

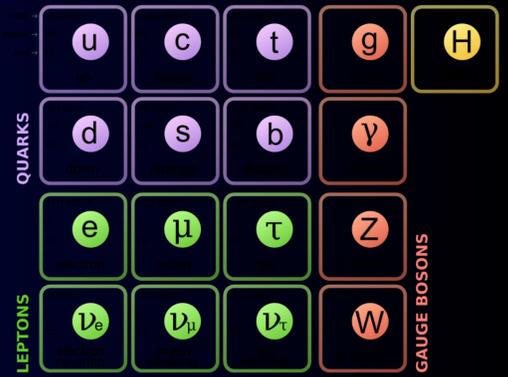
El Modelo Estándar de Partículas Elementales

¿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.

¿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 interaccionan 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.

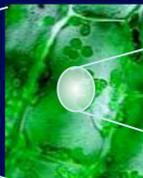
De las partículas a las cuerdas



$10^5m = 100 \text{ Km}$
Imagen satelital de Madrid, el bosque de El Pardo y la Sierra



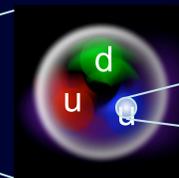
$1m$
Una encina de el bosque de El Pardo



$10^{-5}m = 10 \mu m$
Célula vegetal



$10^{-10}m = 0.1nm$
Átomo de Carbono



$10^{-15}m$
Estructura interna del protón

Un paso más...

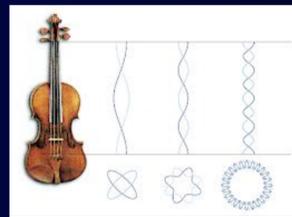


$10^{-33}m$
¿Escala de Planck?

En la teoría de cuerdas, las partículas elementales no son objetos puntuales, sino objetos extensos, pequeñas cuerdas en vibración

Unificación de partículas y fuerzas

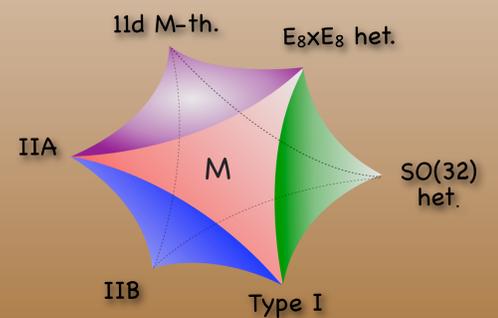
En la teoría de cuerdas, los diferentes tipos de partículas que observamos (quarks, leptones, partículas de interacción y bosón de Higgs) corresponderían a diferentes modos de vibración de un único tipo de cuerda subyacente, igual que las diferentes notas en una cuerda de violín. Implica por tanto una unificación de las partículas de materia y de interacción.



Cinco teorías y un Misterio

En principio, existen cinco teorías de cuerdas matemáticamente consistentes: se denominan **tipo IIA** y **IIB**, **tipo I**, **heterótica $SO(32)$** y **heterótica $E_8 \times E_8$** . Todas ellas se formulan en 10 dimensiones y con un alto grado de **supersimetría**.

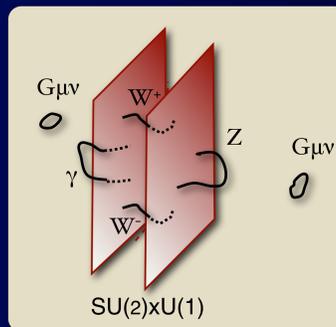
Sin embargo, el comportamiento de estas teorías en acoplamiento fuerte revela que en realidad son diferentes manifestaciones de una única teoría subyacente, que además está relacionada con la denominada **teoría M**, en 11 dimensiones, y de naturaleza todavía misteriosa.



Dimensiones extra, compactificación...

... y D-branas

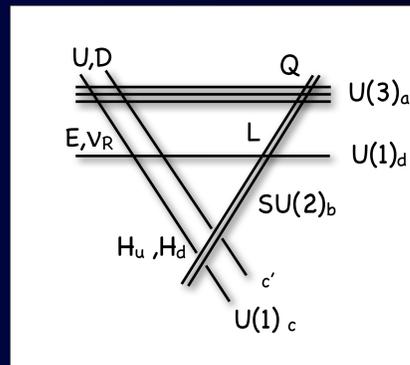
Para reproducir teorías con cuatro dimensiones (tres de espacio, y el tiempo), seis de las diez dimensiones de la teoría de cuerdas tienen que estar "enrolladas", compactificadas formando un espacio de tamaño muy pequeño. A pesar de no ser observables directamente, las dimensiones extra son de enorme importancia en el modelo, ya que su geometría determina el contenido de partículas y fuerzas resultante.



En teoría de cuerdas, el gravitón aparece como el estado de vibración más ligero en el sector de cuerdas cerradas. En muchos modelos, las partículas de materia, interacción y el Higgs provienen de vibraciones de cuerdas abiertas. Las cuerdas abiertas tienen la propiedad de mantener sus extremos fijos en D-branas, ciertos subespacios del espacio-tiempo 10-dimensional. La geometría de las D-branas en las dimensiones extra determina el contenido de partículas y fuerzas de la teoría.

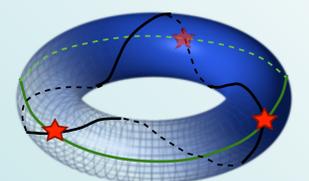
D-branas intersecantes

En los modelos de partículas más sencillos, las partículas del Modelo Estándar aparecen como cuerdas abiertas con extremos en conjuntos de D-branas enrolladas de diversas formas en las dimensiones extra. Los bosones de interacción son cuerdas abiertas entre D-branas paralelas, mientras que los quarks, leptones y el bosón de Higgs son cuerdas abiertas situadas en las intersecciones de D-branas.



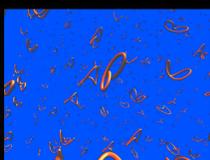
El origen de las 3 familias

En los modelos de D-branas intersecantes, la replicación de las partículas de materia en familias se explica debido a que las D-branas se intersecan en varios puntos en las dimensiones extra.



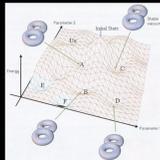
Misterios por resolver

Escala de la cuerda



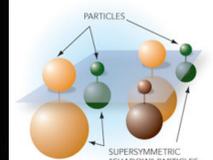
La energía necesaria para observar el carácter extenso de las cuerdas podría ser la enorme escala de Planck $\sim 10^{19}$ GeV. Sin embargo, su valor está aún por determinar y podría ser bastante más cercano a las energías accesibles experimentalmente.

Moduli



Los modelos de cuerdas muchas veces contienen multitud de moduli, partículas escalares sin masa que no existen en la naturaleza. Aún se están investigando mecanismos para eliminar estas partículas no deseadas.

Supersimetría



La teoría de cuerdas suele describir modelos con supersimetría. Una ruptura de supersimetría próxima a la escala electrodébil haría las partículas supersimétricas detectables por el LHC.

Las masas



En el Modelo Estándar hay tres familias de partículas cada vez más pesadas. La teoría de cuerdas explica la existencia de varias familias de partículas, pero no explica por qué hay precisamente tres, ni permite predecir los valores de sus masas.