Explico el bosón de Higgs a cambio de comida

Nuestro Conocimiento Fundamental de la Naturaleza: El Futuro es Lineal

Sven Heinemeyer, IFT/IFCA (CSIC, Madrid/Santander)

Santander, 06/2016

1. ¿Qué es la Física de Partículas?
2. ¿Qué sabemos de los trocitos más pequeños de la naturaleza?
3. ¿Hay un bosón de Higgs?
4. ¿Qué queremos aprender?
5. ¿Por qué el futuro es lineal?

1. ¿Qué es la Física de Partículas?

La Física de Partículas Elementales investiga:

- la estructura interna de la materia, sus constituyentes más pequeños: (ladrillos de la materia)
- las fuerzas fundamentales que actúan sobre estas partículas

$\Rightarrow$ Objetivo: encontrar la estructura más pequeña de la materia
dilucidar las leyes básicas de la naturaleza

Siglo XIX:

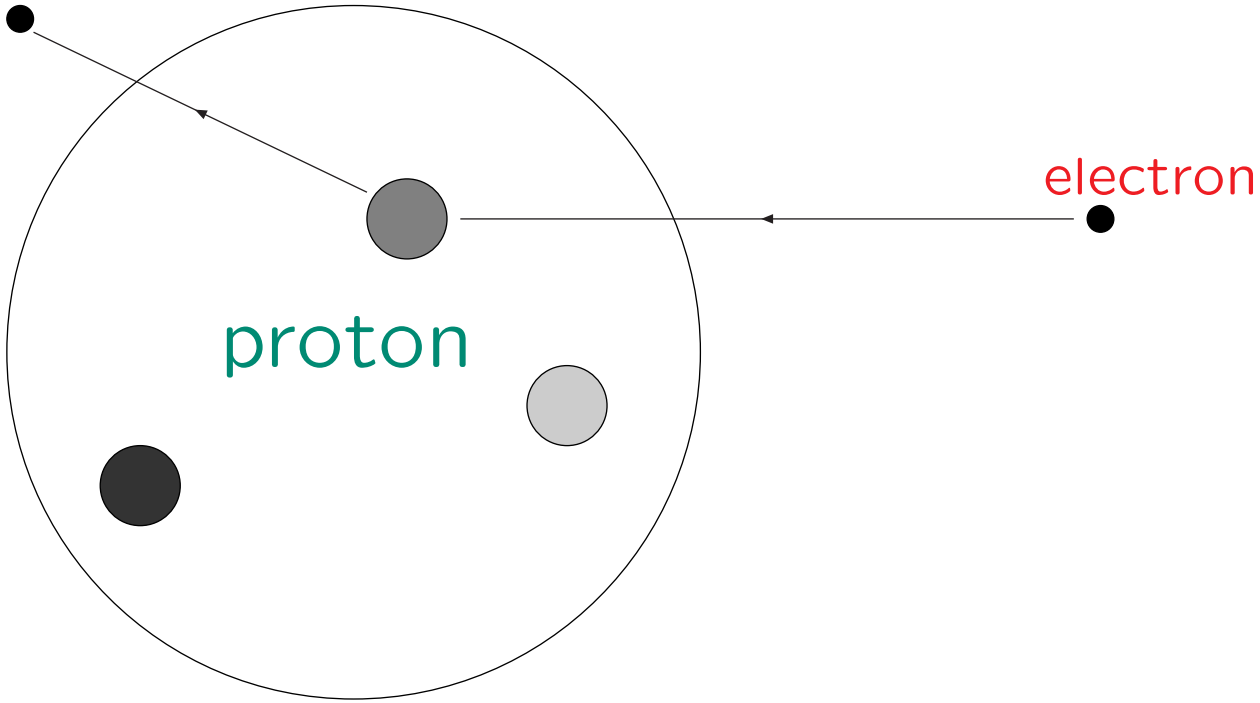
$$\text{ligaduras quimicas} \rightarrow \text{elementos}$$
$$\text{cristales, moleculas} \rightarrow \text{atomos}$$

$\Rightarrow$ Tabla periódica de los elementos

Siglo XX:

$$\text{atomos} \rightarrow \text{nucleo} + \text{capas (electrones)}$$
$$\text{nucleo} \rightarrow \text{protones} + \text{neutrones}$$
$$\text{protones, neutrones} \rightarrow \text{quarks}$$

Como detectar una sub-estructura:



- El objeto de investigación (protón) se bombardea proyectiles pequeños (electrones)
- La sub-estructura (quarks) hace que los proyectiles se desvien
- Se mide la desviación
- Esta desviación se compara con nuestras predicciones para reconstruir la estructura interna

En la Física de partículas elementales hay dos áreas de trabajo:

Teórica y Experimental

Teórica:

– Búsqueda de modelos (master formula) que describan nuestro mundo (modelo = formulación matemática de las leyes de la naturaleza)
– cálculo de predicciones asumiendo un modelo de funcionamiento (predicciones: "desviaciones", masas de las partículas elementales, . . .)

Experimental:

– Hacer experimentos para encontrar nuevas partículas o "sub-estructuras"

Para descubrir las leyes básicas de la naturaleza y
su estructura más fundamental:

Comparación de las predicciones teóricas de un modelo
con los resultados experimentales

Teoría y Experimento tienen que trabajar codo con codo !

Nuestro congreso:

$\sim 30\%$ teóricos

$\sim 70\%$ experimentales

(es un poco más complicado . . . :-)

$\Rightarrow$ más detalles más tarde!

2. ¿Qué sabemos de los trocitos más pequeños de la naturaleza?

A) Partículas de materia

- el mundo consiste en alrededor de 100 elementos
- los elementos consisten en un conjunto de núcleos atómicos y una capa de electrones (con carga elétrica negativa)
- los nucleos atómicos consisten en protones (cargados positivamente) y neutrones (carga neutra)
- protones y neutrones están hechos de quarks:
  u quarks (carga +2/3) y d quarks (carga -1/3)
  protón: $u\,u\,d$ (2/3 + 2/3 - 1/3 = +1)
  neutrón: $u\,d\,d$ (2/2 - 1/3 - 1/3 = 0)

$\Rightarrow$ nuestro mundo: 3 partículas de materia: u quark, d quark, electrón (e^-)

Pero hay mucho más:

B) Más partículas de materia, pero inestables

C) Partículas de fuerza
(responsables de las fuerzas entre las partículas de materia)

D) la partícula de Higgs

2. ¿Qué sabemos de los trocitos más pequeños de la naturaleza?

A) Partículas de materia

- el mundo consiste en alrededor de 100 elementos
- los elementos consisten en un conjunto de núcleos atómicos y una capa de electrones (con carga elétrica negativa)
- los nucleos atómicos consisten en protones (cargados positivamente) y neutrones (carga neutra)

$m_{\text{proton}} \approx 1 \text{ GeV} = 0.001 \text{ TeV}$

- protones y neutrones están hechos de quarks:
  u quarks (carga +2/3) y d quarks (carga -1/3)
  protón: $u\,u\,d$ (2/3 + 2/3 - 1/3 = +1)
  neutrón: $u\,d\,d$ (2/2 - 1/3 - 1/3 = 0)

$\Rightarrow$ nuestro mundo: 3 partículas de materia: u quark, d quark, electrón (e^-)

Pero hay mucho más:

B) Más partículas de materia, pero inestables

C) Partículas de fuerza
(responsables de las fuerzas entre las partículas de materia)

D) la partícula de Higgs

B) Partículas inestables de materia

1. familia: quarks: d, u leptones: e^-, ν_e (neutrino)

2. familia: quarks: s, c leptones: μ^-, ν_μ (neutrino)

3. familia: quarks: b, t leptones: τ^-, ν_τ (neutrino)

En total:

6 quarks y 6 leptones

Las partículas pesadas (familia 2. y 3.) se desintegran muy rápido en partículas más ligeras (familia 1.)
Por ejemplo:

$$\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$$

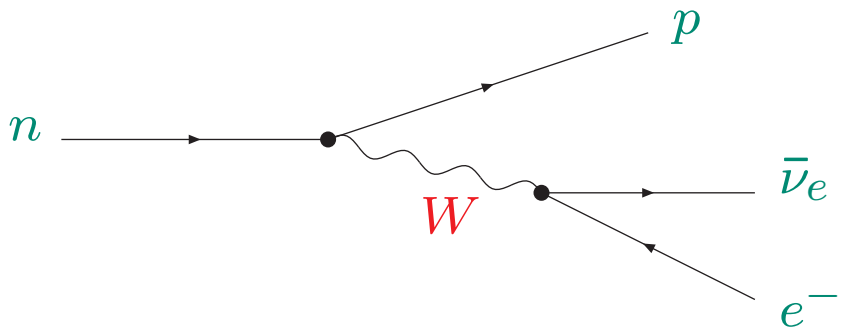
C) Partículas de fuerza

Resultados Experimentales: $\Rightarrow$ 4 fuerzas fundamentales

1. Fuerza electromagnética (luz)
2. Fuerza "débil" (desintegración de núcleos: $n \to p + e^- + \bar{\nu}_e$)
3. Fuerza "fuerte" (mantiene los núcleos atomicos juntos)
4. Fuerza gravitacional (las manzanas caen, la Tierra gira entorno al Sol)

Fuerza = intercambio de partículas de fuerza entre partículas de materia

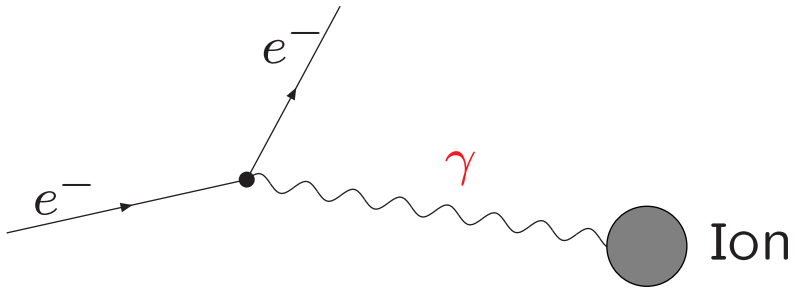
Ejemplo: desintegración del núcleo atómico:



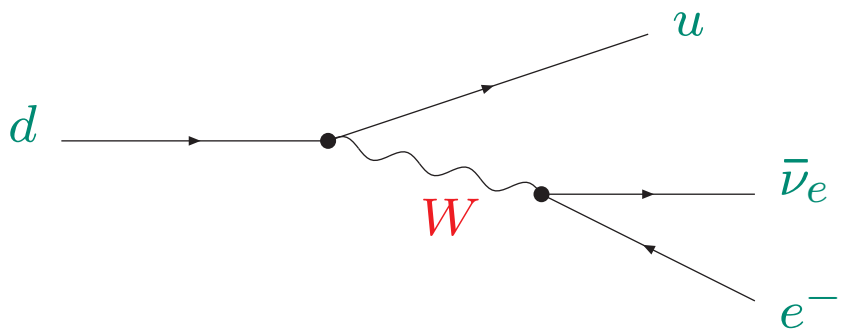
$\Rightarrow$ la fuerza la transporta la partícula W

Fuerzas y partículas de fuerza (I):

1. Fuerza electromagnética : Fotón: γ

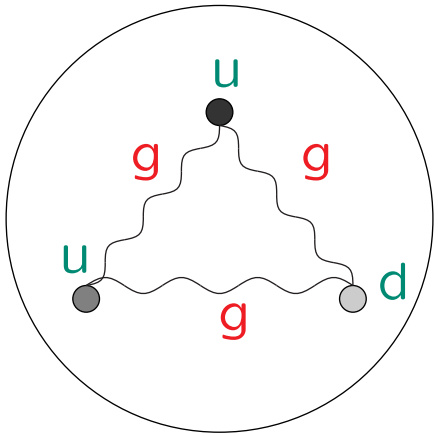


2. Fuerza débil : W^+, W^-, Z^0



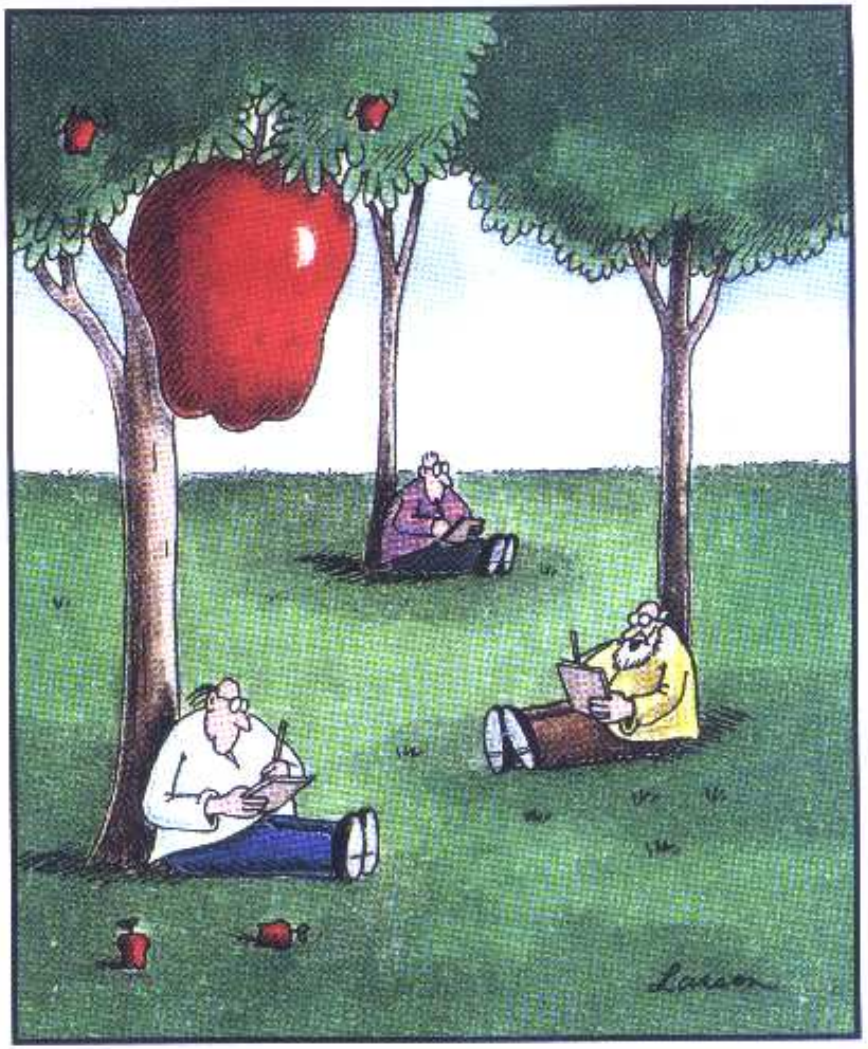
Fuerzas y partículas de fuerza (II):

3. Fuerza fuerte : gluón: g



4. Fuerza gravitacional:
   gravitón(?)

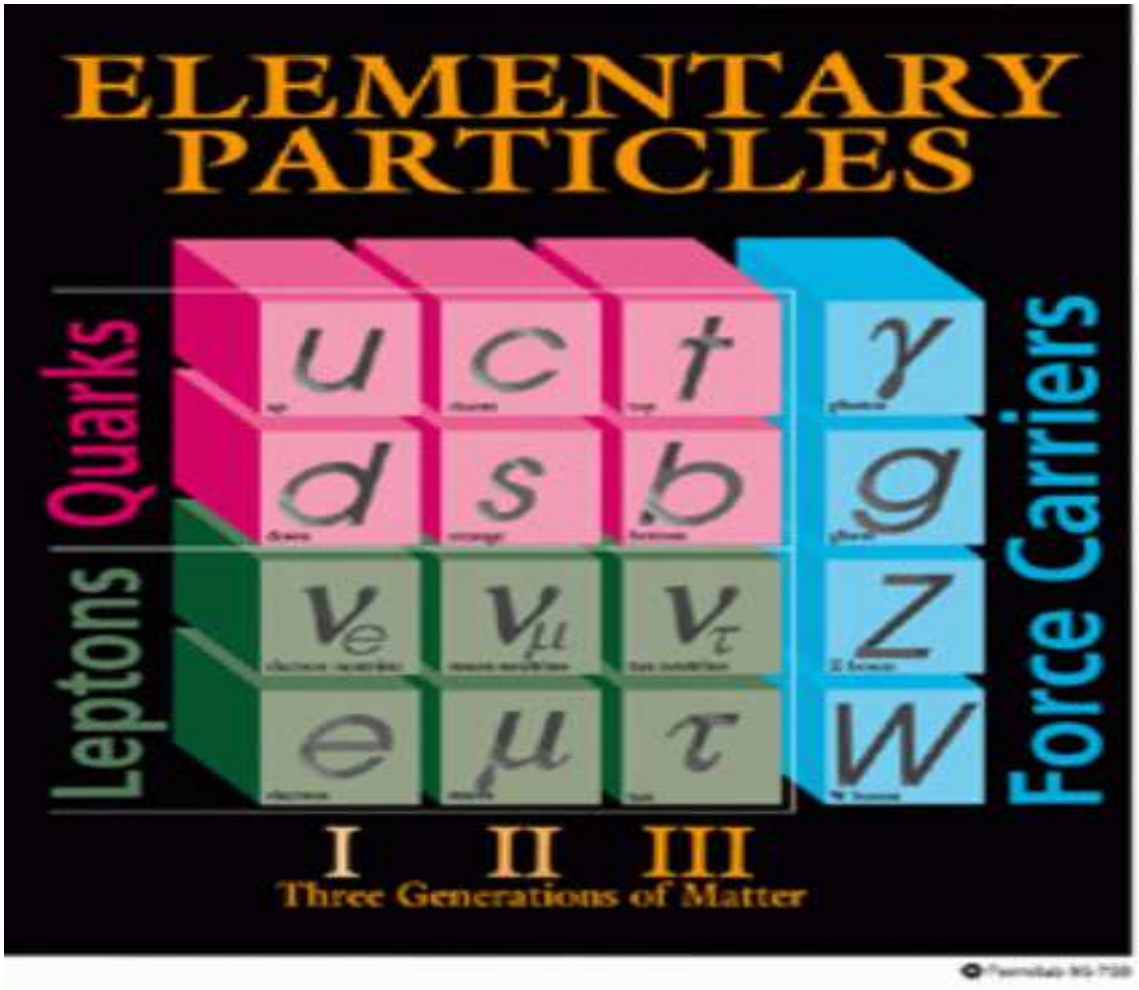
2016: ondas gravitacionales



"Nothing yet. ... How about you, Newton?"

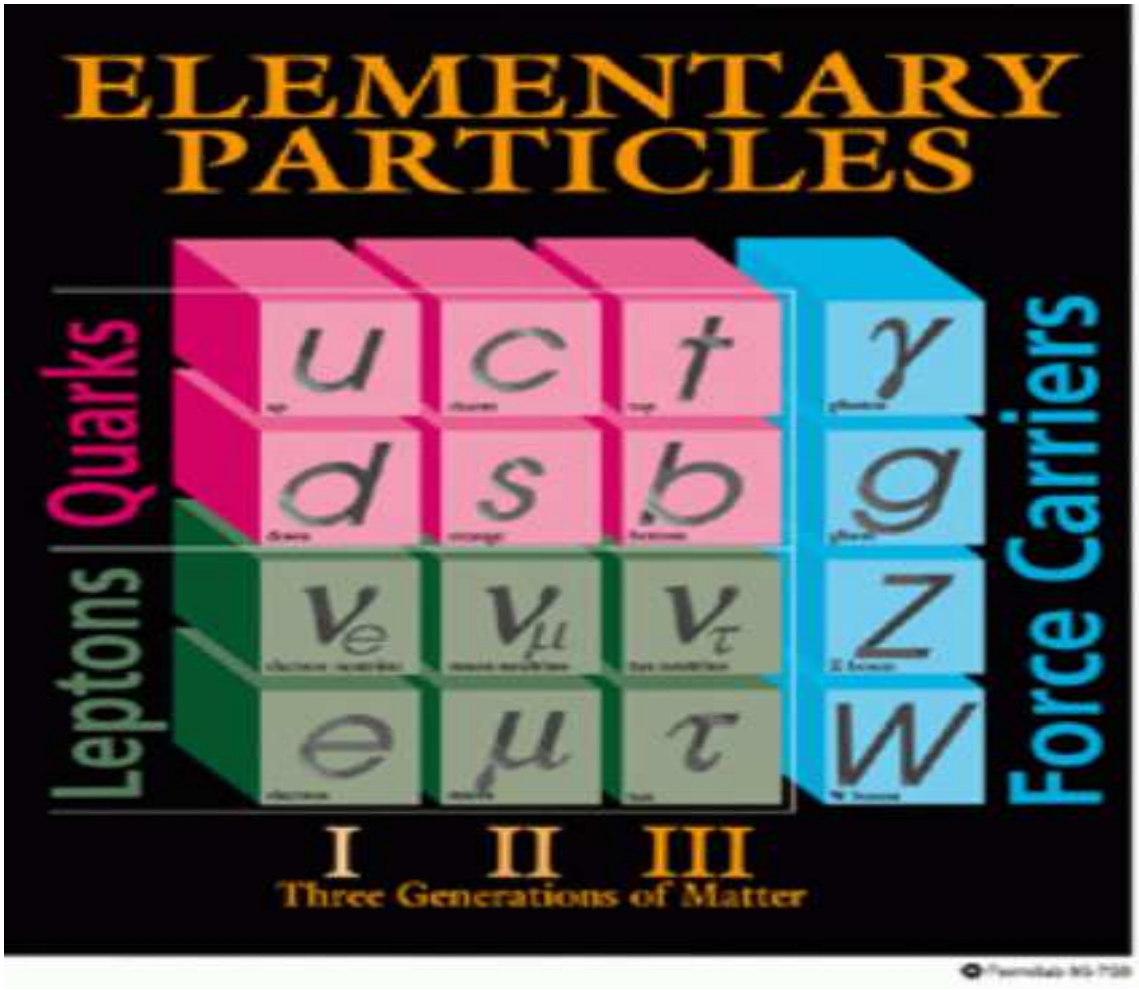
Todavía nada. . . Tú que tal, Newton?

Estado actual de nuestro conocimiento: el Modelo Estándar (SM)



$\Rightarrow$ todas las partículas han sido observadas experimentalmente

Estado actual de nuestro conocimiento: el Modelo Estándar (SM)



$\Rightarrow$ todas las partículas han sido observadas experimentalmente

$\Rightarrow$ pero nos falta todavía una . . .

D) La partícula de Higgs

El modelo requiere una partícula, la partícula de Higgs
(llamada así por ser el nombre de uno de los científicos que la predijo:
Peter Higgs)

Solo con la partícula de Higgs el Modelo Estándar puede funcionar
sin ella el modelo es matemáticamente inconsistente!!

El mecanismo de Higgs provee de masa a todas las partículas elementales

En total:

6 quarks y 6 leptones

portadoras de Fuerza: γ, W^+, W^-, Z, g

+partícula Higgs

$\Rightarrow$ Modelo Estándar de Física de partículas elementales

concuerda (casi) perfectamente con los resultados experimentales

3. ¿Hay un bosón de Higgs?

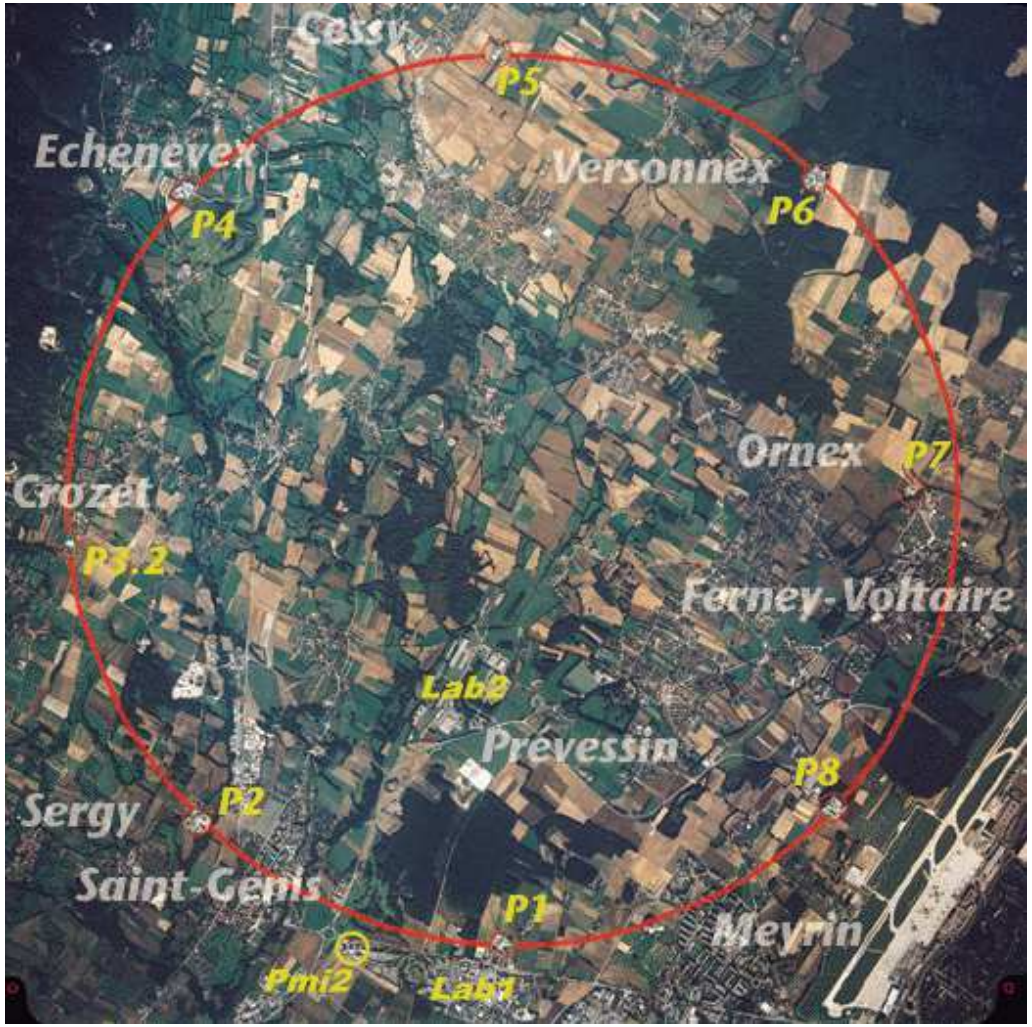
El "instrumento" construido para buscar la partícula de Higgs:

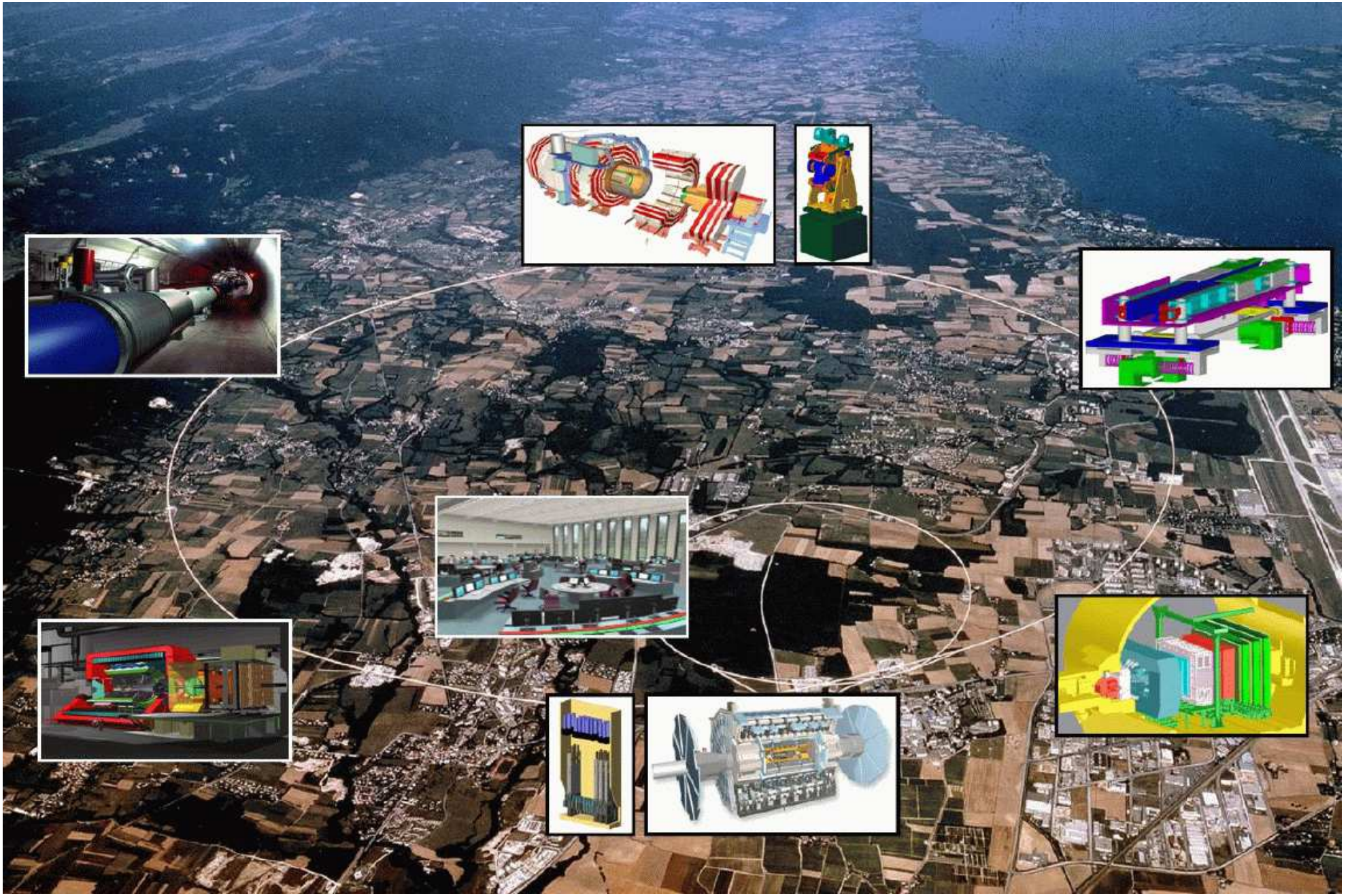
LHC:

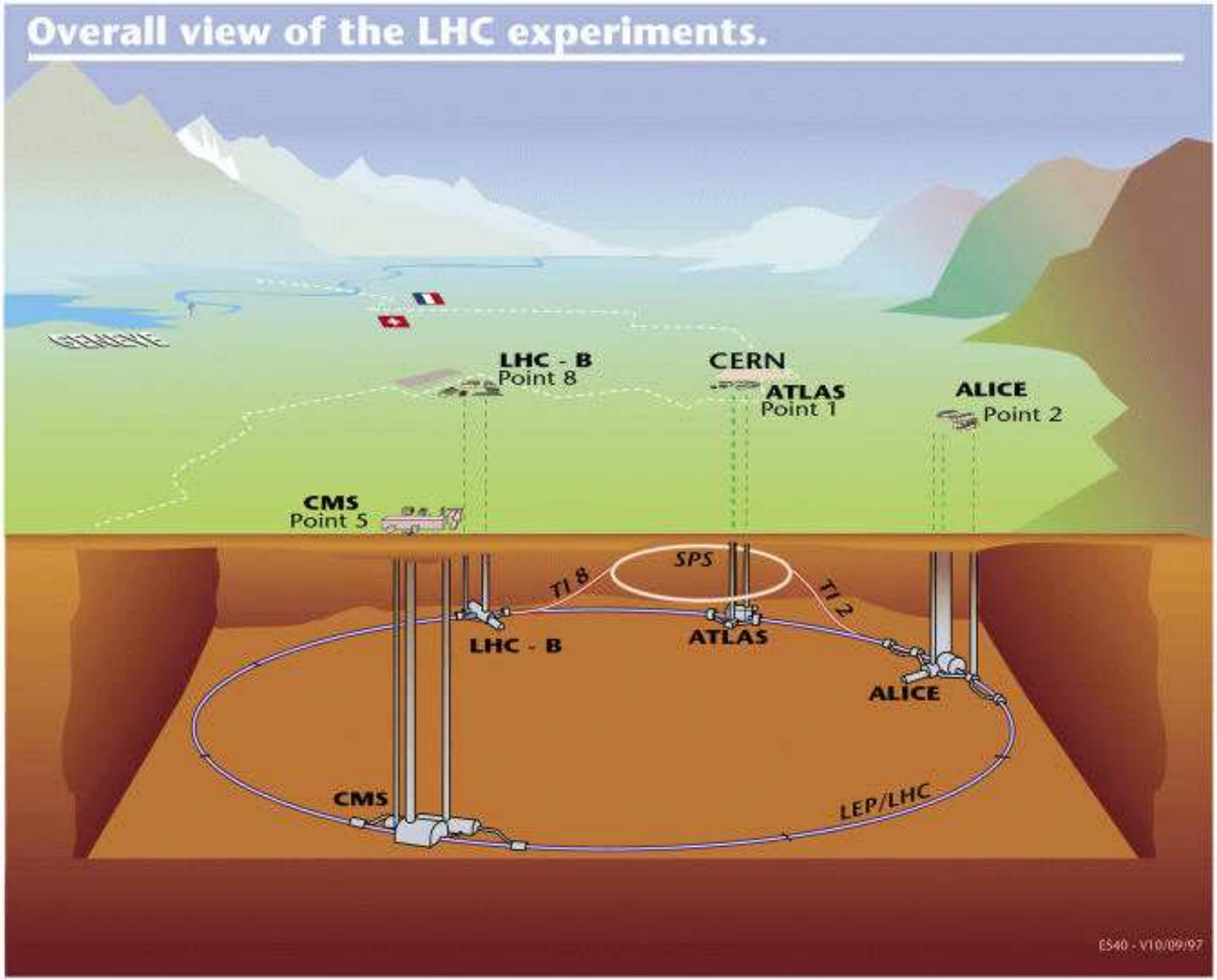
$p \rightarrow \leftarrow p$ colisiones con

$\sqrt{s} = 7, 8, 13, 14(?)$ TeV

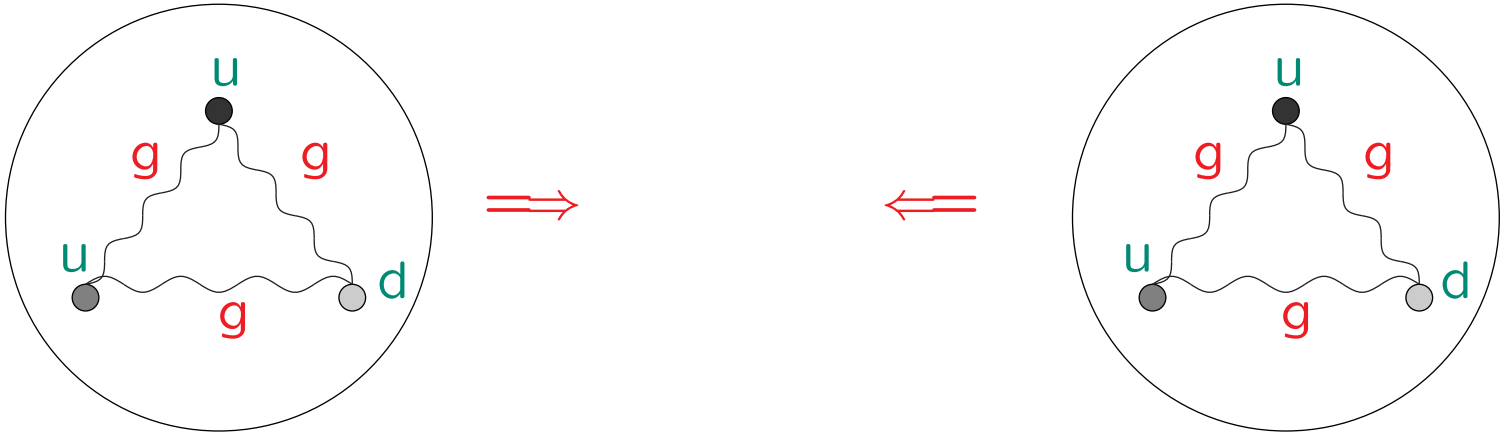
- 27 km circumferencia
- Dos detectores de propósito general: ATLAS y CMS
- Un detector de Física del mesón B: LHCb
- Un detector de iones pesados: Alice






Overall view of the LHC experiments.
LHC - B
Point 8
CERN
ATLAS
Point 1
ALICE
Point 2
CMS
Point 5
SPS
TI 8
TI 2
LHC - B
ATLAS
ALICE
CMS
LEP/LHC
ES40 - V10/09/97

LHC: protones chocan con protones:



Hay choques del tipo

quark $\Rightarrow$ $\Leftarrow$ quark

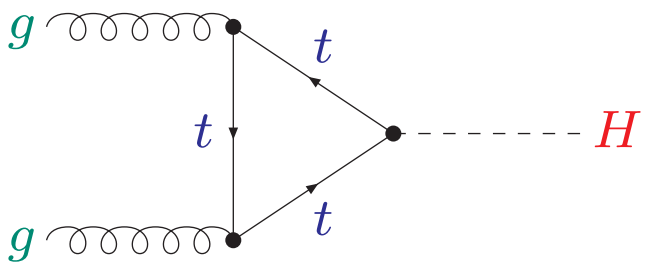
quark $\Rightarrow$ $\Leftarrow$ gluón

gluón $\Rightarrow$ $\Leftarrow$ gluón

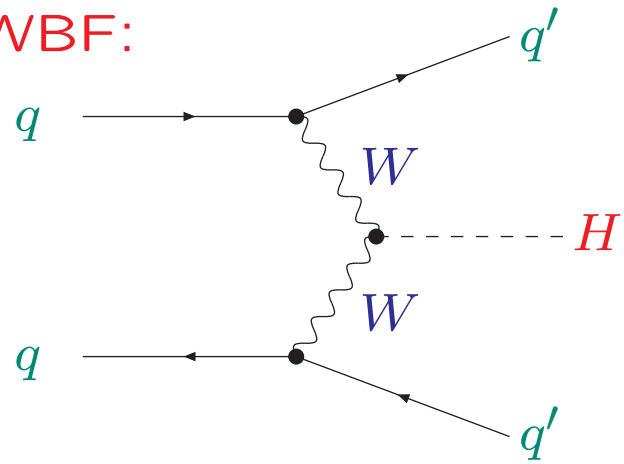
Procesos que pueden ocurrir en el LHC:

Canal de producción del Higgs en el LHC:

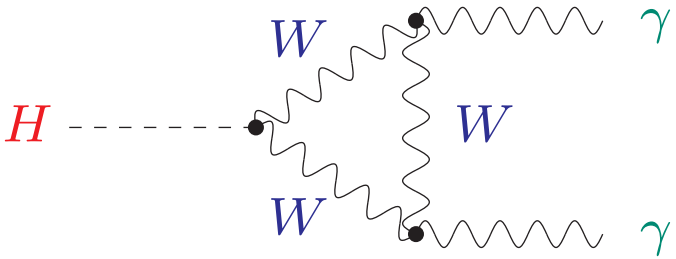
Gluón-Fusión:

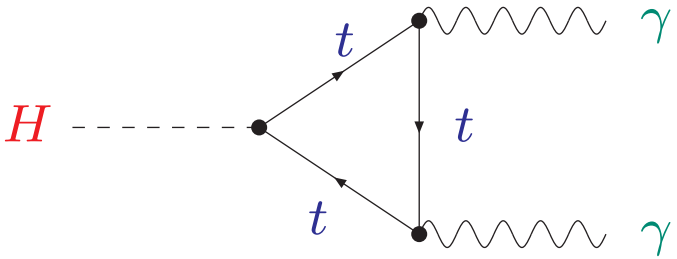


WBF:



Desintegración importante para medir la masa del Higgs:

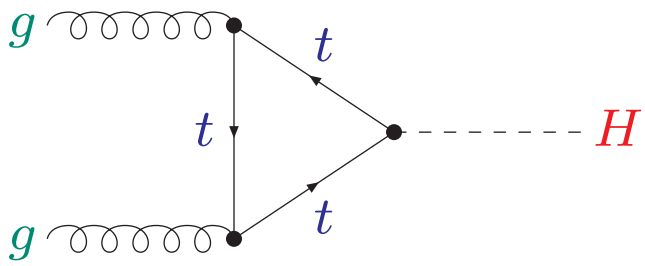




Ahora miramos los resultados experimentales: $gg \to H \to \gamma\gamma$:

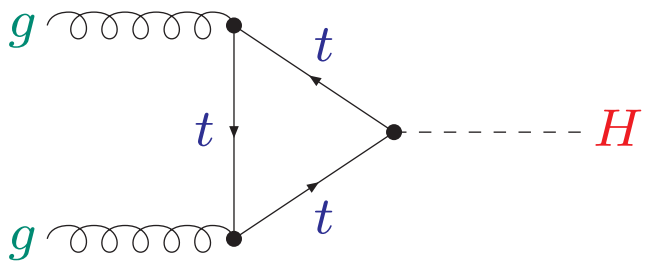
Ahora miramos los resultados experimentales: $gg \to H \to \gamma\gamma$:

Producción:

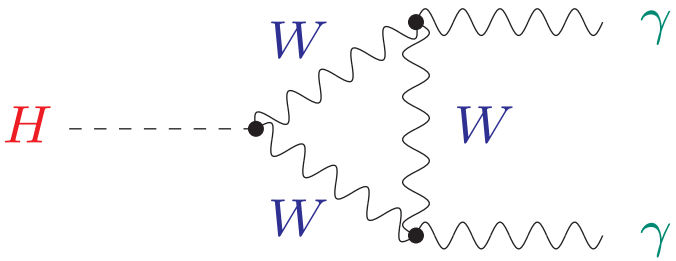


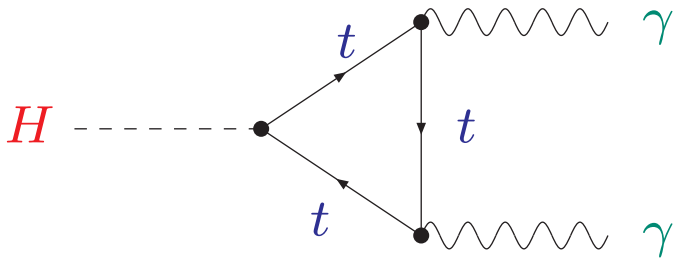
Ahora miramos los resultados experimentales: $gg \to H \to \gamma\gamma$:

Producción:



Desintegración:



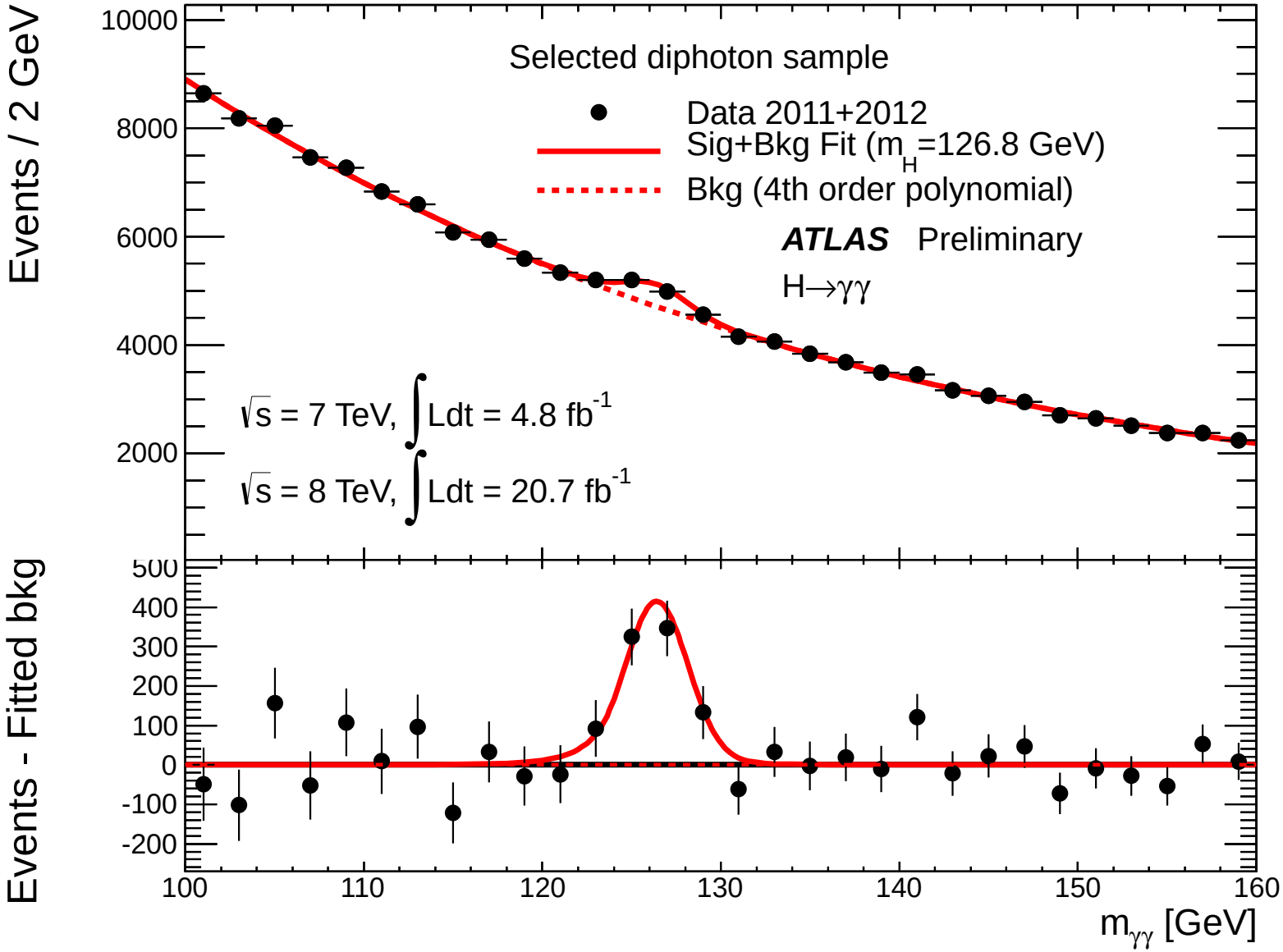


Cálculo:

Probabilidad: Producción $\times$ Desintegración

Medida experimental: Cuántos pares de fotones vemos?

Ahora miramos los resultados experimentales: $gg \to H \to \gamma\gamma$: [ATLAS '12]

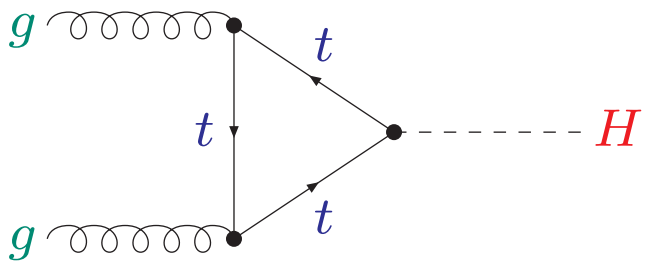


$\Rightarrow$ vemos que hay un pico en $M_H \simeq 125$ GeV

Ahora miramos los resultados experimentales: $gg \to H \to ZZ$:

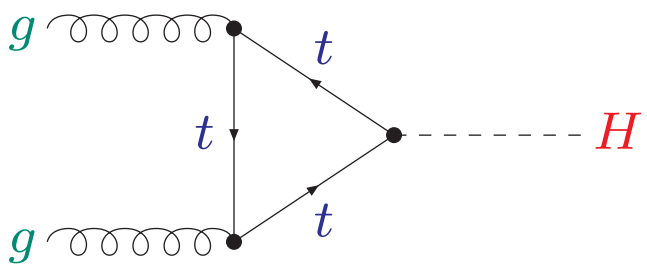
Ahora miramos los resultados experimentales: $gg \to H \to ZZ$:

Producción:

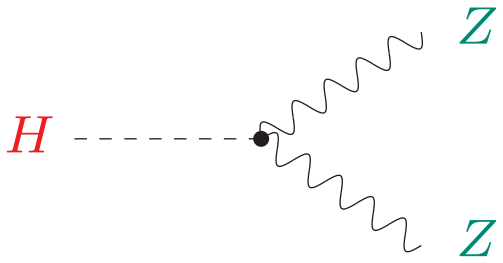


Ahora miramos los resultados experimentales: $gg \to H \to ZZ$:

Producción:



Desintegración:

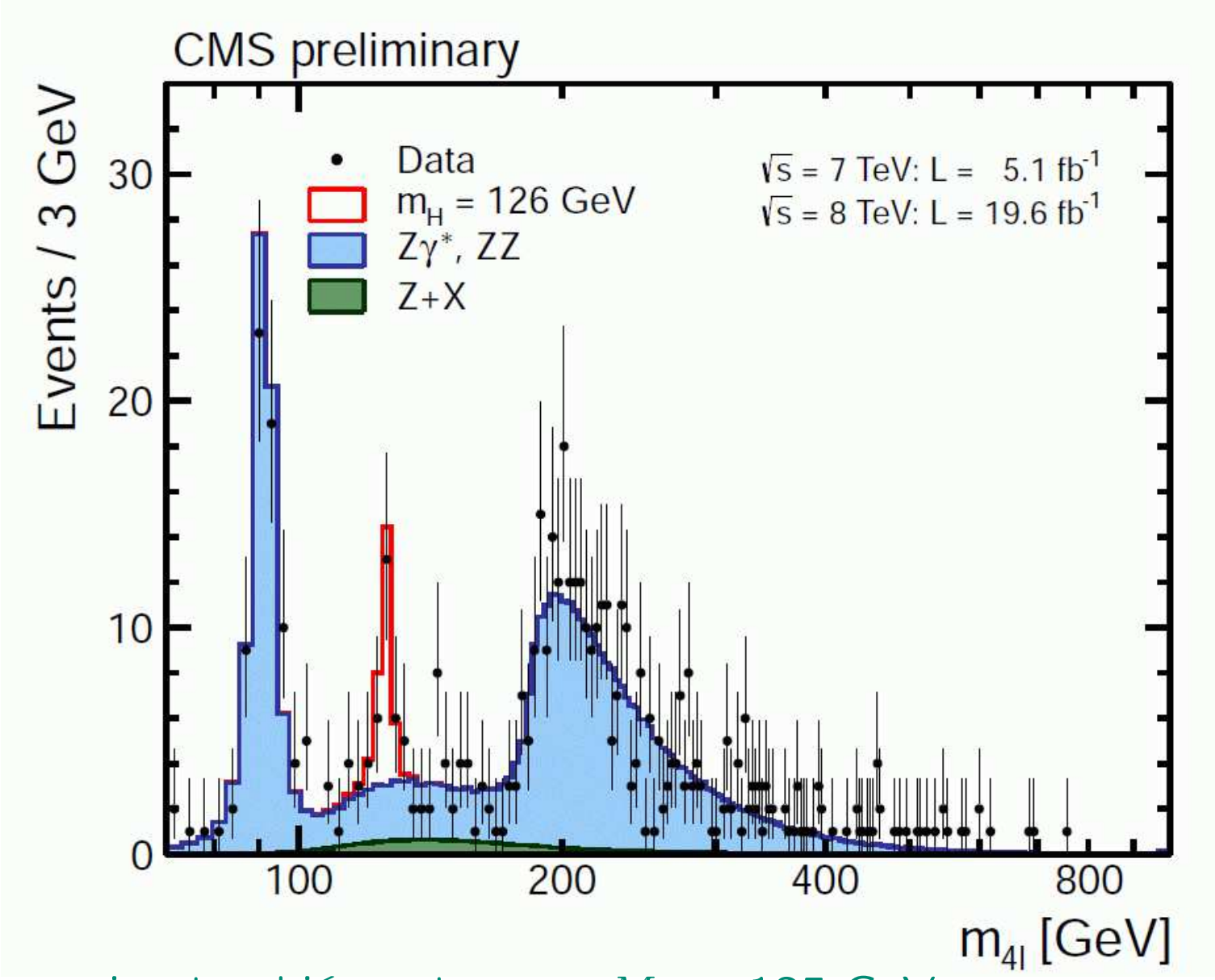


Cálculo:

Probabilidad: Producción $\times$ Desintegración

Medida experimental: Cuántos pares tipo ZZ vemos?

Ahora miramos los resultados experimentales: $gg \to H \to ZZ^{(*)}$: [CMS '13]



$\Rightarrow$ vemos un pico también entorno a $M_H \simeq 125$ GeV

¿Hemos visto el Higgs?

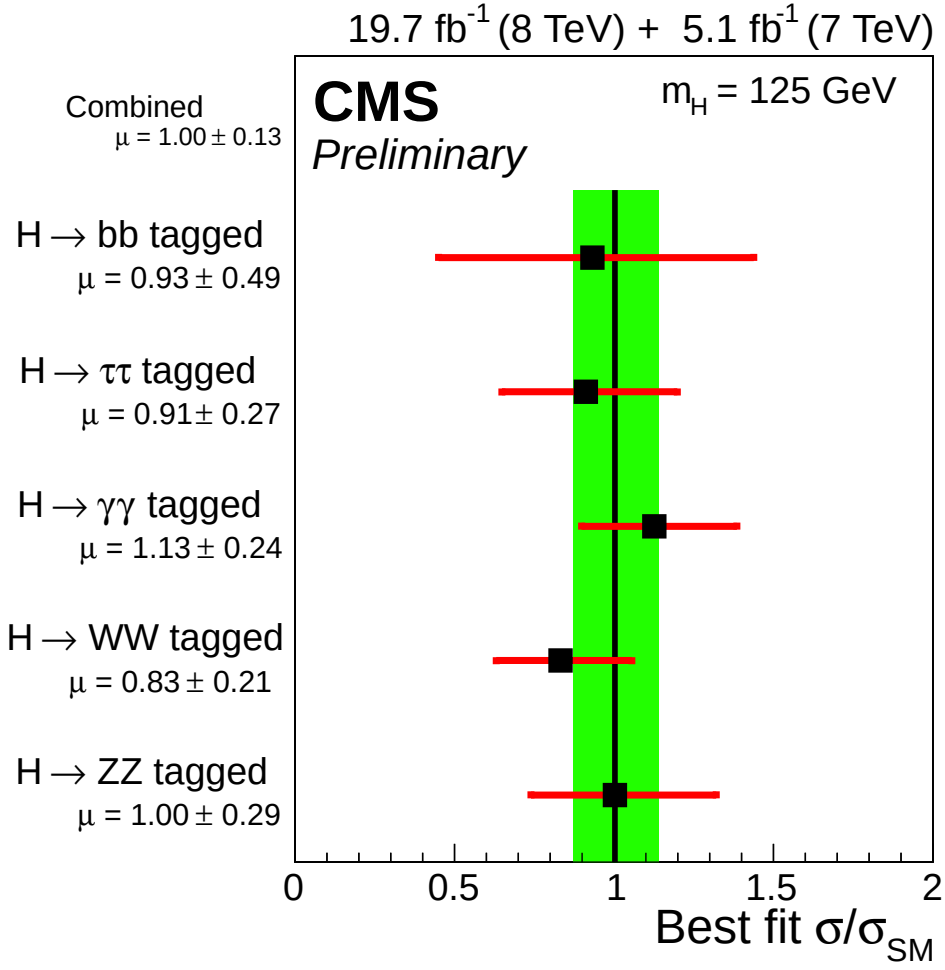
¿Hemos visto el Higgs?

Yo si! :-)

¿Hemos visto el Higgs?

⇒ Comparación entre teoría y experimento:

⇒ comparamos los cálculos (teóricos) sobre la producción del bosón de Higgs con los resultados (experimentales) :



⇒ Hemos visto la partícula de Higgs!

Hemos visto el Higgs!

Hemos visto el Higgs!

¿Asi nuestro trabajo ha terminado?

Hemos visto el Higgs!

¿Asi nuestro trabajo ha terminado?

NO!

Hemos visto el Higgs!

¿Asi nuestro trabajo ha terminado?

La parte más importante de nuestro trabajo acaba de empezar!

4. ¿Qué queremos aprender/entender?

⇒ Las preguntas abiertas:

- Hay una partícula de Higgs? Hay varias partículas de Higgs?

  Es el Higgs del Modelo Estándar?
  Es un Higgs de otro modelo más amplio?

- Todas las fuerzas de la naturaleza se originan en una sola fuerza fundamental?
  Como entra la gravedad?

- Hay más de 3 dimensiones en el espacio?

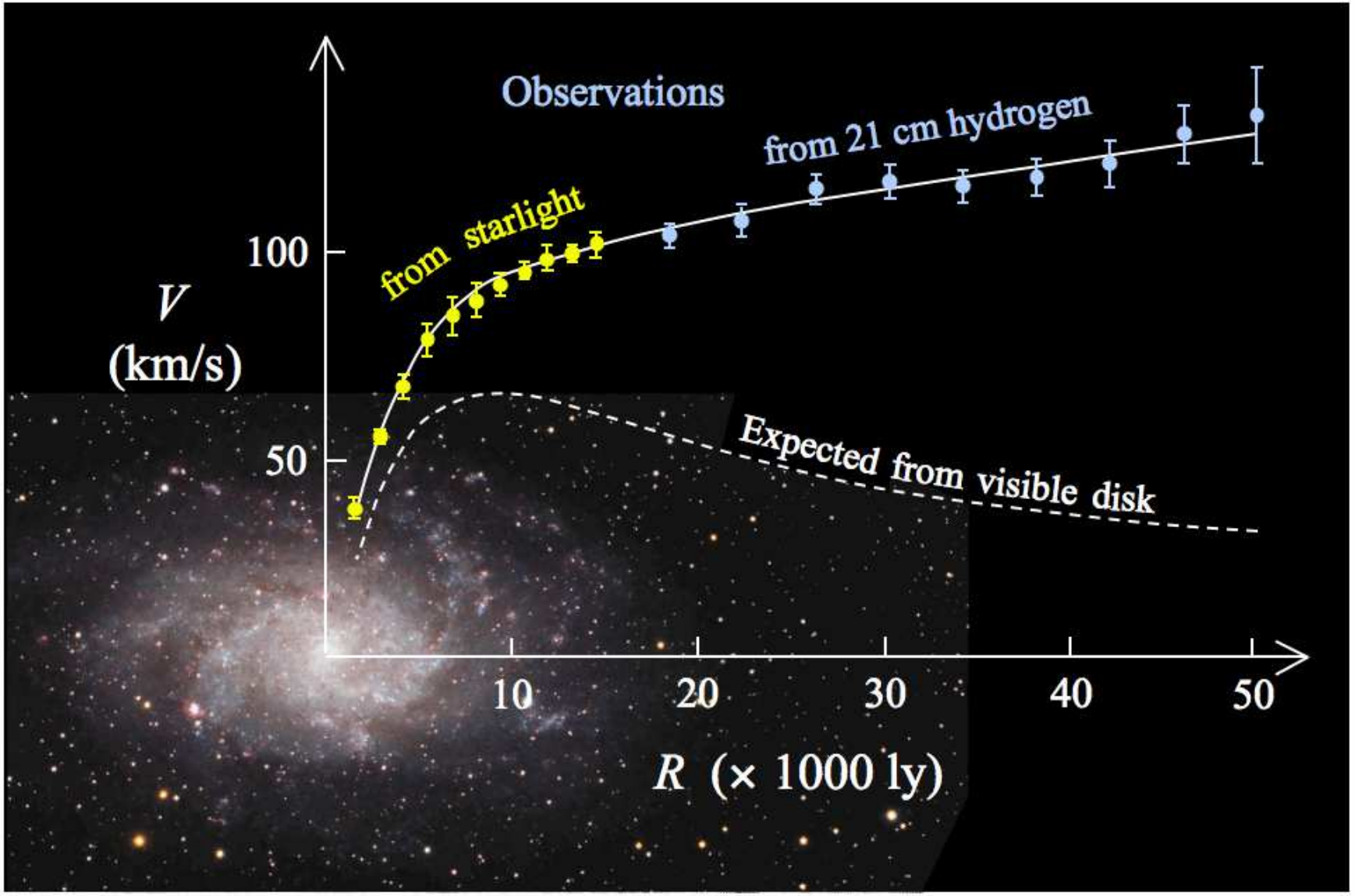
- Están el espacio y el tiempo unidos en un "superspacio"'?

- Qué es la Materia Oscura?
  Puede producirse Materia Oscura en un laboratorio?

- . . .

Como sabemos que existe la Materia Oscura?

⇒ Mira como giran las galaxias!



⇒ solo se puede explicar con Materia Oscura!

Estatus:

El SM (incluyendo el Higgs) concuerda con casi todos los resultados experimentales con una precisión muy alta

"Fallos" del SM:

- La gravitación no está incluida en sus predicciones
- No hay unificación de fuerzas fundamentales
- no hay partícula para explicar la Materia Oscura
- Masa de la partícula de Higgs "inestable" con respecto a correcciones cuanticas
- unos pocos(!) datos exp. no concuerdan con la predicción del SM

$\Rightarrow$ hay que ir a teorías más amplias para intentar explicar estos problemas

Estatus:

El SM (incluyendo el Higgs) concuerda con casi todos los resultados experimentales con una precisión muy alta

"Fallos" del SM:

- La gravitación no está incluida en sus predicciones
- No hay unificación de fuerzas fundamentales
- no hay partícula para explicar la Materia Oscura
- Masa de la partícula de Higgs "inestable" con respecto a correcciones cuanticas
- unos pocos(!) datos exp. no concuerdan con la predicción del SM

$\Rightarrow$ hay que ir a teorías más amplias para intentar explicar estos problemas

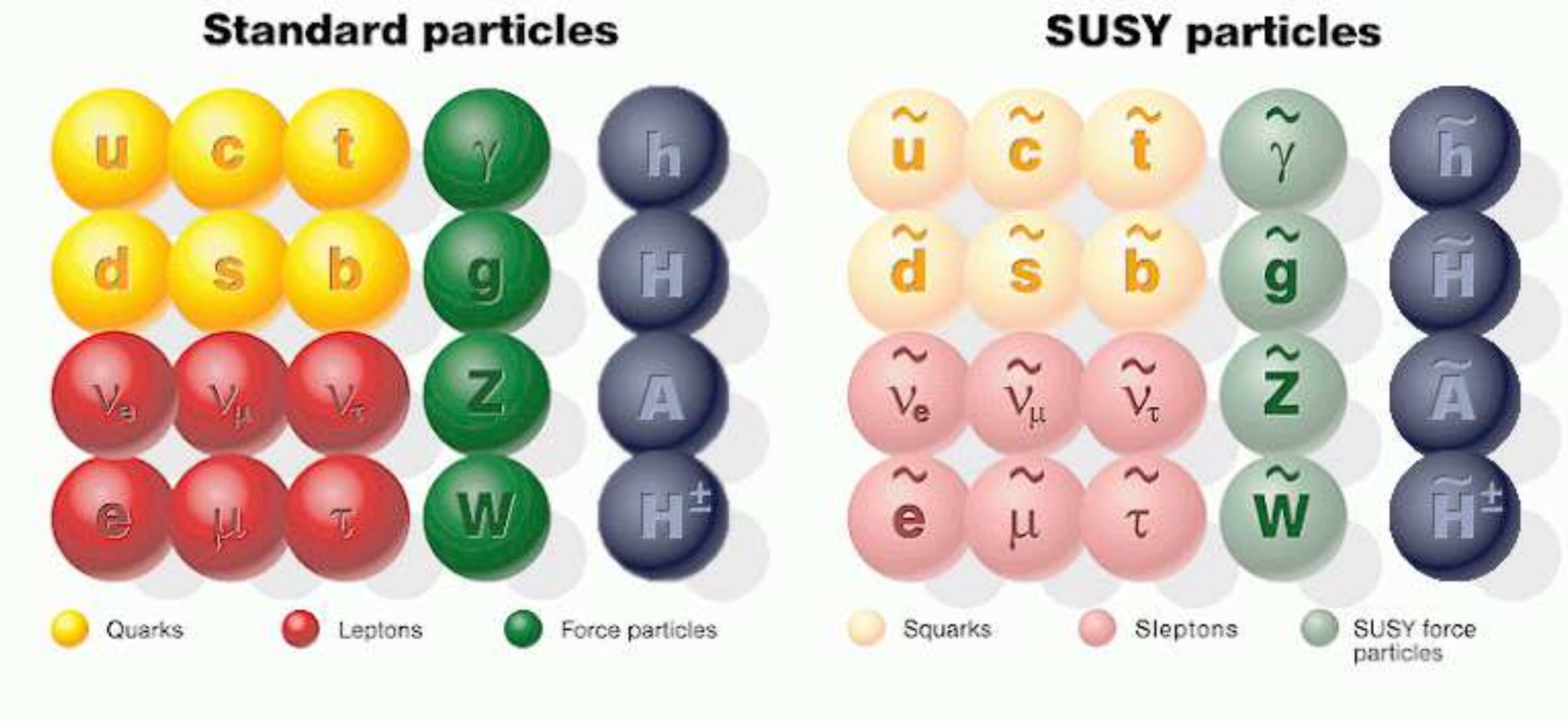
Una solución "popular" entre los Físicos:

El Modelo Estándar Minimante Supersimétrico (MSSM)

$\Rightarrow$ muchos grupos teóricos en España trabajan en el SM con Supersimetría

Que partículas tiene el MSSM

Super-partners para cada una de las partículas del SM



MSSM tiene cinco partículas de Higgs: h, H, A, H^+, H^- + DM partícula: $\tilde{\gamma}$

¿Qué queremos buscar/encontrar/medir?

- Buscar otras partículas de Higgs
  Medir las características del Higgs con alta precisión

- Buscar partículas supersimétricas
  Buscar partículas de otros modelos más allá del SM

- Buscar materia oscura
  Medir sus caractarísticas con alta precisión

- Buscar "inconsistencias" en las medidas del SM

- . . .

¿Qué queremos buscar/encontrar/medir?

- Buscar otras partículas de Higgs $\Leftarrow$ LHC
  Medir las características del Higgs con alta precisión

- Buscar partículas supersimétricas $\Leftarrow$ LHC
  Buscar partículas de otros modelos más allá del SM $\Leftarrow$ LHC

- Buscar materia oscura $\Leftarrow$ LHC
  Medir sus caractarísticas con alta precisión

- Buscar "inconsistencias" en las medidas del SM $\Leftarrow$ LHC

- . . .

¿Qué queremos buscar/encontrar/medir?

- Buscar otras partículas de Higgs $\Leftarrow$ LHC $\Leftarrow$ ILC
  Medir las características del Higgs con alta precisión $\Leftarrow$ ILC

- Buscar partículas supersimétricas $\Leftarrow$ LHC $\Leftarrow$ ILC
  Buscar partículas de otros modelos más allá del SM $\Leftarrow$ LHC $\Leftarrow$ ILC

- Buscar materia oscura $\Leftarrow$ LHC $\Leftarrow$ ILC
  Medir sus caractarísticas con alta precisión $\Leftarrow$ ILC

- Buscar "inconsistencias" en las medidas del SM $\Leftarrow$ LHC $\Leftarrow$ ILC

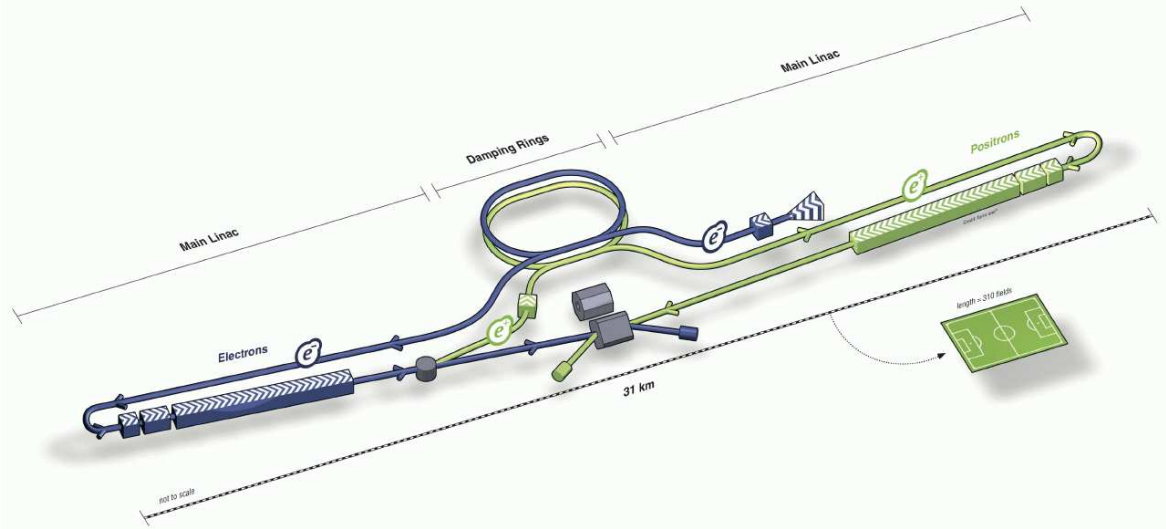
- ...

¿Qué es eso? ILC?

5. ¿Por qué el futuro es lineal?

Experimento del futuro: **I**nternational **L**inear **C**ollider (**ILC**)
(colisionador lineal internacional) $\Rightarrow$ antes de 2035 . . .

esquema:



$e^- \rightarrow \quad \leftarrow e^+$

Energía(s): $\sqrt{s} = 250$ GeV, 350 GeV, 500 GeV . . . 1000 GeV

$\Rightarrow$ medidas con alta precisión!

$\Rightarrow$ para energías más altas: **CLIC**

Nuestro congreso:

Los expertos del mundo sobre ILC/CLIC se reunen:

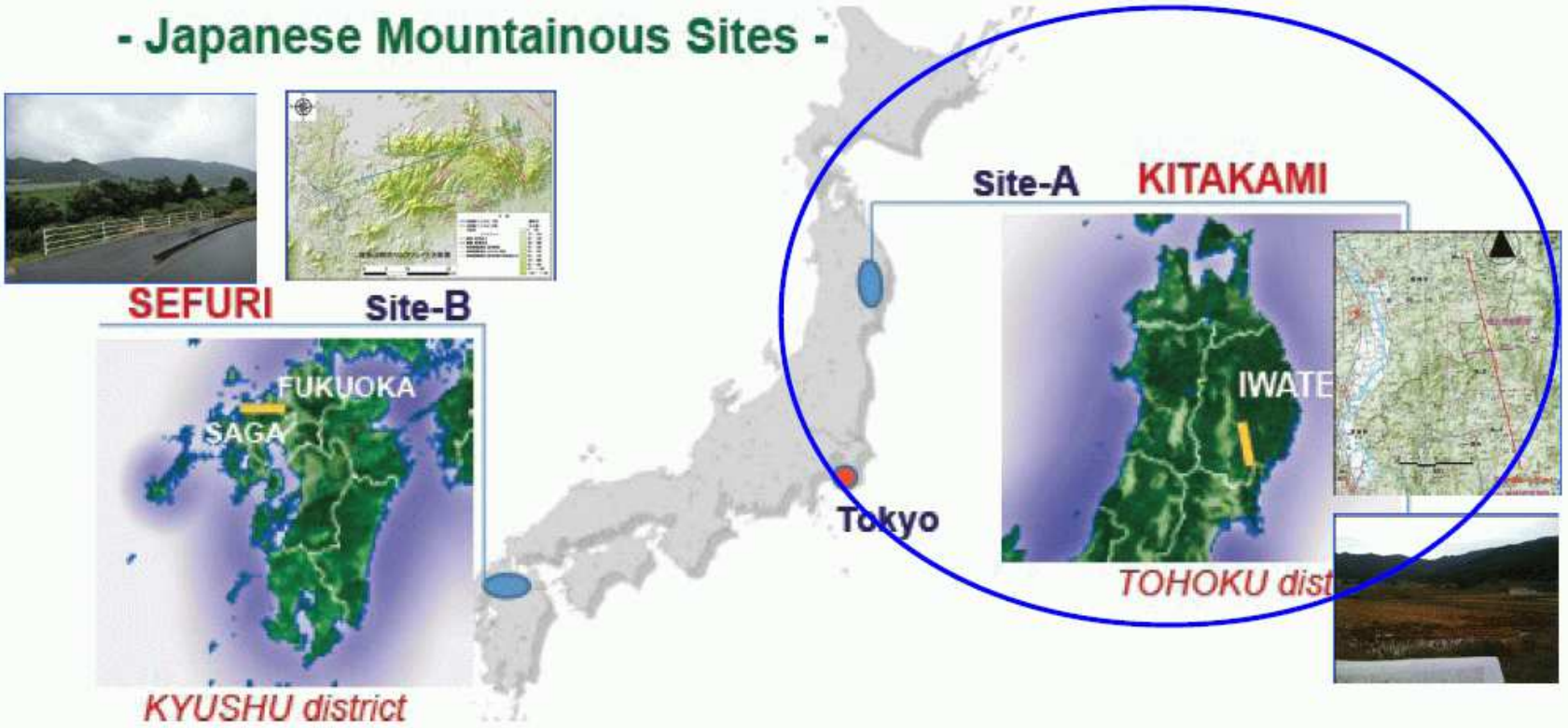
- teóricos
- experimentales
- expertos en colisionadores
- ...

Como realizar este proyecto?

Si se construye el ILC, estará en Japón!

[taken from N. Walker, '14]

Possible candidate sites



LCC technical efforts focused on Kitakami site
(Ratified in independent technical evaluation by KEK and LCC)
No "formal" political decision taken yet.

Para terminar:

Dos ejemplos de la Física en el ILC:

1. Medidas de la partícula de Higgs con alta precisión
   ($\Rightarrow$ para "ver" el MSSM . . .)

2. Medidas de materia oscura con alta precisión

No ejemplo específico:

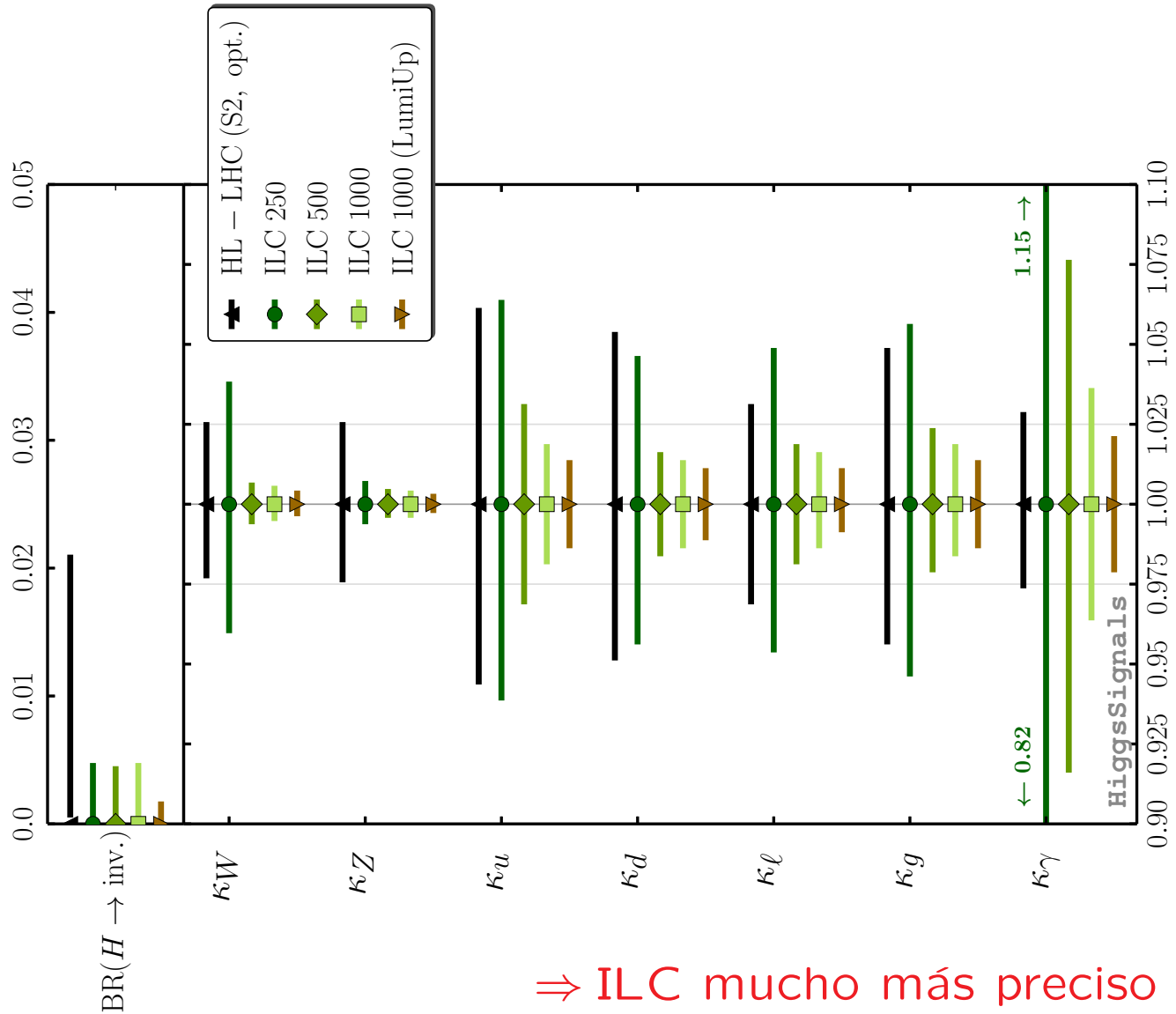
– buscar otras partículas de Higgs
– buscar partículas supersimétricas
– buscar partículas de otros modelos más allá del SM
– buscar inconsisténcias en el SM
– . . .

1. Medidas del Higgs con alta precisión:

aquí: $\mathrm{BR}(H \to \mathrm{NP}) = \mathrm{BR}(H \to \mathrm{inv.})$

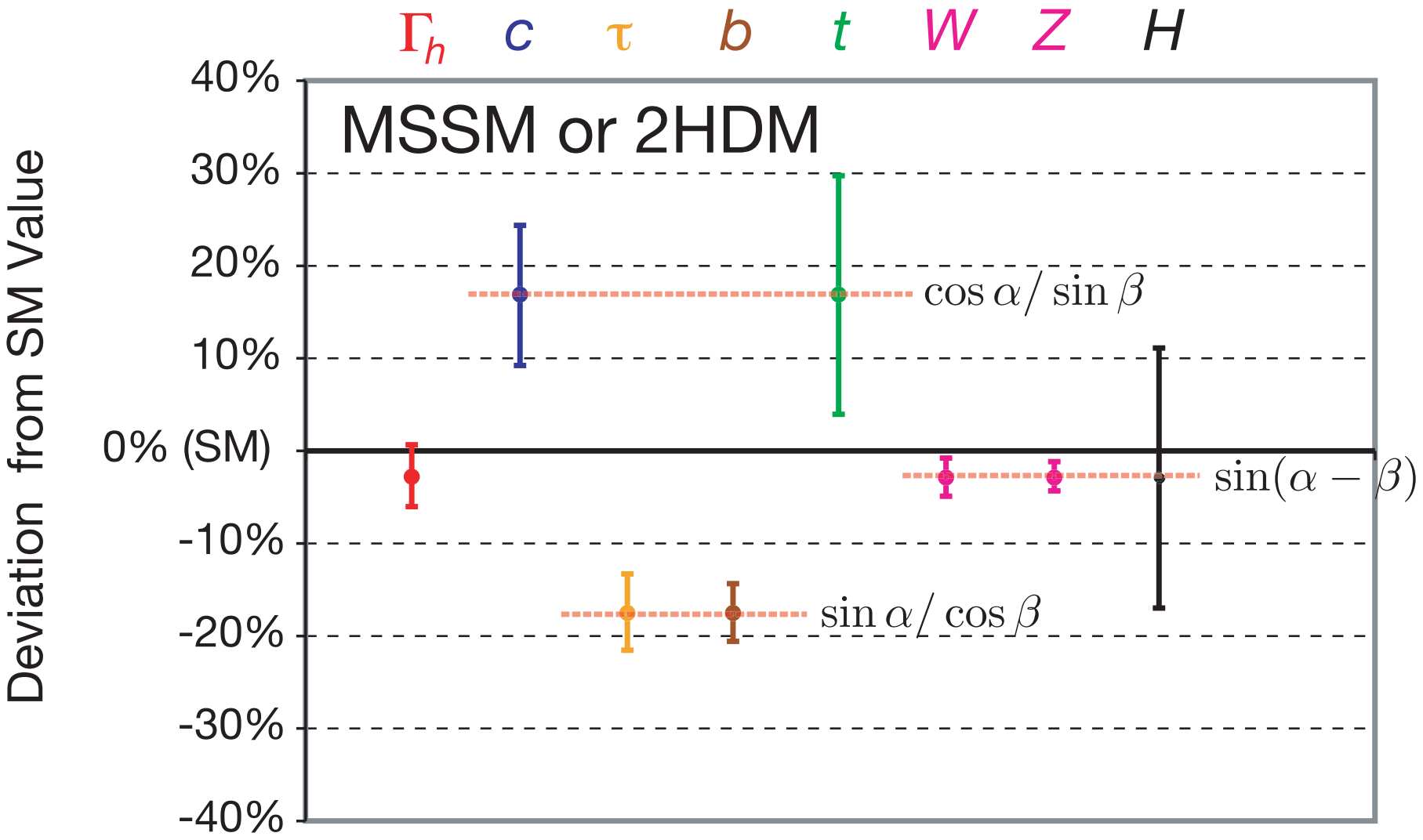
[P. Bechtle, S.H., O. Stål, T. Stefaniak, G. Weiglein '14]

κ_x : acoplamiento del Higgs a otra partícula



⇒ ILC mucho más preciso que el LHC!

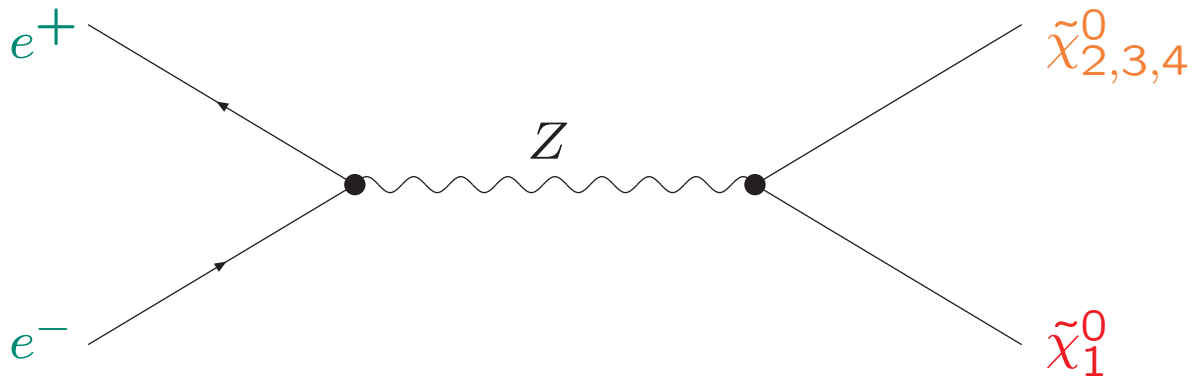
⇒ Para distinguir el SM y el MSSM! ⇒ posibles diferencias: $\mathcal{O}$ (pocos%)



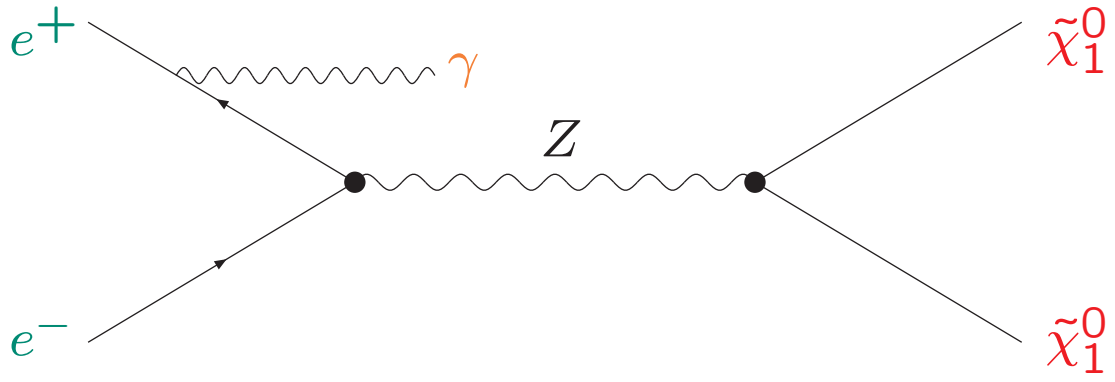
⇒ Puede ser posible medir estas diferencias!

2. Producción y medidas de Materia Oscura en el MSSM ($\tilde{\gamma}$):

Produccíon con otra partícula:

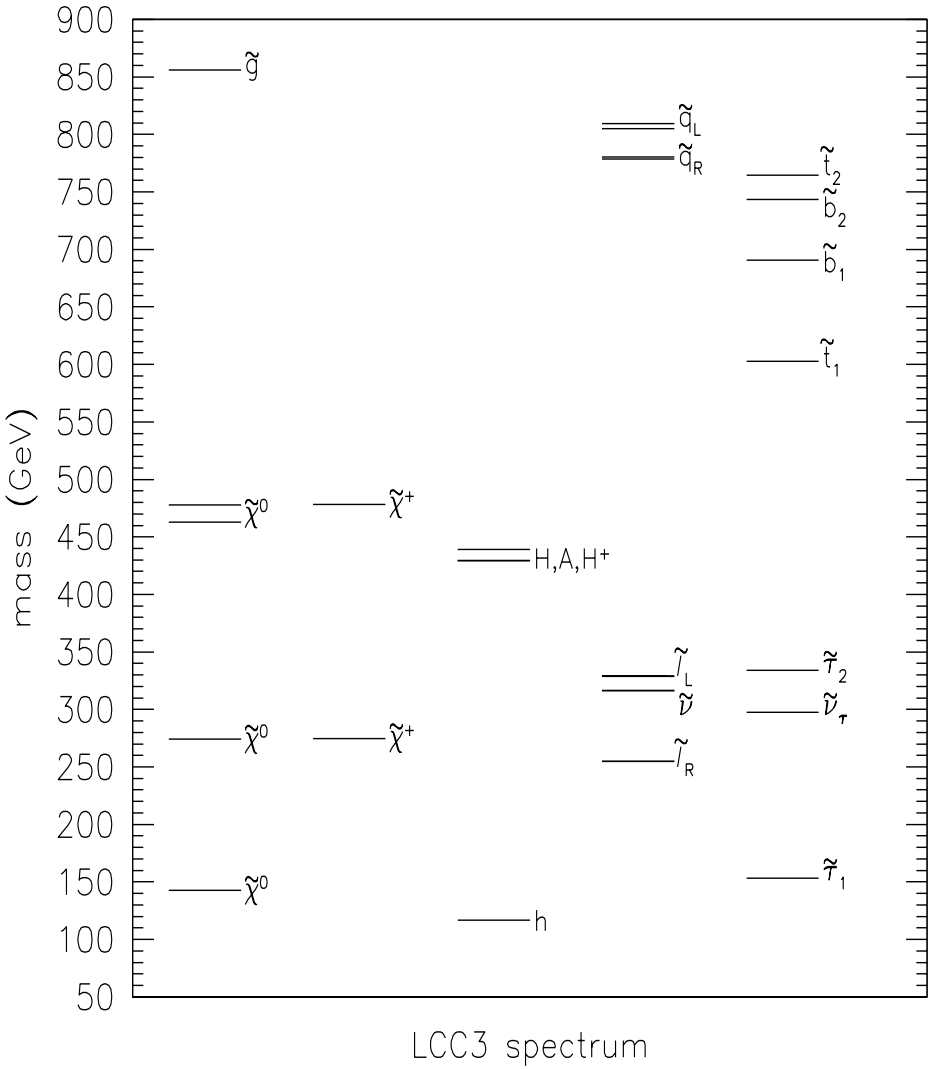


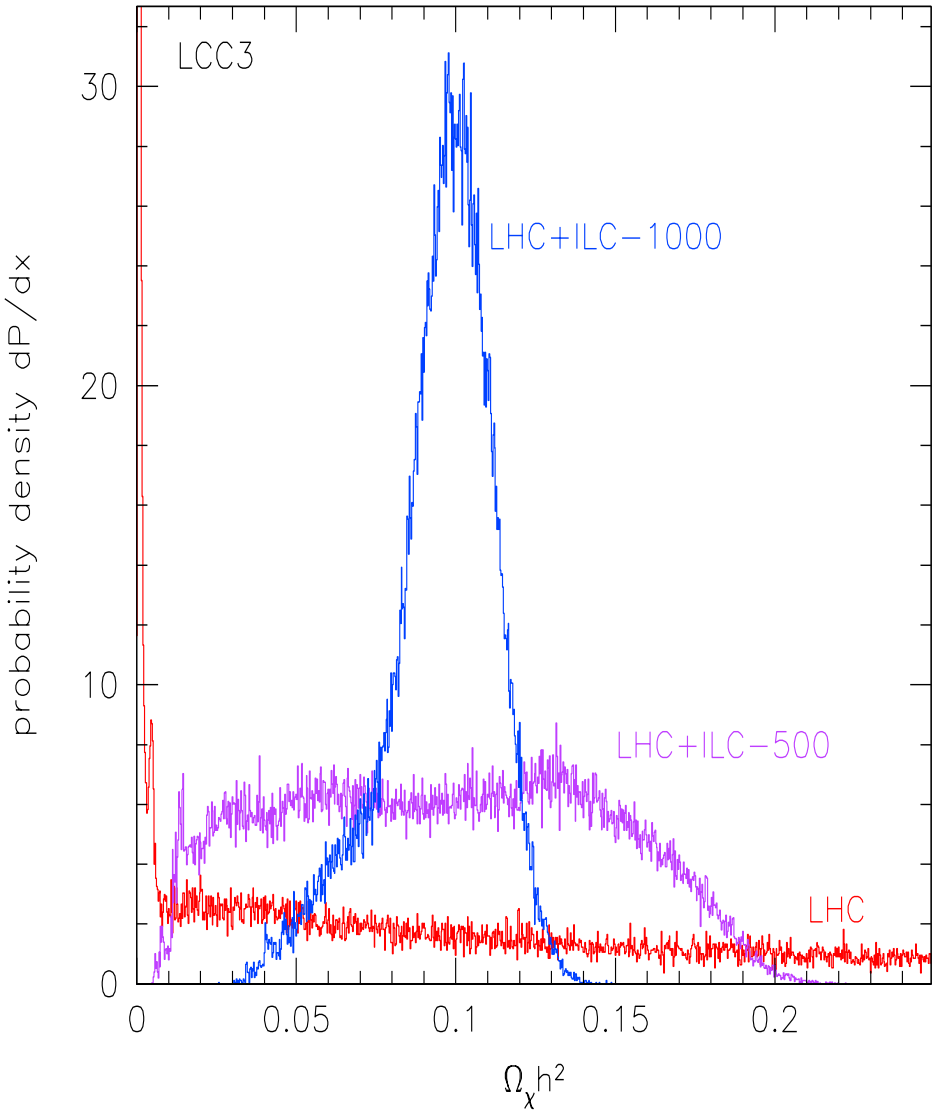
"Doble" producción con un fotón:



Medidas en el ILC vs. datos astrofísicos:

[*ILC TDR '13*]

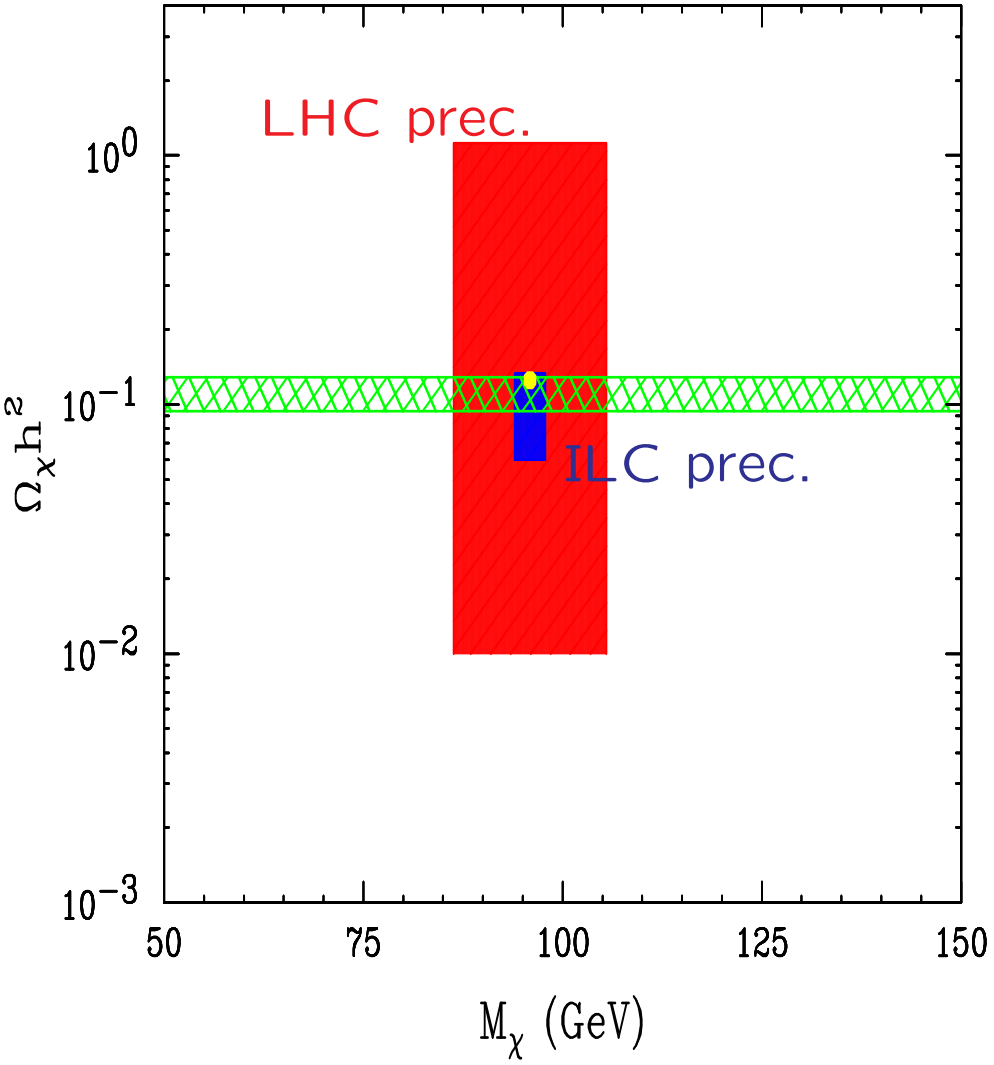


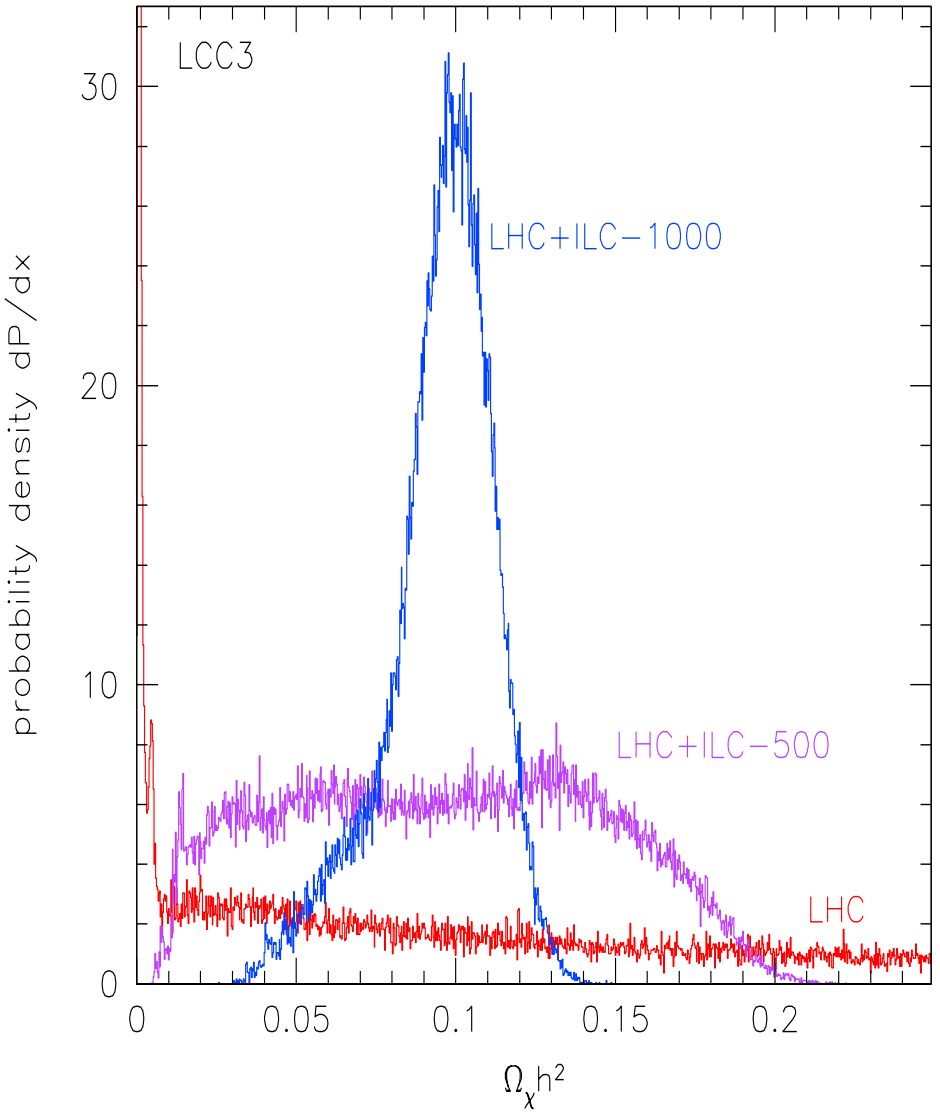


⇒ medidas de Materia Oscura con alta precisión!

Medidas en el ILC vs. datos astrofísicos:

[*ILC TDR '13*]

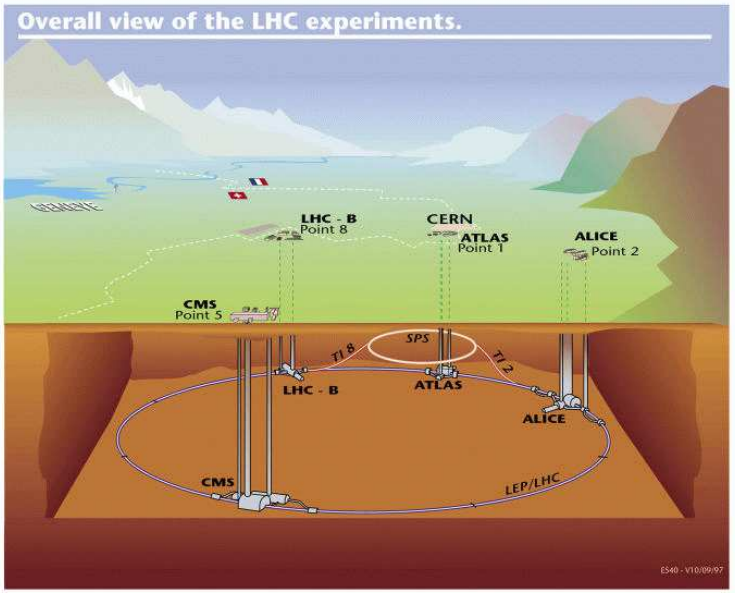




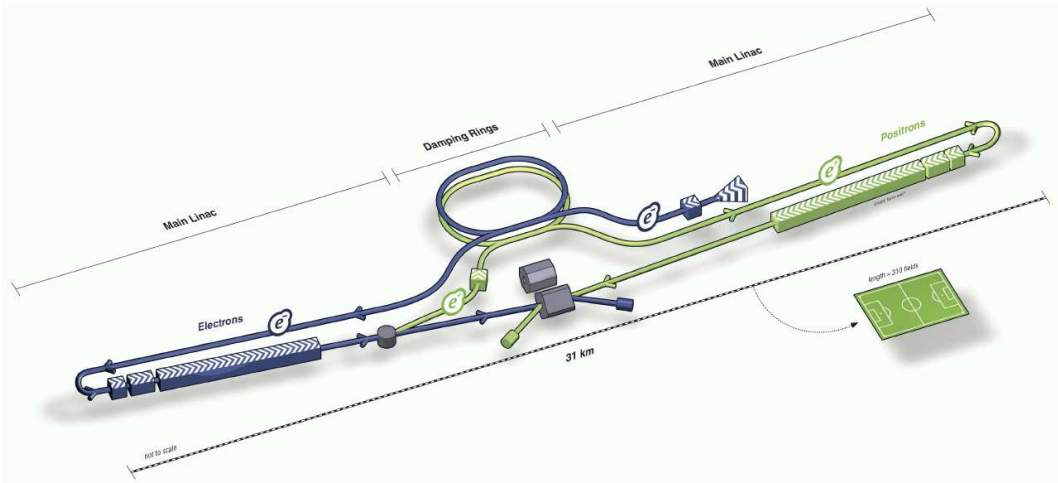
$\Rightarrow$ test muy preciso de nuestras teorías de Materia Oscura!

Resumen corto:

LHC



ILC



$p \rightarrow \quad \leftarrow p$

$e^- \rightarrow \quad \leftarrow e^+$

2016: Modelo Estándar con el Higgs $\Rightarrow$ "casi" perfecto

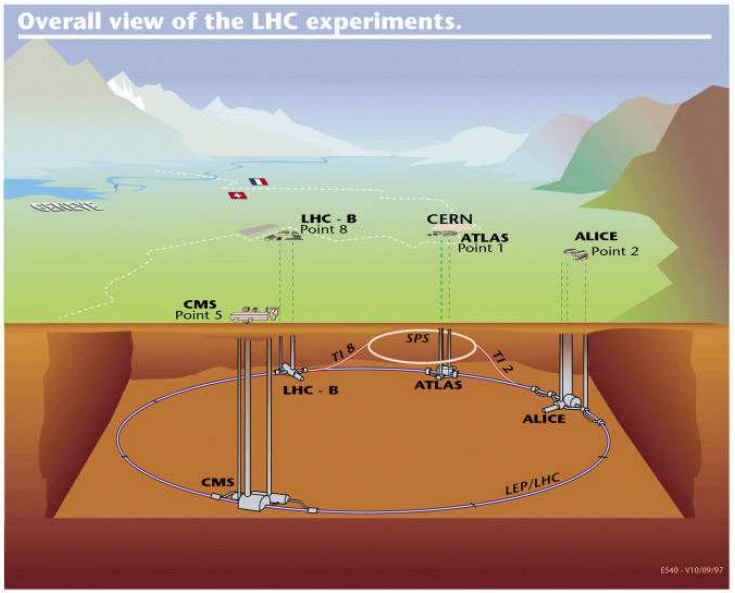
Muchas preguntas abiertas: Materia Oscura, modelos más allá, ...

LHC sigue buscando y midiendo!

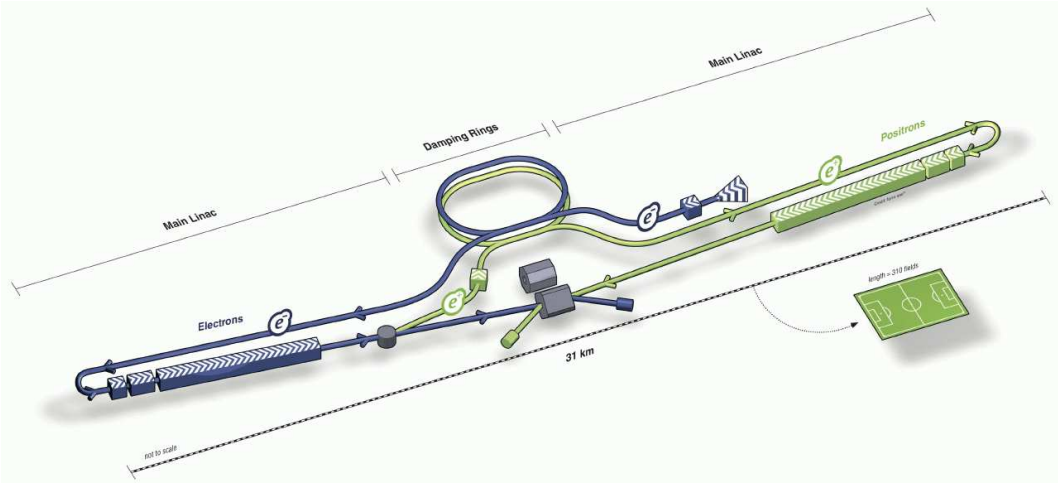
$\leq$ 2035: ILC puede contestar nuestras preguntas!

Resumen corto:

LHC



ILC



$p \rightarrow \quad \leftarrow p$

$e^- \rightarrow \quad \leftarrow e^+$

2016: Modelo Estándar con el Higgs $\Rightarrow$ "casi" perfecto

Muchas preguntas abiertas: Materia Oscura, modelos más allá, ...

LHC sigue buscando y midiendo!

$\leq$ 2035: ILC puede contestar nuestras preguntas!

El Futuro es Lineal!

Further Questions?

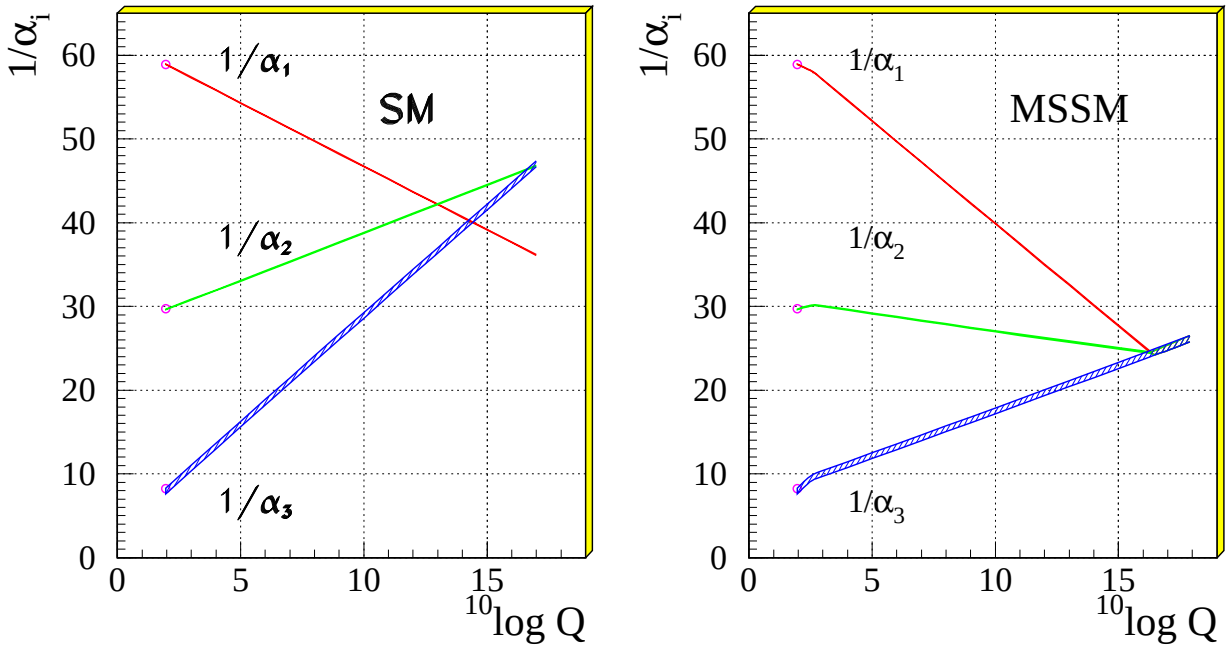
Coupling constant unification

[RGE: equations that connect parameters at different energy scales]

→ use RGE's to evolve gauge coupling constants from electroweak scale to the GUT scale

$$\alpha_i(Q_{\text{electroweak}}) \rightarrow \alpha_i(Q_{\text{GUT}})$$

Unification of the Coupling Constants
in the SM and the minimal MSSM



¿Cual es la fórmula que describe el mundo?

Teoría:

- búsqueda de modelos (master formula) que describan nuestro mundo (modelo = formulación matemática de las leyes de la naturaleza)
- cálculo de predicciones en un modelo

  predicciones:
  - masas de partículas elementales
  - probabilidades de producir de partículas (Higgs en el LHC, ...)
  - probabilidades de desintegración de partículas
  - ...

Experimento:

- Realizar experimentos para
  - encontrar nuevas partículas
  - medir las masas de las partículas elementales
  - medir otras propiedades
  - ...

Comparación entre teoría y resultados experimentales
"verdadera" teoría de la Naturaleza $\Rightarrow$ **La fórmula que describe el mundo**

Para describir una teoría hay que emplear una "fórmula"

$\Rightarrow$ describe el contenido: partículas, interacciones, . . .

La Fórmula se construye/hipotetiza basándonos en:

- principios de simetría
- necesidad: datos experimentales que necesitan ser explicados
- simplicidad
- experiencia/intuición

Para describir una teoría hay que emplear una "fórmula"

$\Rightarrow$ describe el contenido: partículas, interacciones, . . .

La Fórmula se construye/hipotetiza basándonos en:

- principios de simetría
- necesidad: datos experimentales que necesitan ser explicados
- simplicidad
- experiencia/intuición

La "mejor" Fórmula: SM

versión ultra-simplificada:

$$\begin{aligned}\mathcal{L}_{\text{SM}} = & \, g_{\gamma f\bar{f}}\, \gamma f\bar{f} + g_{Zf\bar{f}}\, Zf\bar{f} + g_{Wf'\bar{f}}\, Wf'\bar{f} + g_{gq\bar{q}}\, gq\bar{q} \\ & + g_{Hf\bar{f}}\,(v+H)f\bar{f} + g_{HZZ}\,(v^2+H)ZZ + g_{HWW}\,(v^2+H)WW \\ & + \ldots\end{aligned}$$

Para describir una teoría hay que emplear una "fórmula"

$\Rightarrow$ describe el contenido: partículas, interacciones, . . .

La Fórmula se construye/hipotetiza basándonos en:

- principios de simetría
- necesidad: datos experimentales que necesitan ser explicados
- simplicidad
- experiencia/intuición

La "mejor" Fórmula: SM

versión ultra-simplificada:

$$\begin{aligned}\mathcal{L}_{\text{SM}} = & \, g_{\gamma f\bar{f}}\, \gamma f\bar{f} + g_{Zf\bar{f}}\, Zf\bar{f} + g_{Wf'\bar{f}}\, Wf'\bar{f} + g_{gq\bar{q}}\, gq\bar{q} \\ & + g_{Hf\bar{f}}\,(v+H)f\bar{f} + g_{HZZ}\,(v^2+H)ZZ + g_{HWW}\,(v^2+H)WW \\ & + \ldots\end{aligned}$$

Versión completa: $\Rightarrow$ Leed mi camiseta!

$\Rightarrow$ **Es la fórmula que describe el mundo**

La "mejor" fórmula para el mundo actualmente world formula: SM

versión (ultra)simplificada:

$$\begin{aligned}\mathcal{L}_{\mathsf{SM}} = & \; g_{\gamma f\bar{f}}\,\gamma f\bar{f} \;+\; g_{Zf\bar{f}}\,Zf\bar{f} \;+\; g_{Wf'\bar{f}}\,Wf'\bar{f} \;+\; g_{gq\bar{q}}\,gq\bar{q} \\ & + g_{Hf\bar{f}}\,(v+H)f\bar{f} \;+\; g_{HZZ}\,(v^2+H)ZZ \;+\; g_{HWW}\,(v^2+H)WW \\ & + \ldots\end{aligned}$$

La "mejor" fórmula para el mundo actualmente world formula: SM

versión (ultra)simplificada:

$$\begin{aligned}\mathcal{L}_{\text{SM}} = & \; g_{\gamma f\bar{f}}\,\gamma f\bar{f} + g_{Zf\bar{f}}\,Zf\bar{f} + g_{Wf'\bar{f}}\,Wf'\bar{f} + g_{gq\bar{q}}\,gq\bar{q} \\ & + g_{Hf\bar{f}}\,(v+H)f\bar{f} + g_{HZZ}\,(v^2+H)ZZ + g_{HWW}\,(v^2+H)WW \\ & + \ldots\end{aligned}$$

Posiblemente la "mejor" fórmula para el futuro: MSSM

versión (ultra)simplificada:

$$\begin{aligned}\mathcal{L}_{\text{MSSM}} = & \; g_{\gamma f\bar{f}}\,\gamma(f\bar{f}+\tilde{f}\tilde{f}) + g_{Zf\bar{f}}\,Z(f\bar{f}+\tilde{f}\tilde{f}) + g_{Wf'\bar{f}}\,W(f'\bar{f}+\tilde{f}\tilde{f}) + \ldots \\ & + g_{Hf\bar{f}}\,(v+H)(f\bar{f}+\tilde{f}\tilde{f}) + g_{HZZ}\,(v^2+H)(ZZ+\tilde{Z}\tilde{Z}) + \ldots \\ & + \ldots\end{aligned}$$

La "mejor" fórmula para el mundo actualmente world formula: SM

versión (ultra)simplificada:

$$\begin{aligned}\mathcal{L}_{\text{SM}} = & \; g_{\gamma f\bar{f}}\,\gamma f\bar{f} \;+\; g_{Zf\bar{f}}\,Zf\bar{f} \;+\; g_{Wf'\bar{f}}\,Wf'\bar{f} \;+\; g_{gq\bar{q}}\,gq\bar{q} \\ & + g_{Hf\bar{f}}\,(v+H)f\bar{f} \;+\; g_{HZZ}\,(v^2+H)ZZ \;+\; g_{HWW}\,(v^2+H)WW \\ & + \ldots\end{aligned}$$

Posiblemente la "mejor" fórmula para el futuro: MSSM

versión (ultra)simplificada:

$$\begin{aligned}\mathcal{L}_{\text{MSSM}} = & \; g_{\gamma f\bar{f}}\,\gamma(f\bar{f}+\tilde{f}\tilde{f}) \;+\; g_{Zf\bar{f}}\,Z(f\bar{f}+\tilde{f}\tilde{f}) \;+\; g_{Wf'\bar{f}}\,W(f'\bar{f}+\tilde{f}\tilde{f}) \;+\; \ldots \\ & + g_{Hf\bar{f}}\,(v+H)(f\bar{f}+\tilde{f}\tilde{f}) \;+\; g_{HZZ}\,(v^2+H)(ZZ+\tilde{Z}\tilde{Z}) \;+\; \ldots \\ & + \ldots\end{aligned}$$

$\Rightarrow$ Los datos experimentales en el Futuro nos indicarán el camino . . .

La "mejor" fórmula para el mundo actualmente world formula: SM

versión (ultra)simplificada:

$$\mathcal{L}_{\text{SM}} = g_{\gamma f\bar{f}}\,\gamma f\bar{f} + g_{Zf\bar{f}}\,Zf\bar{f} + g_{Wf'\bar{f}}\,Wf'\bar{f} + g_{gq\bar{q}}\,gq\bar{q}$$
$$+ g_{Hf\bar{f}}\,(v+H)f\bar{f} + g_{HZZ}\,(v^2+H)ZZ + g_{HWW}\,(v^2+H)WW$$
$$+ \ldots$$

Posiblemente la "mejor" fórmula para el futuro: MSSM

versión (ultra)simplificada:

$$\mathcal{L}_{\text{MSSM}} = g_{\gamma f\bar{f}}\,\gamma(f\bar{f}+\tilde{f}\tilde{f}) + g_{Zf\bar{f}}\,Z(f\bar{f}+\tilde{f}\tilde{f}) + g_{Wf'\bar{f}}\,W(f'\bar{f}+\tilde{f}\tilde{f}) + \ldots$$
$$+ g_{Hf\bar{f}}\,(v+H)(f\bar{f}+\tilde{f}\tilde{f}) + g_{HZZ}\,(v^2+H)(ZZ+\tilde{Z}\tilde{Z}) + \ldots$$
$$+ \ldots$$

$\Rightarrow$ Los datos experimentales en el Futuro nos indicarán el camino . . .

. . . sobre cual es la mejor Fórmula que describe el mundo!