

La simetría y simplicidad de las Leyes de la Física

Juan Martín Maldacena

Institute for Advanced Study

La bella y la bestia





Simetría
Simplicidad
Elegancia

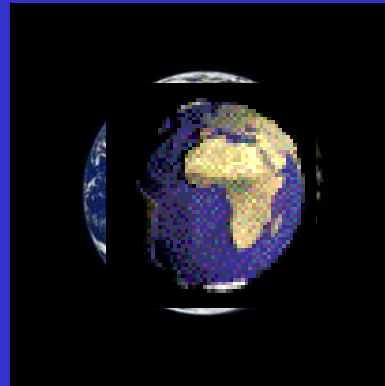
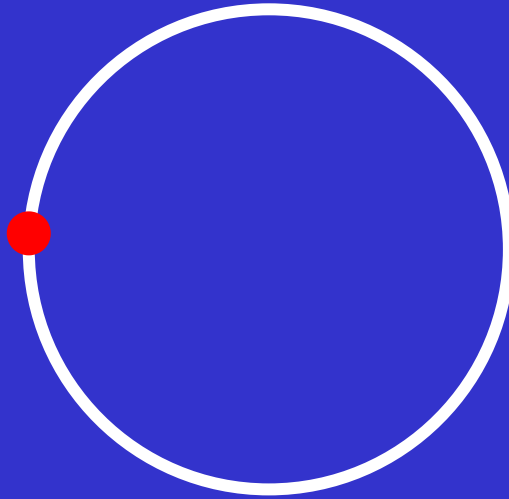
Fuerzas de la naturaleza
Electromagnetismo
débil
fuerte
gravedad



Complicado
Misterioso

Ruptura de la simetría
(Bosón de Higgs)

Necesitamos a ambos para comprender la naturaleza
Somos los hijos de este matrimonio!



Las simetrías de la naturaleza están ocultas,
y llevó tiempo y esfuerzo descubrirlas



Las fuerzas de la naturaleza se basan
en ciertas simetrías

4 Fuerzas:

Electromagnetismo

Débil

Fuerte

Gravedad

Electromagnetismo

- Electricidad y magnetismo.
- Fuerza dominante en nuestra vida cotidiana: átomos, química, etc.
- Permaneció casi oculta hasta hace unos 300 años, debido a que las cargas positivas y negativas se cancelan casi exactamente en la materia.
- Dio lugar a grandes desarrollos tecnológicos.

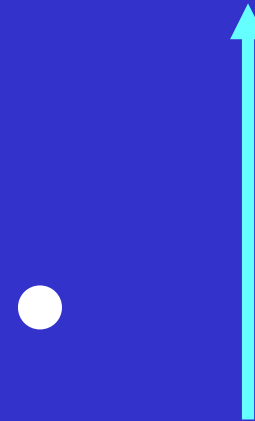
Campo eléctrico

Empuja a las cargas



Campo magnético

Hace doblar a las cargas



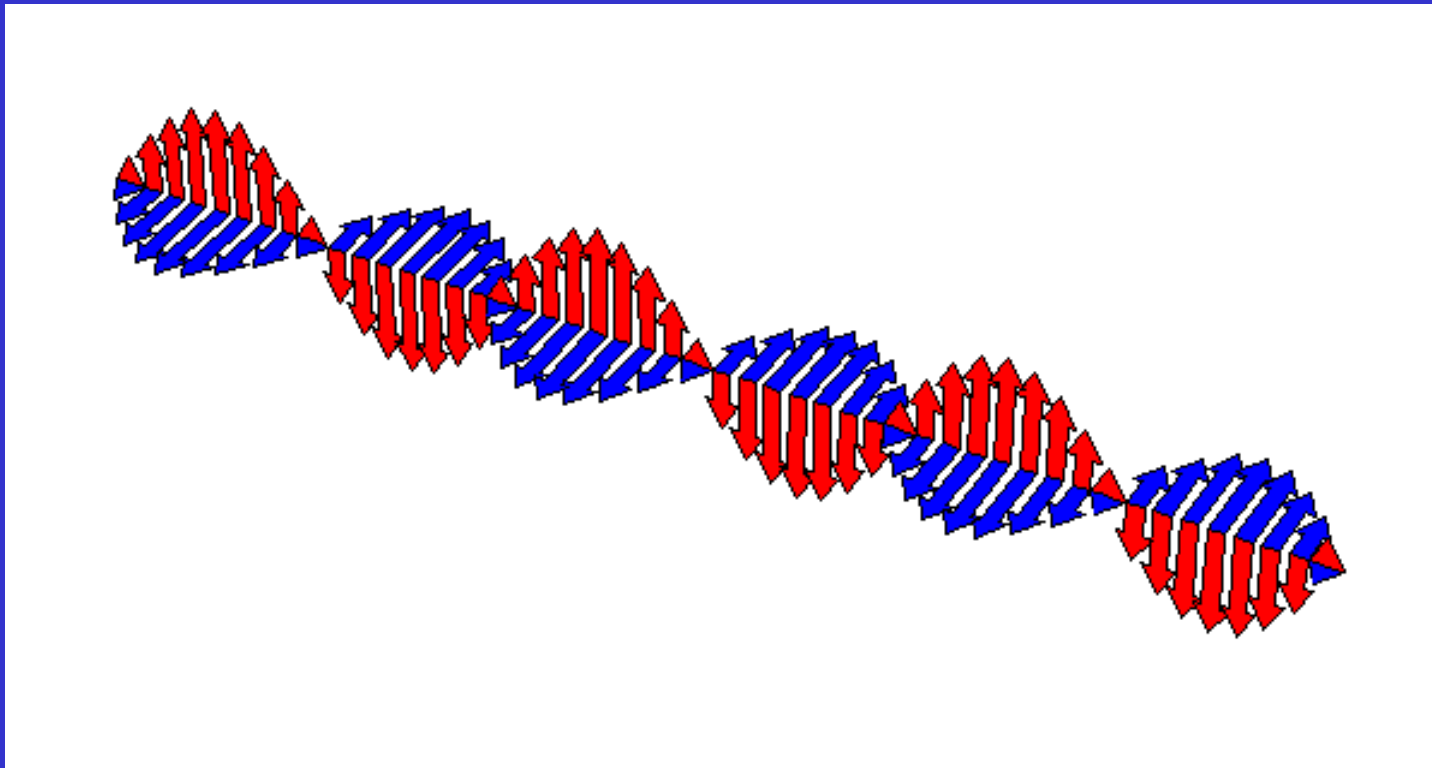
Relatividad → leyes de la física son las mismas para dos observadores en movimiento

Campos eléctricos y magnéticos están relacionados

Los campos eléctricos y magnéticos tienen dinámica propia y pueden oscilar.

Ondas electromagnéticas:

Luz, ondas de radio, rayos X, etc.



El electromagnetismo se basa en una simetría:
Simetría de “gauge” o de medida.

Analogía monetaria

Dólar



3 reales = 1 dólar

3 pesos = 1 dólar
3.000 A = 1 dólar



Peso

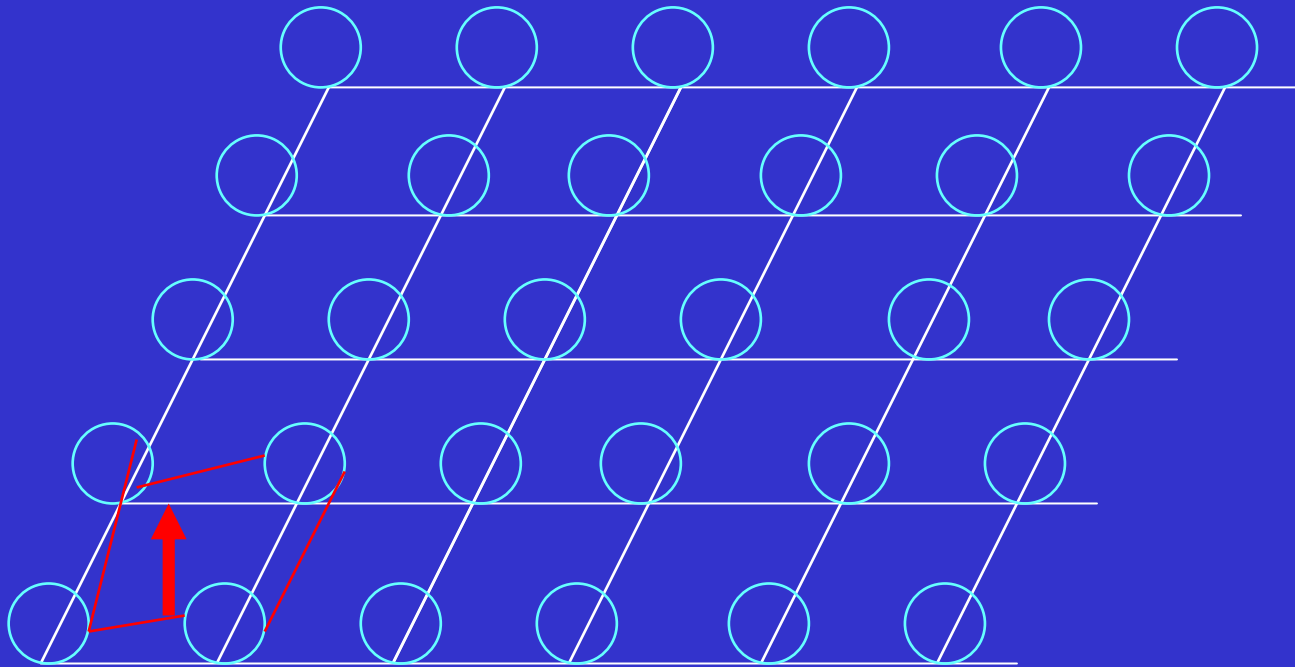
1 peso = 1.000 A

Real



1.000 A = 1 real
10 pesos = 1 real

Cambio de moneda \rightarrow rotación en el círculo, transformación de gauge
Tipo de cambio \rightarrow potencial electromagnético
Especuladores \rightarrow electrones
Oportunidades para especular \rightarrow campo magnético



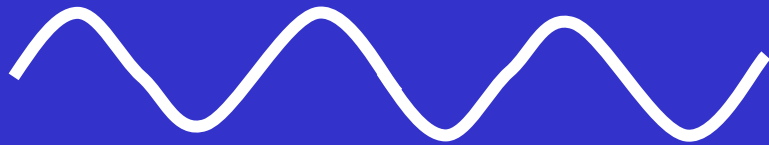
Rotaciones del círculo en cada punto del espacio-tiempo

Una partícula cargada se mueve en este círculo

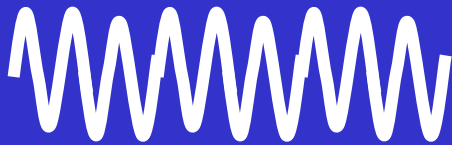
Mecánica cuántica

- A pequeñas distancias las leyes de la física son probabilísticas.
- Las energías de muchos sistemas suelen estar quantizadas.
- Ondas electromagnéticas están quantizadas
- Partículas y ondas.

Unidad más pequeña de onda electromagnética: Fotón



Menos energía

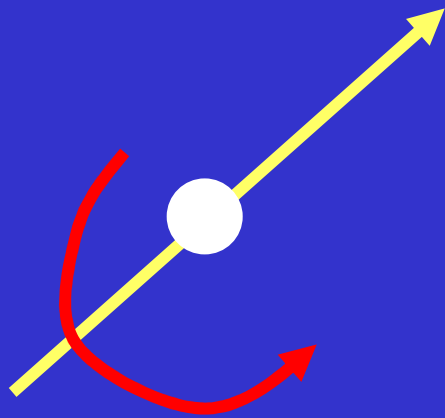
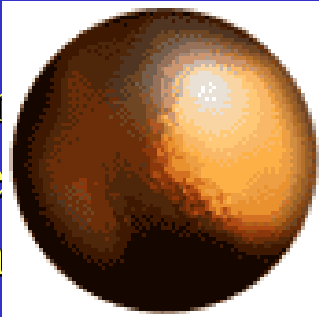


Más energía

Energía \sim frecuencia de la onda

Rotación

Un elemento elemental puede rotar
Pequeña cantidad de rotación,
una unidad



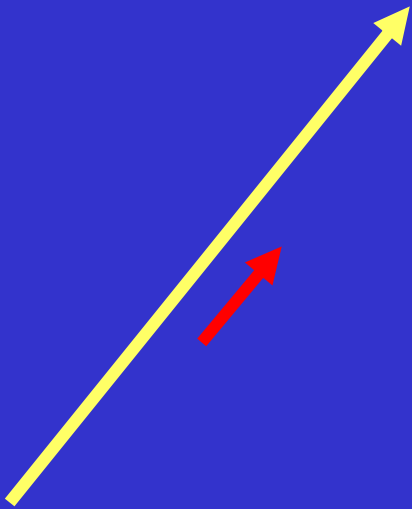
fotón

Dirección
de movimiento



Dos fotones con la misma dirección, energía
y “spin” son idénticos

Electrón



$$\text{spin} = \frac{1}{2}$$

Una unidad de carga

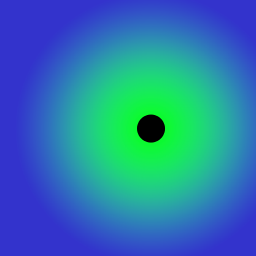


Para un electrón en reposo →
relacionados por una rotación

Electromagnetismo

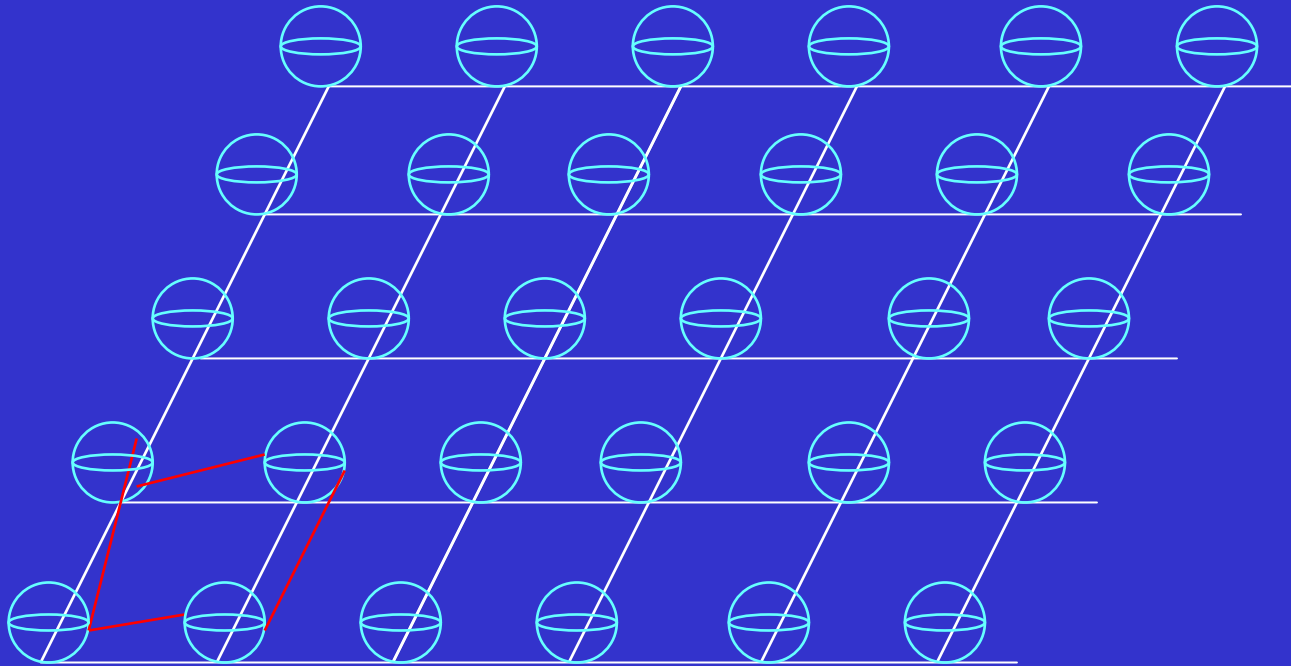
- Un círculo en cada punto del espacio tiempo
- Electrón tiene carga
- El electrón tiene spin
- El electrón tiene una cierta masa
- Núcleos + electrones con sus interacciones electromagnéticas explican, en principio, la gran mayoría de los fenómenos que observamos diariamente.

Tamaño de un átomo $\sim 1/(\text{masa del electrón})$



La fuerza débil

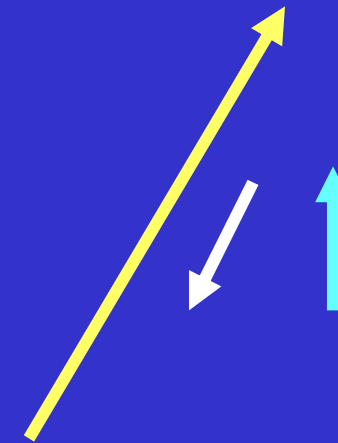
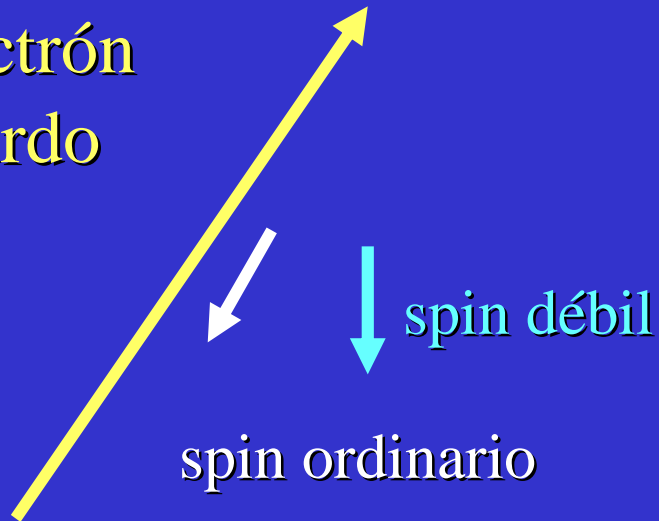
- Es como tener una esfera en cada punto del espacio



- rotaciones: 3 variables \rightarrow 3 partículas de spin 1 y de masa cero. 3 “fotones débiles”.
- El electrón puede rotar en esta esfera
- La simetría de medida (de rotación de las esferas) determina las interacciones entre todas estas partículas

Para la fuerza débil hay dos tipos de electrones

electrón
zurdo



neutrino

electrón
diestro

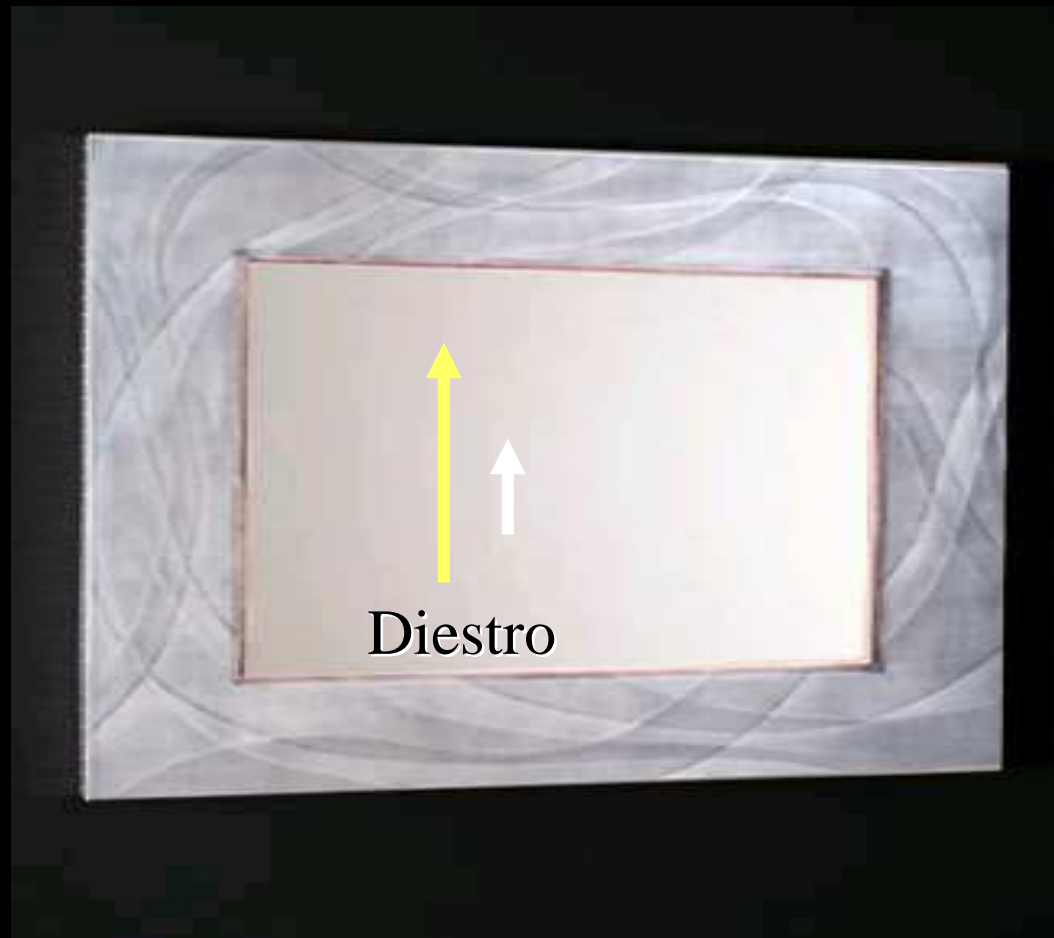


Sólo parecería funcionar
si el electrón no tuviera masa



Zurdo

Diestro



Las leyes de la naturaleza no son simétricas ante una reflexión en un espejo. Sólo existen los neutrinos zurdos



Fuerzas

Electromagnetismo

Débil

Fuerte

Partículas

electrón zurdo y neutrino

electrón diestro

quarks (zurdos y diestros)

Muy simple

Todas las partículas no tienen masa

Basada en simetrías

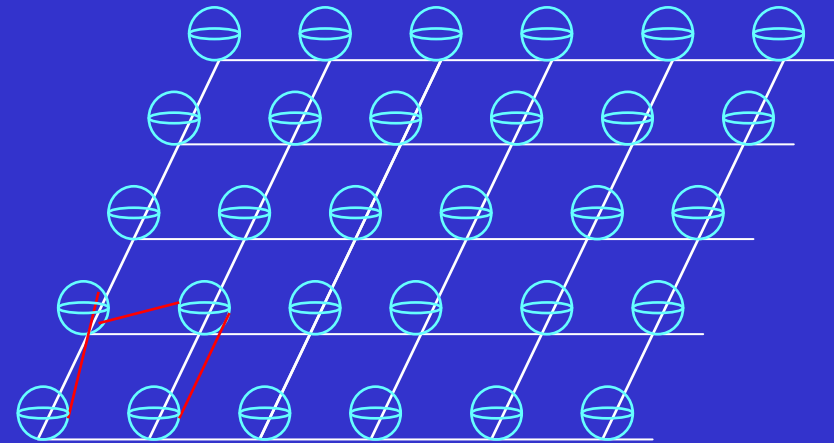
Magnitud de las fuerzas es bastante similar

Antiguo



Atlas sosteniendo
la esfera celeste.
Una esfera para todo el espacio

Moderno



Una esfera en cada punto
del espacio

- No es lo que vemos diariamente
- La masa del electrón es incompatible con la simetría débil
- No vemos 4 tipos de luz
- No vemos tan fácilmente a los neutrinos como a los electrones.



La bestia

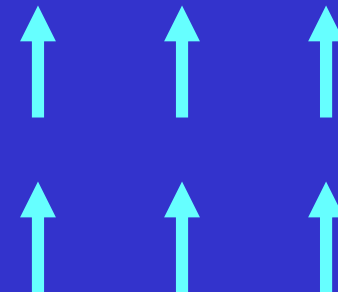
El bosón de Higgs (o algo similar)

Partícula

sin spin ordinario

spin débil $1/2$

El vacío esta lleno de estas partículas,
todas sin momento y en el mismo estado

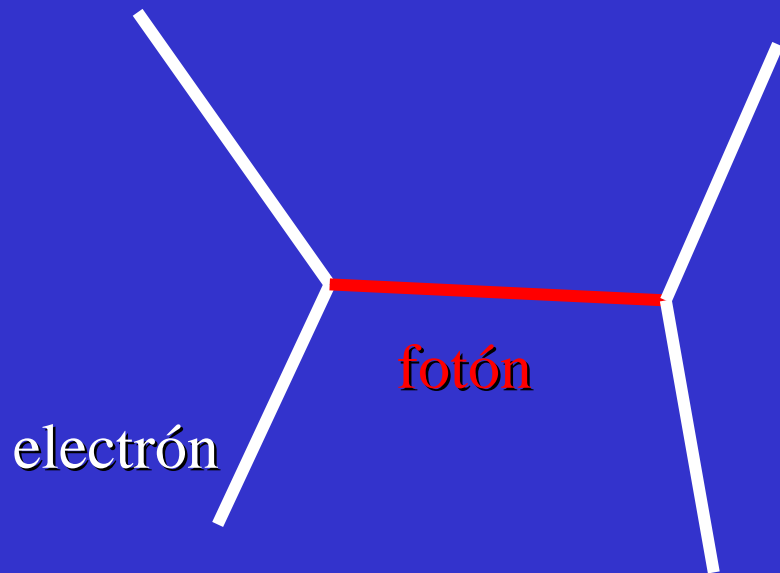




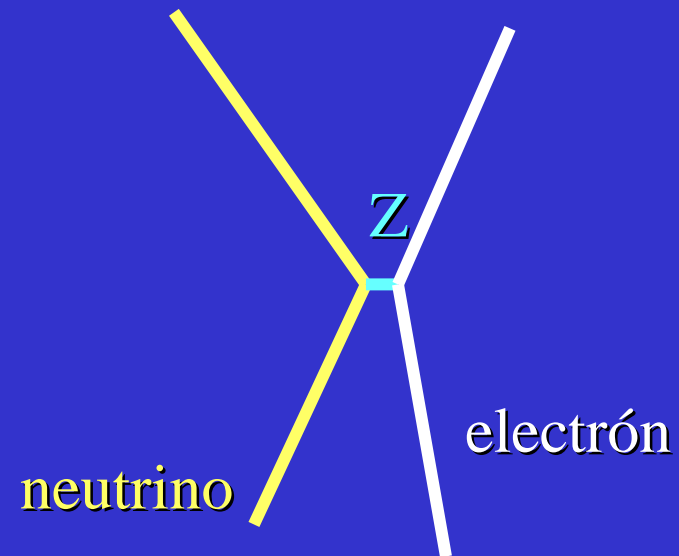
Electrón diestro y el zurdo pueden interactuar con las partículas de Higgs
Esta interacción le da masa al electrón.

Como el neutrino es solo diestro permanecería sin masa (interacciones con
en antineutrino y las partículas de higgs le dan una masa muy pequeña)

Los fotones débiles adquieren una masa ya que tienen **spin débil** \rightarrow W, Z
Cuesta hacer girar las esferas en relación a las partículas de Higgs
que llenan el espacio



No necesita pasar
muy cerca



$$\Delta E \Delta T > \hbar$$

No necesita pasar
muy cerca

Cómo descubriremos el origen de la ruptura de la simetría electrodébil?

- Altas energías \rightarrow pequeñas distancias
- Necesitamos un microscopio muy poderoso

An aerial photograph of the Geneva region in Switzerland, showing the city of Geneva and the surrounding landscape. A large red oval is drawn over the image, representing the path of the Large Hadron Collider (LHC) tunnel. The text 'LHC' is written in large red letters at the top, and 'Ginebra' is written in yellow letters to the right. At the bottom right, the text '27 Km de largo' is written in yellow.

LHC

Ginebra

27 Km de largo

LHC = Large Hadron Collider

Gran colisionador de partículas gordas

Gran colisionador de protones

Pequeño colisionador de electrones

Pequeño colisionador de electrones



Televisor vs LHC

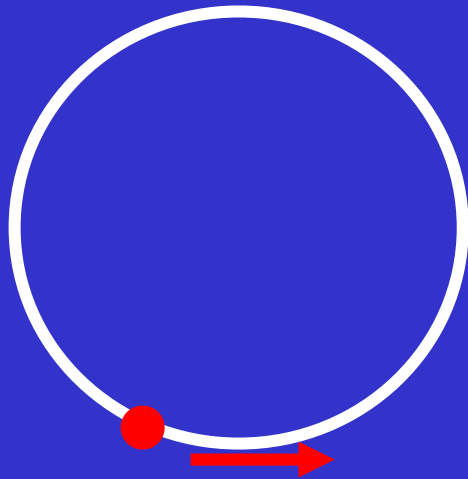
Energía que se le imparte a la partícula

Televisor: 14.000 Voltios

LHC 14.000.000.000.000 Voltios

El LHC le entrega al protón mil millones de veces mas energía que un televisor

Ponemos mil millones
de televisores uno atrás del otro ?
→ Distancia a la luna



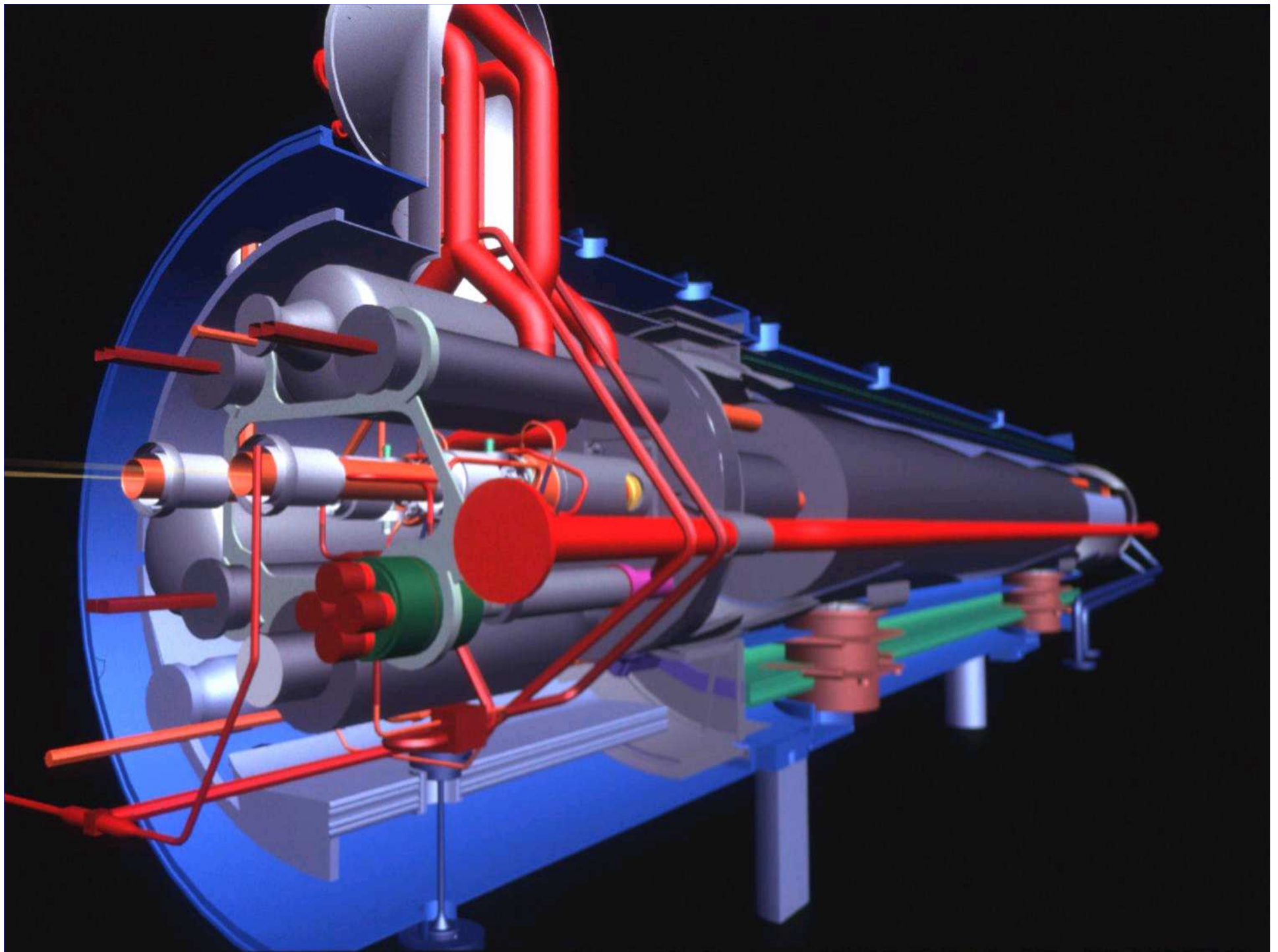
No!

Los protones dan vueltas alrededor
de un círculo y reciben una pequeña
cantidad de energía cada vez

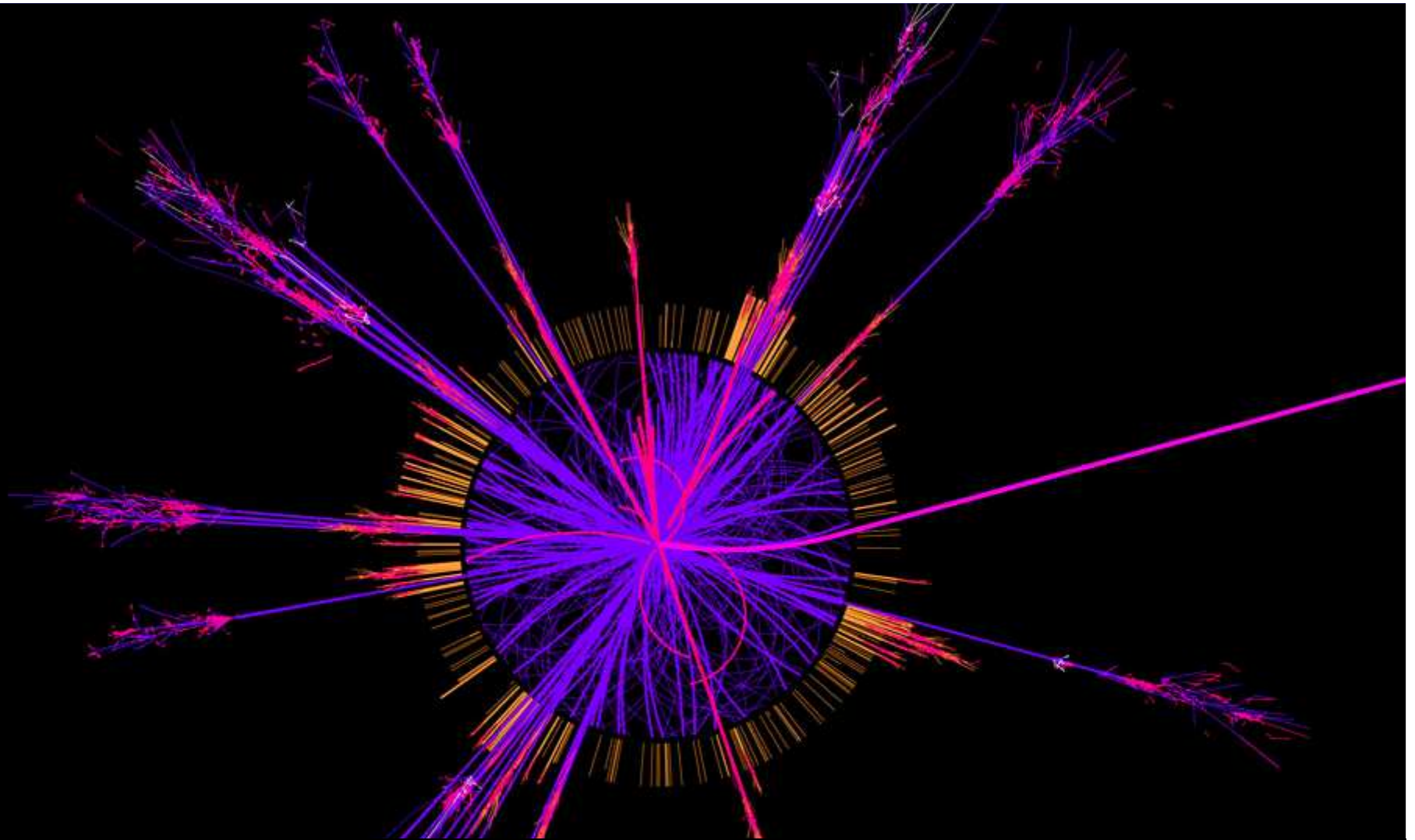
¿Porqué es tan grande el círculo?

Es difícil generar un campo magnético tan grande como el que se necesita para hacer doblar a una partícula tan energética









Es complicado porque los protones son “gordos”

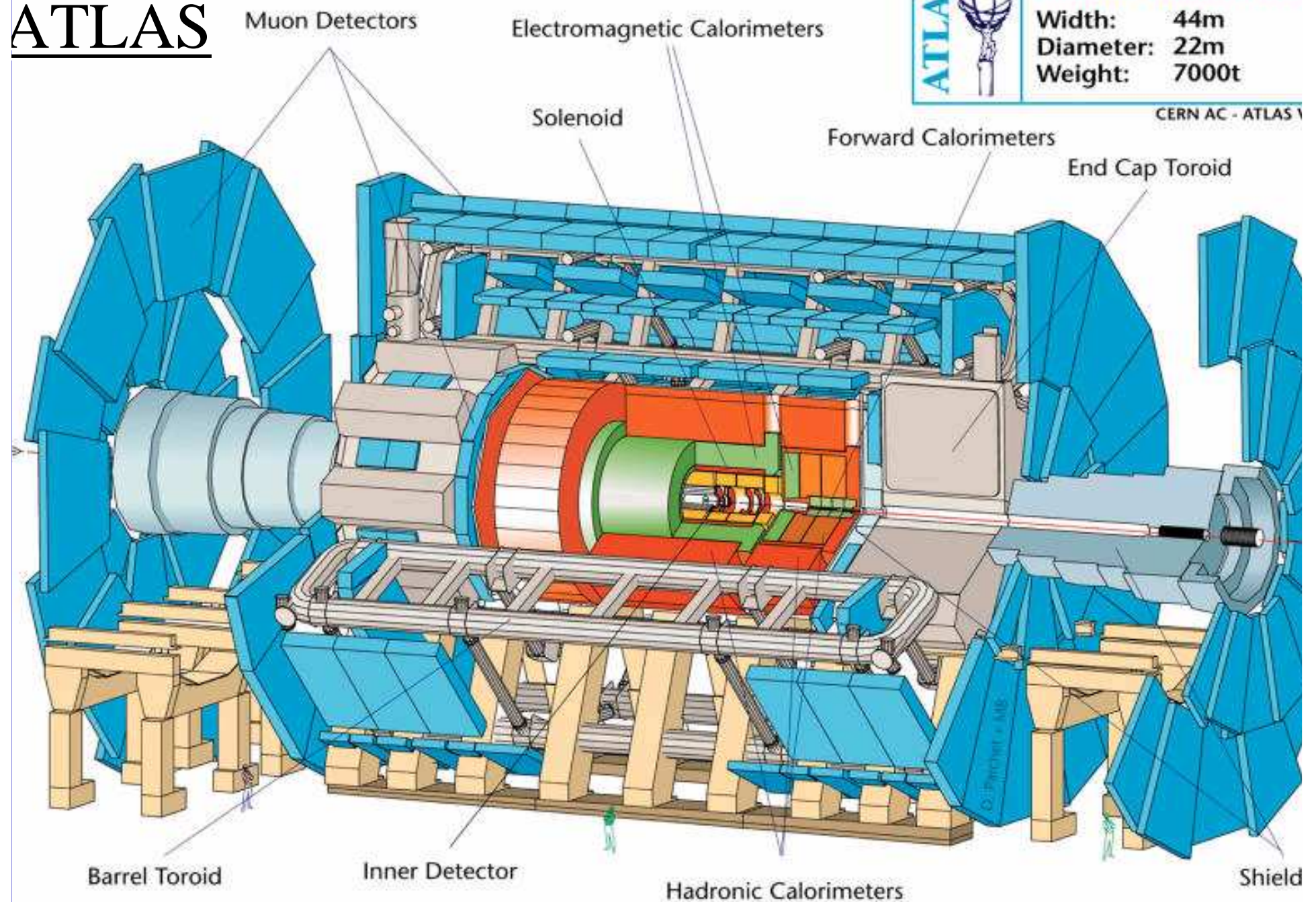
Toda esta lluvia de partículas esta determinada por las simetrías de medida, sobre todo, la de la interacción fuerte.

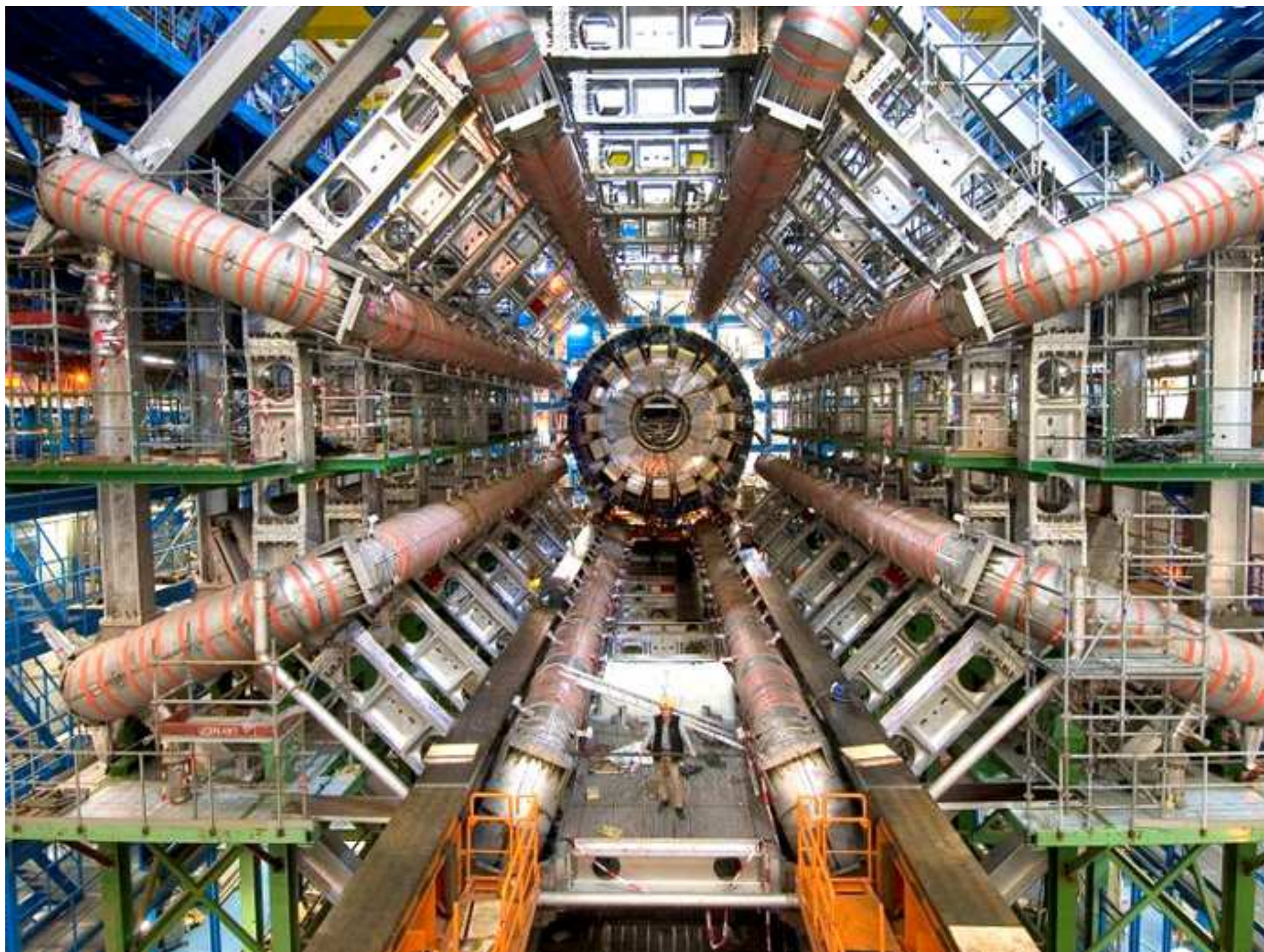
La conferencia que estamos teniendo aquí en en la UBA se trata de encontrar nuevos métodos para calcular esto.

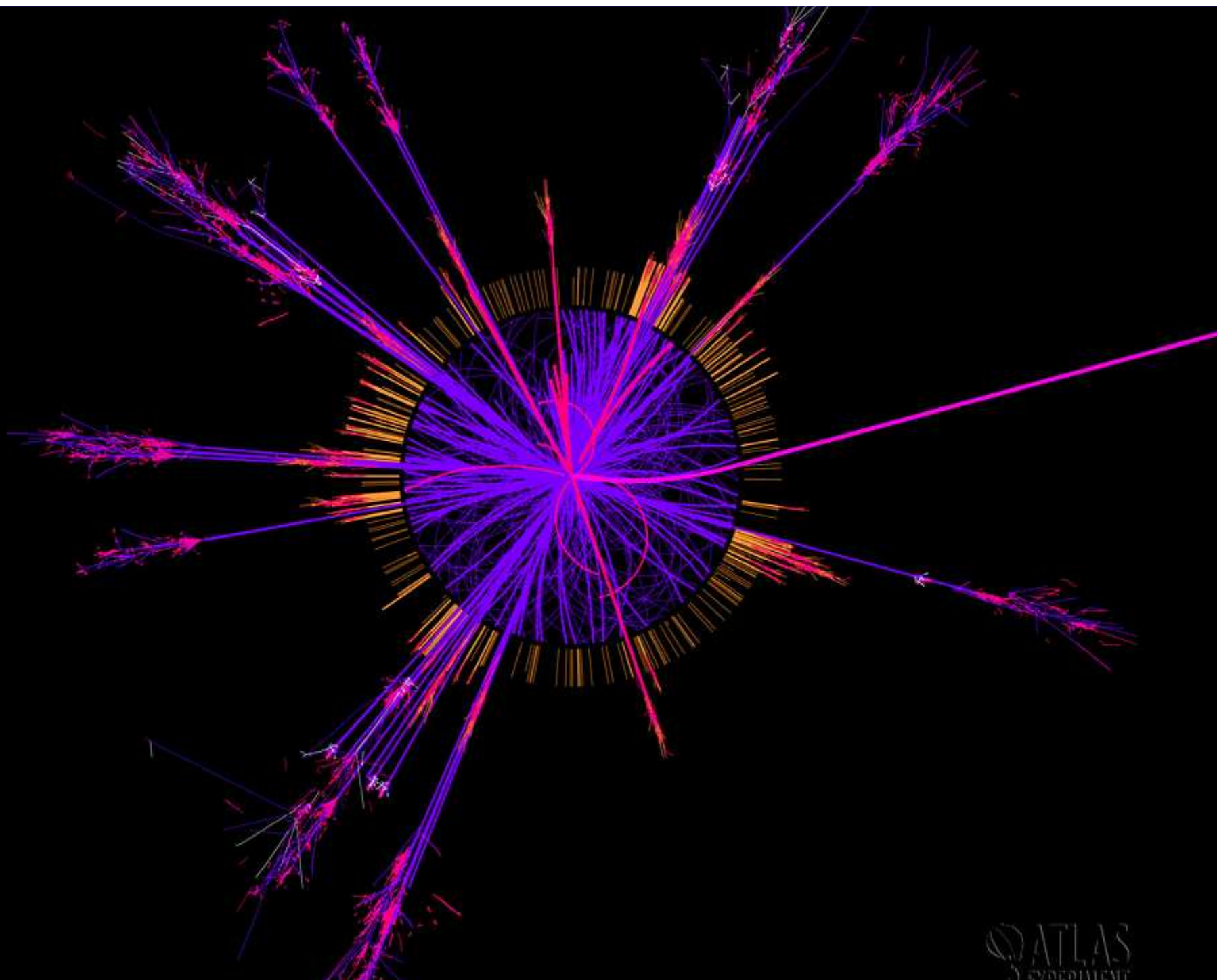
ATLAS

ATLAS		Detector characteristics	
		Width:	44m
		Diameter:	22m
		Weight:	7000t

CERN AC - ATLAS







ATLAS

2500 físicos

2 grupos en Argentina:

María Teresa Dova, Universidad de La Plata

Ricardo Piegaia, Universidad de Buenos Aires



¿Tanto lío por el bosón de Higgs?

Entender la naturaleza a distancias muy pequeñas

Se espera que se descubran nuevas partículas

Quizás se descubre la materia oscura

O la supersimetría.

Materia Oscura

Hay más materia de la que vemos. Es distinta a la nuestra.



En los próximos años tendremos interesantes descubrimientos en la física de partículas!

Tendremos una visión mucho más completa que la actual.



Lo que ahora nos parece complicado y feo nos parecerá sencillo y claro

¿Destruirá el mundo?

- No!
- Rayos cósmicos están constantemente llegando a la tierra
- Se han producido muchísimas de estas colisiones en la historia y la tierra todavía no ha sido destruida.
- Se trata de estudiar estas colisiones en forma controlada en el laboratorio

Conclusiones

- Las fuerzas de la naturaleza son muy simples y se basan en la existencia de ciertas simetrías
- En el LHC descubriremos como se rompe la simetría de la fuerza débil.
- Probablemente encontraremos algo más además del bosón de Higgs: materia oscura o supersimetría.
- Entenderemos mucho mejor las leyes fundamentales de la naturaleza



