

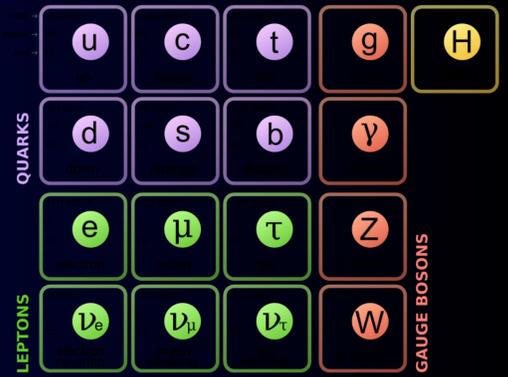
El Modelo Estándar de Partículas Elementales

¿De qué estamos hechos?

Todo lo que nos rodea está compuesto de **partículas elementales**, como los **quarks** que forman los **protones y neutrones** de los núcleos atómicos, y los **leptones**, como los **electrones** que orbitan alrededor. Juntos forman los átomos que componen la materia. Existen **3 familias** de quarks y leptones, con propiedades idénticas, excepto por la enorme diferencia de sus masas.

¿Cómo se mantienen unidas las partículas?

Las partículas elementales ejercen y sienten fuerzas asociadas a **cuatro interacciones fundamentales**: el **electromagnetismo**, la **fuerza fuerte**, la **interacción débil**, y la **gravedad**. Cada una de estas interacciones tiene asociada una o varias partículas de fuerza, los **bosones gauge**: el **fotón**, los bosones **Z y W**, los **gluones** y el (todavía hipotético) **gravitón**.



El boson de Higgs

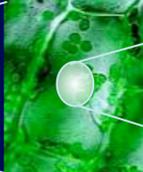
La masa de las partículas elementales se origina por su interacción con el **campo de Higgs**, que permea el espacio vacío y con el cual las partículas interactúan al desplazarse. Las vibraciones del propio campo de Higgs corresponden a un nuevo tipo de partícula, el **bosón de Higgs**, descubierto en 2012 en el gran colisionador hadrónico LHC, en el complejo del CERN en Ginebra.



10⁵m = 100 Km
Imagen satelital de Madrid, el bosque de El Pardo y la Sierra



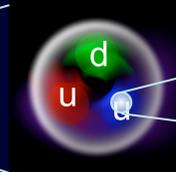
1m
Una encina de el bosque de El Pardo



10⁻⁵m = 10 μm
Célula vegetal



10⁻¹⁰m = 0.1nm
Átomo de Carbono



10⁻¹⁵m
Estructura interna del protón



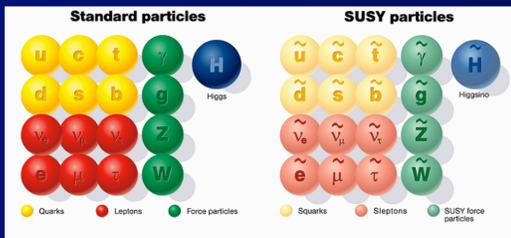
¿Y más allá?

Gran actividad del punto de vista teórico...

Supersimetría (SUSY)

La **Supersimetría** propone que para **cada partícula del Modelo Estándar existen una partícula compañera** con las mismas cargas, pero distinto espín y mucha mayor masa. Estas masas estarían en el rango de energías alcanzable por el LHC, que podría descubrir las partículas supersimétricas (**squarks, sleptones, gluinos, fotino, Wino, Zino y Higgsinos**)

La Supersimetría solucionaría parcialmente el **problema de la jerarquía** (ver recuadro "misterios por resolver"). La partícula supersimétrica más ligera podría explicar la materia oscura del Universo (ver recuadro). Finalmente, la supersimetría está íntimamente ligada con la gravedad (en la teoría de **supergravedad**) y aparece en **teoría de cuerdas**.



Modelos compuestos

De igual manera que los protones y neutrones son partículas compuestas de otras más fundamentales (los quarks), los **modelos compuestos** proponen que las partículas consideradas elementales (los quarks, leptones, el bosón de Higgs, ...) están realmente compuestas de otras más pequeñas. Estas partículas más elementales estaría confinadas por nuevas interacciones, mucho más intensas que cualquier otra.

Un bosón de Higgs compuesto proporcionaría una solución al problema de la jerarquía alternativa a la supersimetría. Los modelos predicen que las partículas compuestas estaría acompañadas de un espectro de resonancias masivas, que se podrían descubrir en el LHC.



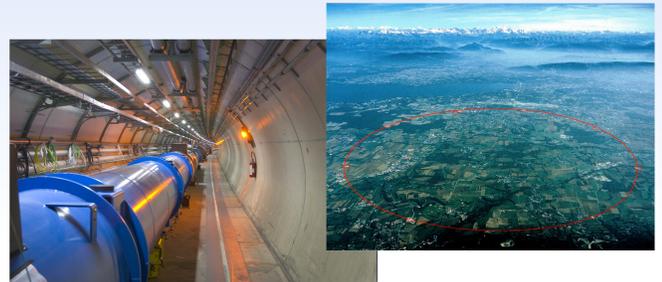
... y experimental

LHC: el gran colisionador de hadrones

El LHC es un acelerador del CERN, en la frontera franco-suiza cerca de Ginebra. Hace circular protones por un túnel circular de 27km enterrado a 100m bajo tierra, los acelera a velocidades próximas a la de luz y los hace colisionar en el centro de sus detectores.

Los detectores ATLAS y CMS, de dimensiones descomunales pero de exquisita precisión, detectan los productos de las colisiones. Los millontes de Gigabytes de datos se analizan en una red de ordenadores distribuida en centros de investigación de todo el mundo.

Los resultados del LHC permiten explorar la frontera de las altas energías, someter a comprobación experimental las diferentes propuestas más allá del Modelo Estándar, y muy posiblemente descubrir nuevas partículas y simetrías que definan nuestro conocimiento del mundo subatómico a un nivel más profundo.

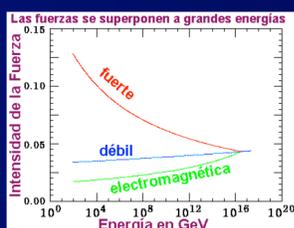


Teorías de Gran Unificación (GUTs)

Las intensidades de las interacciones electromagnética, débil y fuerte, se vuelven prácticamente iguales cuando se extrapolan a muy altas energías. Las **teorías de Gran Unificación (GUTs)** proponen que las distintas interacciones que observamos son distintas manifestaciones de una única fuerza, de la que se originan por una ruptura espontánea de la simetría (mediante un mecanismo similar al del campo de Higgs).

La unificación de intensidades de interacción es más precisa en el contexto de supersimetría, y motiva los modelos **SUSY-GUT**.

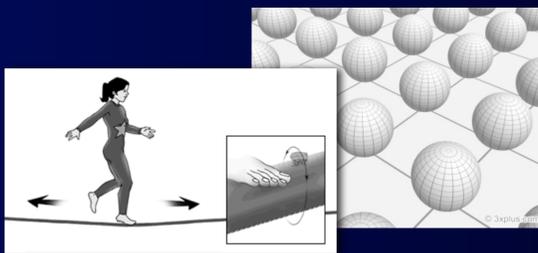
Las (SUSY)GUTs predicen la **desintegración del protón** mediada por bosones de interacción masivos. Aunque su vida media sería extremadamente larga, existen experimentos buscando la observación de esta inestabilidad del protón.



Dimensiones extra

En ciertos modelos (como en teoría de cuerdas), además de las 3 dimensiones espaciales de la experiencia cotidiana, existen **dimensiones adicionales** que jugarían un papel en la Física de Partículas. Las dimensiones extra estarían curvadas a un tamaño diminuto, y sólo sería accesibles a energías muy altas (es decir, en experimentos con resolución espacial altísima).

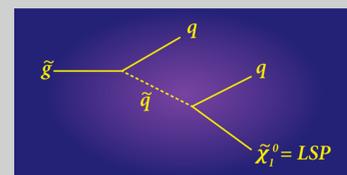
En ciertos modelos, las dimensiones extra se podrían descubrir en el LHC, detectando resonancias masivas de las partículas conocidas, o procesos con "energía perdida" (*missing energy*), en los que partículas que escapan en las dimensiones extra son responsables de cierta cantidad de energía no detectada.



Partículas de materia oscura

La presencia de una densidad de **materia oscura** en el Universo sugiere la existencia de nuevos tipos de partícula. Estas partículas serían estables, sin carga eléctrica, y con muy poca interacción con la materia ordinaria.

Muchos modelos de Física más allá del Modelo Estándar incluyen candidatos a la partícula de materia oscura, y que podría incluso ser descubierta en el LHC. Por un ejemplo típico es el neutralino, la partícula supersimétrica más ligera (*lightest supersymmetric particle, LSP*) en muchos modelos SUSY.



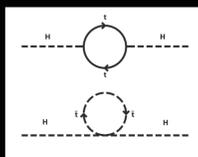
Misterios por resolver

Las 3 familias y sus masas



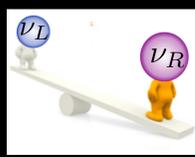
Las partículas de materia (quarks y leptones) se clasifican en 3 familias con propiedades idénticas (mismas cargas bajo las interacciones), pero muy distinta masa. ¿Cuál es el origen de las familias y la explicación de los valores de sus masas?

Jerarquía



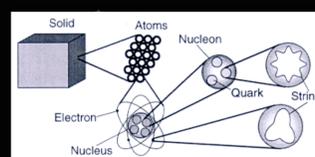
La masa del bosón de Higgs es muchos órdenes de magnitud menor que otras escalas de la naturaleza, como la escala de Planck (que controla las interacciones gravitacionales). ¿Cuál es el mecanismo responsable de esta enorme diferencia?

Neutrinos



La masa de los neutrinos es pequeñísima, pero no nula. Para incorporarlos al Modelo Estándar, y explicar su diminuto valor, el mecanismo del balancín (*seesaw*) postula la existencia de nuevos tipos de neutrinos con masas enormes y aún no observados.

Gravedad y cuerdas



El Modelo Estándar no incluye la gravedad, porque no se sabe describir dentro de la Mecánica Cuántica. La teoría de cuerdas proporciona esta descripción, y sugiere la posible unificación, a altísimas energías, de todas las partículas y fuerzas conocidas.