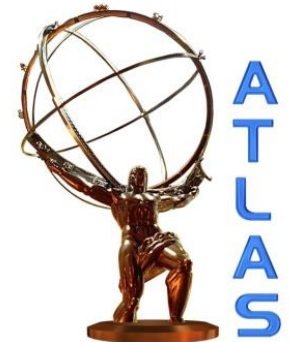


Introducción a la Física Experimental de Partículas



Luis Roberto Flores Castillo
The Chinese University of Hong Kong

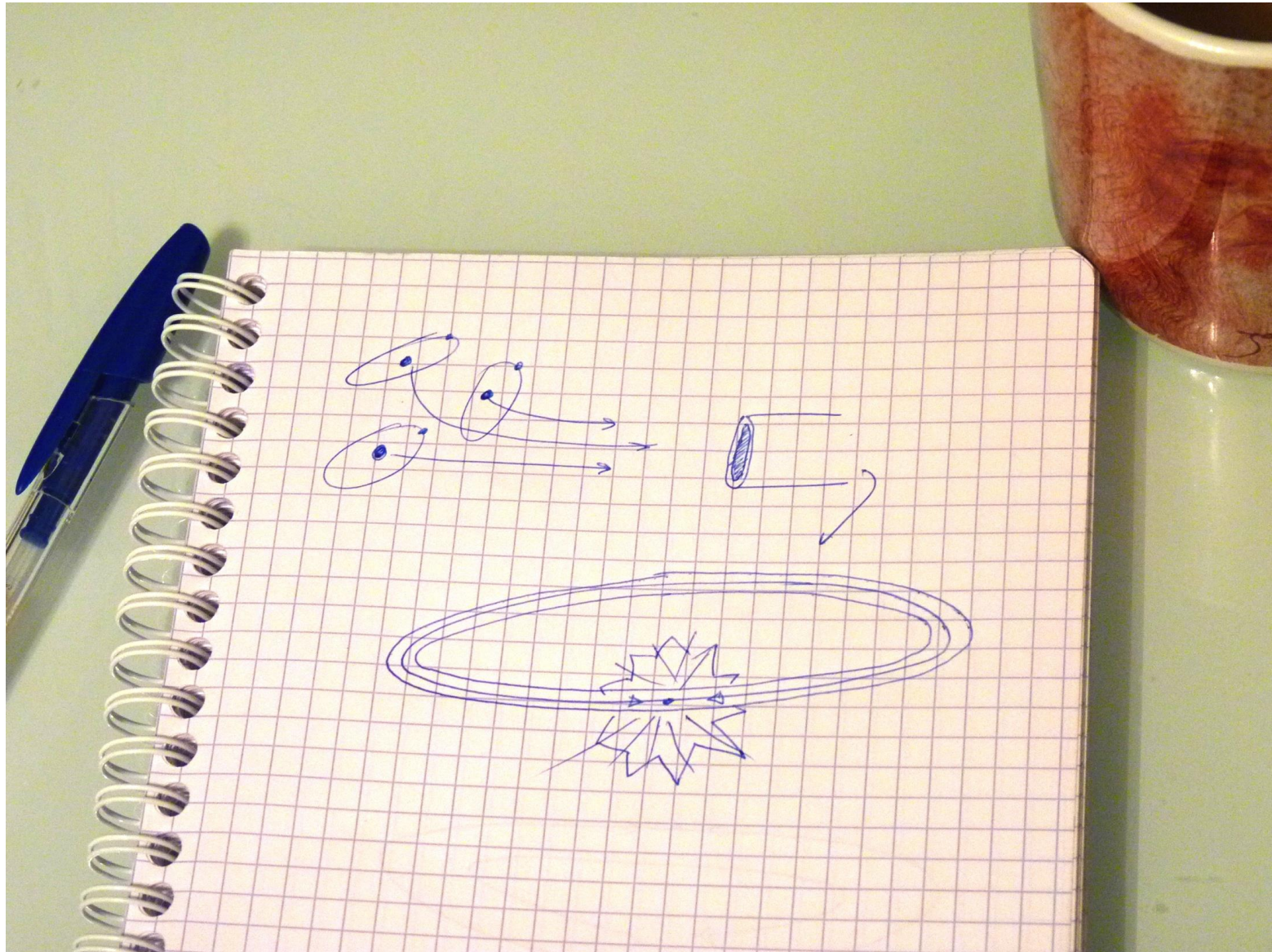


Spanish Language Teacher Program

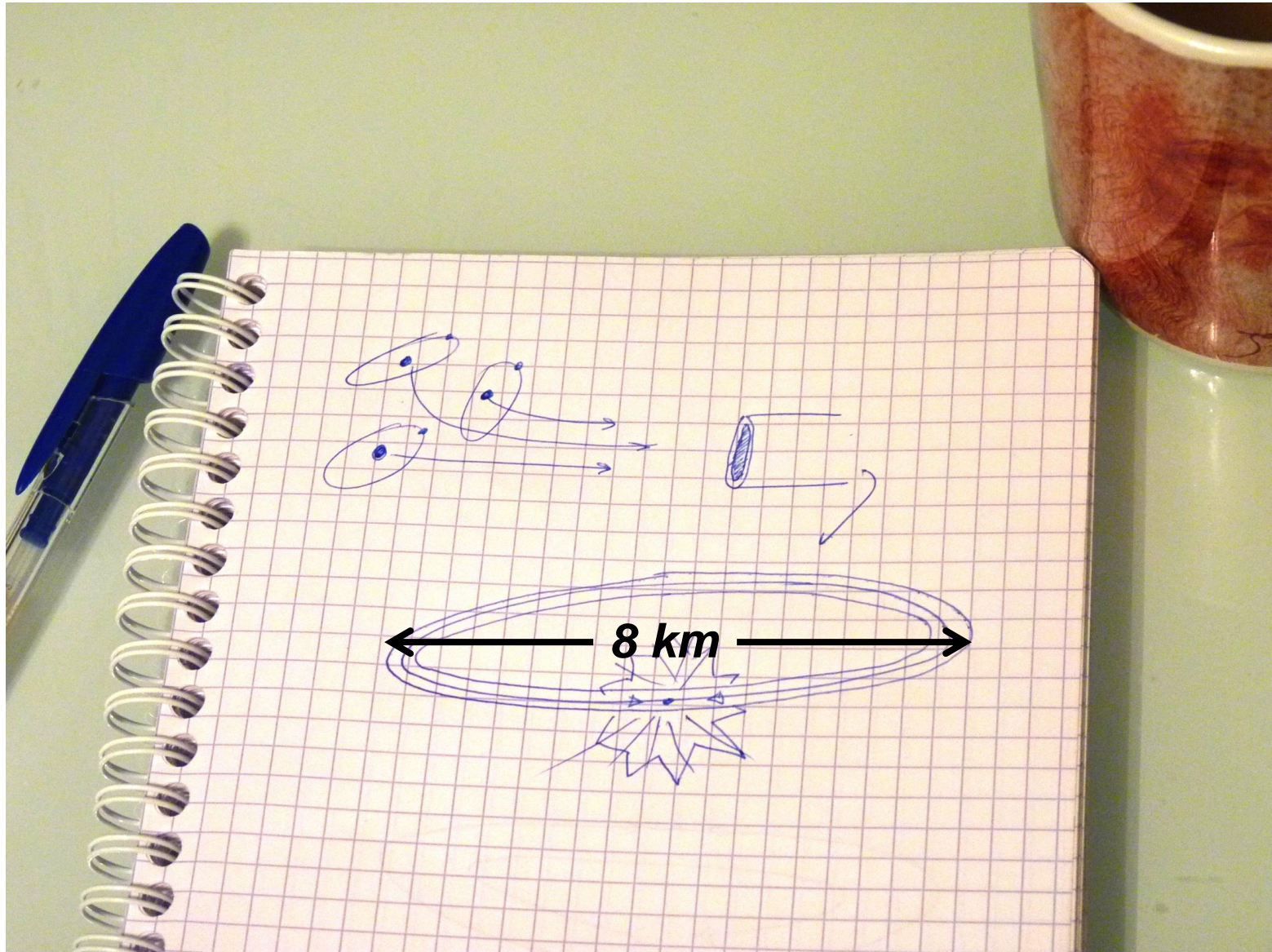
CERN

July 30, 2018

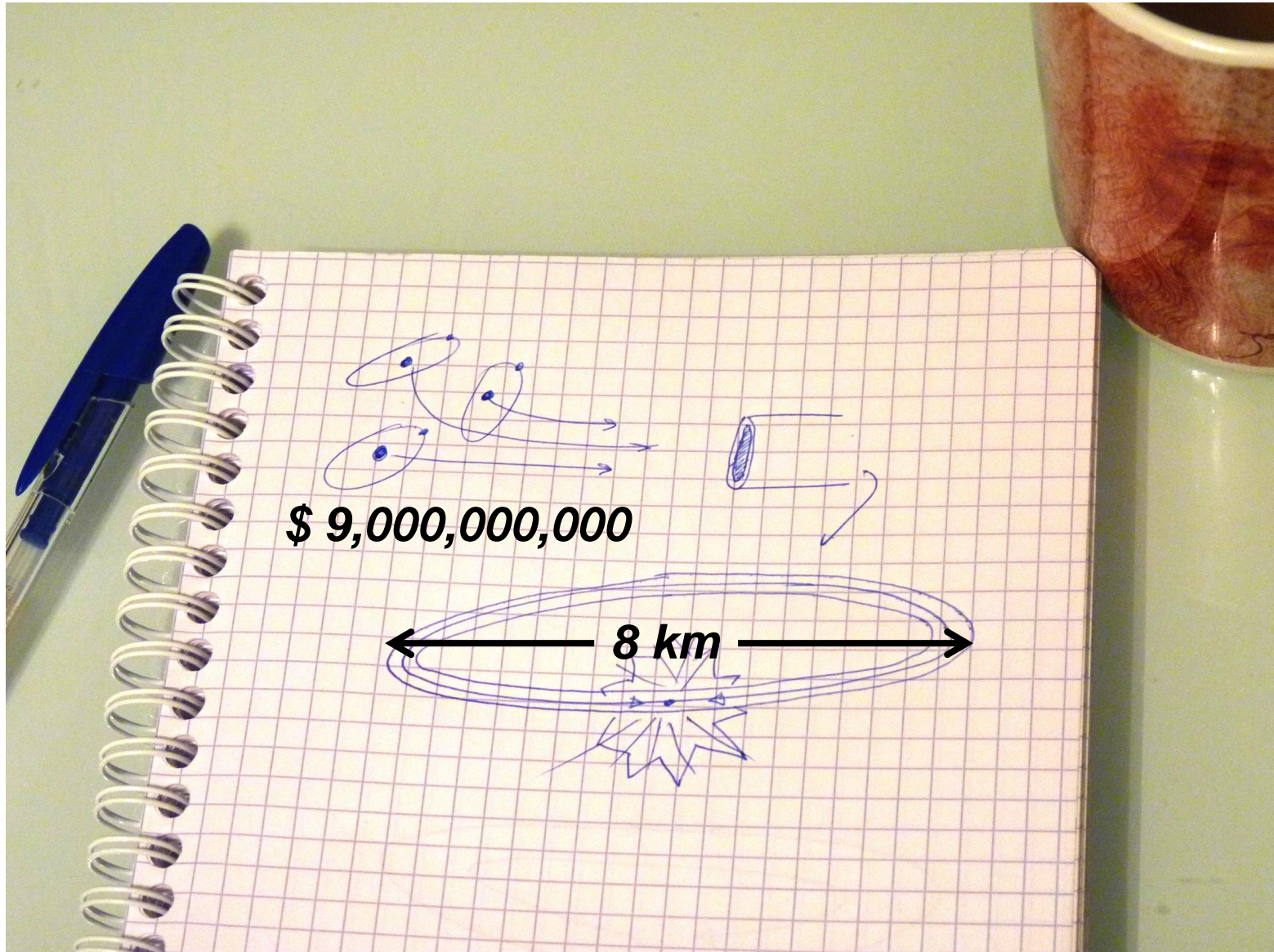
Soñando en grande



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

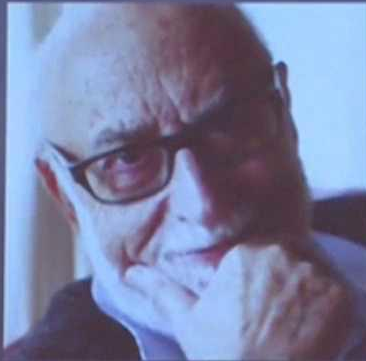
8 de octubre de 2013



Nobelpriset 2013

The Nobel Prize 2013

The Nobel Prize in Physics 2013



François Englert
Université Libre de Bruxelles, Belgium



Peter W. Higgs
University of Edinburgh, UK

"För den teoretiska upptäckten av en mekanism som bidrar till förståelsen av massans ursprung hos subatomära partiklar, och som nyligen, genom upptäckten av den förutsagda fundamentala partikeln, bekräftats av ATLAS- och CMS-experimenten vid CERN:s accelerator LHC."

"For the theoretical discovery of a mechanism that contributes to our understanding of the origin of mass of subatomic particles, and which recently was confirmed through the discovery of the predicted fundamental particle, by the ATLAS and CMS experiments at CERN's Large Hadron Collider."

 **Nobelprize.org**
© Kungl. Vetenskapsakademien

Piezas fundamentales

















¿Piezas fundamentales?

Periodic Table of Elements
© AllAboutGemstones.com

Group	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	1 H																	2 He	
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar	
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr	
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe	
6	55 Cs	56 Ba	57 *La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn	
7	87 Fr	88 Ra	89 +	104 Rf	105 Ha	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112	113 Uut	114 Uuq	115 Uup	116 Uuh	117 Uus	118 Uuo	
	<i>s-block</i>		<i>d-block</i>										<i>p-block</i>						
<i>f-block</i>	Lanthanide Series		57 *La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu		
	Actinide Series		89 +Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr		

H - Gas	Li - Solid	Br - Liquid	Tc - Synthetic
 Non-Metals	 Transition Metals	 Rare Earth Metals	 Halogens
 Alkali Metals	 Alkali Earth Metals	 Other Metals	 Inert Elements

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

¿Piezas fundamentales?

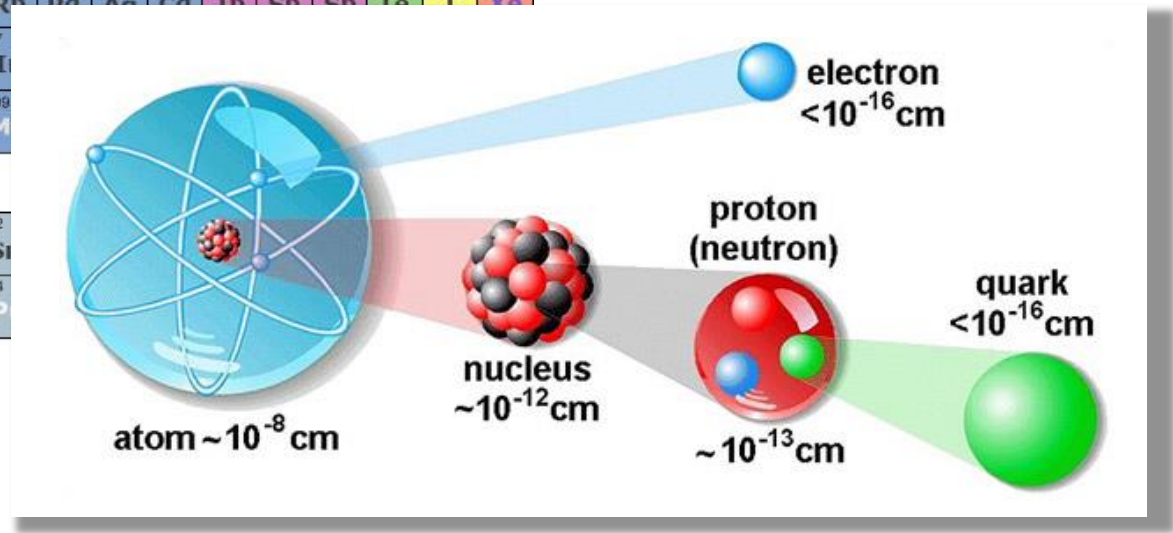
Periodic Table of Elements

© AllAboutGemstones.com

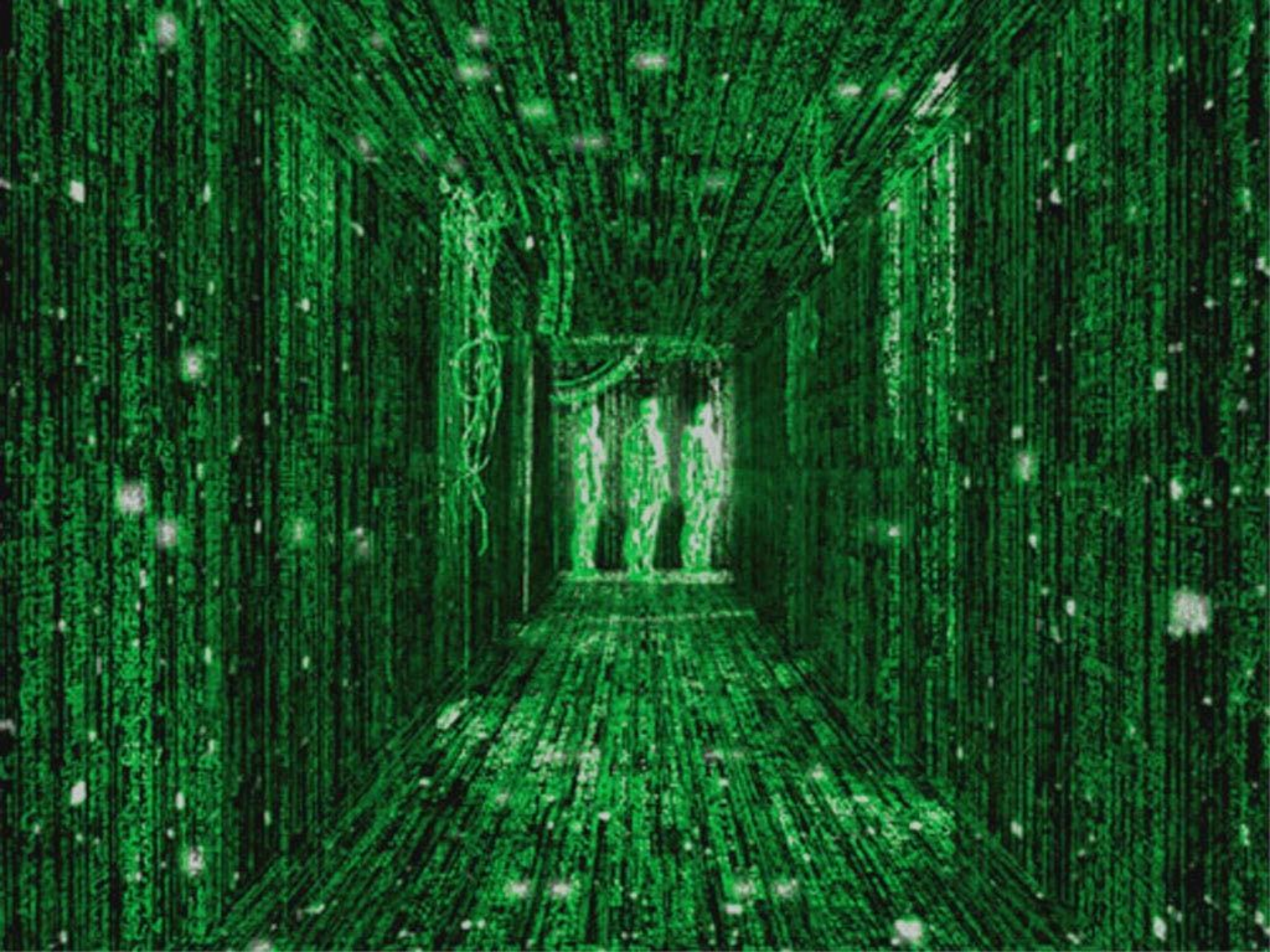
Group	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	H																	He
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
6	Cs	Ba	*La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	+Ac	Rf	Ha	Sg	Bh	Hs	Mt									

Legend:

- H - Gas
- Li - Solid
- Non-Metals (Green)
- Alkali Metals (Yellow)
- Transition Metals (Blue)
- Alkali Earth Metals (Cyan)



... pero todos ellos son combinaciones de TRES partículas.



Piezas fundamentales

- Además de esas tres, ...

u
up

d
down

e
electron

Piezas fundamentales

- Además de esas tres, ...

u
up

d
down

e
electron

γ
photon

Piezas fundamentales

- Además de esas tres, ...

u
up

d
down

e
electron

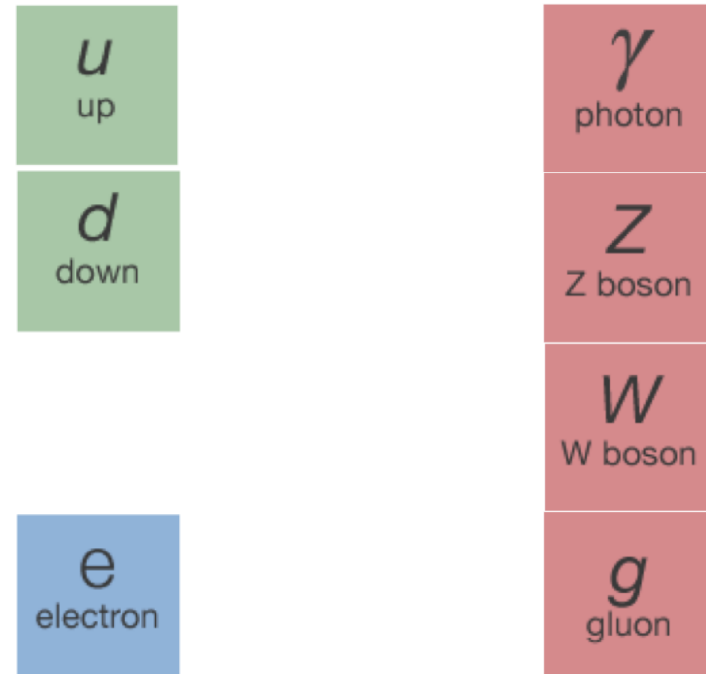
γ
photon

Z
Z boson

W
W boson

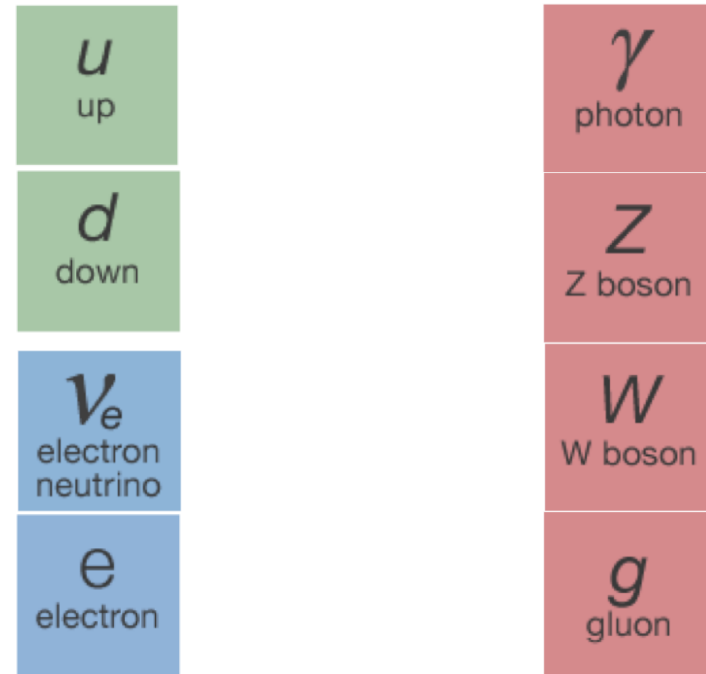
Piezas fundamentales

- Además de esas tres, ...



Piezas fundamentales

- Además de esas tres, ...



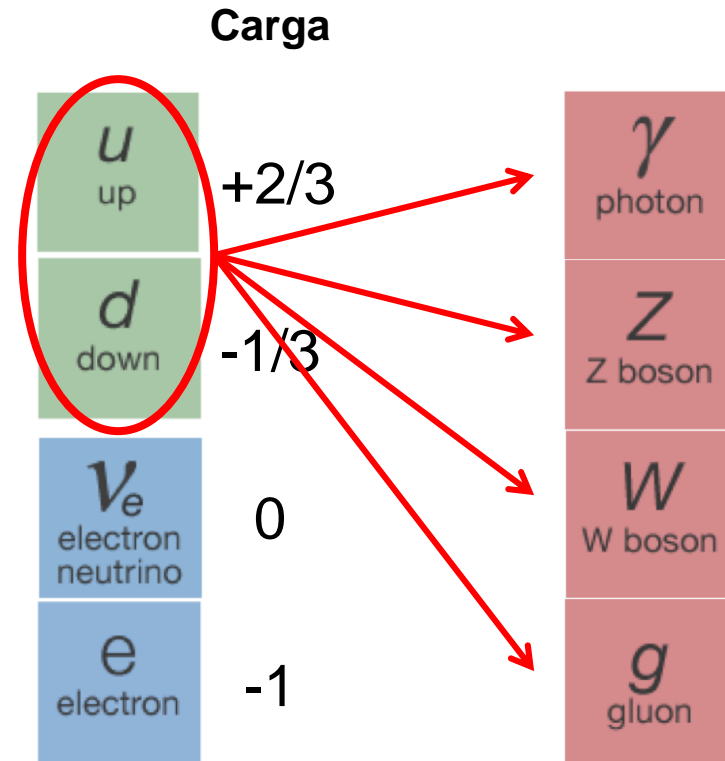
Piezas fundamentales

- Además de esas tres, ...

		Carga		
u up	+2/3	γ photon		
d down	-1/3	Z Z boson		
ν_e electron neutrino	0	W W boson		
e electron	-1	g gluon		

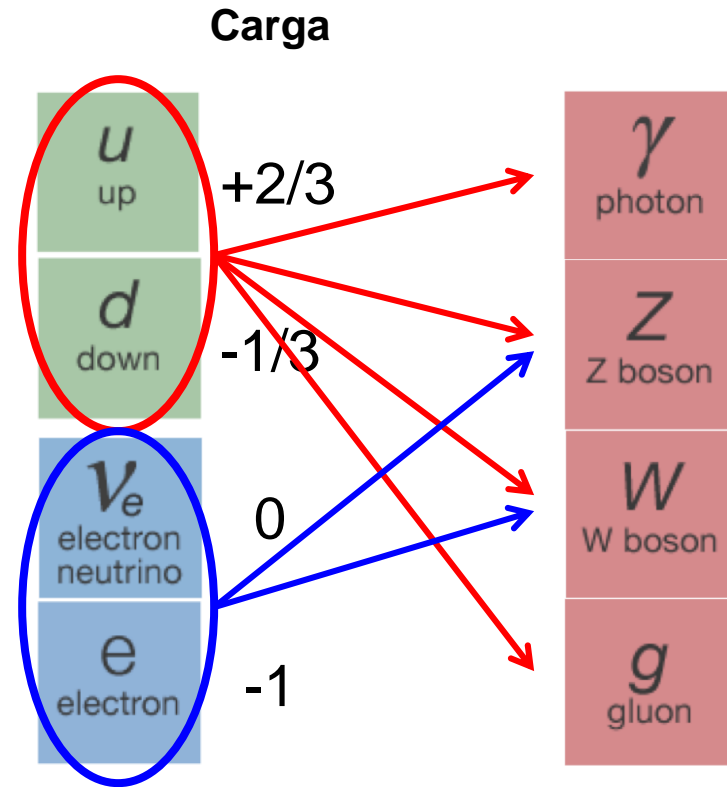
Piezas fundamentales

- Además de esas tres, ...



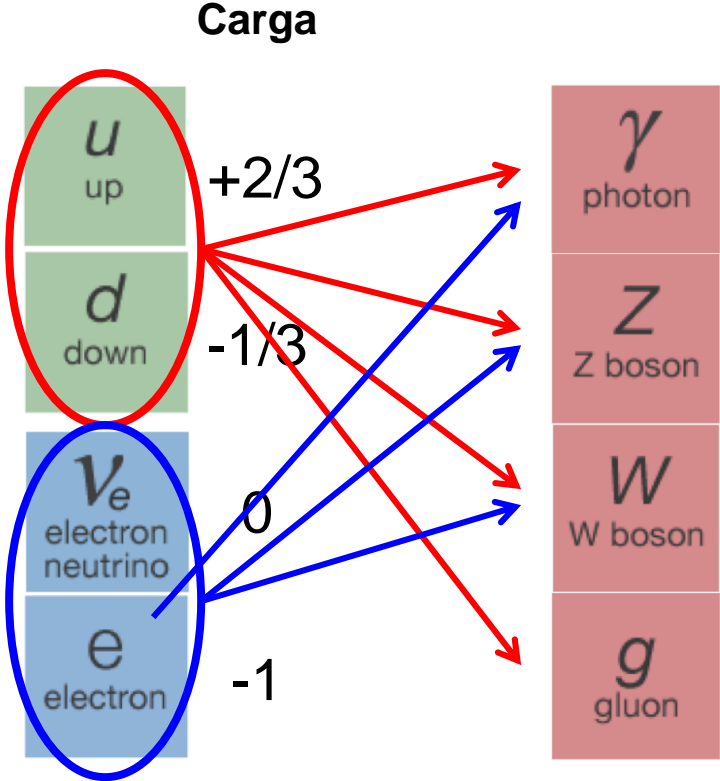
Piezas fundamentales

- Además de esas tres, ...



Piezas fundamentales

- Además de esas tres, ...



Piezas fundamentales

- Además de esas tres, ...

u up	c charm	γ photon
d down	s strange	Z Z boson
ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	W W boson
e electron	μ muon	g gluon

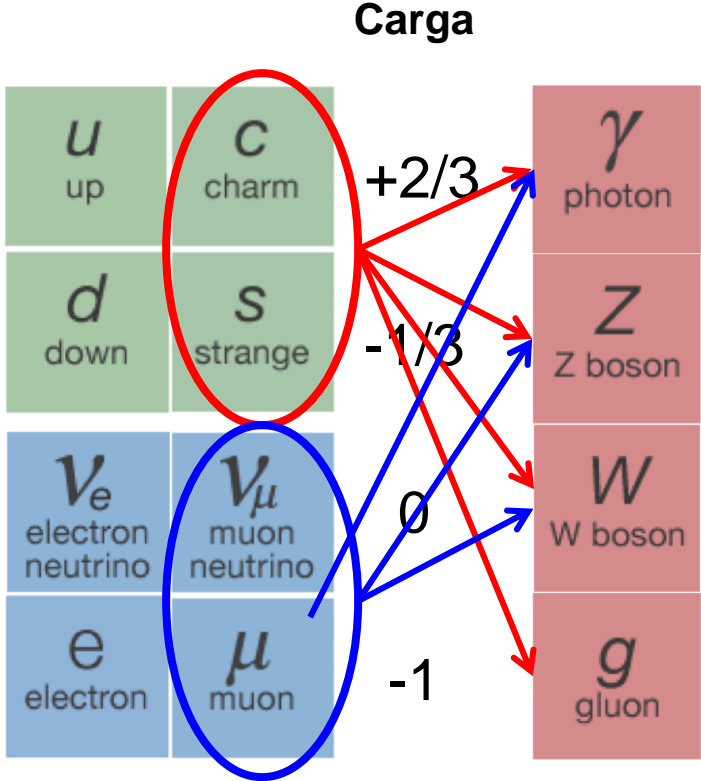
Piezas fundamentales

- 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, ...

u up	c charm	t top	γ photon
d down	s strange	b bottom	Z Z boson
ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	W W boson
e electron	μ muon	τ tau	g gluon

Piezas fundamentales

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

	Fermions			Bosons	
Quarks	u up	c charm	t top	γ photon	Force carriers
	d down	s strange	b bottom	Z Z boson	
Leptons	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	W W boson	
	e electron	μ muon	τ tau	g gluon	

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, ...)

	Fermions			Bosons	
Quarks	u up	c charm	t top	γ photon	Force carriers
	d down	s strange	b bottom	Z Z boson	
Leptons	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	W W boson	
	e electron	μ muon	τ tau	g gluon	

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**

	Fermions			Bosons	
Quarks	u up	c charm	t top	γ photon	Force carriers
	d down	s strange	b bottom	Z Z boson	
Leptons	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	W W boson	
	e electron	μ muon	τ tau	g gluon	

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**

	Fermions			Bosons	
Quarks	u up	c charm	t top	γ photon	Force carriers
	d down	s strange	b bottom	Z Z boson	
Leptons	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	W W boson	
	e electron	μ muon	τ tau	g gluon	
				H Higgs boson	

Source: AAAS



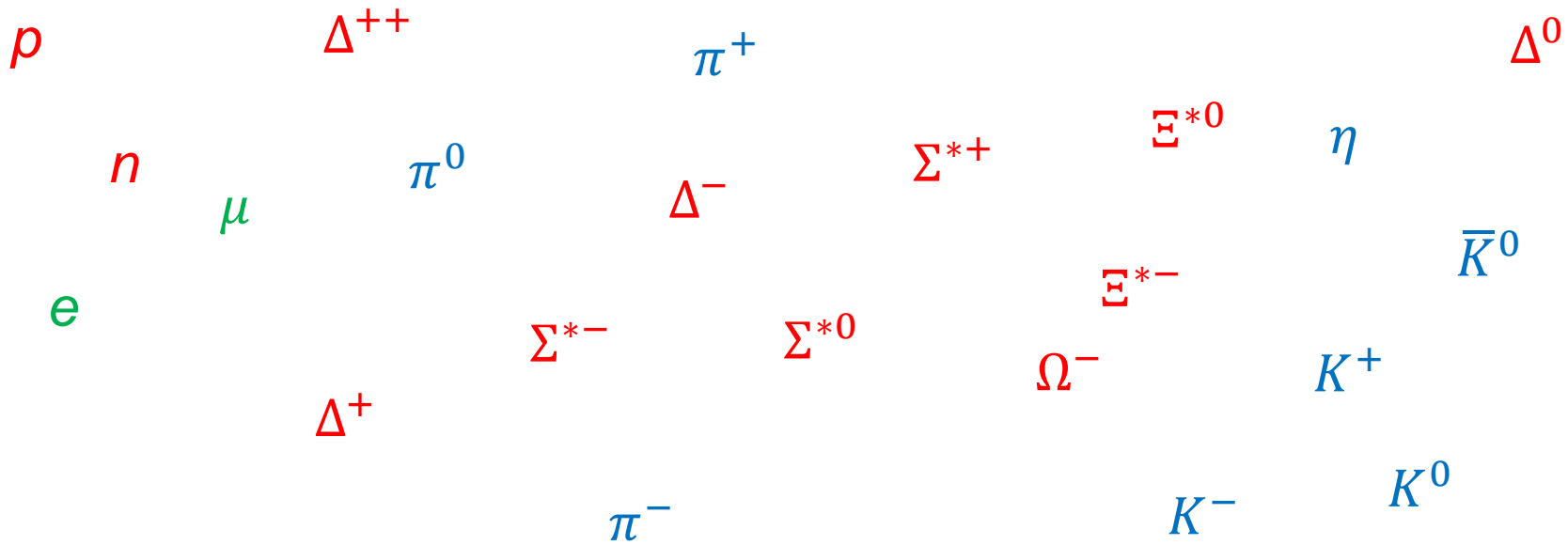
Piezas fundamentales

	Fermions			Bosons	
Quarks	u up	c charm	t top	γ photon	Force carriers
	d down	s strange	b bottom	Z Z boson	
Leptons	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	W W boson	
	e electron	μ muon	τ tau	g gluon	
				H Higgs boson	

- 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?

Source: AAAS

Paréntesis histórico



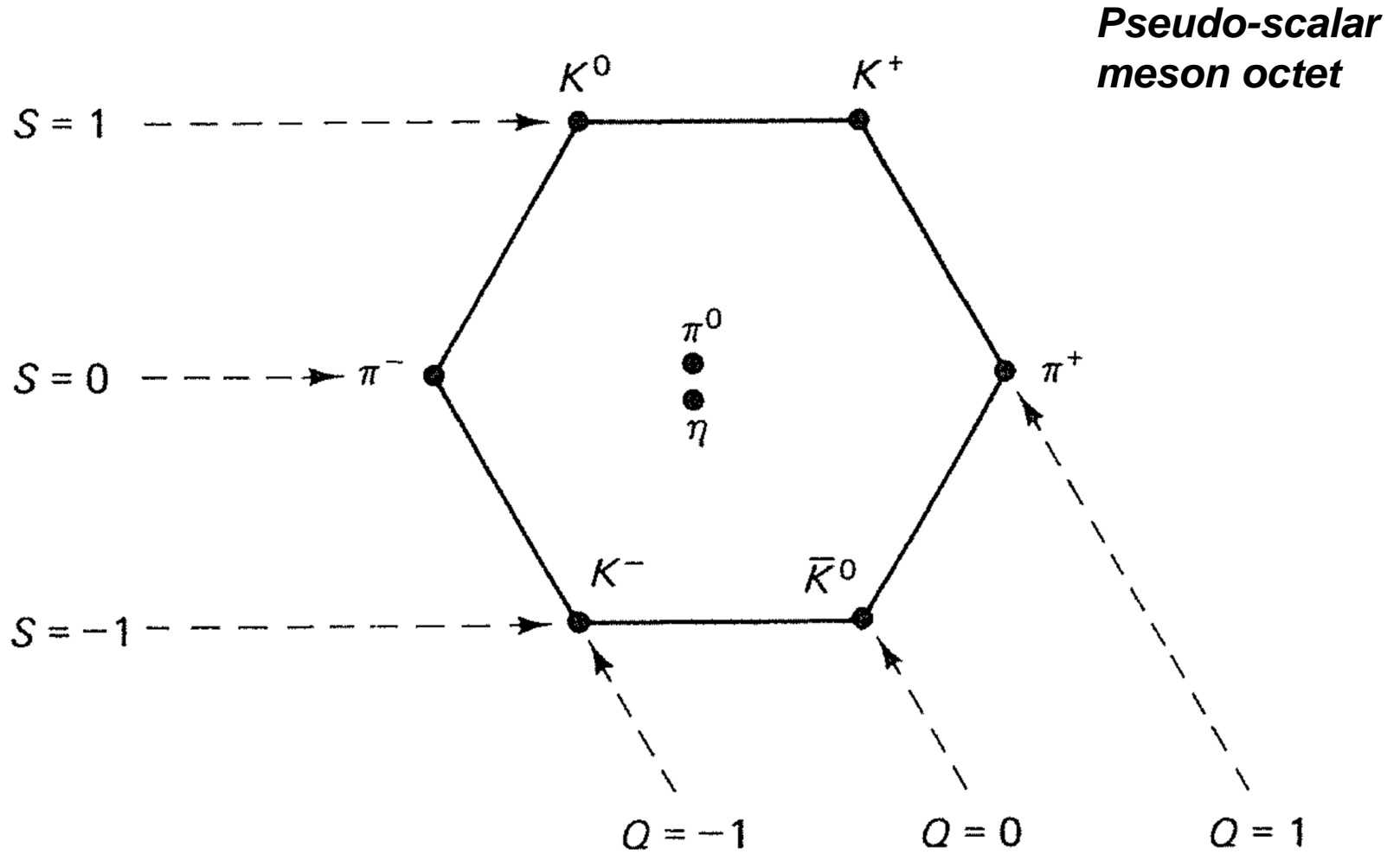
When the Nobel Prizes were first awarded in 1901, physicists knew [...] of only two [...] “elementary particles”: the electron and the proton.

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”

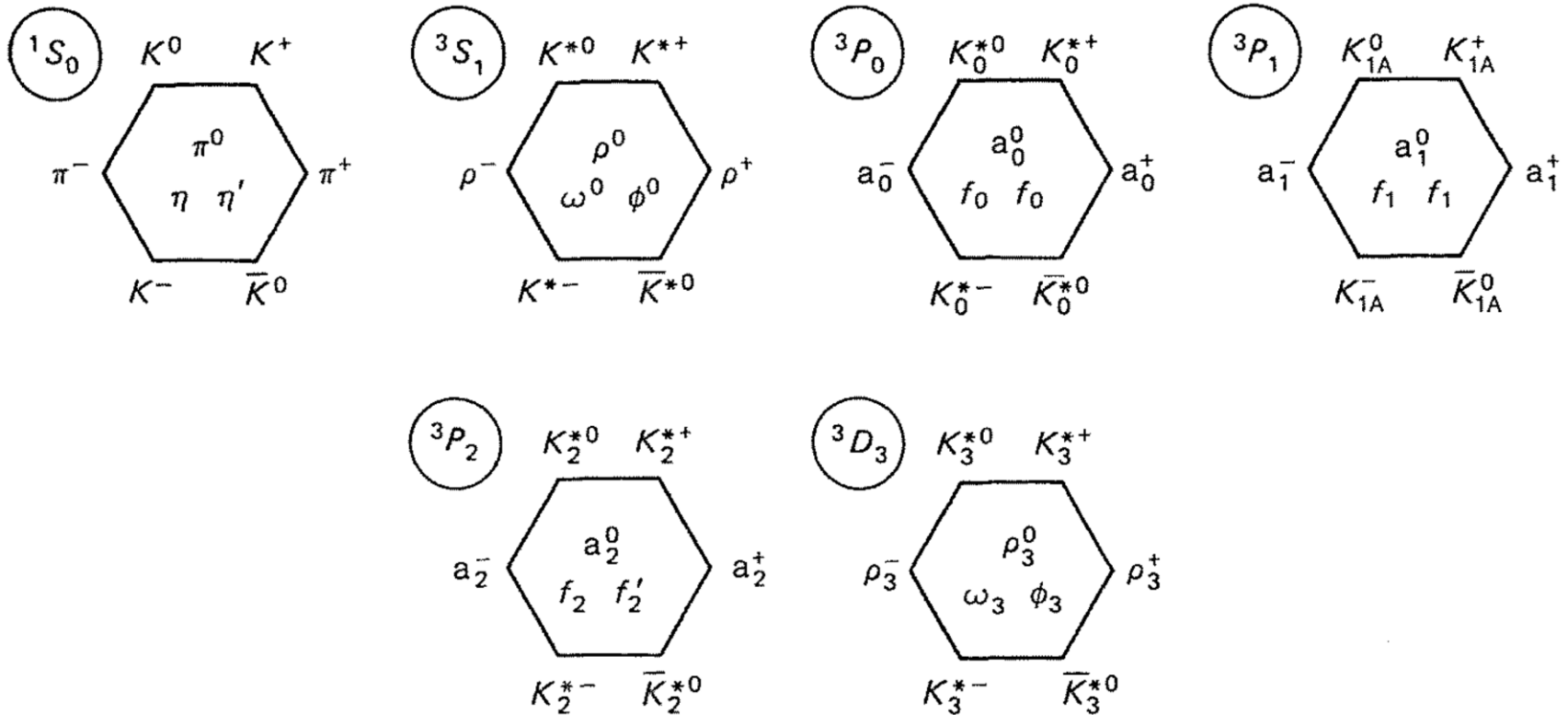
Willis Lamb, 1955 Nobel Prize acceptance speech

"The Eightfold Way" (1961-1964)



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	η'

Cada combinación también puede tener estados excitados

¿Cómo buscar nuevas partículas?

$$**E = mc^2**$$



LHC

Aeropuerto
de Ginebra

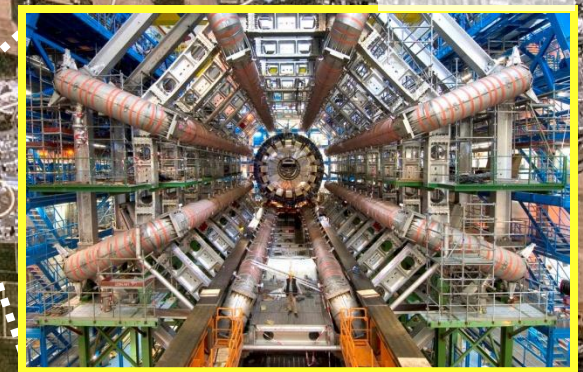
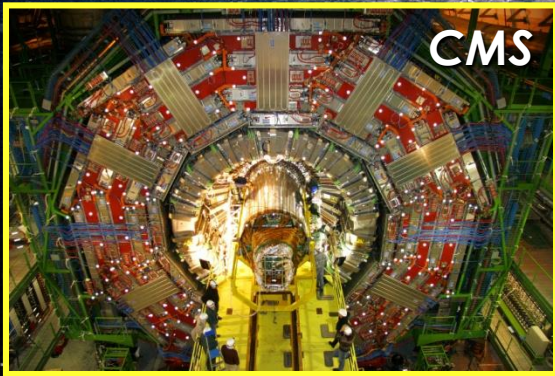
- 27 km de circunferencia, 50-150 m bajo tierra
- Dos haces de protones casi a la velocidad de la luz
- Energía almacenada: 350 MJ (~TGV a 155 km/h)

LHC



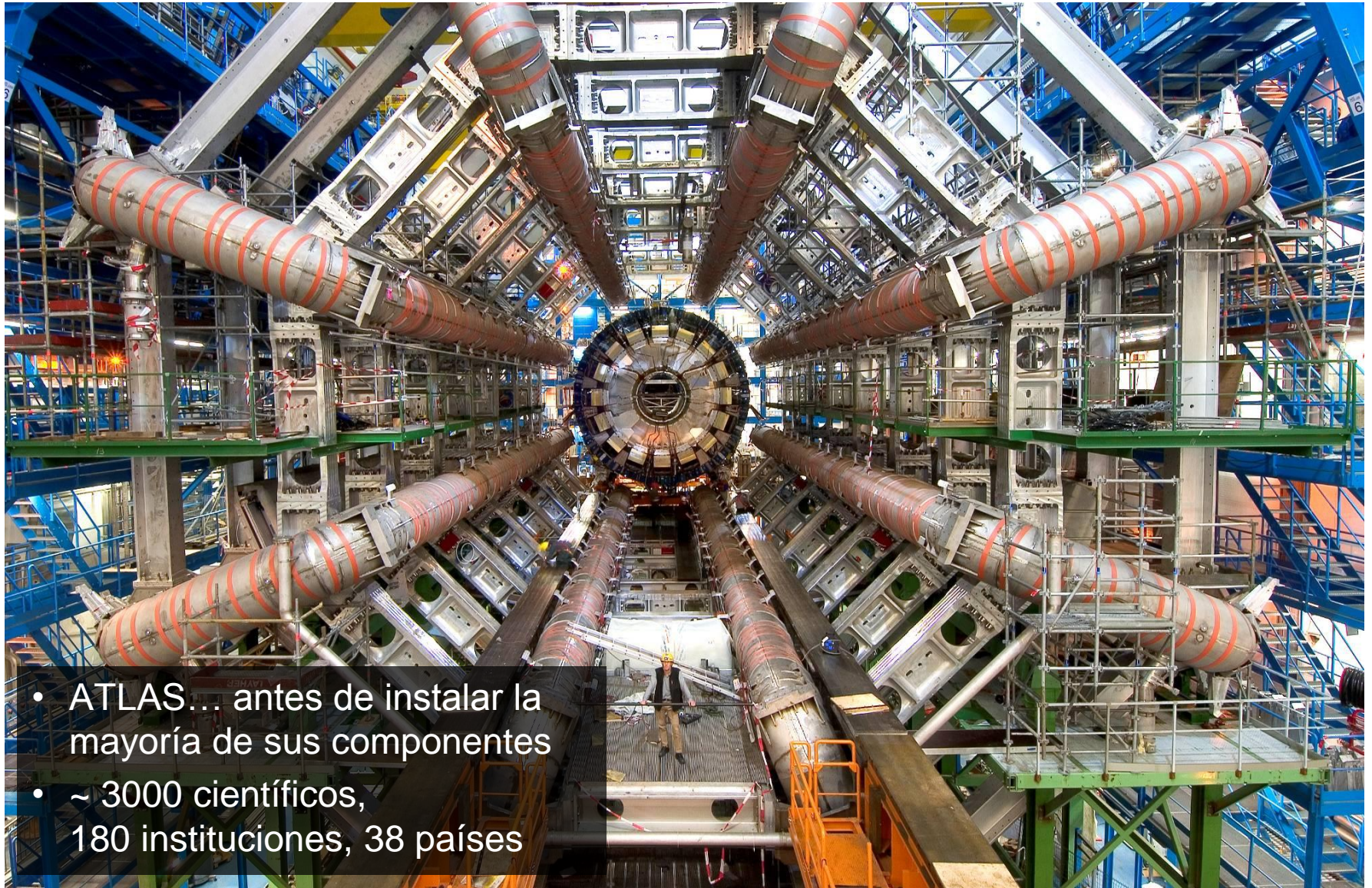
- ~1600 magnetos superconductores
- Nubes de 1.15×10^{11} protones: 30 micras por varios cm
- 40 millones de cruces por segundo

LHC



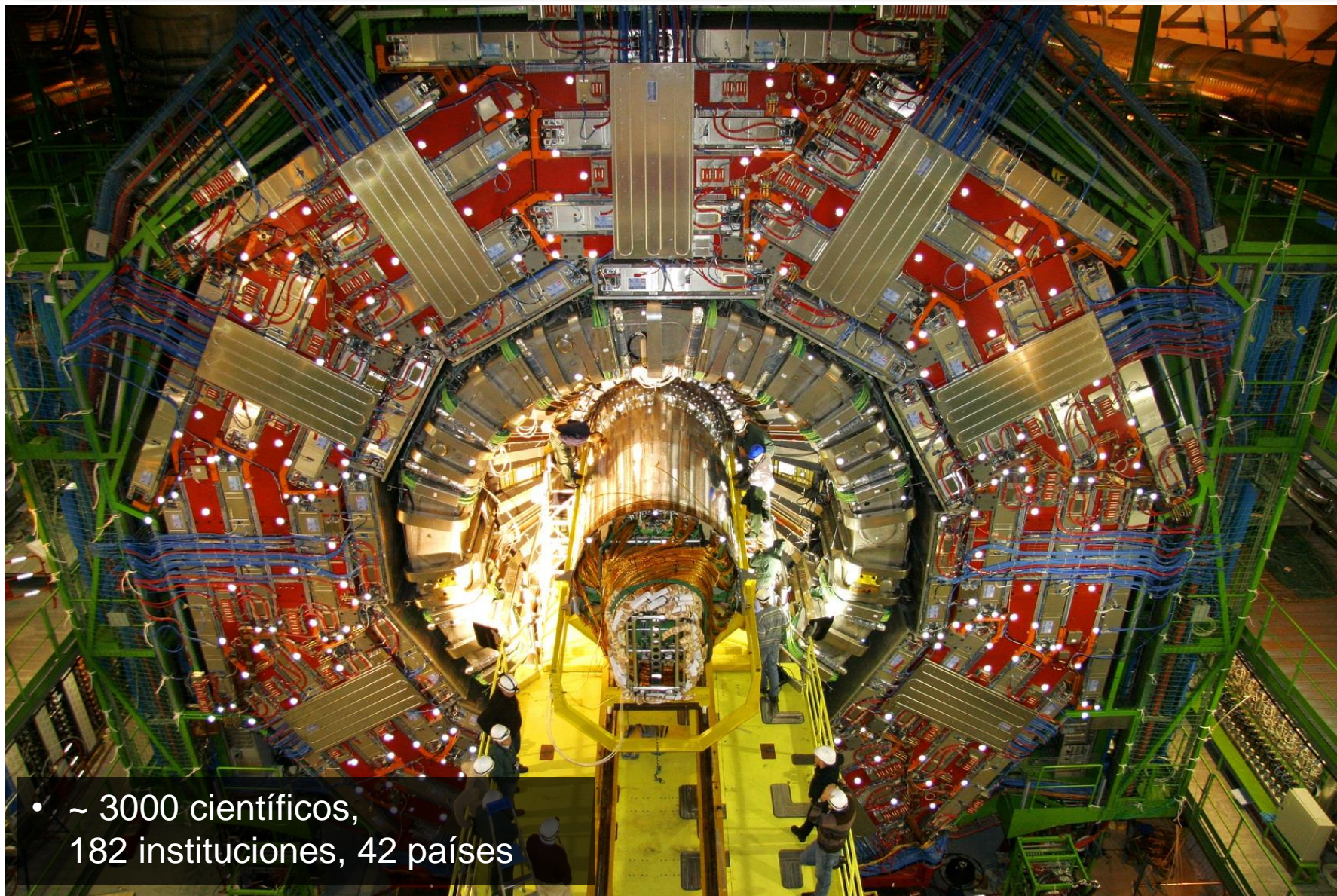
- Cuatro puntos de colisión
- Un detector en cada uno
- Descubrimiento: ATLAS, CMS

ATLAS

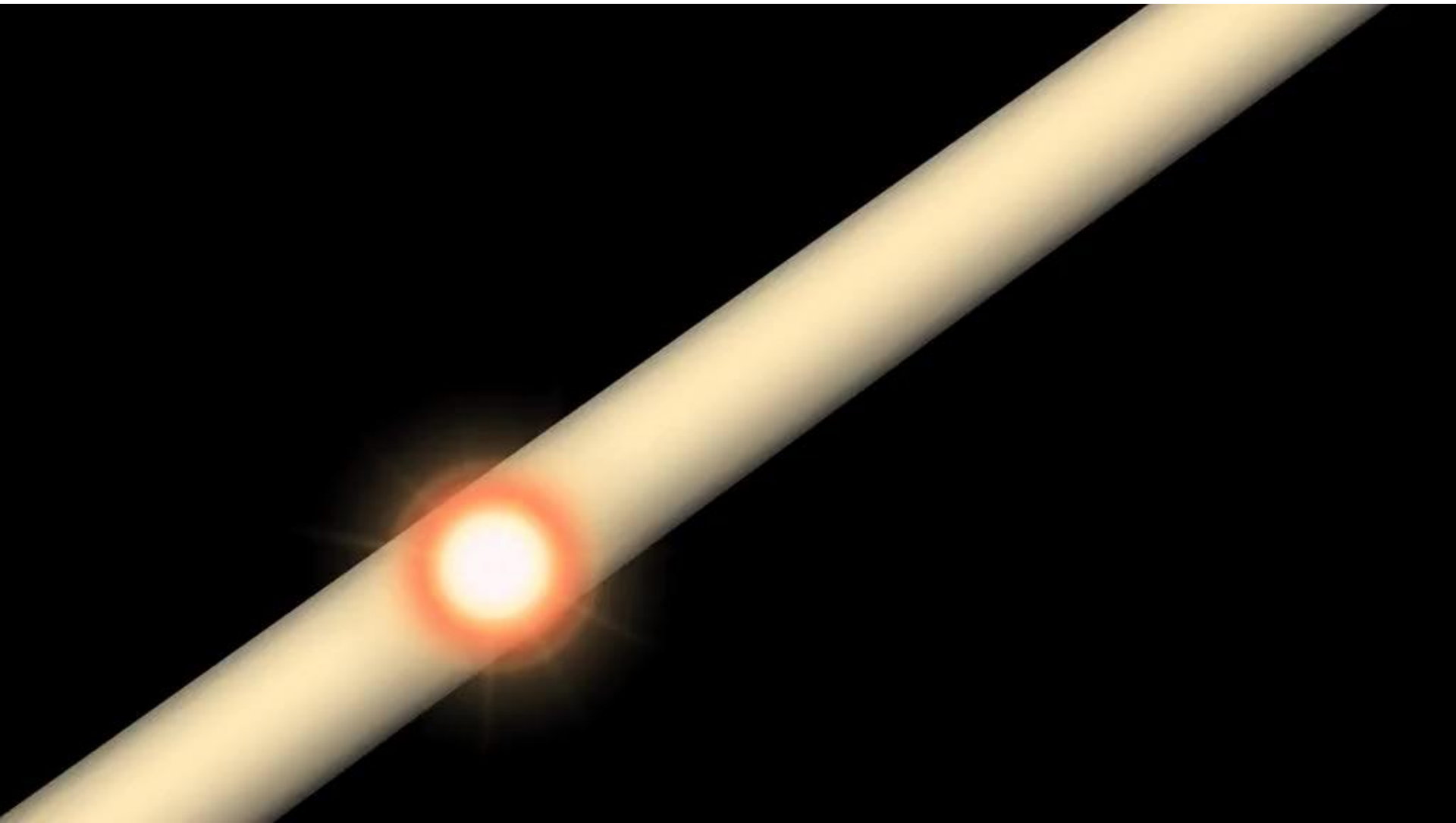


- ATLAS... antes de instalar la mayoría de sus componentes
- ~ 3000 científicos, 180 instituciones, 38 países

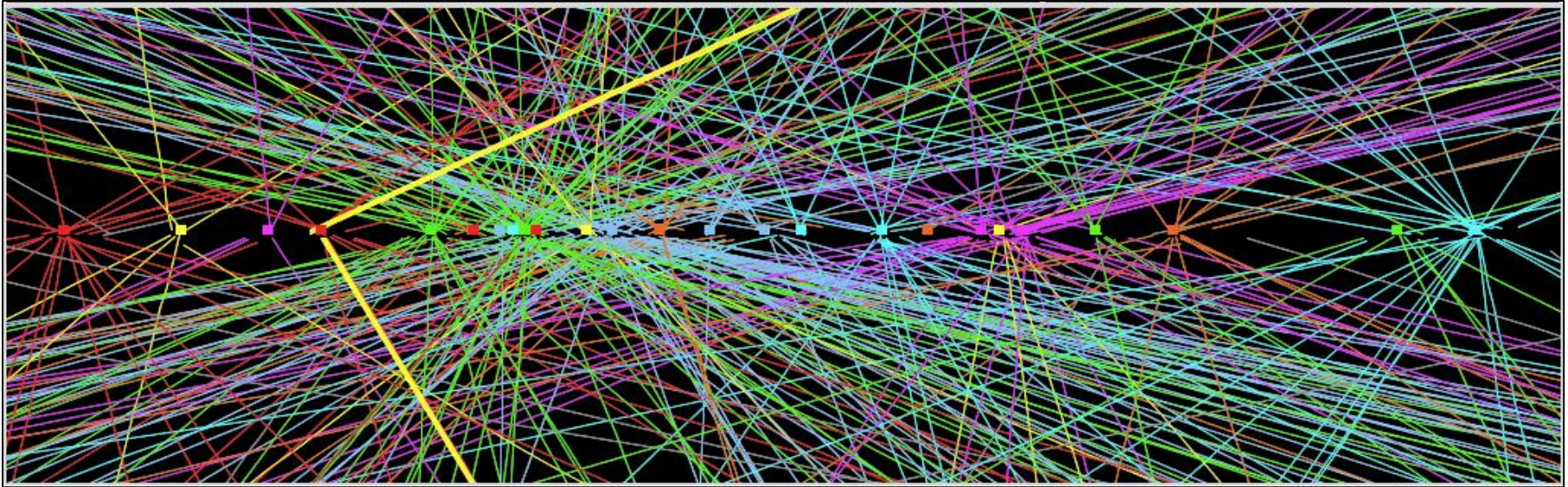
CMS



- ~ 3000 científicos,
182 instituciones, 42 países



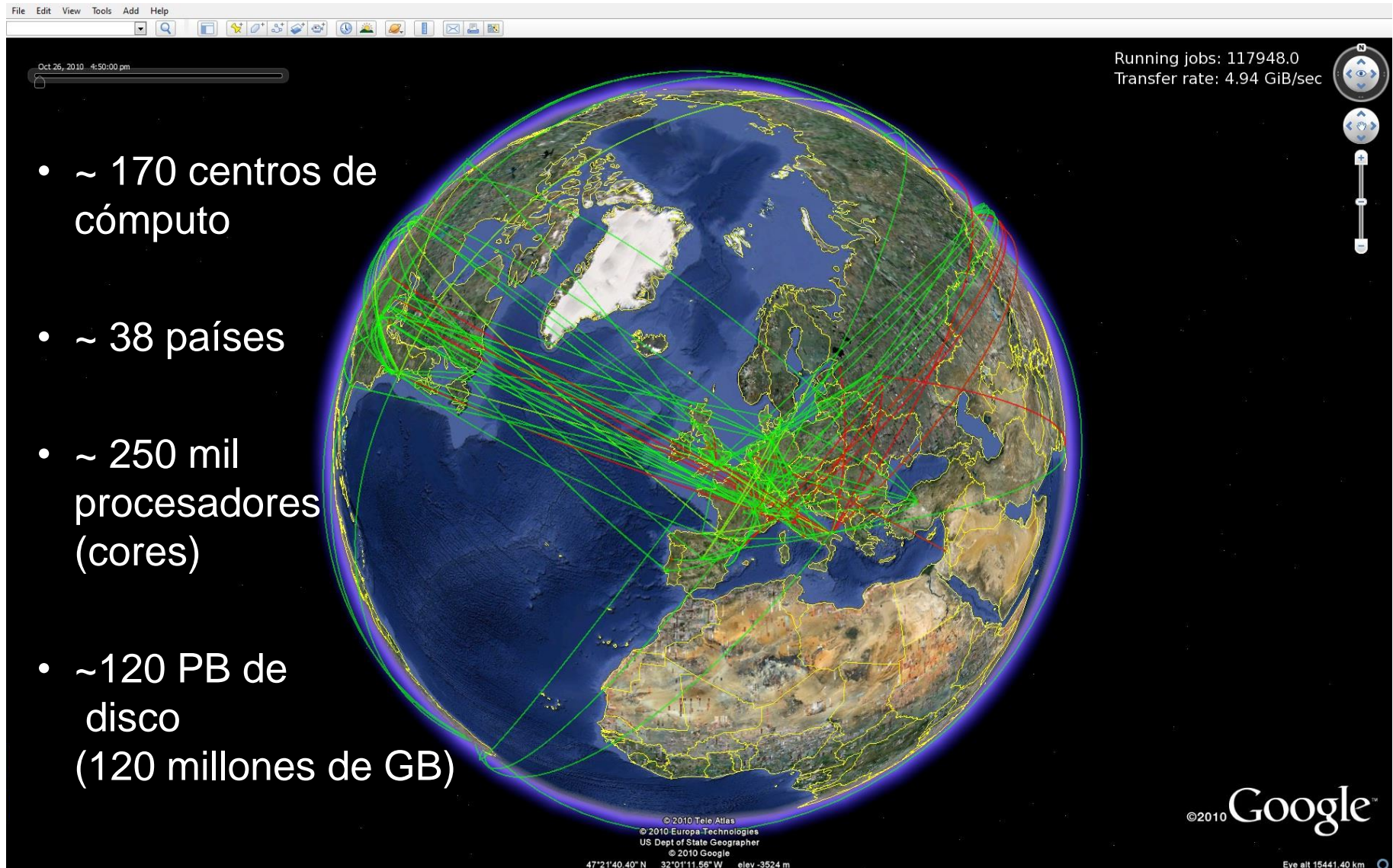
Información generada



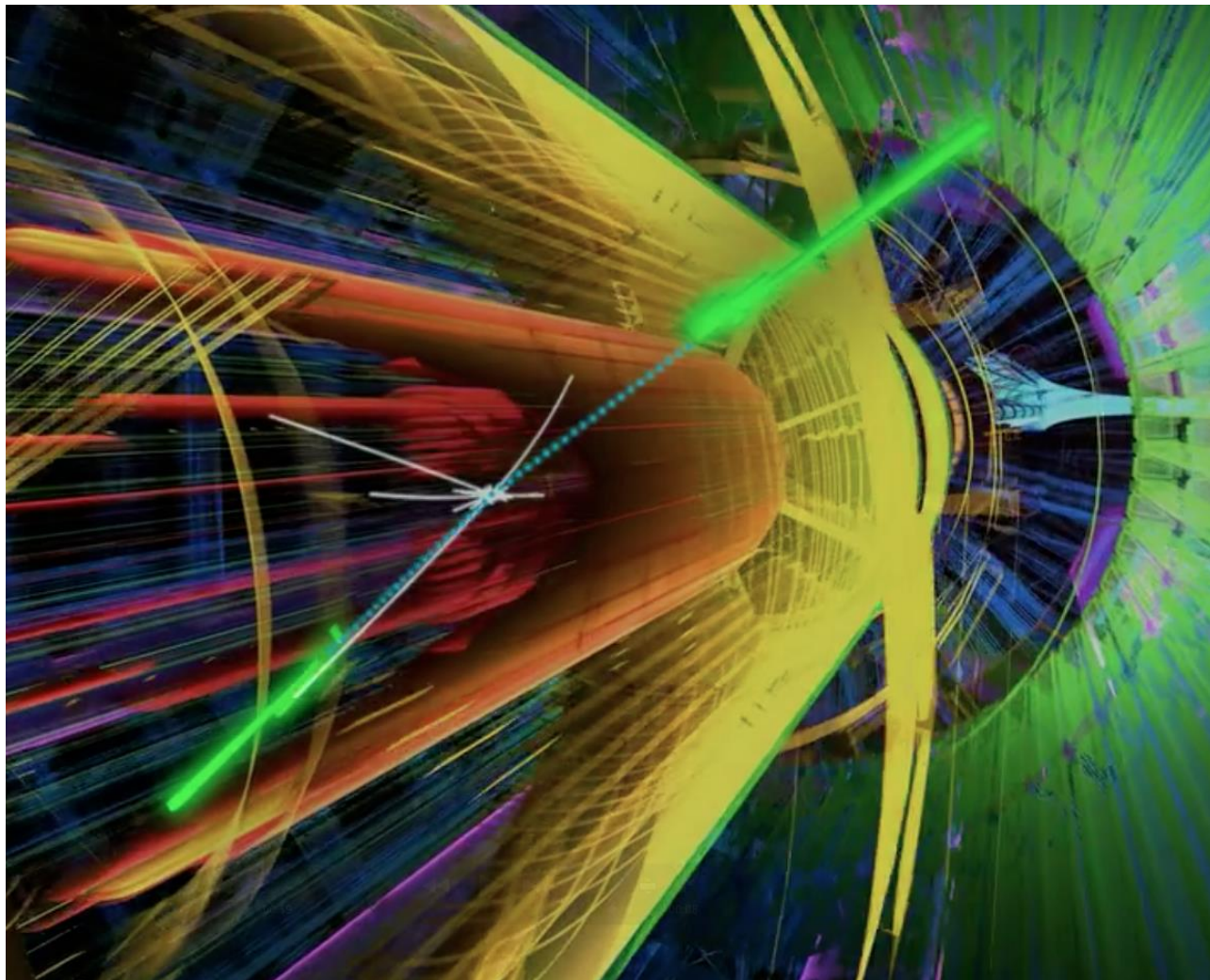
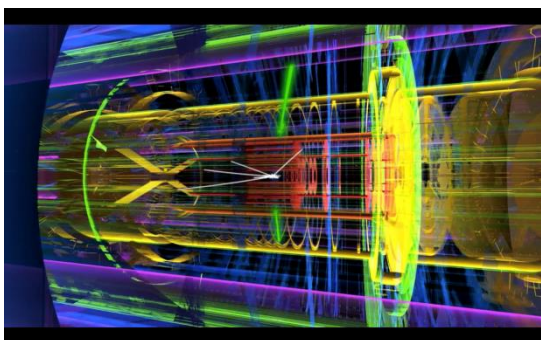
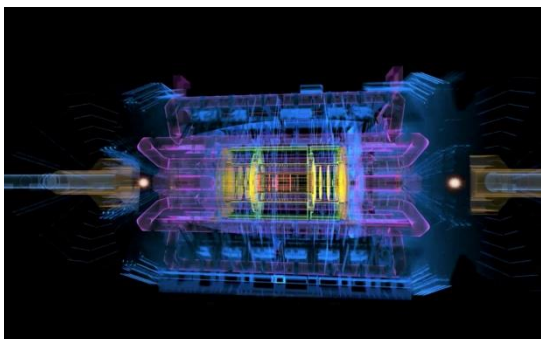
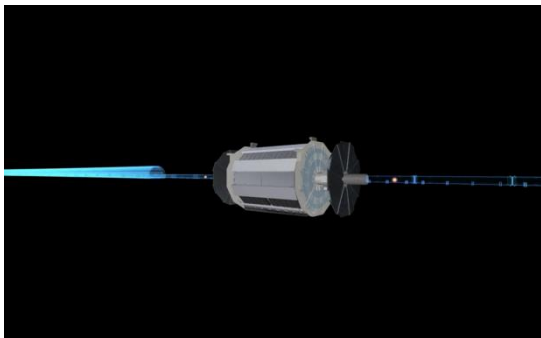
Evento $Z \rightarrow \mu\mu$ de 2012 con 25 vértices reconstruidos

- 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, ...

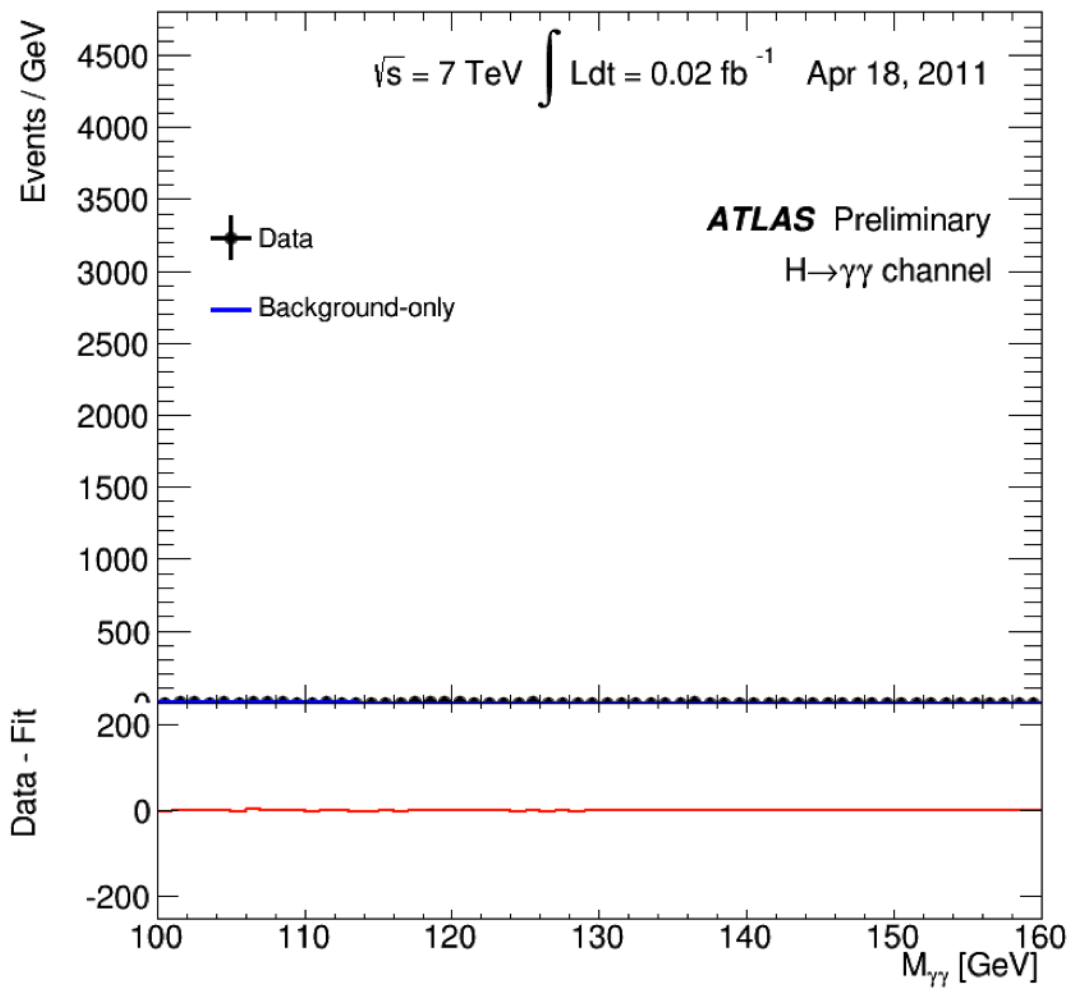
Red mundial de cómputo



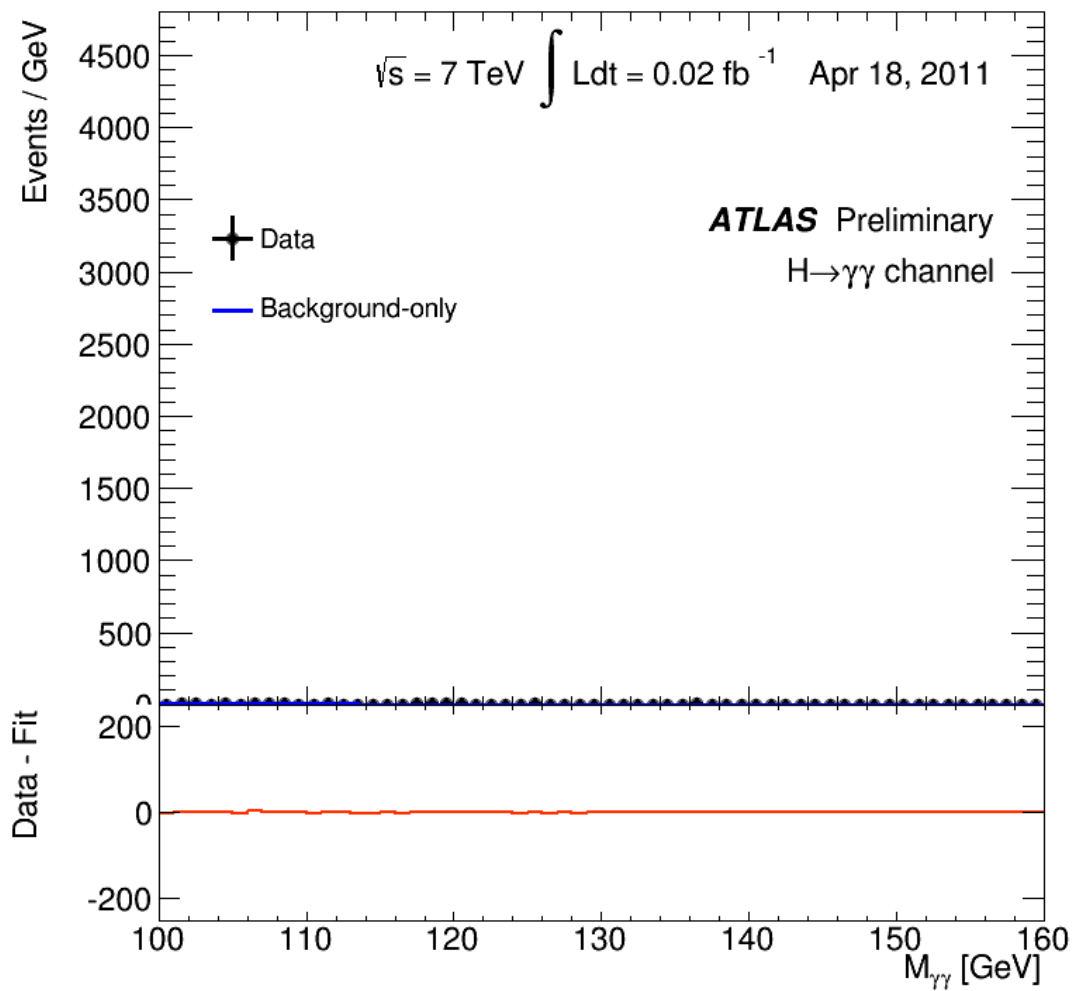
$$H \rightarrow \gamma\gamma$$



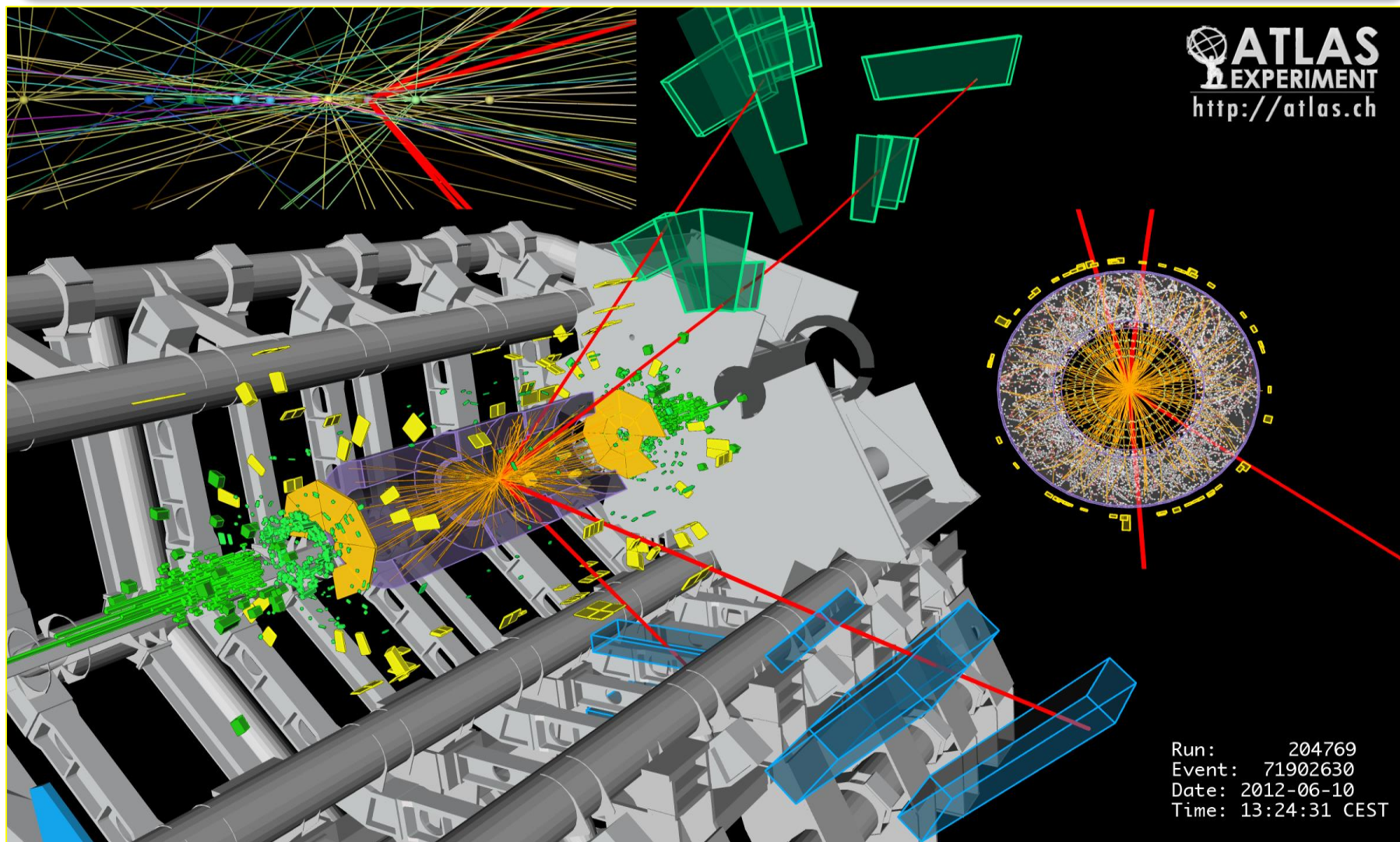
$H \rightarrow \gamma\gamma$



$H \rightarrow \gamma\gamma$



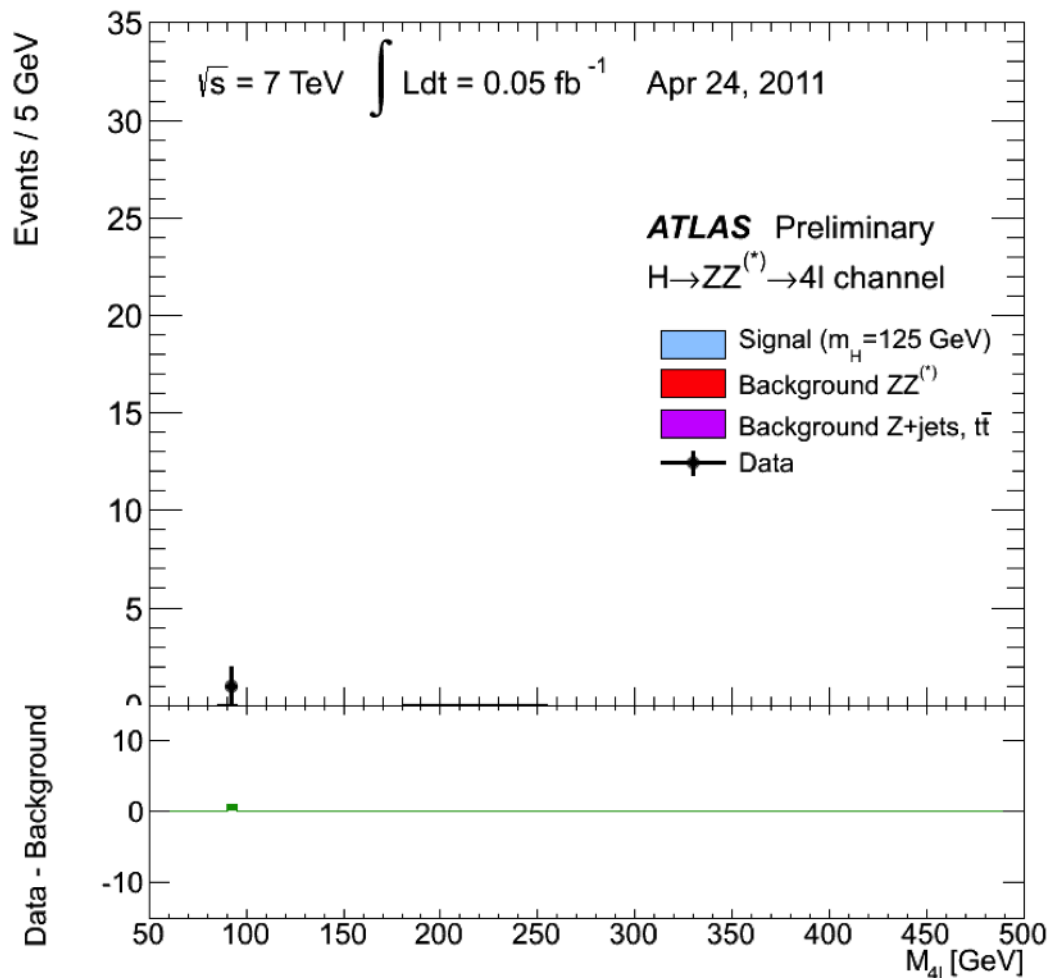
$H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4 \text{ leptones}$



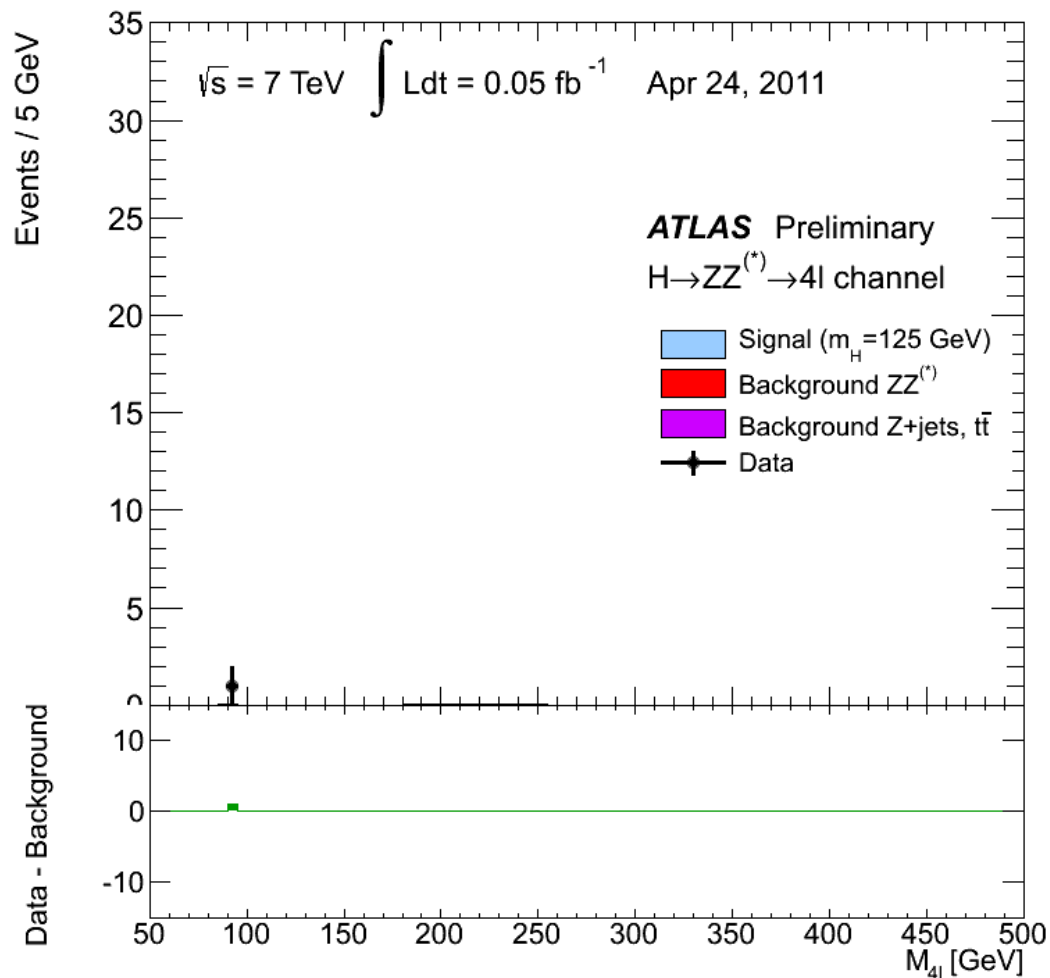
Candidato a H to 4μ , with $m_{4\mu}=125.1 \text{ GeV}$

p_T (muones)= 36.1, 47.5, 26.4, 71.7 GeV $m_{12}= 86.3 \text{ GeV}$, $m_{34}= 31.6 \text{ GeV}$. 15 vértices reconstruidos

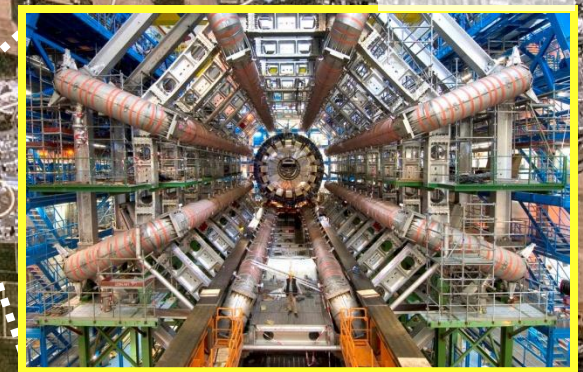
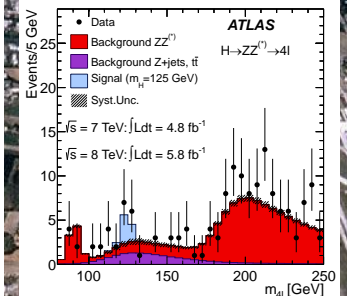
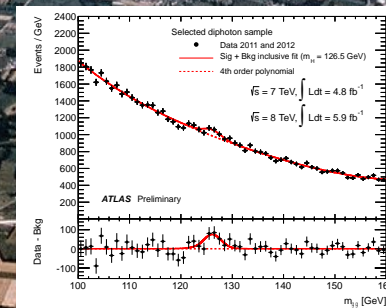
$H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4 \text{ leptones}$



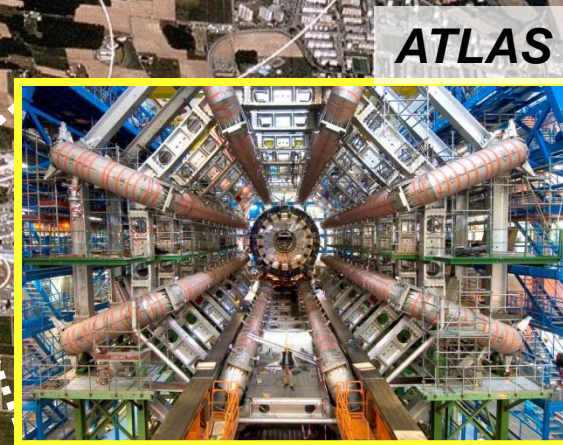
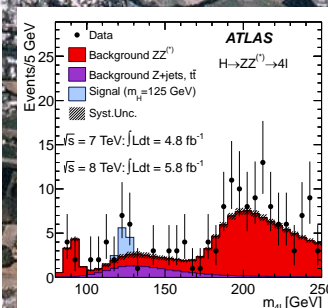
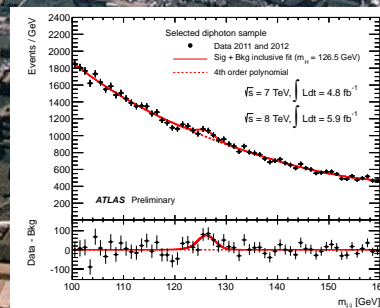
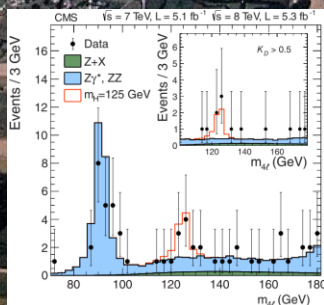
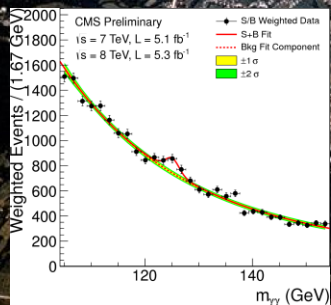
$H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4 \text{ leptones}$



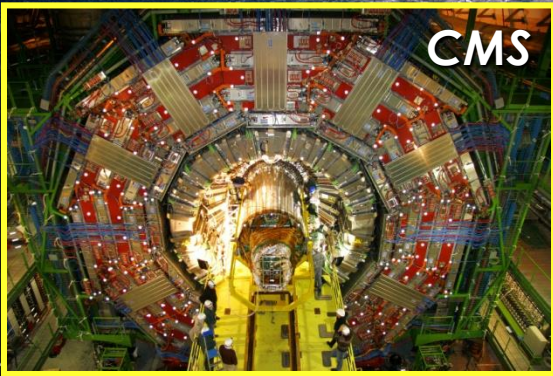
Verificación independiente



Verificación independiente

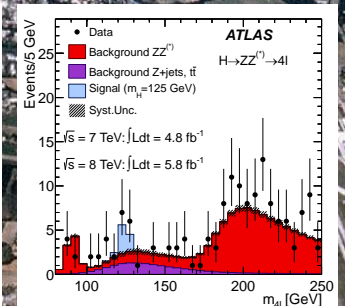
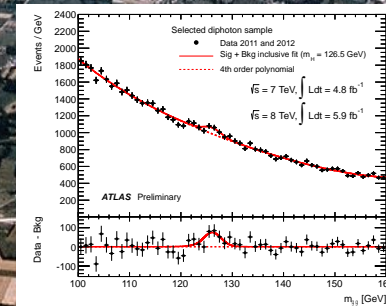
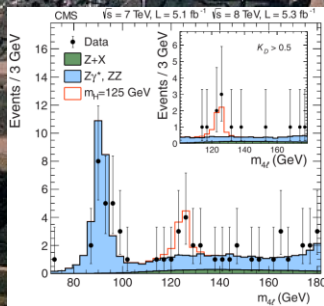
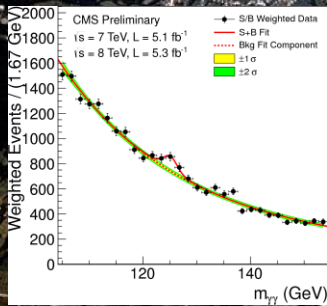


Combinación

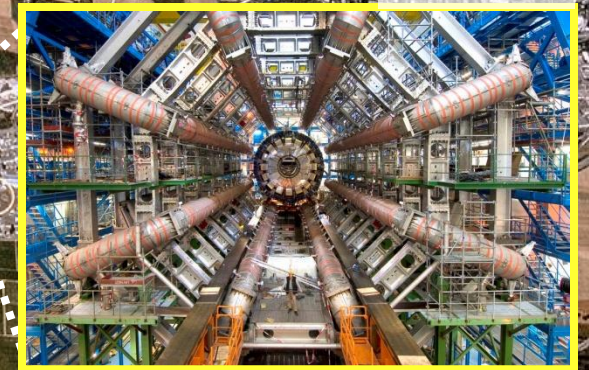


CMS

Probabilidad $< 0.00003\%$
 $= "5\sigma" \rightarrow$ Descubrimiento!



Probabilidad $< 0.00003\%$
 $= "5\sigma" \rightarrow$ Descubrimiento!



ATLAS

4 de julio de 2012

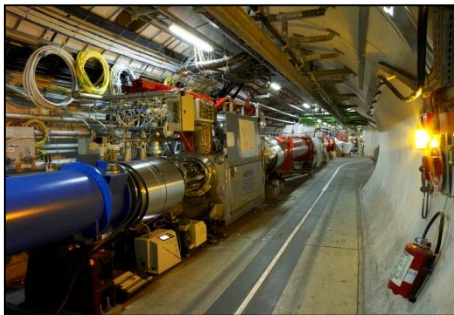


Física fundamental y vida cotidiana

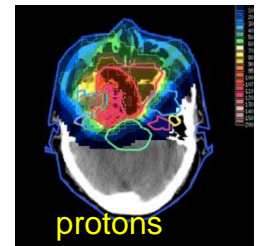
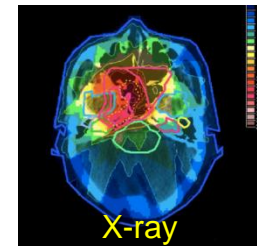
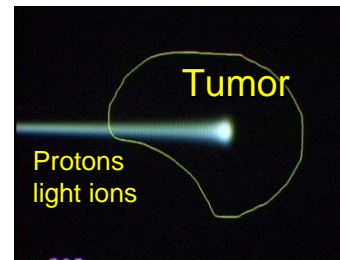
De física fundamental a vida cotidiana

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

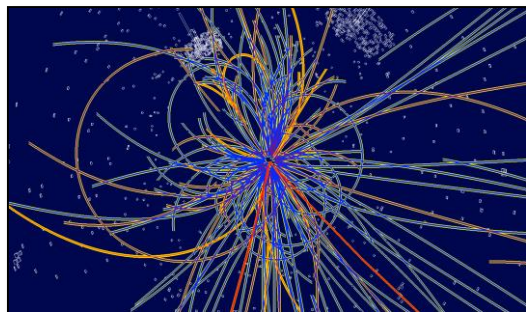
Terapia hadrónica contra el cancer



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

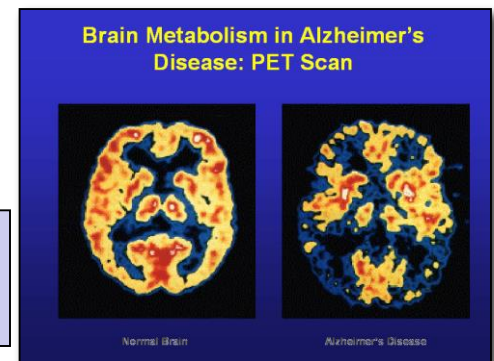


>90,000 pacientes tratados (30 instalaciones)



Imágenes médicas

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

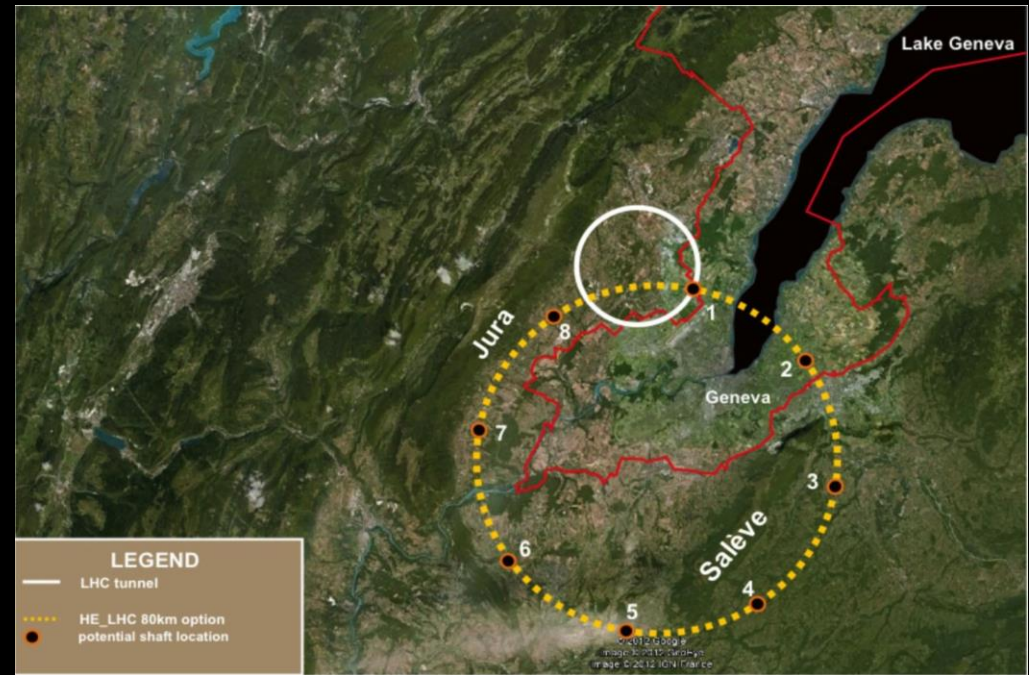




¿Qué sigue?

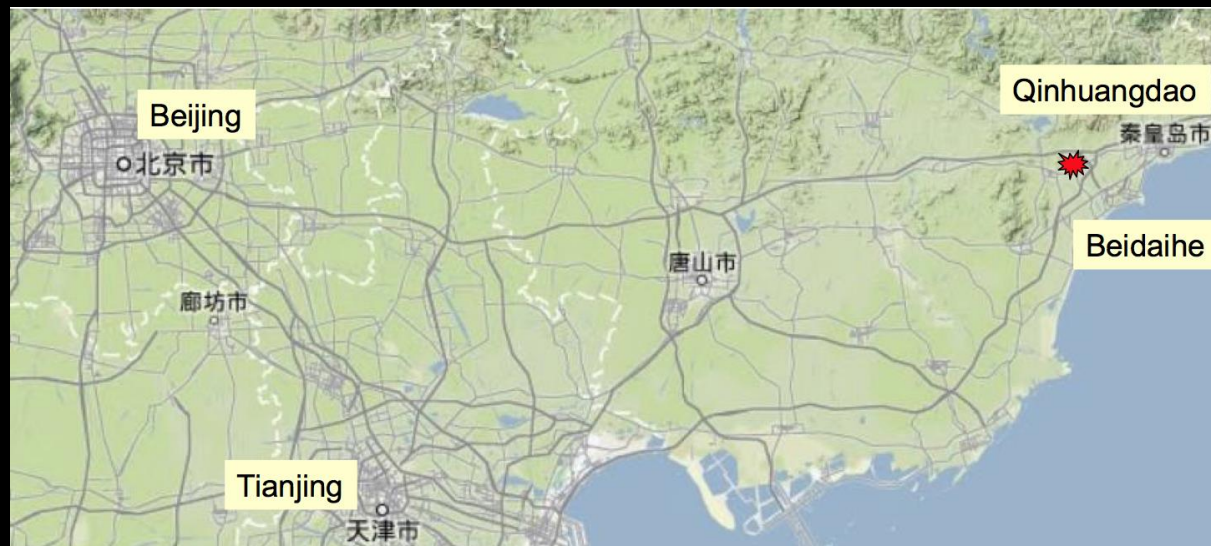
CERN:

- Bajo el lago de Ginebra
- 80 – 100 km



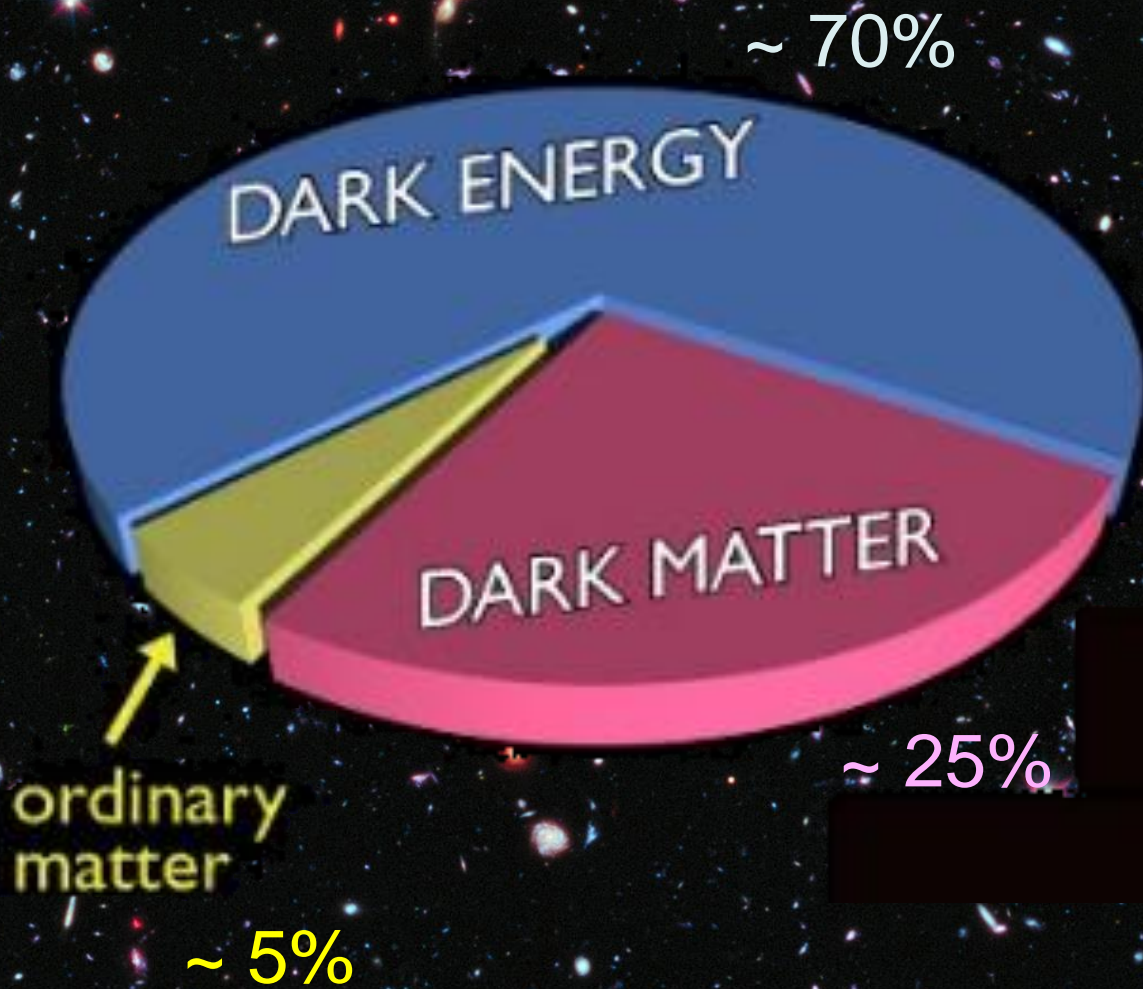
China:

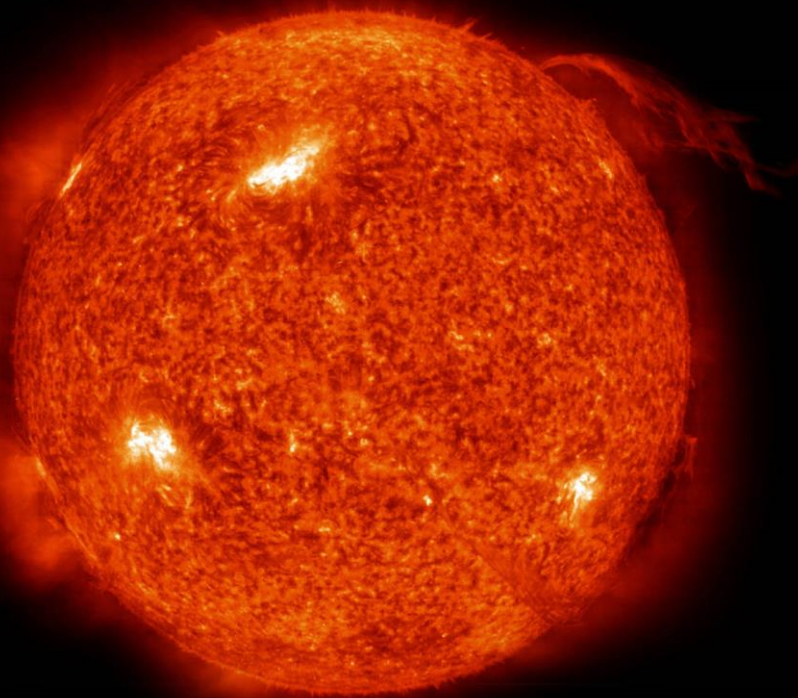
- Pre-CDR listo
- 50 – 100 km





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





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



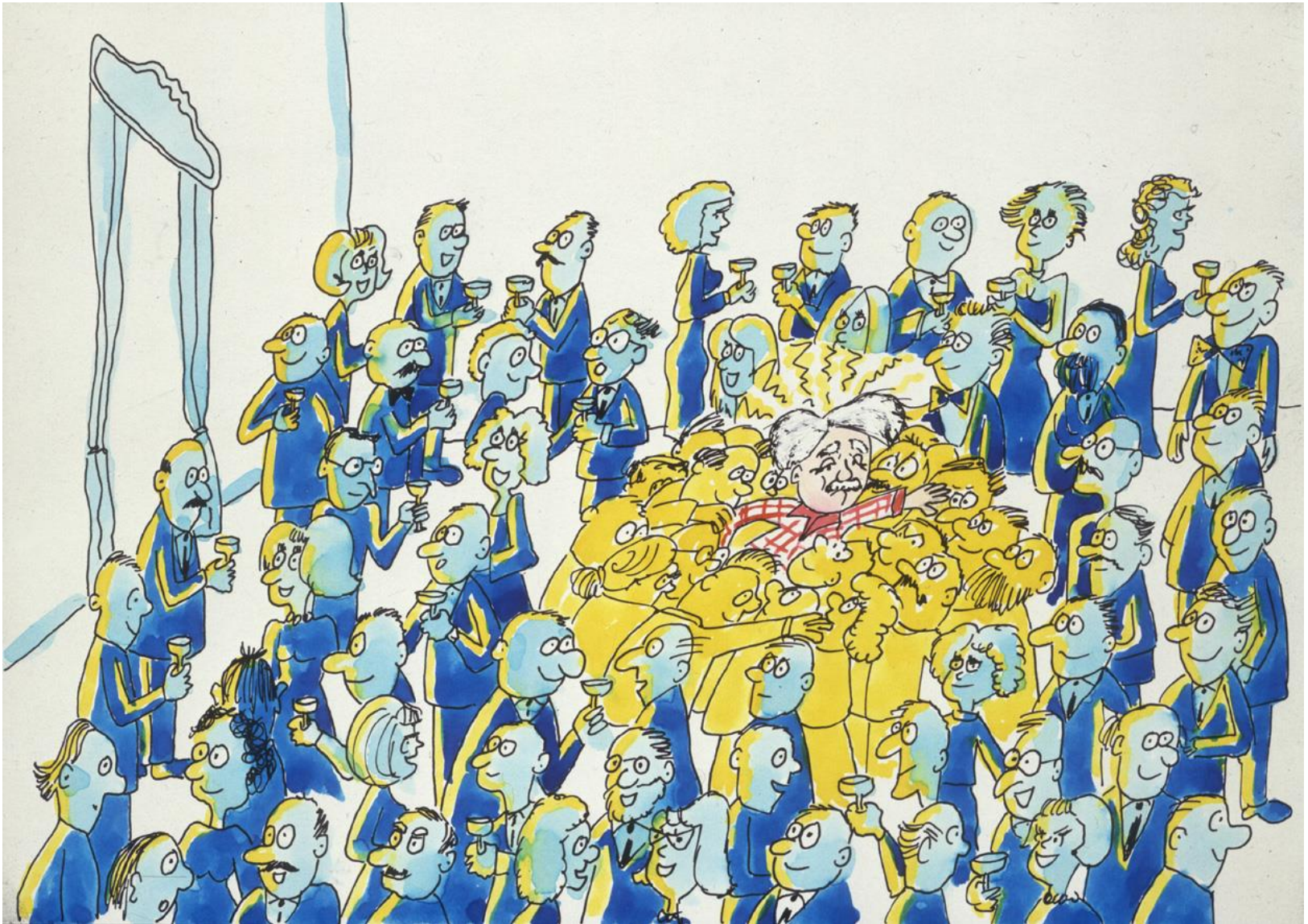
Prof. David J. Miller

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**

	ESPIN=1/2			ESPIN=1	
	Fermions			Bosons	
Quarks	u up	c charm	t top	γ photon	Force carriers
	d down	s strange	b bottom	Z Z boson	
Leptons	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	W W boson	
	e electron	μ muon	τ tau	g gluon	
				Higgs boson	

Source: AAAS