

Campos Cuánticos

Sesión nº 4 de 25 de Marzo de 2023 – Original en Inglés – Traducido al Español por Fernando.

Lugar: Mezza Verde en Belice

Comentarios:

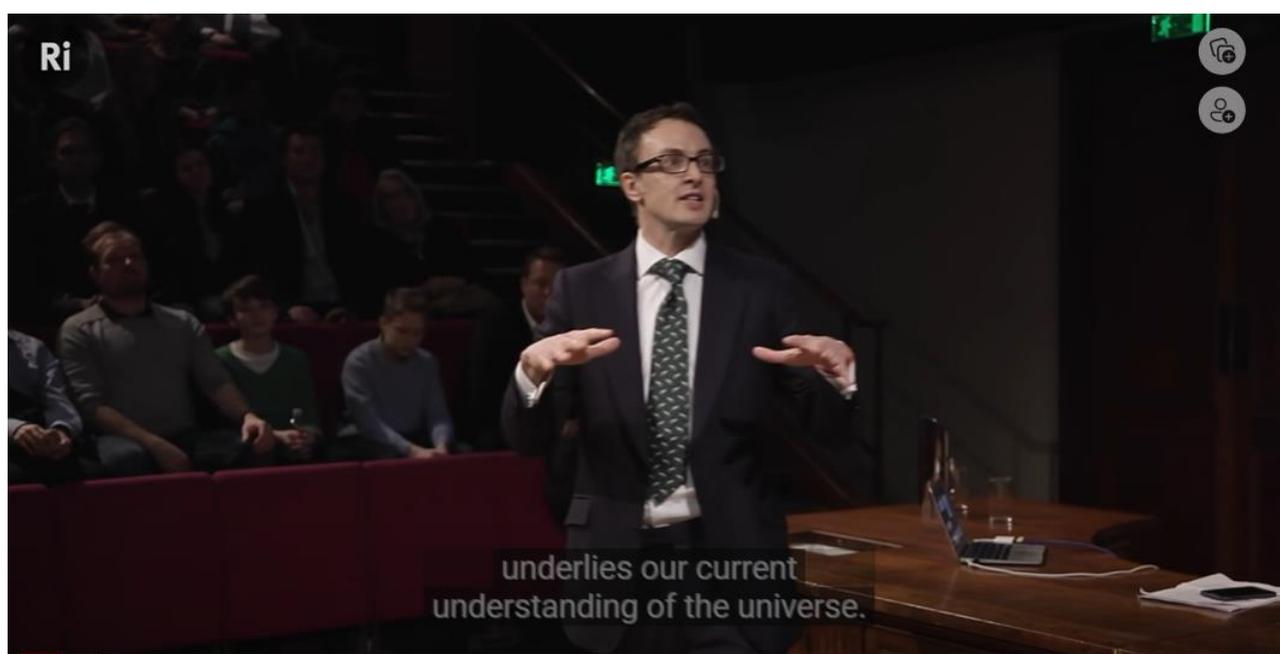
Esta es la transcripción del video de David Tong que se mencionó en la Sesión nº 3 de 2023, [Es nuestro deber saber – parte 1](#), con objeto de comprender mejor lo que continuará en las partes 2 a 4.

Wivine.

Los verdaderos bloques de construcción del universo

David Tong

[\(4456\) Campos cuánticos: los verdaderos bloques de construcción del universo - con David Tong - YouTube](#)



Esta noche, me gustaría contarles sobre una de las grandes preguntas de la ciencia. Es una pregunta que se remonta al menos a dos mil quinientos años, a los antiguos griegos. Y es una pregunta que se ha discutido en esta sala muchas, muchas veces en los últimos 200 años, pero es una pregunta importante. Y creo que es importante que lo revisemos. Y la pregunta es simplemente esta. ¿De qué estamos hechos?

¿Cuáles son los bloques de construcción fundamentales de la naturaleza de los que tú y yo y todo lo demás en el universo estamos contruidos? Esa es la historia que

me gustaría contarles. Así que lo que me gustaría hacer es tratar de darles una visión general de nuestra comprensión actual. También me gustaría tratar de darles una visión general de hacia dónde esperamos ir en el futuro, de qué progreso podemos esperar hacer en los próximos años y en algunas décadas. Y vamos a cubrir bastante terreno en esta charla. Debo advertirles ahora, sobre todo porque voy a discutir cada cosa en el universo, literalmente.

Vamos a hablar, entre otras cosas, sobre lo que está sucediendo en el colisionador de partículas más poderoso del mundo. Esta es una máquina que se llama el Gran Colisionador de Hadrones, o el LHC para abreviar y hablaremos mucho de ella en esta charla. Esta es una máquina que tiene su base subterránea en un lugar llamado CERN, que está a las afueras de Ginebra. También hablaremos de experimentos en los últimos años que miran hacia atrás en el tiempo hacia el Big Bang, que nos dan cierta comprensión de lo que sucedió en las primeras fracciones de segundo después de que el tiempo mismo comenzó a existir. Y además de todo esto, también quiero darles una idea sobre las ideas teóricas abstractas, e incluso un poco de una idea sobre las matemáticas que subyacen a nuestra comprensión actual del universo.

Porque soy físico teórico. Lo que hago es estudiar las ecuaciones, tratar de entender las ecuaciones que gobiernan el mundo en el que vivimos. Y entonces, me gustaría darles una idea de lo que se trata. En algún momento, debería advertirles ahora, voy a mostrarles una ecuación. Ya saben, pueden ser enviados a cursos de capacitación para este tipo de cosas.

Hay una regla número uno. La regla número uno es nunca mostrarles ninguna ecuación. Si les muestras ecuaciones, simplemente los aterrorizarás. En algún momento de esta conferencia, todos van a estar aterrorizados, así que prepárense. ¿De acuerdo? De acuerdo.

Ya sabes, hay una forma tradicional de iniciar conversaciones como esta. La forma tradicional es ser muy culto y hablar de lo que Demócrito y Lucrecio dijeron hace dos mil quinientos años y las ideas que los antiguos griegos tenían sobre los átomos. Pero ya sabes, no quiero empezar así. Hemos progresado mucho en dos mil quinientos años, y ya sabes, hay mejores lugares para comenzar una charla científica. Así que

la primera imagen moderna que tuvimos de lo que está hecho el universo, todo de lo que estamos hechos, es esta. Así que espero que esto sea familiar para la mayoría de la gente aquí.

Esta es la tabla periódica de elementos.

IUPAC Periodic Table of the Elements

1 H Hydrogen [1.007, 1.009]																	2 He Helium 4.003				
3 Li Lithium [6.938, 6.997]	4 Be Beryllium 9.012	Key: atomic number Symbol name standard atomic weight														5 B Boron [10.80, 10.83]	6 C Carbon [12.00, 12.01]	7 N Nitrogen [14.00, 14.01]	8 O Oxygen [15.99, 16.00]	9 F Fluorine 18.99	10 Ne Neon 20.18
11 Na Sodium 22.99	12 Mg Magnesium [24.30, 24.31]											13 Al Aluminum 26.98	14 Si Silicon [28.08, 28.09]	15 P Phosphorus 30.97	16 S Sulfur [32.05, 32.07]	17 Cl Chlorine [35.44, 35.46]	18 Ar Argon 39.95				
19 K Potassium 39.10	20 Ca Calcium 40.08	21 Sc Scandium 44.96	22 Ti Titanium 47.87	23 V Vanadium 50.94	24 Cr Chromium 52.00	25 Mn Manganese 54.94	26 Fe Iron 55.85	27 Co Cobalt 58.93	28 Ni Nickel 58.69	29 Cu Copper 63.55	30 Zn Zinc 65.38(2)	31 Ga Gallium 69.72	32 Ge Germanium 72.63	33 As Arsenic 74.92	34 Se Selenium 78.97	35 Br Bromine [79.90, 79.91]	36 Kr Krypton 83.80				
37 Rb Rubidium 85.47	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.91	40 Zr Zirconium 91.22	41 Nb Niobium 92.91	42 Mo Molybdenum 95.95	43 Tc Technetium 100.1	44 Ru Ruthenium 101.1	45 Rh Rhodium 102.9	46 Pd Palladium 106.4	47 Ag Silver 107.9	48 Cd Cadmium 112.4	49 In Indium 114.8	50 Sn Tin 118.7	51 Sb Antimony 121.8	52 Te Tellurium 127.6	53 I Iodine 126.9	54 Xe Xenon 131.3				
55 Cs Cesium 132.9	56 Ba Barium 137.3	57-71 lanthanoids	72 Hf Hafnium 178.5	73 Ta Tantalum 180.9	74 W Tungsten 183.8	75 Re Rhenium 186.2	76 Os Osmium 193.2	77 Ir Iridium 192.2	78 Pt Platinum 195.1	79 Au Gold 197.0	80 Hg Mercury 200.6	81 Tl Thallium [204.3, 204.4]	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 209.0	84 Po Polonium	85 At Astatine	86 Rn Radon				
87 Fr Francium	88 Ra Radium	89-103 actinoids	104 Rf Rutherfordium	105 Db Dubnium	106 Sg Seaborgium	107 Bh Bohrium	108 Hs Hassium	109 Mt Meitnerium	110 Ds Darmstadtium	111 Rg Roentgenium	112 Cn Copernicium	113 Uut Ununtrium	114 Fl Flerovium	115 Uup Ununpentium	116 Lv Livermorium	117 Uus Ununseptium	118 Uuo Ununoctium				
57 La Lanthanum 138.9	58 Ce Cerium 140.1	59 Pr Praseodymium 140.9	60 Nd Neodymium 144.2	61 Pm Promethium	62 Sm Samarium 150.4	63 Eu Europium 152.0	64 Gd Gadolinium 157.3	65 Tb Terbium 158.9	66 Dy Dysprosium 162.5	67 Ho Holmium 164.9	68 Er Erbium 167.3	69 Tm Thulium 168.9	70 Yb Ytterbium 173.0	71 Lu Lutetium 175.0							
89 Ac Actinium	90 Th Thorium 232.0	91 Pa Protactinium 231.0	92 U Uranium 238.0	93 Np Neptunium	94 Pu Plutonium	95 Am Americium	96 Cm Curium	97 Bk Berkelium	98 Cf Californium	99 Es Einsteinium	100 Fm Fermium	101 Md Mendelevium	102 No Nobelium	103 Lr Lawrencium							



For notes and updates to this table, see www.iupac.org. This version is dated 8 January 2016. Copyright © 2016 IUPAC, the International Union of Pure and Applied Chemistry.

¿De acuerdo? Es una de las imágenes más icónicas de toda la ciencia. Lo que tenemos aquí son 120 elementos diferentes. Debo señalar, no menos de 10 de los cuales fueron descubiertos en este mismo edificio, y que constituyen, o al menos en la década de 1800, se pensaba que constituían todo lo que existía en la naturaleza. Así que es cierto que cualquier material que obtenga, puede destilarlo en sus partes componentes, y encontrará que todas esas partes componentes están hechas de uno de estos 120 elementos.

Así que es un gran momento en la ciencia. Es realmente uno de los triunfos de la ciencia. También es, debo agregar, la razón por la que dejé de hacer química en la escuela. Porque si eres químico, esto es básicamente lo mejor que se puede hacer. Sabes, si somos honestos, es un desastre. Todo en el universo se clasifica en cosas

de la izquierda que explotan si las pones en agua a través de cosas de la derecha que, en realidad, si somos honestos, no hacen mucho en absoluto.

Organizas todo en estas formas estúpidas. Y se parece un poco a la forma de Australia. Hay una gran caída en la parte superior, y luego están estas dos tiras de elementos que tienes que poner a lo largo de la parte inferior, porque no hay espacio para ellos en el medio donde pertenecen. Sabes, no sé tú, si me pidieran que hiciera una clasificación fundamental de todo en el universo, esto no es lo que habría elegido. ¿Hay químicos en la audiencia? [RISAS] Lo siento por ti.

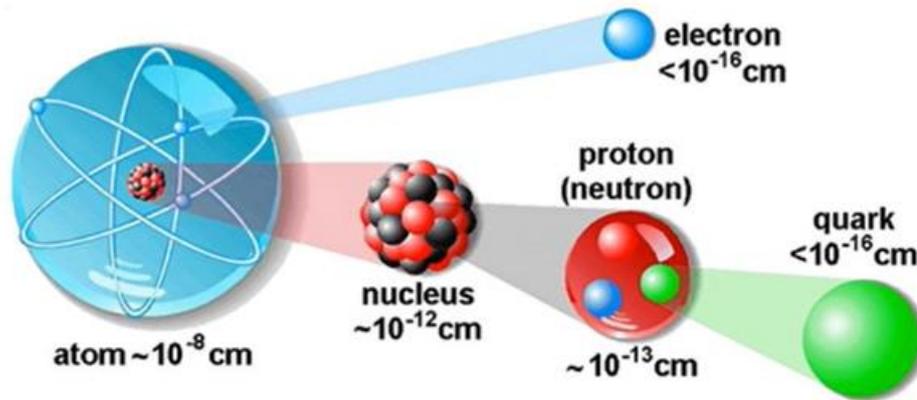
De acuerdo. Pero ya sabes, no estoy solo en esto. No soy solo yo quien piensa que esta es una forma tonta de organizar la naturaleza. La naturaleza misma piensa que esta es una forma tonta de organizar la naturaleza. Por supuesto, sabemos que esto no es lo fundamental, este no es el final de la historia. Estos no son los bloques de construcción fundamentales.

Y la primera persona en darse cuenta de que hay algo más profundo que esto fue un físico de Cambridge llamado JJ Thomson. Así que a finales del 1800, JJ Thomson descubrió una partícula que era más pequeña que un átomo que ahora llamamos el electrón. Y en 1897, anunció esto en esta sala, de hecho, en esta misma serie de conferencias, a una audiencia atónita, una audiencia que estaba tan aturdida que al menos la mitad de ellos no creyeron lo que estaba diciendo. Hubo un científico muy distinguido que después le dijo a JJ Thomson que pensaba que todo era un engaño, que JJ Thomson acababa de tirar de su pierna. Pero, por supuesto, no es un engaño. Estos no son los elementos fundamentales de la naturaleza.

Y dentro de los 15 años del descubrimiento de JJ Thomson, su sucesor en Cambridge, un hombre llamado Ernest Rutherford, había descubierto exactamente de qué están hechos estos átomos.

Y esta es la imagen que se le ocurrió a Rutherford.

Inside the atom



Así que ahora sabemos que cada uno de estos elementos consiste en:

- un núcleo, que es pequeño. La metáfora que el propio Rutherford usó fue que es como una mosca en el centro de la catedral. Y luego orbitando este núcleo en, debo agregar, órbitas bastante borrosas,
- son los electrones, que llenan muy escasamente el resto del espacio. Así que esta es una imagen de estos átomos.

Posteriormente, aprendimos que el núcleo no es en sí mismo fundamental.

El **núcleo** contiene partículas más pequeñas. Son partículas que llamamos

- **protones** y **neutrones**.

Y en la década de 1970, aprendimos que los protones y neutrones tampoco son fundamentales. Así que en la década de 1970, aprendimos que dentro de cada protón y neutrón están

- Tres partículas más pequeñas que llamamos **quarks**. Hay dos tipos diferentes de quarks.

En la década de 1970, supongo que los físicos no tenían una educación griega clásica, y se habían quedado sin nombres con clase.

Así que llamamos a estos quarks el

- **quark arriba** y el
- **quark abajo**.

¿De acuerdo? Sin una buena razón. No es que el **quark arriba** sea más alto que el **quark abajo**. No es como si apuntara hacia arriba.

Simplemente no hay una buena razón en absoluto. Tenemos el *quark arriba* y el *quark abajo*.

Así que el **protón** consiste en

- dos *quarks arriba* y
- Un *quark abajo*.

Y el **neutrón** consiste en

- dos *quark abajo* y
- Un *quark arriba*.

Esto, hasta donde sabemos, **son los bloques de construcción fundamentales de la naturaleza**. Nunca hemos descubierto nada más pequeño que el electrón, y nunca hemos descubierto nada más pequeño que los quarks.

Así que tenemos tres partículas de las que está hecho todo lo que sabemos. Y vale la pena enfatizar, eso es algo asombroso. ¿Sabes? De alguna manera lo damos por sentado. Aprendemos esto en la escuela. Realmente no pensamos en ello profundamente.

Todo lo que vemos en el mundo, toda la diversidad en el mundo natural, tú, yo, todo lo que nos rodea, solo las mismas tres partículas con reordenamientos ligeramente diferentes repetidos una y otra y otra vez. Es una lección increíble para extraer sobre cómo se compone el mundo. Así que eso es lo que tenemos. Tenemos un electrón y dos quarks. Y ya sabes, estos no son los bloques de construcción fundamentales en los que los griegos habían pensado, y ciertamente no son los bloques de construcción fundamentales en los que los victorianos habían pensado. Pero ya sabes, el espíritu del problema realmente no ha cambiado.

El espíritu es exactamente lo que Demócrito dijo hace 2.500 años, que son como ladrillos LEGO a partir de los cuales se construye todo en el mundo. Estos ladrillos LEGO son partículas, y las partículas son el electrón y dos quarks. Es una imagen muy bonita. Es una imagen muy reconfortante. Es la imagen que enseñamos a los niños en la escuela. Es la imagen que incluso enseñamos a los estudiantes en la universidad de pregrado.

Y hay un problema con eso. El problema es que es mentira. Es una mentira piadosa. Es una mentira piadosa que les decimos a nuestros hijos porque no queremos exponerlos a la difícil y horrible verdad demasiado pronto. Hace que sea más fácil aprender si crees que estas partículas son los bloques de construcción fundamentales del universo. Pero simplemente no es cierto.

Las mejores teorías que tenemos de la física no tienen detrás de ellas la [partícula de electrones](#) y las [dos partículas de quarks](#). De hecho, las mejores teorías que tenemos de la física no dependen de las partículas en absoluto. Las mejores teorías que tenemos nos dicen que los bloques de construcción fundamentales de la naturaleza no son partículas, sino algo mucho más nebuloso y abstracto. Los bloques de construcción fundamentales de la naturaleza son sustancias similares a fluidos que se extienden por todo el universo y se ondulan de maneras extrañas e interesantes. Esa es la realidad fundamental en la que vivimos.

[Estas sustancias similares a los fluidos](#) para las que tenemos un nombre.

Los llamamos **campos**. Así que esta es una imagen de un campo.

Fields



Este no es el tipo de campo que los físicos tienen en mente. Sabes, esto es lo que crees que es un campo si eres un agricultor o si eres una persona normal. Si eres físico, tienes una imagen muy diferente en tu mente cuando piensas en campos. Y les diré la definición general de un campo, y luego repasaremos algunos ejemplos para que se familiaricen con esto.

La definición del físico de un campo es la siguiente. Es algo que, como dije, se extiende por todo el universo. Es algo que toma un valor particular en cada punto del espacio. Y lo que es más, ese valor puede cambiar con el tiempo. Así que una buena imagen para tener tu mente es fluida, que ondula y se balancea por todo el universo. Ahora, no es una idea nueva.

No es una idea que se nos acaba de ocurrir. Es una idea que se remonta a casi 200 años. Y como tantas otras cosas en la ciencia, es una idea que se originó en esta misma sala. Porque como estoy seguro de que muchos de ustedes saben, este es el hogar de Michael Faraday (Universidad de Cambridge). Y Michael Faraday inició esta serie de conferencias en 1825. Dio más de cien de estos discursos de viernes por la noche, y la gran mayoría de ellos fueron sobre sus propios descubrimientos sobre los experimentos que hizo sobre [electricidad](#) y [magnetismo](#).

Faraday.

Así que hizo muchas, muchas cosas en electricidad y magnetismo durante muchas décadas. Y al hacerlo, construyó una intuición sobre cómo funcionan los fenómenos eléctricos y magnéticos. Y la intuición es lo que ahora llamamos **el campo eléctrico y magnético.**

Así que lo que imaginó fue que enhebrados por todas partes en todo el espacio estaban estos objetos invisibles llamados campos eléctricos y magnéticos. Ahora, aprendimos esto en la escuela. Una vez más, es algo que damos por sentado porque lo aprendimos a una edad temprana, y no apreciamos cuán grande es este paso radical esta idea de Faraday.

Quiero enfatizar, es una de las ideas abstractas más revolucionarias en la historia de la ciencia, que estos campos eléctricos y magnéticos existen. Así que déjenme simplemente... se supone que deben ser demostraciones en esto. No soy solo un físico teórico. Soy un físico muy teórico. Es muy difícil para mí hacer cualquier tipo de experimento que funcione. Pero solo voy a mostrarles algo que todos ustedes han visto.



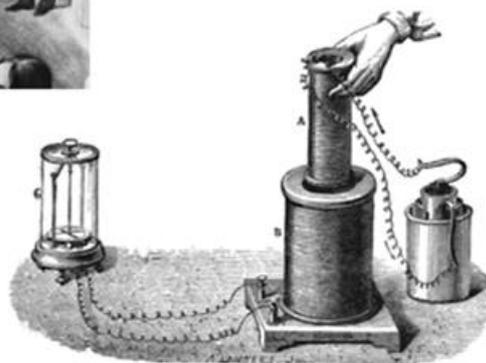
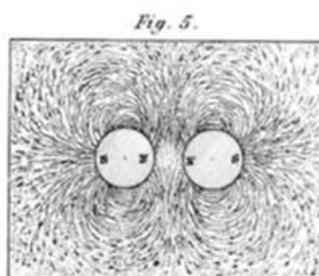
Son imanes. ¿De acuerdo? Y todos jugamos a estos juegos cuando éramos niños o cuando estábamos en la escuela. Tomas estos imanes y los mueves juntos. Y a medida que se acercan más y más, hay una fuerza que puedes sentir que se acumula

y empuja, la presión que empuja contra estos dos imanes. Y no importa con qué frecuencia lo hagas, y no importa cuántos títulos tengas en física.

Es un poco mágico. ¿Sabes? Y todos ustedes lo saben. Hay algo especial en esta extraña sensación que tienes entre imanes. Y esta fue la genialidad de Faraday. Él observó que aunque no se puede ver nada en el medio, aunque no importa cuán de cerca se mire, el espacio entre estos imanes parecerá estar vacío, dijo, sin embargo, hay algo real allí.

Hay algo real y físico, que es invisible, pero se está acumulando, y eso es lo que es responsable de la fuerza. Así que los llamó *líneas de fuerza*. Ahora lo llamamos **el campo magnético**. Así que esto, por supuesto, esto es una imagen de Michael Faraday. En esta imagen podemos ver a Michael Faraday dando una conferencia detrás de esta misma mesa. Aquí hay un dibujo de uno de los papeles de Michael Faraday.

The electric and magnetic fields



Se me señaló antes. Cuando te vas, hay una alfombra justo aquí. La alfombra tiene este patrón, esta imagen simplemente se repite una y otra y otra vez. Y en la parte

inferior aquí está una de las demostraciones más famosas de Michael Faraday que hizo aquí. Así que te guiaré a través de lo que hizo Faraday. La cosa de la derecha, es una pequeña bobina con una mano sobre ella.

Esta es una batería, y la batería pasa una corriente alrededor de esta bobina. Y al hacerlo, hay un campo magnético que se induce en esto. Es lo que se llama un *solenoides*. Y entonces Faraday hizo lo siguiente. Simplemente movió esta *pequeña bobina A* a través de esta *gran bobina B* de esta manera. Y algo milagroso sucedió.

Cuando haces eso, hay un campo magnético *en movimiento*. El gran descubrimiento de Faraday fue **la inducción**. Da lugar a una corriente en B, que luego en este extremo de la mesa, hace que una aguja parpadee así. Así de extremadamente simple. Mueve un campo magnético y da lugar a una corriente, lo que hace que una aguja parpadee al otro lado de la mesa. Esto asombró al público en la década de 1800.

Porque estabas haciendo algo y afectando a la aguja en el otro extremo de la mesa, pero nunca se tocó la aguja. Fue increíble. Podrías hacer que algo se mueva sin acercarte a él, sin tocarlo. Estamos un poco hastiados en estos días. Puedes hacer el mismo experimento. Puedes levantar tu teléfono celular.

Puede presionar algunos botones. Puedes llamar a alguien en el otro extremo de la tierra en cuestión de segundos. Pero es el mismo principio. Pero esta fue la primera vez que se demostró que el **campo** es **real**. Puedes comunicarse utilizando el campo. **Puedes afectar cosas lejanas usando el campo sin tocarlo.**

Así que este es el legado de Michael Faraday. No solo hay partículas en el mundo. **Hay otros objetos que son un poco más sutiles que se llaman campos que se extienden por todo el espacio.** Por cierto, si alguna vez quieres apreciar realmente el genio de Michael Faraday, dio esta conferencia en 1846. Dio muchas conferencias en 1846. Pero hubo uno en particular en el que terminó 20 minutos antes.

Se quedó sin cosas que decir, así que se involucró en una especulación ociosa durante 20 minutos. Y Faraday sugirió que estos campos invisibles, eléctricos y magnéticos

que había postulado eran literalmente lo único que hemos visto. Sugirió que son ondulaciones del campo eléctrico y magnético, que es lo que llamamos luz. Así que tomó un curso de 50 años para que personas como Maxwell y Hertz confirmaran que esto es de lo que está hecha la luz, pero fue el genio de Faraday el que apreció esto, que **había ondas en el campo magnético eléctrico, y esas ondas son la luz que vemos a nuestro** alrededor. De acuerdo. Así que este es el legado de Faraday.

Pero resulta que esta idea de campos era mucho más importante de lo que Faraday se había dado cuenta. Y nos tomó más de 150 años apreciar la importancia de estos campos. Entonces, lo que sucedió en estos 150 años fue que hubo una pequeña revolución en la ciencia. En la década de 1920, nos dimos cuenta de que el mundo es muy, muy diferente de las ideas de sentido común que Newton y Galileo nos habían transmitido siglos antes. Así que en la década de 1920, personas como Heisenberg y Schrodinger se dieron cuenta de que en las escalas más pequeñas, en las escalas microscópicas, el mundo es mucho más misterioso y contrario a la intuición de lo que realmente imaginamos que podría ser. Esta, por supuesto, es la teoría que ahora conocemos como **mecánica cuántica**.

Así que hay mucho que podría decir sobre la mecánica cuántica. Déjame decirte que una de las líneas de la mecánica cuántica es que la energía no es continua. **La energía en el mundo siempre está repartida en un pequeño bulto discreto**. Eso es en realidad lo que significa la palabra cuántica.

Cuántico significa discreto o un bulto. Así que la verdadera diversión comienza cuando intentas tomar las ideas de la mecánica cuántica, que dicen que las cosas deben ser discretas, y tratas de combinarlas con **las ideas de Faraday de los campos**, que son objetos muy continuos y suaves, **que se agitan y oscilan en el espacio**.

La teoría cuántica de campos es:

La idea de tratar de combinar estas dos teorías.

La implicación de la teoría cuántica de campos es:

- **Las ondas de luz están hechas de partículas: FOTONES.**

La primera implicación es lo que sucede con el campo eléctrico y magnético. Así que Faraday nos enseñó, y Maxwell más tarde, que las ondas del campo electromagnético son lo que llamamos luz. Pero cuando aplicas la mecánica cuántica a esto, encuentras que estas ondas de luz no son tan suaves y

continuas como parecían. Entonces, si miras de cerca las **ondas de luz, encontrarás que están hechas de partículas.**

- **El campo de electrones.**

Son pequeñas partículas de luz, y estas son partículas que llamamos fotón. La magia de esta idea es que ese mismo principio se aplica a todas las demás partículas del universo. Así que hay esparcido por todas partes a lo largo de esta sala algo que llamamos el **campo de electrones. Es como un fluido que llena esta habitación y, de hecho, llena todo el universo.** Y las ondulaciones de este fluido de electrones, las ondas de las **ondas de este fluido, se unen en pequeños** haces de energía por las reglas de la mecánica cuántica, y esos haces de energía son lo que llamamos la partícula, **el electrón.**

- **Todos estamos conectados entre nosotros.**

Todos los electrones que están en tu cuerpo no son fundamentales. **Todos los electrones que existen en tu cuerpo son ondas del mismo campo subyacente.** Y todos estamos conectados entre nosotros. Al igual que las olas en el océano pertenecen al mismo océano subyacente, los electrones en **su cuerpo son ondas del mismo campo que los electrones en mi cuerpo.** Hay más que esto.

- **Dos campos de quarks.**

También hay en esta sala dos campos de quarks. Y las ondas de estos dos campos de quarks dan lugar a lo que llamamos el

- **Quark arriba** y el
- **Quark abajo.**

Y lo mismo es cierto para cualquier otro tipo de partícula en el universo. **Hay campos que subyacen a todo.** Y lo que pensamos como partículas no son realmente partículas en absoluto.

Las partículas son ondas de estos campos atadas en pequeños paquetes de energía. Este es el legado de Faraday. Aquí es donde nos ha llevado la visión de campos de Faraday. **No hay partículas en el mundo.**

Los bloques de construcción fundamentales básicos de nuestro universo

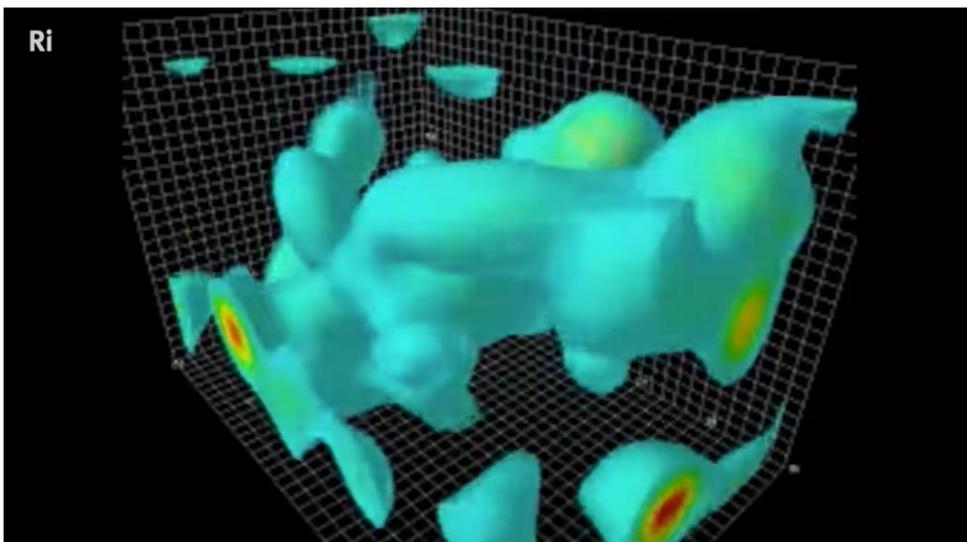
Son estas sustancias similares a los fluidos que llamamos campos.

Muy bien. De acuerdo. Entonces, lo que quiero hacer en el resto de esta charla es decirles a dónde nos lleva esa visión. Quiero contarles lo que significa que **no estamos hechos de partículas**.

Estamos hechos de campos.

Y quiero decirles lo que podemos hacer con eso, y cómo podemos entender mejor el universo que nos rodea. ¿De acuerdo? Así que aquí está lo primero. Toma una caja y saca todo lo que existe de esa caja. Saca todas las partículas de la caja, todos los átomos de la caja. Lo que te queda es un vacío puro.

Y así es como se ve la **aspiradora**.



Entonces, lo que están viendo aquí es una simulación por computadora usando nuestra mejor teoría de la física de algo llamado el modelo estándar, que presentaré más adelante. Pero **es una simulación por computadora de absolutamente nada**. Este es un espacio vacío. **Espacio literalmente vacío sin nada en él**. Esto es lo más simple que puedas imaginar en el universo.

Y puedes ver, es un lugar interesante para estar, un espacio vacío. No es aburrido. Lo que estás viendo aquí es que incluso **cuando se extraen las partículas, el campo todavía existe**. El campo está ahí. Pero lo que es más, **el campo se rige por las reglas de la mecánica cuántica**. Y hay un principio en la mecánica cuántica, que se llama

- el Principio de Incertidumbre de Heisenberg, que dice

- **No se te permite quedarte quieto.** Y el campo tiene que obedecer esto. Entonces, incluso cuando no hay nada más allá, el campo está constantemente burbujeando y fluctuando en lo que, honestamente, es una forma muy complicada. Estas son cosas que llamamos **fluctuaciones cuánticas del vacío**. Pero así es como se ve la **nada** desde la perspectiva de nuestras teorías actuales de la física. Vale la pena decir que esto es una simulación por computadora. Se parece un poco a una caricatura, pero en realidad es una simulación por computadora bastante poderosa, y tomó mucho tiempo hacerlo.

Pero estas no son solo teorías. Estas fluctuaciones cuánticas que están allí en el vacío puro son cosas que podemos medir. Hay algo llamado la fuerza de Casimir. La fuerza de Casimir es una fuerza entre dos placas de metal que se juntan básicamente porque hay más de estas cosas en el exterior que en el interior. Y ya sabes, estos son reales. Estas son cosas que podemos medir, y se comportan tal como predeciríamos que lo harían a partir de nuestras teorías.

Así que esto no es nada. Y esto me lleva al lado más matemático de la charla. Porque hay un desafío en esto. Esto es lo más simple que podemos imaginar en todo el universo, y es complicado. Es asombrosamente complicado. No hay nada más fácil que esto.

Ya sabes, si quieres entender ahora nada más que una sola partícula, bueno, eso es mucho más complicado que esto. Y si quieres entender de 10 a 23 partículas, todas haciendo algo interesante, eso es más, mucho más complicado que esto. Así que hay un problema en... es mi problema, no el suyo, al abordar esta descripción fundamental del universo, que es que es simplemente difícil. Las matemáticas que usamos para describir los campos cuánticos, para describir todo lo que estamos hechos en términos de campos cuánticos, son sustancialmente más difíciles que las matemáticas que surgen en cualquier otra área de la física o la ciencia. Es realmente difícil. Puedo poner esto en cierta perspectiva.

[Hay una lista de seis problemas abiertos en matemáticas.](#)

Se consideran los seis problemas más difíciles de las matemáticas. Solía haber siete, pero un loco ruso resolvió uno de ellos. Así que quedan seis. Usted gana un millón

de dólares si puede resolver cualquiera de estos problemas. Si sabes un poco de matemáticas, son cosas como la hipótesis de Riemann, o P versus MP.

Son una especie de problemas famosos y difíciles. Este es uno de esos seis problemas. Ganas un millón de dólares si puedes entender esto. Entonces, ¿qué significa? No significa que puedas construir una computadora grande y simplemente demostrar que están ahí. Significa que ¿puedes entender desde los primeros principios resolviendo las ecuaciones los patrones que emergen dentro de estas fluctuaciones cuánticas?

Es un problema extraordinariamente difícil. Sabes, es escribir el tipo de cosas que hago. No conozco a una sola persona en el mundo que realmente esté trabajando en este problema. Así de difícil es. Realmente ni siquiera sabemos cómo comenzar a entender este tipo de ideas en la teoría cuántica de campos. De acuerdo.

Este tema sobre las matemáticas como desafiantes es algo que volverá más adelante en la charla. Así que me gustaría tomar un poco de distracción por unos minutos y darles una idea de lo que podemos hacer matemáticamente y lo que no podemos hacer matemáticamente, solo para decirles cuál es el estado del juego en términos de comprensión de estas teorías llamadas teorías cuánticas de campos que subyacen a nuestro universo. Así que hay momentos en los que entendemos muy bien lo que está pasando con los campos cuánticos. Y eso sucede básicamente cuando estas fluctuaciones son muy tranquilas y mansas, cuando no son salvajes y fuertes. Estas son grandes. Pero cuando están mucho más tranquilas, cuando el vacío se parece mucho más a un estanque de molino que a una tormenta furiosa, en esos casos, realmente creemos que entendemos lo que estamos haciendo.

Y para ilustrar esto, solo quiero darles este ejemplo.

[Así que este número 'g' es una propiedad particular de la partícula de electrones.](#)

Y explicaré rápidamente qué es.

Sometimes we understand it...

$$g = 2.0023193043617 \pm 3$$

$$g = 2.00231930436...$$

El electrón es una partícula, y resulta que el electrón gira. Orbita más bien como las órbitas terrestres. Y tiene un eje de giro.

Y puedes cambiar el eje de ese giro. Y la forma en que lo cambias es que tomas un campo magnético como este. Y en presencia de un campo magnético, el electrón girará. El electrón permanecerá en un lugar, pero girará. Y luego el eje de giro girará lentamente así. Es lo que se llama precesión.

Y la velocidad a la que el eje de ese giro procesa está dictada por este número aquí. ¿De acuerdo? Así que no es lo más importante en el panorama general. Sin embargo, históricamente, esto ha sido extremadamente importante en la historia de la física, porque resulta que este es un número que se puede medir muy, muy exactamente haciendo experimentos. Y así, este número ha actuado como un campo de pruebas para que veamos qué tan bien entendemos las teorías que subyacen a la naturaleza, y en particular, la teoría cuántica de campos. Así que déjenme decirles lo que están viendo aquí.

El primer número es el resultado de muchas, muchas décadas de minuciosos experimentos que miden muy, muy precisamente esta característica del electrón. Se llama el momento magnético, por lo que vale. Y el segundo número es el resultado de muchas, muchas décadas de cálculos muy tortuosos sentados con lápiz y papel y tratando de predecir a partir de los primeros principios de la teoría cuántica de campos cuál debería ser el momento magnético de los electrones. Y puedes ver, es

simplemente espectacular. Y no hay nada como esto en ningún otro lugar de la ciencia con un acuerdo entre el cálculo teórico y las mediciones experimentales. Creo que son 12 o 13 cifras significativas.

Es realmente asombroso. En cualquier otra área de la ciencia, estarás saltando arriba y abajo de alegría si aciertas los dos primeros números. En economía, ni siquiera eso. [RISAS] Solo que aquí es donde estamos en física de partículas en un buen día cuando realmente entendemos lo que estamos haciendo con ella. Es sustancialmente mejor que cualquier otra área de la ciencia. 12 cifras significativas.

Pero esto, por supuesto, te lo he mostrado porque este es nuestro mejor resultado. Hay muchos otros resultados que no son tan buenos. Y la dificultad viene cuando esas fluctuaciones cuánticas del vacío comienzan a volverse más salvajes y fuertes. Así que permítanme darles un ejemplo. Debería ser posible para nosotros sentarnos y calcular a partir de los primeros principios la masa del protón. Tenemos las ecuaciones.

Todo debería estar allí. Solo necesitamos trabajar duro y averiguar cuál es la masa del protón simplemente haciendo cálculos. Hemos estado tratando de hacer esto durante unos 40 años. Podemos llegar a una precisión de algo así como 3%. Lo cual no está mal. Estamos al 3% allí.

Pero deberíamos ser mucho, mucho mejores. Deberíamos estar empujando estos niveles de precisión. Y la razón es muy simple. Tenemos la ecuación correcta. Estamos bastante seguros de que estamos resolviendo la ecuación correcta. Es simplemente que no somos lo suficientemente inteligentes como para resolverlo.

En 40 años, las computadoras más poderosas del mundo, muchas, muchas personas inteligentes. Pero no hemos logrado resolver esto. De acuerdo. Hay otras situaciones de las que no les contaré sobre las que ni siquiera despegamos. Hay algunas situaciones en las que, por razones bastante sutiles, no podemos usar computadoras para ayudarnos, y simplemente no tenemos idea de lo que estamos haciendo. Así que es una situación un poco extraña.

Tenemos estas teorías de la física. Son las mejores teorías que hemos desarrollado, como se puede ver por esto. Pero al mismo tiempo, también son las teorías que menos entendemos y es para progresar que tenemos este extraño acto de equilibrio entre aumentar nuestra comprensión teórica y descubrir cómo aplicar eso a los experimentos que estamos haciendo. Y de nuevo, es un tema al que volveré al final de la conferencia. Muy bien. Hasta ahora, he estado hablando en un poco de generalidad sobre de qué estamos hechos.

Y este es el remate para el punto medio de la charla. Todos ustedes están hechos de campos cuánticos, y no los entiendo. Al menos no los entiendo tan bien como creo que debería. Así que lo que quiero hacer ahora es entrar en un poco más de detalles. Quiero decirles exactamente de qué están hechos los campos cuánticos. De hecho, te diré exactamente qué campos cuánticos existen en el universo.

Y la buena noticia es que no hay muchos de ellos. Así que simplemente les diré, todos ellos. Así que empezamos con la tabla periódica.

Esta es la nueva tabla periódica.

Y es mucho más simple. Ya sabes, es mucho mejor.

The new periodic table



Están las tres partículas de las que todos estamos hechos. Hay

- **el electrón** y
- Los dos quarks: el "**quark arriba**" y el "**quark abajo**".

Y como he subrayado, las partículas no son fundamentales. Lo que es realmente fundamental es el campo que subyace a ellos. Y luego resulta que hay una cuarta partícula que no he discutido hasta ahora. Se llama

- **el neutrino.**

No es importante en lo que estamos hechos, pero juega otro papel importante en otras partes del universo. Estos neutrinos están en todas partes. Nunca los han notado, pero desde que comencé esta charla, algo así como 10^{14} de ellos han corrido a través del cuerpo de todos y cada uno de ustedes, tantos los que vienen de arriba desde el espacio exterior como realmente los que vienen de abajo, porque fluyen a través de la tierra y luego continúan. No son muy sociables. No interactúan. Así que esto es de lo que está hecho todo.

Estas son las cuatro partículas que forman la base de nuestro universo. Excepto que entonces sucedió algo bastante extraño. Por una razón que no entendemos en absoluto, la naturaleza ha optado por tomar estas cuatro partículas y reproducirlas dos veces. Así que esta es en realidad la lista de todos los campos que componen las partículas en nuestro universo. Entonces, ¿qué estamos viendo aquí?

The new periodic table

electron 1	electron neutrino 10^{-6}	up quark 8	down quark 4
muon 200	muon neutrino 10^{-6}	strange quark 200	charm quark 2000
tau 3000	tau neutrino 10^{-6}	bottom quark 8000	top quark 340,000

Este es el electrón.

Resulta que hay otras dos partículas que se comportan en todos los sentidos exactamente igual que el electrón, excepto que son más pesadas. Los llamamos

- el **muón** que tiene una masa de algo así como 200 veces el electrón, y
- La partícula **tau**, que es 3.000 veces más pesada que el electrón. ¿Por qué están ahí? No tenemos ni idea. Es uno de los misterios del universo.
- También hay **dos neutrinos** más.
- - **Neutrino muónico**
- - **Neutrino Tau**

Así que hay **tres neutrinos en total**.

Y los dos quarks que conocíamos por primera vez ahora están unidos por
Otros cuatro quarks que llamamos el

- **El quark extraño** y el
- **quark encantado**. Y luego, cuando llegamos aquí, realmente nos quedamos sin ningún tipo de inspiración para nombrarlos. Los llamamos los
- **El quark de abajo** y el
- **Quark de arriba**.

Así que debo enfatizar. Entendemos las cosas muy, muy bien yendo de esta manera.

Entendemos por qué vienen en un grupo de cuatro. Entendemos por qué tienen las propiedades que tienen. No entendemos en absoluto que vayan de esta manera. No sabemos por qué hay tres de estos en lugar de dos de ellos o 17 de ellos. Eso es un misterio. Pero esto es todo.

Esto es todo en el universo.

Todo de lo que estás hecho son estos tres en la parte superior. Y es solo cuando vas a situaciones más exóticas, como colisionadores de partículas, que necesitamos los otros en la parte inferior.

Pero cada cosa que hemos visto se puede hacer de estos.

- **12 partículas** y
- **12 campos**.

Estos **12 campos interactúan entre sí**, e interactúan a través de **cuatro fuerzas diferentes**. Dos de estos son extremadamente familiares.

Son

- La **fuerza de la gravedad** y T
- la fuerza del **electromagnetismo**. Pero también hay otras dos fuerzas que operan sólo en pequeñas escalas de un núcleo. Así que hay algo llamado...
- La **fuerza nuclear fuerte**, que mantiene unidos a los quarks dentro de protones y neutrones. Y hay algo llamado
- La **fuerza nuclear débil**, que es responsable de la desintegración radiactiva y, entre otras cosas, de hacer brillar el sol.

Una vez más, cada una de estas fuerzas está **asociada a un campo**. Así que Faraday nos enseñó sobre el campo electromagnético, pero hay campos asociados a esto, que se llaman

- el **campo de gluones** y
- el **campo W** y
- El campo **de bosones Z**.

El campo gravitatorio :

También hay un campo asociado a la gravedad. Y esta fue realmente la gran visión de Einstein sobre el mundo. El campo asociado a la gravedad resulta ser

- **espacio y tiempo** mismo. Entonces, si nunca has escuchado eso antes, esa fue la introducción más corta del mundo a la relatividad general. Y no voy a decir nada más al respecto. Te dejaré resolverlo por ti mismo.

De acuerdo. Así que este es el universo en el que vivimos:

- **El campo de la materia**

Hay **12 campos que dan materia**. Llamaré "*el campo de la materia*", y

- **Las Fuerzas**

Hay otros cuatro campos que son las fuerzas.

El mundo en el que vivimos es esta combinación de **los 16 campos que interactúan** juntos de maneras interesantes. Así es como deberías pensar que es el universo.

El universo está lleno de estos campos, sustancias similares a fluidos.

12 de materia, 4 de fuerzas. Uno de los campos de materia comienza a oscilar y ondularse. Digamos que el campo de electrones comienza a ondear hacia arriba y hacia abajo, porque hay electrones allí. Eso dará inicio a uno de los otros campos.

Iniciará, digamos, el campo electromagnético, que, a su vez, también oscilará y ondulará. Habrá [luz](#) que se emite.

Así que eso oscilará un poco. En algún momento, comenzará a interactuar con el campo de quarks, que a su vez oscilará y ondulará.

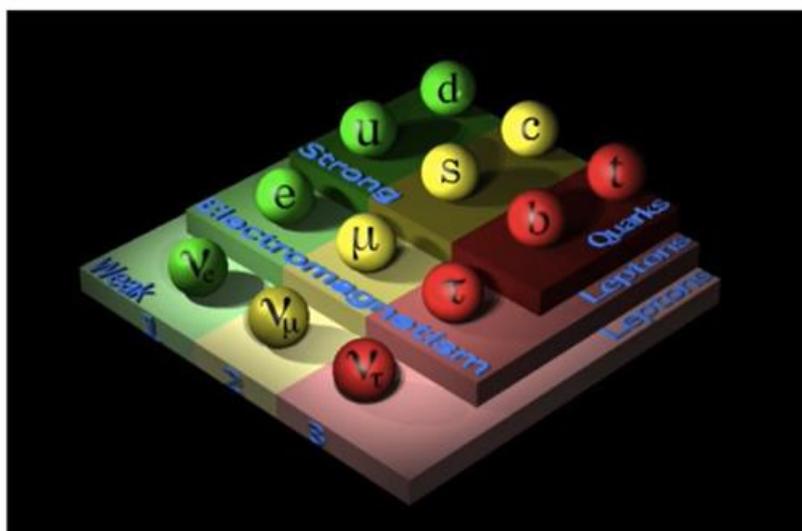
Y la imagen con la que terminamos es [esta danza armoniosa entre todos estos campos, entrelazándose entre sí, balanceándose, moviéndose de un lado a otro](#). Esa es la imagen que tenemos de las leyes fundamentales de la física. Tenemos una teoría que subyace a todo esto. Es, para decirlo simplemente, el pináculo de la ciencia.

Esta es la teoría más grande que se nos ha ocurrido. Le hemos dado el nombre más asombrosamente basura del que hayas oído hablar.

La llamamos el [modelo estándar](#). Cuando escuchas el nombre del modelo estándar, suena tedioso y mundano.

Realmente debería ser reemplazado por [La Teoría más Grande en la Historia de la Civilización Humana](#). ¿De acuerdo?

The standard model



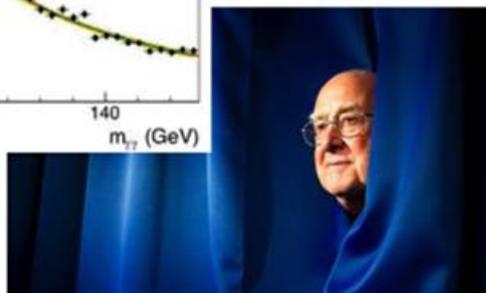
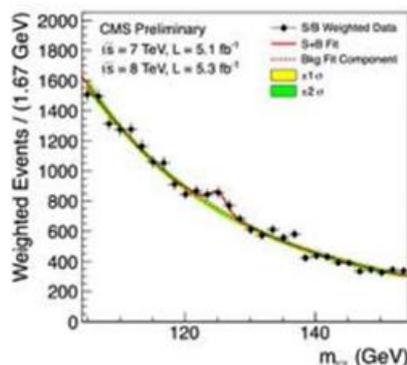
Eso es lo que estamos viendo. De acuerdo. Así que esto es todo, excepto que no es del todo. De hecho, me he perdido ese campo. Hay una cosa extra que sabemos, que se hizo bastante famosa en los últimos años. Fue un campo que fue sugerido por primera vez en la década de 1960 por un físico escocés llamado Peter Higgs.

Y para la década de 1970, se había convertido en una parte integral de la forma en que pensábamos sobre el universo. Pero durante mucho tiempo, no tuvimos evidencia experimental directa de que esto existiera, donde la evidencia experimental directa significa que hacemos que este campo de Higgs se ondule para que veamos una partícula asociada a él. Y esto cambió.

Esto cambió hace cuatro años en el LHC (*Gran Colisionador de Hadrones construido en el CERN, Suiza*), es el colisionador de partículas más grande y de mayor energía del mundo.)

Estos son los dos experimentos del LHC que lo descubrieron. Son del tamaño de catedrales, y están llenas de productos electrónicos.

The Higgs field



The particle is the “Higgs boson”. It is about 2.4×10^6 heavier than the electron

Son cosas asombrosas.

- La imagen de arriba se llama *Atlas*.
- El otro a continuación se llama *CMS*.

Esa partícula de Higgs no dura mucho. La partícula de Higgs dura 10 a la potencia de menos 22 segundos. Así que no es como si lo vieras y pudieras tomarle una foto y ponerlo en Instagram.

Es un poco más sutil. Así que estos son los datos, y este pequeño bulto aquí es cómo sabemos que esta partícula de Higgs llamada "bosón de Higgs" existió. Esta es una

foto de Peter Higgs siendo encontrado. Y este fue el **bloque de construcción final**. Sabes, fue importante. Fue un gran problema.

Y fue importante por dos razones.

- 1) La primera es que esto es lo responsable de lo que llamamos "**masa**" en el universo. Así que las propiedades de todas las partículas, cosas como
 - **carga** eléctrica y
 - **masa**,

son realmente una declaración sobre cómo sus campos interactúan con otros campos. Así que la propiedad que llamamos **carga eléctrica de un electrón** es una declaración sobre cómo el campo **de electrones interactúa con el campo electromagnético**. Y la propiedad de su **masa** es la declaración sobre **cómo interactúa con el campo de Higgs**. Así que entender esto era realmente necesario para que entendiéramos el significado de la masa en el universo. Así que fue un gran problema.

- 2) La otra razón por la que fue un gran problema es que esta fue la pieza final de nuestros rompecabezas. Teníamos esta teoría que llamamos el **modelo estándar**. Lo hemos tenido desde la década de 1970. Esto era lo último que necesitábamos descubrir para estar seguros de que esta teoría es correcta.

Lo sorprendente es que esta partícula fue predicha en la década de 1960. -50 años hemos estado esperando. Finalmente lo creamos en el CERN. Se comporta exactamente de la manera que pensábamos. Se comporta absolutamente perfectamente como predijimos usando estas teorías.

De acuerdo. La siguiente va a ser la parte aterradora de la charla.

Te he estado contando sobre esta teoría. Y he estado agitando mis manos fingiendo que soy un campo. Déjame decirte cuál es realmente la teoría. Permítanme mostrarles lo que hacemos.

Esta es la ecuación para el modelo estándar de la física.

The theory of everything (so far)

$$Z = \int \mathcal{D}(\text{Fields}) \exp \left(i \int d^4x \sqrt{-g} (R - F_{\mu\nu}F^{\mu\nu} - G_{\mu\nu}G^{\mu\nu} - W_{\mu\nu}W^{\mu\nu} + \sum_i \bar{\psi}_i \not{D} \psi_i + \mathcal{D}_\mu H^\dagger \mathcal{D}^\mu H - V(H) - \lambda_{ij} \bar{\psi}_i H \psi_j) \right)$$

No espero que lo entiendas, sobre todo porque hay partes de esta ecuación que *nadie en el planeta entiende*.

Pero, sin embargo, quiero mostrárselo por la siguiente razón.

Esta ecuación predice correctamente el resultado de cada experimento que hemos hecho en la ciencia. Todo está contenido en esta ecuación. Este es realmente el pináculo del enfoque reduccionista de la ciencia. Todo está aquí.

Así que lo admito.

No es la ecuación más simple del mundo. Pero tampoco es lo más complicado. Puedes ponerlo en una camiseta si quieres. De hecho, si vas al CERN, puedes comprar una camiseta con esta ecuación. Permítanme darles una idea de lo que estamos viendo.

El primer término aquí fue escrito por Albert Einstein y describe [la gravedad](#).

Lo que eso significa es que si pudieras resolver esta pequeña parte de la ecuación, solo esta **R**, puedes, por ejemplo, predecir qué tan rápido cae una manzana de un árbol, o el hecho de que las órbitas del planeta alrededor del sol forman elipses. O puede predecir lo que sucede cuando dos enormes agujeros negros chocan entre sí y forman un nuevo agujero negro, enviando ondas gravitacionales a través del universo. O de hecho, puedes predecir cómo se expande todo el universo. Todo esto viene de resolver esta pequeña parte de la ecuación.

El siguiente término en la ecuación fue escrito por James Clerk Maxwell, y te dice todo sobre el **electromagnetismo**.

Así que todos los experimentos que Faraday pasó toda una vida haciendo en esto, de hecho, todos los experimentos durante muchos siglos, desde Coulomb hasta Faraday, Hertz y desarrollos modernos de láseres, todo, están en esta pequeña parte de la ecuación.

Así que hay algo de poder en estas próximas ecuaciones.

Esta es la ecuación que gobierna la fuerza nuclear **fuerte, la fuerza nuclear débil.**

Esta es una ecuación que fue escrita por primera vez por un físico británico llamado Paul Dirac. Describe el **asunto**. Describe esas **12 partículas que componen la materia**. Sorprendentemente, cada uno de ellos obedece exactamente a la misma ecuación.

Tenemos las ecuaciones de Peter Higgs. Y esta es una ecuación que te dice cómo interactúa la materia con la partícula de Higgs.

Así que todo está aquí, en esta ecuación. Es realmente un logro asombroso, pero este es también nuestro límite actual de conocimiento. Nunca hemos hecho un experimento que no pueda ser explicado por esta ecuación. Y nunca hemos encontrado una manera en que esta ecuación deje de funcionar.

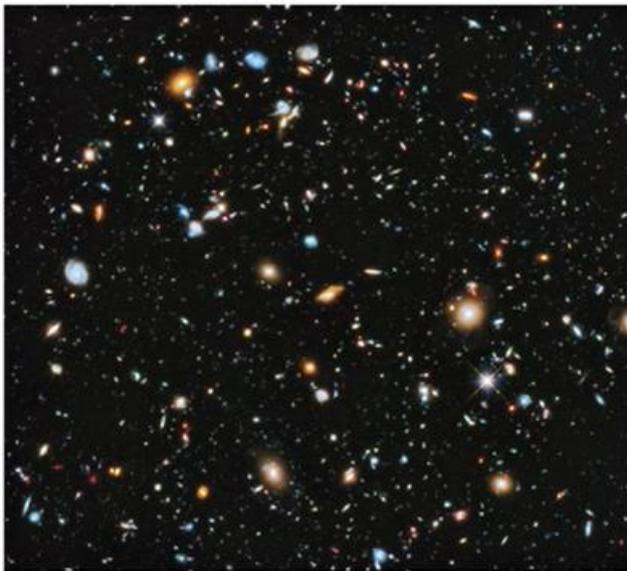
Así que esto es lo mejor que tenemos actualmente. De acuerdo. Es lo mejor que tenemos actualmente.

MATERIA OSCURA y ENERGÍA OSCURA;

Sin embargo, queremos hacerlo mejor, porque sabemos con certeza que hay cosas por ahí que no se explican mediante esto. Y la razón por la que lo sabemos es que aunque esto explica cada experimento que hemos hecho aquí en la Tierra, si miramos hacia el cielo, hay cosas adicionales que siguen siendo un misterio. Entonces, si miramos hacia el espacio, hay, por ejemplo, partículas invisibles por ahí.

De hecho, hay muchas **más partículas invisibles que partículas visibles**. Las llamamos **materia oscura**.

There's stuff we're missing



Dark matter? Dark energy? Inflation?

No podemos verlas, obviamente, porque son invisibles. Pero podemos ver sus efectos. Podemos ver sus efectos en la forma en que las galaxias giran, o la forma en que doblan la "luz" alrededor de las galaxias. Están ahí fuera.

No sabemos cuáles son. Hay cosas aún más misteriosas. Hay algo llamado **energía oscura**, que se **extiende por todo el espacio**. También es **una especie de campo**, aunque no uno que entendamos, que está causando que todo en el universo repela todo lo demás. Otras cosas. Sabemos que al comienzo, en los primeros segundos, antes de eso, las primeras fracciones de segundo después del Big Bang, **el universo experimentó una fase muy rápida de expansión que llamamos inflación**.

Sabemos que sucedió, pero no se explica por esa ecuación que acabo de mostrarles. Así que este es el tipo de cosas que vamos a tener que entender si vamos a avanzar y decidir cuáles son las próximas leyes de la física que van más allá del modelo estándar. Podría pasar horas hablando de cualquiera de estos. Me voy a centrar solo en el último.

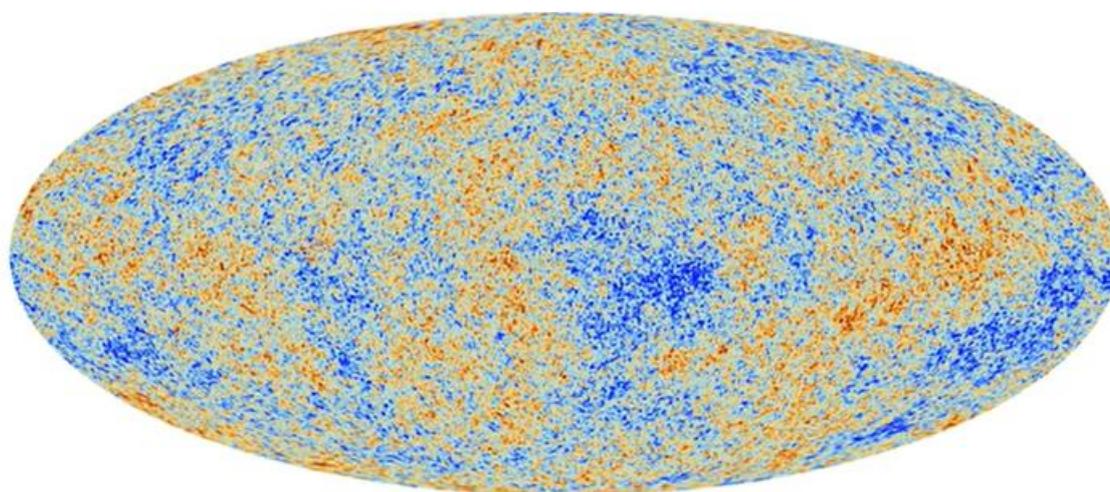
Inflación.

Te voy a contar un poco sobre la "inflación".

El universo tiene 8 mil millones de años. Y lo entendemos bastante bien, bueno, no entendemos en absoluto cómo comenzó. No entendemos qué inició todo en el momento t igual a 0. Pero entendemos bastante bien lo que sucedió después de que comenzó. Y sabemos en particular que durante los primeros 380.000 años del universo, se llenó de una bola de fuego. Y lo sabemos con certeza porque hemos visto la bola de fuego. De hecho, lo hemos visto, y hemos tomado una fotografía de ella.

Esto se llama radiación cósmica de fondo de microondas, pero un nombre mucho mejor para ella es la **Bola de fuego que llenó el universo** cuando era mucho más joven.

The Fireball of the Big Bang



La bola de fuego se enfría. Su luz ha estado fluyendo a través del universo durante 13.8 mil millones de años. Pero podemos verlo.

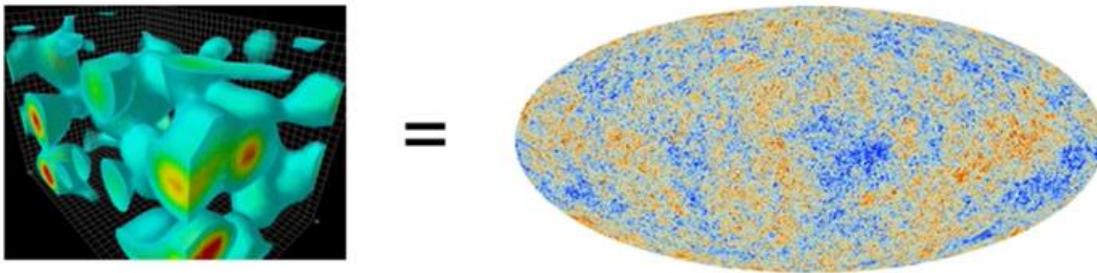
Podemos tomar esta fotografía de ella. Y podemos entender muy bien lo que estaba sucediendo en estos primeros momentos del universo. Y puedes ver, parece literalmente una bola de fuego. Hay trozos rojos que son más calientes. Hay partes azules que son más frías. Y al estudiar este parpadeo que se puede ver en esta

imagen, obtenemos mucha información sobre lo que estaba sucediendo hace 13.800 millones de años cuando el universo era un bebé. Una de las principales preguntas que queremos hacernos es

¿Qué causó el parpadeo en la bola de fuego?

Y tenemos una respuesta a esto. Tenemos una respuesta, que creo que es una de las cosas más asombrosas de toda la ciencia. Resulta que aunque la bola de fuego duró 380.000 años, lo que causó este parpadeo no pudo haber tenido lugar durante la gran mayoría de ese tiempo. Lo que sea que causó **el parpadeo** en esta bola de fuego en realidad **tuvo lugar en las primeras fracciones de segundo después del Big Bang**.

What quantum field are we seeing here?



Y lo que era, era lo siguiente. Así que cuando el universo era muy, muy joven, poco después del Big Bang, no había partículas, pero había:

- **campos cuánticos**, porque los campos cuánticos estaban **en todas partes**. Y hubo estas
- **Fluctuaciones cuánticas del vacío**. Y lo que sucedió fue que el universo se expandió muy, muy rápidamente, y captó estas fluctuaciones cuánticas en el acto. Así que las fluctuaciones cuánticas se extendieron por todo el cielo, donde se congelaron. Y son estas fluctuaciones de vacío aquí las ondas que se ven en la bola de fuego.

Así que es una historia asombrosa, que las **fluctuaciones cuánticas del vacío** estaban teniendo lugar **de 10 a menos 30 segundos después del Big Bang**. Eran

absolutamente microscópicos. Y ahora los vemos extendidos por todo el universo, extendidos 20 mil millones de años luz a través del cielo. Eso es lo que están viendo aquí. Y, sin embargo, haces los cálculos para esto, y coincide perfectamente con lo que ves aquí. Así que este es otro de los grandes triunfos de la teoría cuántica de campos.

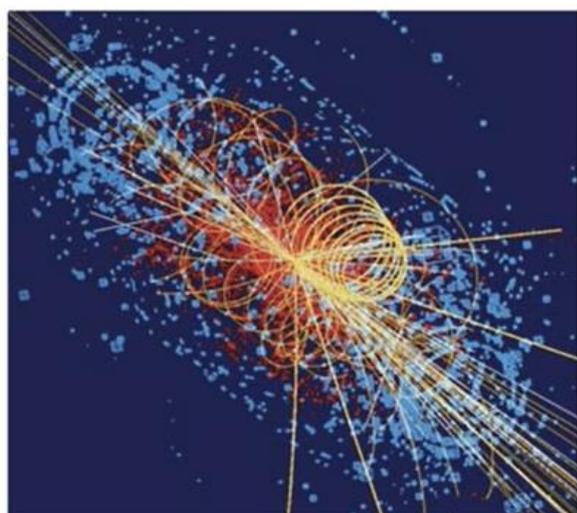
Pero deja muchas preguntas. La más importante es, ¿qué campo estamos viendo aquí? ¿Qué campo es este que está impreso en la radiación de fondo? Y la respuesta es que no lo sabemos. El único de los campos de modelo estándar que tiene la esperanza de ser es el Higgs. Pero la mayoría de nosotros pensamos que no es el Higgs, sino probablemente algo nuevo.

Pero lo que nos gustaría hacer para avanzar hacia el futuro es obtener una imagen mucho mejor de esta bola de fuego, en particular obtener la polarización de la luz. Y al obtener una imagen de esto, podemos entender mucho mejor las propiedades de este campo que fluctuaba en el universo temprano.

De acuerdo. Esta mirada hacia adelante es una de las mejores esperanzas que tenemos para ir más allá del modelo estándar y comprender la nueva física.

En los últimos 10 minutos, sin embargo, me gustaría traerte de vuelta a la Tierra, más o menos.

Meanwhile, back on Earth



Tenemos muchos experimentos aquí en la Tierra donde también estamos tratando de hacerlo mejor, donde también estamos tratando de ir más allá del modelo estándar de la física más allá de esa ecuación para entender lo que es nuevo.

Y hay muchos de ellos, pero el más destacado es el que ya he mencionado. Es el LHC. Así que lo que sucedió fue que el LHC descubrió el **bosón de Higgs** en 2012. Y poco después, cerró durante dos años. Tenía una actualización. Y el año pasado, en 2015, el LHC volvió a encenderse con el doble de energía que tenía cuando descubrió el Higgs.

Y el objetivo era doble. El objetivo era, en primer lugar, comprender mejor el Higgs, lo que ha hecho fantásticamente, y en segundo lugar, descubrir una nueva física que se encuentra más allá del *Higgs*, una nueva física más allá del *modelo estándar*. Entonces, antes de decirles lo que se ha visto, déjenme contarles algunas de las ideas que hemos tenido, algunas de nuestras expectativas y esperanzas para lo que sucedería en el futuro.

Así que aquí está nuestra ecuación favorita de nuevo.

The theory of everything (so far)

$$Z = \int \mathcal{D}(\text{Fields}) \exp \left(i \int d^4x \sqrt{-g} (R - F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} - G_{\mu\nu} G^{\mu\nu} - W_{\mu\nu} W^{\mu\nu} + \sum_i \bar{\psi}_i \not{D} \psi_i + \mathcal{D}_\mu H^\dagger \mathcal{D}^\mu H - V(H) - \lambda_{ij} \bar{\psi}_i H \psi_j) \right)$$

La idea siempre ha sido la siguiente. Ya sabes, si fueras un científico victoriano, y vuelves atrás y miras la tabla periódica de elementos, entonces es cierto que hay patrones allí que dan una pista de la estructura que se encuentra debajo. Esos números que se repiten.

Donde, si eres muy inteligente, podrías comenzar a darte cuenta de que, sí, hay algo más profundo que solo estos elementos. Así que nuestra esperanza como teóricos es

mirar esta ecuación y ver si tal vez podemos encontrar patrones en esta ecuación que sugieran que podría haber algo más profundo que se encuentra debajo.

Y están ahí. Así que permítanme darles un ejemplo.

- Esta es la ecuación que describe la fuerza de la electricidad y el magnetismo.
- Y es casi lo mismo que las ecuaciones que describen las fuerzas para la fuerza fuerte y la fuerza nuclear débil. Como puedes ver. Acabo de cambiar las letras. Es un poco más complicado que eso, pero no es mucho más complicado que eso. Las tres fuerzas realmente se ven similares.

Así que te preguntarás? Tal vez no haya tres fuerzas en el universo.

¿Tal vez esas tres fuerzas son en realidad solo una fuerza?

Y cuando pensamos que hay tres fuerzas, ¿es porque estamos viendo esa fuerza desde perspectivas ligeramente diferentes? ¿Quizás?

Aquí hay algo más, que es increíble. Estas son las ecuaciones para los 12 campos de materia en el universo: los neutrinos, los electrones y los quarks. Cada uno de ellos obedece exactamente a la misma ecuación.

Cada uno de ellos obedece a la ecuación de Dirac.

Así que de nuevo, ¿te preguntarás? ¿Tal vez no hay 12 campos diferentes?

Tal vez todos son el mismo campo y la misma partícula, y el hecho de que se vean diferentes es, de nuevo, ¿tal vez solo porque los miramos desde perspectivas ligeramente diferentes? ¿Quizás?

Ideas of unification

$$Z = \int \mathcal{D}(\text{Fields}) \exp \left(i \int d^4x \sqrt{-g} (R - F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} - G_{\mu\nu} G^{\mu\nu} - W_{\mu\nu} W^{\mu\nu} + \sum_i \bar{\psi}_i \not{D} \psi_i + \mathcal{D}_\mu H^\dagger \mathcal{D}^\mu H - V(H) - \lambda_{ij} \bar{\psi}_i H \psi_j) \right)$$

Así que estas ideas que he estado sugiriendo van por el nombre de **unificación**.

La idea de que las **tres fuerzas están realmente combinadas en una** es lo que se llama **gran unificación**..

Y es muy fácil. Es muy fácil escribir una teoría matemática en la que todos estos son solo una fuerza, que parece ser tres desde nuestra perspectiva. Hay otras posibilidades aquí. Podrías decir, bueno,

- este es el asunto, y
- Estas son las fuerzas.

Y las ecuaciones son diferentes, pero no son tan diferentes. Porque en última instancia, **ambos son solo campos**.

Así que te preguntarás si tal vez hay algo

¿Forma en que la materia y las fuerzas se relacionan entre sí?

Bueno, también tenemos una teoría para eso.

Es una **teoría** que se llama **supersimetría**..

Y es una teoría hermosa. Es muy profundo conceptualmente. Y más o menos, ya sabes, huele como si estuviera bien.

Finalmente, podrías ser muy, muy audaz. Podrías decir, bueno,

¿Puedo combinar el lote? ¿Puedo simplemente deshacerme de todos estos términos y simplemente escribir un solo término del que surja todo lo demás? La gravedad, las fuerzas, las partículas, el Higgs, todo. Tengo algo para ti si tú también quieres.

Se llama Teoría de **Cuerdas**.

Así que tenemos la posibilidad de una teoría que contenga todo esto en un concepto simple. Y la pregunta en el futuro, por supuesto, es ¿son correctas? Sabes, es muy fácil para nosotros los teóricos tener estas ideas. Y debo decir que estas ideas son lo que ha impulsado la física teórica durante 30 años, pero queremos saber, ¿verdad? Y tenemos una manera de decir que tienen razón. Hacemos experimentos.

Así que debo decir, si quieres saber si **la teoría de cuerdas es** correcta, no tenemos ninguna forma de probarla en este momento.

Pero si quieres saber si algunas de estas otras ideas son correctas, entonces eso es lo que el LHC debería estar haciendo. La razón por la que construimos el LHC fue

- en primer lugar **para encontrar el Higgs**. OK, funcionó.
- En segundo lugar, para probar este tipo de ideas que hemos estado teniendo para ver lo que hay más allá.

Así que el LHC ha estado funcionando. Ha estado funcionando durante dos años. Ha estado funcionando como un sueño absoluto. Es una máquina perfecta. Dos años. Esto es lo que se ve: *Absolutamente nada*. Todas estas fantásticas y hermosas ideas que hemos tenido, ninguna de ellas está apareciendo en absoluto.

Y la pregunta en el futuro es, ¿qué vamos a hacer al respecto? ¿Cómo vamos a progresar en la comprensión de la siguiente capa de la física cuando el LHC no está viendo nada, y nuestras ideas simplemente no parecen ser la forma en que funciona la naturaleza?

Debo decirte que a menudo no tengo una buena respuesta a esto. Mi impresión es que la mayoría de mi comunidad está un poco conmocionada por lo que sucedió. Ciertamente no hay consenso en la comunidad para avanzar. Pero creo que hay tres respuestas que varias personas han tenido que me gustaría compartir con ustedes. Y creo que estas tres respuestas son razonables hasta cierto punto.

La primera respuesta a que el LHC no ve nada, es la siguiente. Ustedes, niños pequeños, son tan pesimistas. Todo es pesimismo contigo. Necesitas un poco más de paciencia. Sabes, no vi nada el año pasado, y no vi nada este año.

Pero el próximo año, va a ver algo. Y si no es el próximo año, es el año siguiente que va a ver algo. Por lo general, son mis muy ilustres colegas mayores los que tienen esto, ¿y saben qué? Fácilmente podrían tener razón. Podría ser fácilmente que el próximo año, el LHC descubra algo asombroso, y nos ponga en *el camino para comprender la siguiente capa de realidad*.

Pero también es cierto que estas mismas personas predecían que ya habría visto algo.

Y también es cierto que esto no puede continuar por mucho más tiempo. Si el LHC no ve algo dentro de, digamos, una escala de tiempo de dos años, parece muy, muy poco probable que vaya a ver algo avanzando. Es posible. Simplemente parece poco probable. Así que espero con todo mi corazón que el LHC descubra algo el próximo año o el siguiente. Pero creo que tenemos que prepararnos para lo peor, que tal vez no lo haga.

Respuesta número dos. La respuesta número dos, que también es de personas similares, bueno, todas nuestras teorías son tan hermosas. Absolutamente tienen que ser correctos, y lo que realmente necesitamos es una máquina más grande. 10 veces más grande lo hará. Una vez más, podrían tener razón. No tengo un buen argumento en contra.

La refutación obvia, sin embargo, es que una nueva máquina costó 10 mil millones de dólares. No hay demasiados gobiernos en el mundo que tengan 10 mil millones de dólares de sobra para que exploremos estas ideas.

Hay uno. Uno es China. Y entonces, si esta máquina va a ser construida, va a ser construida por el gobierno chino.

Creo que el gobierno chino lo vería como extremadamente atractivo si toda la comunidad de *físicos e ingenieros de partículas* que actualmente tienen su sede en el CERN y Ginebra se mudan a una ciudad que está ligeramente al norte de Beijing. Creo que lo verían como una ganancia política y económica, y hay una posibilidad real de que decidan construir esta máquina. Si lo hacen, son unos 20 años para que se construya. Así que estamos esperando un poco más.

Hay una tercera respuesta. Y debo decir que la tercera respuesta es una especie de campamento en el que estoy. Debo mencionar por adelantado, es especulativo, y probablemente no esté respaldado por la mayoría de mis compañeros. Así que esta es realmente mi opinión personal en este momento.

Esta es mi opinión al respecto.

Or...

$$Z = \int \mathcal{D}(\text{Fields}) \exp \left(i \int d^4x \sqrt{-g} (R - F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} - G_{\mu\nu} G^{\mu\nu} - W_{\mu\nu} W^{\mu\nu} + \sum_i \bar{\psi}_i \not{D} \psi_i + \mathcal{D}_\mu H^\dagger \mathcal{D}^\mu H - V(H) - \lambda_{ij} \bar{\psi}_i H \psi_j) \right)$$

maybe there are further hints in this equation that we've missed?

Esta es la ecuación que sabemos que es correcta.

Esta es una especie de base de nuestro entendimiento.

Pero aunque sabemos que es correcto, hay *muchas cosas en esta ecuación que no hemos entendido*.

Hay muchas cosas para mí que todavía son misteriosas en esta ecuación.

Entonces, aunque esta ecuación parecía que había sugerencias de unificación, tal vez son solo pistas falsas.

Y tal vez si trabajamos más duro para tratar de entender más esta ecuación, encontraremos que hay otros patrones que emergen.

Así que mi respuesta es, creo que tal vez deberíamos volver a la mesa de dibujo y comenzar a desafiar algunos de los supuestos y paradigmas que hemos estado sosteniendo durante los últimos 30 años.

Así que me siento bastante energizado, en realidad, por la falta de resultados para el LHC.

¿Sabes? Me parece bien que todos estuvieran equivocados.

Ya sabes, es cuando nos equivocamos que comenzamos a progresar.

Así que me siento muy feliz por esto, y creo que hay una posibilidad muy real de que podamos empezar a pensar en diferentes ideas.

Debo decir que hay pistas aquí.

Hay pistas para mí sobre patrones matemáticos que no hemos explorado.

Hay pistas en esto sobre las conexiones con otras áreas de la ciencia.

Cosas como

- física de la *materia condensada*, que es la ciencia de cómo funcionan los materiales, o
- *Ciencia de la información* cuántica, que es el intento de construir una computadora cuántica.

Todos estos temas fantásticos tienen nuevas ideas, que alimentan el tipo de preguntas que estamos haciendo aquí.

Así que soy bastante optimista de que en el futuro, podemos progresar, tal vez no el progreso que pensamos que haríamos hace unos años, sino simplemente algo nuevo. Así que ese es el remate de mi charla.

El remate es que esta es la ecuación más grande que hemos escrito.

Pero espero que algún día, podamos darte algo mejor.

Gracias por su atención.

GRUPO MEZZA VERDE.

<http://www.mezzaverde.com>