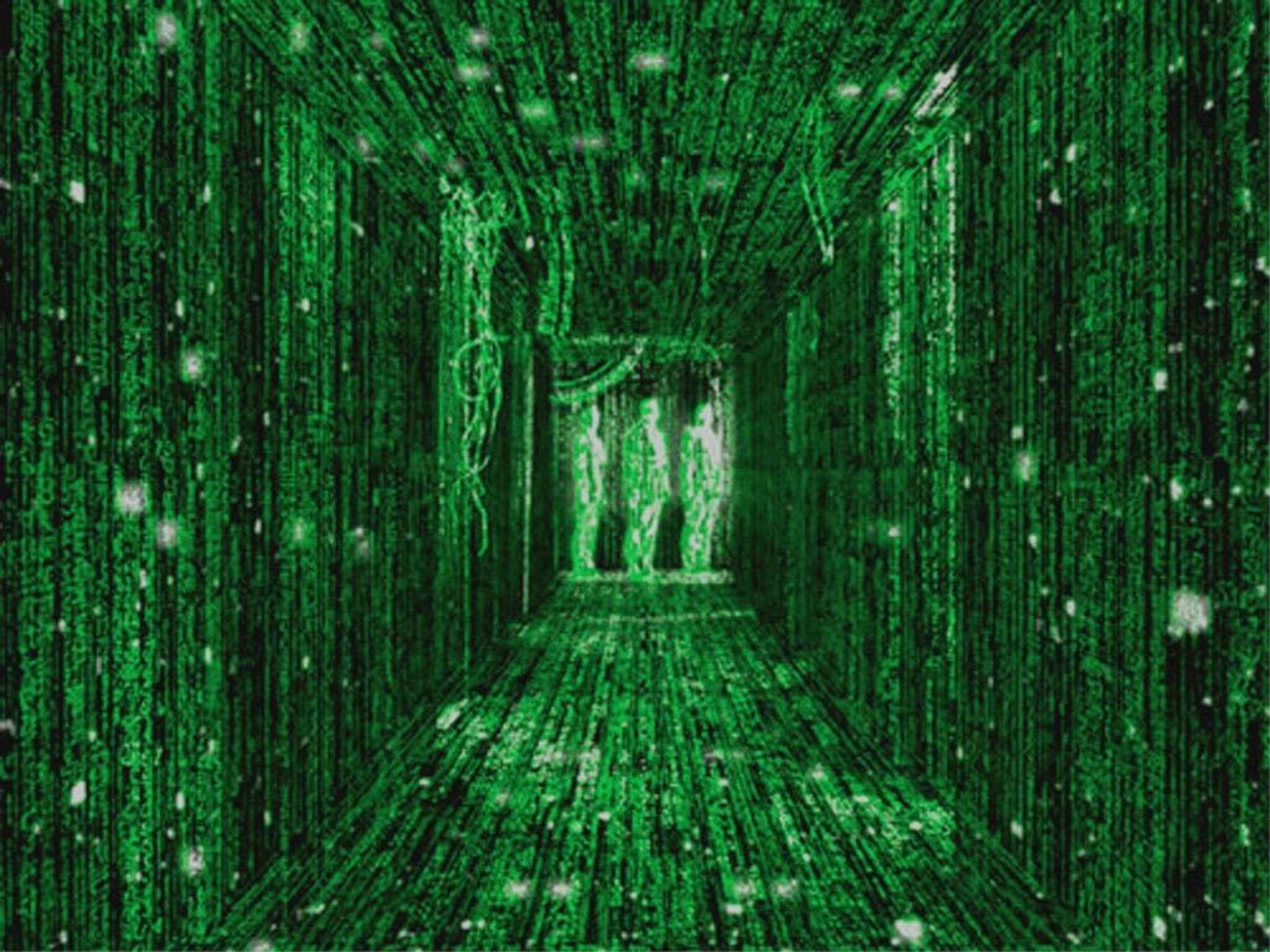
- ~1869, Mendeleyev publicó “Principios de la química”
- Toda esa complejidad a partir de ~100 “elementos”

¿Piezas fundamentales?





… pero todos ellos son combinaciones de TRES partículas.

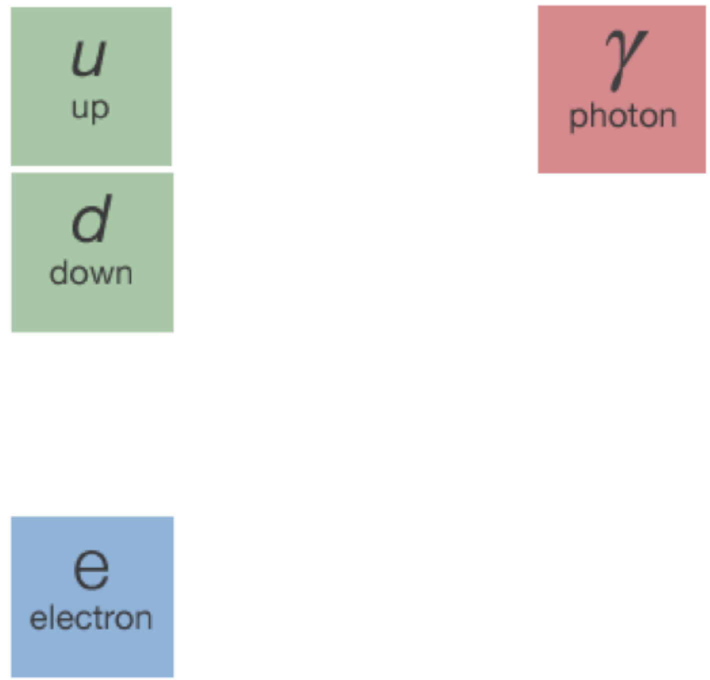


Piezas fundamentales

- Además de esas tres, …

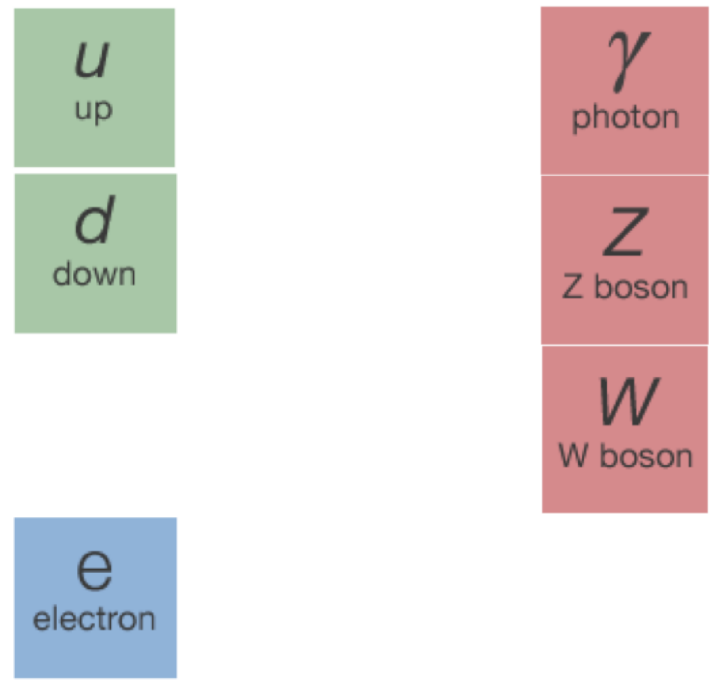
Piezas fundamentales

- Además de esas tres, …



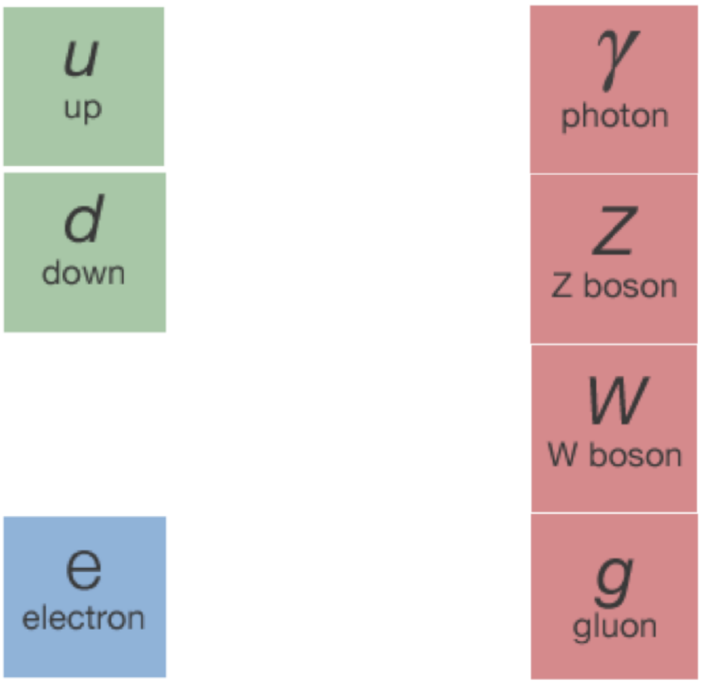
Piezas fundamentales

- Además de esas tres, …



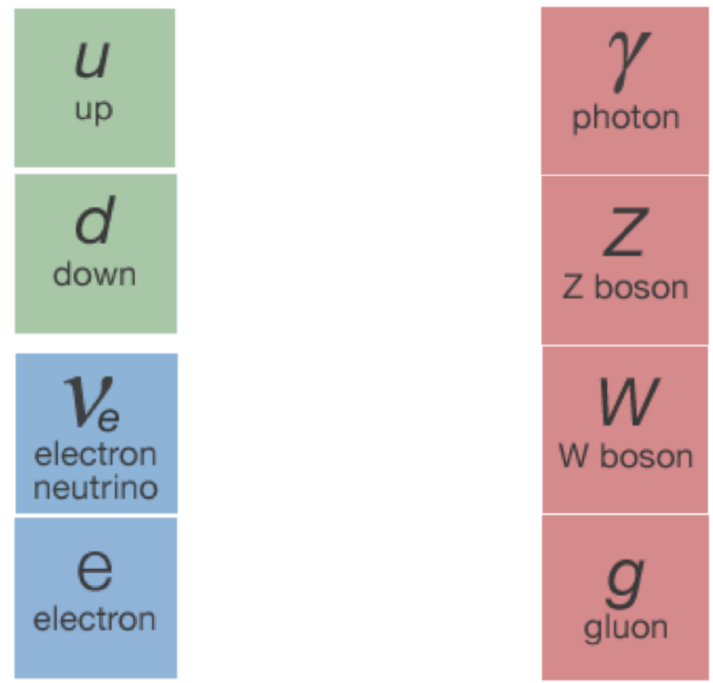
Piezas fundamentales

- Además de esas tres, …



Piezas fundamentales

- Además de esas tres, …



Piezas fundamentales

- Además de esas tres, …

	Carga
u up	+2/3
d down	-1/3
ν_e electron neutrino	0
e electron	-1

γ photon

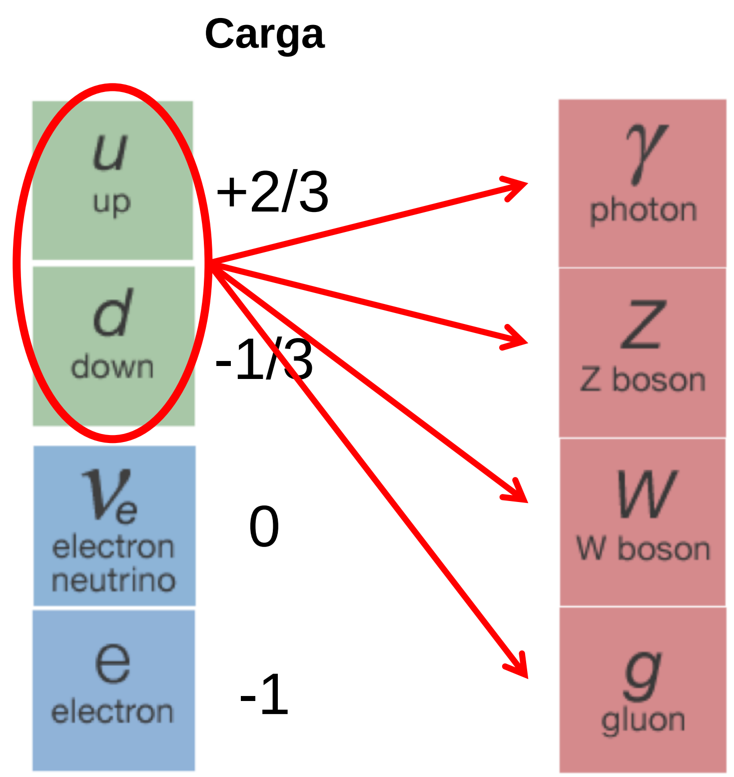
Z Z boson

W W boson

g gluon

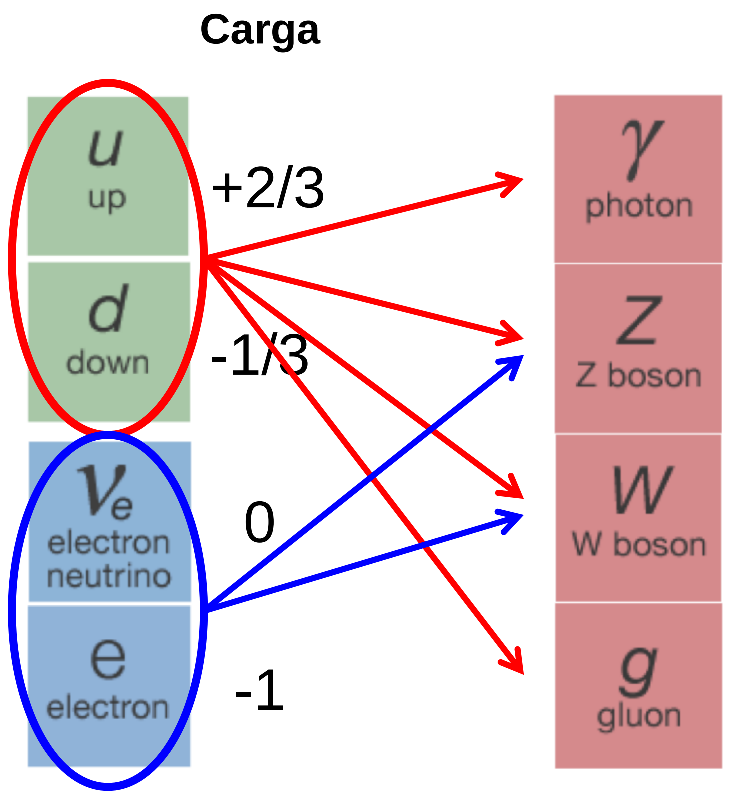
Piezas fundamentales

- Además de esas tres, …



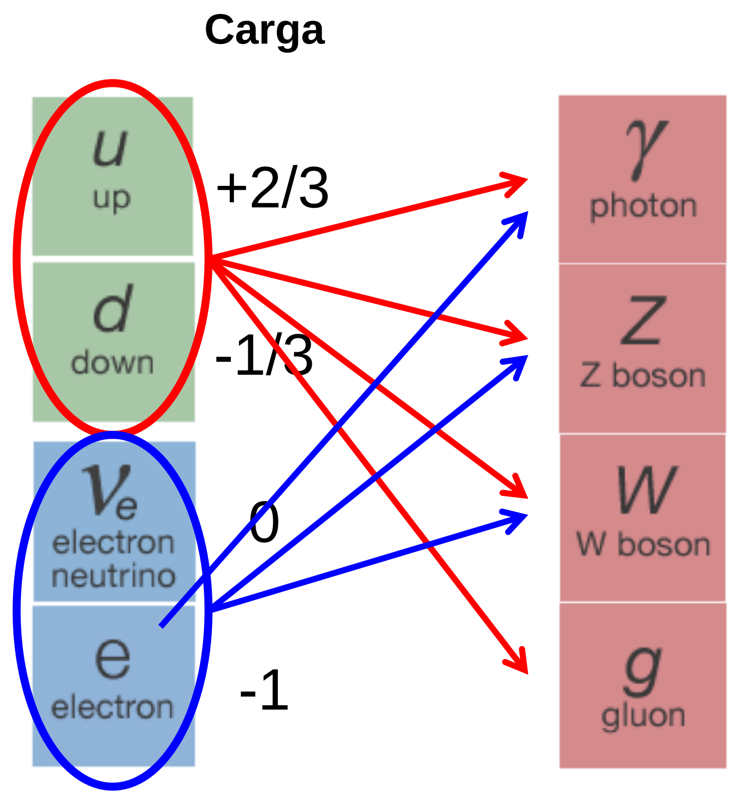
Piezas fundamentales

- Además de esas tres, …



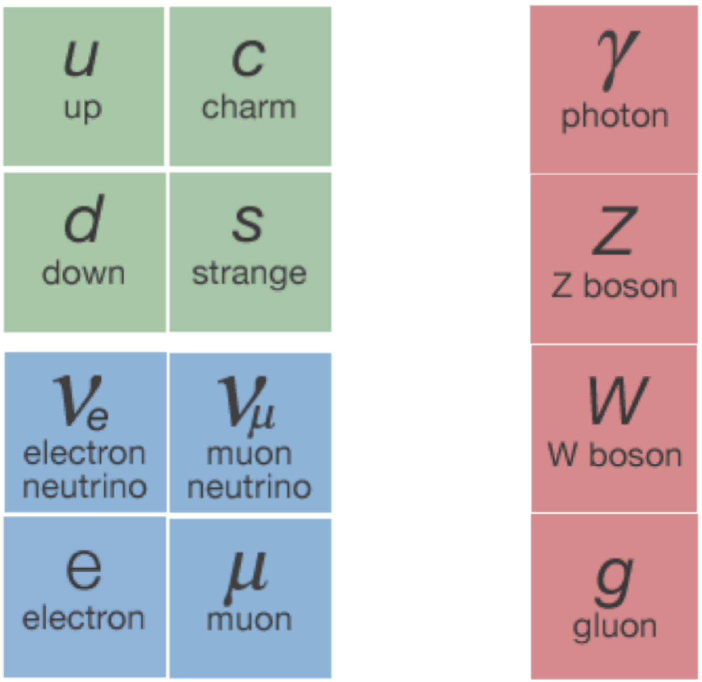
Piezas fundamentales

- Además de esas tres, …



Piezas fundamentales

- Además de esas tres, …



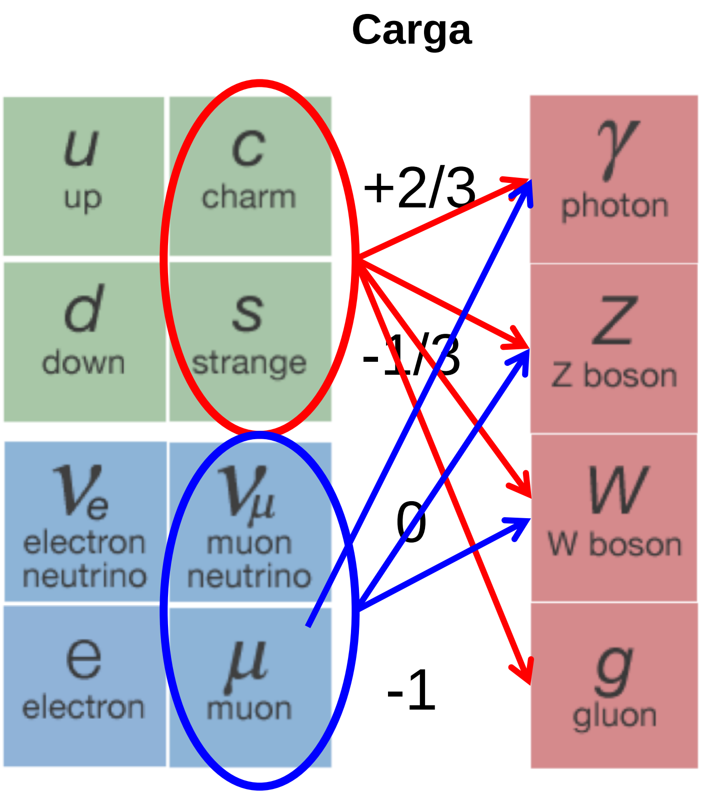
Piezas fundamentales

- Además de esas tres, …

		Carga	
u up	c charm	+2/3	γ photon
d down	s strange	-1/3	Z Z boson
ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	0	W W boson
e electron	μ muon	-1	g gluon

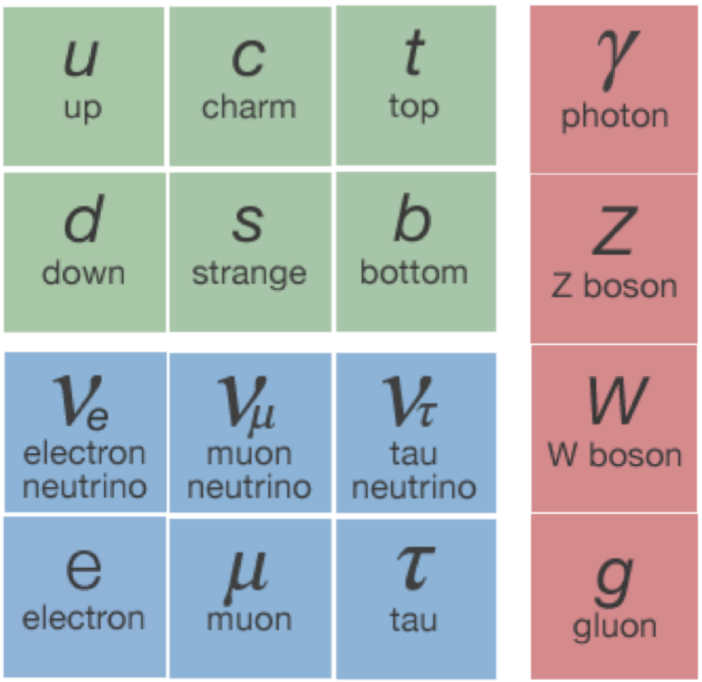
Piezas fundamentales

- Además de esas tres, …



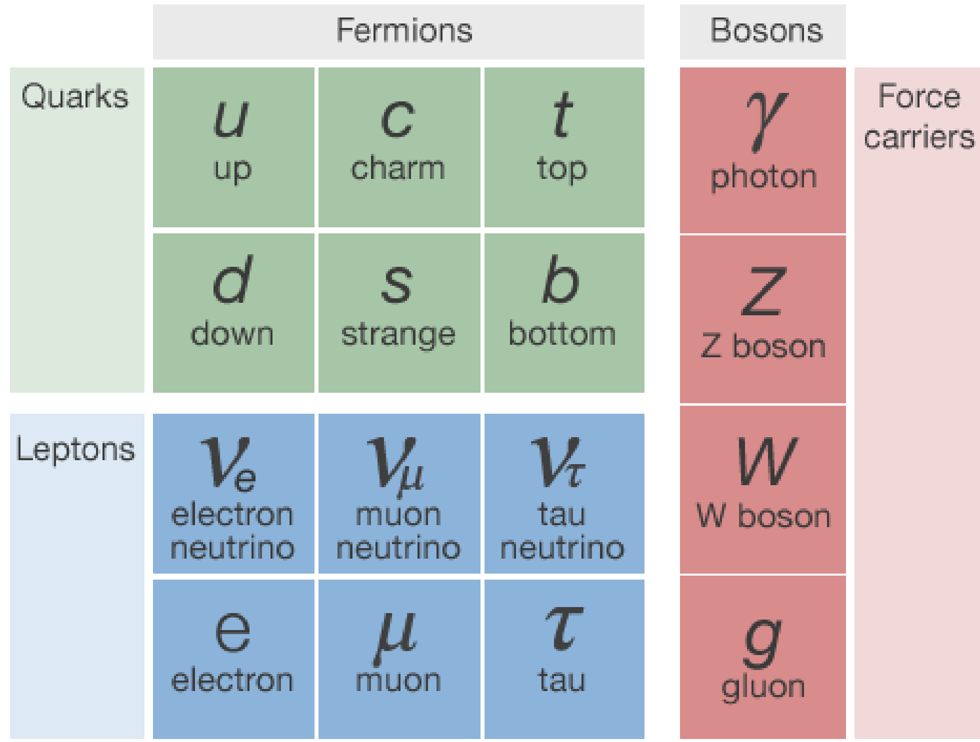
Piezas fundamentales

- Además de esas tres, …



Piezas fundamentales

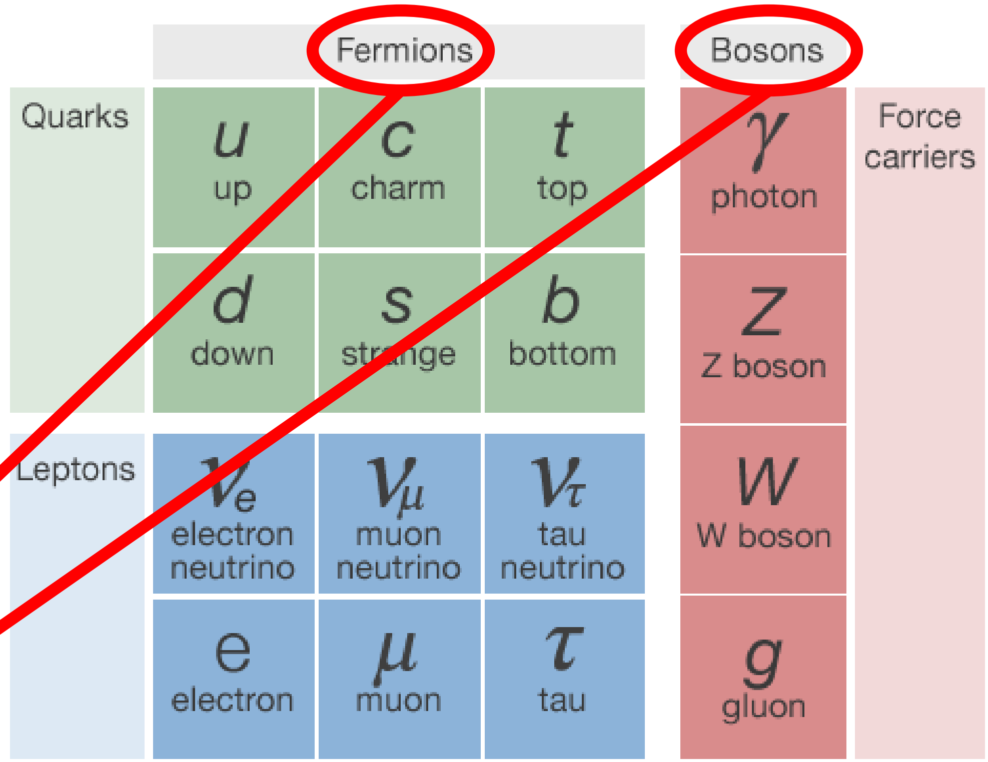
- Además de esas tres, hay 14 adicionales
- Describen casi todos los fenómenos físicos conocidos



Source: AAAS

Piezas fundamentales

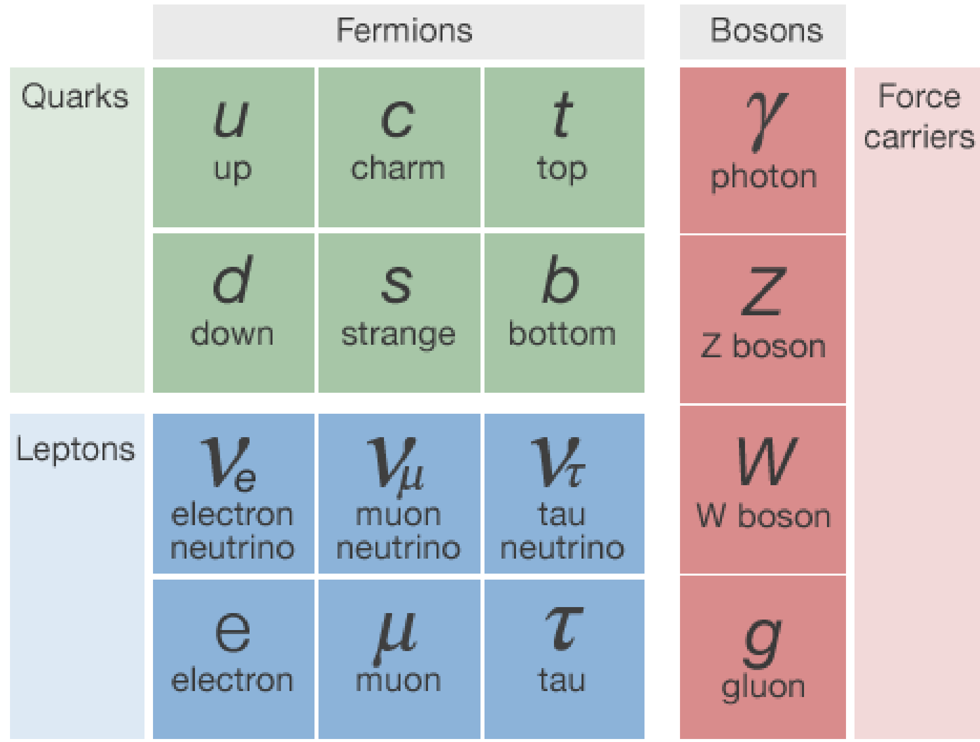
- Además de esas tres, hay 14 adicionales
- Describen casi todos los fenómenos físicos conocidos
- Dos grandes familias:
  - “materia” (espín 1/2, 3/2, …)
  - “fuerza” (espín 0, 1, 2, …)



Source: AAAS

Piezas fundamentales

- Además de esas tres, hay 14 adicionales
- Describen casi todos los fenómenos físicos conocidos
- Dos grandes familias:
  - “materia” (espín 1/2, 3/2, …)
  - “fuerza” (espín 0, 1, 2, …)
- Hacia 1964, había un problema: sólo funcionaba si las partículas elementales tuvieran masa CERO



Source: AAAS

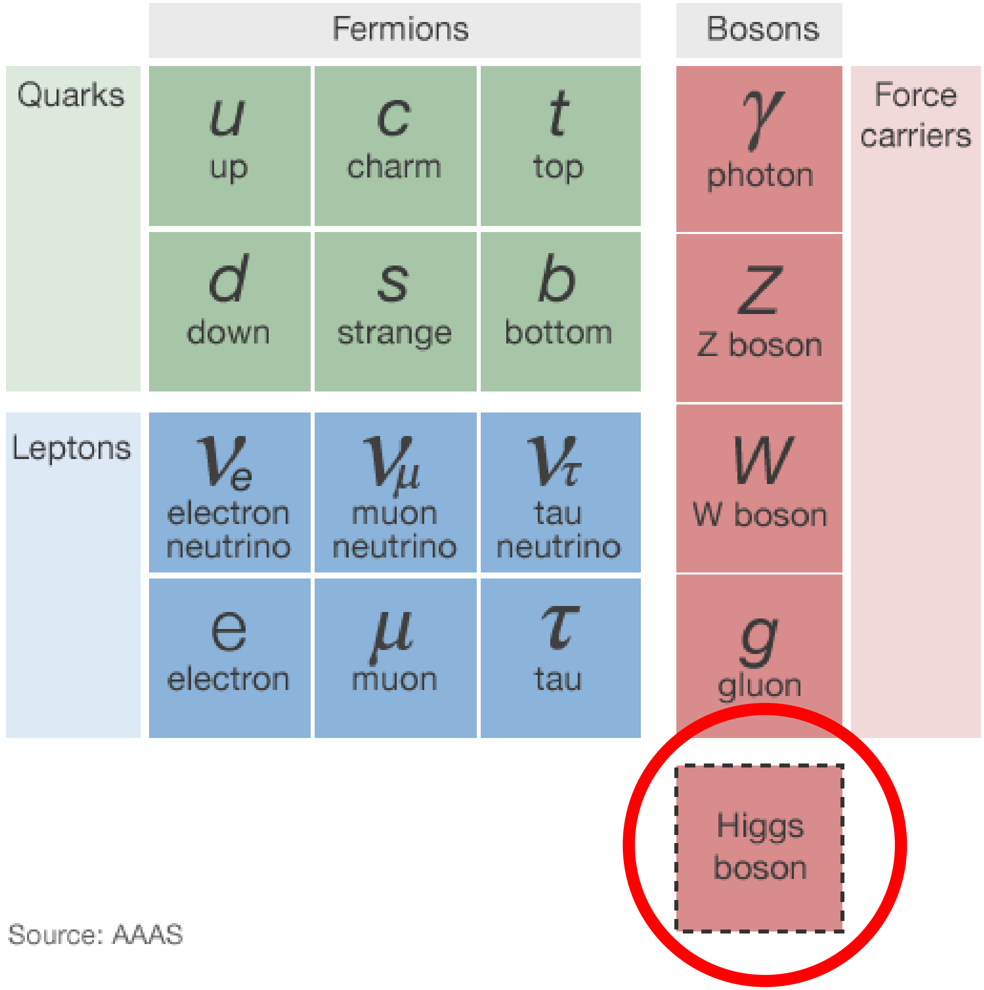
Piezas fundamentales

- Además de esas tres, hay 14 adicionales

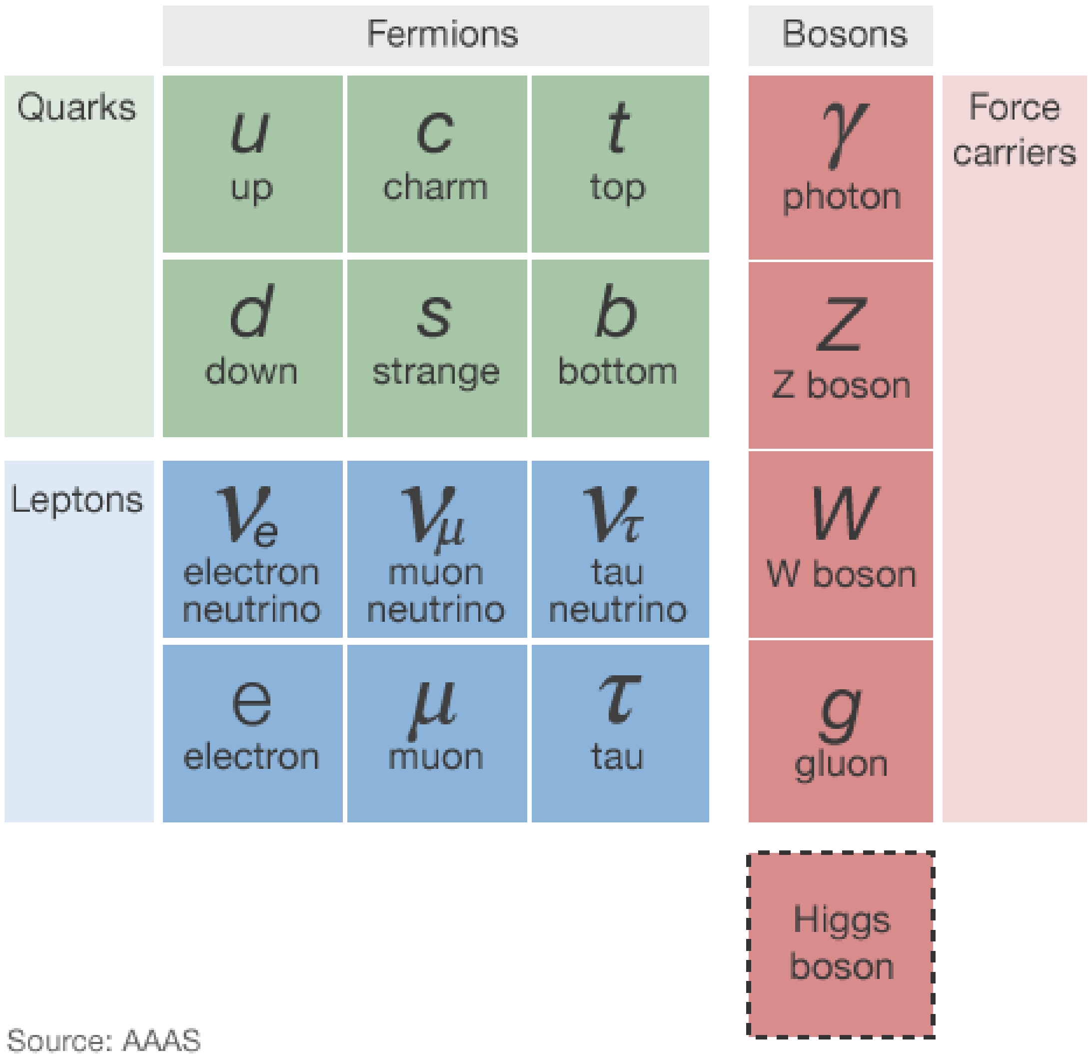
- Describen casi todos los fenómenos físicos conocidos

- Dos grandes familias:
  - "materia" (espín 1/2, 3/2, …)
  - "fuerza" (espín 0, 1, 2, …)

- Hacia 1964, había un problema: sólo funcionaba si las partículas elementales tuvieran masa CERO



Piezas fundamentales



- Materia:
  quarks y **leptones**
- Interacciones:
  Bosones vectoriales (más el Higgs)
- Tres generaciones
  - Un neutrino por cada leptón cargado
  - Quarks ‘tipo up’, quarks ‘tipo down’
- **¿Existen más?**

Paréntesis histórico

p Δ^{++} π^{+} Δ^{0}

Ξ^{*0} η Σ^{*+} n π^{0} Δ^{-} μ

$\overline{K}^{0}$ Ξ^{*-} e Σ^{*-} Σ^{*0} Ω^{-} K^{+}

Δ^{+} K^{0} K^{-} π^{-}

When the Nobel Prizes were first awarded in 1901, physicists knew […] of only two […] “elementary particles”: the electron and the proton.

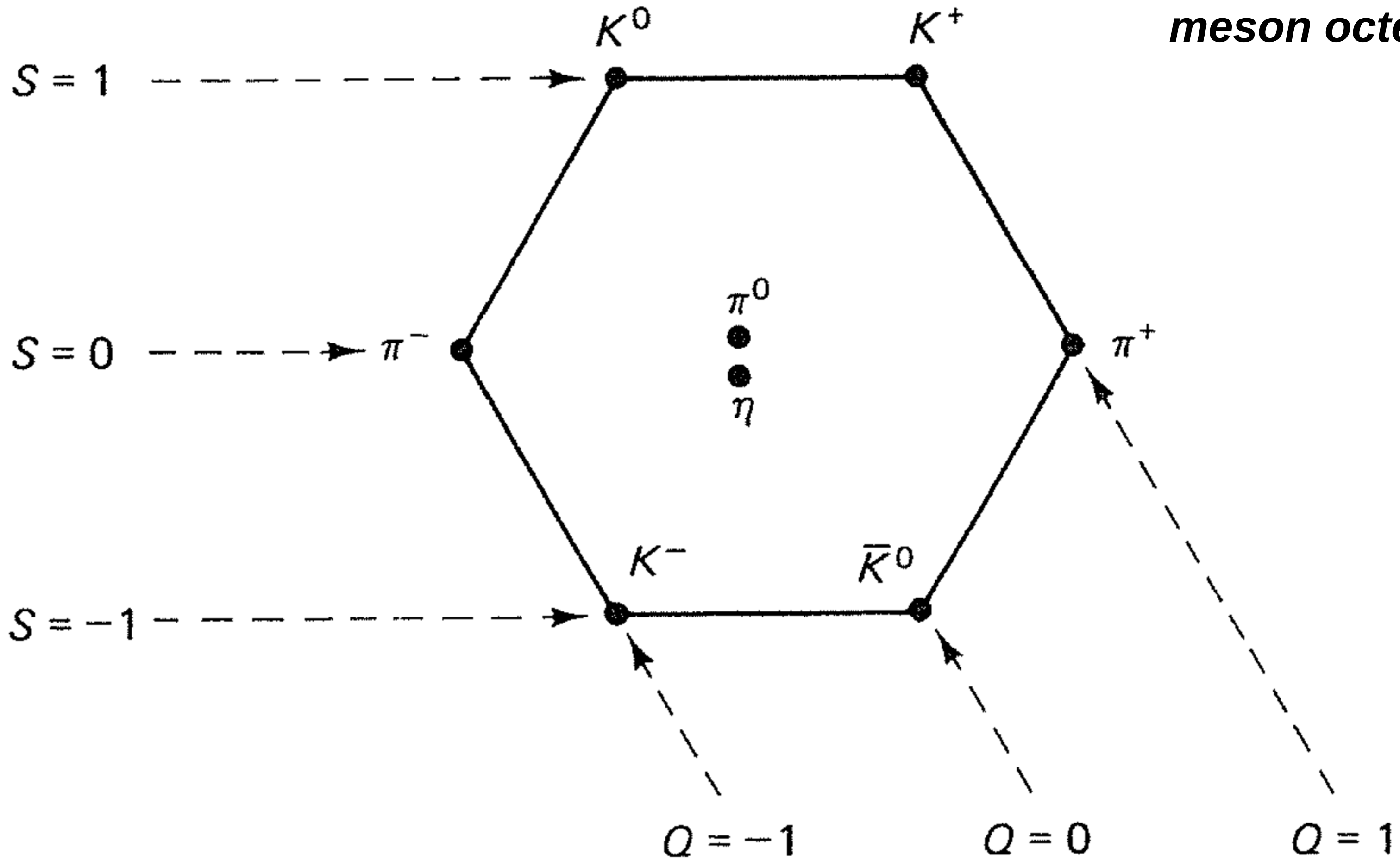
A deluge of other “elementary” particles appeared after 1930: […].

I have heard it said that “the finder of a new elementary particle used to be rewarded by a Nobel Prize, but such a discovery now ought to be punished by a $10,000 fine”

Willis Lamb, 1995 Nobel Prize acceptance speech

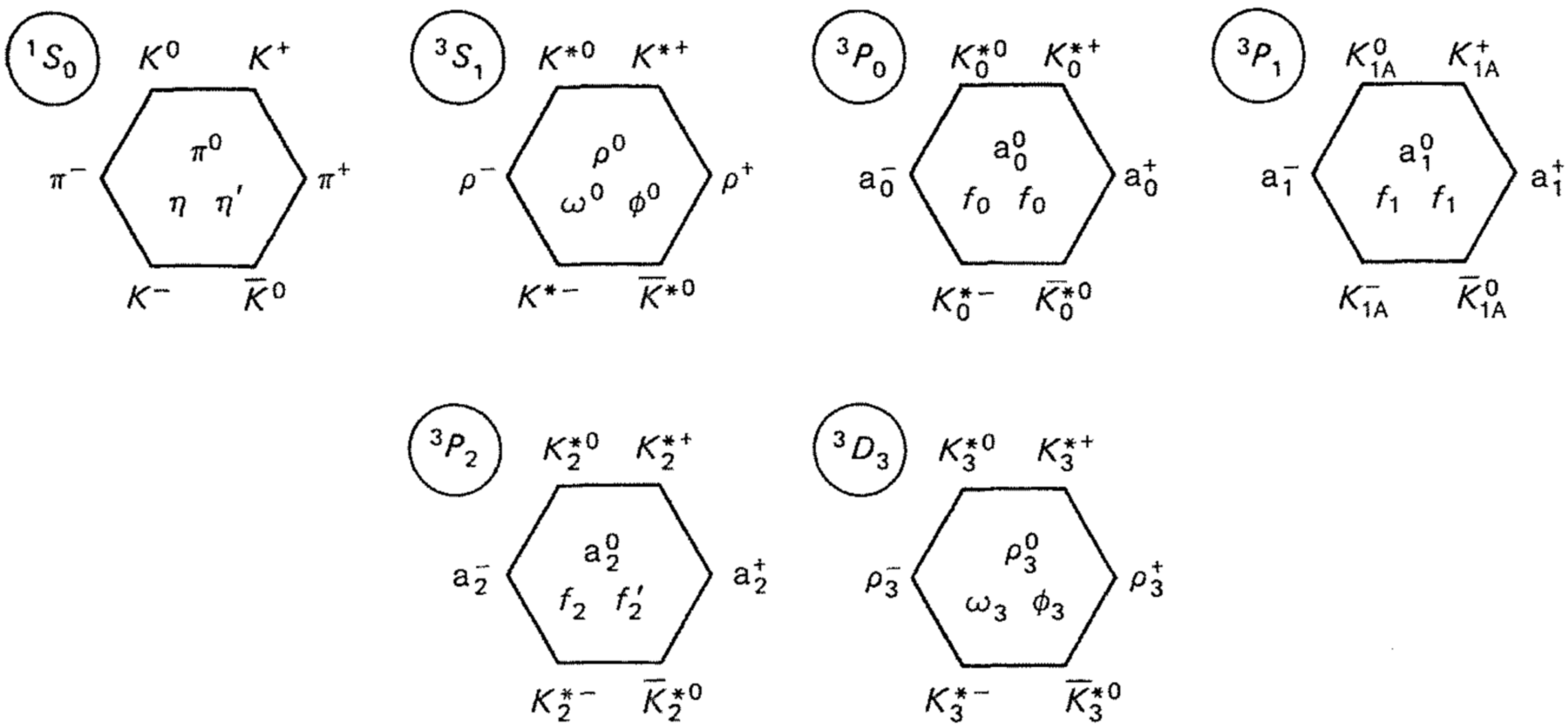
“The Eightfold Way” (1961-1964)

Pseudo-scalar meson octet



The Eightfold Way (1961-1964)

- Cada nueva partícula hallaba lugar en *supermultipletes*



- Para bariones: hay supermultipletes de antibariones
- Para mesones: antipartículas están en el mismo supermultiplet

Con tres quarks y algunas reglas …

The baryon decuplet

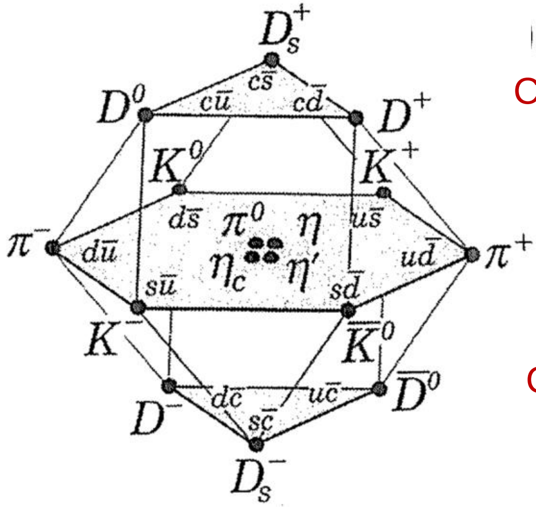
qqq	Q	S	Baryon
uuu	2	0	Δ^{++}
uud	1	0	Δ^{+}
udd	0	0	Δ^{0}
ddd	−1	0	Δ^{-}
uus	1	−1	Σ^{*+}
uds	0	−1	Σ^{*0}
dds	−1	−1	Σ^{*-}
uss	0	−2	Ξ^{*0}
dss	−1	−2	Ξ^{*-}
sss	−1	−3	Ω^{-}

The meson nonet

$q\bar{q}$	Q	S	Meson
$u\bar{u}$	0	0	π^0
$u\bar{d}$	1	0	π^+
$d\bar{u}$	−1	0	π^-
$d\bar{d}$	0	0	η
$u\bar{s}$	1	1	K^+
$d\bar{s}$	0	1	K^0
$s\bar{u}$	−1	−1	K^-
$s\bar{d}$	0	−1	$\bar{K}^0$
$s\bar{s}$	0	0	??

Cada combinación también puede tener estados excitados

0^- mesons

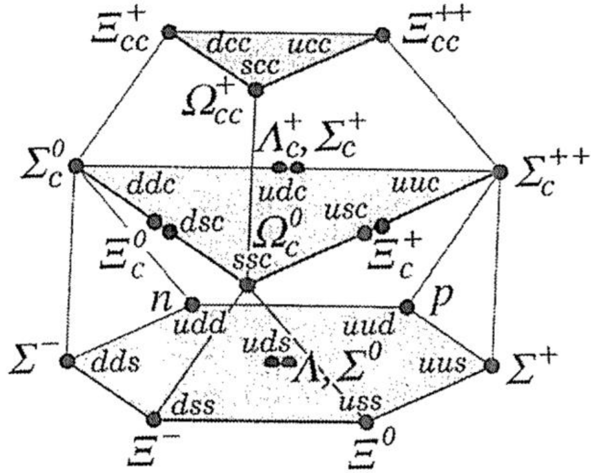


Charm = +1

Charm = 0

Charm = -1

$\frac{1}{2}^+$ baryons

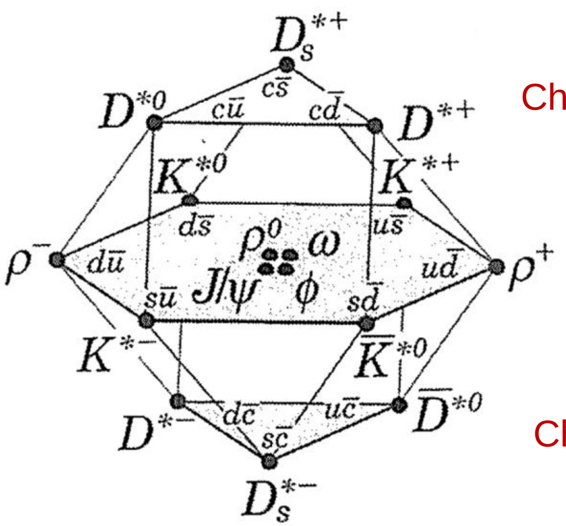


Charm = +2

Charm = 1

Charm = 0

1^- mesons

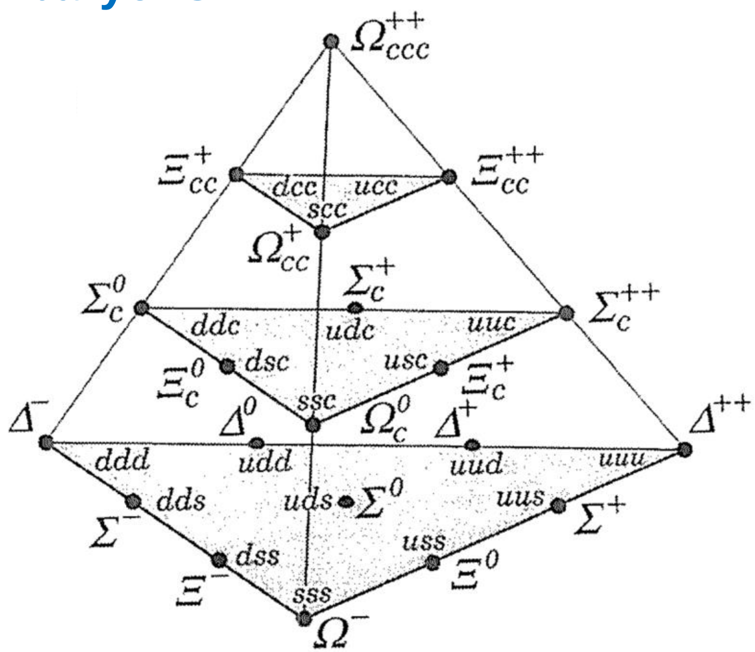


Charm = +1

Charm = 0

Charm = -1

$\frac{3}{2}^+$ baryons



Charm = +3

Charm = +2

Charm = +1

Charm = 0

¿Cómo buscar nuevas partículas?

$$E = mc^2$$

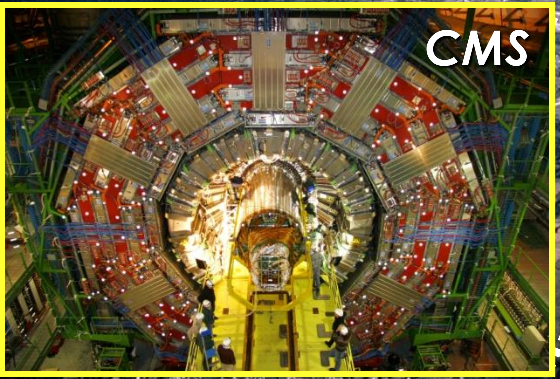
LHC

- 27 km de circunferencia, 50-150 m bajo tierra
- Dos haces de protones casi a la velocidad de la luz
- Energía almacenada: 350 MJ (~TGV a 155 km/h)

LHC

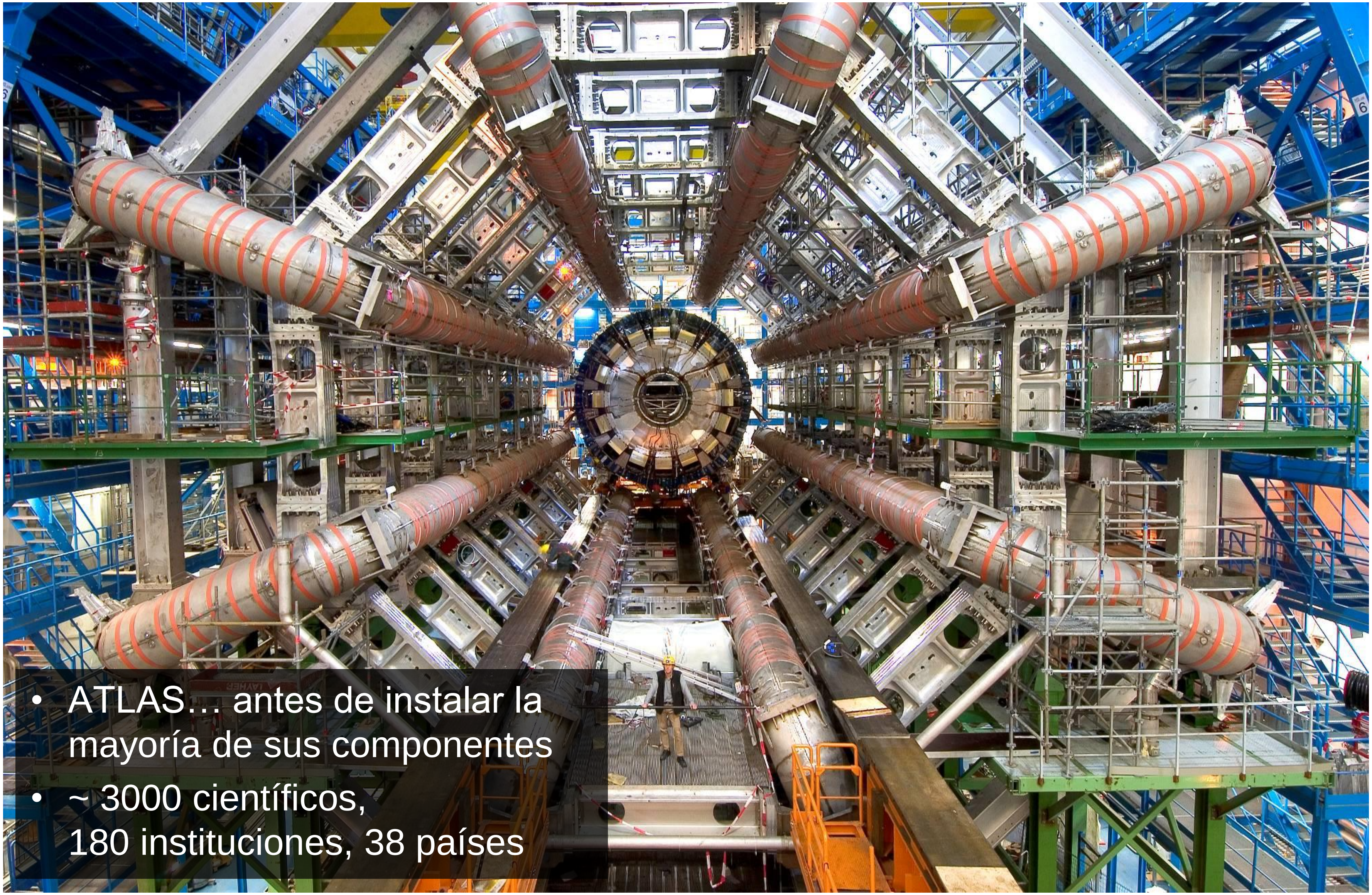
- ~1600 magnetos superconductores
- Nubes de $1.15{\times}10^{11}$ protones: 30 micras por varios cm
- 40 millones de cruces por segundo

LHC



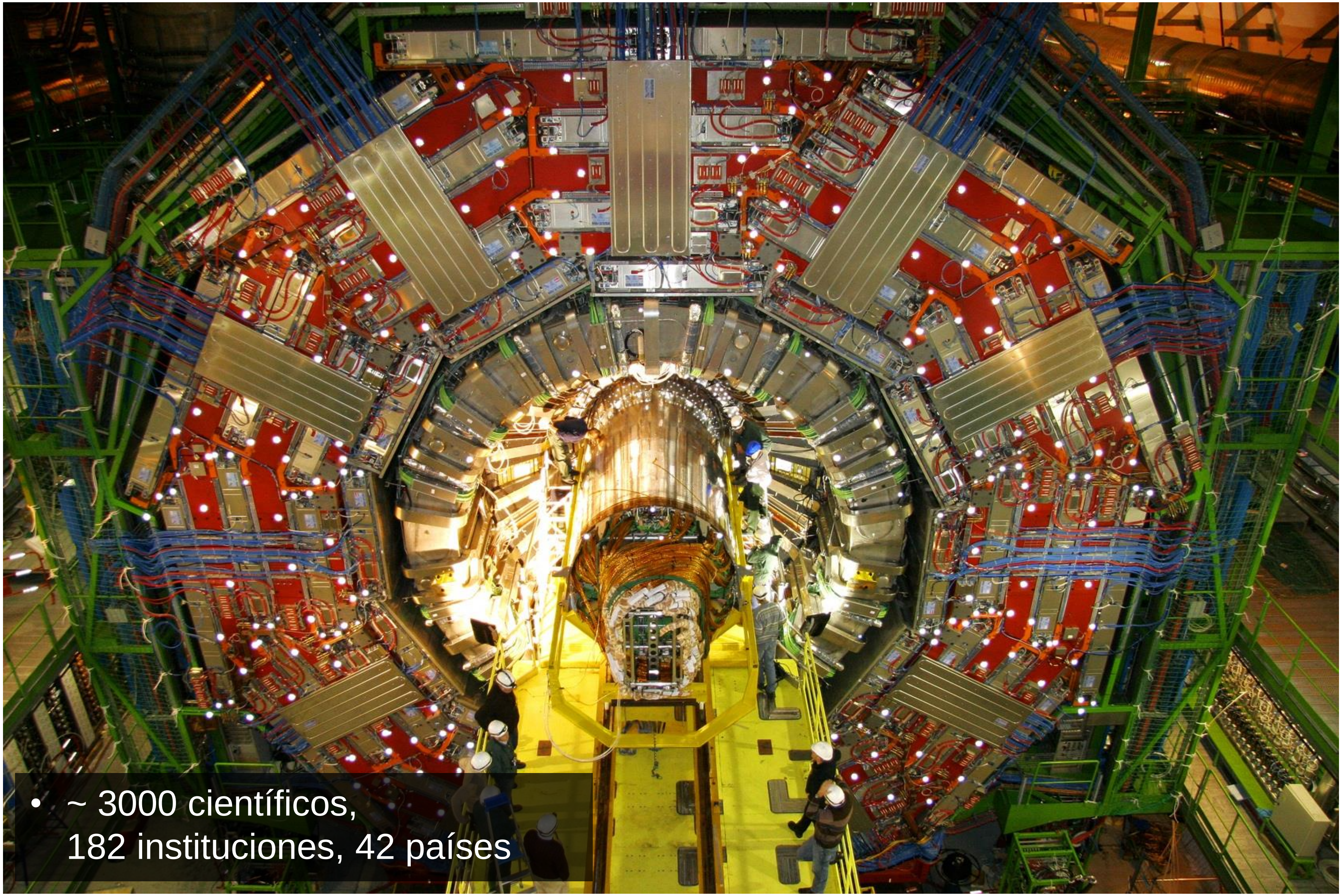
- Cuatro puntos de colisión
- Un detector en cada uno
- Descubrimiento: ATLAS, CMS

ATLAS

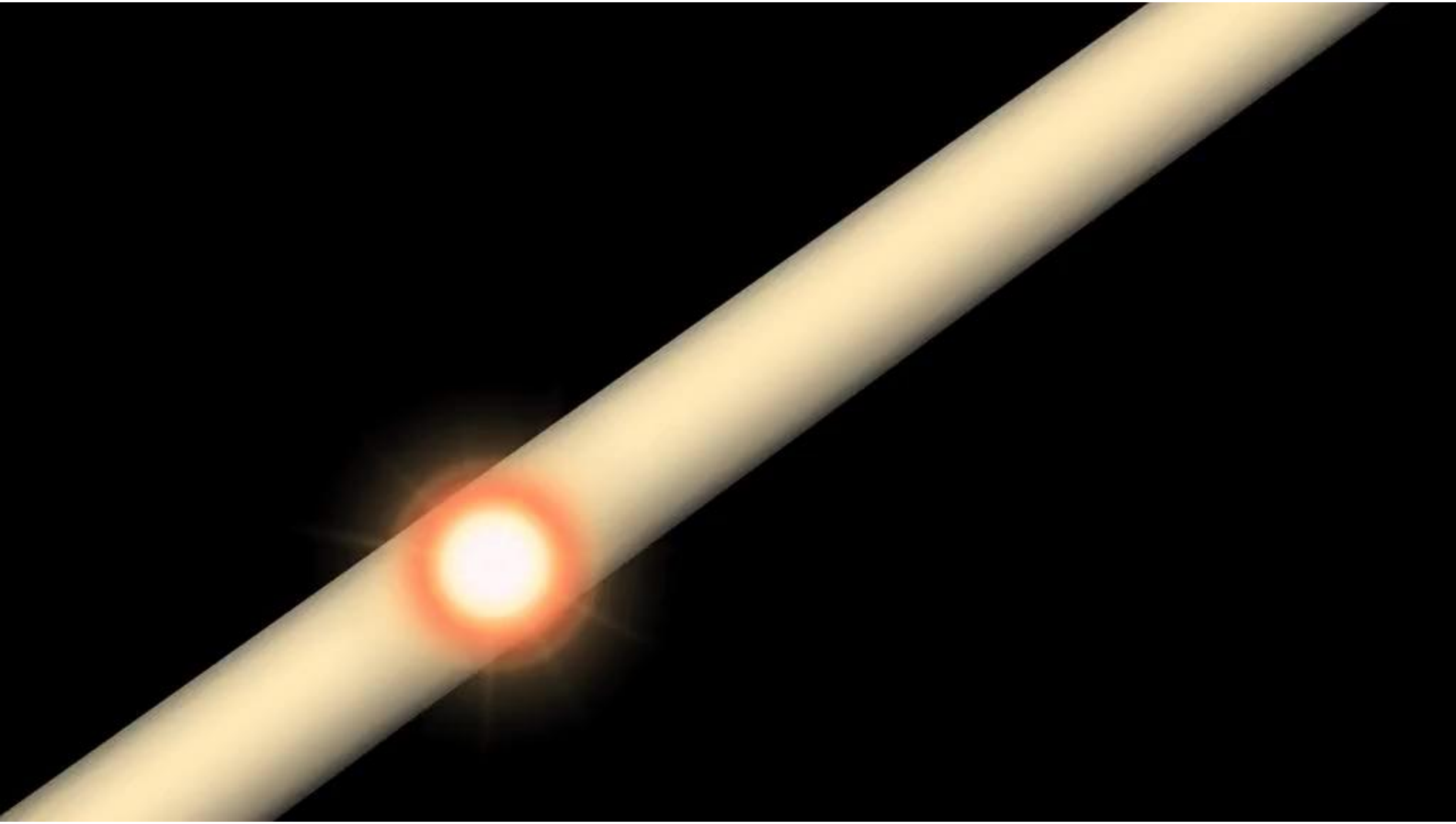


- ATLAS… antes de instalar la mayoría de sus componentes
- ~ 3000 científicos,
180 instituciones, 38 países

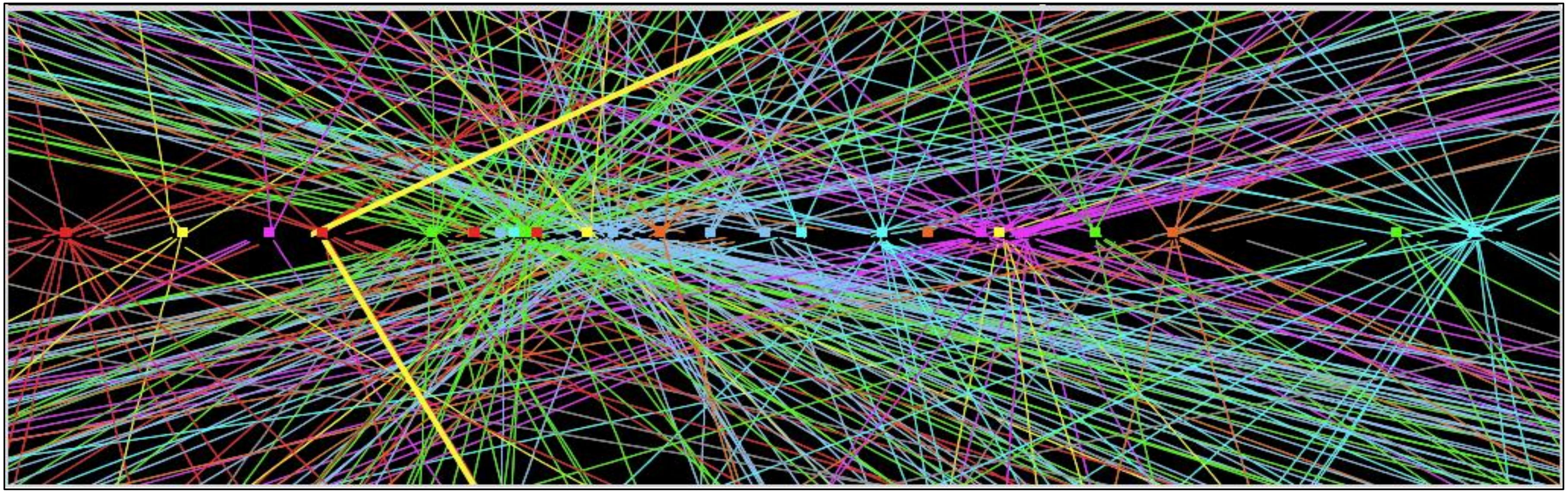
CMS



- ~ 3000 científicos,
  182 instituciones, 42 países



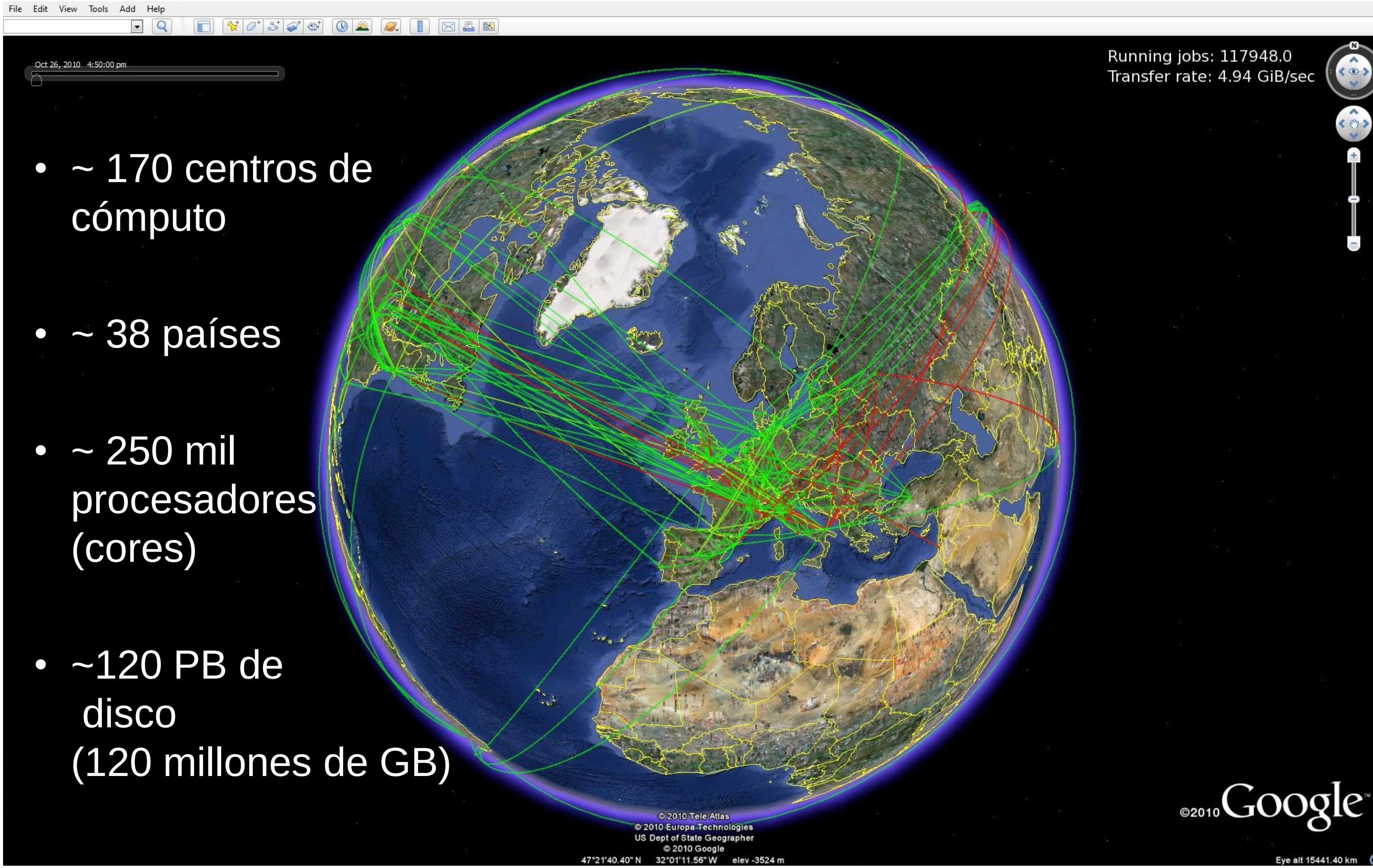
Información generada



Evento Z→μμ de 2012 con 25 vértices reconstruidos

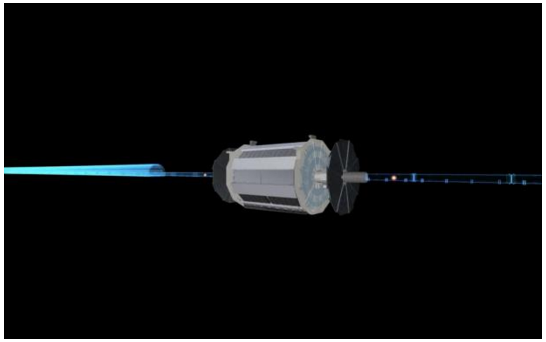
- En cada cruce, ~20 interacciones *pp*
- 40 M de cruces por segundo, 20 pp por cruce, gaps: 600 M pp/s
- La primera etapa de proceso escoge "sólo" 400 colisiones/s
- Cada colisión pp produce cientos de partículas que deben almacenarse
- Si lo almacenáramos en CD's de música, …

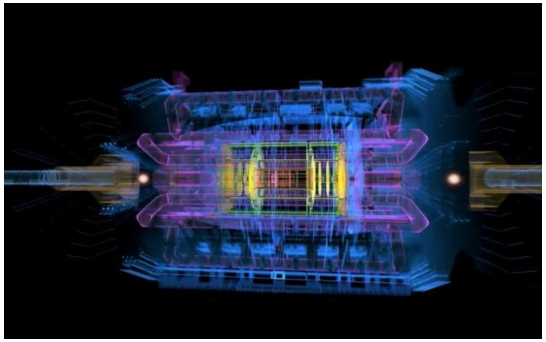
Red mundial de cómputo

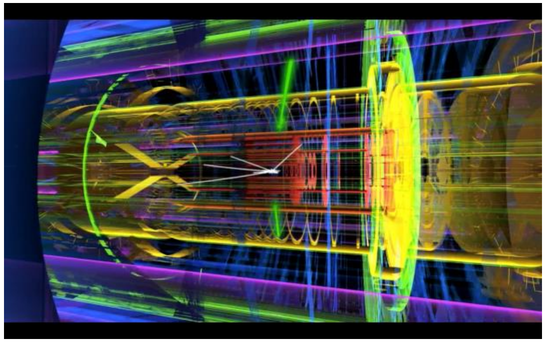


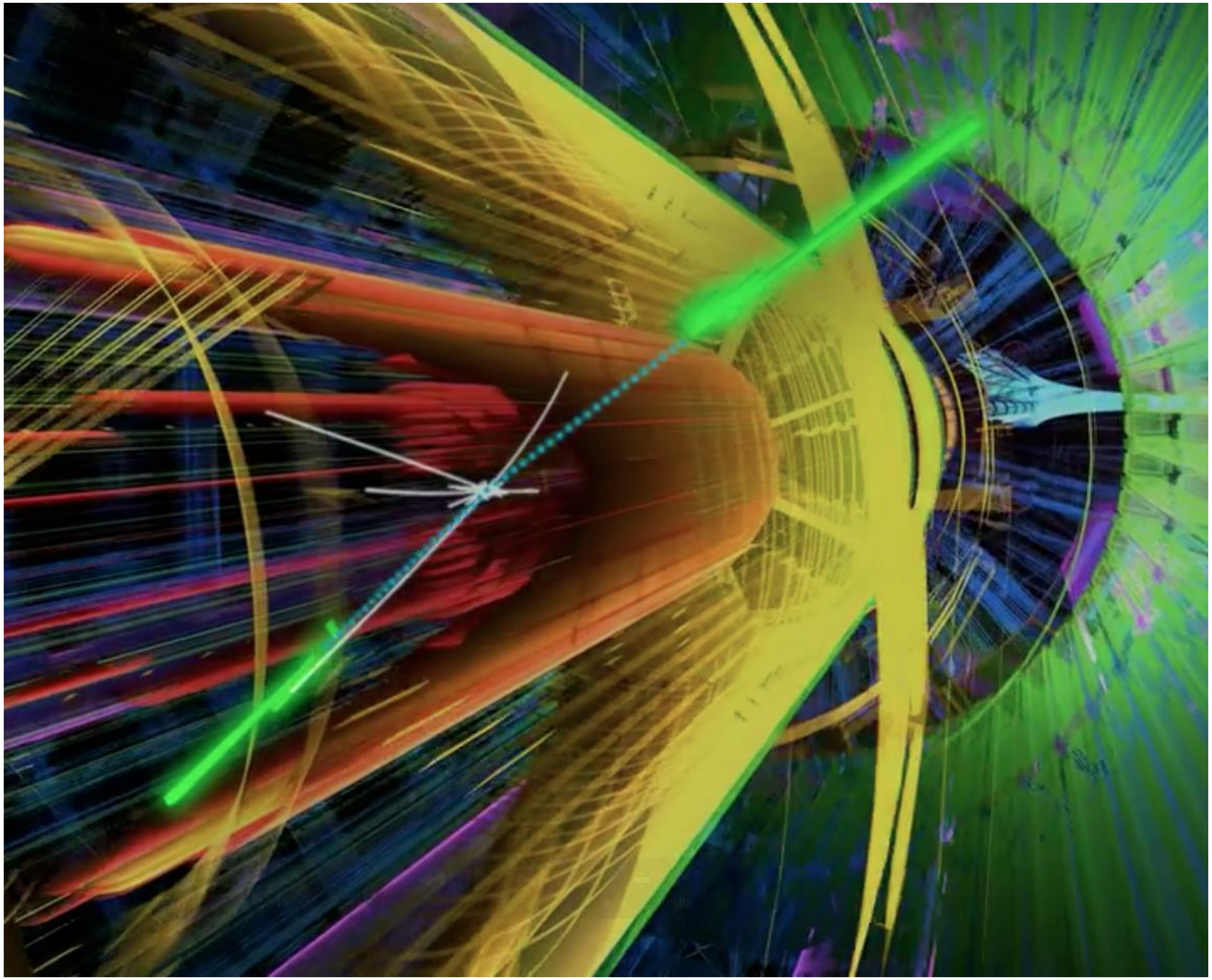
- ~ 170 centros de cómputo
- ~ 38 países
- ~ 250 mil procesadores (cores)
- ~120 PB de disco (120 millones de GB)

$H \to \gamma\gamma$

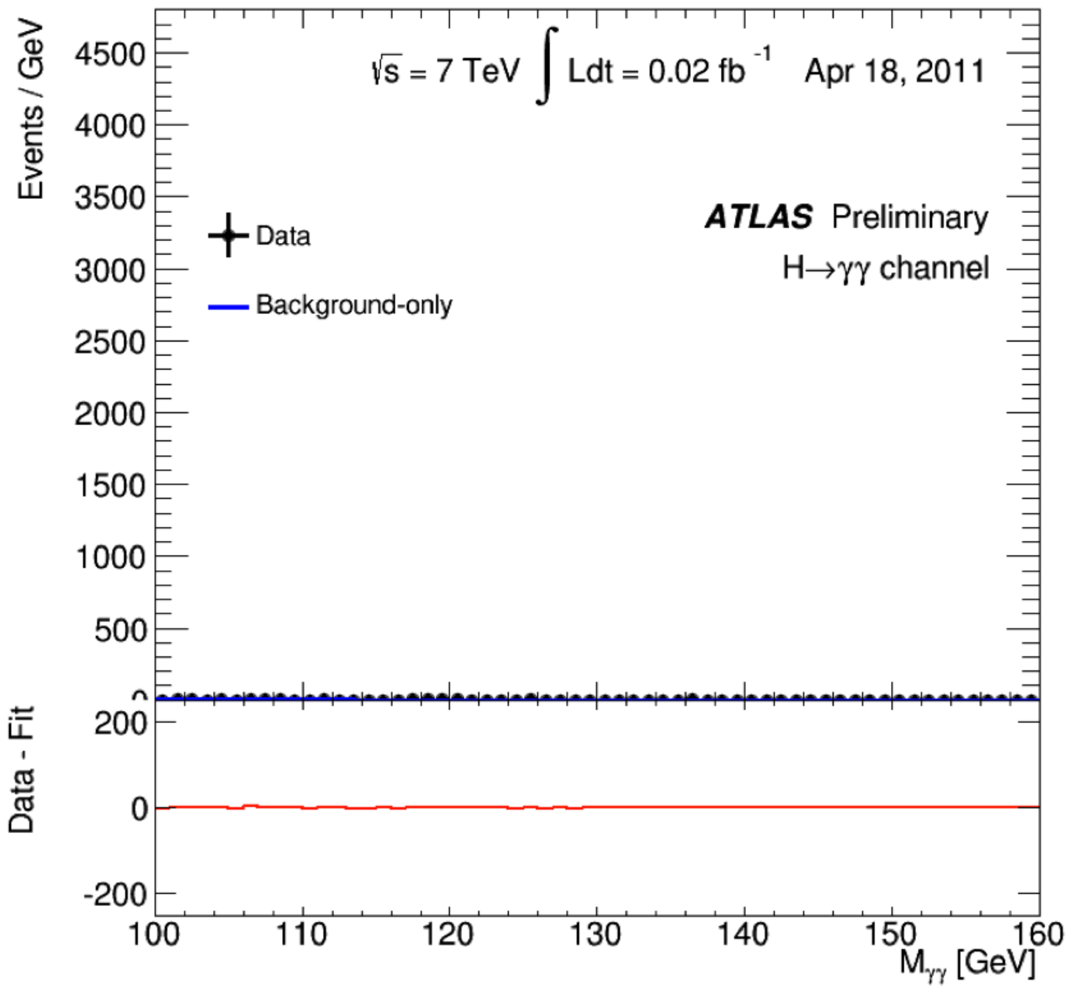




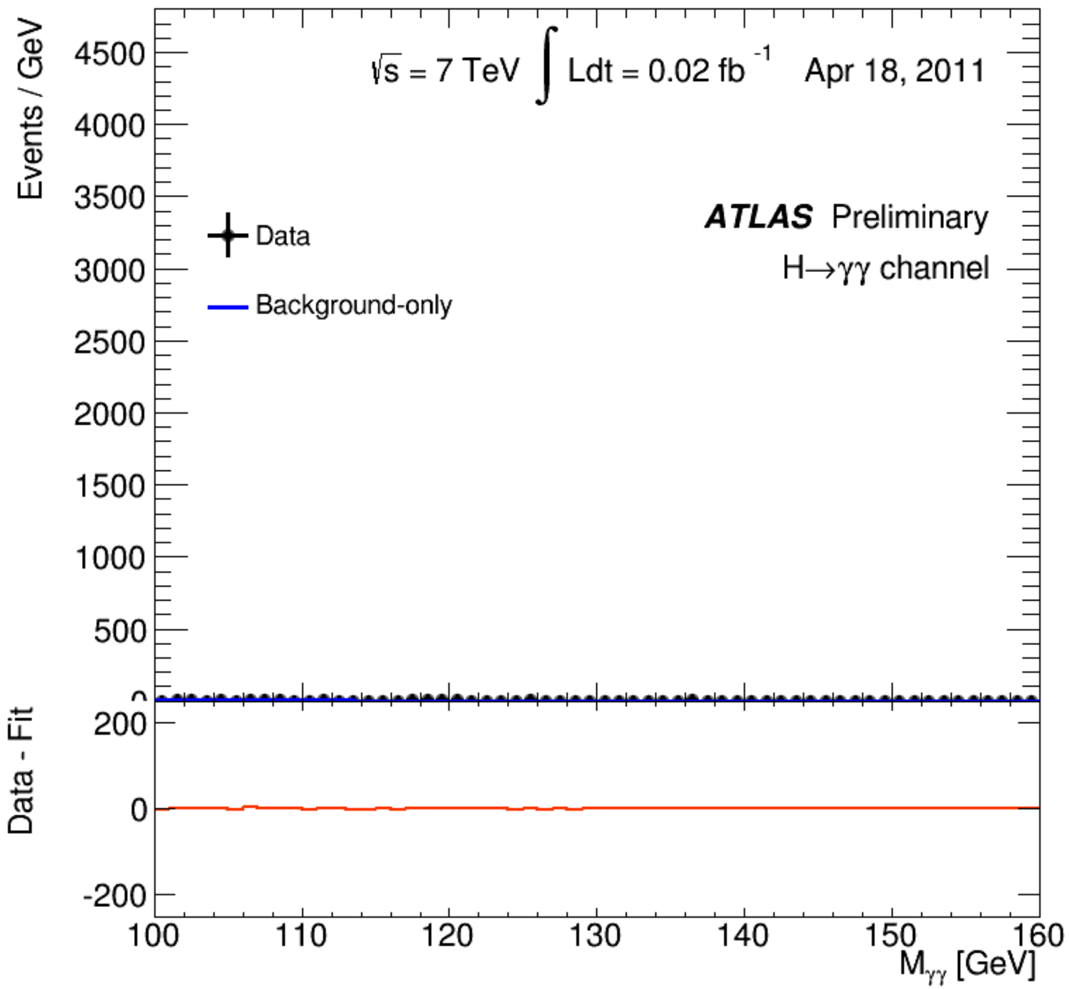




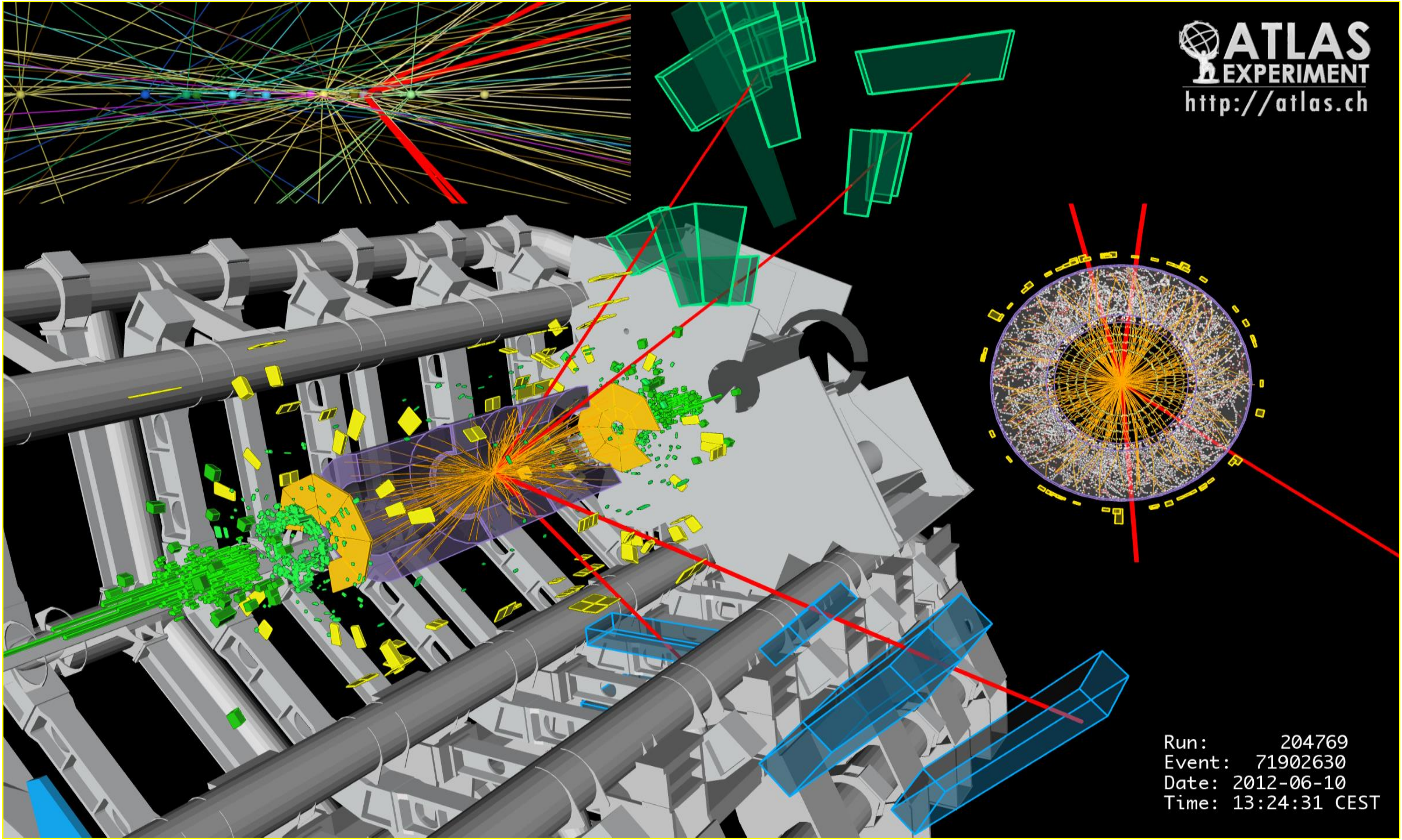
$H \rightarrow \gamma\gamma$



$H \rightarrow \gamma\gamma$



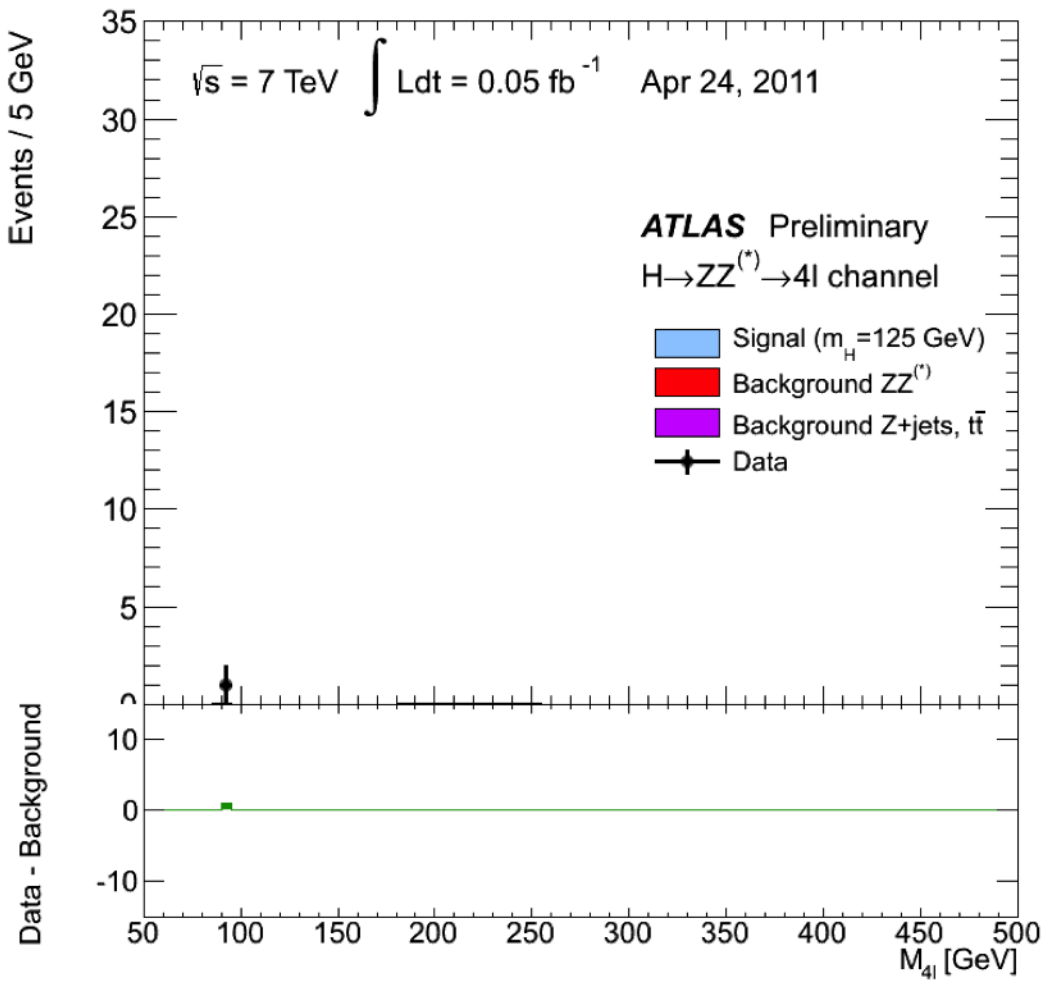
$H \to ZZ^{(*)} \to$ 4 leptones



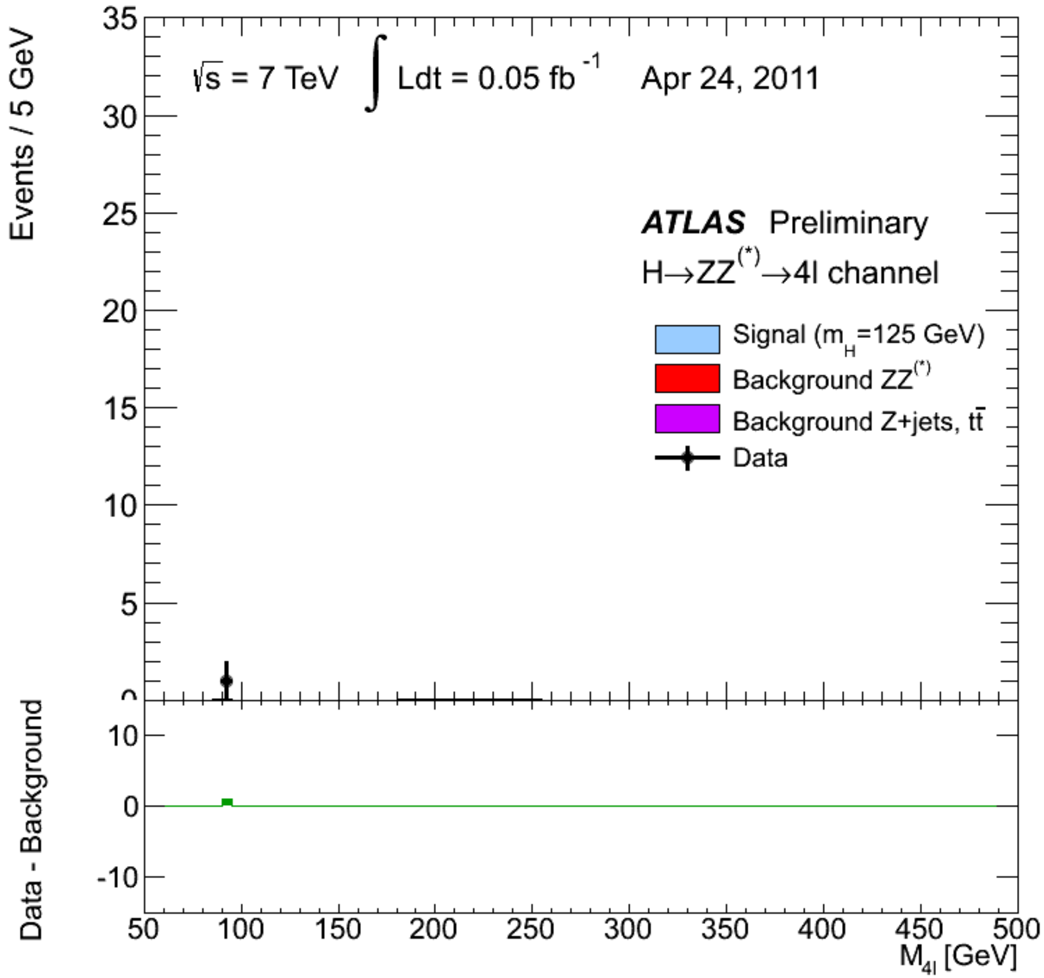
Candidato a H to 4μ, with $m_{4\mu}$=125.1 GeV

p_T (muones)= 36.1, 47.5, 26.4, 71 .7 GeV m_{12}= 86.3 GeV, m_{34}= 31.6 GeV. 15 vértices reconstruídos

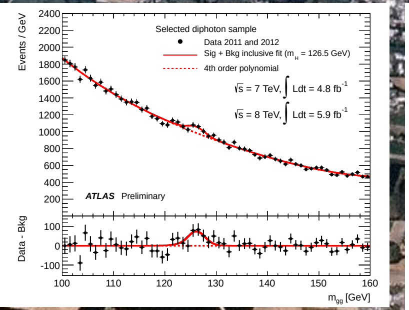
$H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow$ 4 leptones

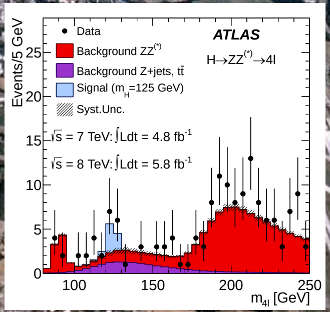


H→ZZ$^{(*)}$ → 4 leptones

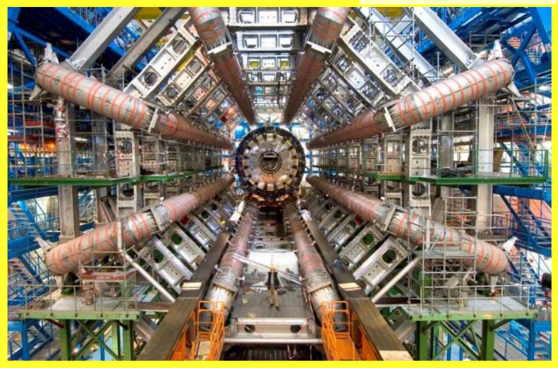


Verificación independiente

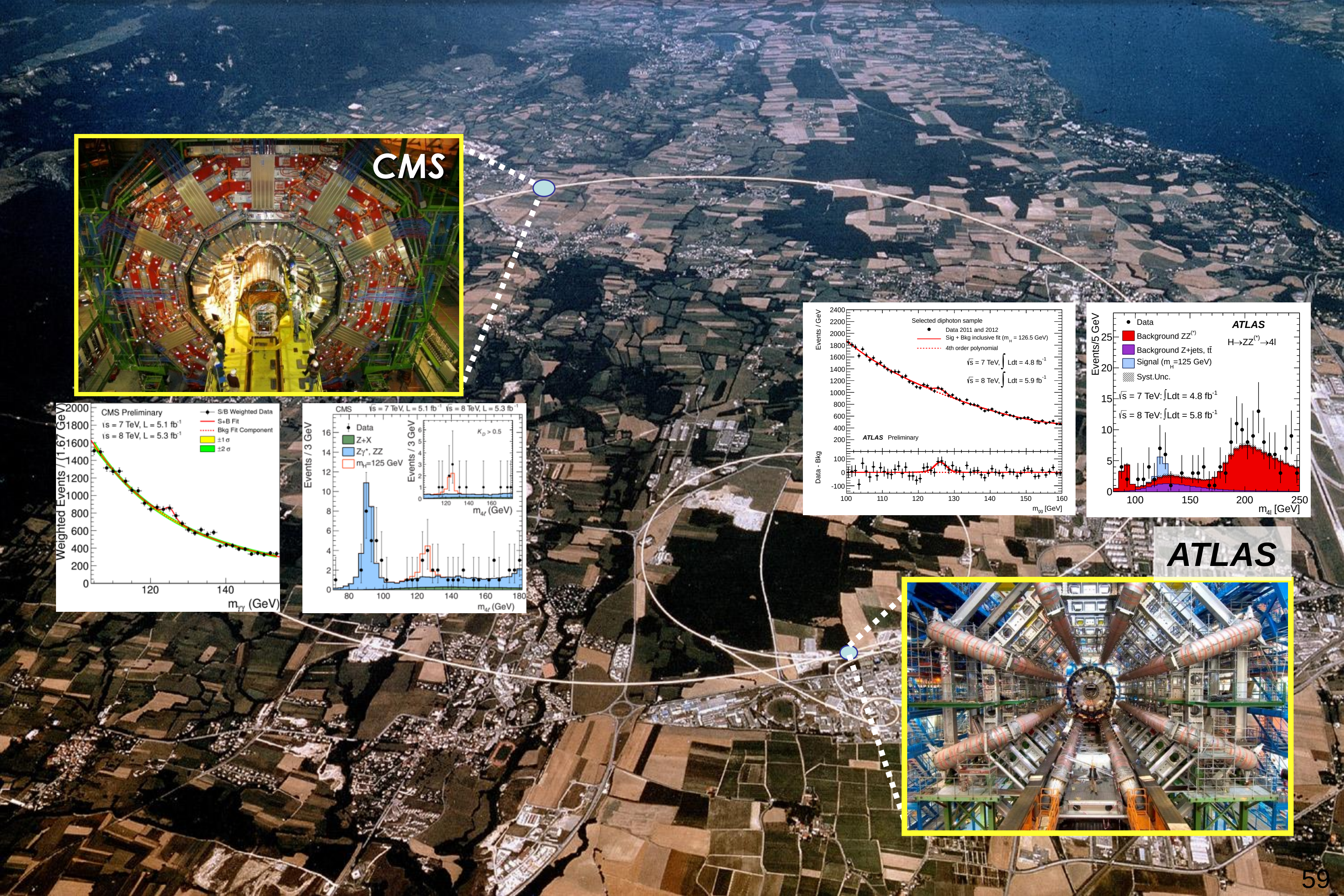




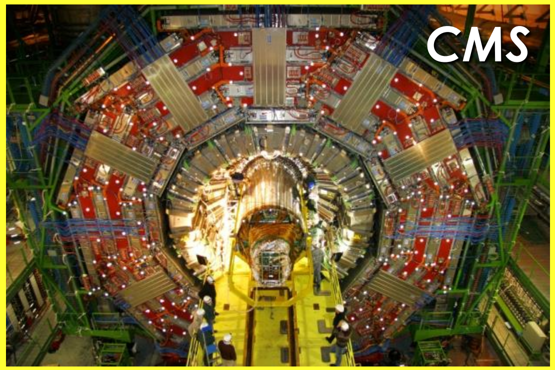
ATLAS

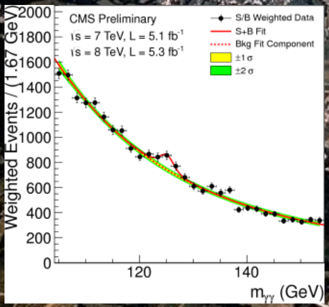


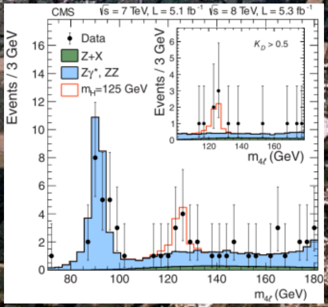
Verificación independiente

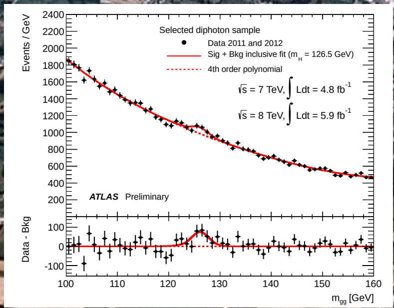


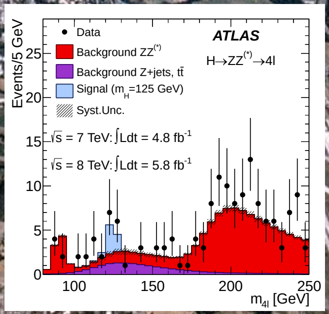
Combinación







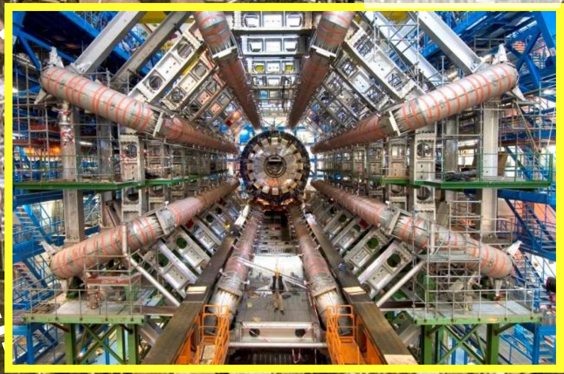




Probabilidad < 0.00003%

= "5σ" → Descubrimiento!

ATLAS



Probabilidad < 0.00003%

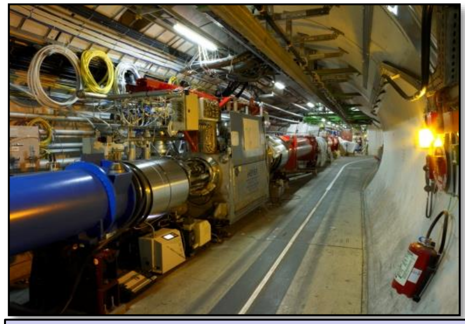
= "5σ" → Descubrimiento!

4 de julio de 2012

Física fundamental y vida cotidiana

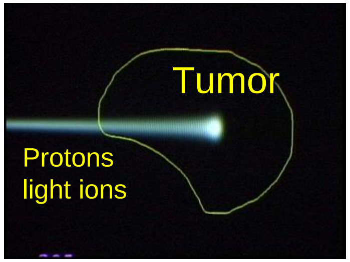
De física fundamental a vida cotidiana

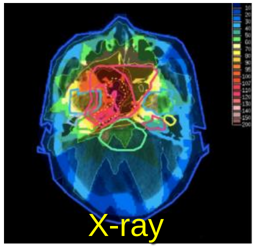
- *www, GPS, cloud computing.*
- **A largo plazo, applicaciones inesperadas**: 1897: el electrón.

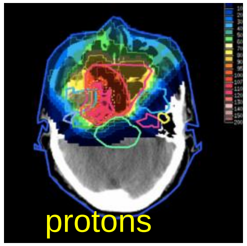


~30’000 aceleradores a nivel mundial
~17’000 para aplicaciones medicas

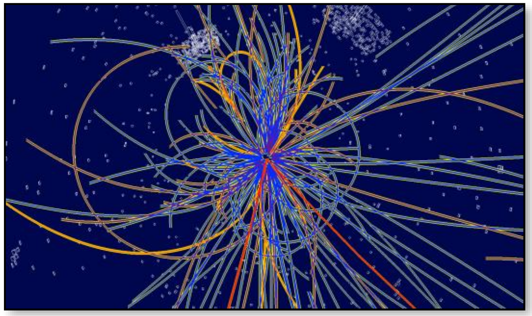
Terapia hadrónica contra el cancer





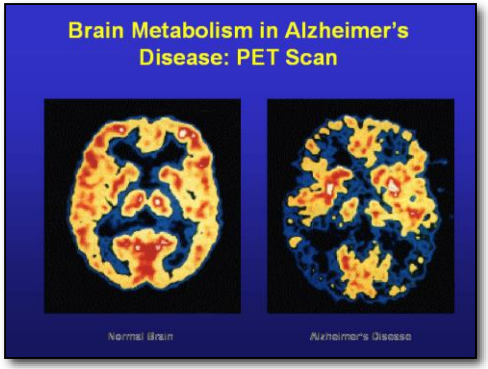


>90,000 pacientes tratados (30 instalaciones)



Imágenes médicas

e.g. CAT & PET, escáners aeroportuarios, etc.

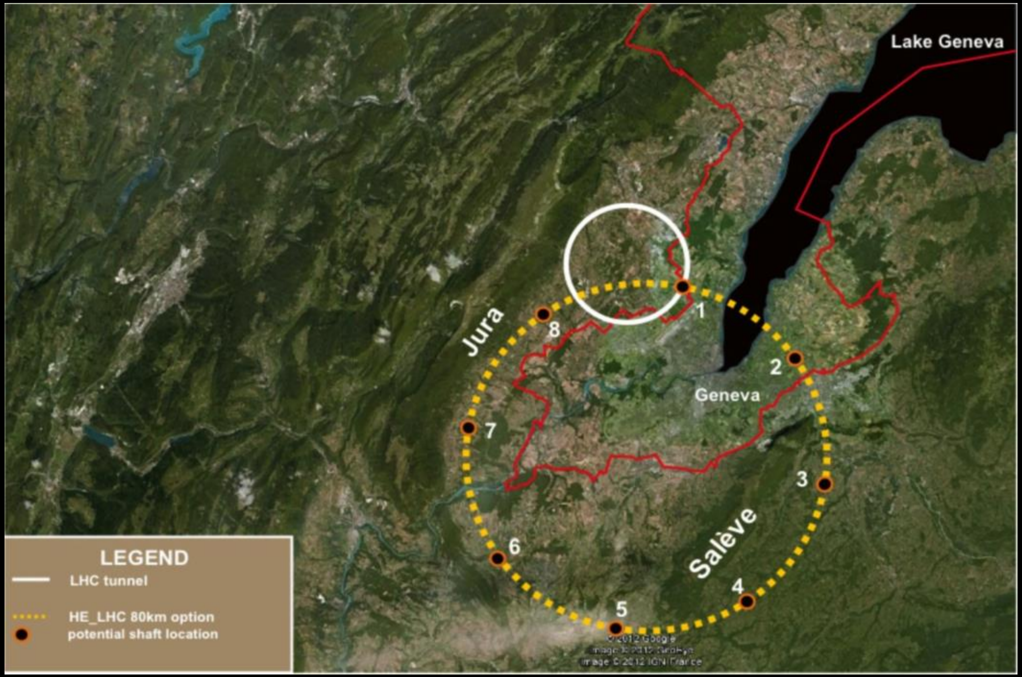





¿Qué sigue?

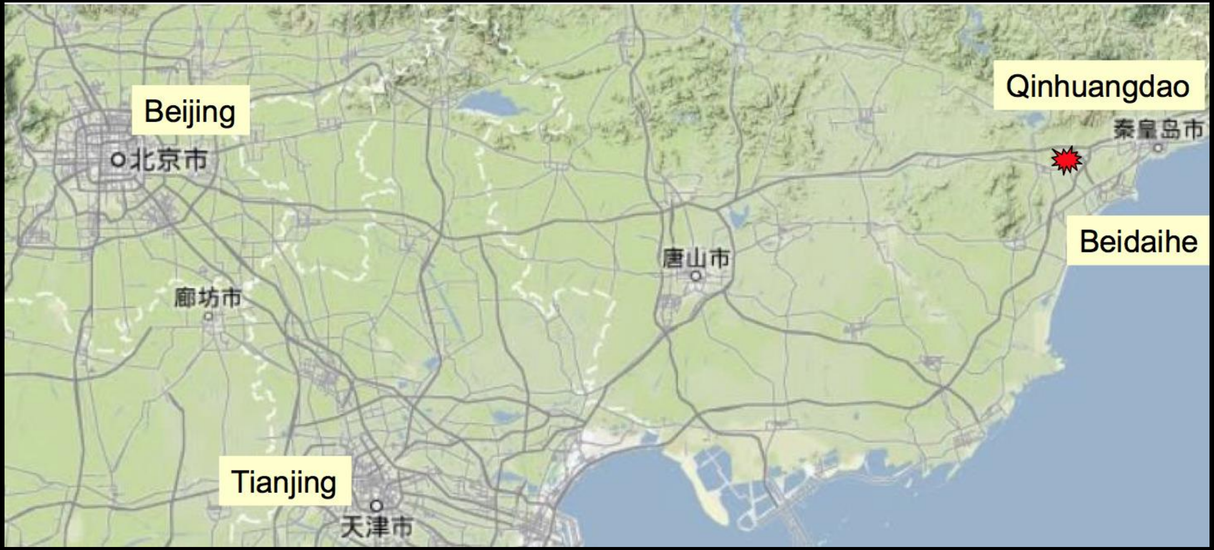
CERN:

- Bajo el lago de Ginebra
- 80 – 100 km

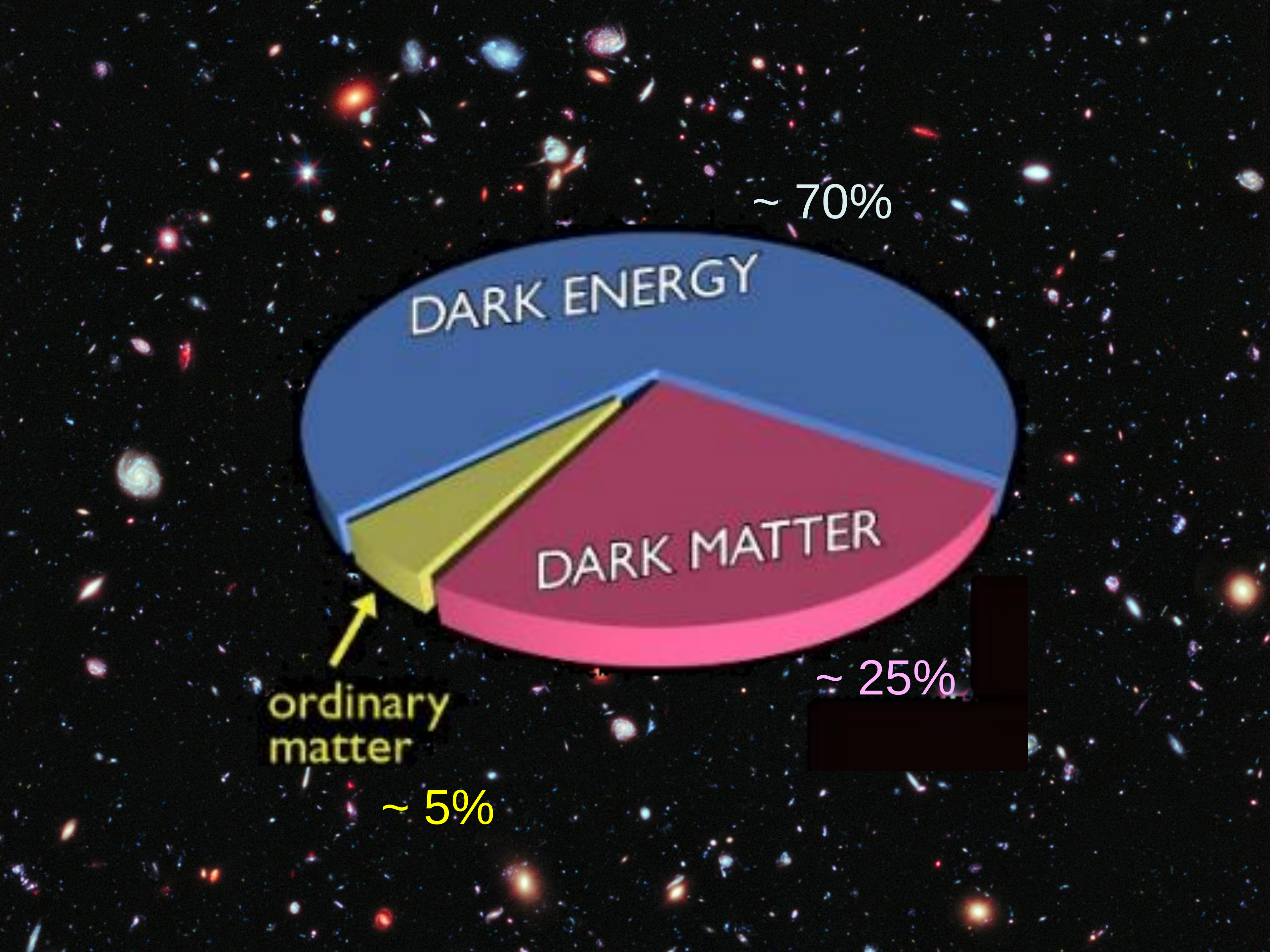


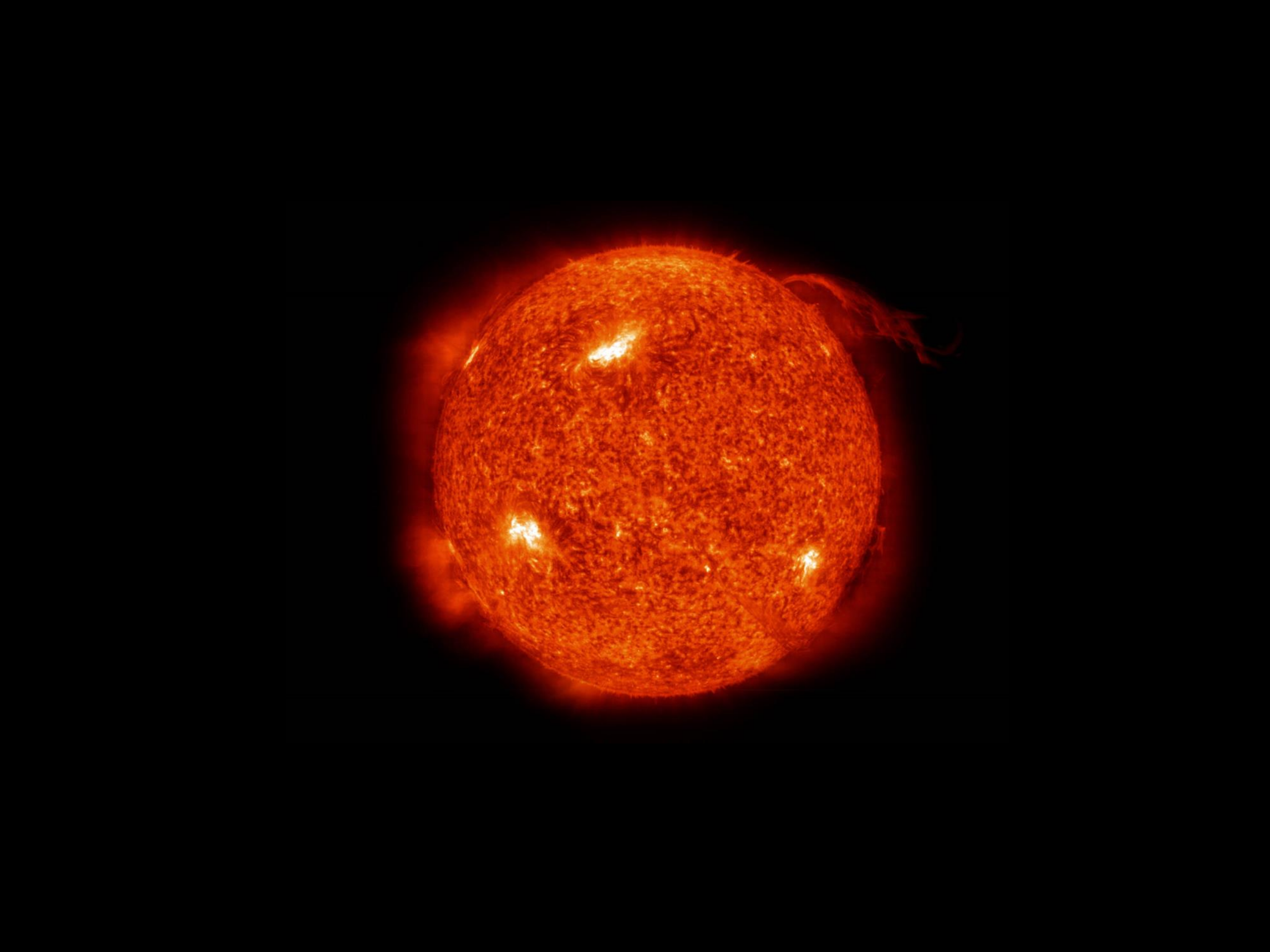
China:

- Pre-CDR listo
- 50 – 100 km



Nima Arkani-Hamed, *Chen Hesheng*, Premio Nobel *David Gross*, y *Yifang Wang* en la inauguración del ***Center for Future High Energy Physics*** en Beijing; Diciembre 17, 2013


~ 70%
DARK ENERGY
DARK MATTER
~ 25%
ordinary
matter
~ 5%



HKUST Jockey Club INSTITUTE FOR ADVANCED STUDY

IAS Program on The Future of High Energy Physics

5 - 30 Jan 2015
Lo Ka Chung Building, Lee Shau Kee Campus, HKUST

Co-organized with Center for Future of High Energy Physics of Institute of High Energy Physics (IHEP), Beijing, China, the workshop and conference is to address the physics goals, options of future colliders, and the scientific potential of the related experiments in the post-discovery era of the Higgs boson.

Organizers:

International Organizing Committee

John Ellis	CERN and King's College London
David Gross	The Kavli Institute for Theoretical Physics, University of California at Santa Barbara
Peter Jenni	CERN
Nigel Lockyer	Fermilab
Yifang Wang	Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences
Shing Tung Yau	Harvard University

Local Organizing Committee for the Conference (19 - 22 January 2015)

Luis Roberto Flores-Castillo	The Chinese University of Hong Kong
Kirill Prokofiev	The Hong Kong University of Science and Technology
Yanjun Tu (Chair)	The University of Hong Kong
Charles C. Young	SLAC National Accelerator Lab, Stanford University, and The Chinese University of Hong Kong

Local Coordinators

Nima Akani-Hamed	Institute for Advanced Study, Princeton and Center for Future High Energy Physics, Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences
Ming Chung Chu	The Chinese University of Hong Kong
Hong-Jian He	Tsinghua University, Beijing
Tao Liu	The Hong Kong University of Science and Technology
Xinchou Lou	Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences
Kam Biu Luk	University of California at Berkeley, and The University of Hong Kong
Qing Qin	Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences
Henry Tye (Chair)	The Hong Kong University of Science and Technology

http://iasprogram.ust.hk/201501fhep/
Enquiries: iasprogram@ust.hk / +852 2358 5968

¿Qué es el bosón de Higgs?

¿Masa = cero?

– La “masa” es la oposición a convertir energía en movimiento
  Pelota de playa negra vs bola de boliche:
    a menor masa, mayor la velocidad adquirida

– ¿ Hay partículas con masa = 0 ?
  Sí: fotones y gluones viajan a la velocidad de la luz

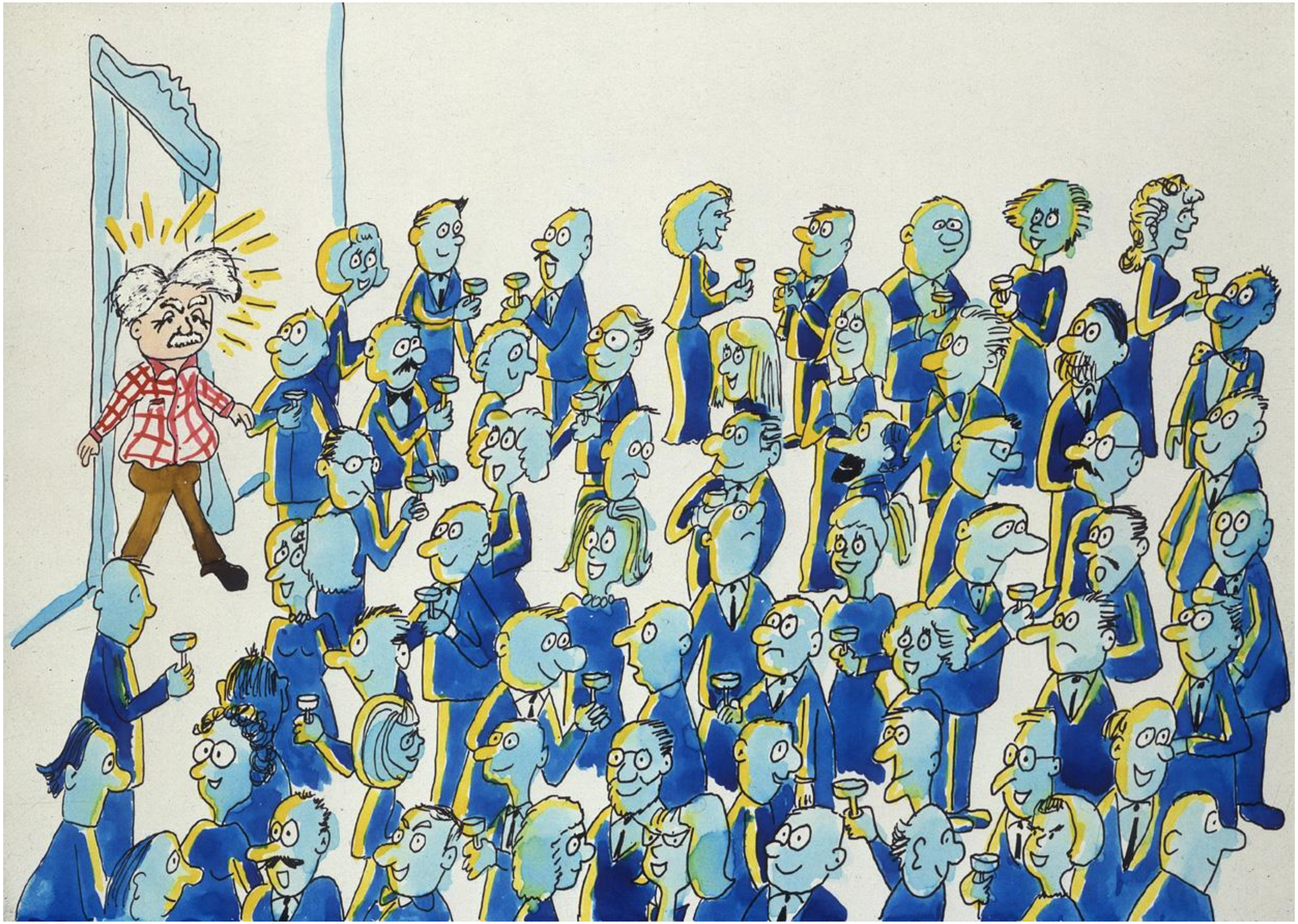
– ¿Qué pasaría si todas viajaran a la velocidad de la luz?
  - No habría átomos
  - No habría conglomerados de materia (estrellas, planetas)
  - No habría vida como la conocemos

– En 1964, Higgs, Englert+Brout, Guralnik+Hagen+Kibble encontraron una solución postulando un nuevo campo,
  … y una nueva partícula elemental.

El bosón de Higgs

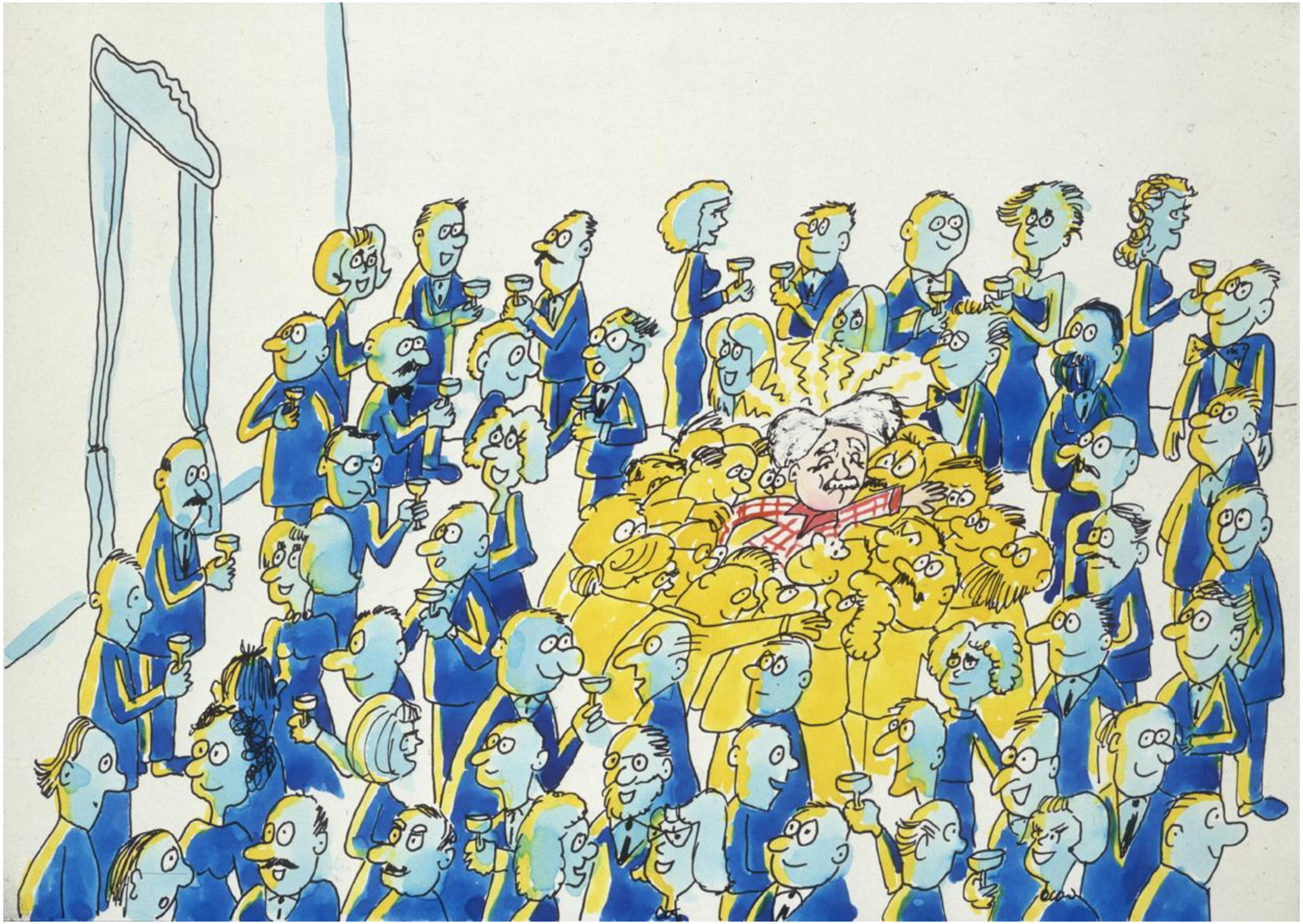
Prof. David J. Miller

El bosón de Higgs



Prof. David J. Miller

El bosón de Higgs



Prof. David J. Miller

El bosón de Higgs

Prof. David J. Miller

El bosón de Higgs

Prof. David J. Miller

¿Qué es el bosón de Higgs?

Para que el “mecanismo de Higgs” funcione, la partícula debe cumplir ciertas condiciones.

Entre ellas, debe tener “espín”=0

PRIMERA PARTÍCULA ELEMENTAL CON ESPÍN 0