

El Futuro de la Física de Partículas



John Ellis

- ¿ Qué hay despues del bosón de Higgs ?
- ¿ Qué física más allá del Modelo Estándar ?

¿ De dónde venimos ?

¿ Qué somos ?

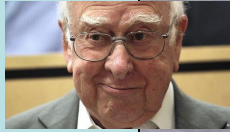
¿ Adónde vamos ?



El objetivo de la física de partículas:
¿ Cómo está hecho el Universo ?

Las grandes preguntas de Gauguin en los terminos de la física

- ¿ De qué está hecha la materia ?
 - ¿ Por qué hay masa ?
- ¿ Qué es la materia oscura en el universo ?
- ¿ Cómo evoluciona el universo ?
- ¿Cuál es el origen de la materia ?
- ¿ Por qué está el universo así de grande ?
- ¿ Hay dimensiones adicionales del espacio



Nuestro objetivo es dar respuestas a estas preguntas

Para contestar a las preguntas de Gauguin:

El 'Gran Colisionador de Hadrones' (LHC)

Objetivos primarias:

- El origen de las masas
- La materia oscura
- El plasma primordial
- Materia vs antimateria



Algunas partículas tienen masas, algunas no

Newton:

El peso proporcional a la masa

Einstein:

La energía relacionada con la masa

No explicaron el origen de las masas

¿De dónde vienen las masas?

¿Las masas se deben a un bosón de Higgs?



Como un campo de nieve



El esquiador anda muy rapido:
como una partícula sin masa
(el fotón = la partícula de la luz)



El LHC buscó
el copo de nieve:
el bosón de Higgs

El raquetista anda menos
rápido: como una partícula
con una masa (el electrón)



El marchador anda muy
despacio: como una
partícula con una masa grande



El primer estudio detallado del bosón de Higgs (1975)

A PHENOMENOLOGICAL PROFILE OF THE HIGGS BOSON

John ELLIS, Mary K. GAILLARD * and D.V. NANOPOULOS **
CERN, Geneva

Received 7 November 1975

A discussion is given of the production, decay and observability of the scalar Higgs boson H expected in gauge theories of the weak and electromagnetic interactions such as the Weinberg-Salam model. After reviewing previous experimental limits on the mass of

We should perhaps finish with an apology and a caution. We apologize to experimentalists for having no idea what is the mass of the Higgs boson, unlike the case with charm [3,4] and for not being sure of its couplings to other particles, except that they are probably all very small. For these reasons we do not want to encourage big experimental searches for the Higgs boson, but we do feel that people performing experiments vulnerable to the Higgs boson should know how it may turn up.

“No quisieramos promover grandes búsquedas experimentales”

Sin el bosón de Higgs ...

... no existirían átomos

- electrones sin masa se van con la velocidad de la luz

... las interacciones débiles volverían fuertes

- La vida sería imposible: todo sería radioactivo

El bosón de Higgs juega un papel importante

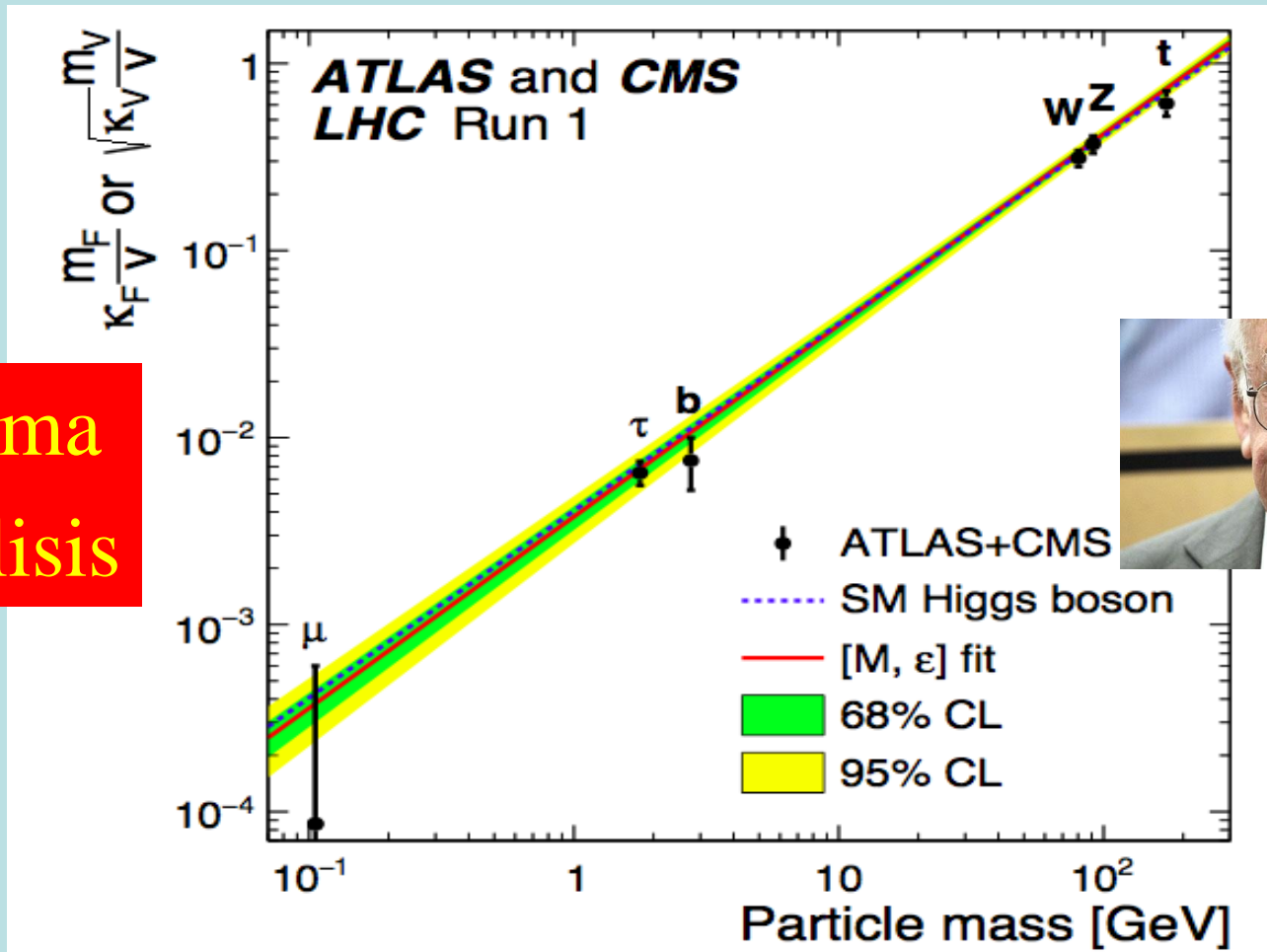
La rompecabezas de las partículas

The background of the slide is a blue field filled with intricate, glowing particle tracks that resemble complex, interconnected loops and paths. In the center, a 3D puzzle is depicted, with one piece missing, revealing a bright white space underneath. The puzzle pieces are rendered with a metallic, reflective blue finish, and a soft, glowing light emanates from the gap, highlighting the missing piece.

¿La buena pieza?

Muy parecido al bosón de Higgs

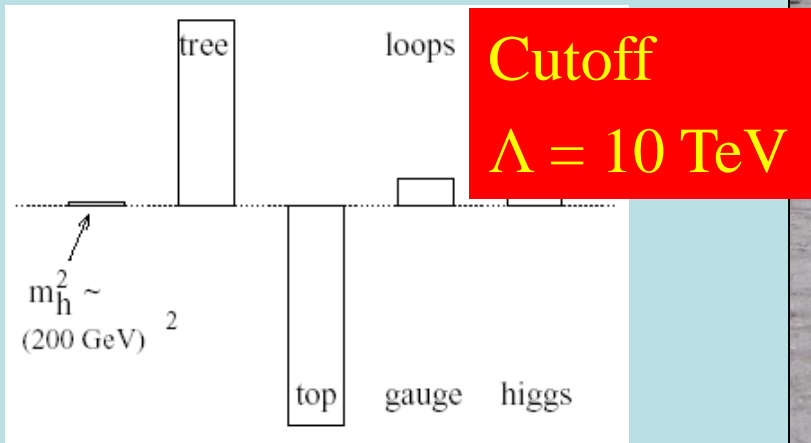
- Se conecta con las masas de las otras partículas



Última
análisis

Higgs elemental o compuesto?

- Campo de Higgs:
 $\langle 0|H|0\rangle \neq 0$
- Problemas cuanticos



Cut-off $\Lambda \sim 1 \text{ TeV}$ con
¿La supersimetría?

- ¿Condensado de fermiones?
- Como QCD, BCS
superconductividad

Necesita nueva interacción
fundamental

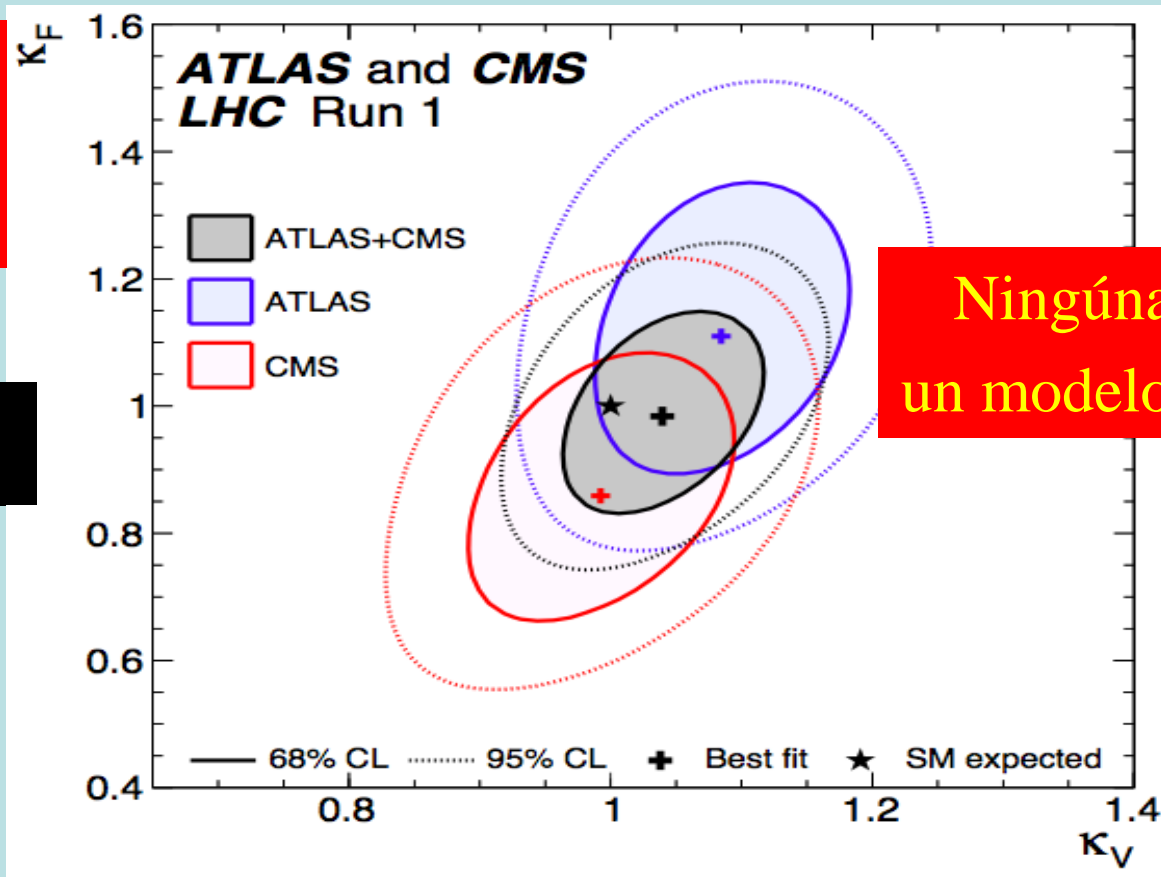
- ¿‘Higgs’ pesado?
- Inconsistente con
los datos sobre las
interacciones electrodébil

Análisis global de los datos

- Acoplamientos con los bosones $\sim a$, con los fermiones $\sim c$

Última
análisis

Global

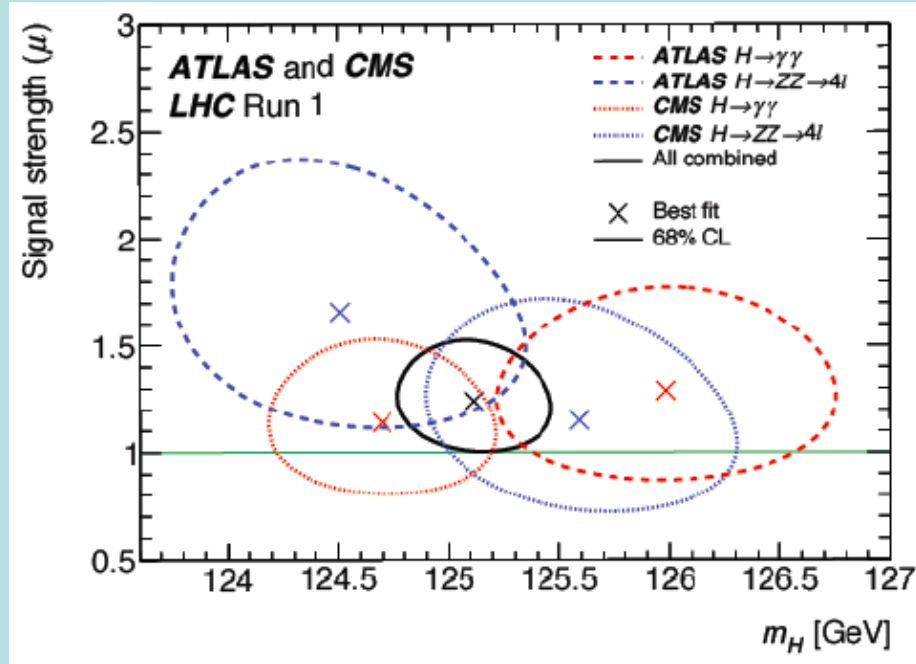


Ninguna señal de
un modelo compuesto

- Modelo Estándar : $a = c = 1$

La masa del bosón

- Medidas de los experimentos ATLAS y CMS



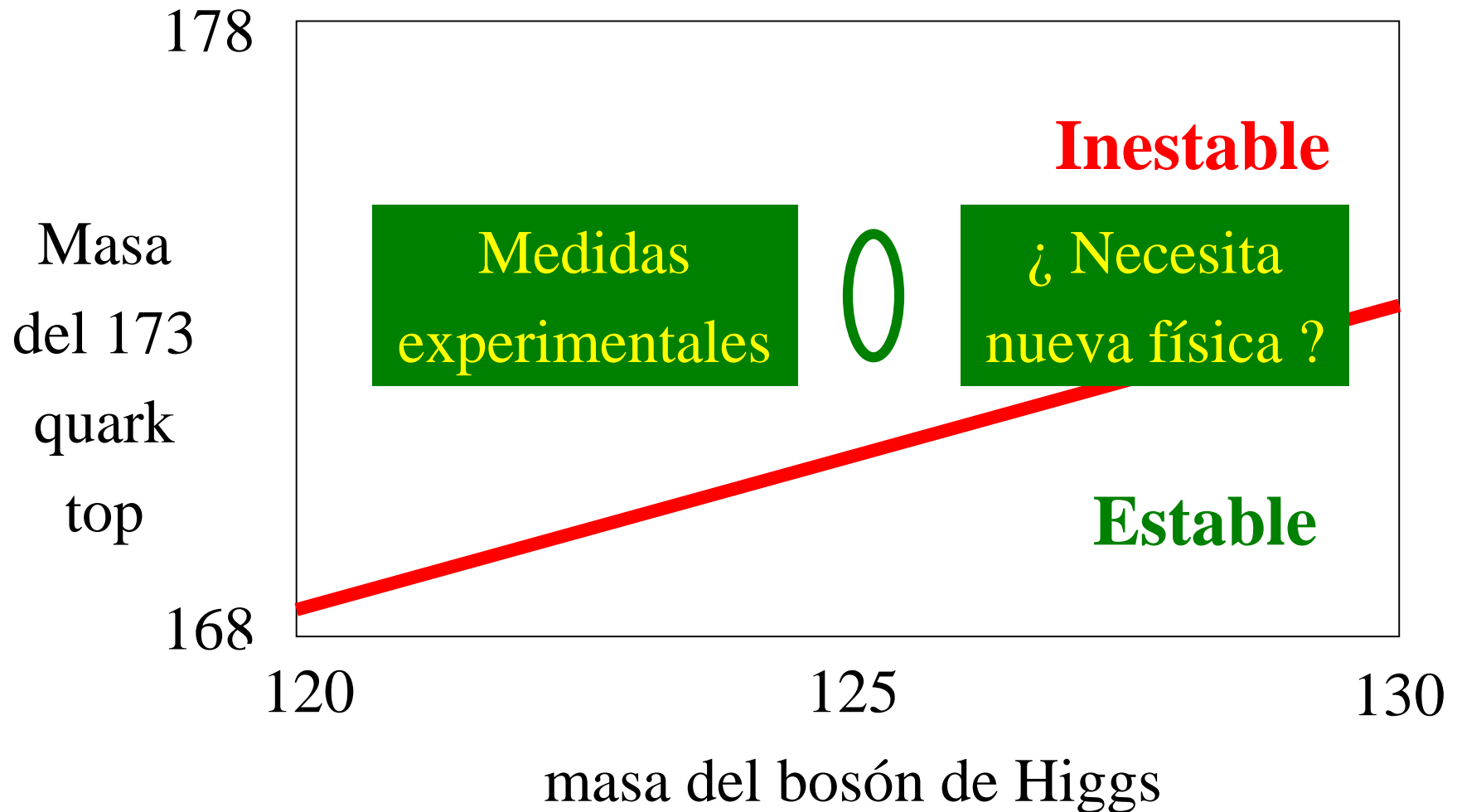
$$m_H = 125.09 \pm 0.24 \text{ GeV}$$

- Conocida con alta precisión
- **Crucial para el futuro del universo**

¿ Hay un problema ?

¿ Inestabilidad del espacio vacío ?

- Está poniendo de la masa del bosón de Higgs



¿ Porqué estamos aquí ?

¿ Grandes fluctuaciones en el universo joven ?

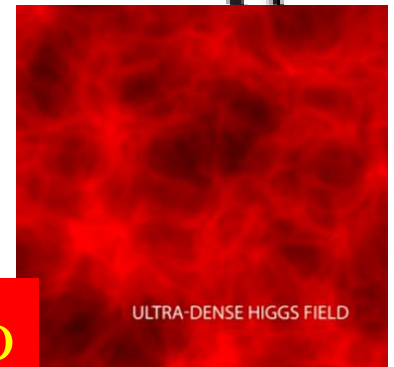
Prevenidas por la supersimetría

Estamos aquí



Fluctuaciones cuánticas

Permiten de pasar por la barrera



El Gran Crujido

Preguntas abiertas mas allá del 'Modelo Estándar'

- ¿Por qué hay tantos tipos de partículas elementales?
- ¿Qué es la materia oscura?
- ¿Unificación de las fuerzas fundamentales?
- ¿Teoría cuántica de la gravitación?

LHC

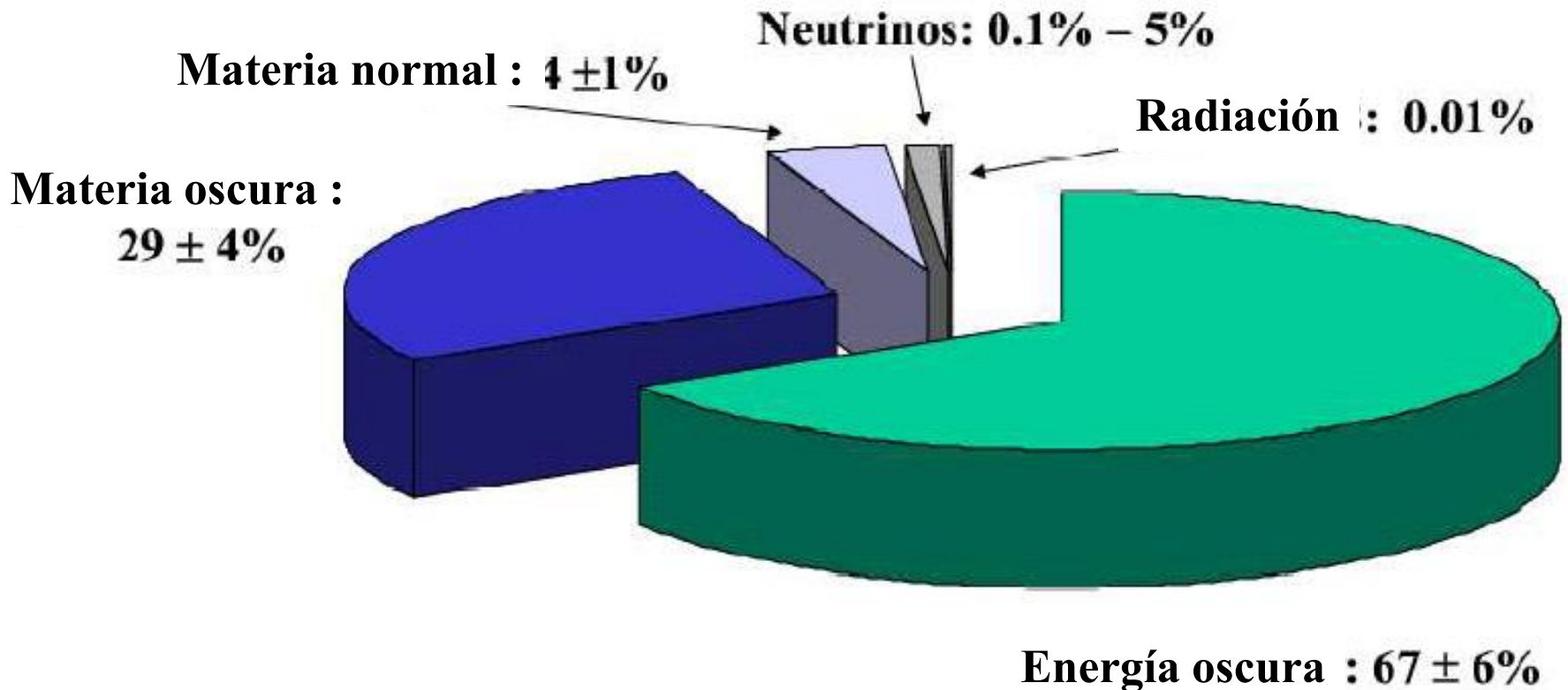
LHC

LHC

LHC

Muchos vínculos con la cosmología

¿Cómo fabricar un universo?



El 'Modelo Estándar' del universo
según la astrofísica y la cosmología

Preguntas abiertas mas allá del 'Modelo Estándar'

- ¿Por qué hay tantos tipos de partículas elementales?
 - ¿La diferencia entre la materia y la antimateria?

Mucho interés en la antimateria



¡Nosotros físicos no hacemos suficiente para Star Trek o Dan Brown!

¿Cómo difieren la materia y la antimateria?

Dirac previó las **ANTI**partículas:

Las mismas masas

Propiedades internas opuestas:

cargos eléctricos, ...

Descubiertos en los rayos cósmicos

Estudiados por los aceleradores



La materia y la antimateria no son iguales: ¿POR QUÉ?

¿Por qué el Universo contiene materia, no antimateria?

Experimentos al LHC y otros laboratorios buscarán respuestas

¿ Cómo crear la materia en el universo ?

Sakharov

- Necesita una diferencia entre materia y antimateria
observada en el laboratorio
- Necesita interacciones capaces de crear materia
presentes en teorías
pero nunca observadas
- La evolución del universo
podría distinguir entre materia
y antimateria



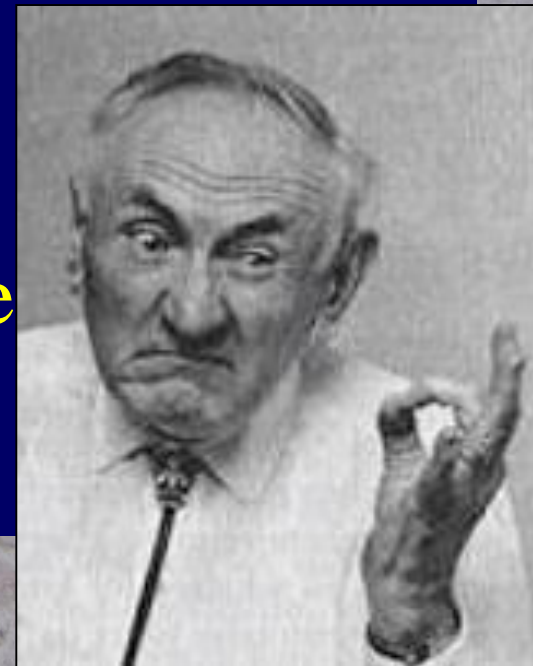
¿ Se podrá calcular con los datos del LHC ?

Preguntas abiertas mas allá del 'Modelo Estándar'

- ¿Por qué hay tantos tipos de partículas elementales?
 - ¿La diferencia entre la materia y la antimateria?
- ¿La materia oscura?

Hipótesis de la materia oscura

- Motivado por las observaciones de Fritz Zwicky del cúmulo de galaxias ‘Coma’
- Las galaxias se mueven demasiado rápidamente
- Las observaciones necesitan un campo gravitacional más fuerte que generado por la materia visible
- ¿ La materia oscura ?



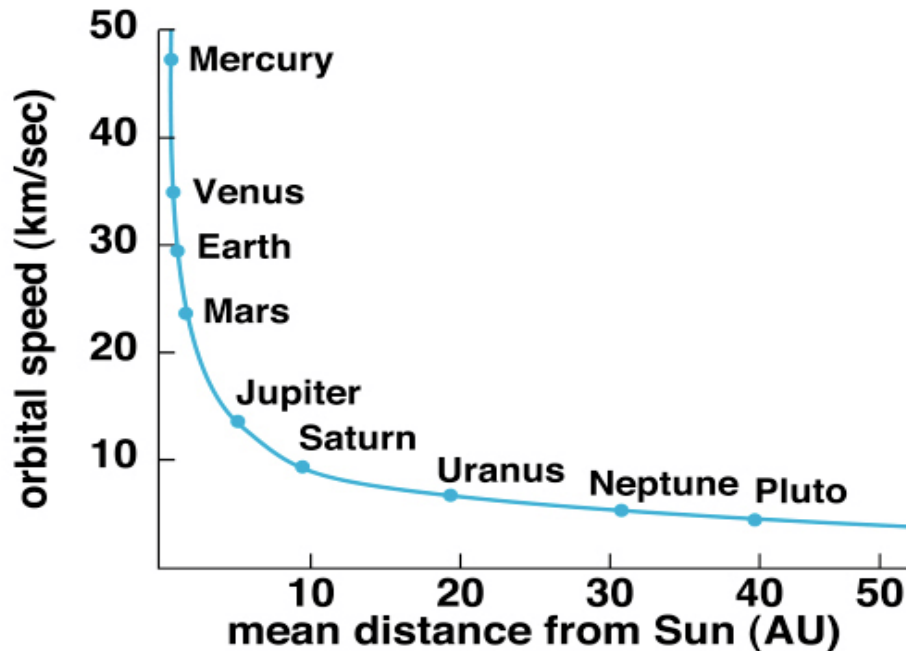
Las curvas de rotación de las galaxias

- Las observaciones de Vera Rubin
- Las estrellas también orbitan ‘demasiado rápidamente’
- Sus observaciones necesitan un campo gravitacional más fuerte que generado por la materia visible
- **Una otra prueba de la materia oscura**



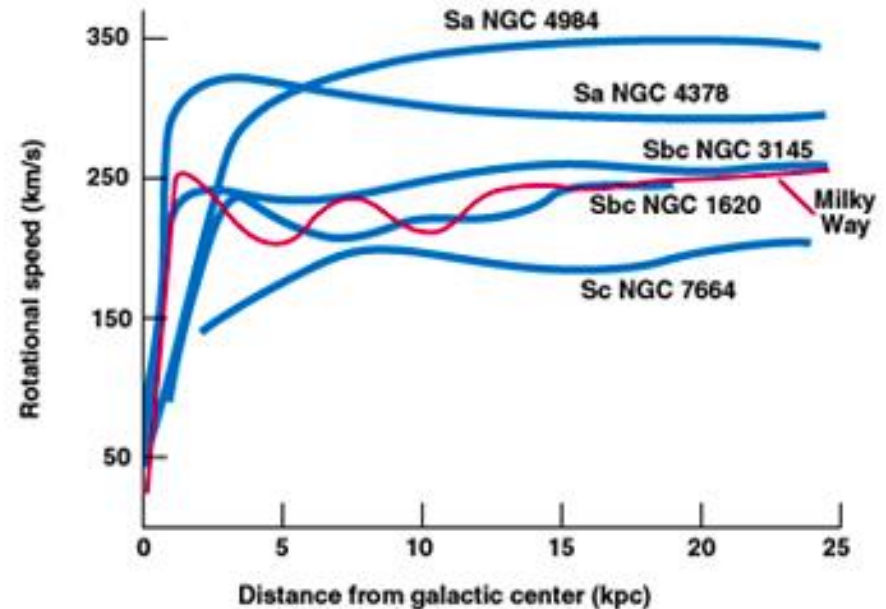
Las curvas de rotación

- En el sistema solar



- Las velocidades disminuyen con la distancia
- La masa (Sol) en el centro

- Las galaxias



- Las velocidades no disminuyen
- La masa oscura distribuida

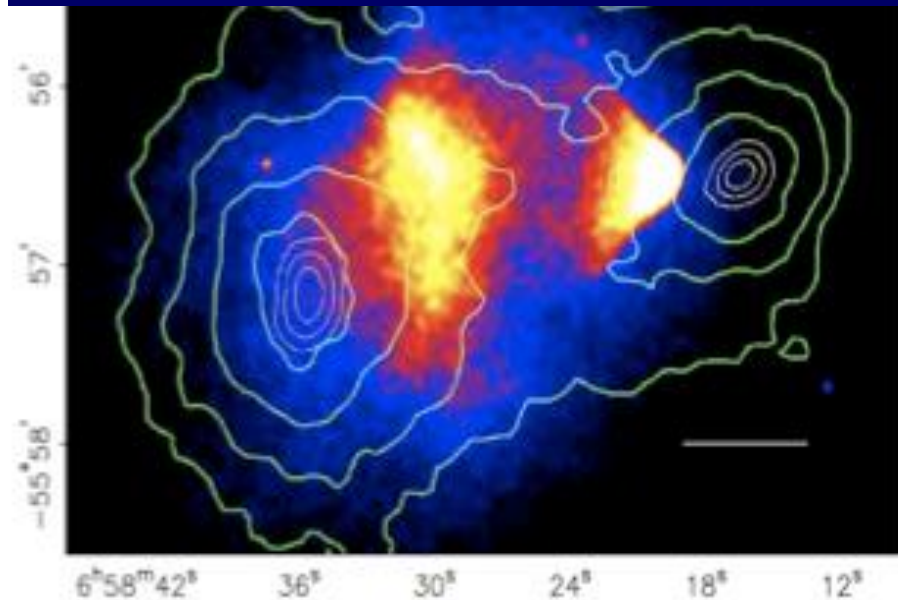
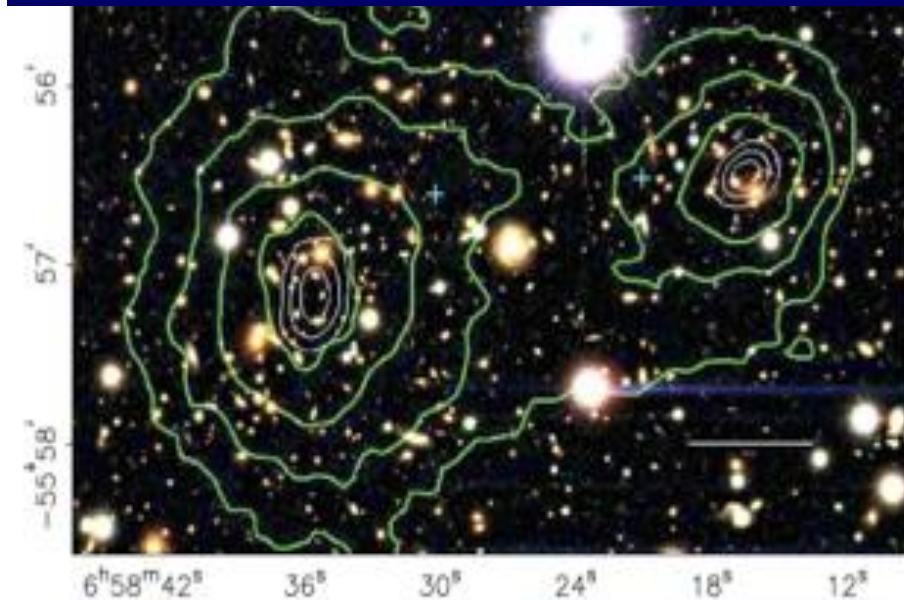
Otra prueba de la materia oscura

Choque entre dos cúmulos
de galaxias :

La materia oscura no interacciona
y sigue separando

Choque entre dos cúmulos
de galaxias :

El gas interacciona, se calienta
y se para



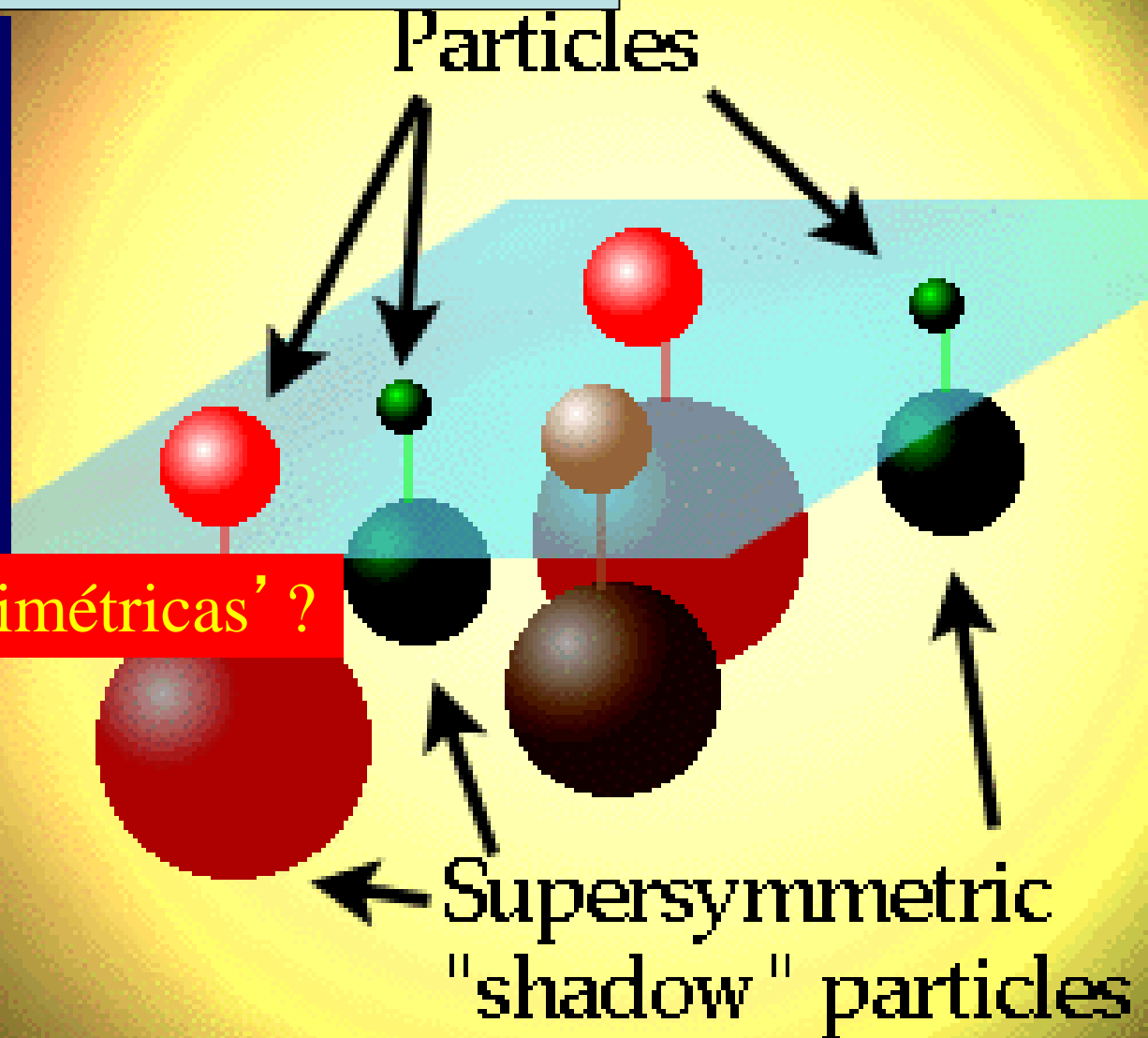
¿ La materia oscura en el universo ?



Los astrónomos nos dicen que la mayoría de la materia en el universo es 'Materia Oscura' invisible

¿ Partículas 'Supersimétricas' ?

Las buscamos con los experimentos al LHC



¿ Qué más hay ?

Supersimetría

- Estabiliza el vacío
- Buena predicción para la masa del bosón de Higgs
- Buenas predicciones para las propiedades del bosón de Higgs
- Ayuda a la unificación de las interacciones
- **Podría explicar la materia oscura**

¿ Qué es la supersimetría ?

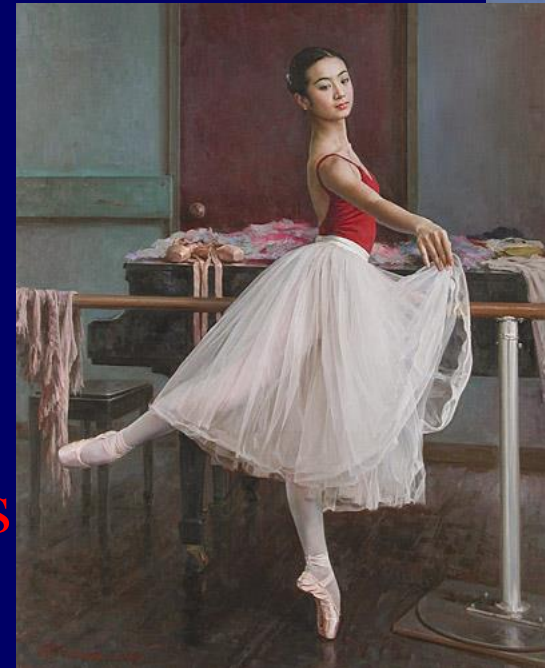
- Une la materia a las partículas que transportan las fuerzas

- Relaciona las partículas con diferentes momentos angulares

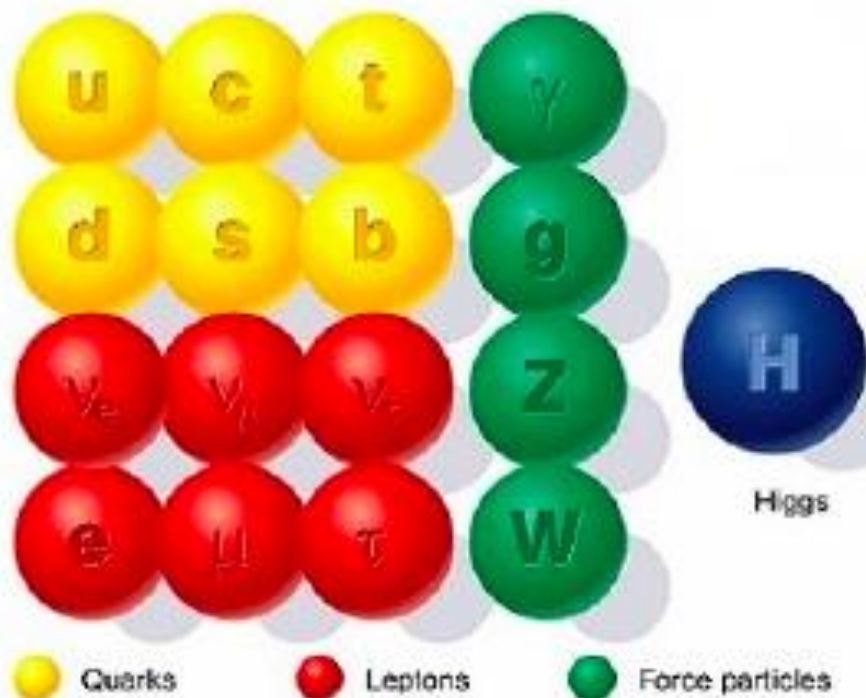
0 - 1/2 - 1 - 3/2 - 2

Higgs - Electrón - Fotón - Gravitino - Gravitón

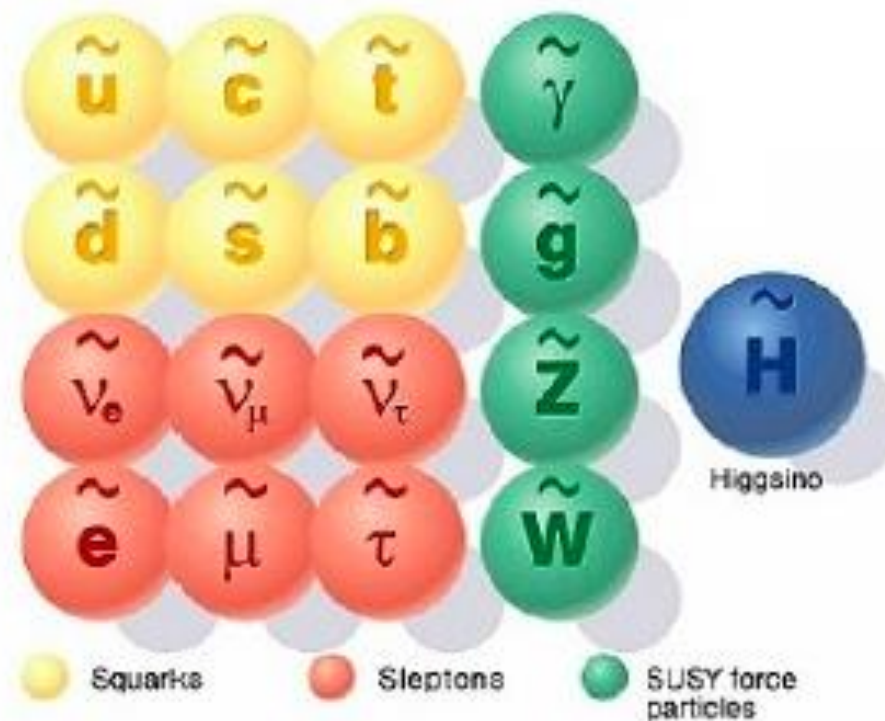
- Ayuda a fijar las masas de las partículas
- Ayuda a unir las fuerzas fundamentales
- Podría proporcionar la materia oscura requerida por los astrofísicos



Extensión supersimétrica minimal del Modelo Estándar

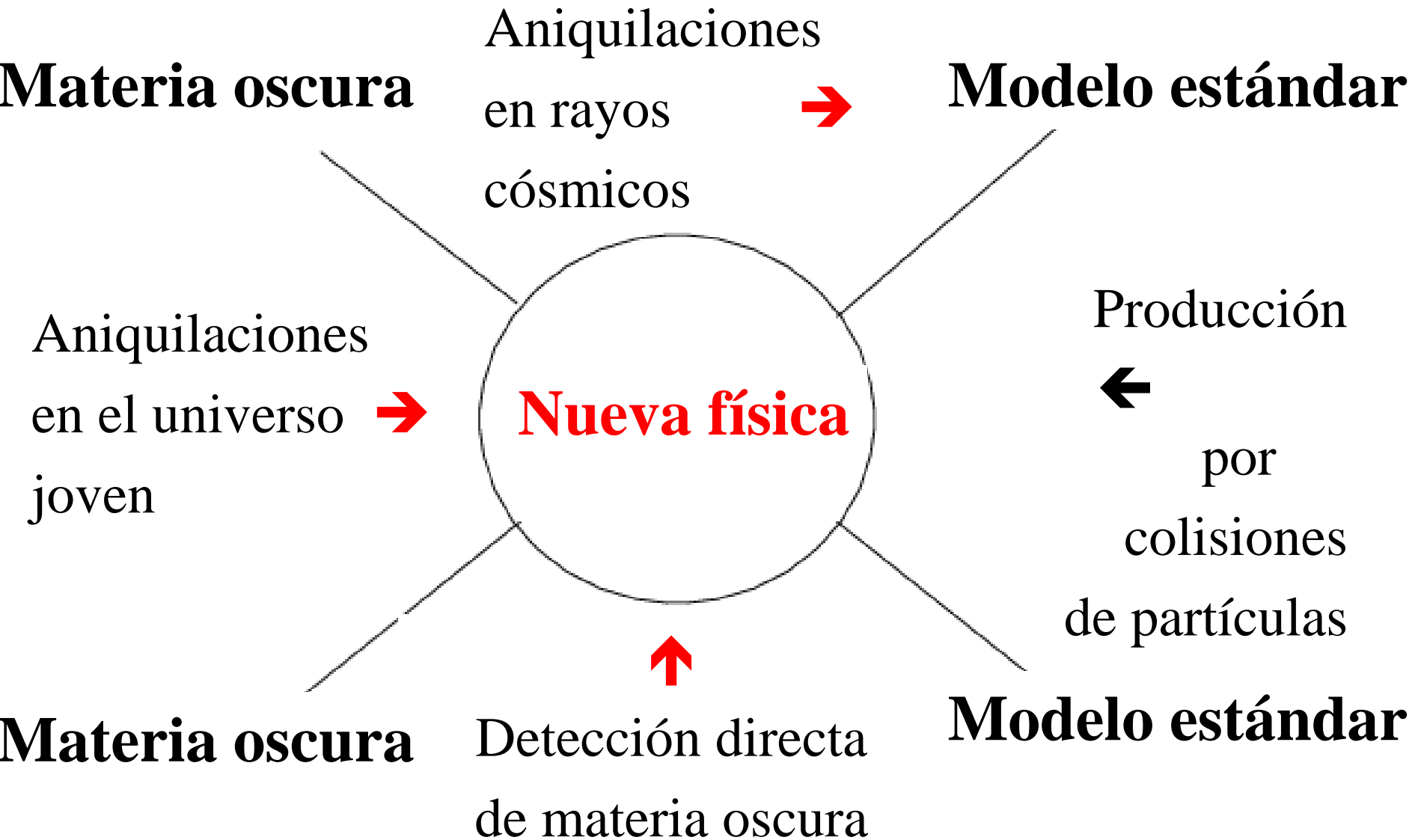


Partículas convencionales



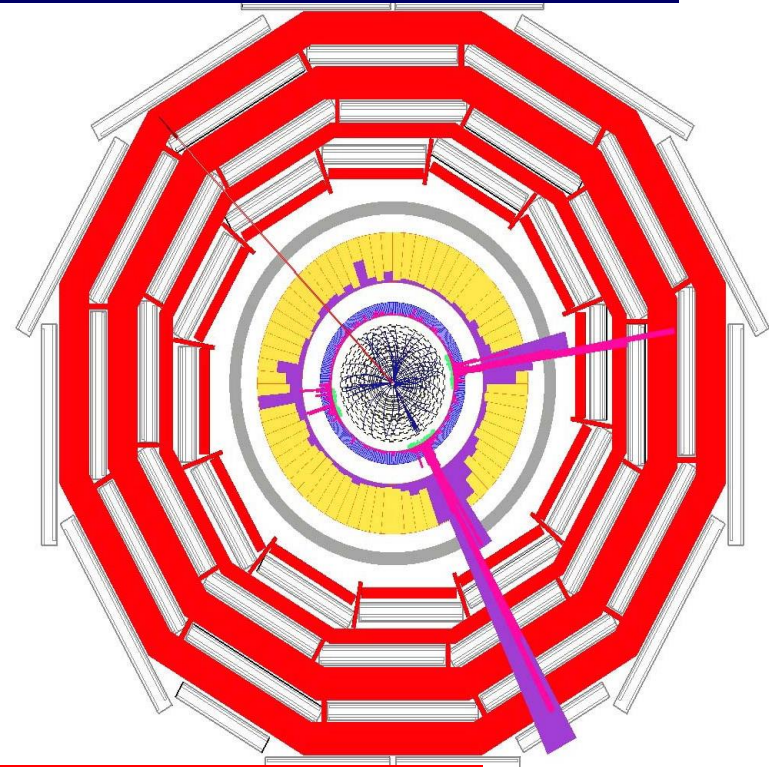
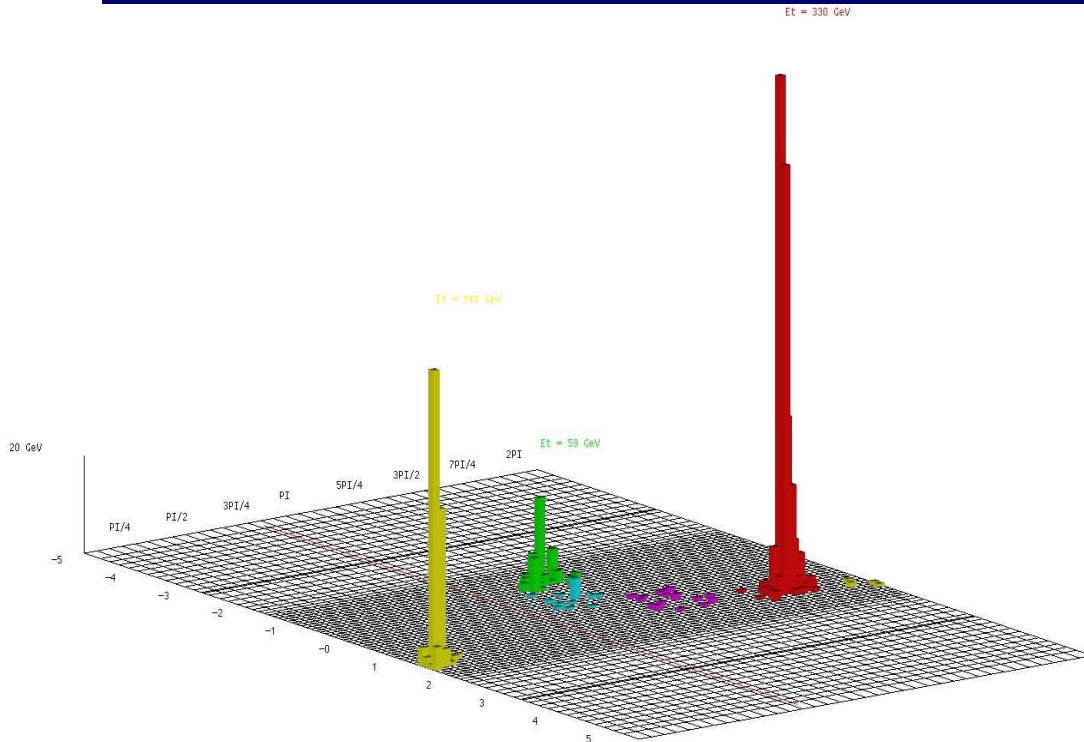
Partículas supersimétricas

Buscando la materia oscura



Búsquedas de la supersimetría en el LHC

Simulación de un evento supersimétrico en el LHC

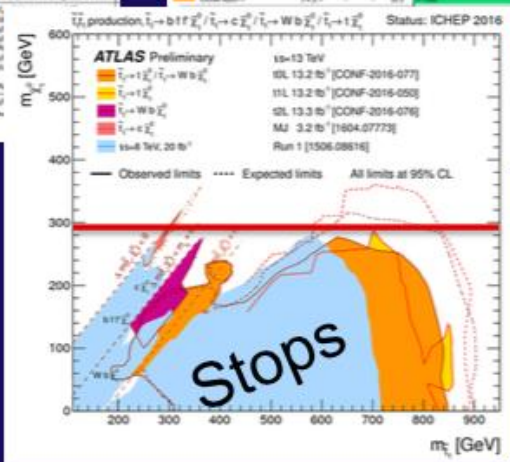
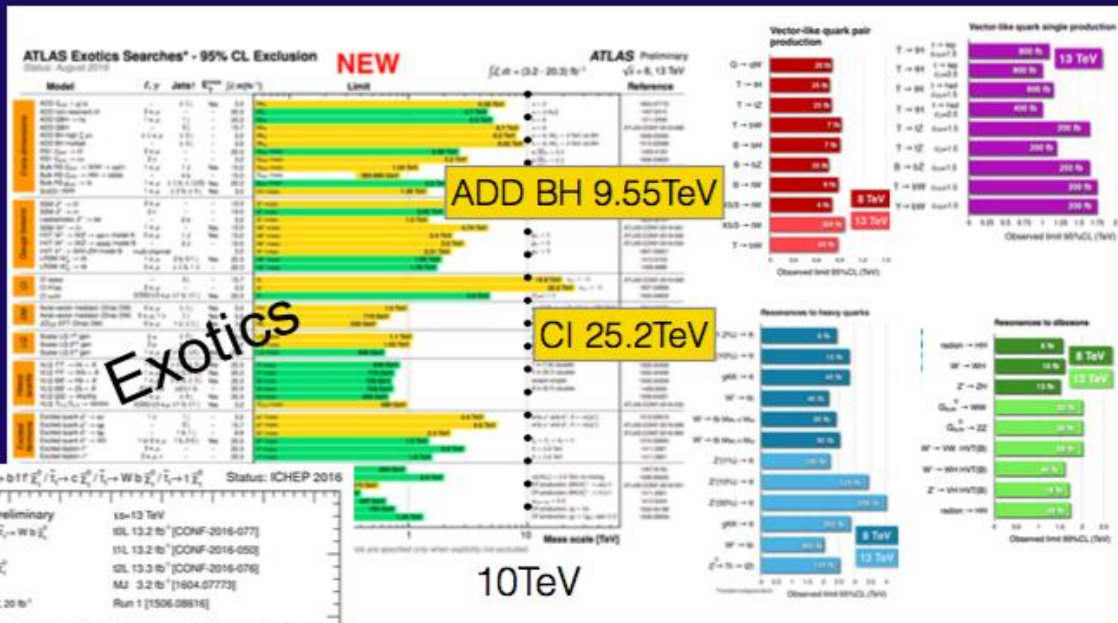
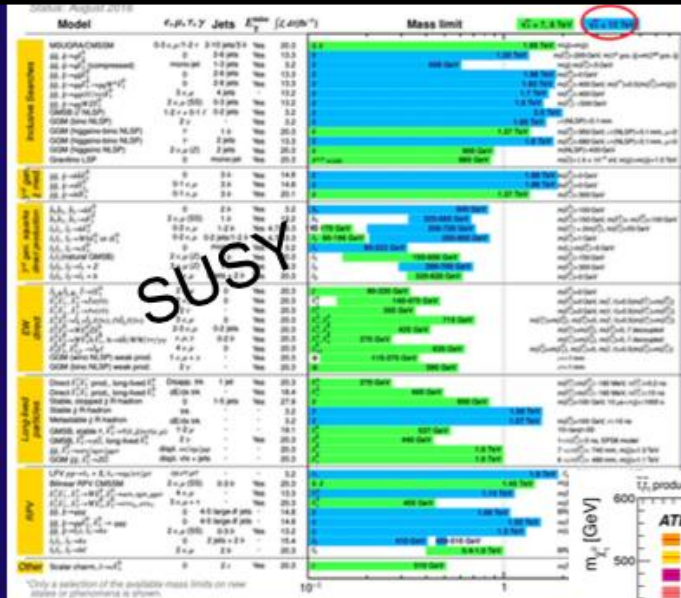


Energía faltante llevada por las partículas supersimétricas de la materia oscura

Todavía nada al LHC

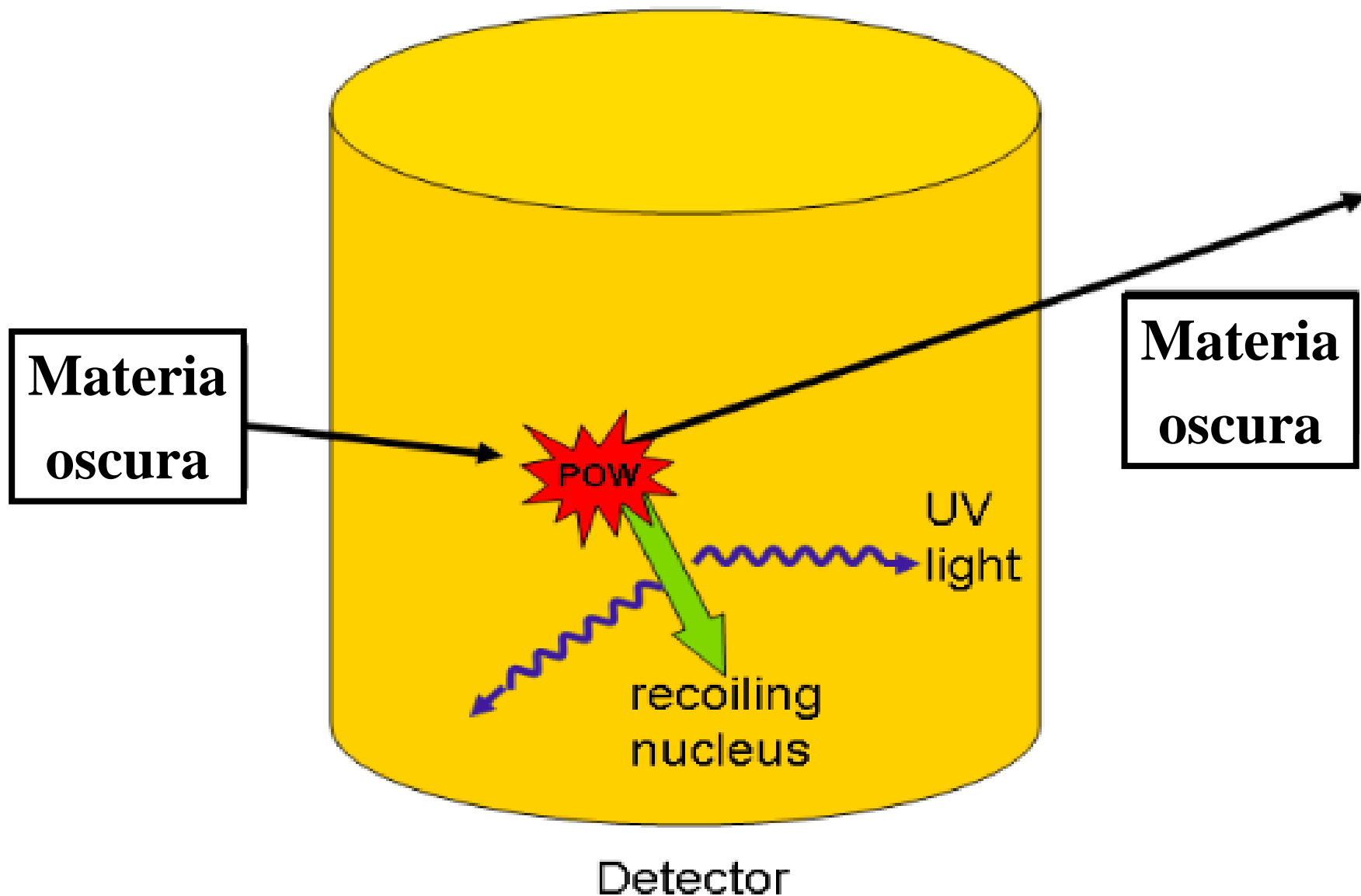
No hay supersimetría

No hay otra cosa, tampoco

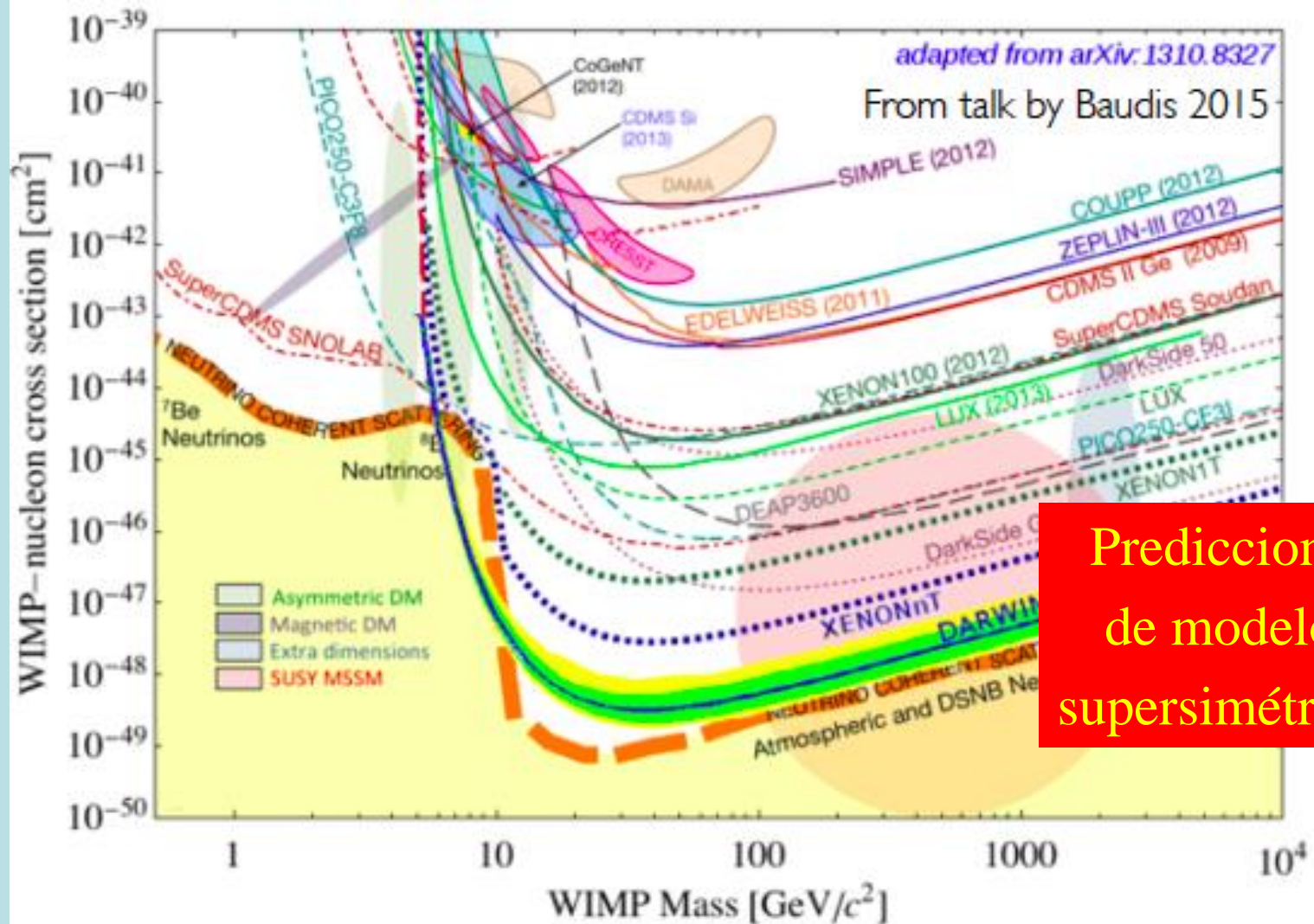


Tenemos que seguir buscando

Detección directa de materia oscura

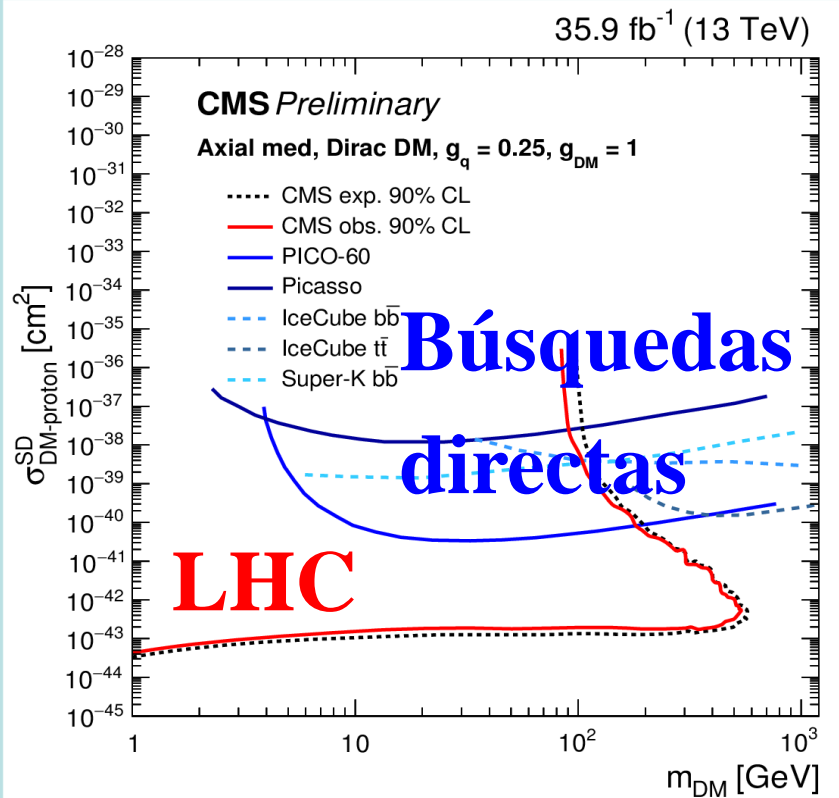
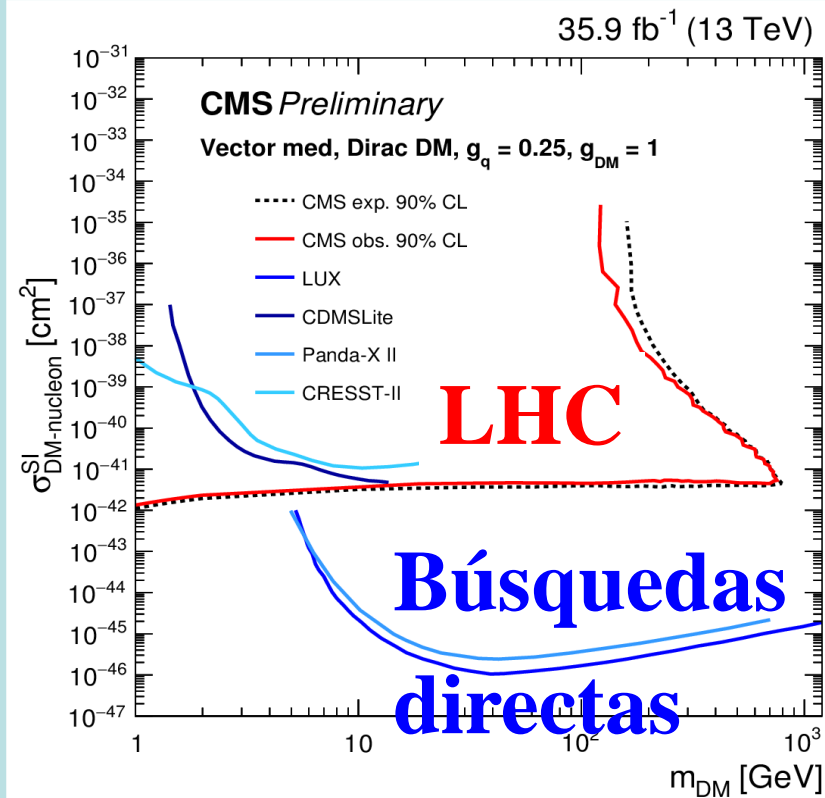


Búsquedas directas de la materia oscura



Predicciones
de modelos
supersimétricos

Comparación LHC vs búsquedas directas



- Complementaridad

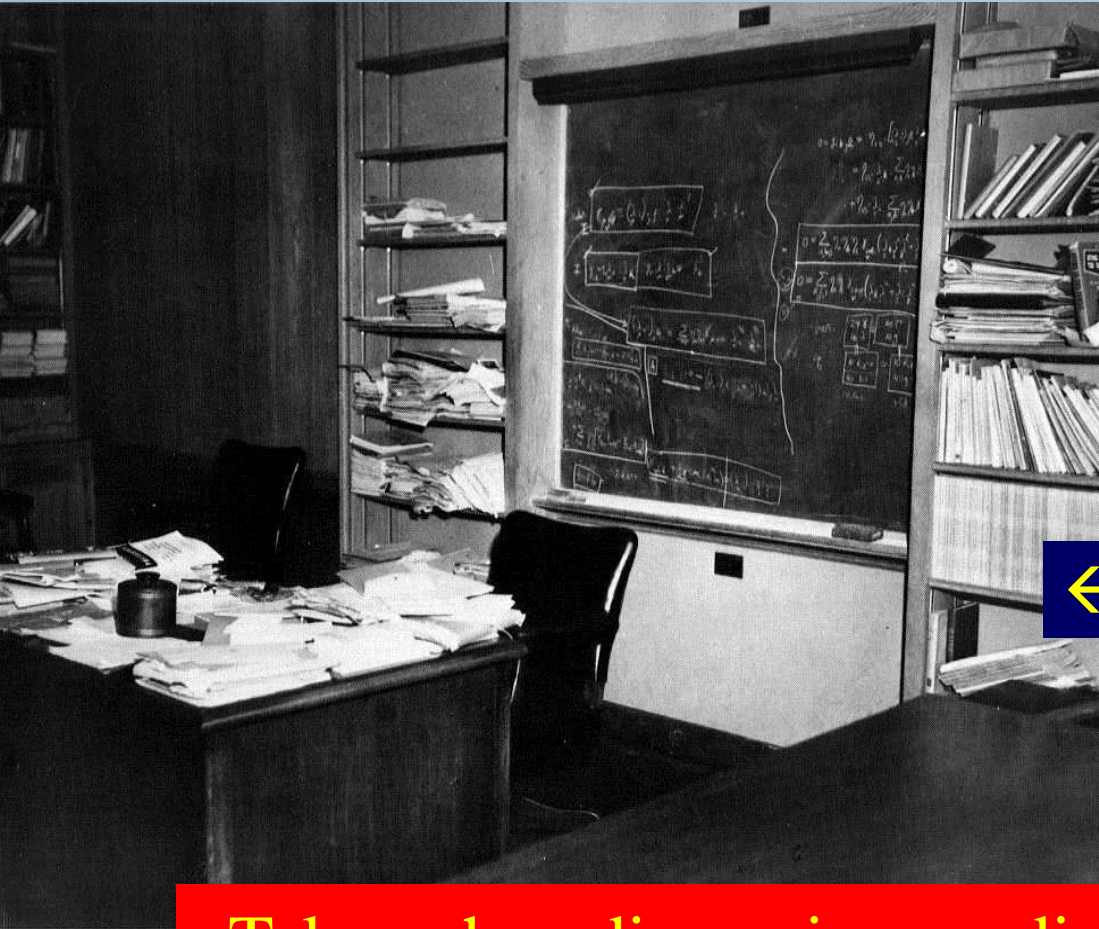


Supersimetría:
¿ Alba o crepúsculo ?

Preguntas abiertas mas allá del 'Modelo Estándar'

- ¿Por qué hay tantos tipos de partículas elementales?
 - ¿La diferencia entre la materia y la antimateria?
- ¿La materia oscura?
- ¿Unificación de las fuerzas fundamentales?
 - ¿Pruebas por medidas de las fuerzas, las masas, los neutrinos?
- ¿Teoría cuántica de la gravedad?

Unificar las interacciones de partículas: Fué siempre el sueño de Einstein



← ... pero nunca lo logró

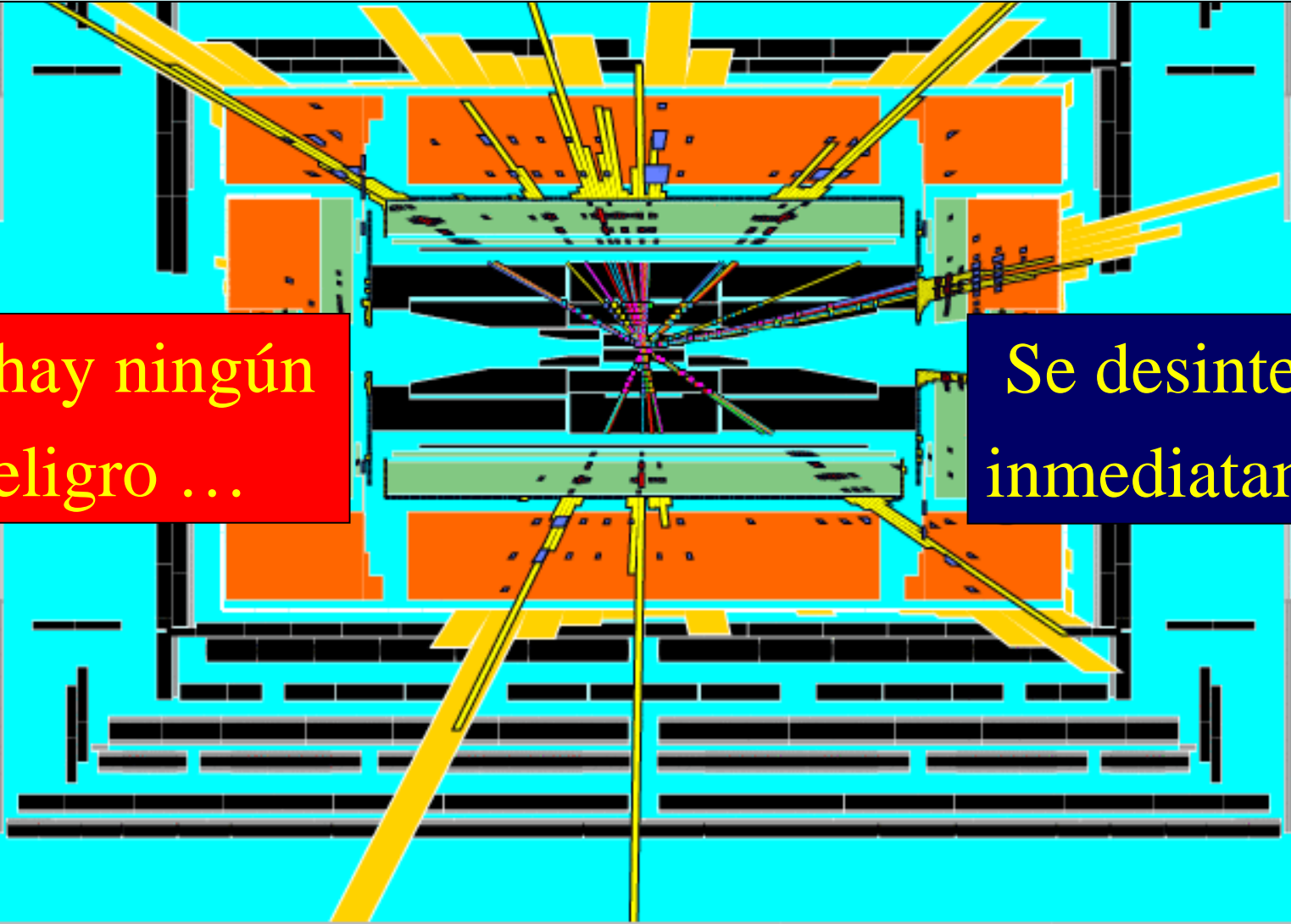
¿Tal vez hay dimensiones adicionales del espacio?

Según algunas teorías con dimensiones adicionales ...

¿Agujeros negros en el LHC ?

No hay ningún
peligro ...

Se desintegran
inmediatamente

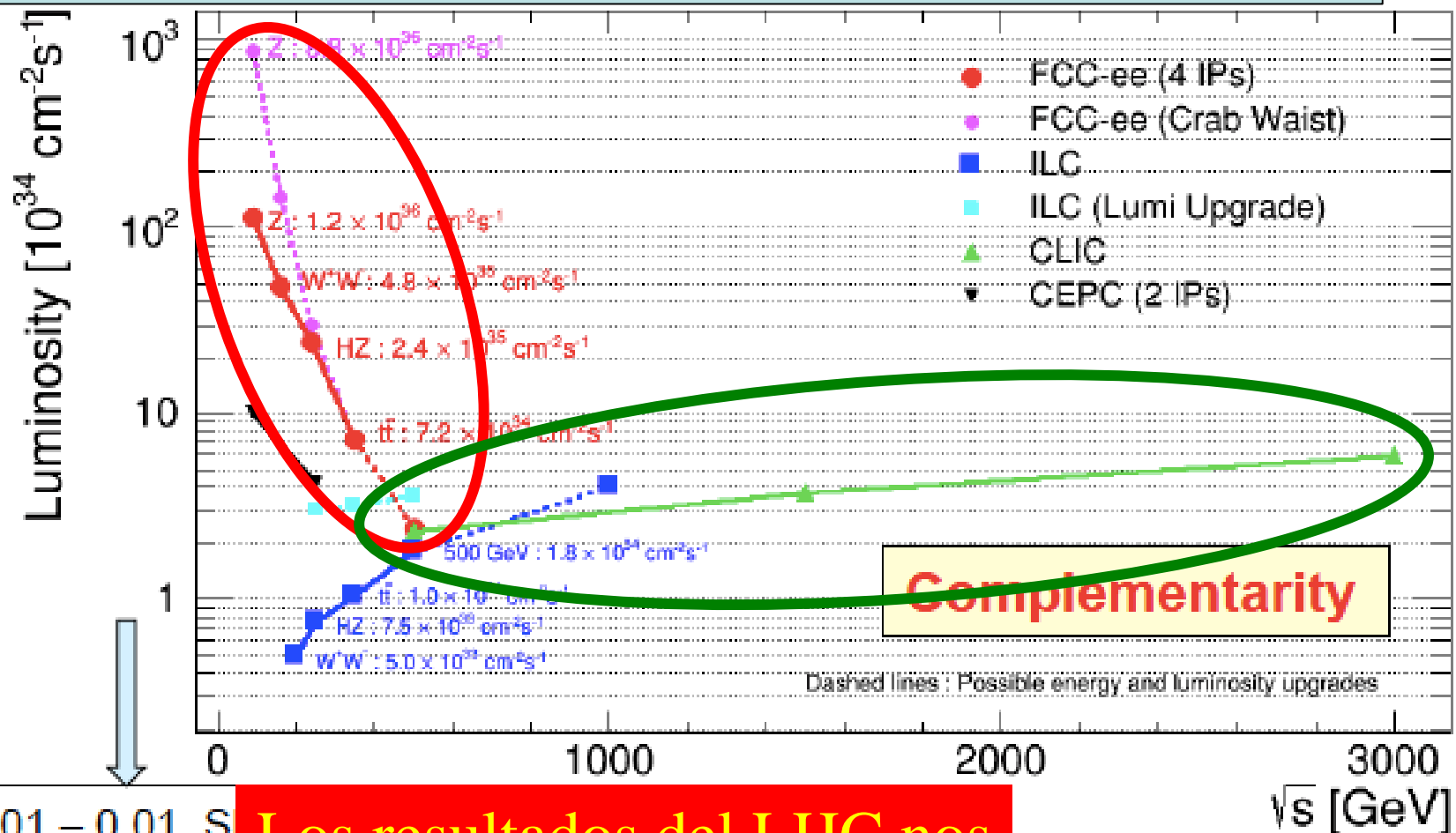


¿ Próximos pasos en la física de altas energías ?



- ¿ Adónde vamos despues del LHC ?
- ¿ Colisionador e^+e^- lineal de 50km ?
- ¿ Colisionador circular de 80 o 100 km ?

Proyectos para colisionadores e^+e^- : Energía y luminosidad



Los resultados del LHC nos
indicarán las prioridades



CEPC-SPPC

Preliminary Conceptual Design Report

Colisionadores circulares del futuro

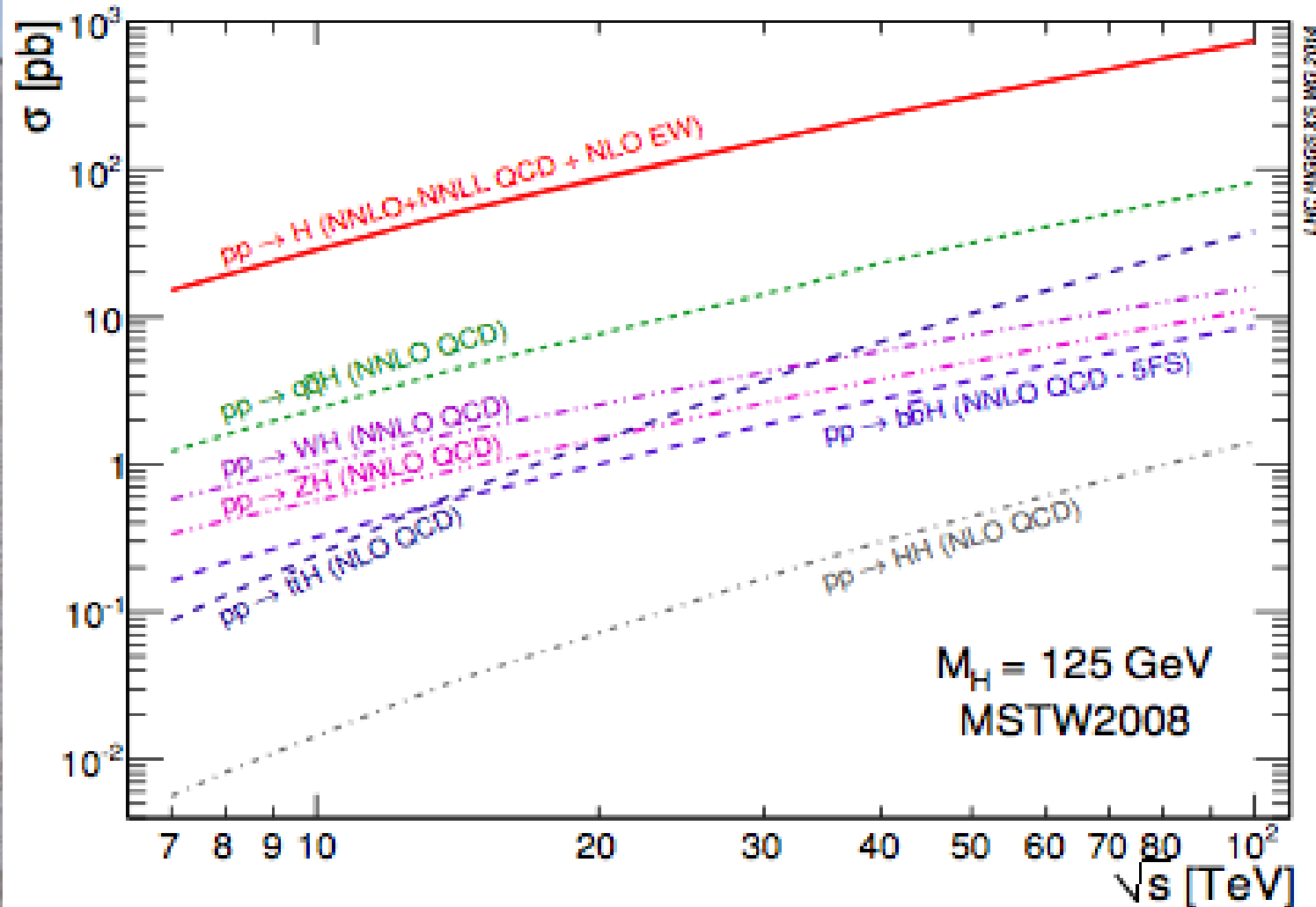


La visión:

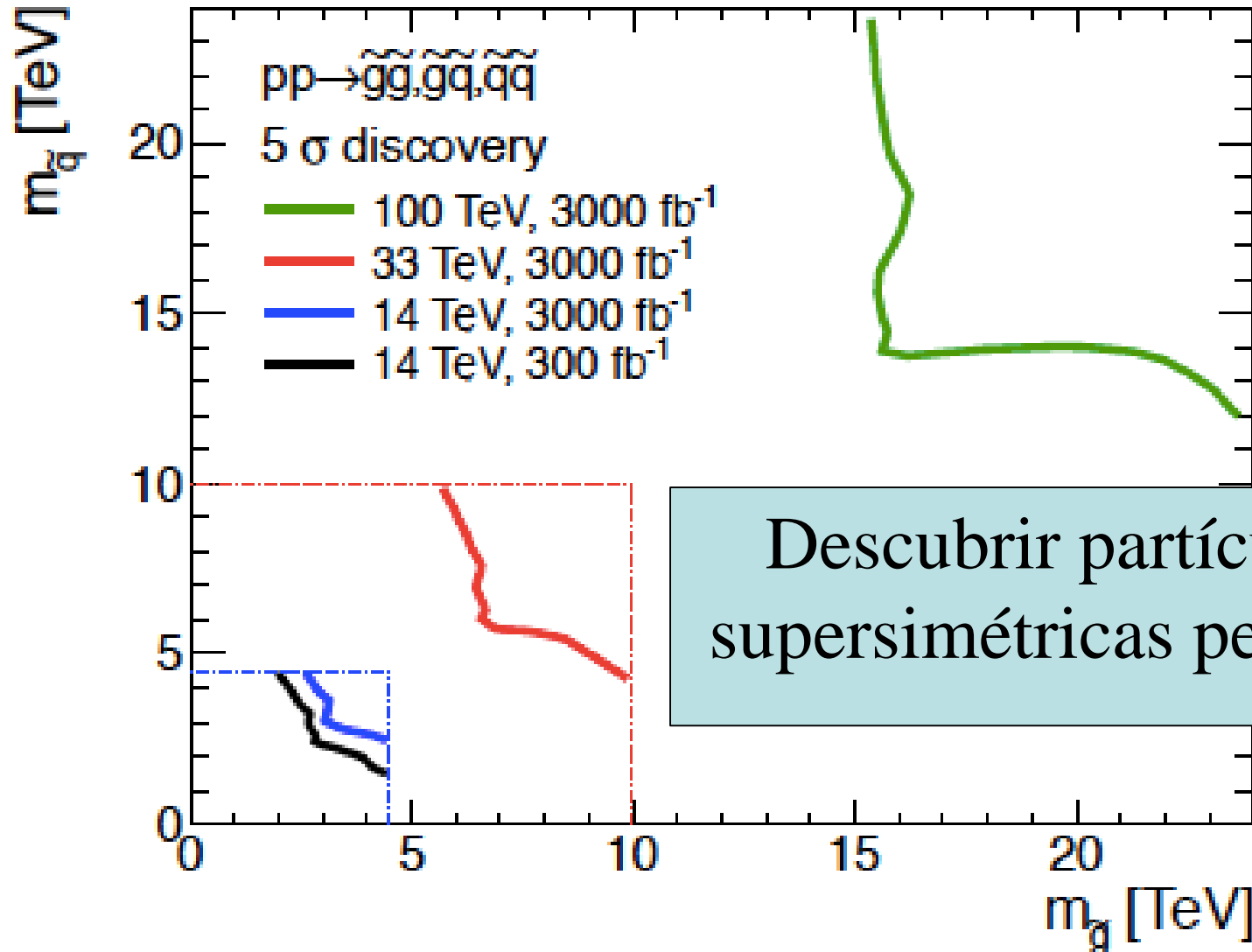
explorar 10 TeV directamente (100 TeV pp) + indirectamente (e^+e^-)

Producción del bosón de Higgs

- Más allá del LHC:



Buscando supersimetría



Descubrir partículas supersimétricas pesadas

Los colisionadores no son sólo
super-microscopios ...

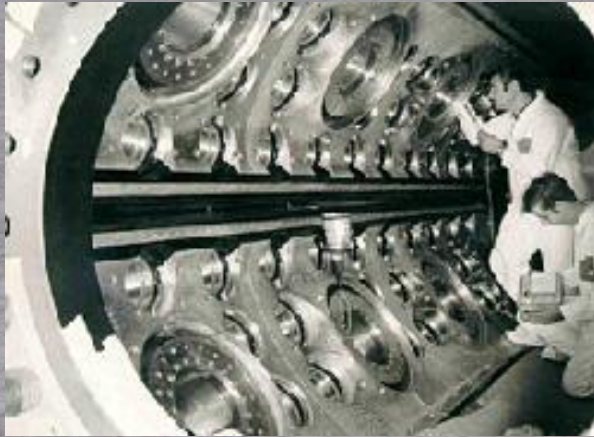


... también telescopios
para estudiar los secretos
del Universo

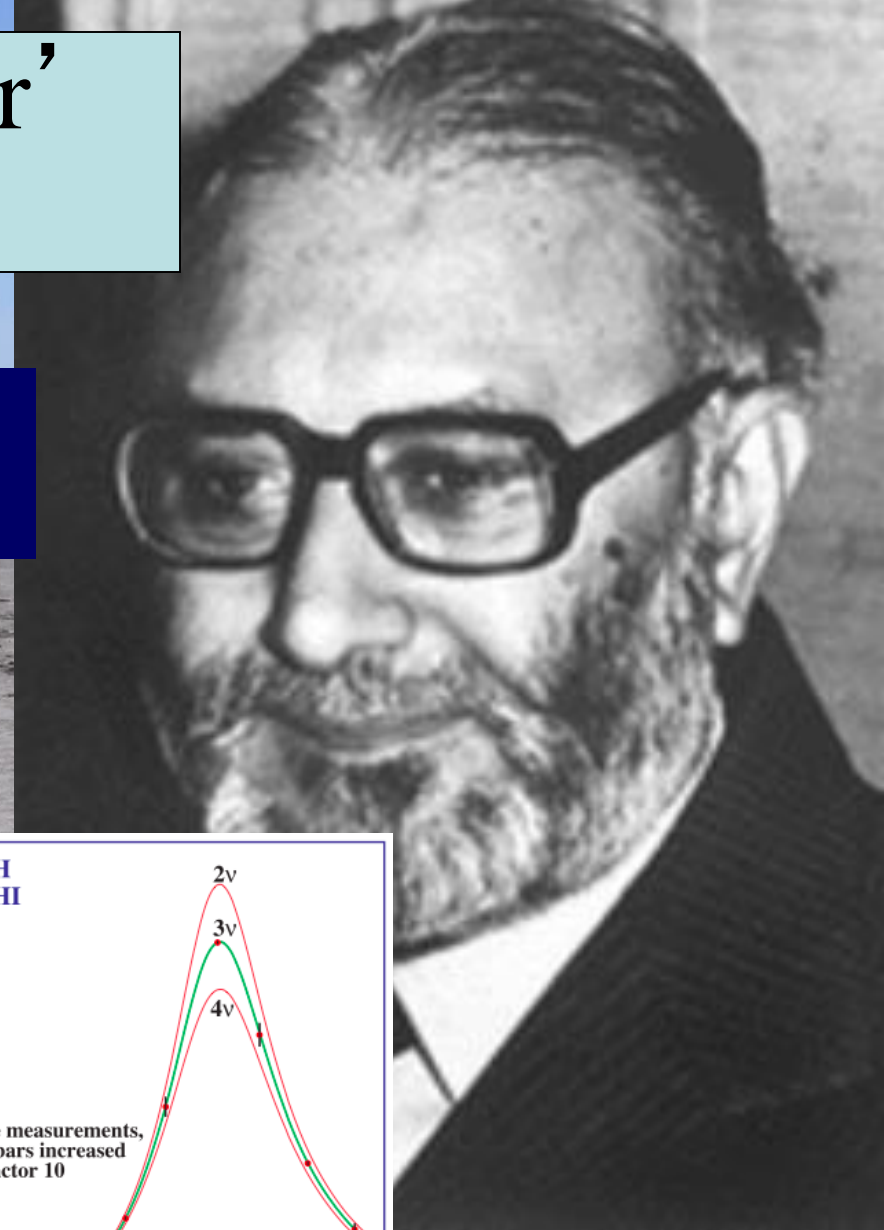
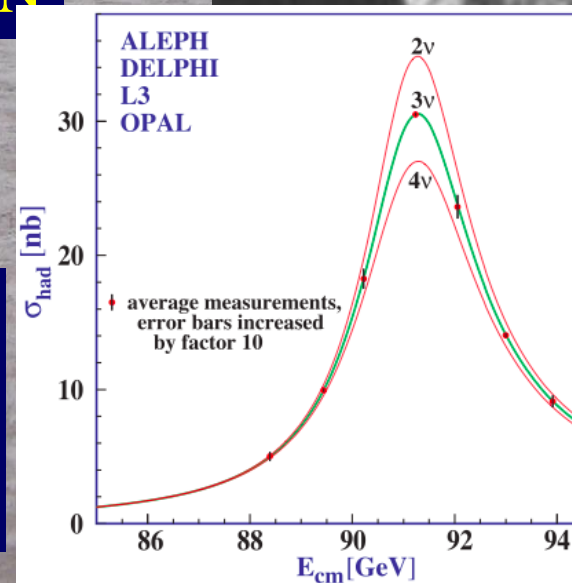
El 'Modelo Estándar' de las partículas

Propuesto por Abdus Salam,
Glashow y Weinberg

Primeras
pruebas
al CERN



Acuerdo perfecto entre
la teoría y los experimentos
en todos los laboratorios



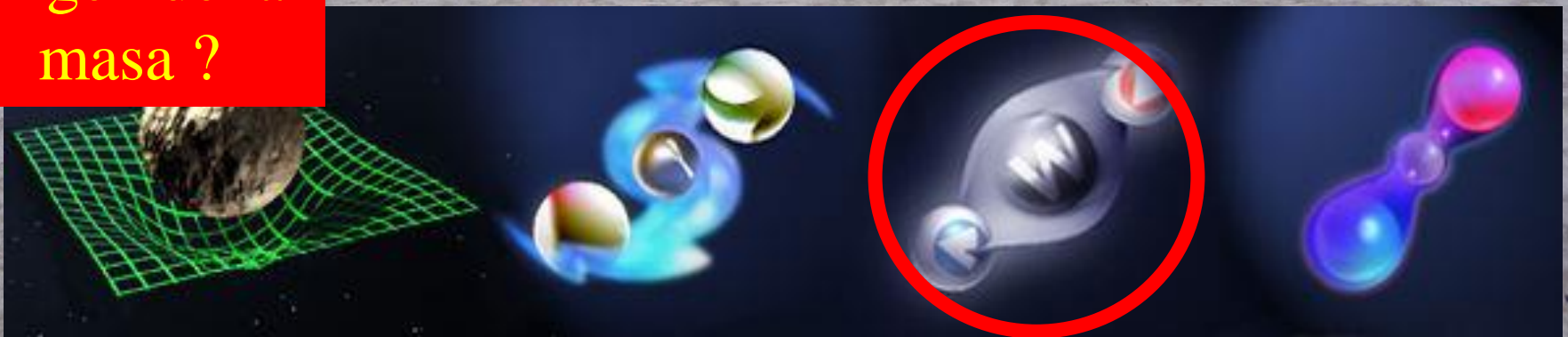
Partículas de materia



El 'Modelo Estándar'

¿Cuál es el origen de la masa ?

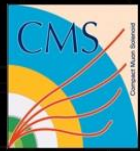
Fuerzas e interacciones



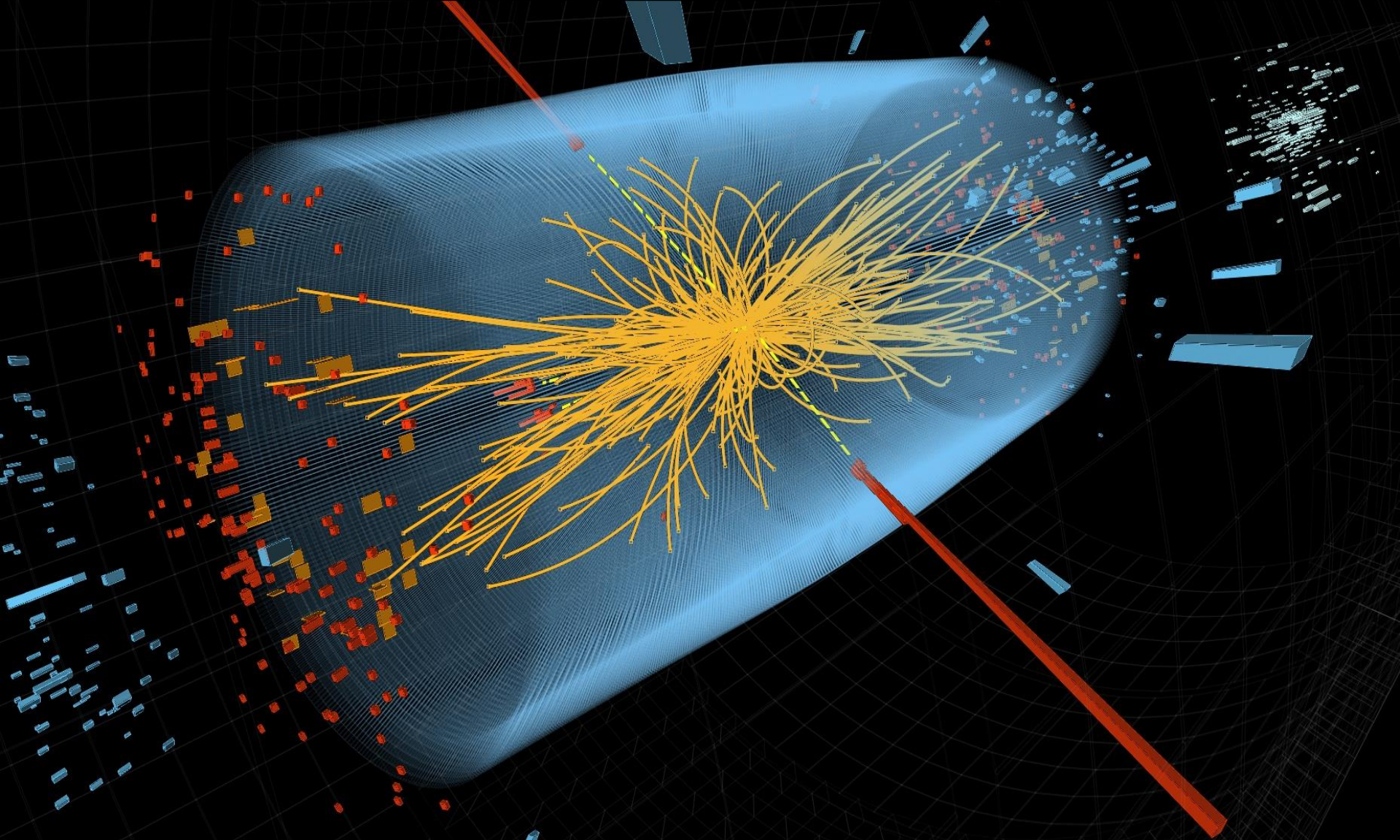
Gravedad

Electromagnetismo

Fuerzas nucleares: débil y fuerte



Una nueva partícula



El día de la Higgsdependencia



Combinación no oficial de los resultados



¡ No
hay
Higgs
aquí !



Algunas pruebas de la materia oscura

Las galaxias tornan demasiado rápidamente : necesitan la materia oscura para tenirlas juntas

Nubes de gas caliente que necesitan la materia oscura para tenirlas juntas

Hay también 'galaxias oscuras' sin estrellas



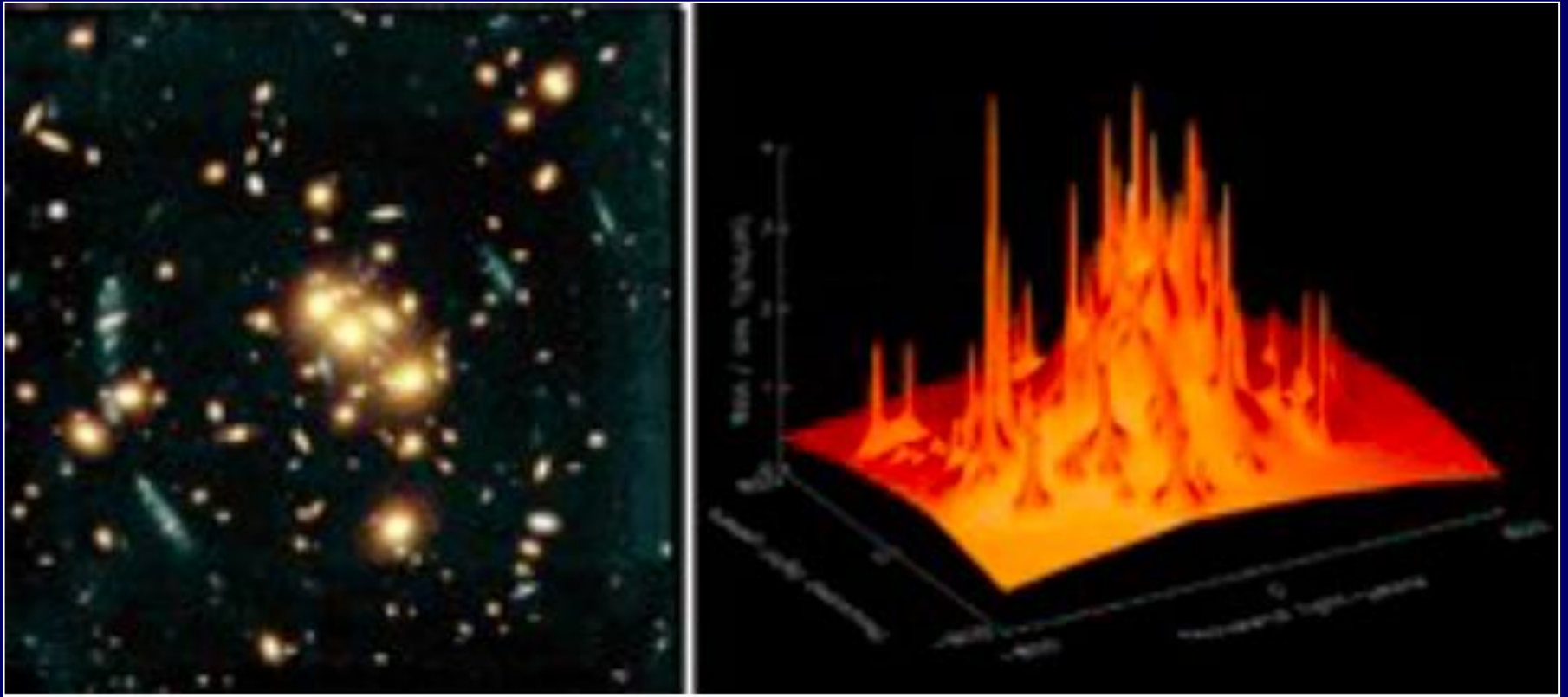
Gravity = Centripetal Acceleration

$$\frac{GM}{r^2} = \frac{v^2}{r}$$



Los lentes gravitacionales

- Revelan toda la materia



- Galaxias = picos sobre un fondo de materia oscura