

Las fronteras teóricas del Universo

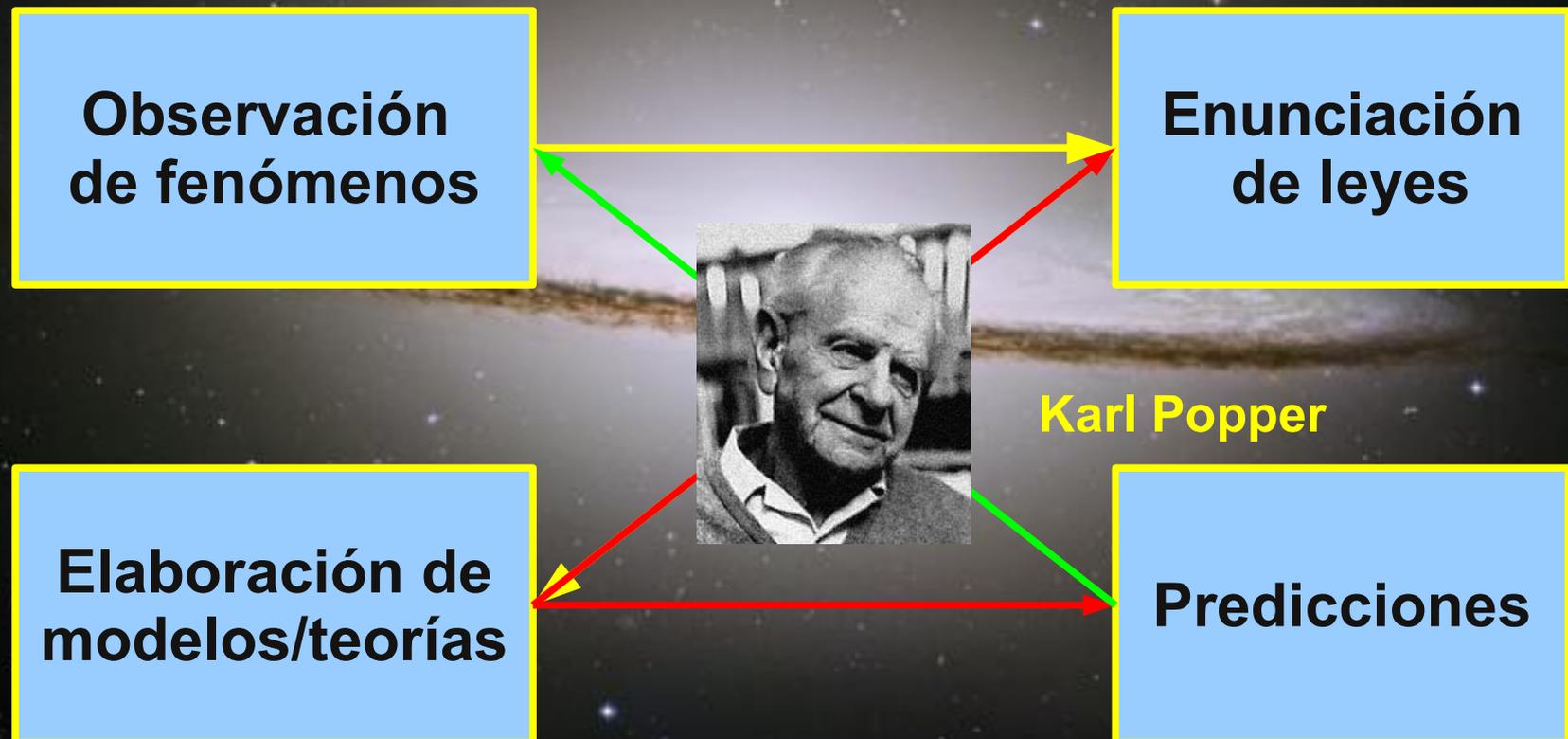
*¿Hasta dónde llega nuestro conocimiento sobre sus
constituyentes fundamentales?*

Ideas para ir más allá.

Tomás Ortín Miguel

Instituto de Física Teórica UAM/CSIC

El método científico



Unificación-Simetría-Reducción

No son **prejuicios teóricos** sino principios que subyacen a absolutamente todos los avances que hemos hecho en la comprensión del Universo:

La formulación de leyes físicas **requiere** que veamos muchos fenómenos como casos particulares la manifestación de **uno** sólo. Formular leyes más generales requiere unificar más casos particulares.

Para comprender la gran variedad de fenómenos del Universo **necesitamos reducir** su número. La **unificación** y la **simetría** son los mecanismos básicos para hacerlo.

Lo realmente sorprendente es que en el Universo encontremos la **simetría** y la **unicidad** que nos permitan entenderlo.

Las leyes fundamentales de nuestro Universo

Dos niveles: **1.- Teorías marco:**

- a) La Relatividad Especial.
- b) La Mecánica Cuántica.
- c) Las Teorías Cuánticas de Campos.
- d) Las Teorías Gauge.
- e) La Relatividad General.

2.- Modelo concreto: el Modelo Estándar

- a) Grupo de simetría gauge particular.
- b) Contenido en campos (partículas) determinado.
- c) Elección de vacío particular.

El marco teórico:

I.- La Relatividad Especial

Surge de un principio de unificación/simetría:

Principio de Relatividad Galileano:
(Galileo Galilei, Isaac Newton)

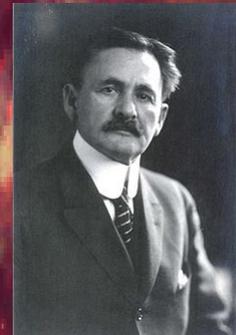
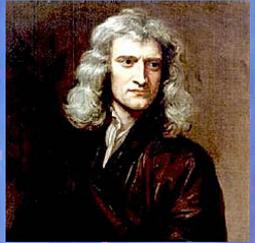
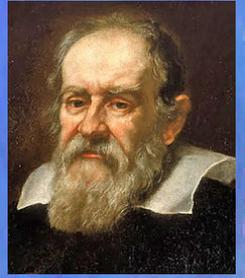
Las leyes de la dinámica son las mismas en todos los sistemas de referencia inerciales.

Principio de Relatividad Especial: (Albert Einstein)

Todas las leyes de la Física son las mismas en todos los sistemas de referencia inerciales.

Los cambios de coordenadas de un sistema inercial a otro son simetrías de todas las teorías físicas.

Las leyes de Maxwell del Electromagnetismo son relativistas y en ellas c es la misma constante en todos los sistemas de referencia inerciales
(Albert Michelson y Edward Morley 1887)



Consecuencias

Gran Experimento: Supongamos que c fuese tan sólo 100 Kms/h. Una ciclista que se desplaza con una velocidad de $c/4$ (25 Kms/h) y un automóvil que se desplaza a una velocidad de $c/2$ (50 Kms/h) parten a la vez que un rayo de luz del semáforo, observados por un guardia. **Al cabo de una hora del reloj del guardián, esto es lo que ve:**



Los relojes (los tiempos propios) y las reglas del guardia, el ciclista y el automovilista son distintas (**relatividad**). La diferencia es mayor cuando la velocidad relativa es mayor. La velocidad relativa con respecto a la luz siempre ha de ser c por lo que no se puede alcanzar esa velocidad, que es **máxima**.

La Relatividad Especial unifica dos conceptos que son distintos en la Mecánica de Newton: masa **M** y energía **E**

$$E=mc^2$$

También unifica las dos *condiciones a priori del entendimiento* (Kant) **espacio y tiempo** en una única entidad: **el espacio-tiempo**.

Toda la Relatividad Especial se puede ver como consecuencia de esta unificación **espacio-temporal**.

Pero hay que renunciar a su valor absoluto.

El marco teórico:

II.- La Mecánica Cuántica

Unifica los comportamientos **ondulatorios** y **corpusculares** de la materia reflejados en las relaciones

$$E = h \nu \quad p = h \lambda$$

en un nuevo concepto de **partícula cuántica** que tiene un comportamiento **dual** descrito por un único objeto: la **función de onda**.

Pero hay que renunciar a que las partículas tengan posición y momentos bien definidos simultáneamente.

Límites de aplicación

Sistema relativista: aquél en el que las velocidades se acercan a **c**.

Sistema cuántico: aquél en el que las distancias son del orden o menores que su **longitud de onda Compton h/mc** o de **de Broglie h/p** .

La **Relatividad Especial** únicamente puede describir **sistemas relativistas clásicos**.

La **Mecánica Cuántica** únicamente puede describir **sistemas cuánticos no-relativistas**.

Para describir (vgr. electrones) moviéndose a grandes velocidades hace falta un nuevo marco teórico que **unifique** la **Relatividad Especial** con la **Mecánica Cuántica**.

Este nuevo marco **NO** puede ser simplemente una **Mecánica Cuántica Relativista**

El marco teórico:

III.- La Teoría Cuántica de Campos

Hemos **unificado espacio y tiempo** y **partículas y ondas**.

El siguiente paso es la **unificación** de los conceptos de **campo (relativista)** y **partícula cuántica** en la **Teoría Cuántica de Campos (TCC)**.

Inicialmente se trata de integrar dos descripciones de la **luz**:

1.- (**Maxwell**) la **luz** es una perturbación del **campo electromagnético** que se propaga como una onda.

2.- (**Einstein et alia**) la luz está compuesta de **partículas (fotones)** con energía $E=h\nu$ absorbidas y emitidas por otras partículas.

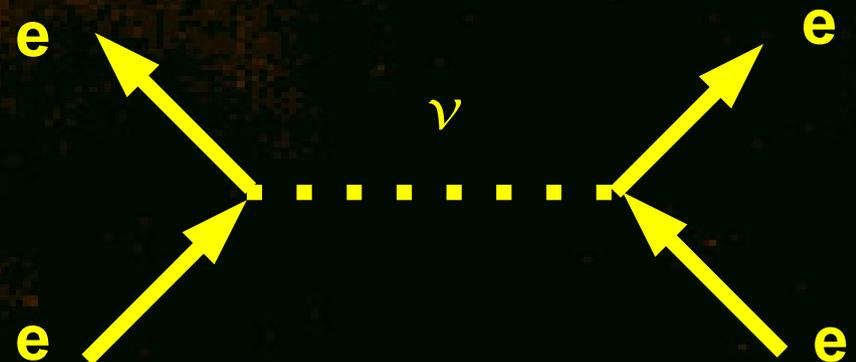
En la **Teoría Cuántica de Campos** hay un campo relativista por cada tipo de partícula de la Naturaleza y un **estado fundamental**, de mínima energía, el **vacío**.

Los estados de energía del campo están cuantizados y pasar de uno a otro es **crear o destruir** una partícula del tipo asociado a ese campo.

La **creación y destrucción de partículas** está normalmente asociada a la **emisión y absorción** de éstas por otras.

Todas las interacciones fundamentales entre partículas o entre partículas y campos se producen de esta forma: como emisión o absorción de partículas intermediarias

Por ejemplo, dos **electrones** se repelen porque intercambian **Fotones** así:



Resultados generales de las TCCs

0.-Nuevo paradigma para las partículas elementales:
excitaciones de campo sobre un estado fundamental: el **vacío**.



Identidad de las partículas elementales.
Concepto de vacío.

1.- Creación y destrucción de partículas.

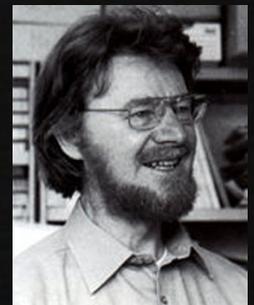
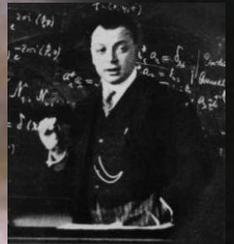
2.- **Espín: bosones y fermiones.**

3.- **Principio de Exclusión de Pauli y estabilidad de la materia (Freeman Dyson).**

4.- Nuevo paradigma para todas las **interacciones fundamentales: intercambio de partículas intermediarias (siempre bosones, espín entero)** de la interacción entre partículas cargadas.

5.- Leyes de **Coulomb, Newton** etc.: $V \sim 1/r$

6.- **Teorema CPT**



El marco teórico:

IV.- La Relatividad General

Es propuesta por Einstein (y David Hilbert) en 1915 como resultado de los intentos de construir una teoría relativista (especial) del campo gravitatorio, y va mucho más allá del objetivo inicial.



Se puede construir partir de otro principio de unificación/simetría:



Principio de Relatividad General:

Todas las leyes de la Física tienen la misma forma en todos los sistemas de referencia (inerciales o no).

La Relatividad General unifica el espacio-tiempo y el campo gravitatorio, que es sólo una manifestación de su curvatura.

La **Relatividad General (RG)** coloca a la interacción gravitatoria aparte de todas las demás:

- 1.- La **RG** no es una **Teoría de Campos Relativista (Especial)** como las que describen las demás interacciones.
- 2.- El **Principio de Relatividad General** exige que todas las interacciones estén descritas por **Teorías de Campos Relativistas (Generales)**: **¡todos los campos gravitan!**
- 3.- No sabemos cómo cuantizar la Relatividad General y eso nos impide obtener **Teorías Cuánticas de Campos Relativistas Generales** que describirían de forma **unificada** todas las partículas, interacciones y el espacio-tiempo.

Hoy por hoy nos tenemos que describir separadamente la gravitación (clásica) y las demás interacciones (cuánticas).
OK a energías bajas porque la gravitación es muy débil.

Las leyes fundamentales de nuestro Universo

Dos niveles: **1.- Teorías marco:**

- a) La Relatividad Especial.
- b) La Mecánica Cuántica.
- c) Las Teorías Cuánticas de Campos.
- d) Las Teorías Gauge.
- e) La Relatividad General.

2.- Modelo concreto: el Modelo Estándar

- a) Grupo de simetría gauge particular.
- b) Contenido en campos (partículas) determinado.
- c) Elección de vacío particular.

El Modelo Estándar

de las partículas e interacciones fundamentales

I.- Las interacciones (no gravitatorias)

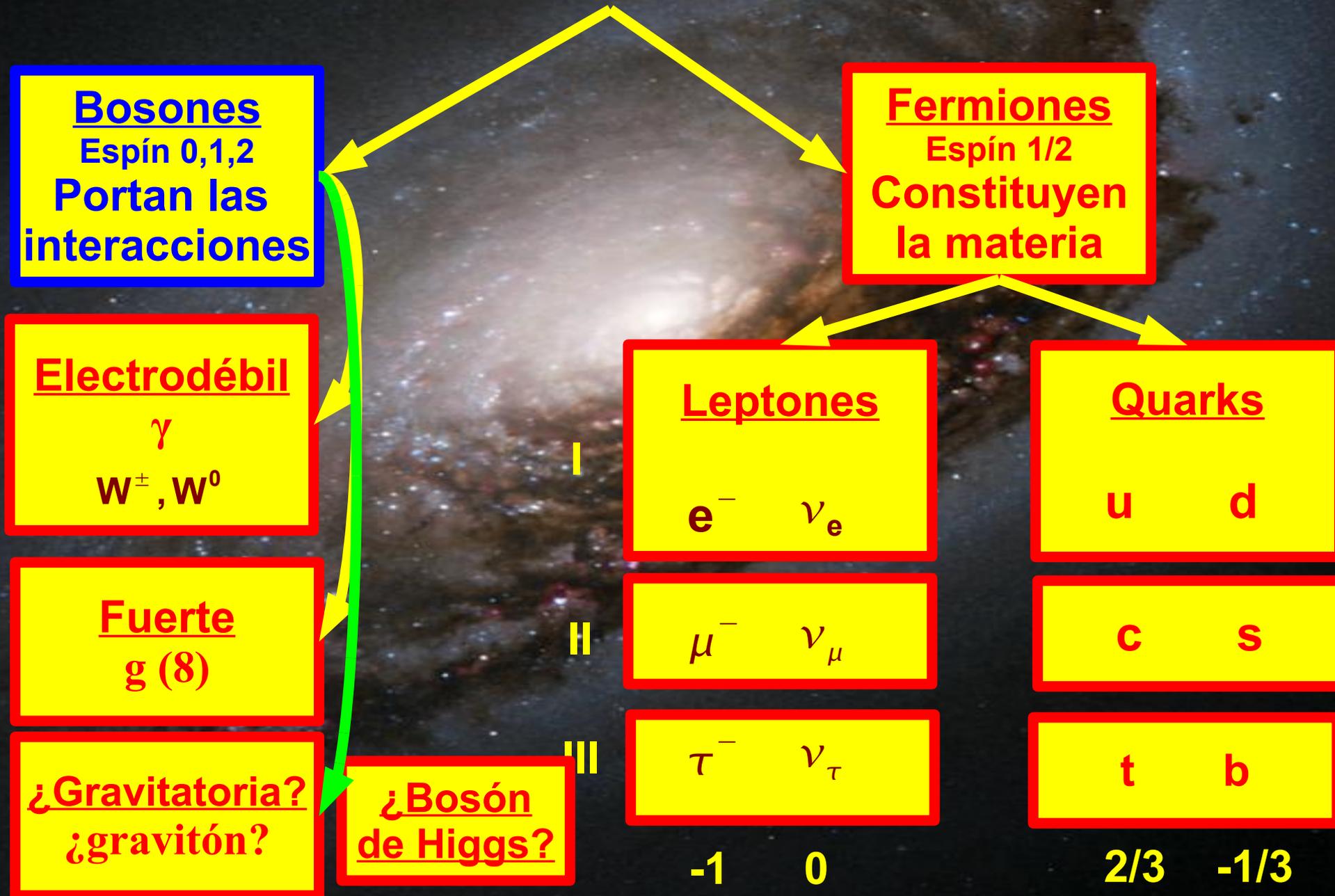
Sólo hay **dos interacciones fundamentales**, ambas descritas por **Teorías Cuánticas de Campos Relativistas (Especiales)**:

1.- La **interacción electro-débil**: describe de forma **unificada** la **interacción electromagnética** (de **largo alcance**, que actúa sobre partículas con **carga eléctrica**) y la **Interacción nuclear débil** (de **corto alcance**, que actúa sobre partículas con **carga de “sabor”** (“quarks” y “leptones”)).

2.- La **interacción nuclear fuerte** (de **corto alcance**, que sólo actúa sobre partículas con **carga de “color”** llamadas **“quarks”** (**3 tipos: azul, rojo, verde**)).

El Modelo Estándar

II.- Las partículas elementales



Standard Model of FUNDAMENTAL PARTICLES AND INTERACTIONS

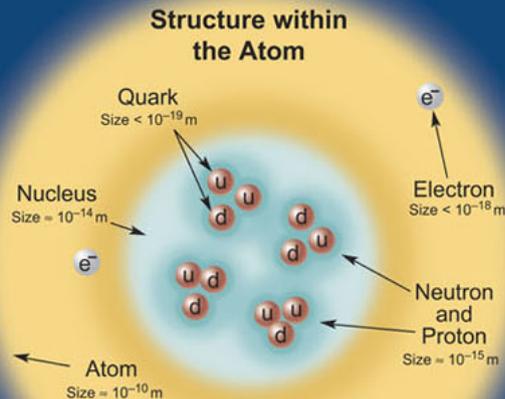
The Standard Model is a quantum theory that summarizes our current knowledge of the physics of fundamental particles and fundamental interactions (interactions are manifested by forces and by decay rates of unstable particles).

FERMIONS matter constituents
spin = 1/2, 3/2, 5/2, ...

BOSONS force carriers
spin = 0, 1, 2, ...

Leptons spin = 1/2		
Flavor	Mass GeV/c ²	Electric charge
ν_e lightest neutrino*	(0-0.13) × 10 ⁻⁹	0
e electron	0.000511	-1
ν_μ middle neutrino*	(0.009-0.13) × 10 ⁻⁹	0
μ muon	0.106	-1
ν_τ heaviest neutrino*	(0.04-0.14) × 10 ⁻⁹	0
τ tau	1.777	-1

Quarks spin = 1/2		
Flavor	Approx. Mass GeV/c ²	Electric charge
u up	0.002	2/3
d down	0.005	-1/3
c charm	1.3	2/3
s strange	0.1	-1/3
t top	173	2/3
b bottom	4.2	-1/3



Unified Electroweak spin = 1		
Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
γ photon	0	0
W^-	80.39	-1
W^+	80.39	+1
Z^0 Z boson	91.188	0

Strong (color) spin = 1		
Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
g gluon	0	0

Color Charge
Only quarks and gluons carry "strong charge" (also called "color charge") and can have strong interactions. Each quark carries three types of color charge. These charges have nothing to do with the colors of visible light. Just as electrically-charged particles interact by exchanging photons, in strong interactions, color-charged particles interact by exchanging gluons.

Quarks Confined in Mesons and Baryons

Quarks and gluons cannot be isolated – they are confined in color-neutral particles called **hadrons**. This confinement (binding) results from multiple exchanges of gluons among the color-charged constituents. As color-charged particles (quarks and gluons) move apart, the energy in the color-force field between them increases. This energy eventually is converted into additional quark-antiquark pairs. The quarks and antiquarks then combine into hadrons; these are the particles we observe.

Two types of hadrons have served as natural laboratories for studying the strong force. **Mesons** $q\bar{q}$ and **baryons** qqq . Among the mesons are the pion π^+ ($u\bar{d}$), kaon K^+ ($u\bar{s}$), and eta η ($u\bar{u} + d\bar{d} + s\bar{s}$). Among the baryons are the proton (uud), neutron (udd), lambda Λ (uds), and sigma Σ^+ (uus). Quark charges add in such a way as to give mesons a net charge of 0 and baryons a net charge of +1 and the neutron charge 0. Among the many types of mesons are the pion π^+ ($u\bar{d}$), kaon K^+ ($u\bar{s}$), B^0 ($d\bar{s}$), and η_c ($c\bar{c}$). Their charges are +1, -1, 0, 0 respectively.

Spin is the intrinsic angular momentum of particles. Spin is given in units of \hbar , which is the quantum unit of angular momentum where $\hbar = h/2\pi = 6.58 \times 10^{-25}$ GeV s $\approx 1.05 \times 10^{-34}$ J s.

Electric charges are given in units of the proton's charge. In β decay, the electric charge of the proton is 1.60 × 10⁻¹⁹ coulombs.

The energy unit of particle physics is the electronvolt (eV), the energy gained by an electron in crossing a potential difference of one volt. **Masses** are given in units of GeV/c² (remember $E = mc^2$) where $c = 3 \times 10^8$ m/s and 1 GeV = 10⁹ eV = 1.6 × 10⁻¹⁰ joule. The mass of the proton is 0.938 GeV/c².

Neutrinos

Neutrinos are produced in the sun, supernovae, reactors, accelerator collisions, and many other processes. Any produced neutrino can be described as one of three neutrino flavor states ν_e , ν_μ , or ν_τ , labelled by the type of charged lepton associated with its production. Each is a defined quantum mixture of the three definite mass neutrinos ν_L , ν_M , and ν_H for which currently allowed mass ranges are shown in the table. Further exploration of the properties of neutrinos may yield powerful clues to puzzles about matter and antimatter and the evolution of stars and galaxy structures.

Matter and Antimatter

For every particle type there is a corresponding antiparticle type, denoted by a bar over the particle symbol (unless + or - charge is shown). Particle and antiparticle have identical mass and spin but opposite charges. Some electrically neutral bosons (e.g., Z^0 , γ , and $\eta_c = c\bar{c}$ but not $K^0 = d\bar{s}$) are their own antiparticles.

La "tabla periódica" del Siglo XXI

The strengths of the interactions (forces) are shown relative to the strength of the electromagnetic force for two u quarks separated by the specified distances.

Property	Gravitational Interaction	Weak Interaction (weak)	Electromagnetic Interaction	Strong Interaction
Acts on:	Mass	Flavor	Electric Charge	Color Charge
Particles experienced:	All	Quarks, Leptons	All	Quarks, Gluons
Particles mediating:	(not yet observed)	W^+ W^- Z^0	γ	Gluons
Strength at $\left\{ \begin{array}{l} 10^{-18} \text{ m} \\ 3 \times 10^{-17} \text{ m} \end{array} \right.$	10^{-41} 10^{-41}	0.8 10^{-4}	1 1	25 60

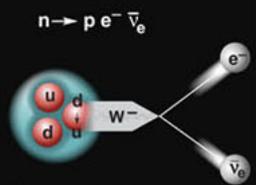
Visit the award-winning web feature **The Particle Adventure** at ParticleAdventure.org

This chart has been made possible by the generous support of:
U.S. Department of Energy
U.S. National Science Foundation
Lawrence Berkeley National Laboratory

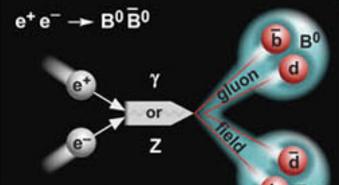
©2006 Contemporary Physics Education Project. CPEP is a non-profit organization of teachers, physicists, and educators. For more information see CPEPweb.org

Particle Processes

These diagrams are an artist's conception. Blue-green shaded areas represent the cloud of gluons.



A free neutron (udd) decays to a proton (uud), an electron, and an antineutrino via a virtual (mediating) W^- boson. This is neutron β (beta) decay.



An electron and positron (antielectron) colliding at high energy can annihilate to produce B^0 and \bar{B}^0 mesons via a virtual Z boson or a virtual photon.

Unsolved Mysteries

Driven by new puzzles in our understanding of the physical world, particle physicists are following paths to new wonders and startling discoveries. Experiments may even find extra dimensions of space, mini-black holes, and/or evidence of string theory.

Universe Accelerating?

The expansion of the universe appears to be accelerating. Is this due to Einstein's Cosmological Constant? If not, will experiments reveal a new force of nature or even extra (hidden) dimensions of space?

Why No Antimatter?

Matter and antimatter were created in the Big Bang. Why do we now see only matter except for the tiny amounts of antimatter that we make in the lab and observe in cosmic rays?

Dark Matter?

Invisible forms of matter make up much of the mass observed in galaxies and clusters of galaxies. Does this dark matter consist of new types of particles that interact very weakly with ordinary matter?

Origin of Mass?

In the Standard Model, for fundamental particles to have masses, there must exist a particle called the Higgs boson. Will it be discovered soon? Is supersymmetry theory correct in predicting more than one type of Higgs?

El Modelo Estándar

III.- El vacío: el mecanismo de Higgs

El **vacío** de una **TCC** determina muchas propiedades.

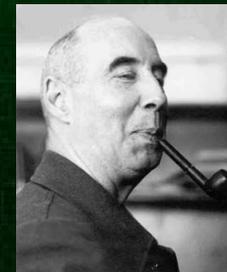
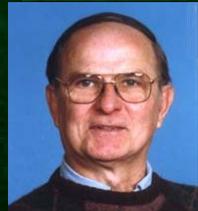
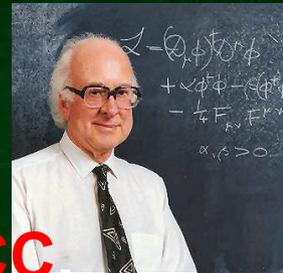
Observación : las **soluciones** de un sistema mecánico no tienen todas las **simetrías** de éste. Los **estados** de una teoría cuántica **en general** no tienen todas las **simetrías** de ésta.

Cuantizar sobre un **estado de vacío** que tiene menos simetría **rompe "espontáneamente"** la simetría de la **TCC**.

En el **Modelo Estándar** se añade el campo (escalar) de **Higgs** respetando la **simetría electrodébil**. Los **mínimos de su potencial rompen espontáneamente** esa simetría, separando el **electromagnetismo** de la **fuerza nuclear débil** y dando masas a los **fermiones**.

Stückelberg, Brout, Englert, Higgs

Guralnik, Hagen, Kibble

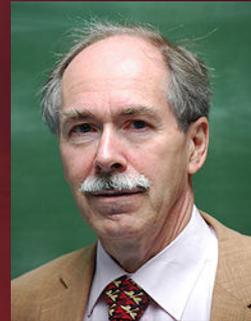


El **Mecanismo de Higgs** es completamente *ad hoc*: las masas de los fermiones se pueden añadir al **Modelo Estándar** rompiendo **explícitamente** la **simetría electrodébil** (Glashow, Salam).

Pero la **rotura explícita de simetría** lleva a TCCs inconsistentes y el **Mecanismo de Higgs** no ('t Hooft, Veltman).

Weinberg implementa el **Mecanismo de Higgs** en el **sector electrodébil** del **Modelo Estándar**.

El **Mecanismo de Higgs** es la piedra angular del **Modelo Estándar**, pero implica la existencia de una partícula de espín 0 (el **bosón de Higgs**) que **aún no ha sido observado**.



El Modelo Estándar

IV.- Éxitos y nuevos interrogantes

El **Modelo Estándar** da cuenta de todas las partículas e interacciones conocidas (**algunas de ellas predichas por él**).

A día de hoy no hay ningún **dato experimental** que lo contradiga o no pueda explicar aunque aún hay predicciones no confirmadas (el **bosón de Higgs**).

Y sin embargo, la mayoría de los físicos lo consideran **incompleto** y quizá **tan sólo una aproximación** a una teoría

Unsolved Mysteries

Driven by new puzzles in our understanding of the physical world, particle physicists are following paths to new wonders and startling discoveries. Experiments may even find extra dimensions of space, mini-black holes, and/or evidence of string theory.

Hay razones teóricas (y filosóficas) pero también cada vez más razones observacionales que nos hacen pensar así. Varias de ellas tienen que ver con la gravitación y la astrofísica:

Universe Accelerating?



The expansion of the universe appears to be accelerating. Is this due to Einstein's Cosmological Constant? If not, will experiments reveal a new force of nature or even extra (hidden) dimensions of space?

Why No Antimatter?



Matter and antimatter were created in the Big Bang. Why do we now see only matter except for the tiny amounts of antimatter that we make in the lab and observe in cosmic rays?

Dark Matter?



Invisible forms of matter make up much of the mass observed in galaxies and clusters of galaxies. Does this dark matter consist of new types of particles that interact very weakly with ordinary matter?

Origin of Mass?



In the Standard Model, for fundamental particles to have masses, there must exist a particle called the Higgs boson. Will it be discovered soon? Is supersymmetry theory correct in predicting more than one type of Higgs?

¿Más allá del *Modelo Estándar*?

Muchos físicos teóricos creen que las respuestas a las incógnitas que nos sigue planteando el **Universo** van a encontrar respuesta en teorías de mayor grado de **unificación** que contengan al **Modelo Estándar** en algún límite (bajas energías).

Las motivaciones teóricas para buscar más unificación son diversas, pero una de ellas es la **estética** del **Modelo Estándar** es poco estética.

- 1.- La **libertad** de un **parámetro** **distinto** al **de** las **interacciones**.
- 2.- **Contiene un número muy grande de parámetros** (masas, momentos de acoplo) cuyos valores no fija la teoría.

El **Modelo Estándar** tampoco **explica por qué** hay las partículas que hay ni **por qué** hay las interacciones que hay.

¿Por qué?

Ideas: I.- Gran Unificación

La primera idea que se propone es generalizar la **unificación electrodébil** del *Modelo Estándar*, añadiendo la **interacción fuerte** y más **campos de Higgs** para romper **espontáneamente** la simetría adicional.

Las **Teorías de Gran Unificación (GUTs)** no son conceptualmente innovadoras, sino la culminación del programa unificador del *Modelo Estándar*. Eliminan algunos **parámetros libres**, pero las partículas e interacciones son aún **arbitrarias** y sólo responden a algunos **porqués**.

Sin embargo, las **GUTs**, sin ingredientes adicionales, están experimentalmente descartadas porque **predicen la desintegración observable del protón (nunca observada)** ...

Ideas: II.- Supersimetría

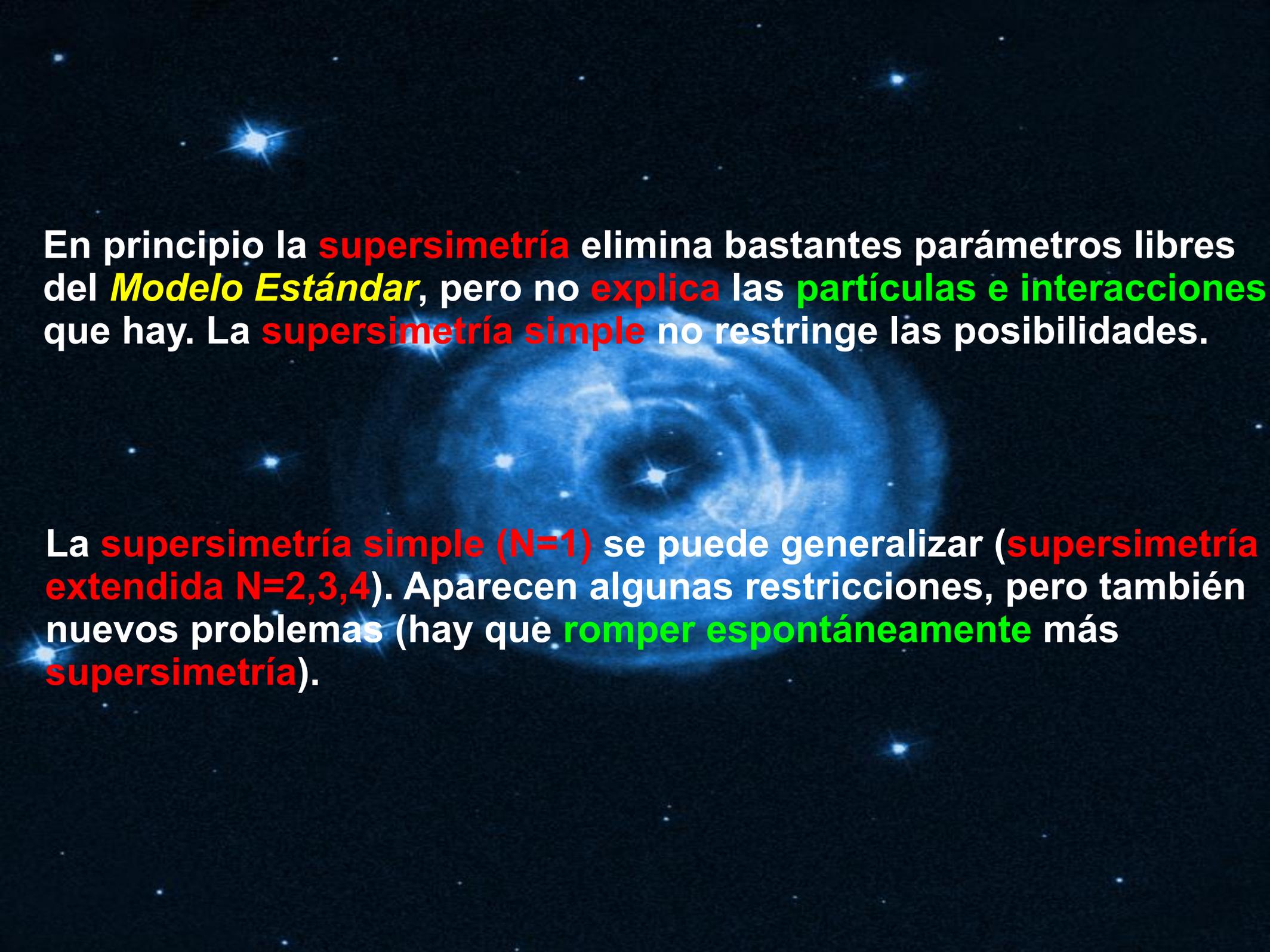
La **supersimetría** es una simetría que **unifica(ría)** **bosones** y **fermiones**, que **aparecerían en parejas con la misma masa**. El **espacio-tiempo** se generaliza(ría) a un **super-espacio-tiempo**.

Las partículas que conocemos **no aparecen en parejas**, por lo que se supone que es una **simetría espontáneamente rota** a través de alguna variante del **Mecanismo de Higgs**, que en las teorías **supersimétricas** es **más natural**.

En cualquier caso, si queremos añadir **supersimetría** al **Modelo Estándar** **siempre tenemos que añadir más partículas** (para formar parejas **b-f supersimétricas**): posibles candidatos a constituyentes de la **materia oscura (neutralino)**.

Si se añade **supersimetría** a las **GUTs**, se arreglan algunos de sus problemas (se alarga la vida media del protón).

Observación: ¡no hay simetrías más generales para una TCC!
(Haag, Lopuszanski, Sohnius).



En principio la **supersimetría** elimina bastantes parámetros libres del **Modelo Estándar**, pero no **explica** las **partículas e interacciones** que hay. La **supersimetría simple** no restringe las posibilidades.

La **supersimetría simple (N=1)** se puede generalizar (**supersimetría extendida N=2,3,4**). Aparecen algunas restricciones, pero también nuevos problemas (hay que **romper espontáneamente** más **supersimetría**).

Ideas: III.- Teorías de Kaluza-Klein

Observación (Kaluzza, 1921, Klein, 1926): La **gravedad** en una quinta dimensión se ve como **electromagnetismo** desde las otras cuatro (**espacio-temporales**). La quinta dimensión tiene que estar **compactificada** en un círculo muy pequeño para ser **inobservable**.



La **gravitación** y el **electromagnetismo** se pueden **unificar** a expensas de añadir una dimensión más al **espacio-tiempo**.

Generalización: la **gravitación** y las demás interacciones se pueden **unificar** a costa de añadir más **dimensiones compactas** con una **geometría determinada** al **espacio-tiempo**.

La **compactificación** de las dimensiones adicionales es equivalente a la **elección de vacío** en las TCCs. El **vacío** (la **geometría de las dimensiones compactas**) determina **las interacciones**.

El grado de unificación conceptual de estas teorías es enorme a nivel clásico:

GRAVITACIÓN=GEOMETRÍA=LAS DEMÁS INTERACCIONES

Problemas: 1.- Los inherentes a cuantizar la **gravedad**.

2.- La materia (**fermiones**) no se unifica. Su introducción es completamente **ad hoc**.

3.- La elección de **dimensiones compactas (vacío)** es completamente **ad hoc** porque no hay un principio de mínima energía aplicable.

Este último problema aparece en todas las teorías en las que hay gravedad (en la **Relatividad General, Supergravedad, Supercuerdas (landscape)**...) y no tiene solución conocida.

El segundo problema tendría solución si hubiese **un principio que dictase la introducción de los fermiones...**

SUPERSIMETRÍA

Ideas: IV.- Supergravedad

Si pedimos que las leyes de la Física sean iguales en todos los sistemas de referencia en el **super-espacio-tiempo** obtenemos una generalización supersimétrica de la **Relatividad General**:
supergravedad

Se pueden construir teorías de supergravedad extendida hasta **N=8** en **4 dimensiones** y en más de 4 dimensiones espacio-temporales (hasta **11**).

Las supergravedad es una simetría mucho más restrictiva:
1.- Sólo hay una teoría con **N=8** en **d=4** (salvo deformaciones).
2.- Sólo hay una teoría en **d=11**.

En estas teorías el contenido de **bosones** y **fermiones** está completamente determinado por la simetría y hay unificación total.

Se puede combinar el Principio de Unificación de Kaluza y Klein Con la **supergravedad** en $d > 4$.

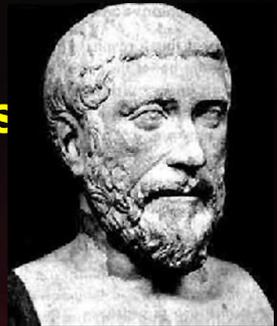
Compactificando las dimensiones 4,5,6,7,8,9,10 de la única supergravedad en $d=11$ con geometrías diversas se pueden obtener las deformaciones de la $N=8$ en $d=4$.

En este esquema en el que la unificación es total, el problema quedaría reducido a encontrar la geometría (vacío) que nos lleva de la teoría en $d=11$ al *Modelo Estándar* en $d=4$ (o una generalización).

Hasta hace poco se creía que las teorías de supergravedad no se podían cuantizar consistentemente pero la $N=8, d=4$ podría serlo (Bern, Dixon, Kosower).

Ideas: V.- Supercuerdas

Las **Teorías de supercuerdas** son una de las propuestas de **Teorías Cuánticas de la Gravitación** que hay en el **mercado**.



Las dos hipótesis de partida son

1.- que todas las partículas elementales no son sino distintos **estados vibracionales** de una **“cuerda”** elemental (¡**Pitágoras de Samos** ataca de nuevo!). Una de estas partículas es el **gravitón**, intermediario de la gravitación.

2.- El único tipo de **interacción entre cuerdas es partirse y combinarse por sus extremos (cuando los tienen)**. Esta única interacción se manifiesta de formas distintas entre distintos **estados vibracionales** (partículas) dando lugar a las **4 interacciones fundamentales** conocidas (y más).

La **Mecánica Cuántica** no permite que las **supercuerdas** se propaguen en cualquier **espacio-tiempo**:

¡Sólo en aquéllos que satisfacen las ecuaciones de **Einstein** de la **Relatividad General!** (¡en $d > 4!$)

Las teorías de supercuerdas son teorías de cuerdas con supersimetría.

La supersimetría parece ser imprescindible para que las teorías de cuerdas sean consistentes.

Las supercuerdas se pueden cuantizar en los espacio-tiempos que cumplen las ecuaciones de teorías de supergravedad en $d=10$. Además, de forma efectiva, a bajas energías, son equivalentes a una teoría de supergravedad en $d=10$, pero sin algunos de sus problemas (anomalías).

De nuevo tenemos un esquema de unificación completa (partículas, interacciones, parámetros) en el que el problema se “reduce” a encontrar el vacío correcto.

Aunque ese vacío aún no se haya encontrado, no se puede subestimar el progreso conceptual que supone reducir todo a la búsqueda de un vacío.

EN OTRAS TEORIAS NI

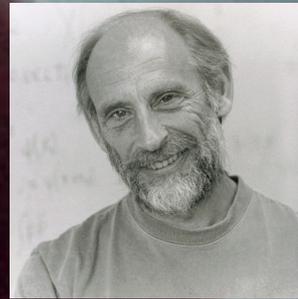
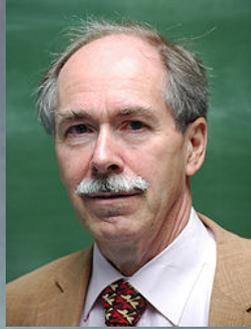
SIQUIERA SE PUEDE

FORMULAR ESTA

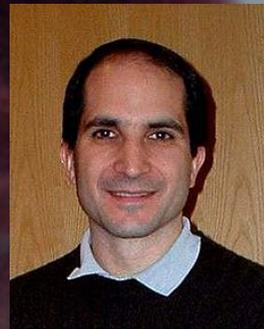
PREGUNTA

Nuevas ideas: Holografía

Gerard 't Hooft y Leonard Susskind han propuesto que una teoría de la gravitación en un volumen del espacio-tiempo dado admite una descripción dual en términos de una TCC sin gravitación definida en la *frontera* de este volumen.



Este Principio Holográfico se manifiesta en las Teorías de Supercuerdas, por ejemplo a través de la correspondencia AdS-CFT (Juan M. Maldacena), pero forma parte de la propia definición de las mismas.



A cada espacio-tiempo en el que se pueden propagar las cuerdas se le puede asociar una TCC. El Principio Holográfico nos permite usar uno para estudiar el otro y/o viceversa. Es una herramienta extremadamente potente.

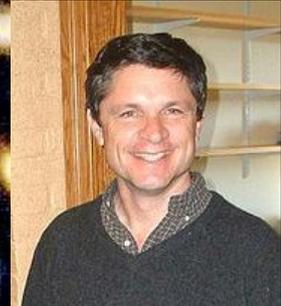
Usando el **Principio de Holografía** podemos:

- 1.- Encontrar **espacio-tiempos** que describan **agujeros negros**.
- 2.- Buscar la **TCC** asociada.
- 3.- Usar la **TCC** para calcular propiedades del **agujero negro**.
- 4.- Alternativamente usar el **agujero negro** para calcular propiedades de la **TCC**.

En 1996, **Andrew Strominger y Cumrun Vafa** obtuvieron por este método y de forma exacta la entropía de un **agujero negro**. Es el primer éxito de las **Teorías de Supercuerdas**.

En la actualidad se usan **espacio-tiempos** que describen **agujeros negros** con carga eléctrica para estudiar las **TCCs** que describen **materiales superconductores (Hartnoll, Gubser...)**.

Aún no sabemos el alcance de esta nueva idea, pero ya se puede decir que supone una revolución en la Física.



Conclusión

La historia de la Física es la de la búsqueda de unificación, que aún continúa.

El *Modelo Estándar* supone un hito en nuestro conocimiento de la Naturaleza al nivel más fundamental, pero no satisface nuestra curiosidad que busca explicaciones profundas a construcciones puramente empíricas (aunque tremendamente eficaces) y una teoría cuántica de la gravedad.

La superación del *Modelo Estándar* requiere mayor unificación. Las Teorías de Supercuerdas unifican consistentemente todos los conceptos y objetos necesarios para describir el Universo. Sólo hace falta identificar el vacío correcto, difícil problema...

No es lo mismo una *Teoría de Todo* (con máxima unificación) que la “Teoría Final” (que no se puede superar): siempre habrá preguntas nuevas que responder.

Quizá las respuestas que buscamos vengan de direcciones completamente distintas...

En cualquier caso, hay que **confirmar o refutar** todas estas ideas (y muchas más que no he explicado).

Esto sólo se puede hacer a través de experimentos y observaciones, pero éstos son cada vez más difíciles de realizar (**LHC**).

<http://www.youtube.com/watch?v=j50ZssEojtM>

Esto hace que cada vez los datos observacionales obtenidos por los astrónomos sean cada vez más importantes en la **Física Teórica**.

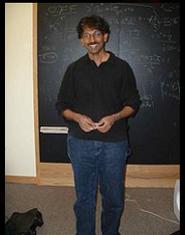
Del mismo modo, cuando los astrónomos exploran regiones más lejanas y hacen observaciones más próximas al **Big Bang**, el conocimiento de la **Física de Altas Energías** se hace imprescindible.

En cualquier caso, el fin de la Física está aún lejos y nos esperan momentos emocionantes.

FIN

Nuevas ideas: I.- Dimensiones extra

Lisa Randall y Raman Sundrum







<http://www.youtube.com/watch?v=j50ZssEojtM>

The Large Hadron Rap

Twenty-seven kilometers of tunnel under ground
Designed with mind to send protons around
A circle that crosses through Switzerland and France
Sixty nations contribute to scientific advance
Two beams of protons swing round, through the ring they ride
'Til in the hearts of the detectors, they're made to collide
And all that energy packed in such a tiny bit of room
Becomes mass, particles created from the vacuum
And then...

LHCb sees where the antimatter's gone
ALICE looks at collisions of lead ions
CMS and ATLAS are two of a kind
They're looking for whatever new particles they can find.
The LHC accelerates the protons and the lead
And the things that it discovers will rock you in the head.

**We see asteroids and planets, stars galore
We know a black hole resides at each galaxy's core
But even all that matter cannot explain
What holds all these stars together – something else remains
This dark matter interacts only through gravity
And how do you catch a particle there's no way to see
Take it back to the conservation of energy
And the particles appear, clear as can be**

**You see particles flying, in jets they spray
But you notice there ain't nothin', goin' the other way
You say, "My law has just been violated – it don't make sense!
There's gotta be another particle to make this balance."
And it might be dark matter, and for first
Time we catch a glimpse of what must fill most of the known 'Verse.
Because...**

**LHCb sees where the antimatter's gone
ALICE looks at collisions of lead ions
CMS and ATLAS are two of a kind
They're looking for whatever new particles they can find.**

**Antimatter is sort of like matter's evil twin
Because except for charge and handedness of spin
They're the same for a particle and its anti-self
But you can't store an antiparticle on any shelf
Cuz when it meets its normal twin, they both annihilate
Matter turns to energy and then it dissipates**

**When matter is created from energy
Which is exactly what they'll do in the LHC
You get matter and antimatter in equal parts
And they try to take that back to when the universe starts
The Big Bang – back when the matter all exploded
But the amount of antimatter was somehow eroded
Because when we look around we see that matter abounds
But antimatter's nowhere to be found.
That's why...**

**LHCb sees where the antimatter's gone
ALICE looks at collisions of lead ions
CMS and ATLAS are two of a kind
They're looking for whatever new particles they can find.
The LHC accelerates the protons and the lead
And the things that it discovers will rock you in the head.**

**The Higgs Boson – that’s the one that everybody talks about.
And it’s the one sure thing that this machine will sort out
If the Higgs exists, they ought to see it right away
And if it doesn’t, then the scientists will finally say
“There is no Higgs! We need new physics to account for why
Things have mass. Something in our Standard Model went awry.”**

**But the Higgs – I still haven’t said just what it does
They suppose that particles have mass because
There is this Higgs field that extends through all space
And some particles slow down while other particles race
Straight through like the photon – it has no mass
But something heavy like the top quark, it’s draggin’ its ***
And the Higgs is a boson that carries a force
And makes particles take orders from the field that is its source.
They’ll detect it....**

**LHCb sees where the antimatter’s gone
ALICE looks at collisions of lead ions
CMS and ATLAS are two of a kind
They’re looking for whatever new particles they can find.**

**Now some of you may think that gravity is strong
Cuz when you fall off your bicycle it don't take long
Until you hit the earth, and you say, "Dang, that hurt!"
But if you think that force is powerful, you're wrong.
You see, gravity – it's weaker than Weak
And the reason why is something many scientists seek
They think about dimensions – we just live in three
But maybe there are some others that are too small to see
It's into these dimensions that gravity extends
Which makes it seem weaker, here on our end.
And these dimensions are "rolled up" – curled so tight
That they don't affect you in your day to day life
But if you were as tiny as a graviton
You could enter these dimensions and go wandering on
And they'd find you...**

**When LHCb sees where the antimatter's gone
ALICE looks at collisions of lead ions
CMS and ATLAS are two of a kind
They're looking for whatever new particles they can find.
The LHC accelerates the protons and the lead
And the things that it discovers will rock you in the head!**