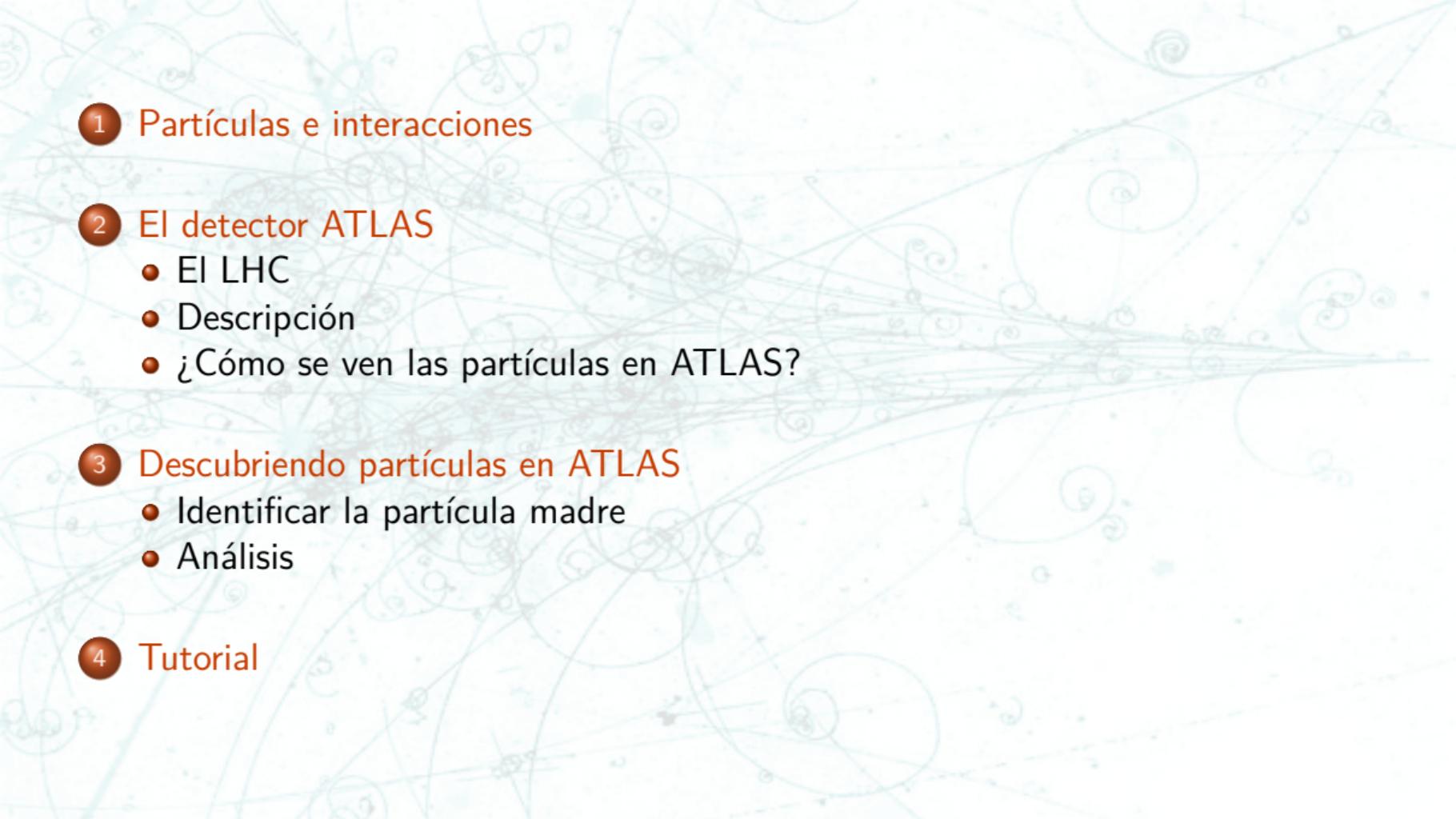


ECII21-05 ATLAS MasterClass

Laura Damonte, Joaquín Hoya, Fernando Monticelli

2 de junio 2021

Experimentos Cuánticos 2 - UNLP - 2021



1 Partículas e interacciones

2 El detector ATLAS

- El LHC
- Descripción
- ¿Cómo se ven las partículas en ATLAS?

3 Descubriendo partículas en ATLAS

- Identificar la partícula madre
- Análisis

4 Tutorial

- ¿De qué estamos hechos?
- ¿Cómo funciona el universo?
- ¿Cómo empezaríamos a averiguarlo?

ORO

Observamos

Rompemos

Ordenamos

¿Cómo lo venimos haciendo?

4



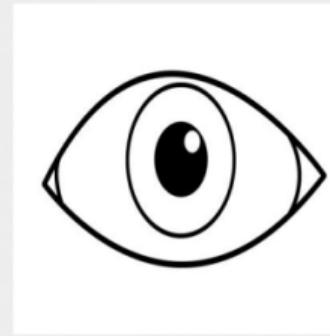
EL OJO



¡LHC!

¿Cómo lo venimos haciendo?

5



¿Qué tan chico es lo que podemos ver?

0.1 mm (10^{-1} mm)

(Fibras de pelo)

¿Cómo lo venimos haciendo?

6



¿Qué tan chico es lo que podemos ver?

0.01 mm (10^{-2} mm)

(Hongos)

¿Cómo lo venimos haciendo?

7



¿Qué tan chico es lo que podemos ver?

0.001 mm (10^{-3} mm)

(Bacterias, Células)

¿Cómo lo venimos haciendo?

8

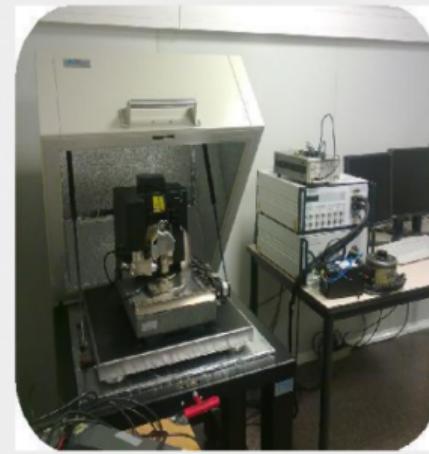


¿Qué tan chico es lo que podemos ver?

0.00001 mm (10^{-5} mm)
(Virus)

¿Cómo lo venimos haciendo?

9

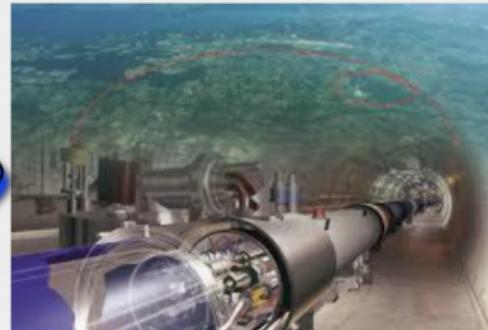


¿Qué tan chico es lo que podemos ver?

0.0000001 mm (10^{-7} mm)
(Átomos)

¿Cómo lo venimos haciendo?

10



¿Qué tan chico es lo que podemos ver?

0.0000000000000001 mm (10^{-16} mm)
(???)

El átomo es compuesto

11

- Descubrimiento del Electrón
J.J. Thomson, 1896



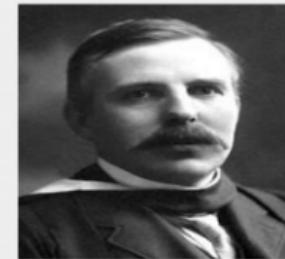
- Descubrimiento del Núcleo
E. Rutherford, 1914-1918



El núcleo TAMBIÉN

12

- Descubrimiento del Protón
E. Rutherford, 1914-1918
- Descubrimiento del Neutrón
J. Chadwick, 1932



Más sorpresas!

13

- Predicción del Neutrino



(W. Pauli)

- Modelo Atómico

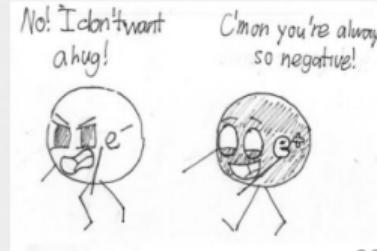
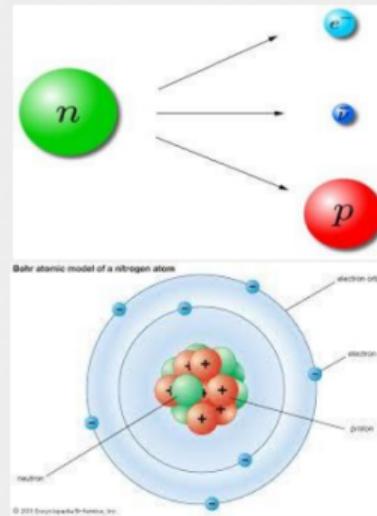


(N. Bohr)

- Predicción de la Antimateria



(P. Dirac)



20

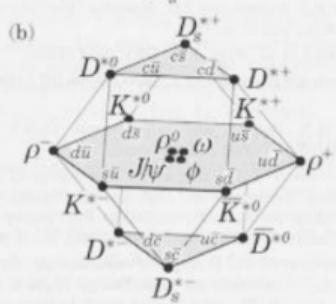
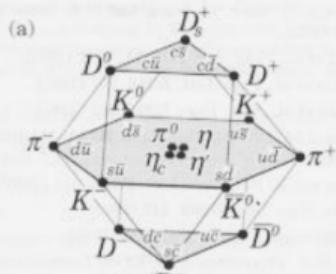
Hay MUCHAS más partículas

14



Modelo de Quarks

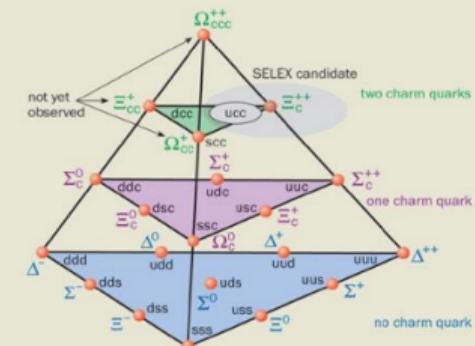
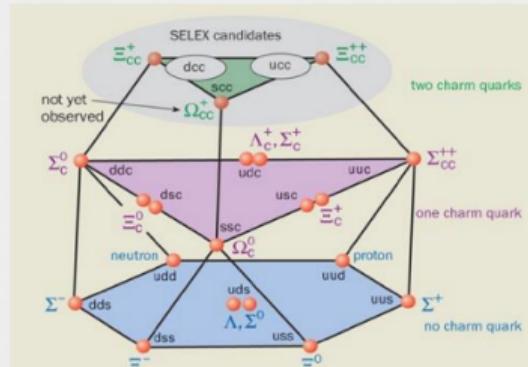
Gell-Mann, Ne'eman & Zweig ('60)



Mesones
($\bar{q}q$)

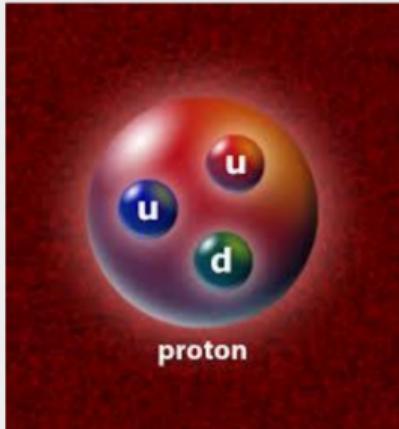
u: up d: down
c: charm s: strange

Bariones
(qqq)

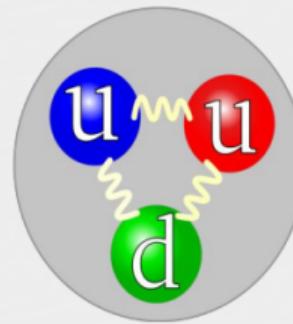


Dentro del protón

16



Quarks y gluones



Glue: _____



→ Encolar

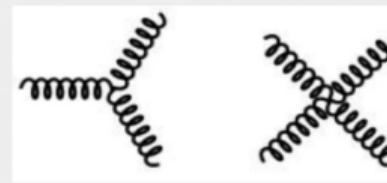
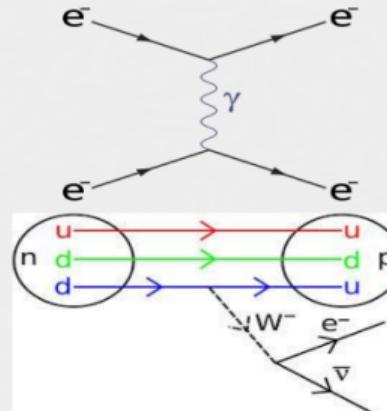
Las interacciones



Los mediadores

18

- Electromagnética: Fotón
- Débil: W^+ , W^- , Z^0
- Fuerte: 8 gluones
- Gravitatoria: ¿Gravitón?



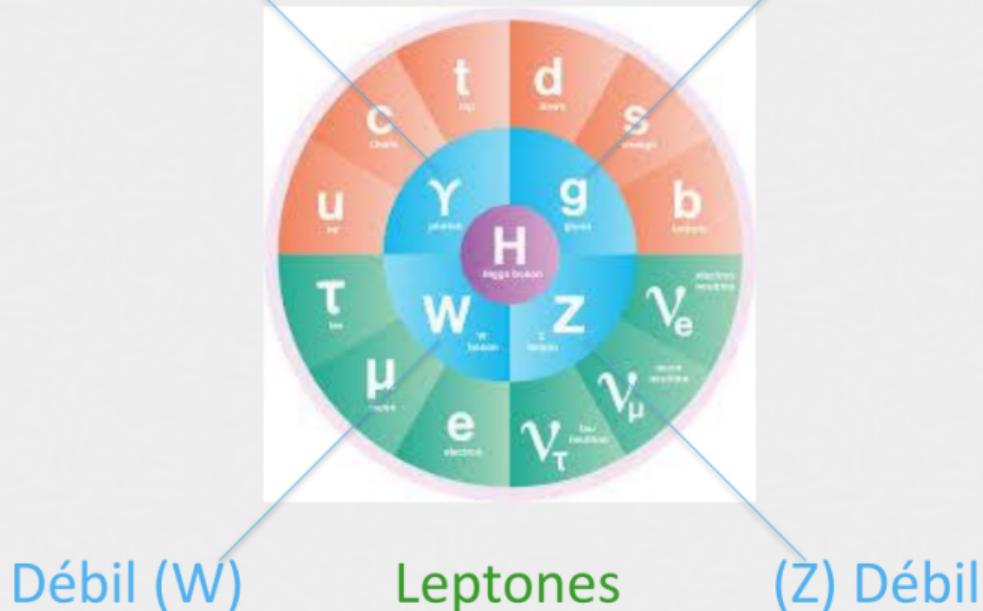
El modelo estándar

19

Electromagnética (Y)

Quarks

(g) Fuerte

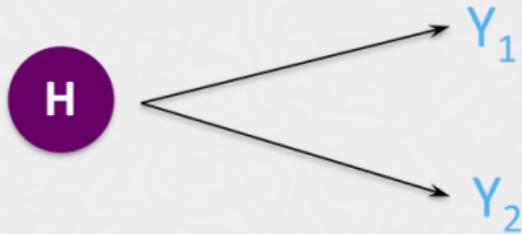


1^{ra} Generación: componente de la materia ordinaria

Midiendo el Higgs en ATLAS

20

¿Cómo detectamos el Higgs?



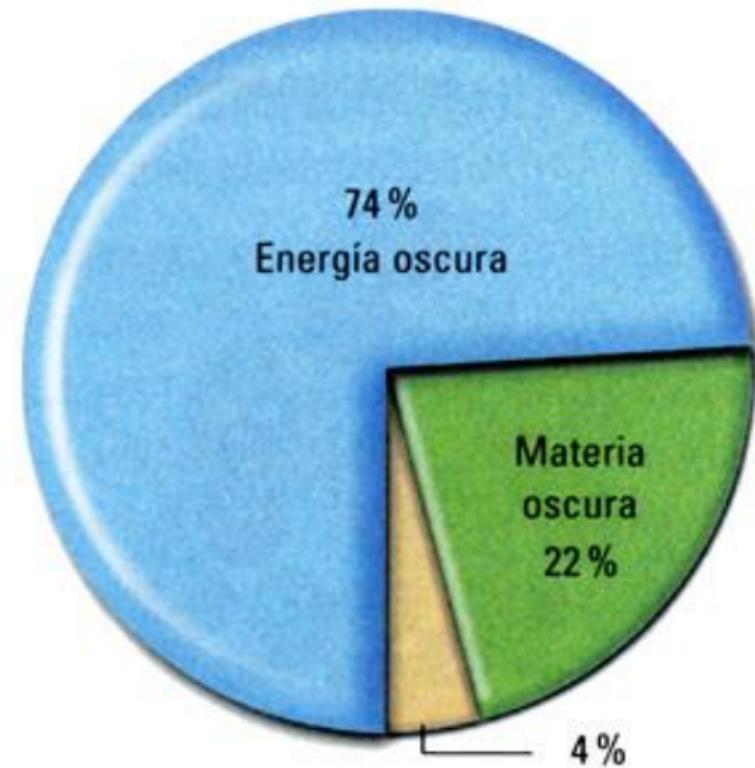
“+” Equivalencia entre Masa y Energía
 Conservación de la Energía
 Fotón no tiene masa

$$\text{Masa de } H = \text{Energía de } \gamma_1 + \text{Energía de } \gamma_2$$

el Modelo estándar NO es definitivo

21

- Porqué hay 3 familias?
- Porqué hay más materia que antimateria
- Cómo es que los neutrinos tienen masa?
- Cómo se describe cuánticamente la gravedad?
- Y la materia oscura?...



- Modelos con simetrías adicionales: Supersimetría, ...
- Modelos con dimensiones adicionales
- Modelos con Higgs adicionales
- ...

En particular,

- Modelos con un Z adicional (Z')
- Modelos con Gravitones

Large Hadron Collider

23

- Acelerador de protones
- 27 km de circunferencia 100m bajo tierra

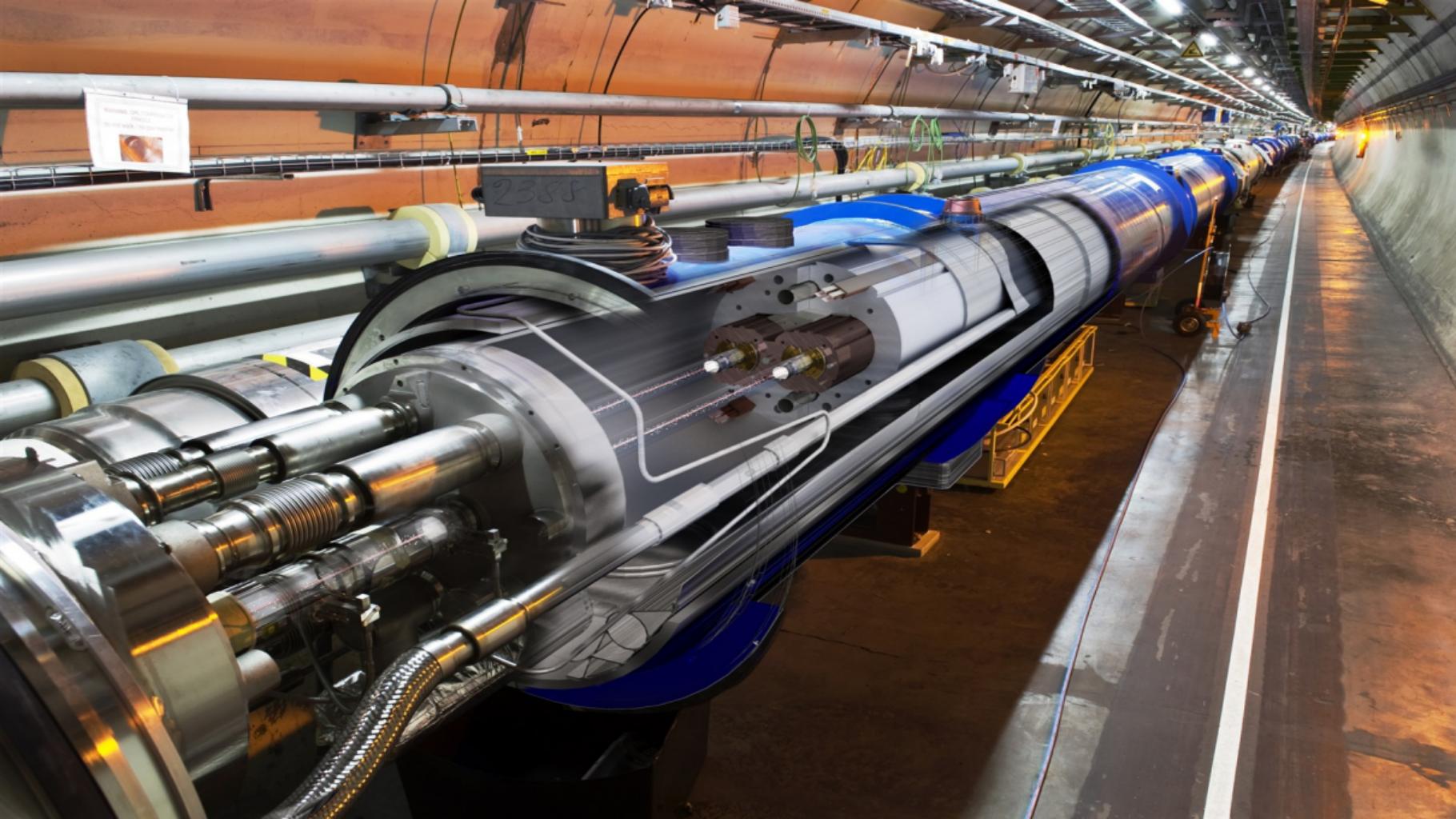


Características

- Energía de colisión = 14 TeV, Protones van a 99.9999991% de c
- Guía los protones con magnéticos de 8T (200.000 veces el campo terrestre)
- Imanes superconductores, enfriados a 1.9°K → -271°C
- Todo el acelerador al vacío (un edificio al vacío del espacio interestelar)

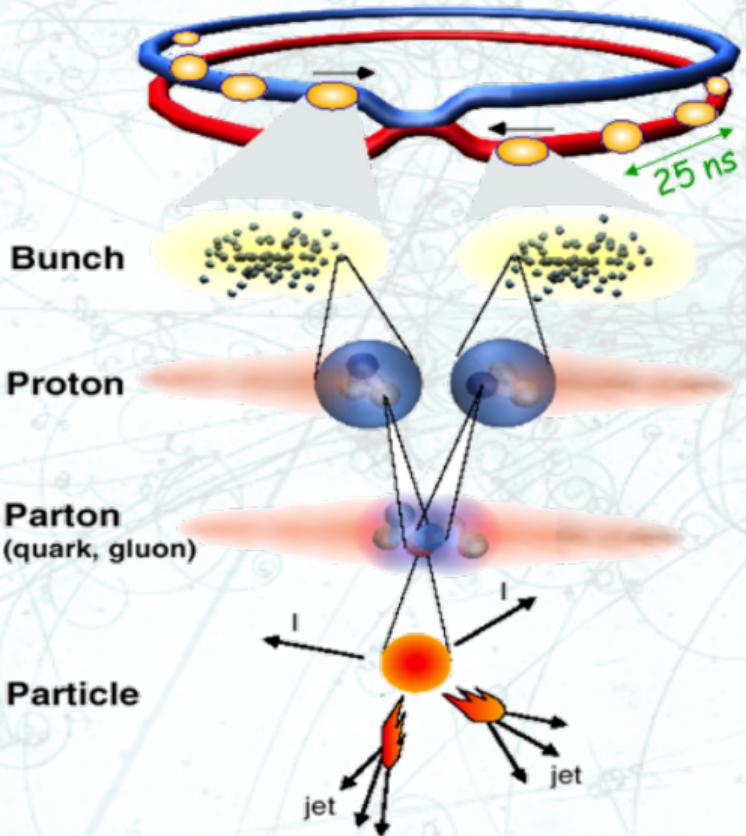
Altas energías:

- 1eV → Energía cinética de un electrón acelerado con 1V
- $14 \text{ TeV} = 14.000.000.000.000 \text{ eV} \sim 2.24 \cdot 10^{-6} \text{ joules}$
- Energía del aleteo de un mosquito → concentrado en **un sólo protón**



¿Cómo colisionan las partículas?

26



Protones por paquete 10^{11}

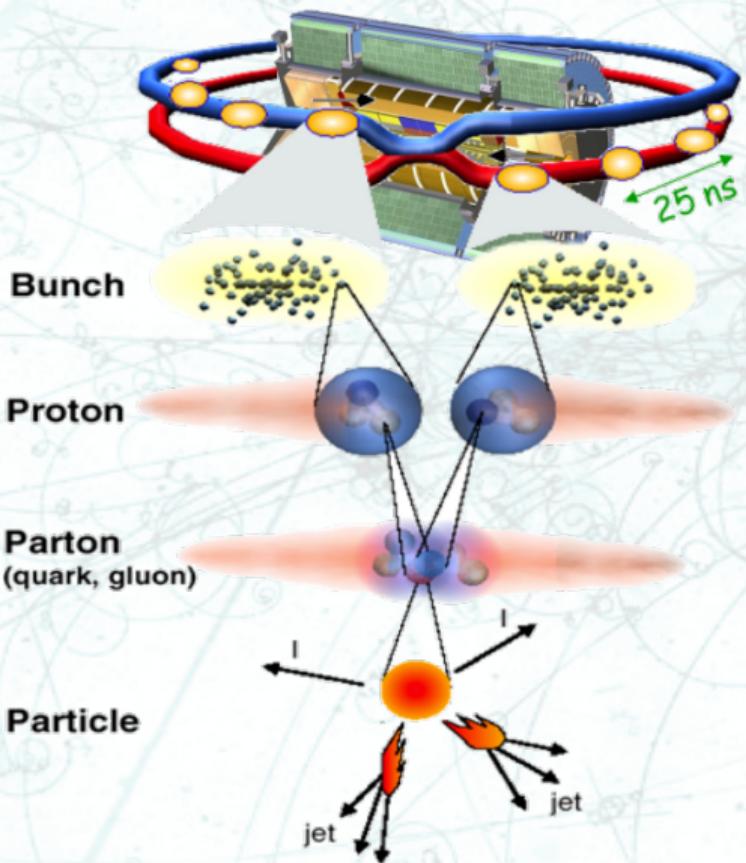
Interacciones por segundo
 $1.000.000.000 \rightarrow 10^9$

Eventos interesantes son
MUY raros

1 de cada
 $10.000.000.000.000 10^{13}$

¿Cómo colisionan las partículas?

27



Protones por paquete 10^{11}

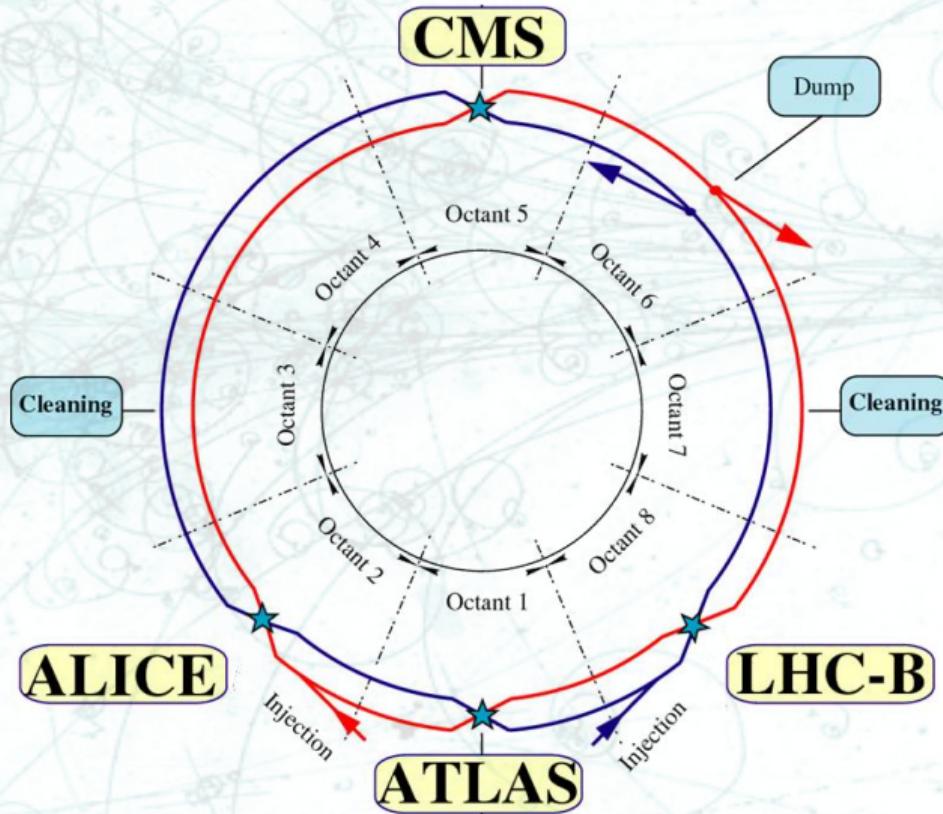
Interacciones por segundo
 $1.000.000.000 \rightarrow 10^9$

Eventos interesantes son
MUY raros

1 de cada
 $10.000.000.000.000 10^{13}$

Detectores en el LHC

28



¿Porqué colisionar partículas?

29

$$E = m \cdot c^2$$

- La masa y la energía son 2 caras de la misma moneda
- Si las acelero lo suficiente, de la interacción de 2 partículas se puede generar una nueva **más pesada que las originales**
- Esto es posible en el mundo subatómico donde rige la mecánica cuántica



¿Porqué colisionar partículas?

30

$$E = m \cdot c^2$$

- La masa y la energía son 2 caras de la misma moneda
- Si las acelero lo suficiente, de la interacción de 2 partículas se puede generar una nueva **más pesada que las originales**
- Esto es posible en el mundo subatómico donde rige la mecánica cuántica

Esto **NO** pasa en nuestro mundo macroscópico



¿Porqué colisionar partículas?

31

$$E = m \cdot c^2$$

- Colisionamos partículas para estudiar la naturaleza
- Para crear partículas conocidas y estudiar sus propiedades
- Para buscar partículas nuevas



Colaboración ATLAS

32



Argentina

- 5000 científicos
 - 180 instituciones
 - 38 países

2 ATLAS institutions (2 institutes)

24 (13) ATLAS members (authors) of which 6 students

Funding agency (contact physicist): Argentina (Maria-Teresa Doya)

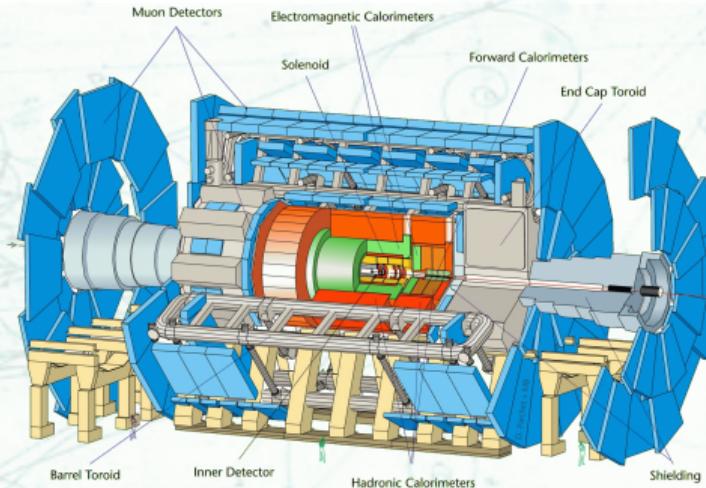
Member institutions:

- Instituto de Física La Plata, Universidad Nacional de La Plata and CONICET, La Plata ↗
 - Departamento de Física, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires ↗

El detector ATLAS

33

- Detector multipropósito
- 46m largo x 25m diámetro x 7000 Tons (100 Boeing 747)
- 100 m bajo tierra en el LHC

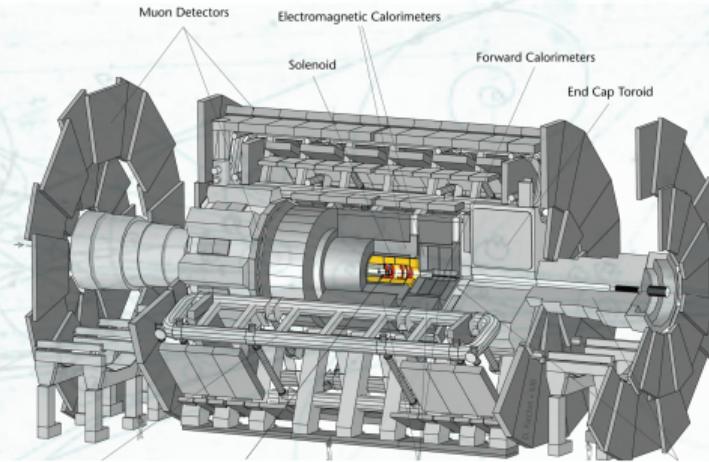
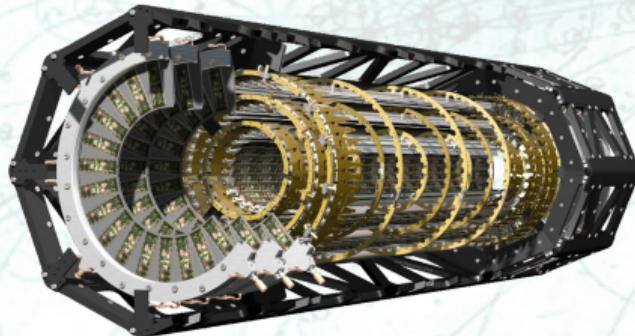


El detector ATLAS

34

ATLAS está compuesto por:

- Detector Interno



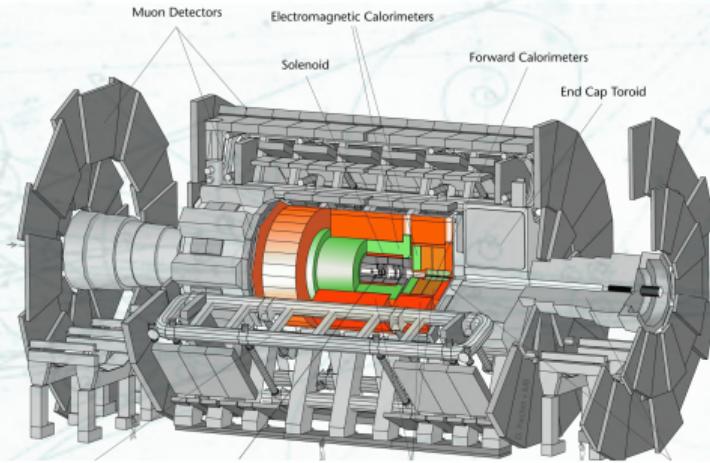
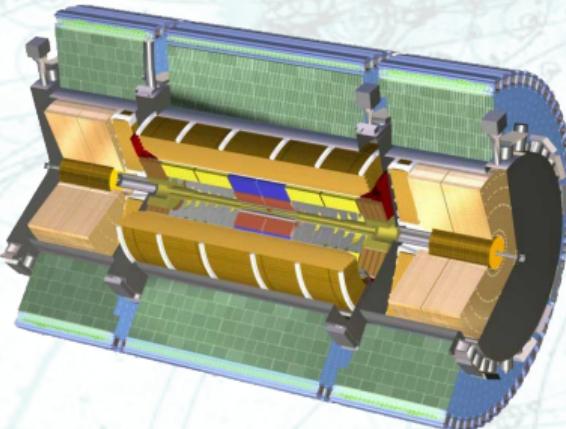
- Permite medir las trazas que dejan las partículas cargadas
- Tiene casi 100 M canales (100M pixels)
- Toma 40.000.000 fotos/s (y guardamos 1000/s)

El detector ATLAS

35

ATLAS está compuesto por:

- Detector Interno
- Calorímetros



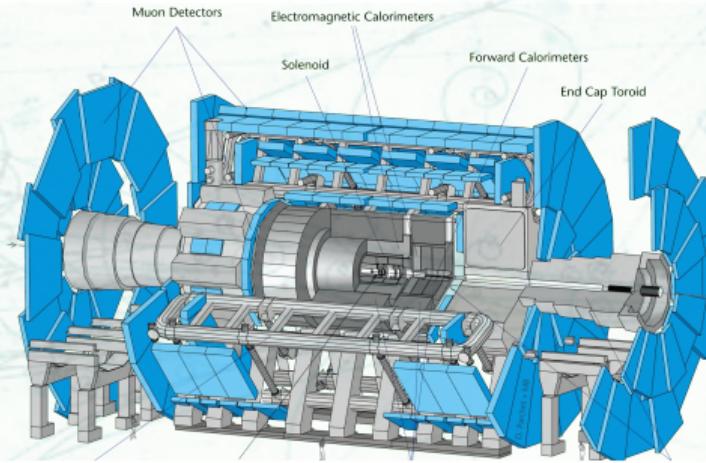
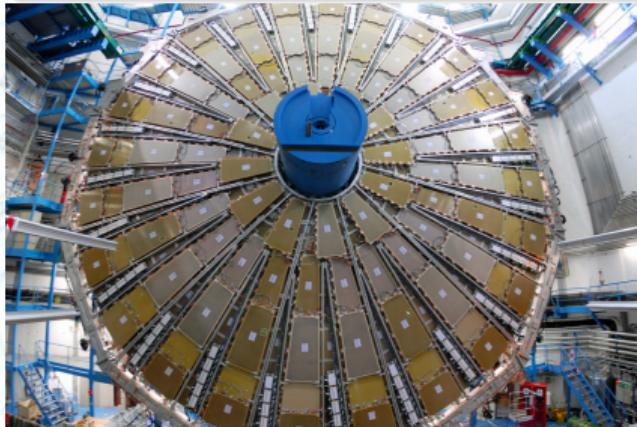
Con los calorímetros, se puede medir la energía que traen las partículas

El detector ATLAS

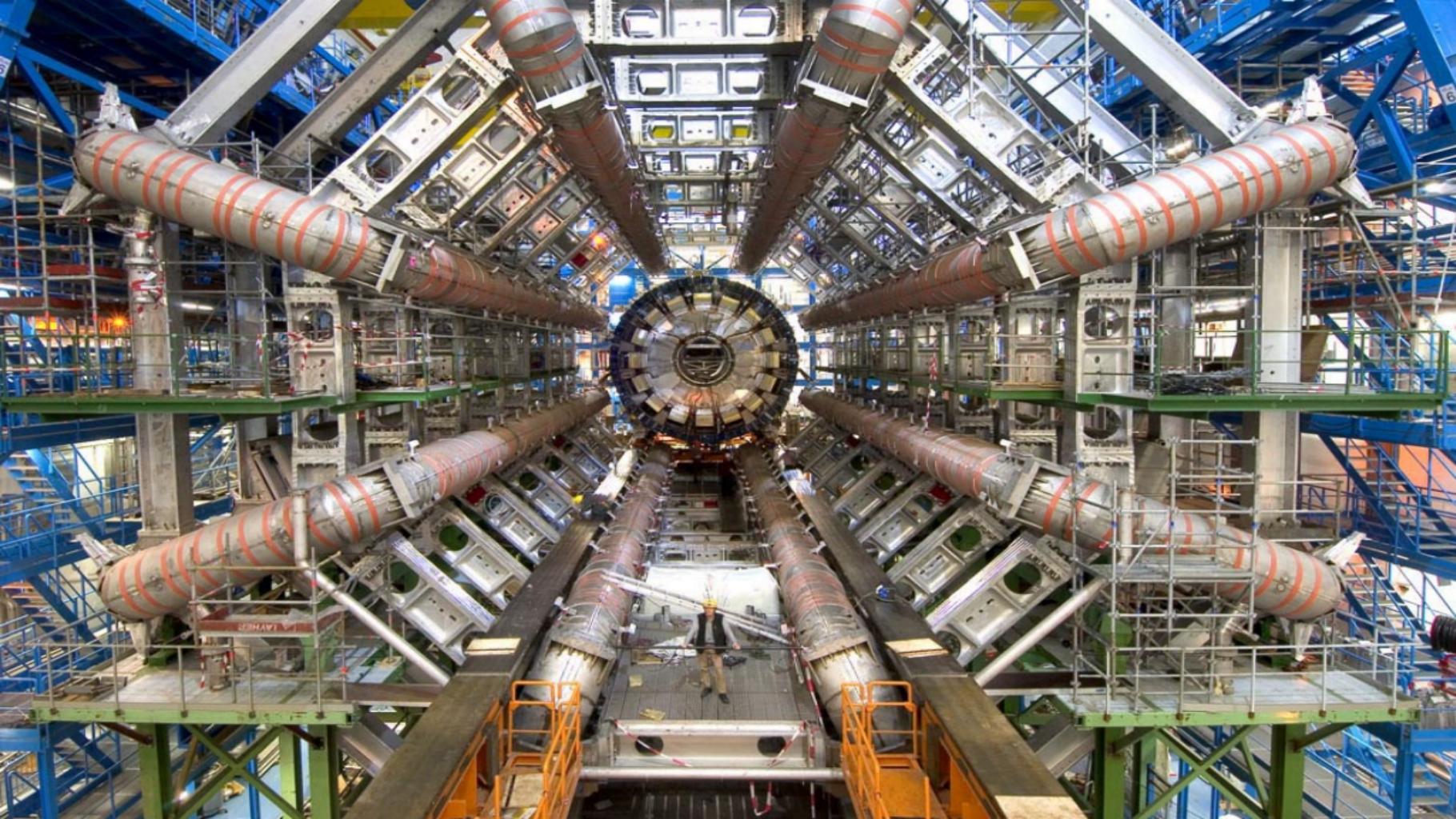
36

ATLAS está compuesto por:

- Detector Interno
- Calorímetros
- Detector de muones

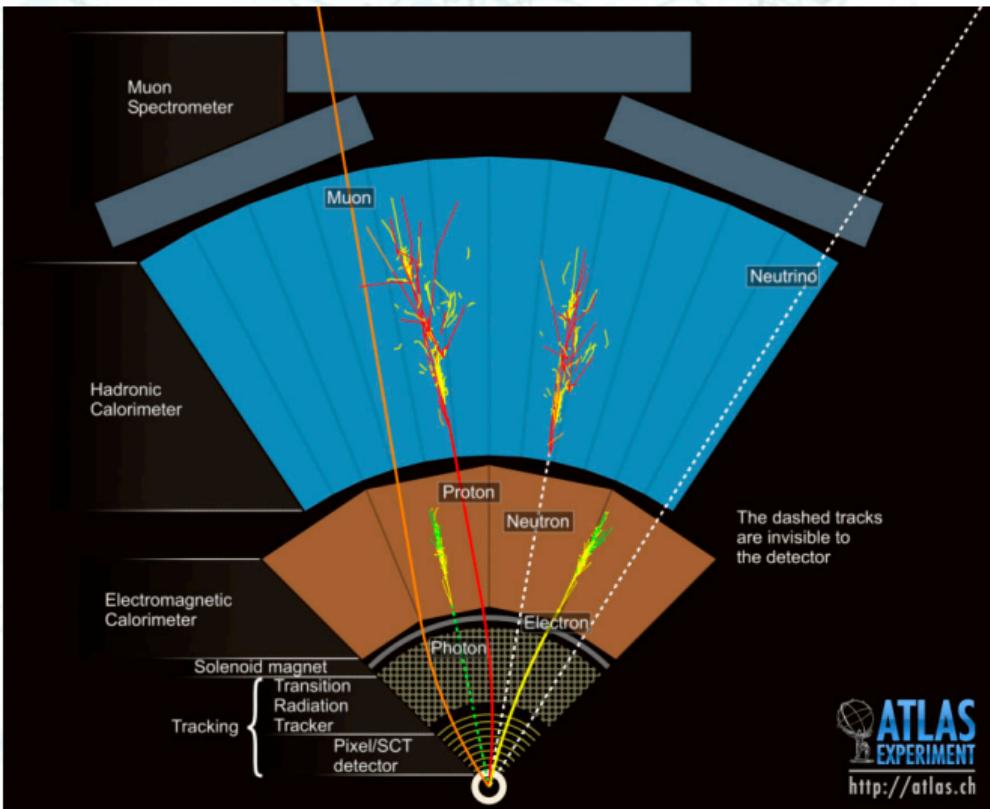


Los muones interactúan muy poco, por eso atraviesan los calorímetros. El detector de muones está inmerso en unos toroides que generan un campo magnético de 4T (100.000 veces el campo magnético terrestre)



¿Cómo se ven las partículas?

38

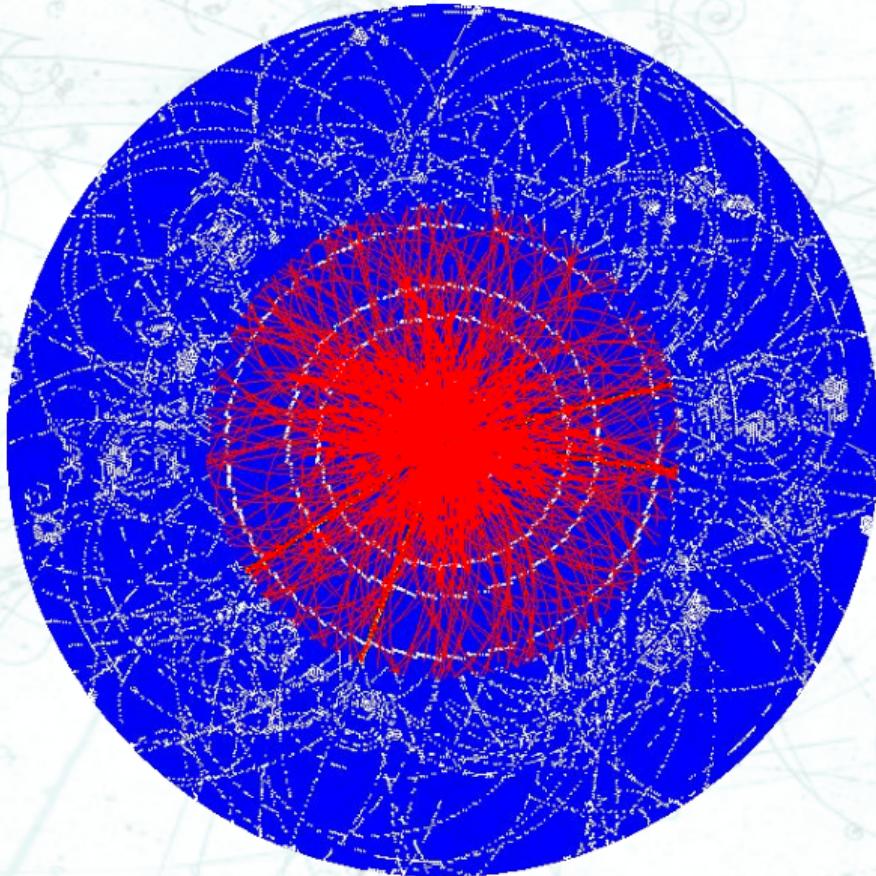


Partícula	Masa	carga
γ	0	0
e	511 keV	-
μ	105 MeV	-
p	938 MeV	+
n	939 MeV	0
neutrino	< 3 eV	0

- El campo magnético desvía a las partículas cargadas
- Y **sólo** a las cargadas
- Cuanto menos momento, más se desvían

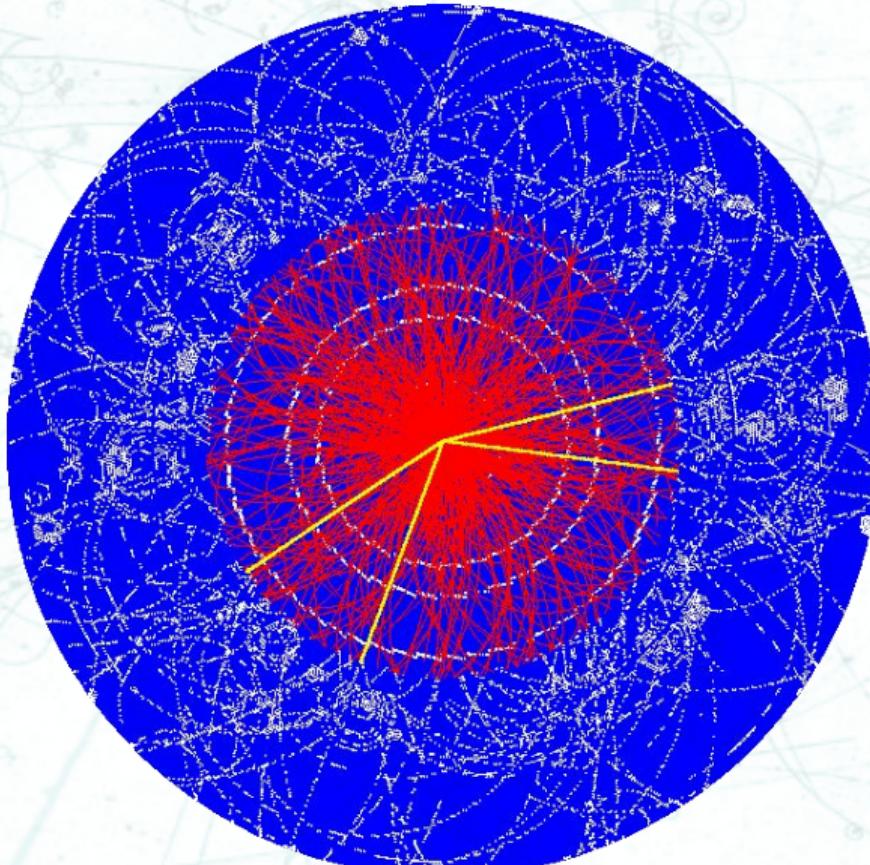
Un evento en ATLAS

39

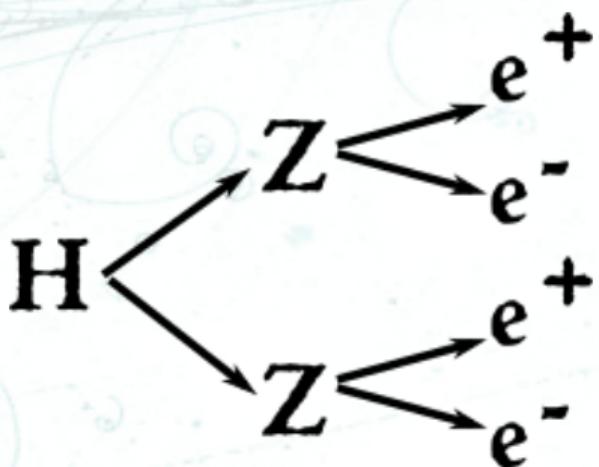


Un evento en ATLAS

40



Esto es un Higgs decayando a $2Z$, c/u a e^+e^- .
Hay que encontrarlo ahí



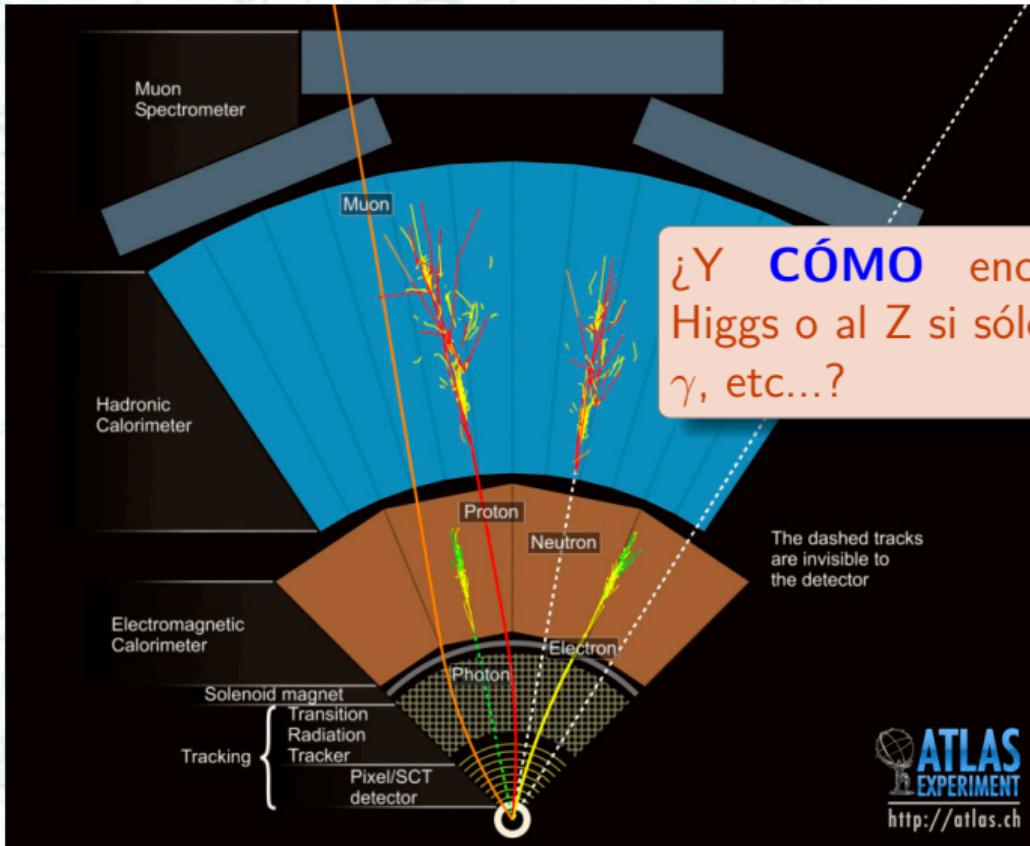
Un evento en ATLAS

41



¿Cómo se ven las partículas?

42



¿Y CÓMO encuentro al Higgs o al Z si sólo veo e, μ , γ , etc...?

Las partículas decaen

43

- Las partículas que nos interesan:
 - "Aparecen" eventualmente cuando colisionan protones
 - "se desintegran" instantáneamente después de producirse → Decaen
- Mucho **antes** de que esa partícula viaje hasta el detector
- Cuando una partícula **decae** aparecen otras
- Sólo podemos detectar en ATLAS el producto de ese decaimiento



LA ecuación

44

$$E = m \cdot c^2$$

- La ecuación de Einstein nos dice la relación que hay entre la Energía y la masa de la partícula



LA ecuación

45

$$E^2 - c^2 \cdot P^2 = m^2 \cdot c^4$$

- Esta es la relación entre masa y energía, teniendo en cuenta la energía cinética de la partícula cuando está en movimiento
- P es el momento $\rightarrow P \sim m \cdot V$ a velocidades bajas

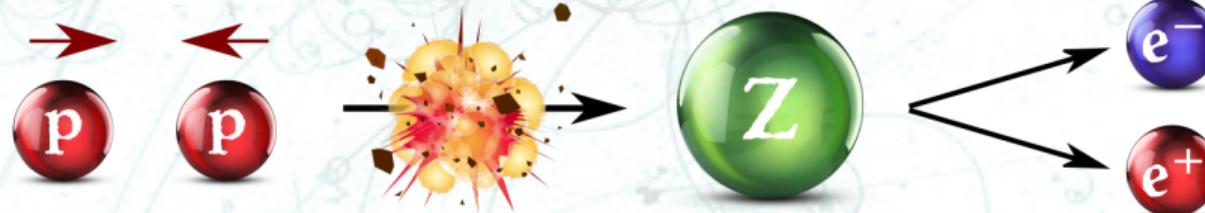


LA ecuación

46

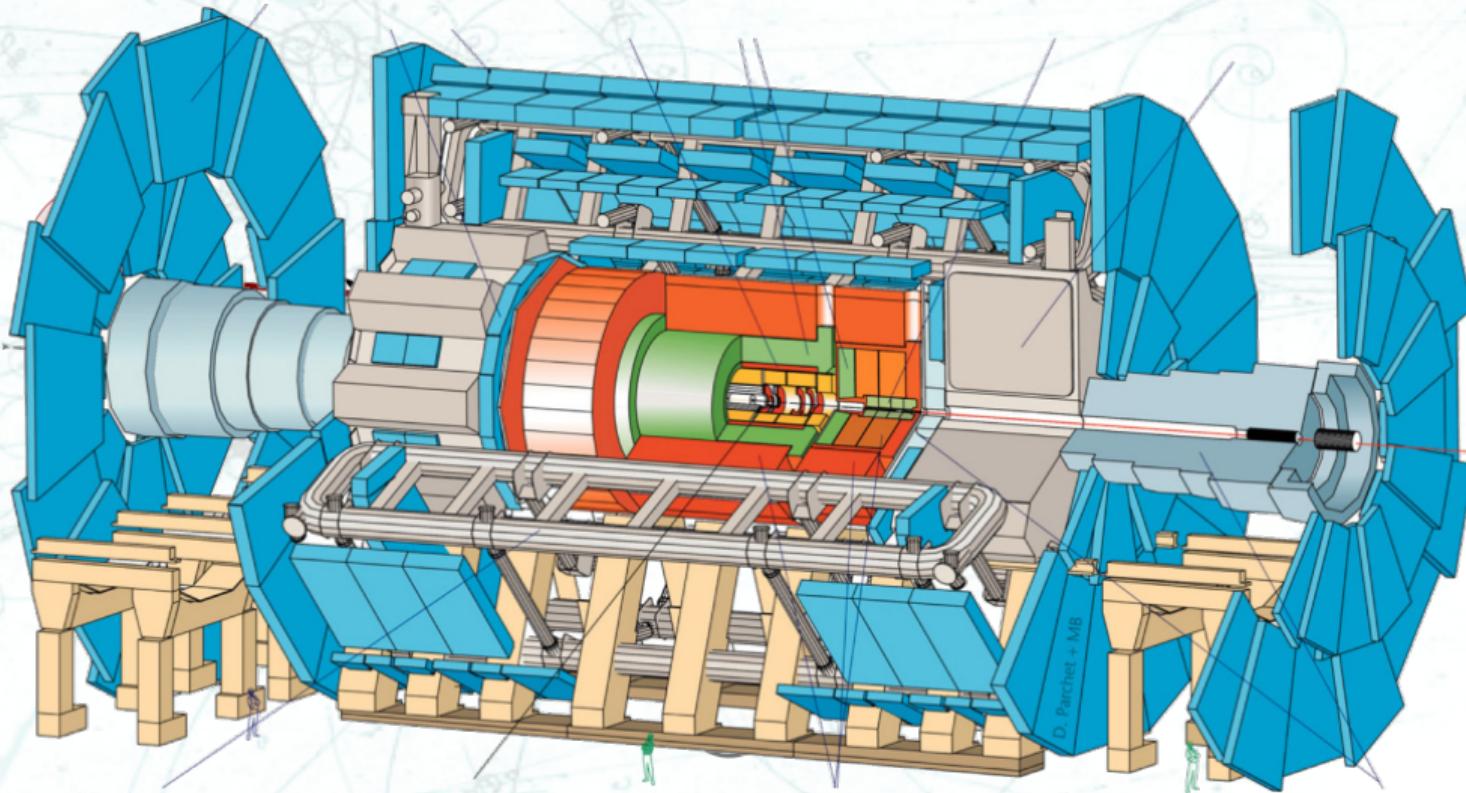
$$(E_1+E_2)^2 - c^2 \cdot (P_1+P_2)^2 = m^2 \cdot c^4$$

- La Energía y el momento se conserva en el proceso de decaimiento
- Las partículas 'hijas' tienen la información de la partícula 'madre'



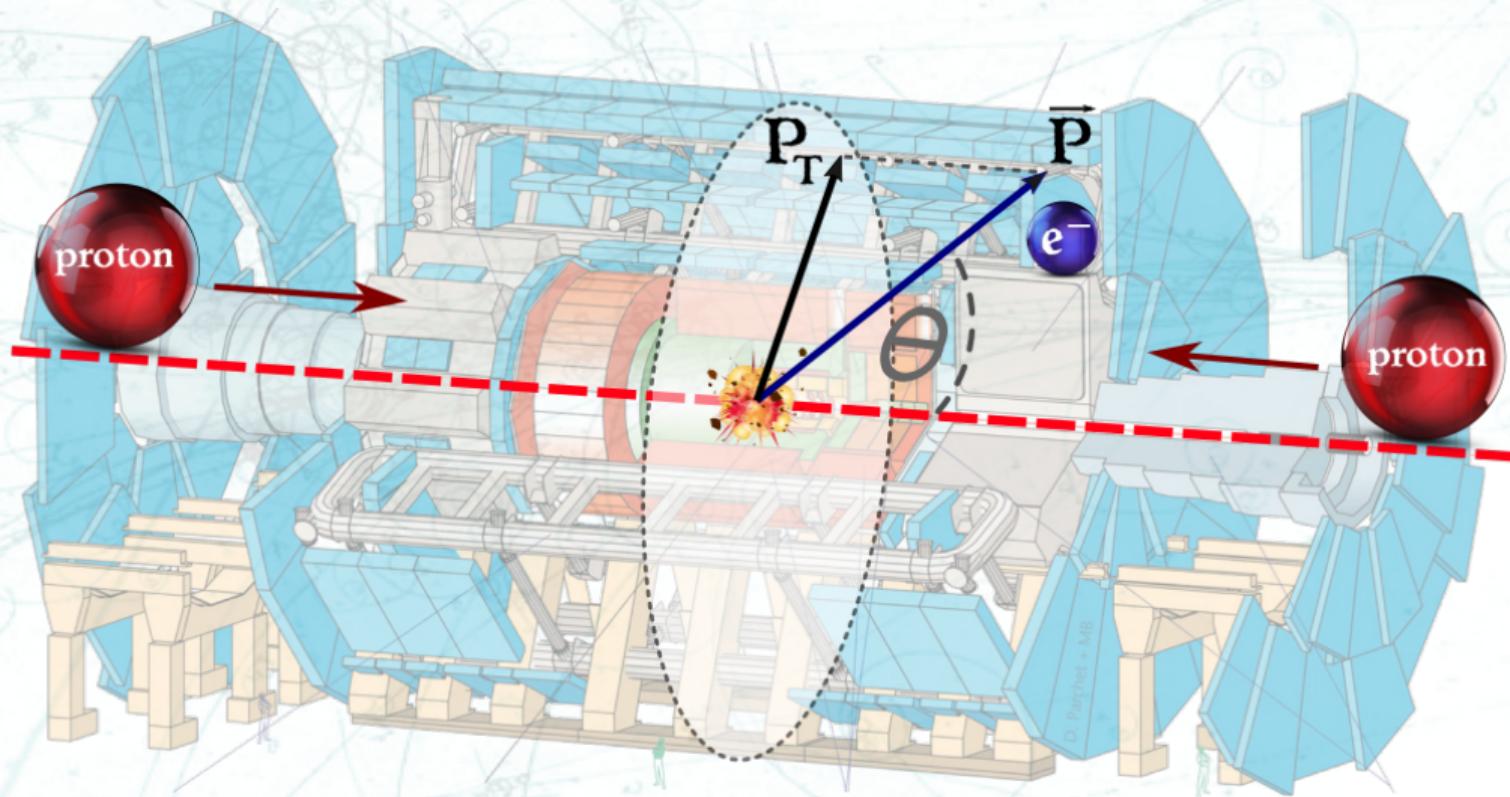
Coordenadas en ATLAS

47



Coordenadas en ATLAS

48



¿Como identificar a la 'madre'?

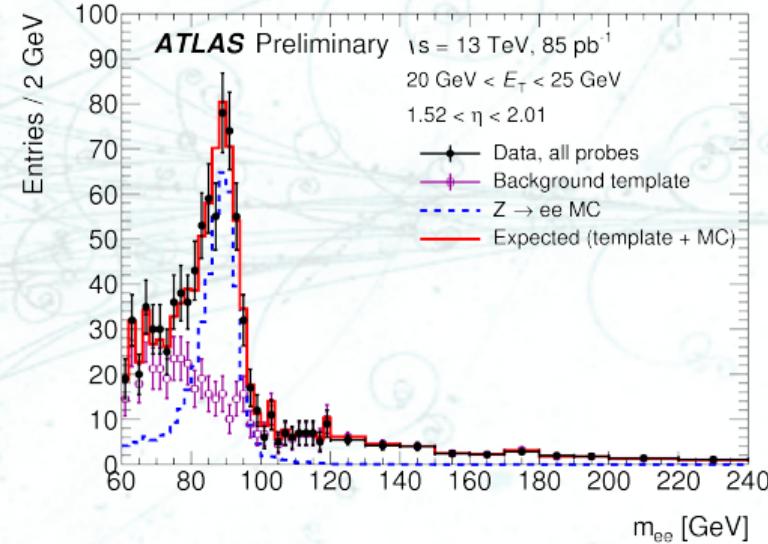
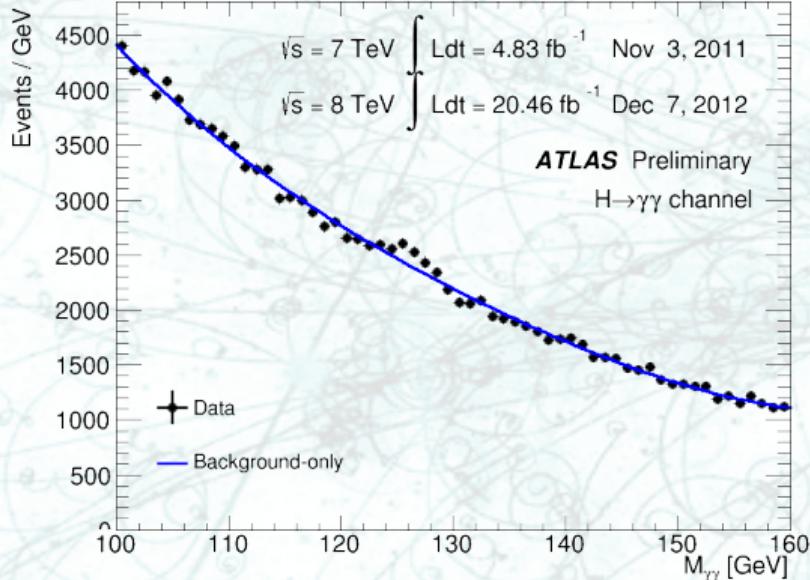
49

Por ejemplo, si buscamos el Z decayando a e^+e^- :

- Hay que identificar eventos un par e^+e^- detectado por ATLAS
- No sabemos si esas que encontramos en el evento vienen o no de la partícula madre, o no tienen nada que ver entre si
- **Pero** si es que llegan a venir de un decaimiento, la masa invariante **ES** la masa de la madre
- Hay que contar, cuantos eventos tienen partículas 'hijas' en cada valor de masa invariante → **Histograma**

El Higgs y el Z

50



- Masa invariante de dos fotones en ATLAS
- Masa invariante de e^+e^- en ATLAS

Muchos datos para analizar

51

Datos: ~ 4.5 PetaBytes/año

4MB foto digital

25GB un Blu-Ray

64GB iPhone-X

1TB Producción anual de libros en todo el mundo

4.5 PB Volumen de datos en ATLAS en 1 año

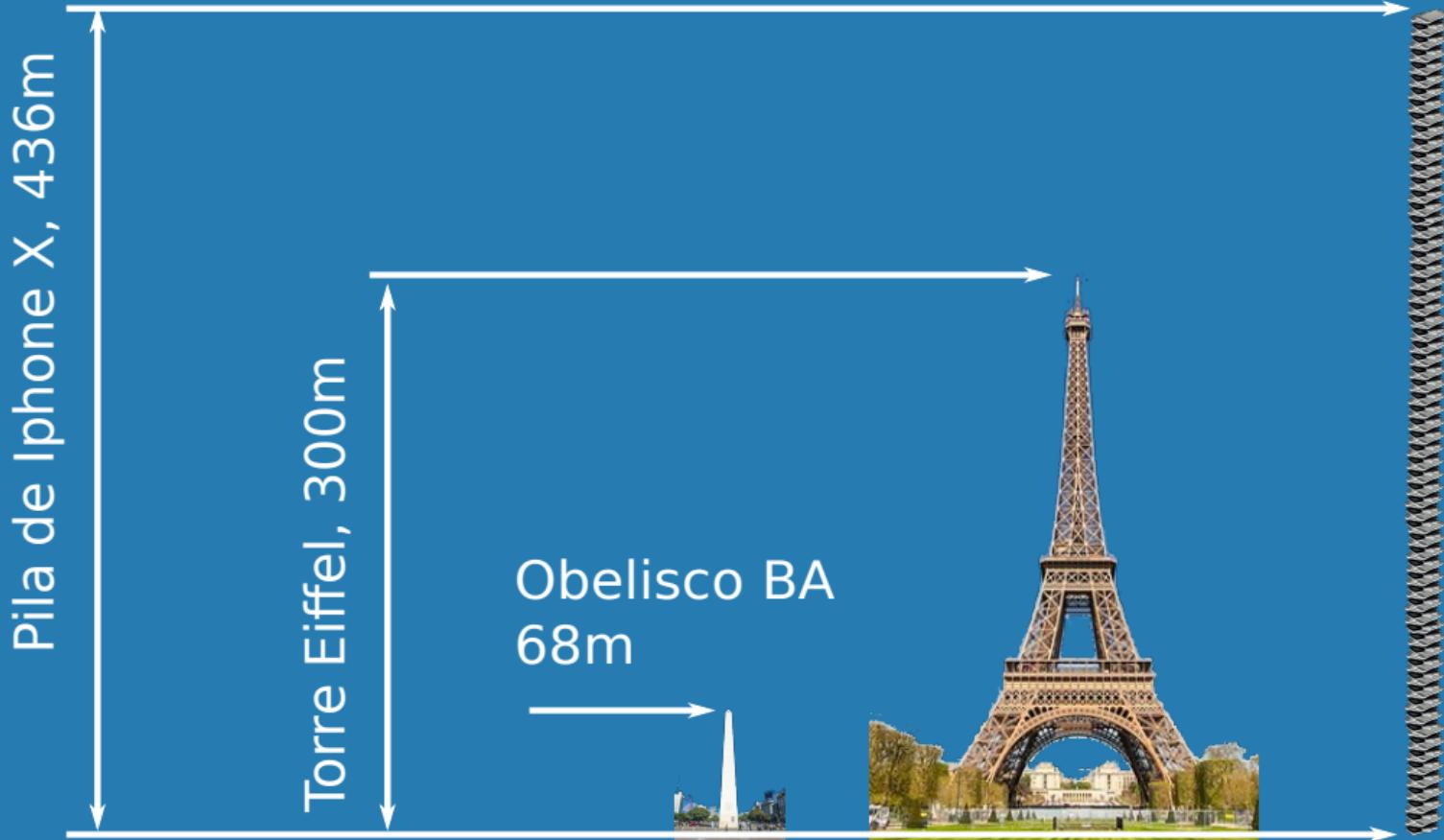
1EB = 1000 PB Producción anual de información de todo el mundo

¿Cuántos iPhones X llenaríamos con un año de datos del LHC?



1 año de datos del LHC

52



GRID Computing



GRID Computing

54



- La GRID es una infraestructura que sirve para compartir recursos de almacenamiento y de cómputo distribuidos alrededor del mundo
- Así como la web es una infraestructura para compartir información
- Acá en la UNLP tenemos un sitio que pertenece a la GRID



- En esta práctica vamos a hacer un análisis de datos de ATLAS
- Son una fracción de los datos utilizados para el descubrimiento de H
- También están metidos eventos simulados con Z' y con Gravitón

BACKUP