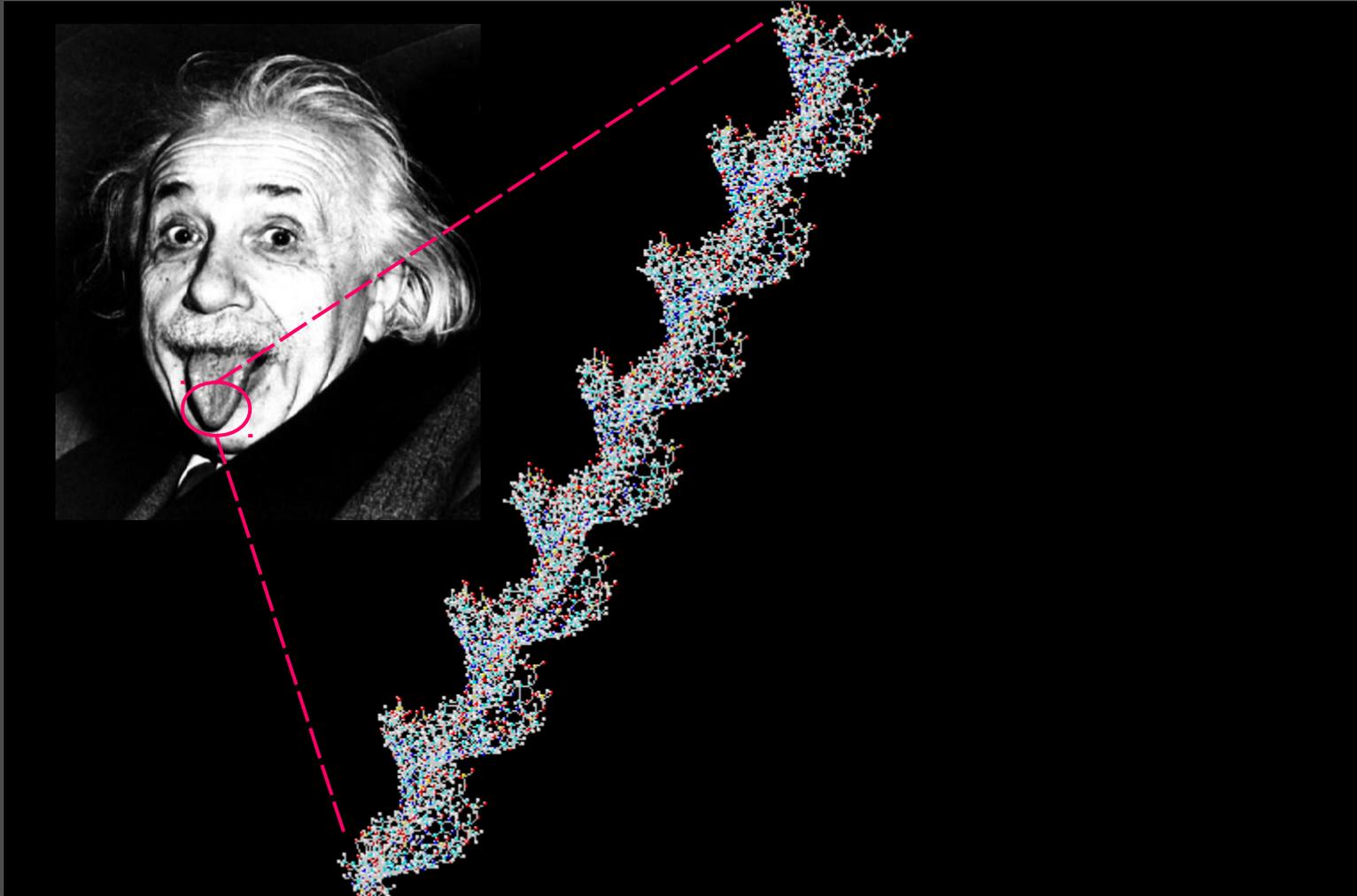


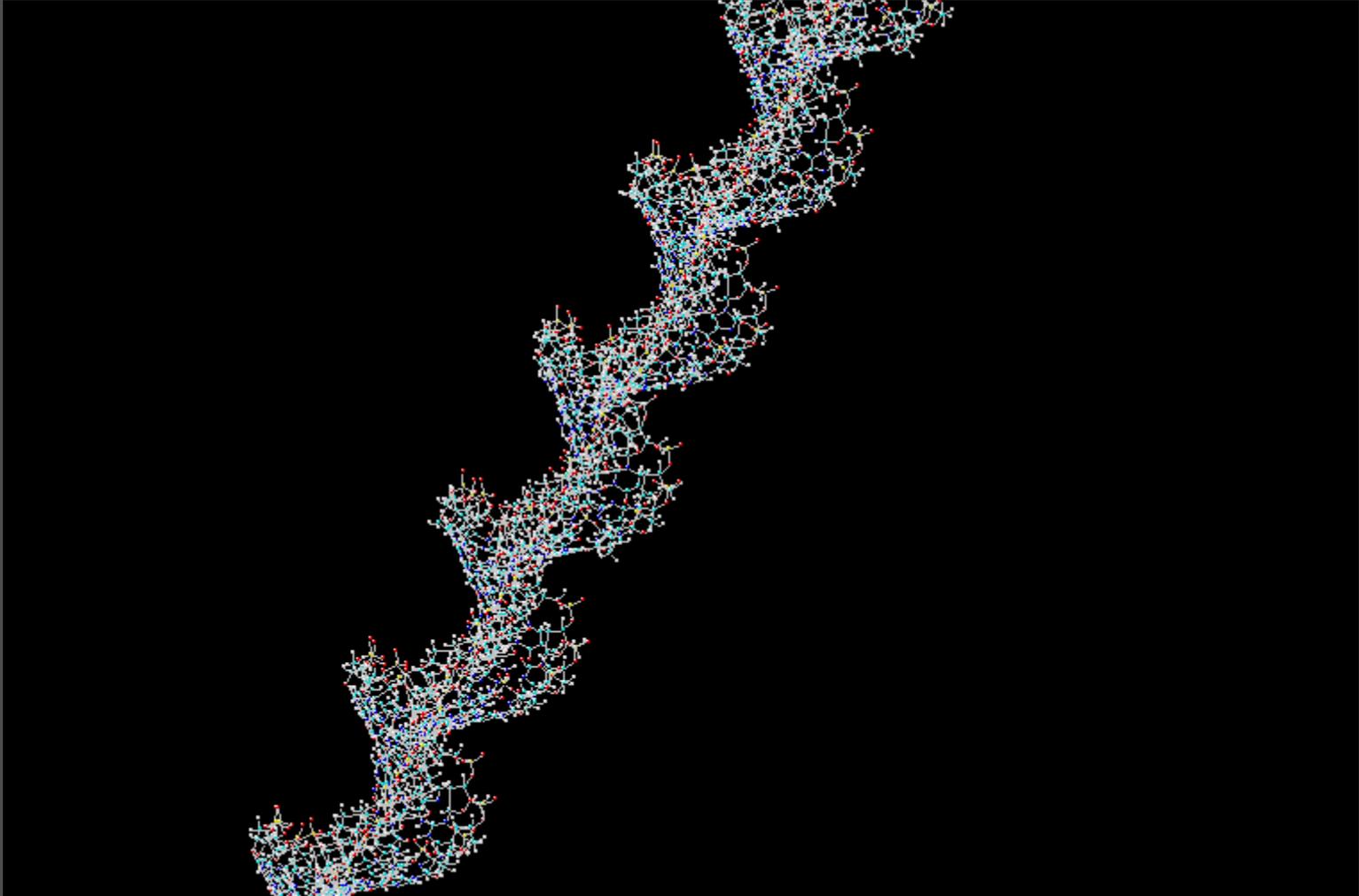
Física de partículas elementales

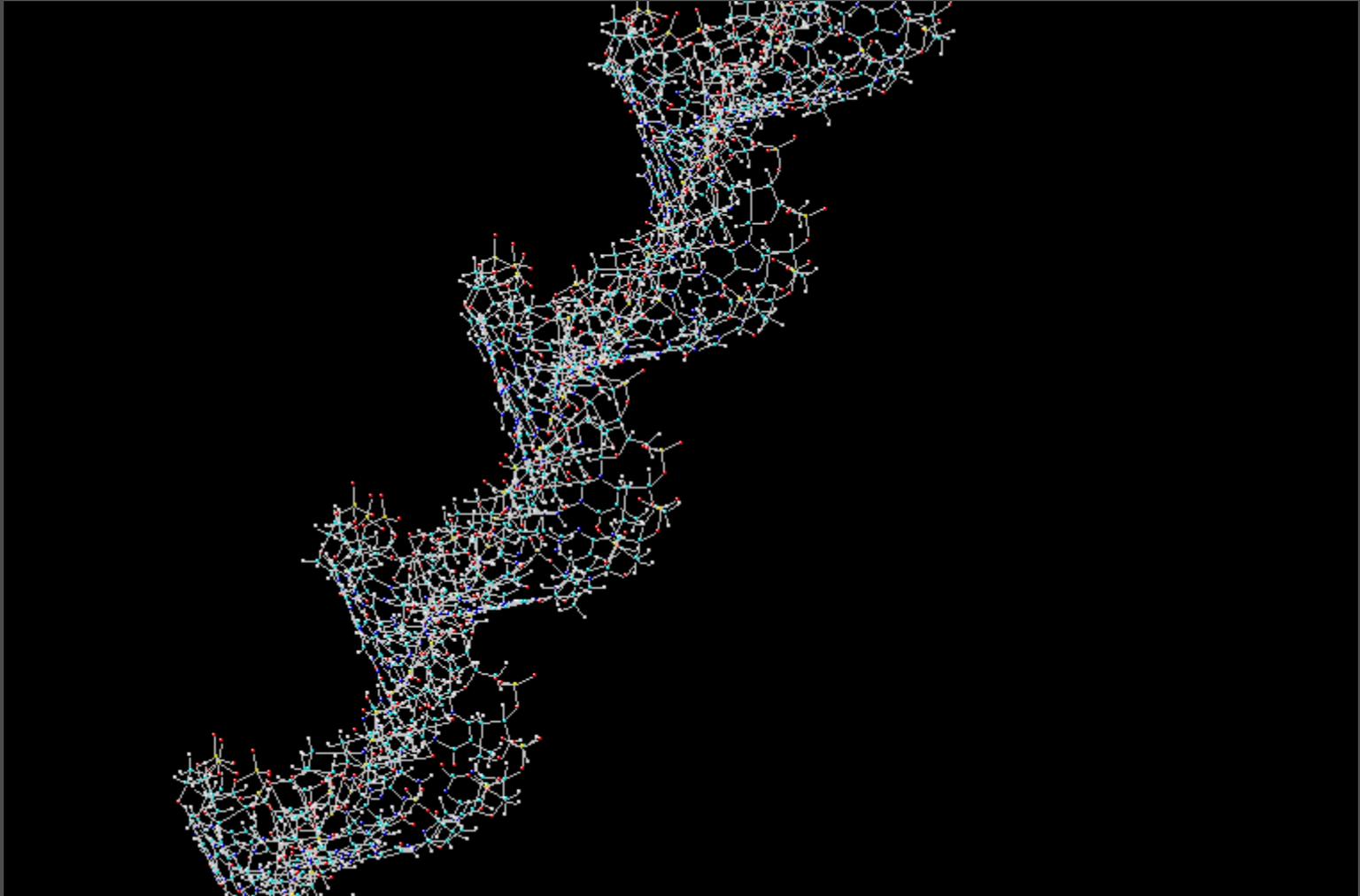


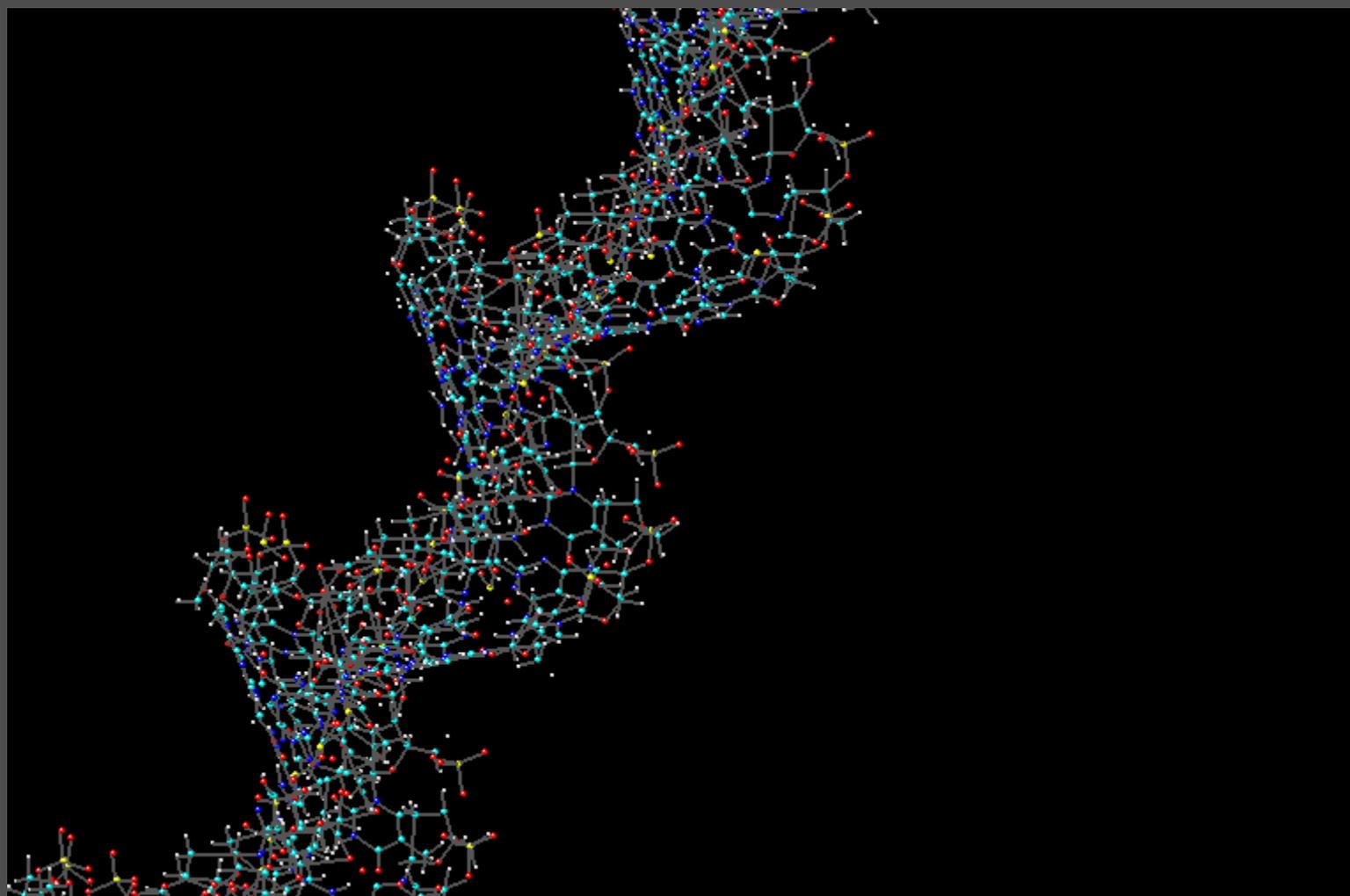
La física de partículas elementales estudia de que está constituida la materia

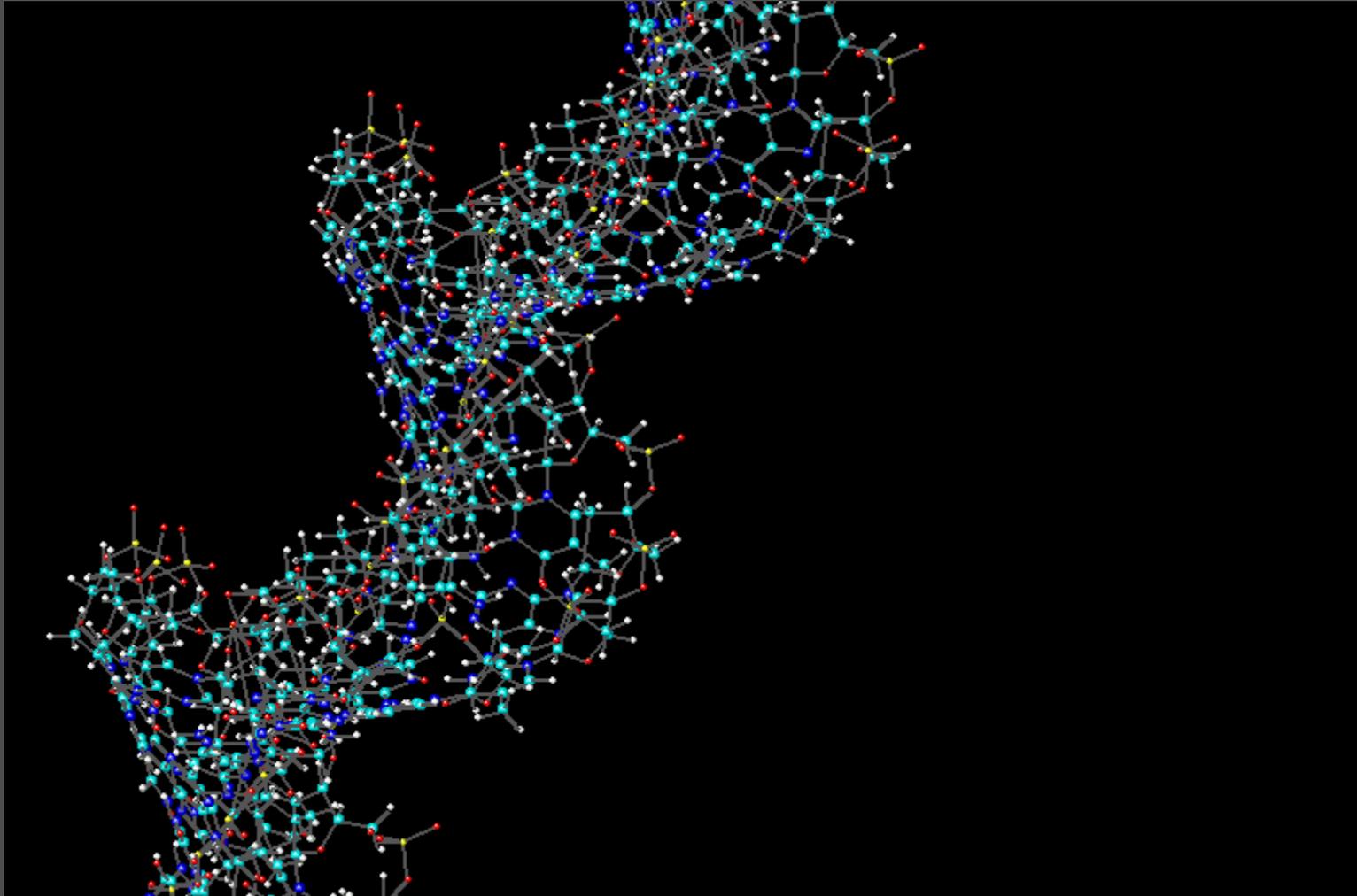


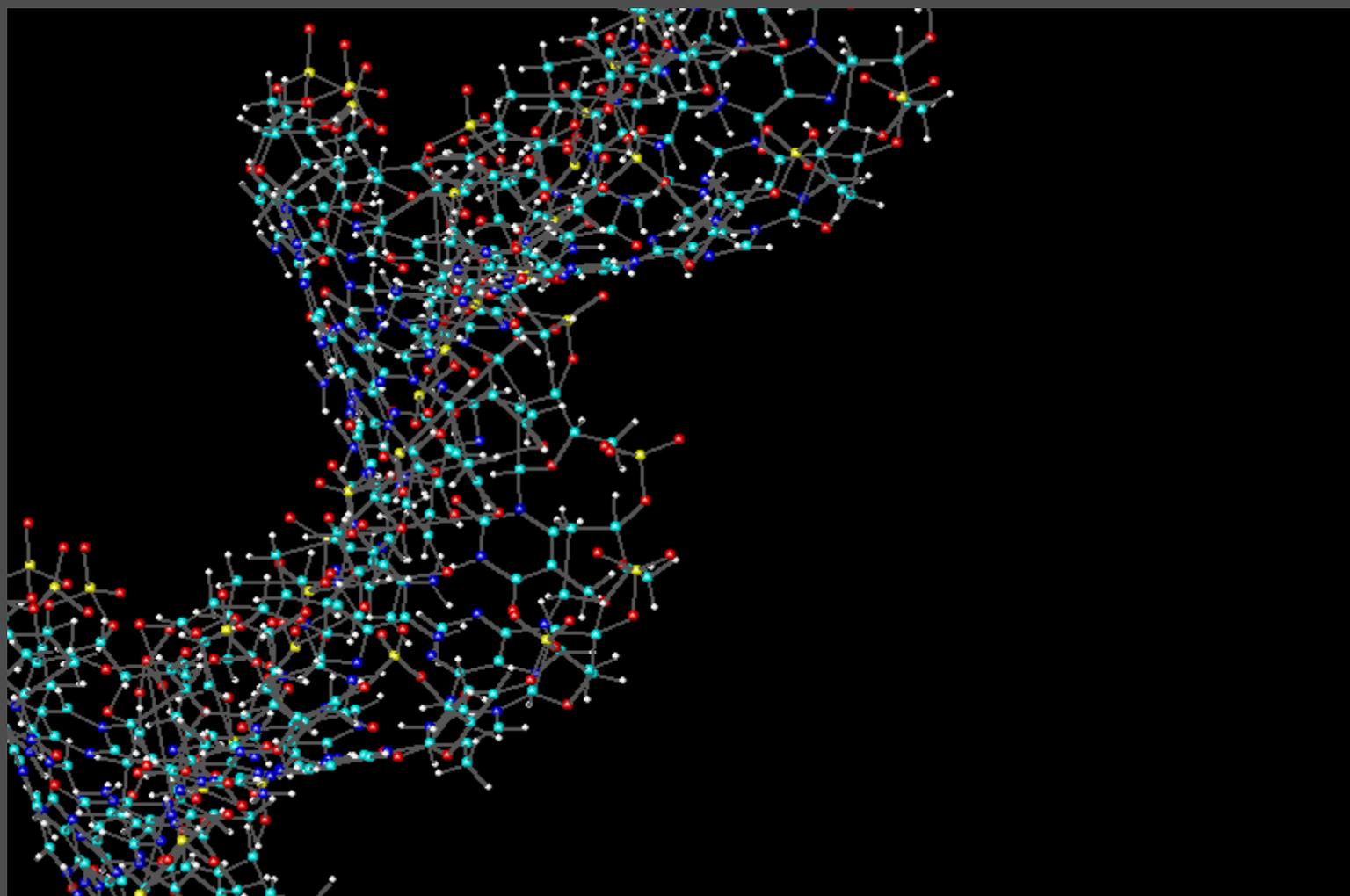
Estamos compuestos de moléculas, como el ADN

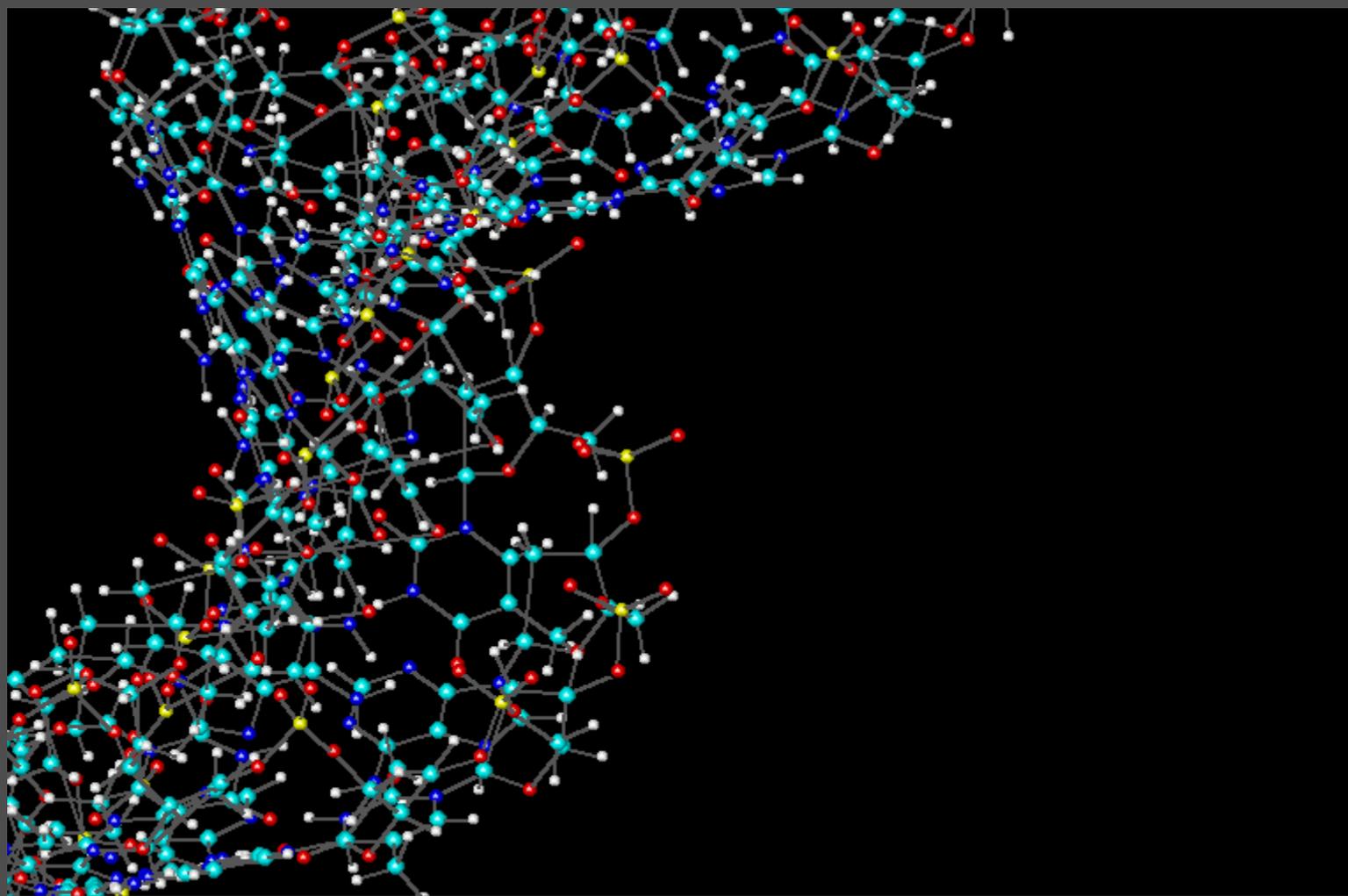


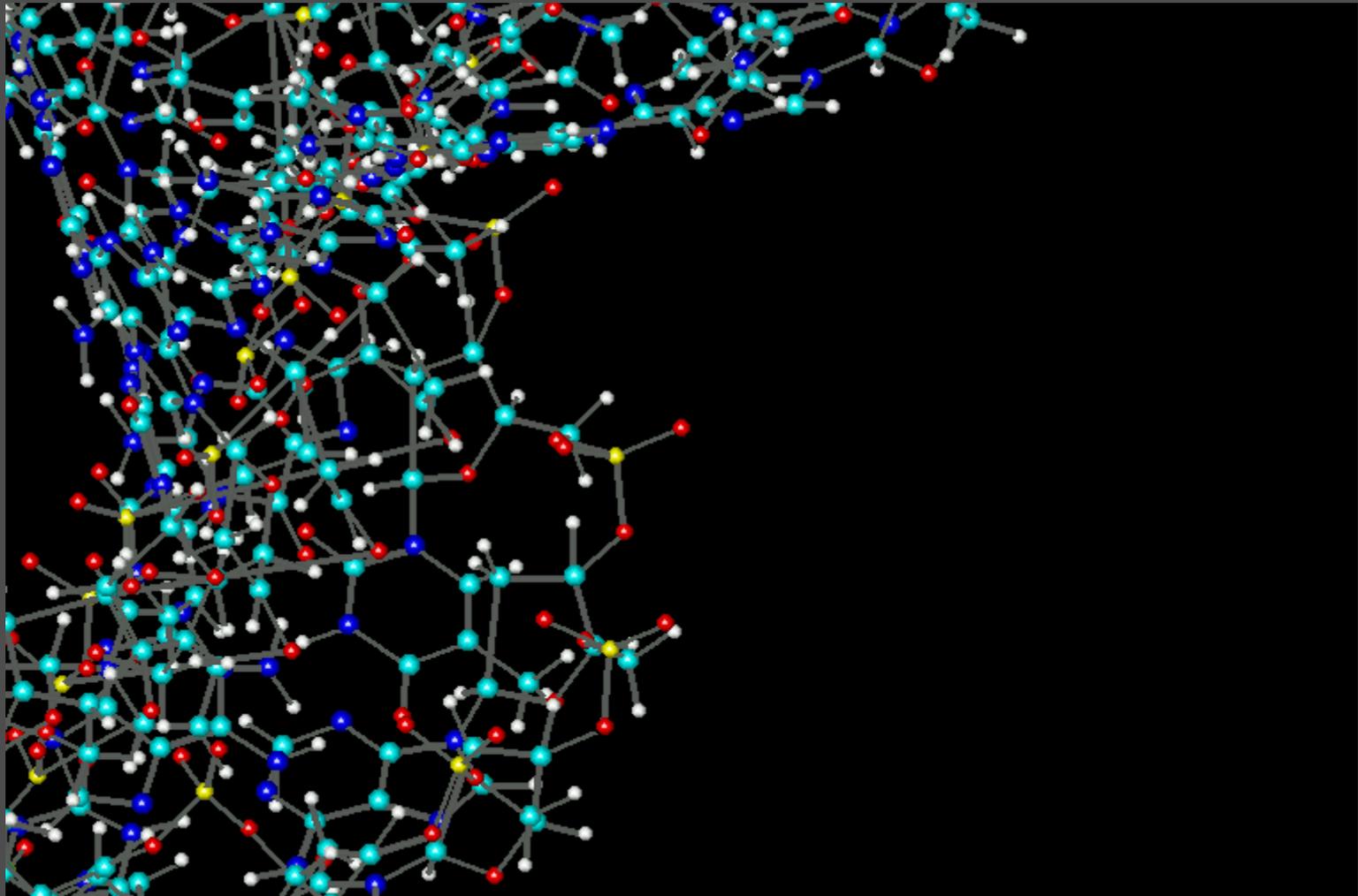


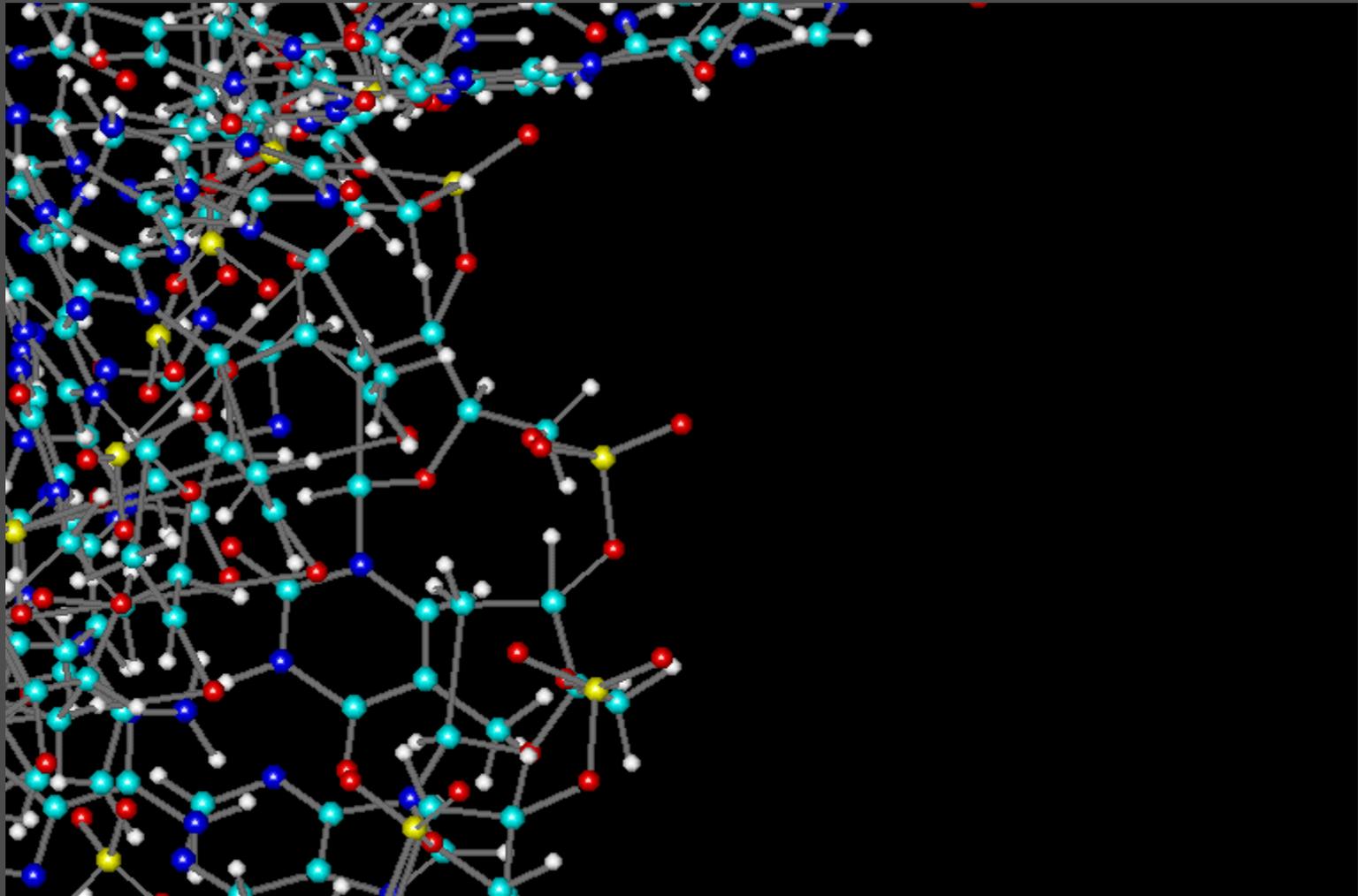


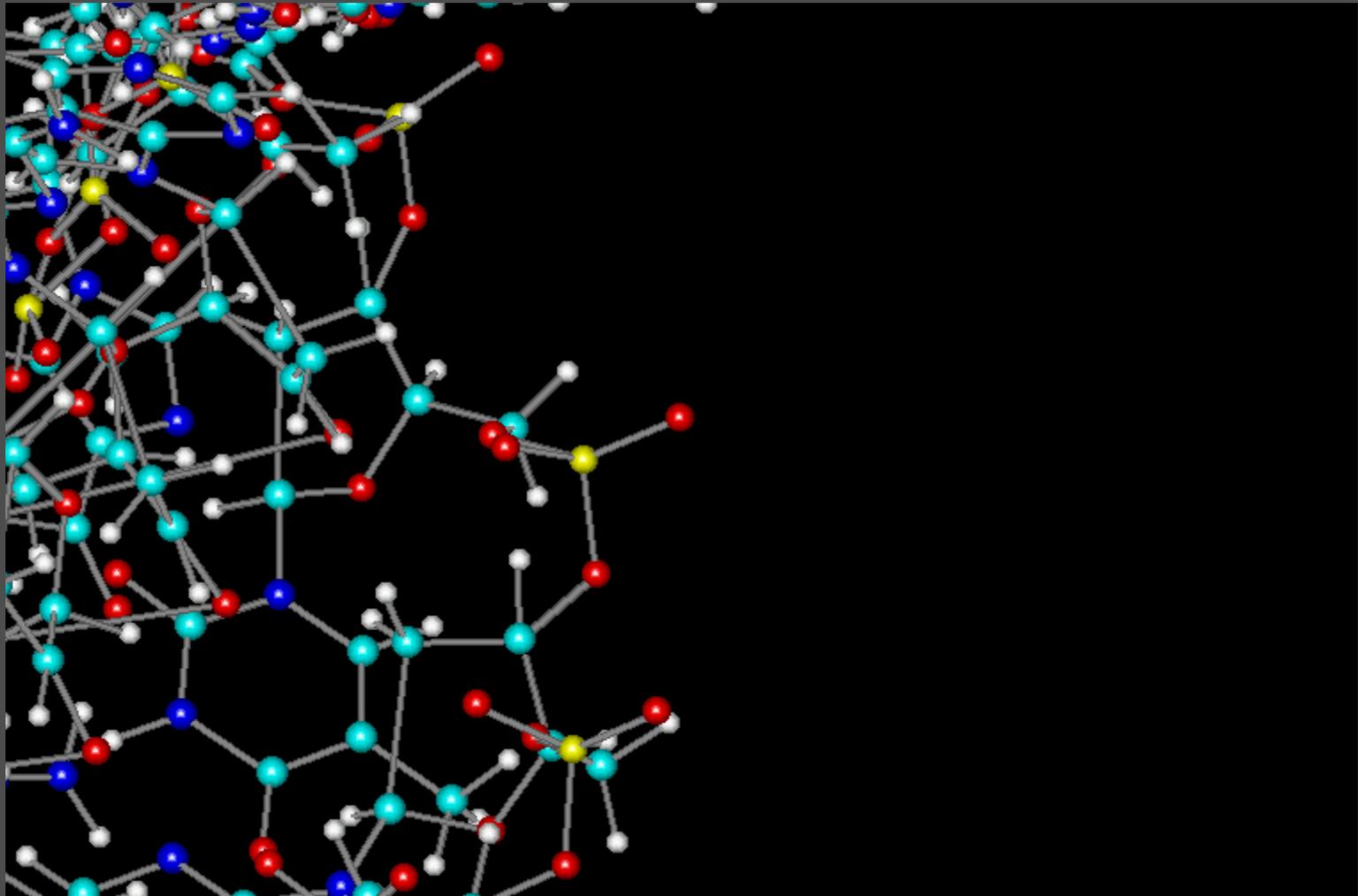


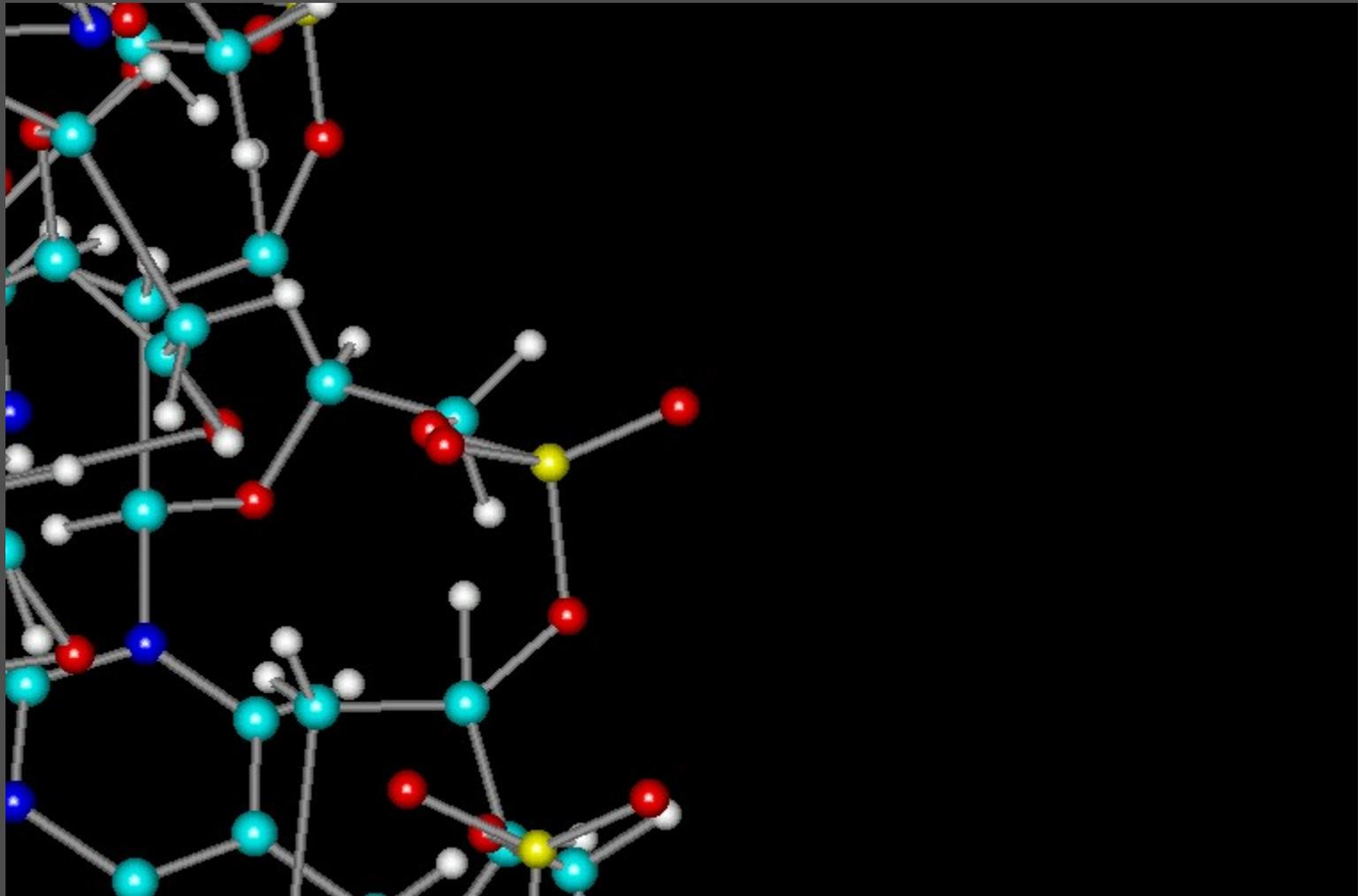


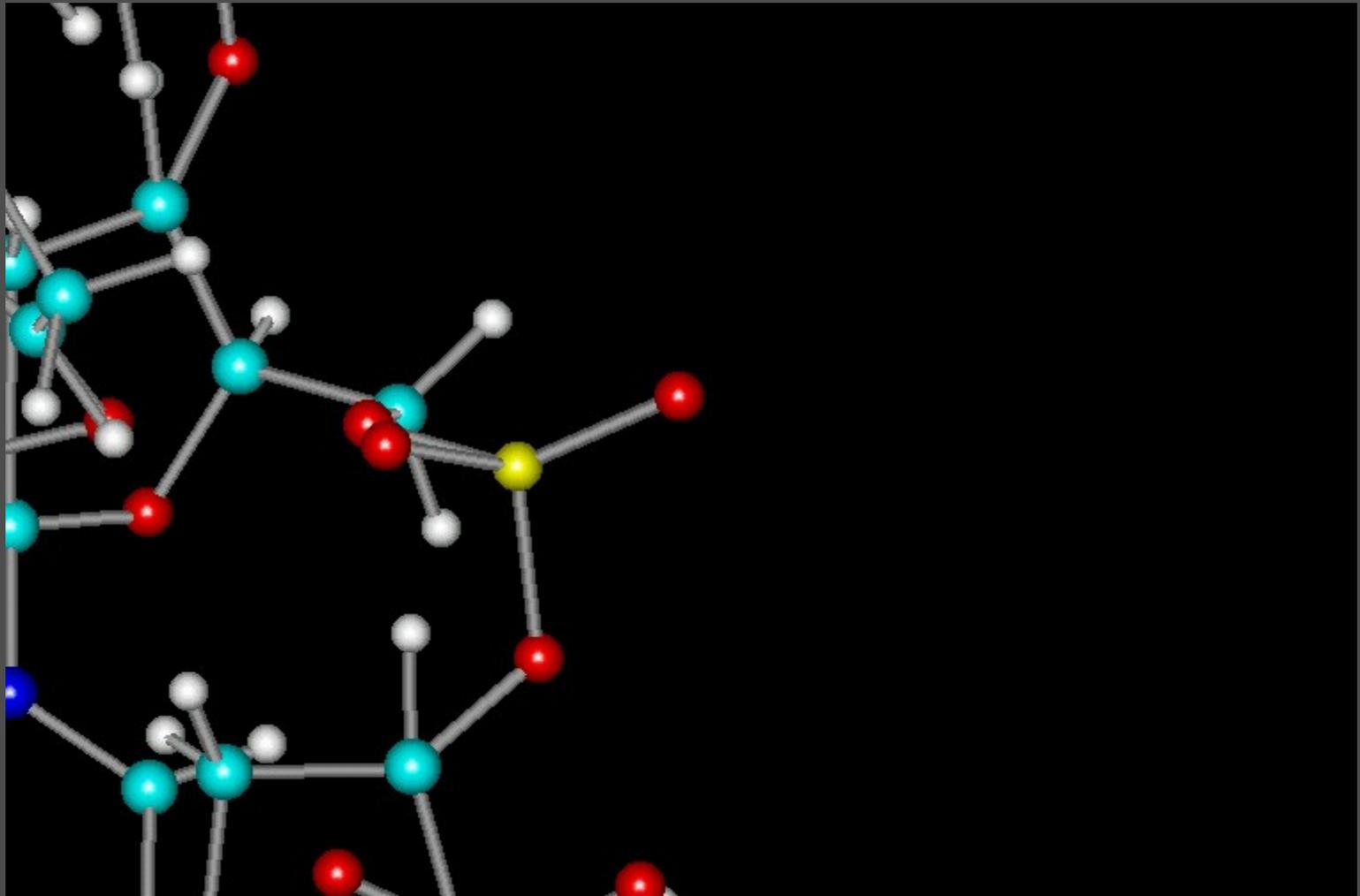


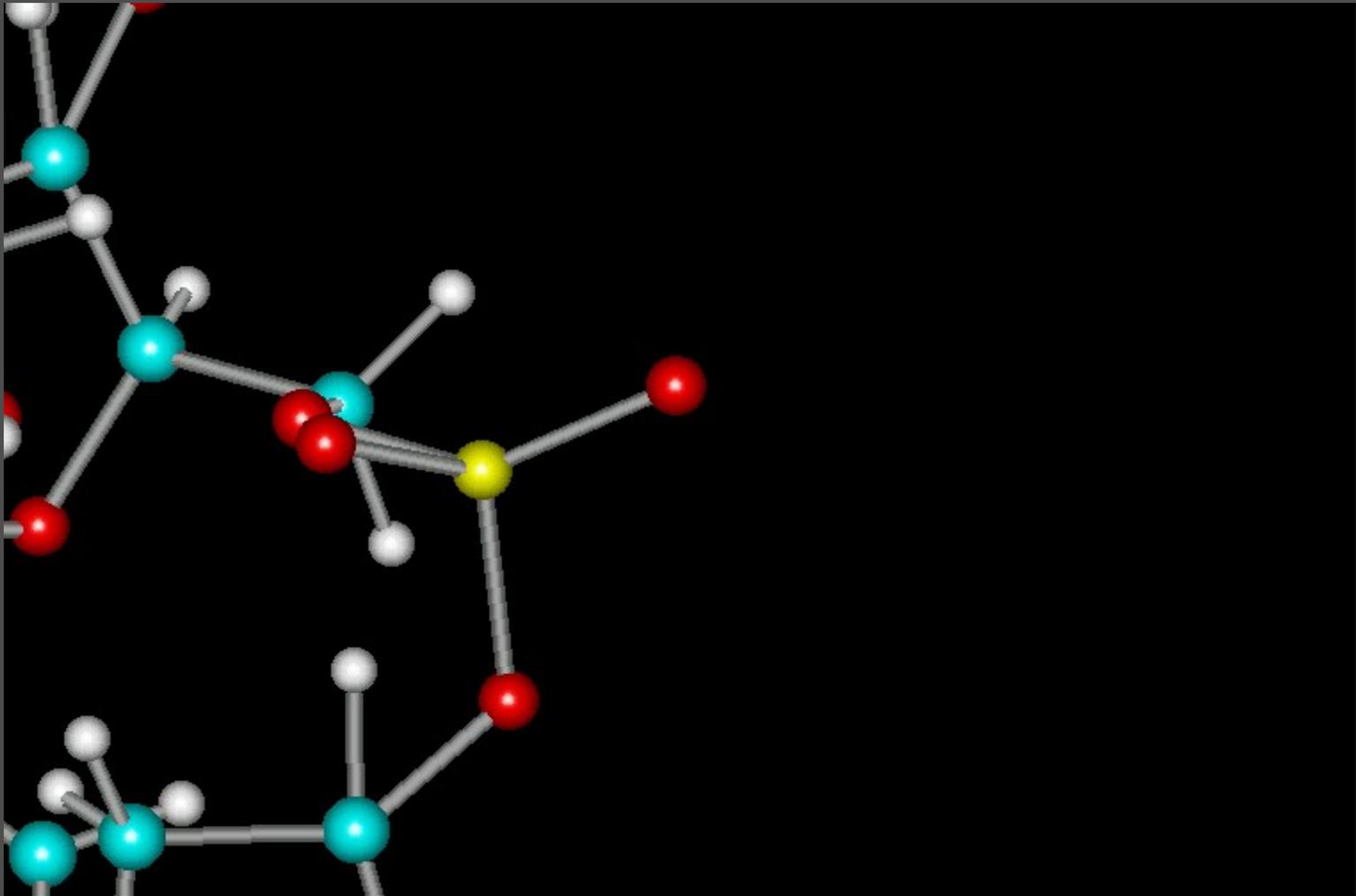




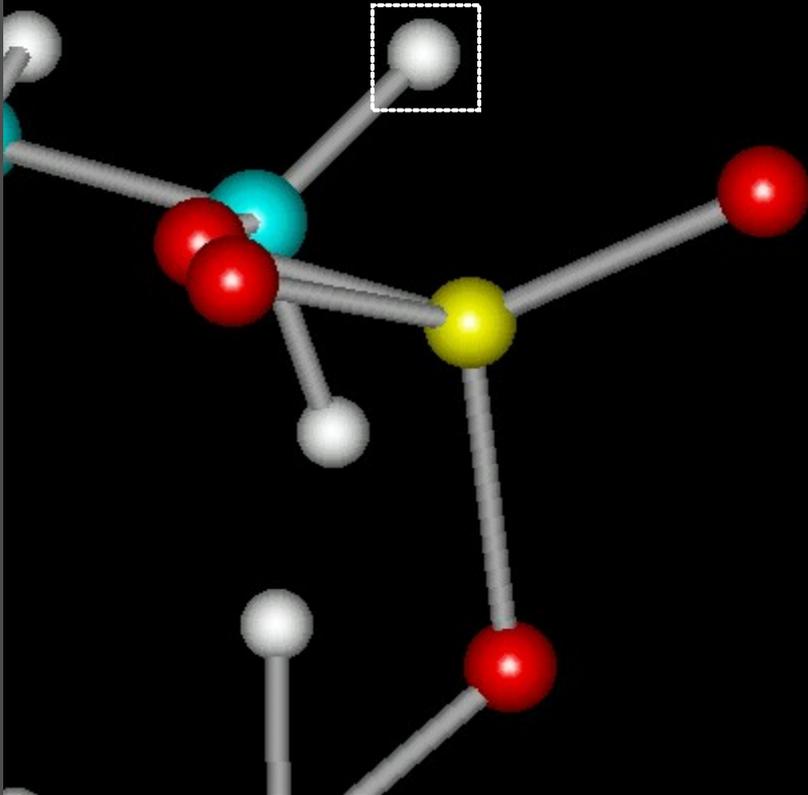




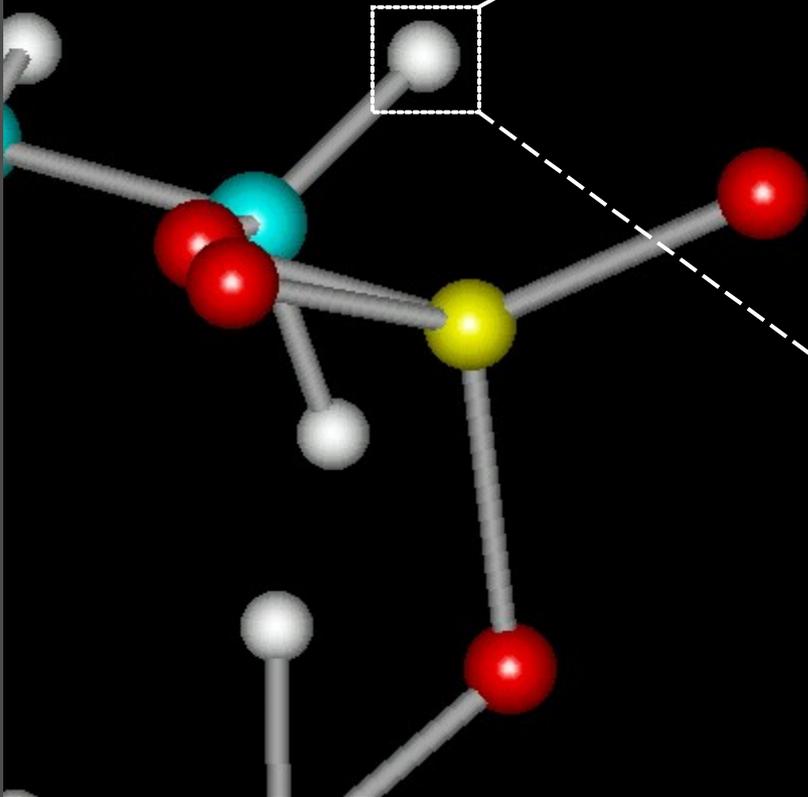




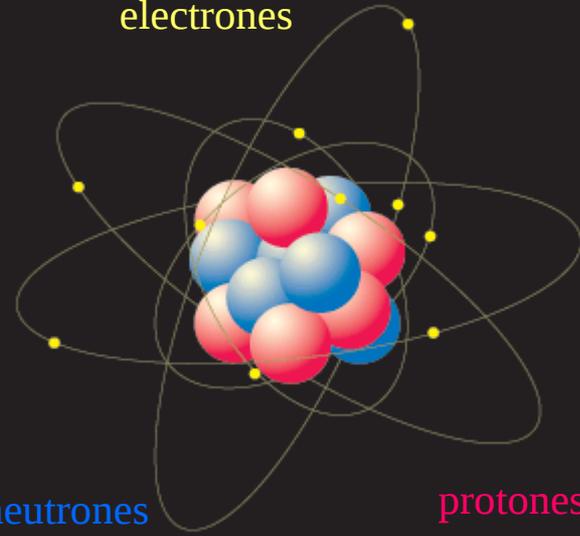
Las moléculas están
compuestas de átomos



Los átomos de electrones,
protones y neutrones



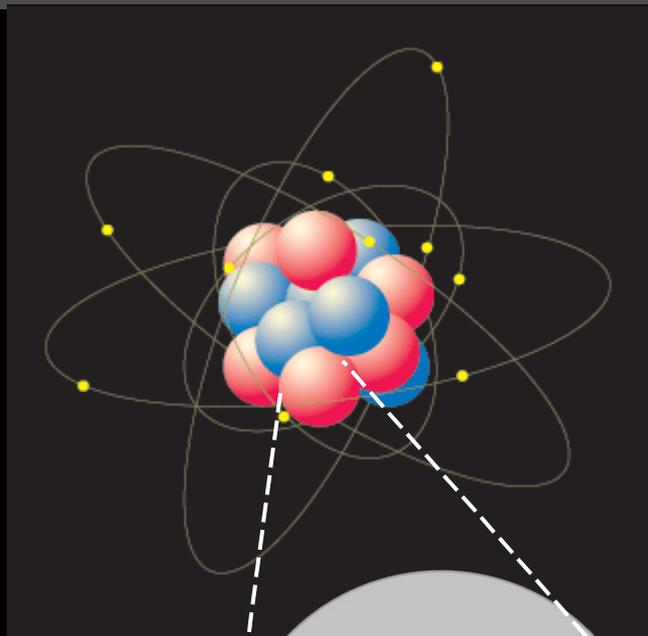
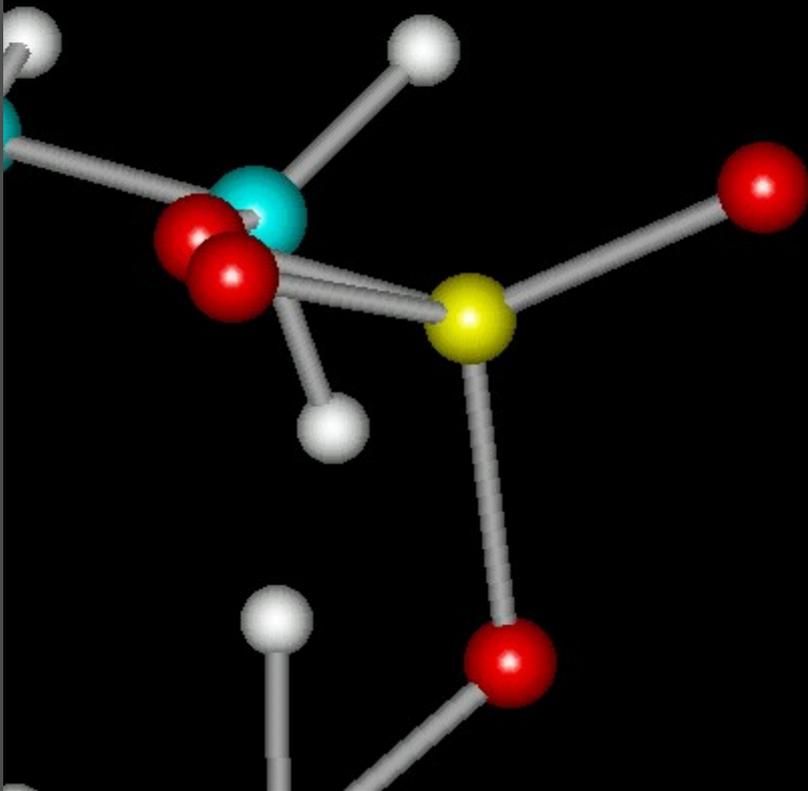
electrones



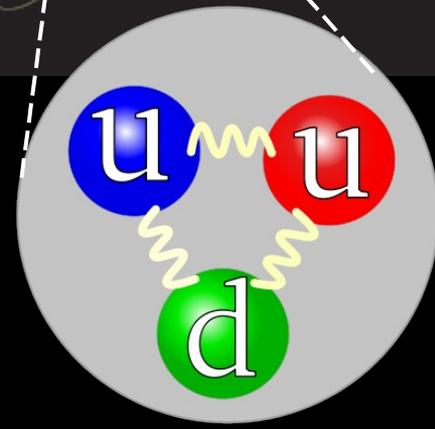
neutrones

protones

Los protones y neutrones,
compuestos de quarks

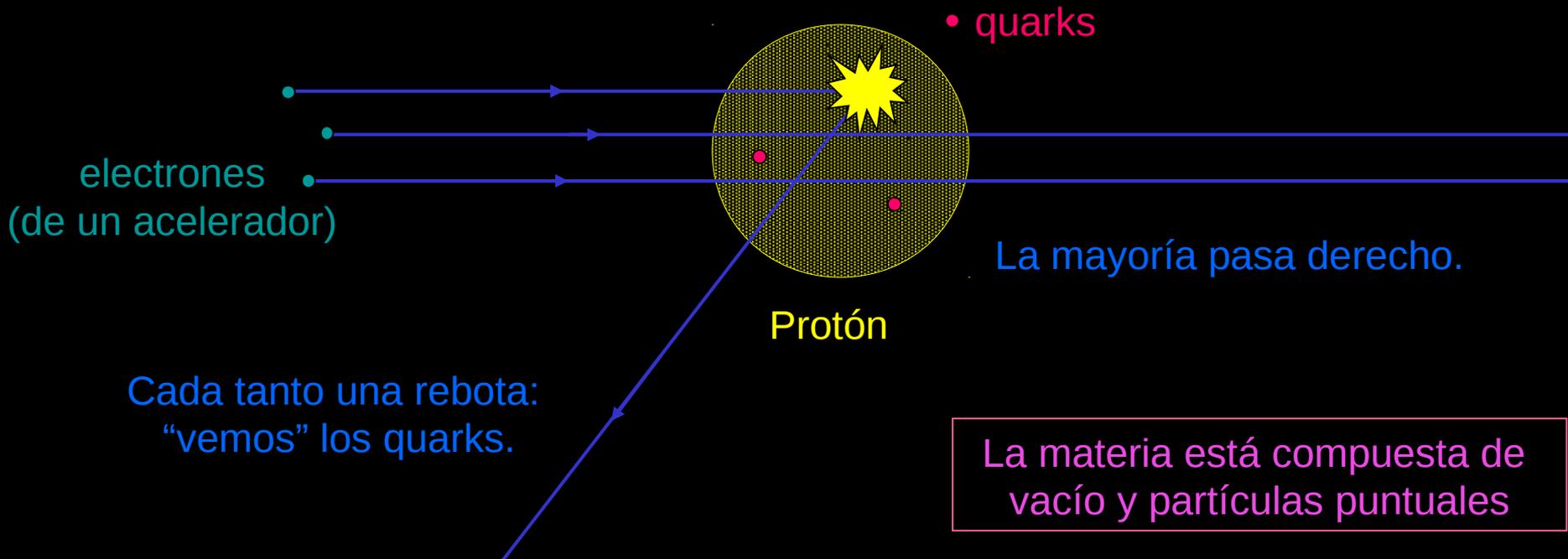


quarks



¿Se puede mirar dentro del protón y ver los quarks?

SÍ: arrojándole objetos más pequeños que el protón



Experimento realizado en 1969 por Friedman, Kendall y Taylor

Premio Nobel 1990



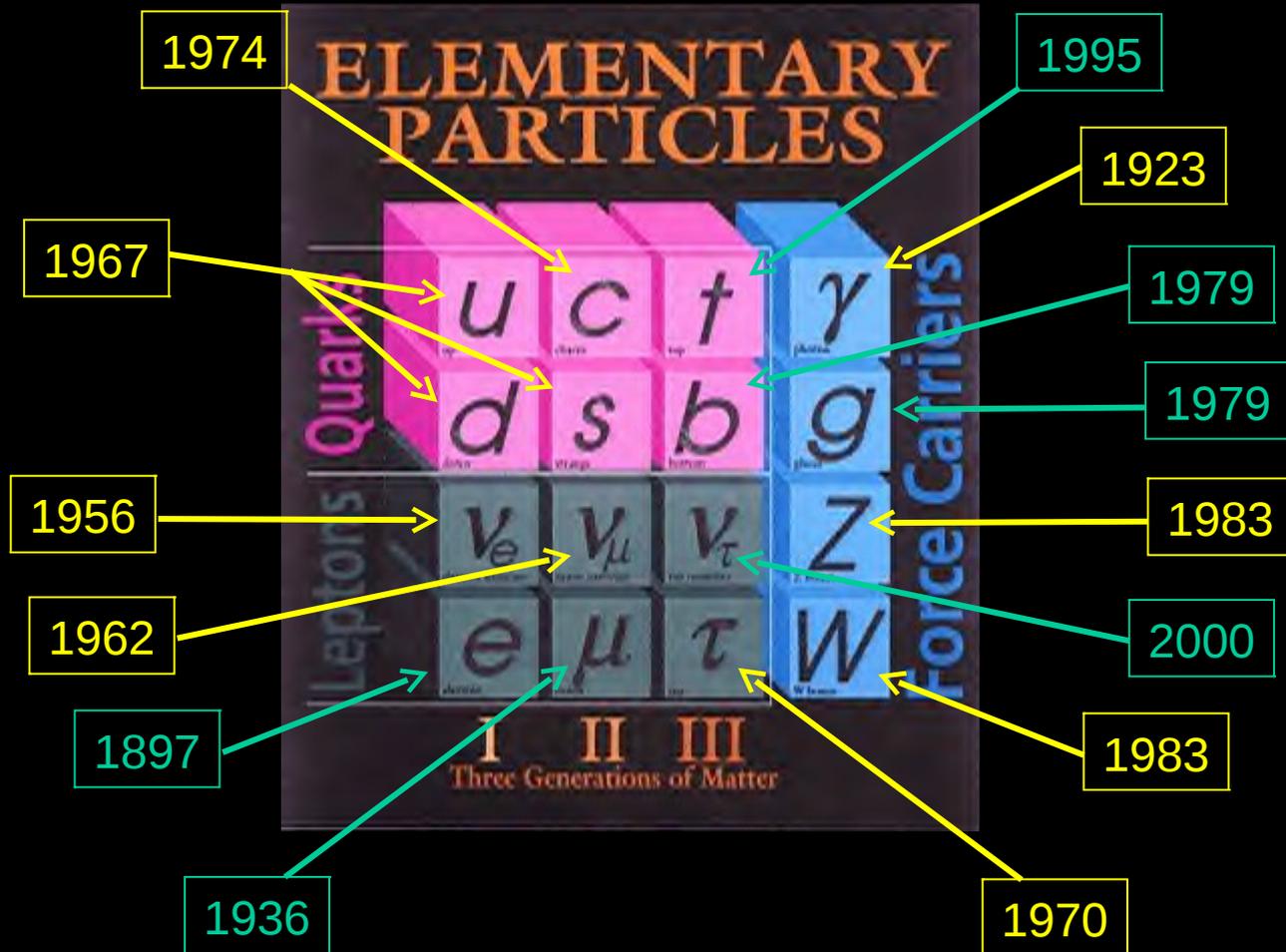
Así como durante el siglo XIX la ciencia comprendió la naturaleza de la materia en término de átomos

Tabla de Mendeleev (1870)

1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
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
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
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
87 Fr	88 Ra	89 Ac	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Uun								

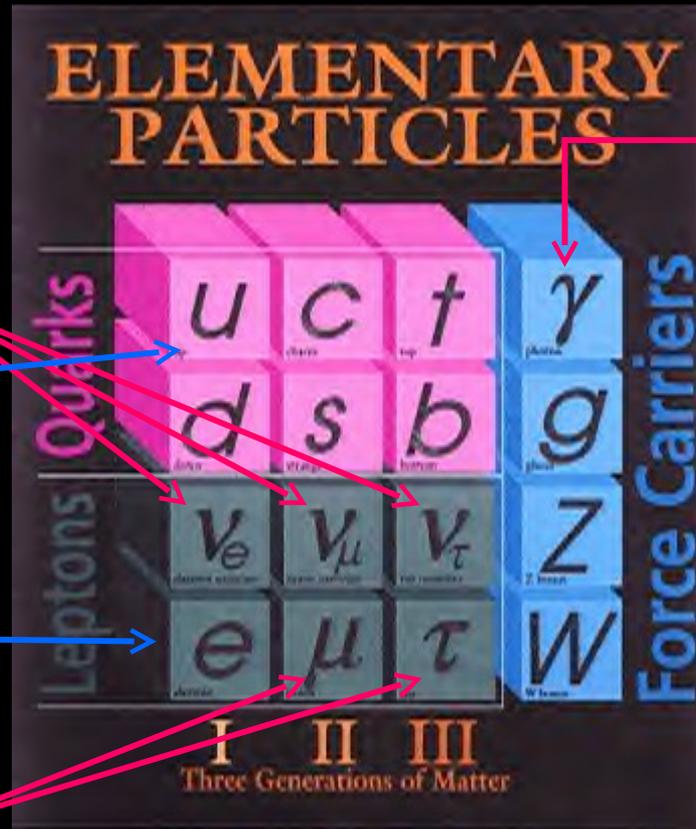
58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

... durante el Siglo XX se llegó a la Tabla Periódica de hoy en día



El “Modelo Estándar”

... durante el Siglo XX se llegó a la Tabla Periódica de hoy en día



Tres neutrinos

Los quarks

El electrón

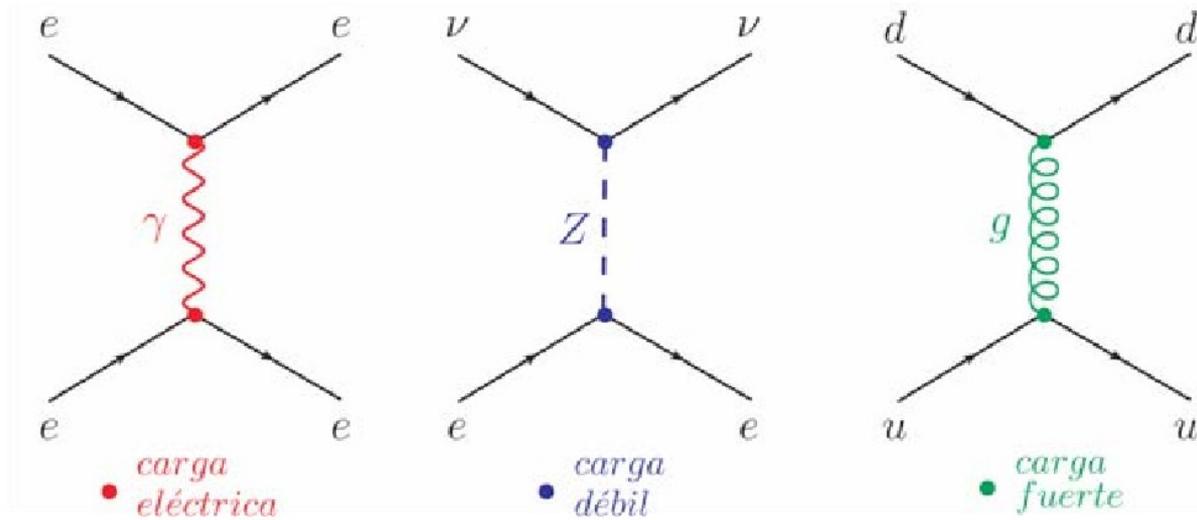
Dos parientes más pesados del electrón

Los responsables de las Fuerzas

El “Modelo Estándar”

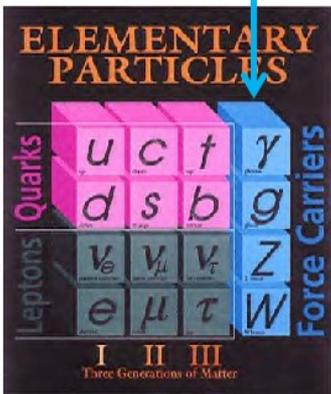
El “Modelo Estándar”

describe las interacciones mediante el intercambio de partículas



Responsables de las Fuerzas

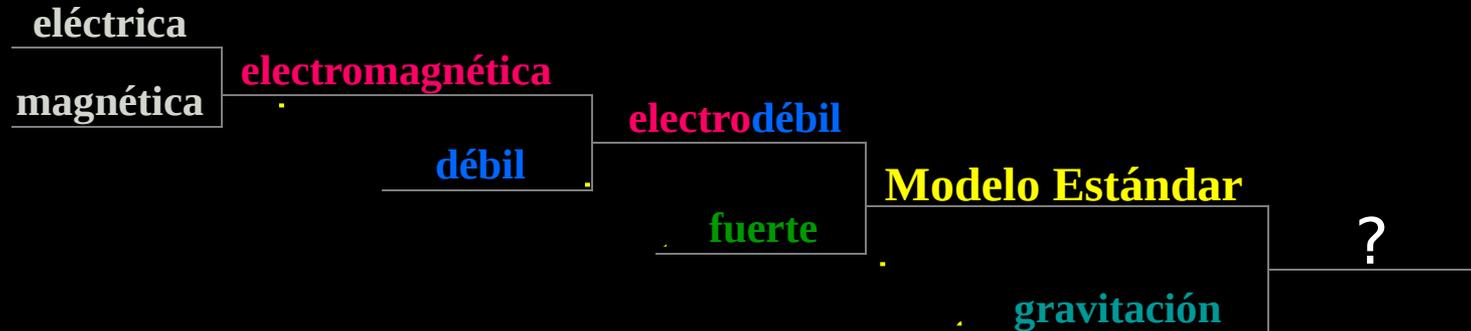
<i>Interacción</i>	<i>Partícula intercambiada</i>	<i>Símbolo</i>
Electromagnética	Fotón	γ
Débil	Bosones W, Z	W, Z
Fuerte	Gluón	g



El “Modelo Estándar” engloba

las fuerzas **electromagnética**, **débil** y **fuerte**

Describe las interacciones mediante el intercambio de partículas



Interacción	Partícula intercambiada	Símbolo
Electromagnética	Fotón	γ
Débil	Bosones W, Z	W, Z
Fuerte	Gluón	g

¿Porqué los físicos confiamos tanto en el Modelo Estándar?

No hay un sólo experimento que contradiga sus predicciones

Ejemplo paradigmático: El momento magnético del electrón

(determina como interactúa un electrón con un campo magnético)

Predicción Teórica $\rightarrow \mu = 1.001159652173 \pm 0.000000000024 \mu_B$

Resultado Experimental $\rightarrow \mu = 1.001159652187 \pm 0.000000000004 \mu_B$

Es el resultado más preciso en todas las ciencias naturales !

Pero había un problema: la masa de las partículas



François Englert

Peter Higgs

Premio Nobel 2013



¿Qué es la masa?

Ley de Newton:

$$F = m a$$



← Un cuerpo de 90 kg
requiere 10 veces más fuerza que
un cuerpo de 9 kg →
para la misma aceleración



No confundir masa con peso!

En el espacio los objetos flotan
(no pesan) pero igual para
desplazarlos hay que hacer fuerza



El problema de la masa en el Modelo Estándar

Asociamos masa al tamaño de un objeto.



¡Pero estamos hechos de vacío y partículas elementales sin tamaño!

¿Qué es la masa de un objeto puntual?

Por ejemplo, el muón tiene 200 veces más masa que el electrón.

→ Hay que hacer 200 veces más fuerza al μ que al e

Pero ambos son puntuales ...



El problema de la masa en el Modelo Estándar

Solución: El campo de Higgs

Las partículas no tienen masa, sino una interacción
(una especie de fricción) con el campo de Higgs

El campo de Higgs es como una melaza que impregna el espacio:

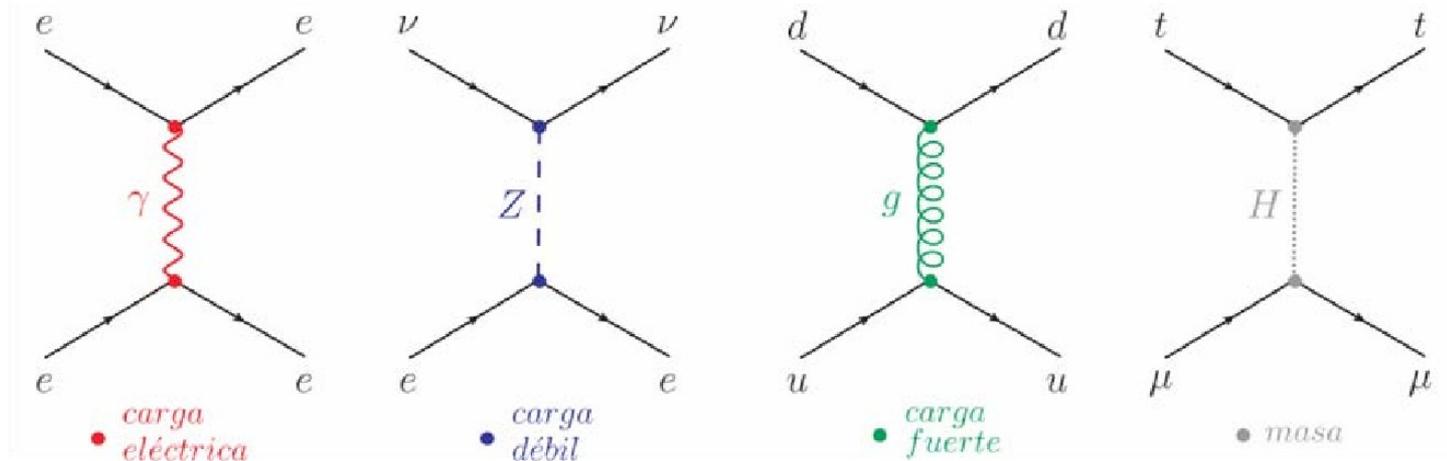
Las que interactúan mucho con el Higgs, cuesta mucho moverlas: alta masa

Las que interactúan poco con el Higgs, cuesta poco moverlas: baja masa

Las que interactúan nada con el Higgs, se mueven libremente: cero masa

El Higgs

Desde el punto de vista formal, Higgs y Englert propusieron agregar una nueva interacción

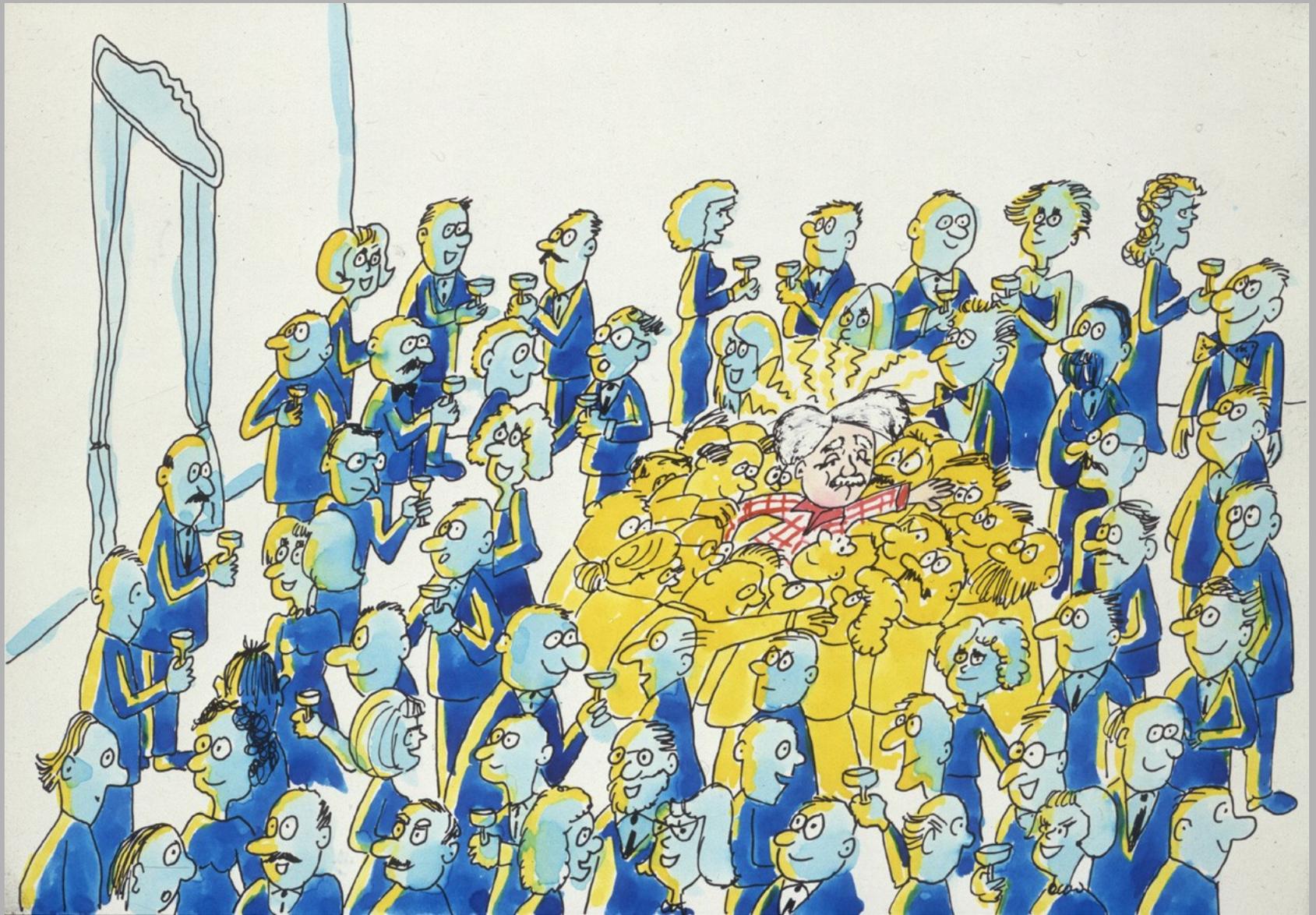


La masa es la carga con la que las partículas se acoplan al Higgs

Un modelito para explicarlo











La búsqueda del Higgs

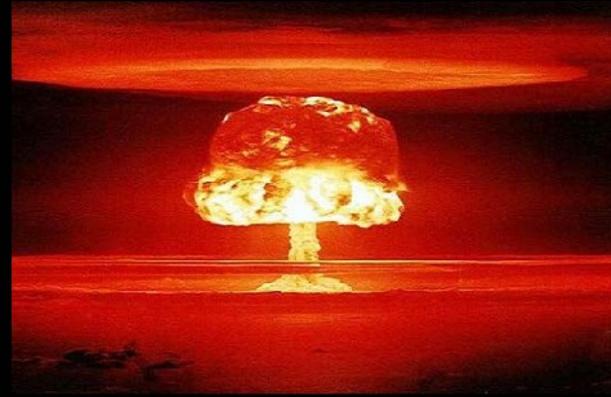
Para encontrar el Higgs hay que fabricarlo

¿Cómo se fabrican partículas?

Usando la ley más famosa de la física:

$$E = mc^2$$

1. **masa** se transforma en **energía**:



2. **energía** se transforma en **masa**: un colisionador

$$E = mc^2$$

¿Cuánta energía se necesita para crear un electrón?

$$m_e = 9 \times 10^{-28} \text{ g} = \underbrace{0.000\text{.....}000009}_{28 \text{ ceros}} \text{ g} \quad c = 300.000 \text{ km/seg}$$

$$\longrightarrow E = m_e c^2 = 8 \times 10^{-7} \text{ g km}^2/\text{seg}^2 = 8 \times 10^{-10} \text{ J} \quad = \quad \boxed{0.5 \text{ MeV}}$$

¿Cuánta energía es 0.5 MeV?

→ Un protón a 3.000 km/seg tiene 0.5 MeV de energía cinética ($E = \frac{1}{2}mv^2$)

Al chocar dos protones a 3000 km/seg se puede producir dos electrones



Con suficiente energía...

...se puede crear cualquier cosa



Un colisionador es un **microscopio poderoso**

Mayor energía del acelerador → Se observan distancia más pequeñas

Un colisionador es una **fábrica de partículas**

Mayor energía del acelerador → Mayor masa de las partículas

Se han encontrado partículas predichas por la teoría...

y se han encontraron partículas que nadie esperaba.

El acelerador LHC y el experimento ATLAS



LHC : Túnel de 27 km de longitud – 100 m de profundidad



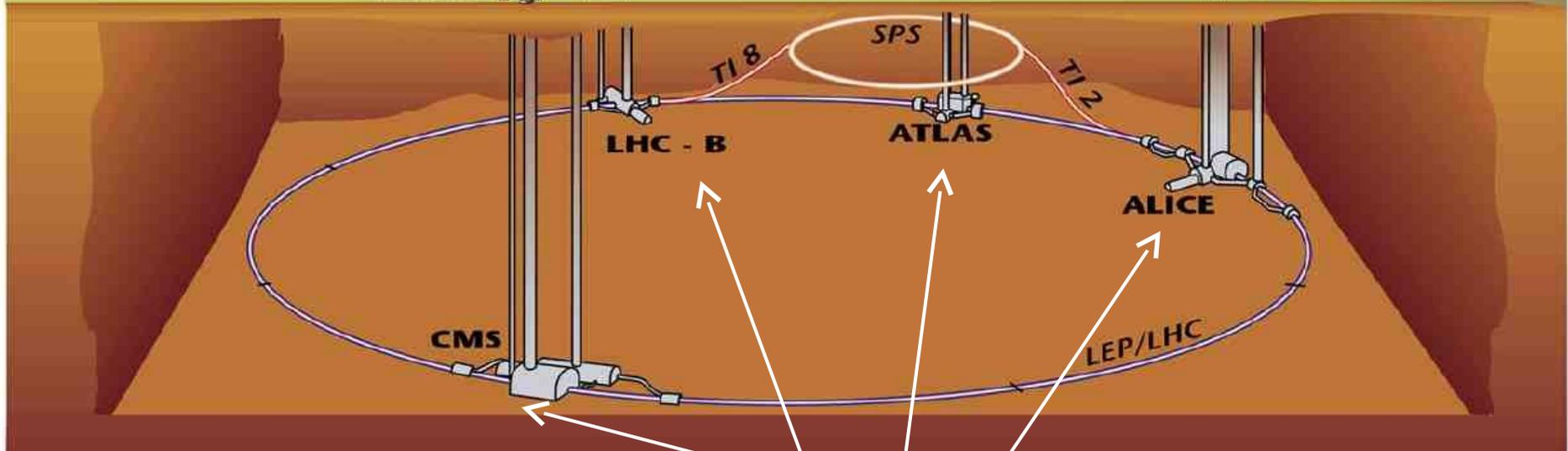
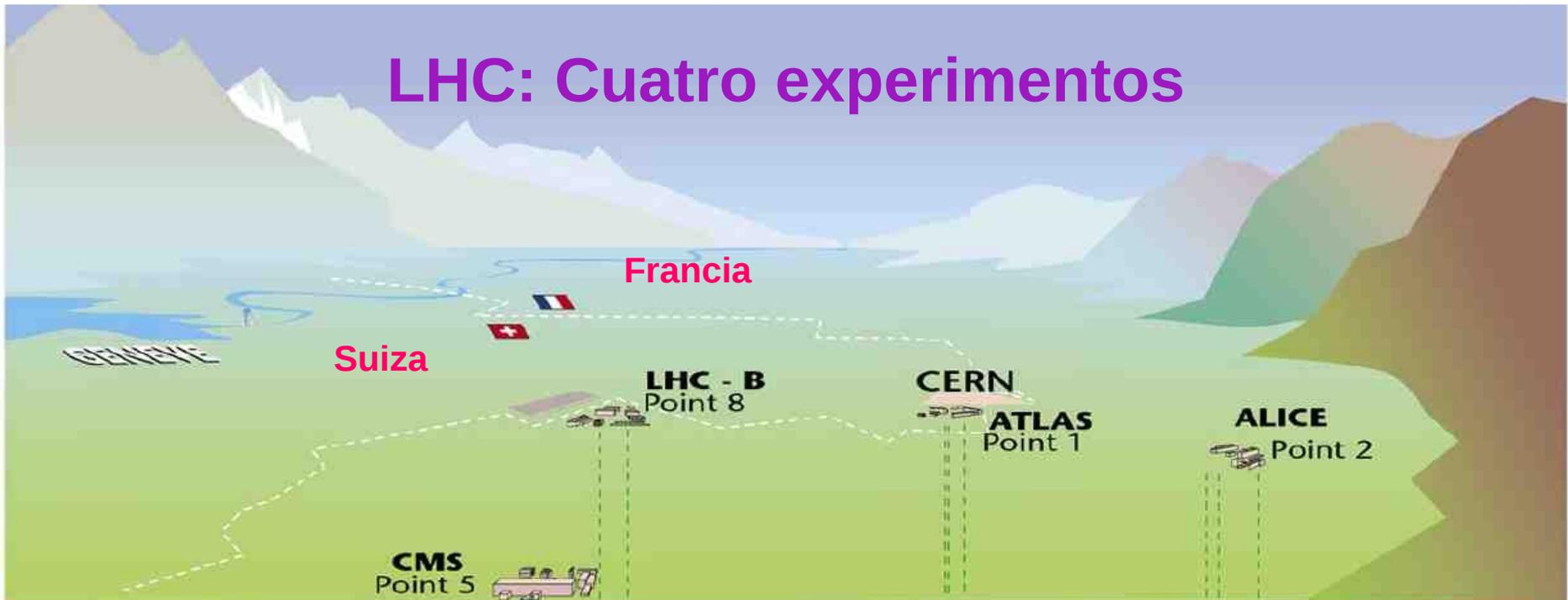
SUIZA

Aeroporto Ginebra

CERN

FRANCIA

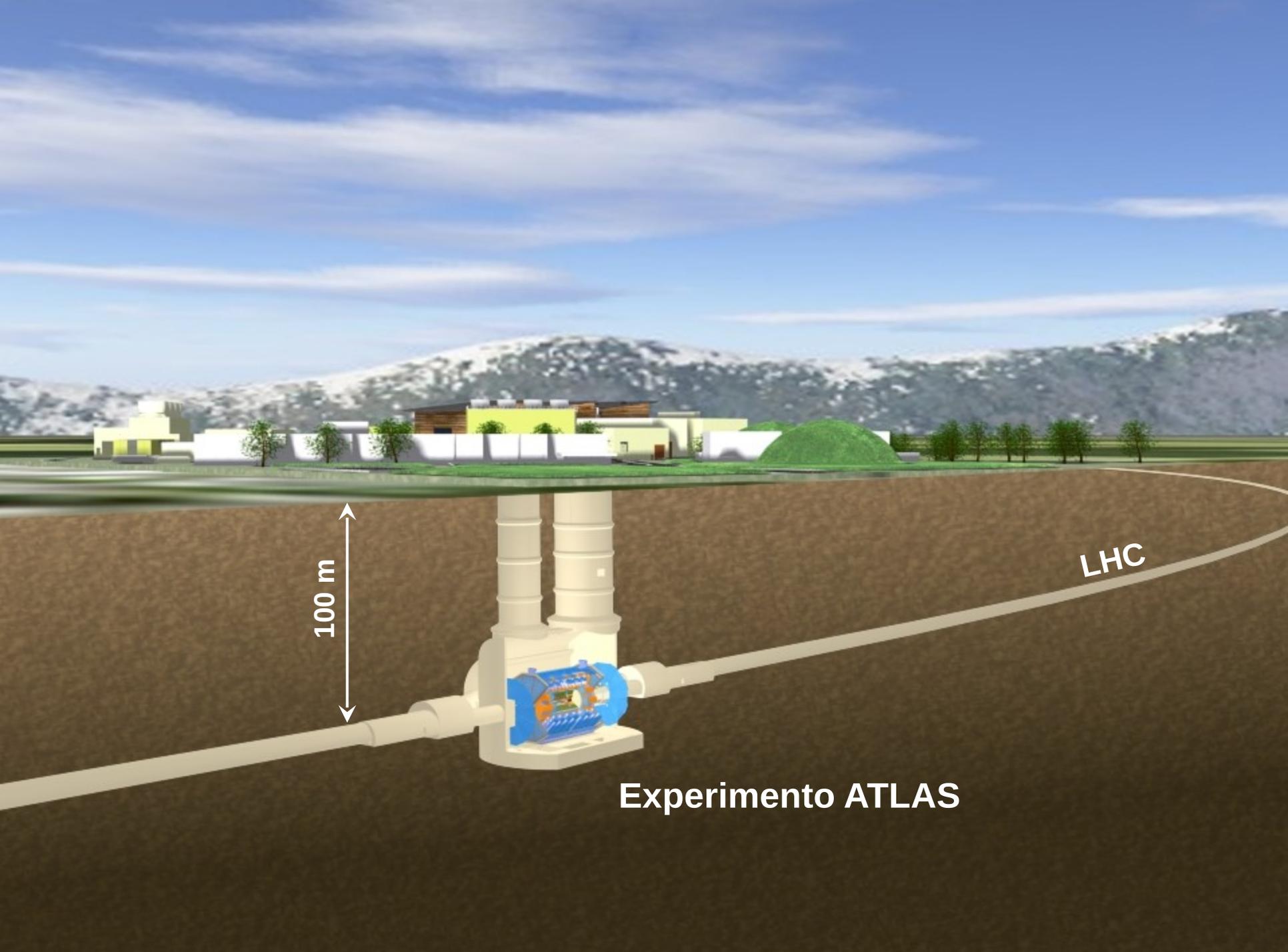
LHC: Cuatro experimentos



4 Experimentos

Una vista del LHC en el tunel de 27km

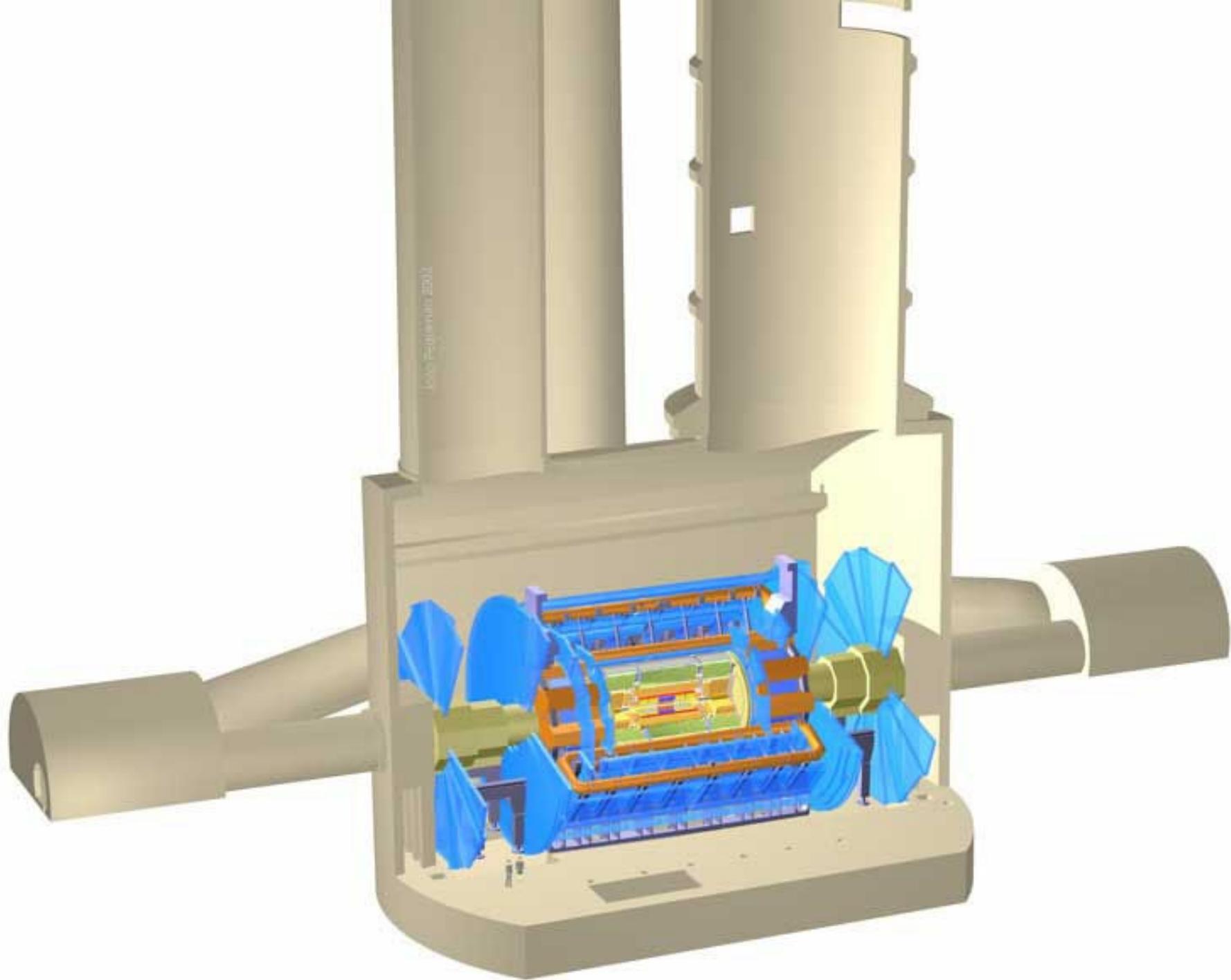




100 m

LHC

Esperimento ATLAS

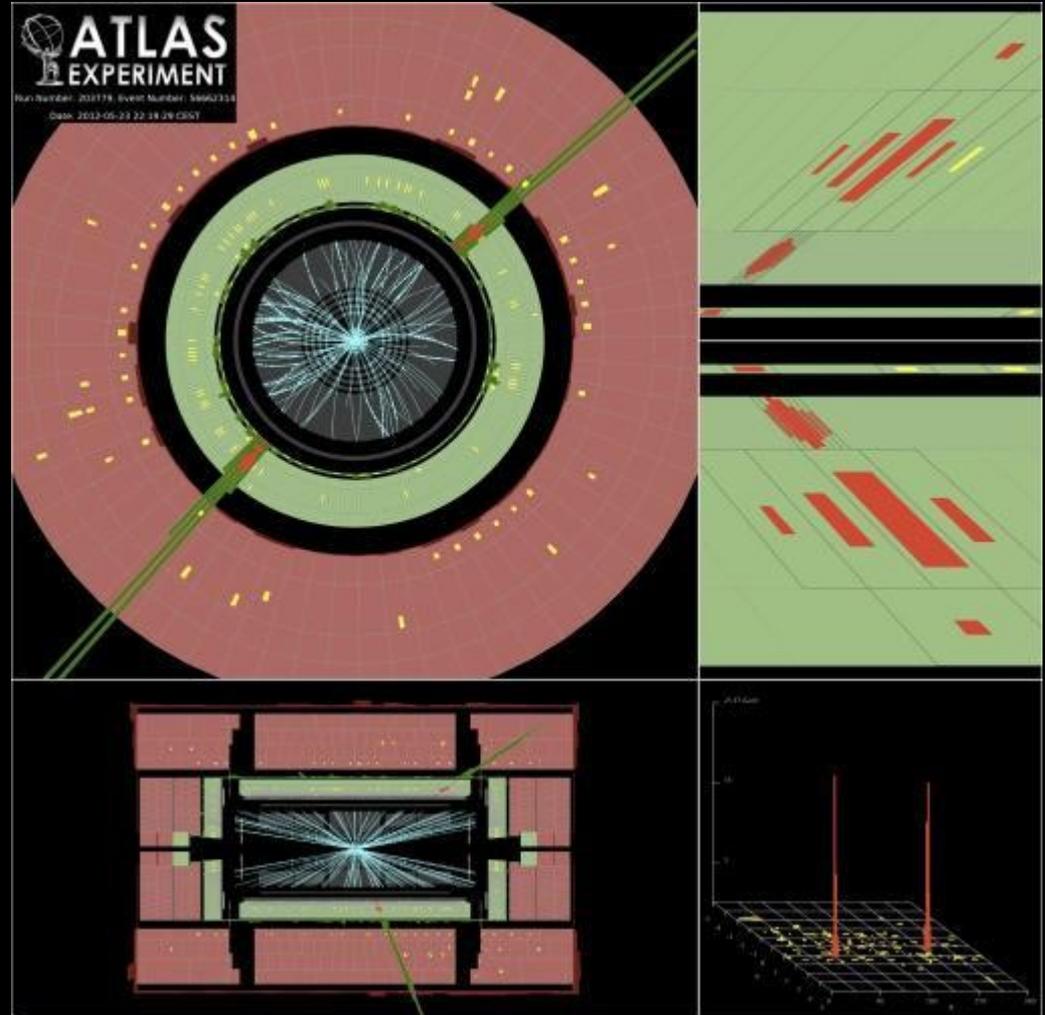


El experimento ATLAS



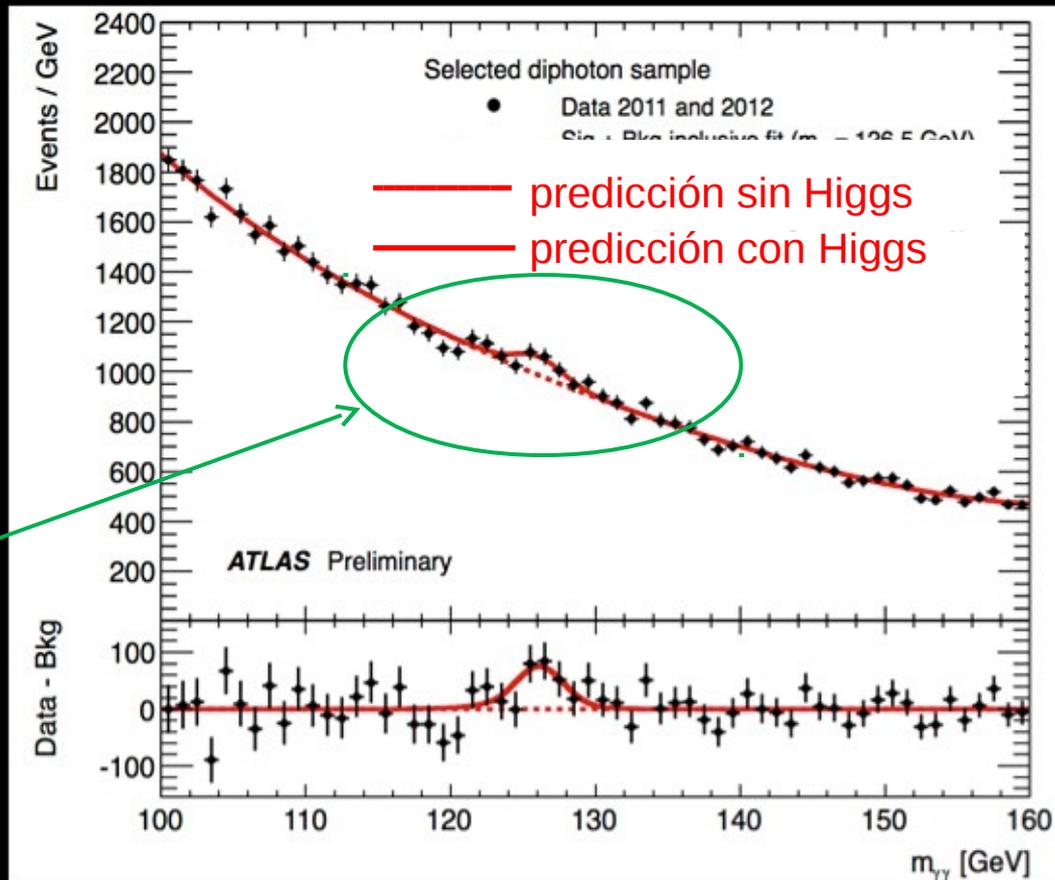
Decaimiento a dos fotones

- ◆ A veces ocurre que, entre otras cosas, se producen dos fotones
- ◆ Uno de los decaimientos del Higgs es a dos fotones
- ◆ Pero muchas otras cosas producen dos fotones ...



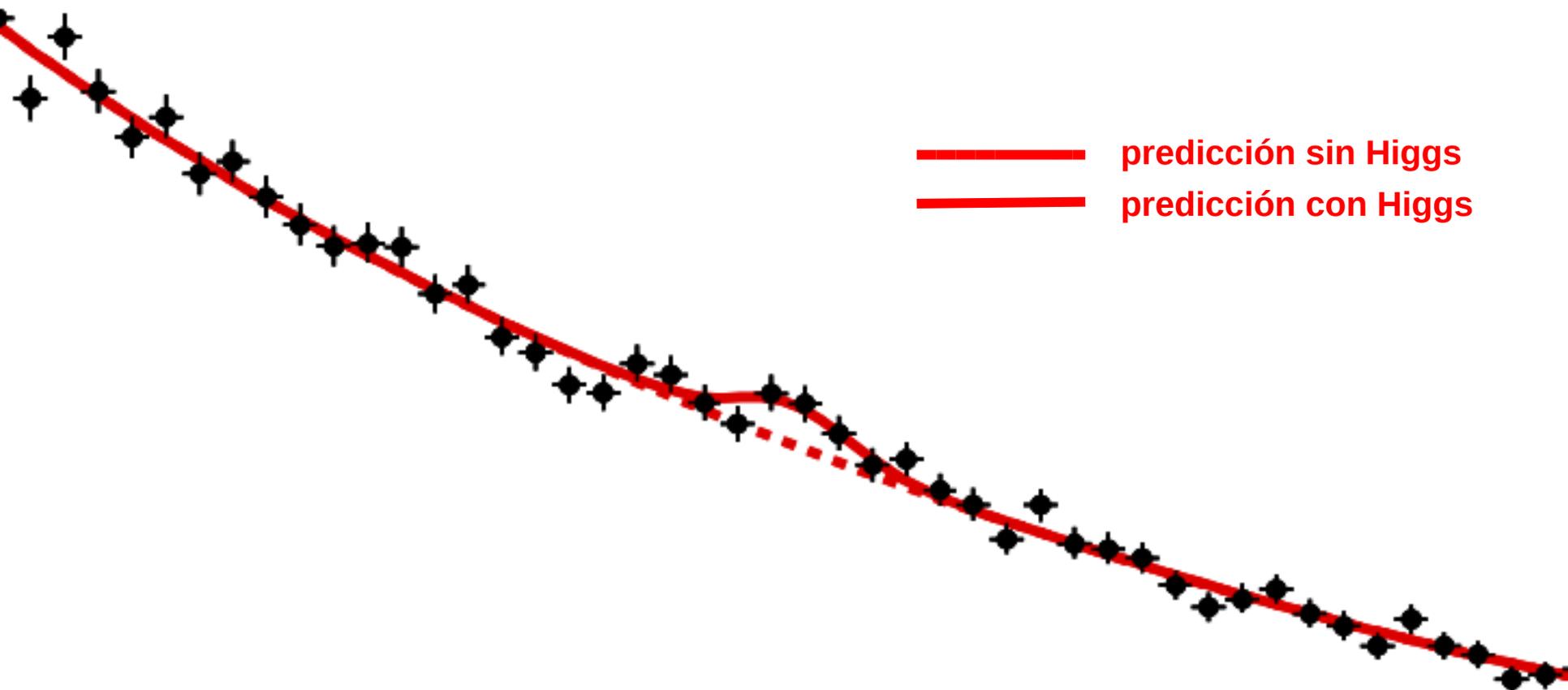
Producción de dos fotones

- ◆ Se cuenta cuantos eventos se producen con dos fotones
- ◆ Se compara contra la predicción del Modelo Estándar sin incluir el Higgs
- ◆ Se compara contra la predicción del Modelo Estándar incluyendo el Higgs



EPA !

● Data 2011 and 2012

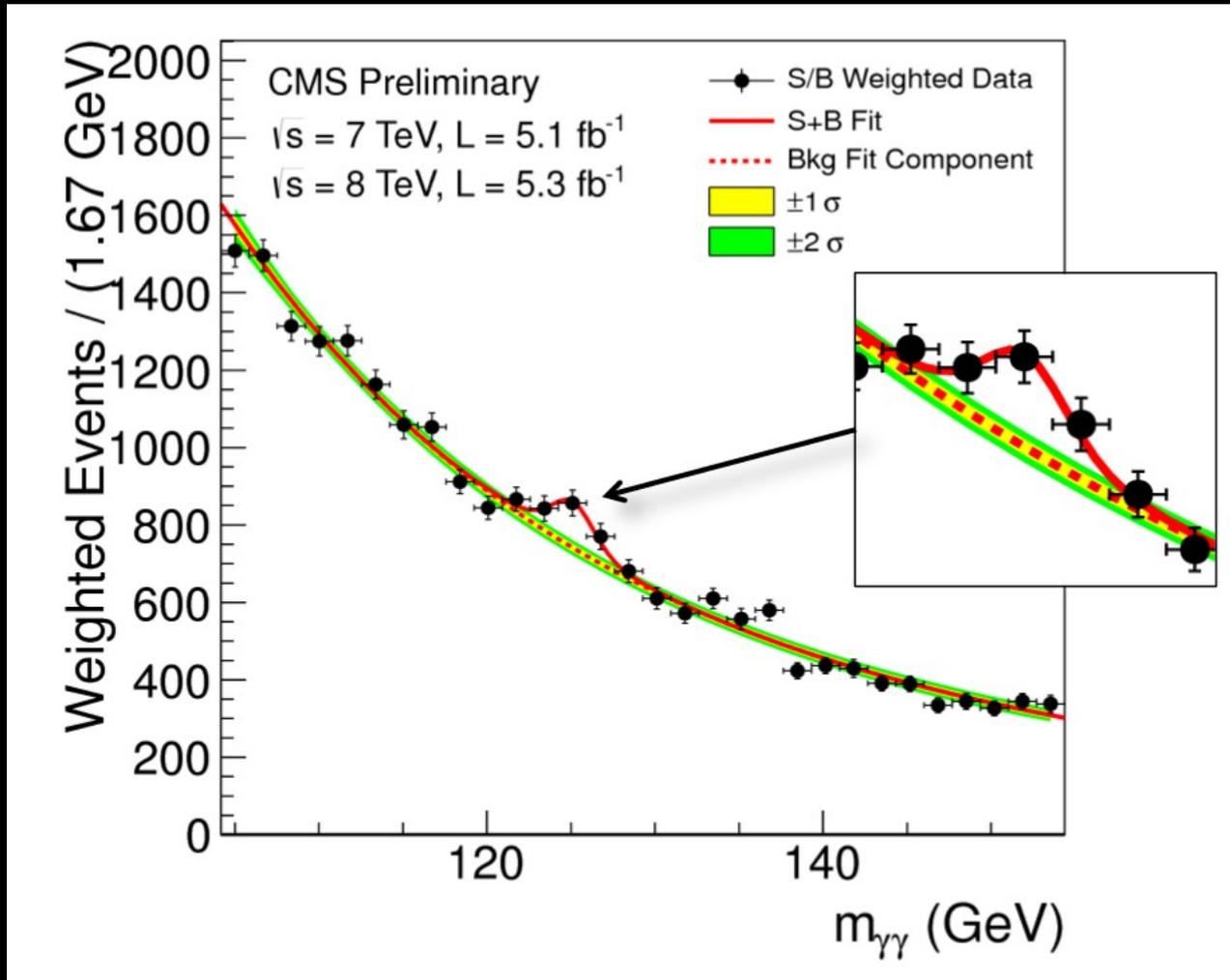


— predicción sin Higgs
— predicción con Higgs

ATLAS Preliminary

Producción de dos fotones

- ◆ La competencia (CMS) observa lo mismo !!



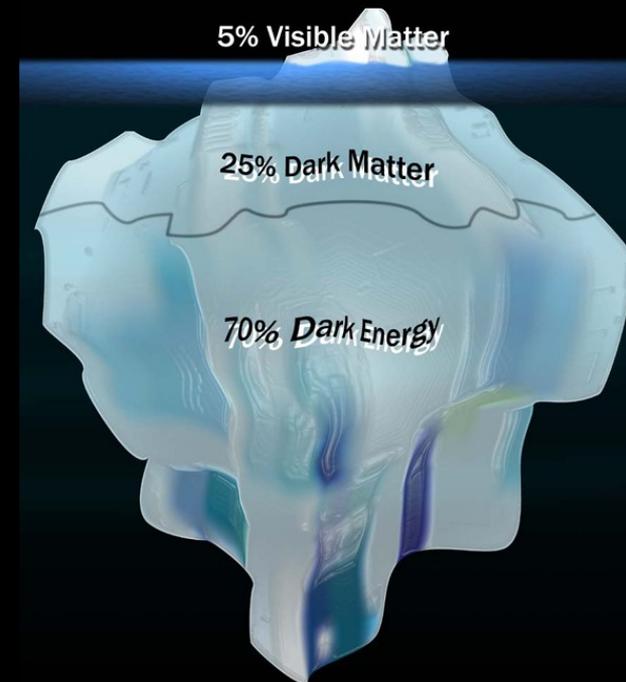
Para finalizar: Temas en estudio en el LHC

- ◆ Tenemos una lupa mejor: investigar si las partículas tienen estructura interna.
- ◆ Tenemos una fábrica mejor: descubrir partículas hasta ahora desconocidas.
- ◆ Medir con precisión el Modelo Estándar
- ◆ Estudiar la física del Higgs (o los Higgses).

El Modelo Estándar no puede ser el final de la historia:

- ◆ Demasiados parámetros (19) para una teoría fundamental
- ◆ Falta incluir la interacción gravitatoria.
- ◆ De qué está hecho el universo? La astrofísica nos dice que átomos y moléculas son sólo el 5% de la materia!

→ **Búsqueda de Nueva Física**



Fin?

Antimateria?

A cada partícula le corresponde una antipartícula

Por ejemplo, al electrón (e) le corresponde el antielectrón (\bar{e})

- El e y el \bar{e} tienen igual masa, pero carga opuesta.
- Es posible crear un e y un \bar{e} simultáneamente.
- Al juntar un e y un \bar{e} , se aniquilan.

La antimateria se conoce desde 1935

Se usa en medicina: tomografía PET



antielectrones

 **HOSPITAL ITALIANO**
de Buenos Aires



| Inicio | ¿Qué es el PET? | Cuerpo Médico | Contáctenos | Ubicación |

PET/TC - Tomografía por emisión de positrones

Primer Centro PET de Buenos Aires

El Hospital Italiano de Buenos Aires, **centro pionero en PET y PET/TC** en el área de Buenos Aires, ofrece desde el año 2002, entre sus múltiples prestaciones de alta complejidad, la más alta calidad técnica y médica en PET/TC, con los especialistas en Medicina Nuclear y Diagnóstico por Imágenes con más experiencia en el área.



Información para
Pacientes

¿Qué es el PET?

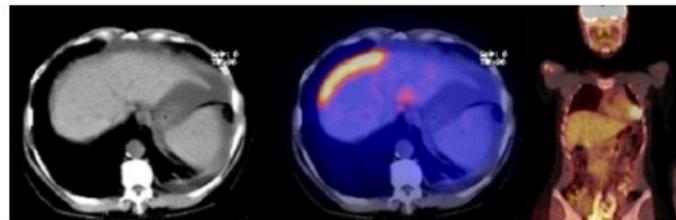
El examen PET paso a
paso

Información importante

Trabajos científicos

Publicados

Presentados



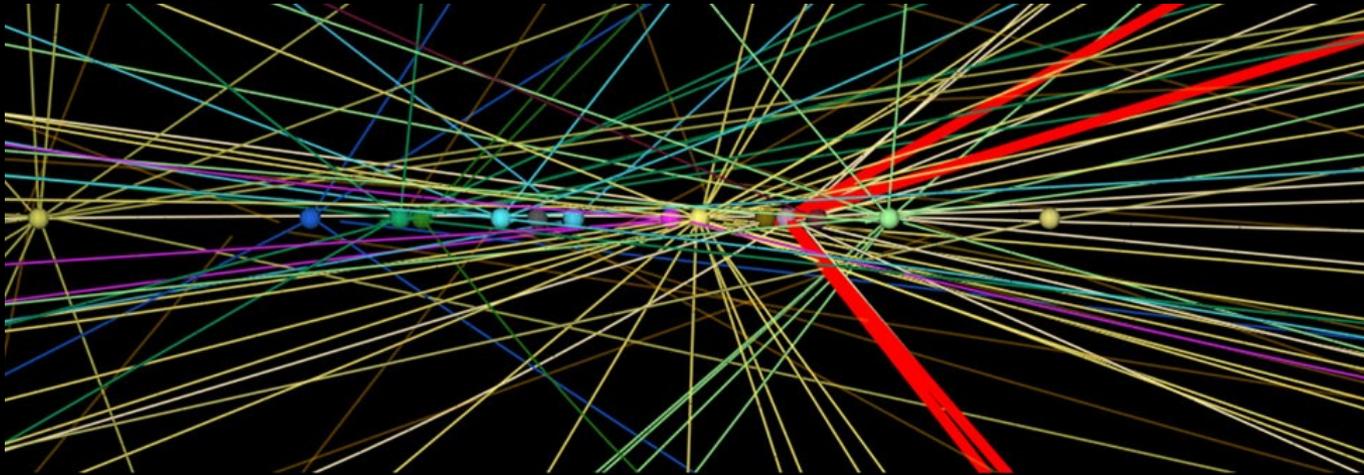
Quantity	Value	Standard Model	Pull
m_t [GeV]	$172.7 \pm 2.9 \pm 0.6$	172.7 ± 2.8	0.0
M_W [GeV]	80.450 ± 0.058	80.376 ± 0.017	1.3
	80.392 ± 0.039		0.4
M_Z [GeV]	91.1876 ± 0.0021	91.1874 ± 0.0021	0.1
Γ_Z [GeV]	2.4952 ± 0.0023	2.4968 ± 0.0011	-0.7
$\Gamma(\text{had})$ [GeV]	1.7444 ± 0.0020	1.7434 ± 0.0010	—
$\Gamma(\text{inv})$ [MeV]	499.0 ± 1.5	501.65 ± 0.11	—
$\Gamma(\ell^+\ell^-)$ [MeV]	83.984 ± 0.086	83.996 ± 0.021	—
σ_{had} [nb]	41.541 ± 0.037	41.467 ± 0.009	2.0
R_e	20.804 ± 0.050	20.756 ± 0.011	1.0
R_μ	20.785 ± 0.033	20.756 ± 0.011	0.9
R_τ	20.764 ± 0.045	20.801 ± 0.011	-0.8
R_b	0.21629 ± 0.00066	0.21578 ± 0.00010	0.8
R_c	0.1721 ± 0.0030	0.17230 ± 0.00004	-0.1
$A_{FB}^{(0,e)}$	0.0145 ± 0.0025	0.01622 ± 0.00025	-0.7
$A_{FB}^{(0,\mu)}$	0.0169 ± 0.0013		0.5
$A_{FB}^{(0,\tau)}$	0.0188 ± 0.0017		1.5
$A_{FB}^{(0,b)}$	0.0992 ± 0.0016	0.1031 ± 0.0008	-2.4
$A_{FB}^{(0,c)}$	0.0707 ± 0.0035	0.0737 ± 0.0006	-0.8
$A_{FB}^{(0,s)}$	0.0976 ± 0.0114	0.1032 ± 0.0008	-0.5
$\bar{s}_\ell^2(A_{FB}^{(0,q)})$	0.2324 ± 0.0012	0.23152 ± 0.00014	0.7
	0.2238 ± 0.0050		-1.5
A_e	0.15138 ± 0.00216	0.1471 ± 0.0011	2.0
	0.1544 ± 0.0060		1.2
	0.1498 ± 0.0049		0.6
A_μ	0.142 ± 0.015		-0.3
A_τ	0.136 ± 0.015		-0.7
	0.1439 ± 0.0043		-0.7
A_b	0.923 ± 0.020	0.9347 ± 0.0001	-0.6
A_c	0.670 ± 0.027	0.6678 ± 0.0005	0.1
A_s	0.895 ± 0.091	0.9356 ± 0.0001	-0.4
g_L^2	0.30005 ± 0.00137	0.30378 ± 0.00021	-2.7
g_R^2	0.03076 ± 0.00110	0.03006 ± 0.00003	0.6
$g_V^{\nu e}$	-0.040 ± 0.015	-0.0396 ± 0.0003	0.0
$g_A^{\nu e}$	-0.507 ± 0.014	-0.5064 ± 0.0001	0.0
A_{PV}	-1.31 ± 0.17	-1.53 ± 0.02	1.3
$Q_W(\text{Cs})$	-72.62 ± 0.46	-73.17 ± 0.03	1.2
$Q_W(\text{Tl})$	-116.6 ± 3.7	-116.78 ± 0.05	0.1
$\frac{\Gamma(b \rightarrow s\gamma)}{\Gamma(b \rightarrow X e \nu)}$	$3.35_{-0.44}^{+0.50} \times 10^{-3}$	$(3.22 \pm 0.09) \times 10^{-3}$	0.3
$\frac{1}{2}(g_\mu - 2 - \frac{\alpha}{\pi})$	4511.07 ± 0.82	4509.82 ± 0.10	1.5
τ_τ [fs]	290.89 ± 0.58	291.87 ± 1.76	-0.4

Listas y listas como éstas en las

Tablas de Partículas ...

Decaimiento del Higgs a cuatro electrones

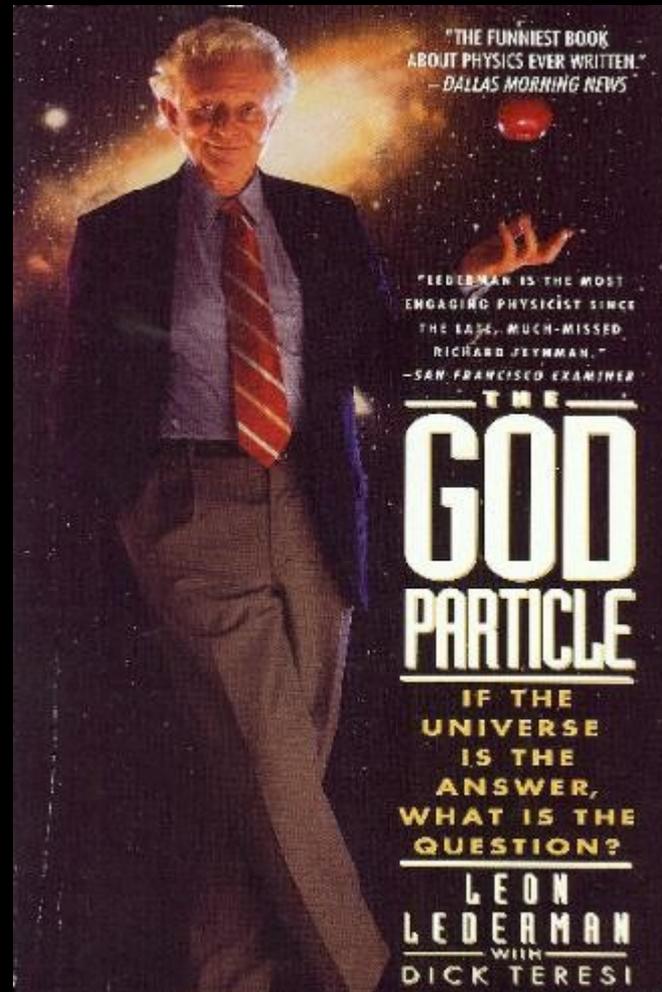
- ◆ El Higgs puede decaer a 4 electrones!
- ◆ Pero otros procesos también producen 4 electrones...



	2011	2012	2011+2012
Casos esperados sin Higgs	2 ± 0.3	3 ± 0.4	5.1 ± 0.8
Casos esperados con Higgs	4 ± 0.5	6 ± 0.8	10.4 ± 1.2
Observados en los datos	4	9	13

El nombre “Partícula de Dios” fue inventado por el Premio Nobel Leon Lederman

(probablemente para vender más copias de su libro)



Países miembros de ATLAS



ATLAS
Collaboration



Algunos números

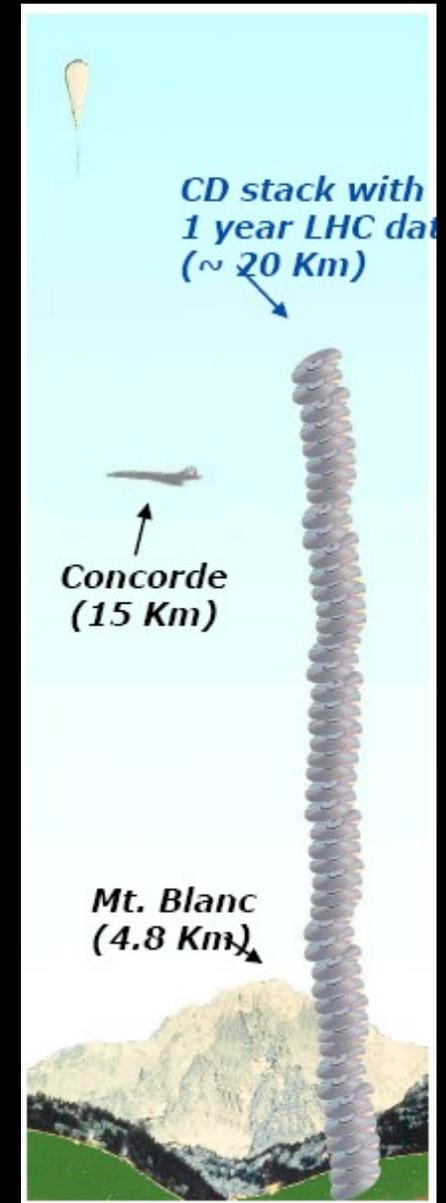
Canales de lectura de ATLAS: 100000000 (10^8)
(números leídos en cada choque)

Cruces de protones cada 25 nsec: 40.000.000 / seg

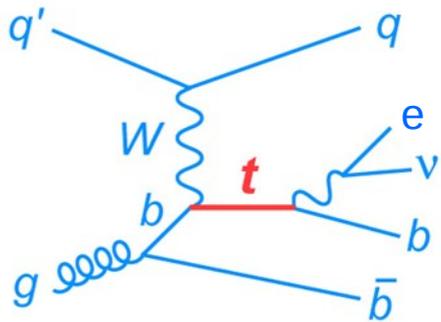
Sólo pueden guardarse 300/sec

→ Rechazar 99.9992%

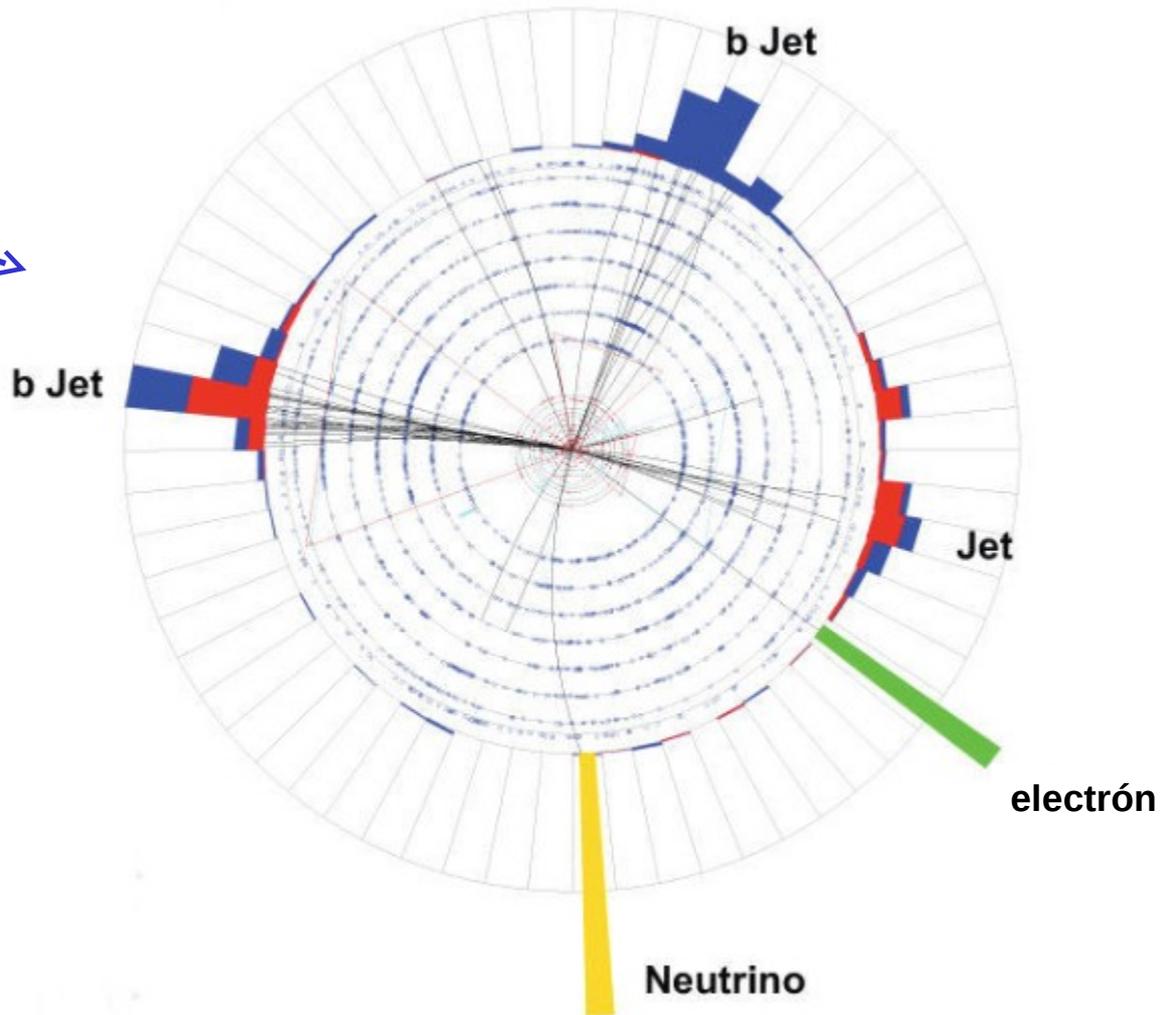
300/sec x 1.5 MB/evento → 4.5 PB por año



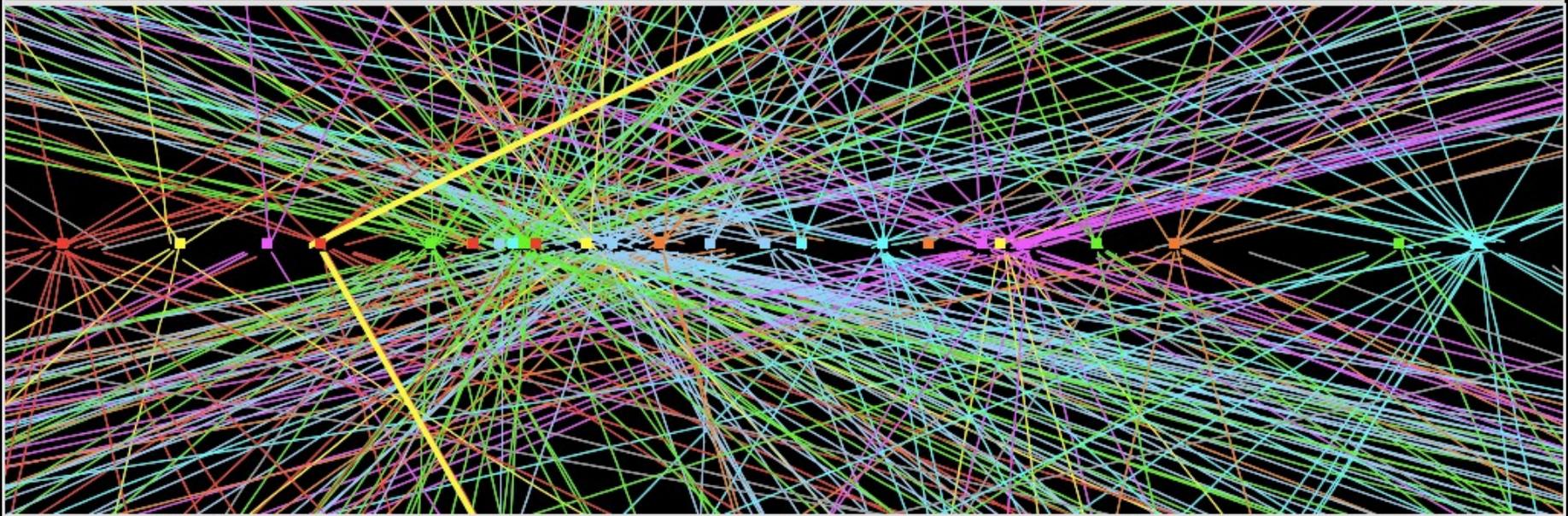
La cuenta que
hace un teórico



Lo que mide
un experimental

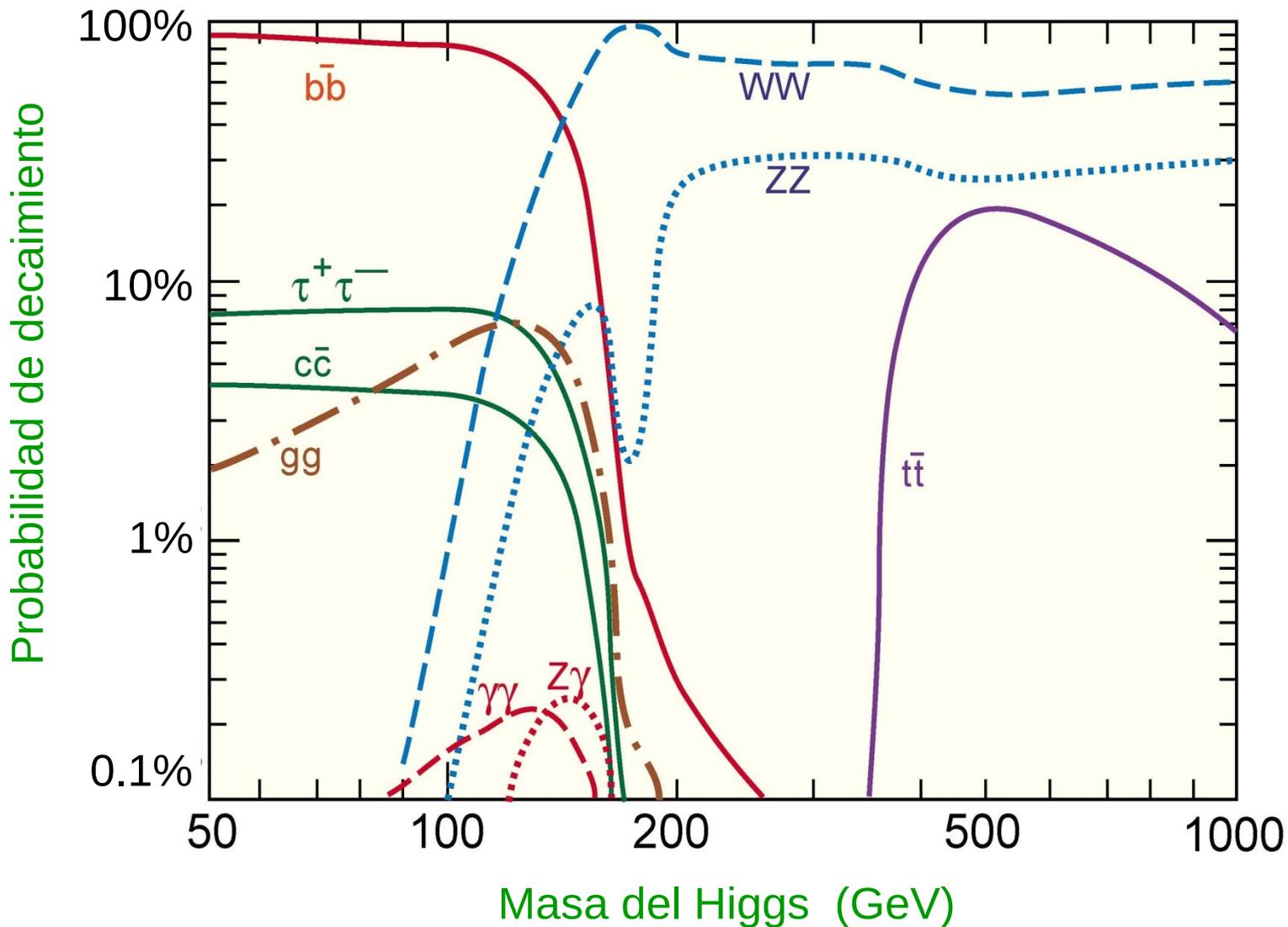


Y encima no hay un sólo choque protón-protón,
sino 25 en promedio ...



Se necesitan muchos choques para producir los procesos más raros

El Higgs es inestable: El Modelo Estándar predice sus decaimientos

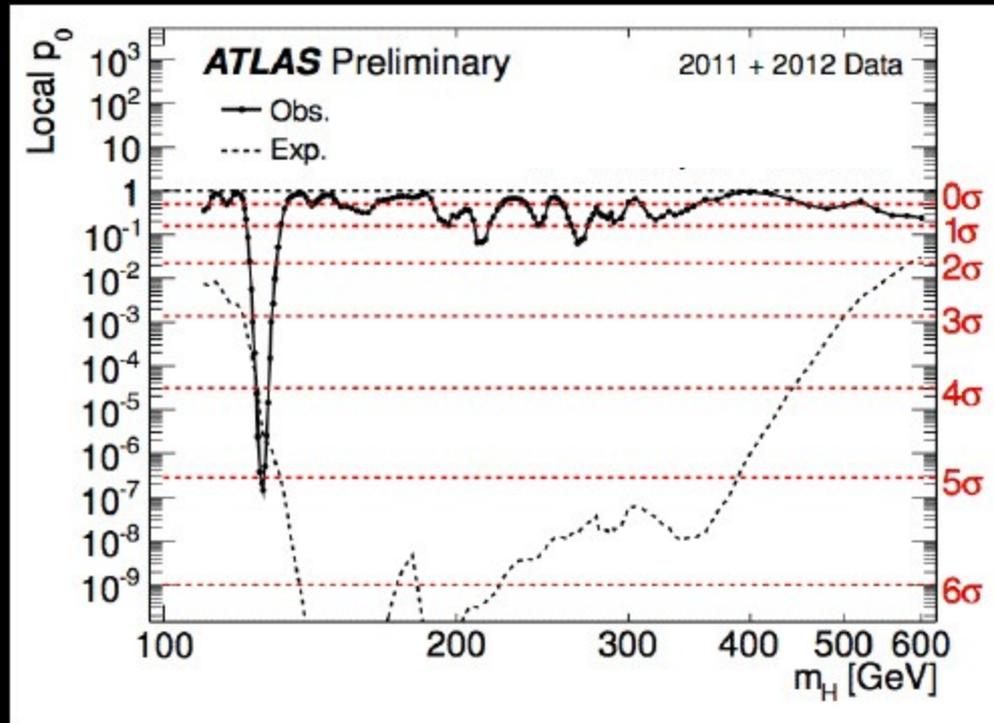


Fluctuaciones estadísticas

- ◆ Quiero saber si una moneda es normal o está cargada para salir cara.
- ◆ Si tiro la moneda “buena” 4 veces, espero 2 caras.
- ◆ Si salen 4 caras, puedo asegurar que es la moneda trucha?
- ◆ NO: puede ser una “fluctuación estadística”.
- ◆ Y si la tiro seis veces y salen 6 caras?
- ◆ Y si la tiro diez veces y salen 10 caras?
- ◆ Cuántas veces tengo que tirarla para convencerme?

Fluctuaciones estadísticas

- ◆ ¿Cuál es la probabilidad de nuestros resultados *si se supone que no hay Higgs*?
- ◆ Si $m_H = 400$, probabilidad = $\frac{1}{2}$ → Muy probable!
- ◆ Si $m_H = 126$, probabilidad = 0,0000001 → Casi imposible!



Pero quedaba un problema: qué es la masa?

$$\mathbf{F = m \cdot a}$$

La masa nos indica cuanta fuerza hay que hacer para mover un cuerpo

Pero la materia está compuesta de vacío y partículas sin tamaño (“puntitos”):
¿qué es la masa?



Solución: La partícula de Higgs

→ Las partículas no tienen masa, sino una interacción (una especie de fricción) con el campo de Higgs.