

Desenredando las (teorías de) **cuerdas**

Saúl Ramos-Sánchez

ramos@fisica.unam.mx

REYES 2020

julio 3, 2020



?

?

?

?

**¿De qué está
hecho el universo?**

?

?

?

?

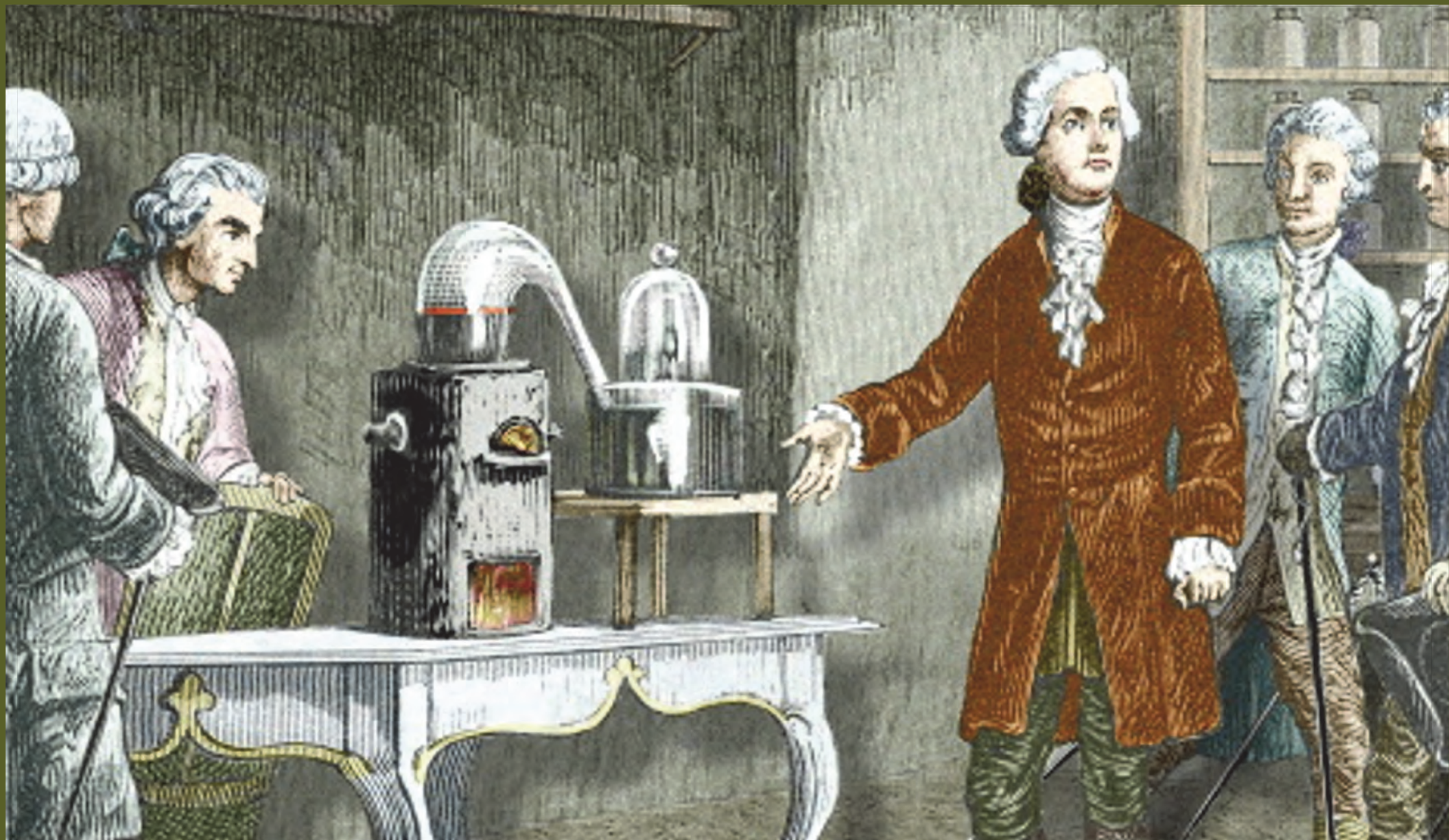
?

¿De qué está hecho el universo? *4 Elementos*



Babilonia (siglo 18 AC) → Aristóteles (384 – 322 AC) → Edad Media (~1600)

¿De qué está hecho el universo? *Química*



Antoine-Laurent Lavoisier (1743-1794)

Química

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
H 1.01									
Li 6.94	Be 9.01	B 10.8	C 12.0	N 14.0	O 16.0	F 19.0			
Na 23.0	Mg 24.3	Al 27.0	Si 28.1	P 31.0	S 32.1	Cl 35.5			
K 39.1	Ca 40.1		Ti 47.9	V 50.9	Cr 52.0	Mn 54.9	Fe 55.9	Co 58.9	Ni 58.7
Cu 63.5	Zn 65.4			As 74.9	Se 79.0	Br 79.9			
Rb 85.5	Sr 87.6	Y 88.9	Zr 91.2	Nb 92.9	Mo 95.9		Ru 101	Rh 103	Pd 106
Ag 108	Cd 112	In 115	Sn 119	Sb 122	Te 128	I 127			
Ce 133	Ba 137	La 139		Ta 181	W 184		Os 194	Ir 192	Pt 195
Au 197	Hg 201	Tl 204	Pb 207	Bi 209					
			Th 232		U 238				

Química

1 H Hydrogen 1.008																	2 He Helium 4.003
3 Li Lithium 6.941	4 Be Beryllium 9.012											5 B Boron 10.811	6 C Carbon 12.011	7 N Nitrogen 14.007	8 O Oxygen 15.999	9 F Fluorine 18.998	10 Ne Neon 20.180
11 Na Sodium 22.990	12 Mg Magnesium 24.305											13 Al Aluminum 26.982	14 Si Silicon 28.086	15 P Phosphorus 30.974	16 S Sulfur 32.066	17 Cl Chlorine 35.453	18 Ar Argon 39.948
19 K Potassium 39.098	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.956	22 Ti Titanium 47.867	23 V Vanadium 50.942	24 Cr Chromium 51.996	25 Mn Manganese 54.938	26 Fe Iron 55.845	27 Co Cobalt 58.933	28 Ni Nickel 58.693	29 Cu Copper 63.546	30 Zn Zinc 65.38	31 Ga Gallium 69.723	32 Ge Germanium 72.631	33 As Arsenic 74.922	34 Se Selenium 78.972	35 Br Bromine 79.904	36 Kr Krypton 84.798
37 Rb Rubidium 85.468	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.906	40 Zr Zirconium 91.224	41 Nb Niobium 92.906	42 Mo Molybdenum 95.95	43 Tc Technetium 98.907	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.906	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Silver 107.868	48 Cd Cadmium 112.411	49 In Indium 114.818	50 Sn Tin 118.711	51 Sb Antimony 121.760	52 Te Tellurium 127.6	53 I Iodine 126.904	54 Xe Xenon 131.294
55 Cs Cesium 132.905	56 Ba Barium 137.328	57-71	72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.948	74 W Tungsten 183.84	75 Re Rhenium 186.207	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.217	78 Pt Platinum 195.085	79 Au Gold 196.967	80 Hg Mercury 200.592	81 Tl Thallium 204.383	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 208.980	84 Po Polonium [208.982]	85 At Astatine 209.987	86 Rn Radon 222.018
87 Fr Francium 223.020	88 Ra Radium 226.025	89-103	104 Rf Rutherfordium [261]	105 Db Dubnium [262]	106 Sg Seaborgium [266]	107 Bh Bohrium [264]	108 Hs Hassium [269]	109 Mt Meitnerium [268]	110 Ds Darmstadtium [269]	111 Rg Roentgenium [272]	112 Cn Copernicium [277]	113 Nh Nihonium unknown	114 Fl Flerovium [289]	115 Mc Moscovium unknown	116 Lv Livermorium [298]	117 Ts Tennessine unknown	118 Og Oganesson unknown
57 La Lanthanum 138.905	58 Ce Cerium 140.116	59 Pr Praseodymium 140.908	60 Nd Neodymium 144.242	61 Pm Promethium 144.913	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.964	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.925	66 Dy Dysprosium 162.500	67 Ho Holmium 164.930	68 Er Erbium 167.259	69 Tm Thulium 168.934	70 Yb Ytterbium 173.055	71 Lu Lutetium 174.967			
89 Ac Actinium 227.028	90 Th Thorium 232.038	91 Pa Protactinium 231.036	92 U Uranium 238.029	93 Np Neptunium 237.048	94 Pu Plutonium 244.064	95 Am Americium 243.061	96 Cm Curium 247.070	97 Bk Berkelium 247.070	98 Cf Californium 251.080	99 Es Einsteinium [254]	100 Fm Fermium 257.095	101 Md Mendelevium 258.1	102 No Nobelium 259.101	103 Lr Lawrencium [262]			
Alkali Metal	Alkaline Earth	Transition Metal	Basic Metal	Semimetal	Nonmetal	Halogen	Noble Gas	Lanthanide	Actinide								



Rayos cósmicos

Viktor Franz Hess (1911)

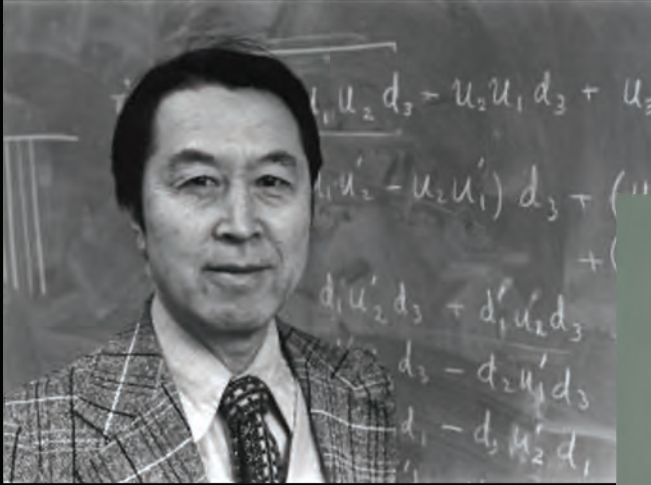
Zoológico cósmico de partículas

Clasificando todas las partículas

¿De qué están hechas las partículas?

Las fuerzas fundamentales: fuerza nuclear fuerte

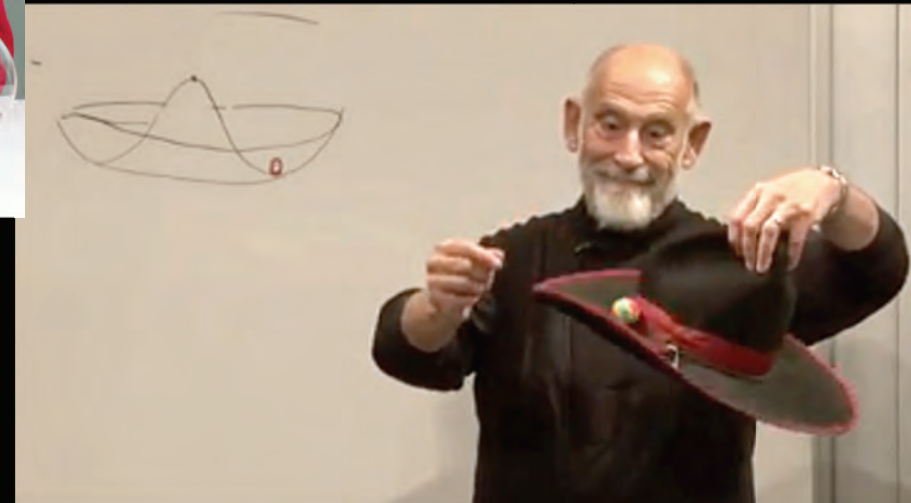
El nacimiento de la teoría de cuerdas (1970)



Yoichiro Nambu
Nobel 2008



Holger Nielsen

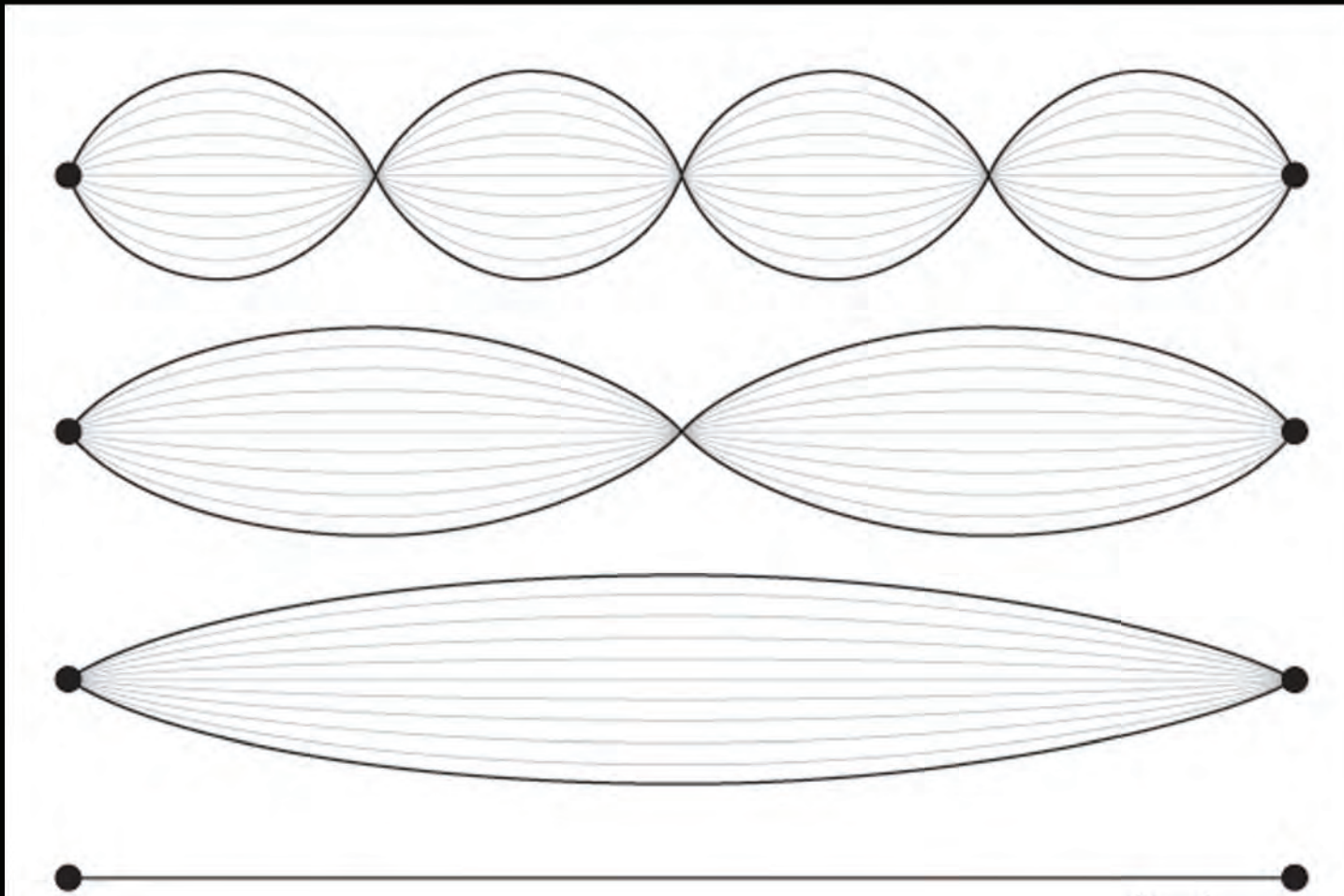


Leonard Susskind

El nacimiento de la teoría de cuerdas (1970)

Notaron independientemente que una propuesta para describir las nuevas partículas describía cuerdas rotantes y vibrantes:

¡cada modo de vibración corresponde a una nueva partícula!



El nacimiento de la teoría de cuerdas (1970)

Notaron independientemente que una propuesta para describir las nuevas partículas describía cuerdas rotantes y vibrantes:

¡cada modo de vibración corresponde a una nueva partícula!

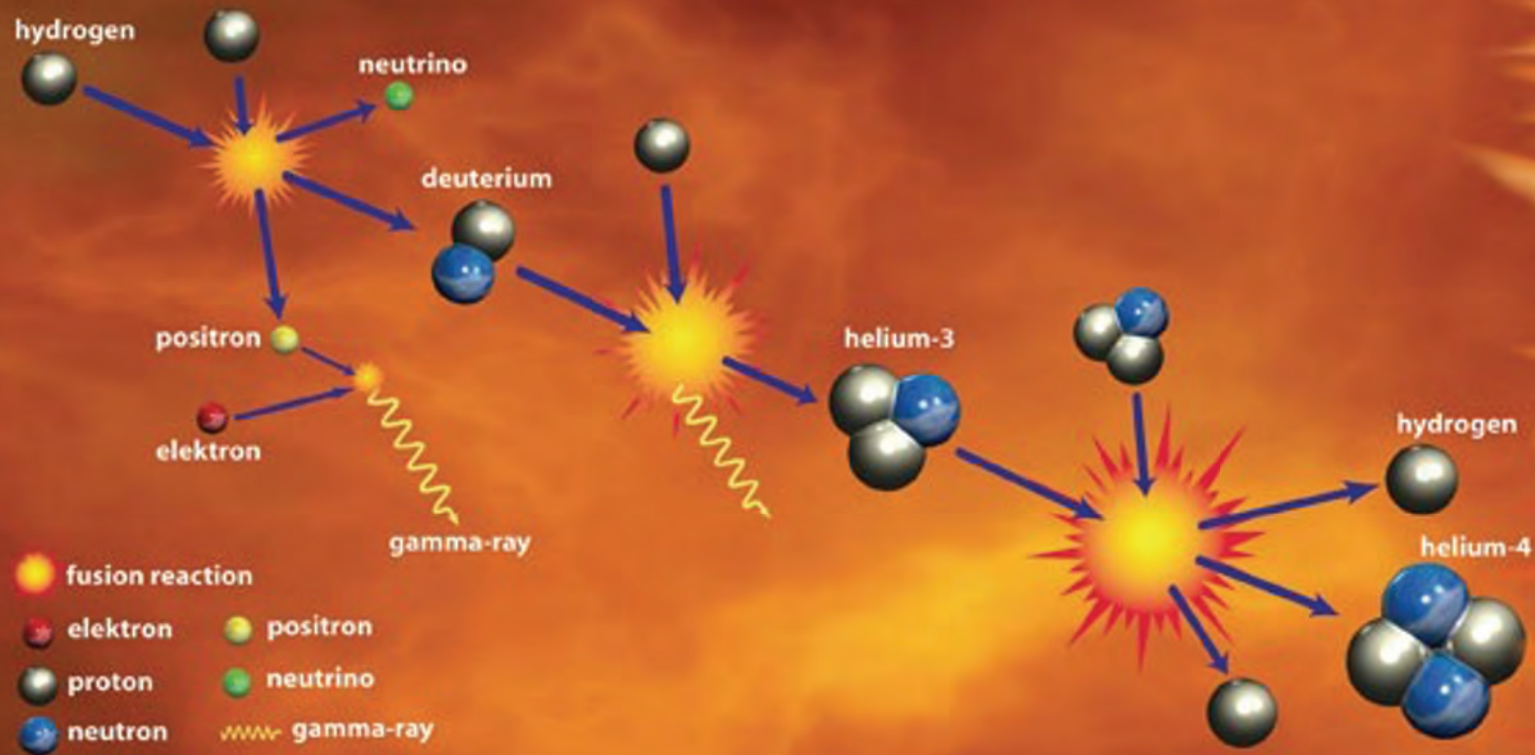
¡¡¡PERO no funcionó!!!

(Más detalles más tarde...)

Fuerza fuerte descrita por cromodinámica cuántica







Las fuerzas fundamentales: electromagnetismo

Las fuerzas fundamentales: fuerza nuclear débil




Las partículas elementales

Leptons

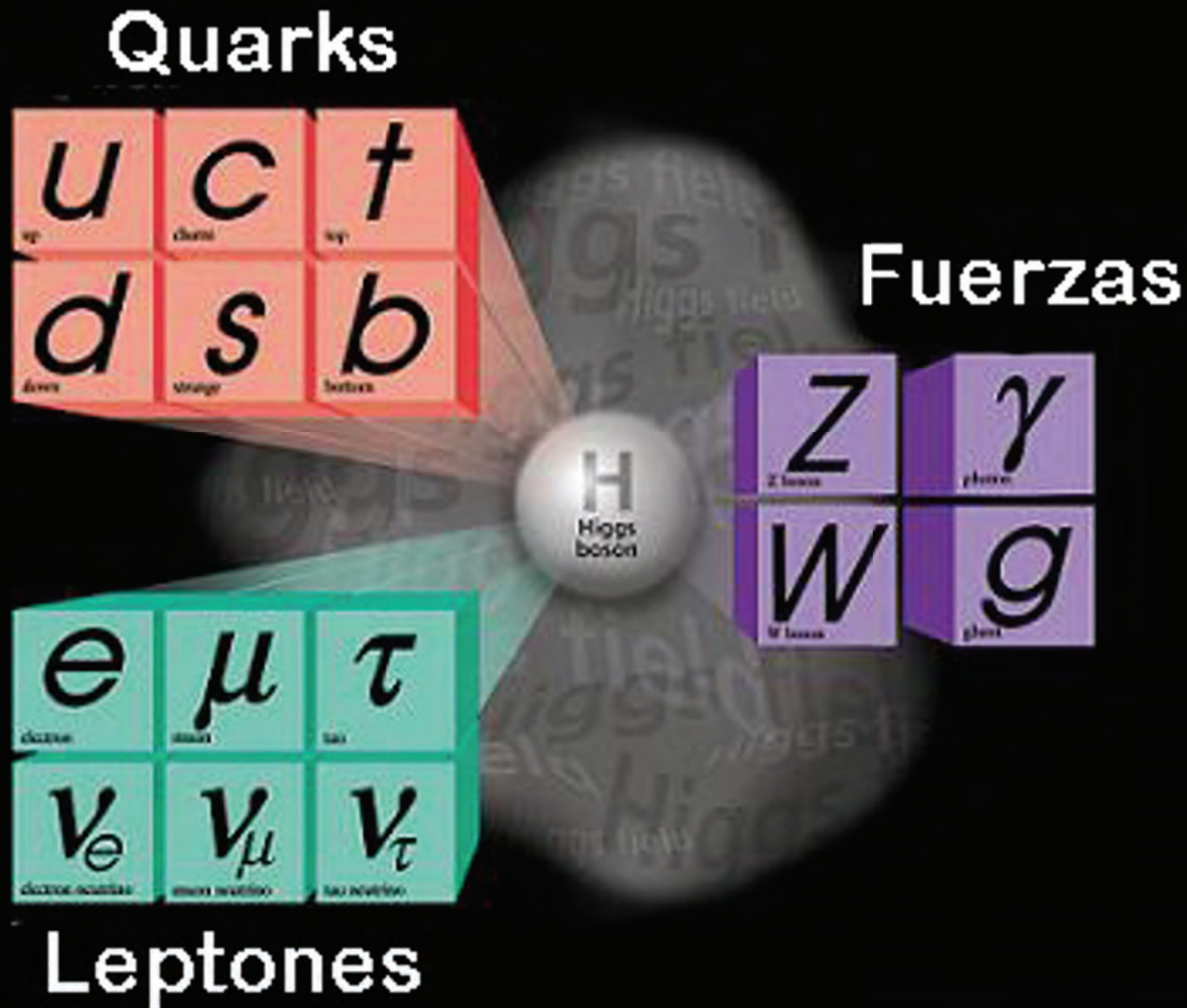
	Electric Charge		Electric Charge
Tau	 -1	Tau Neutrino	 0
Muon	 -1	Muon Neutrino	 0
Electron	 -1	Electron Neutrino	 0

Quarks

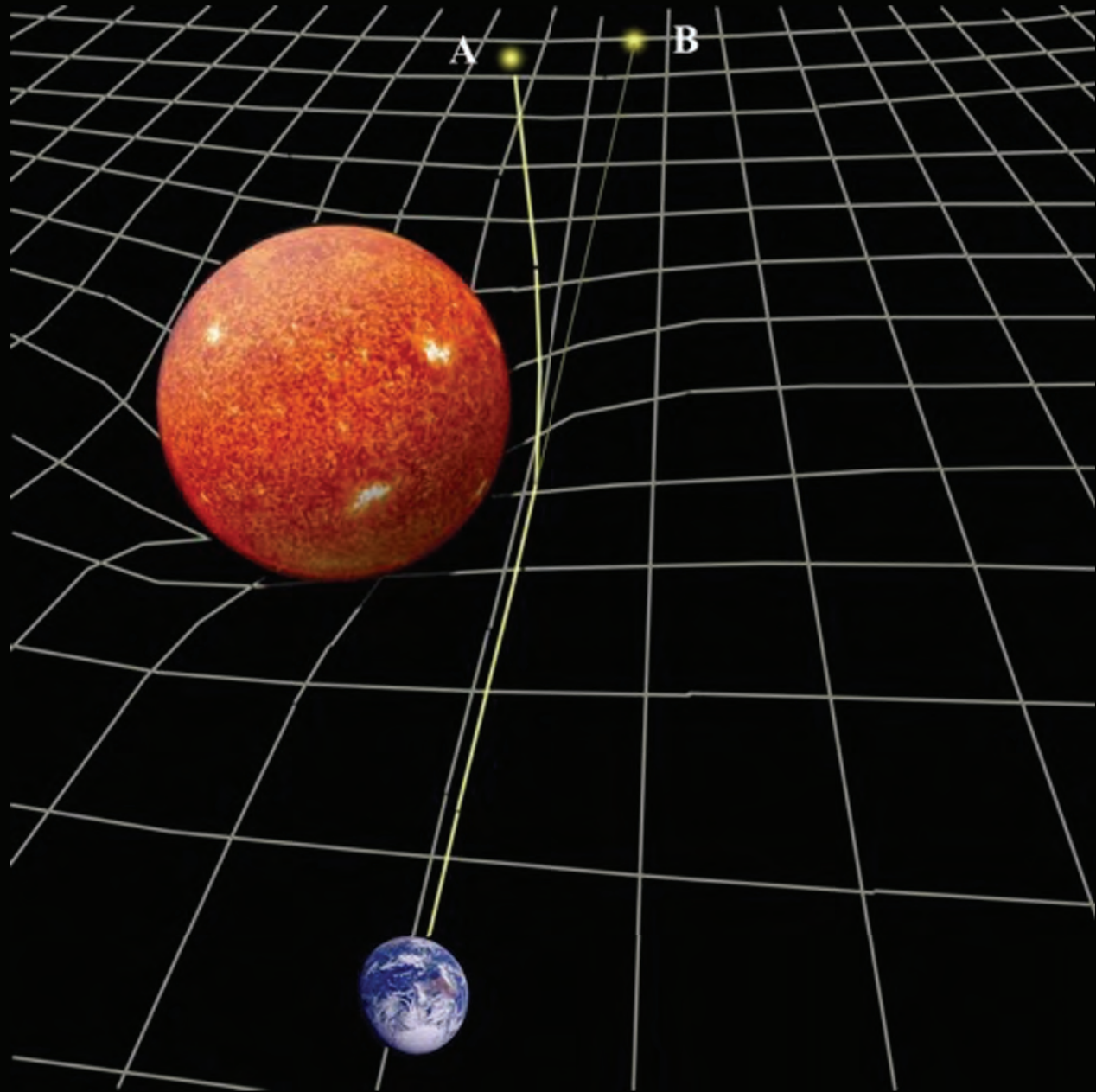
	Electric Charge		Electric Charge
Bottom	 -1/3	Top	 2/3
Strange	 -1/3	Charm	 2/3
Down	 -1/3	Up	 2/3

each quark:  R,  B,  G 3 colors

El modelo estándar de partículas elementales



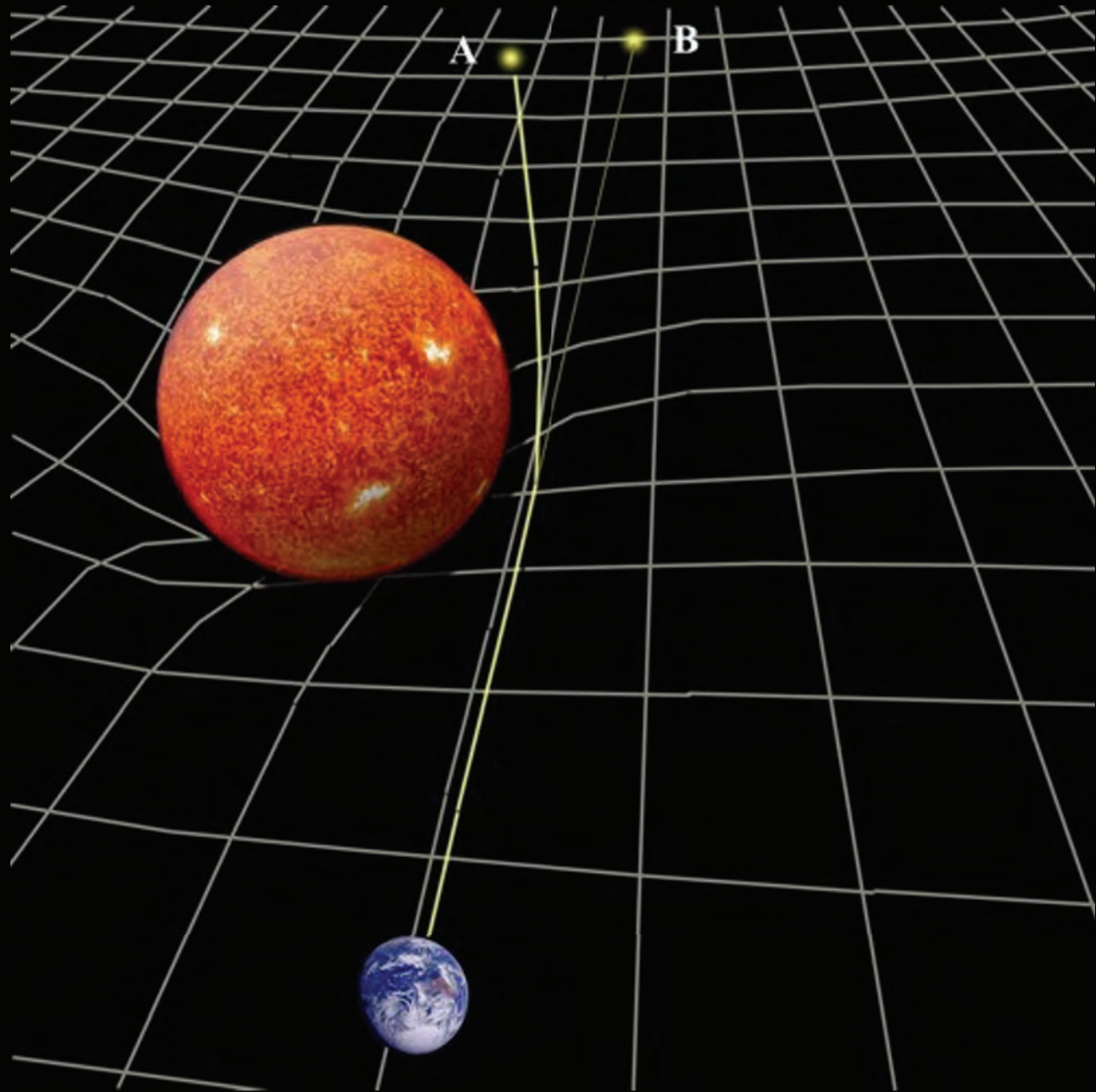
¿Y la gravedad?



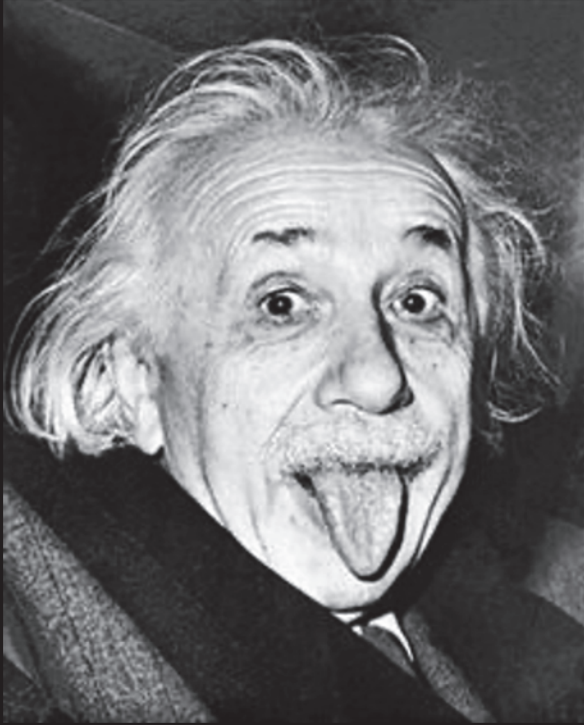
¿Y la gravedad?



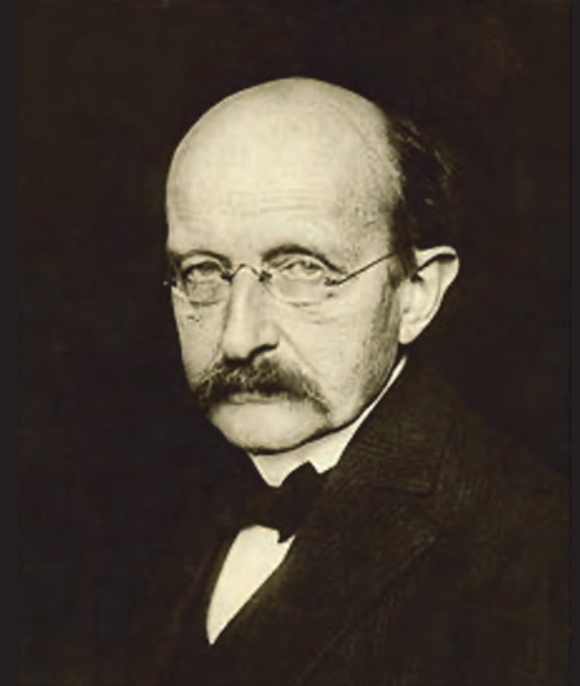
Gravedad excluida de este formalismo por resultados cuánticos infinitos



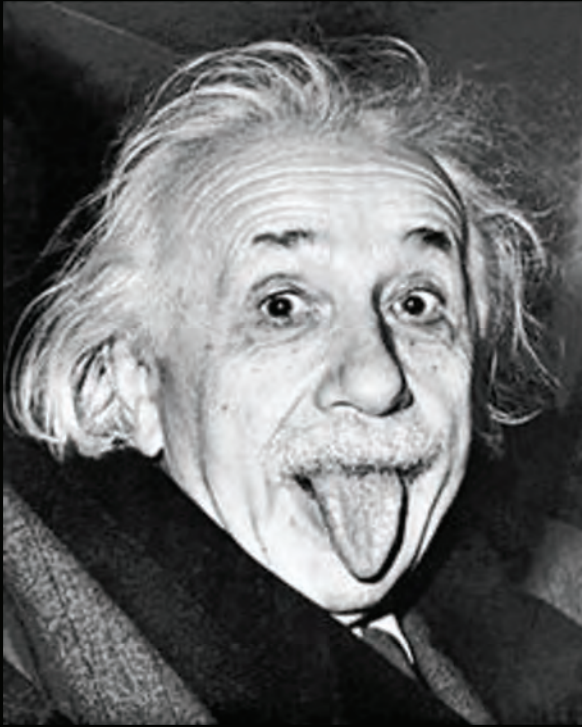
Tensión entre Gravedad y Mecánica cuántica



Gravedad excluida de este formalismo por resultados cuánticos sin sentido!



Tensión entre Gravedad y Mecánica cuántica

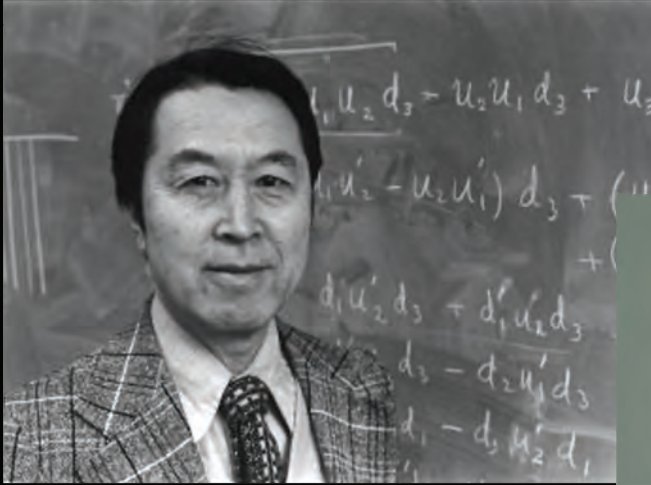


Gravedad excluida de este formalismo por resultados cuánticos sin sentido!

Teoría de Cuerdas



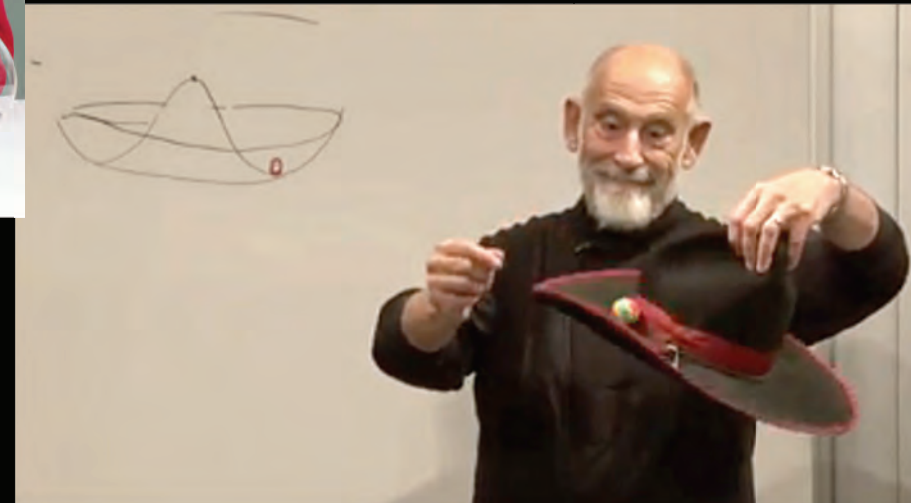
El nacimiento de la teoría de cuerdas (1970)



Yoichiro Nambu
Nobel 2008



Holger Nielsen

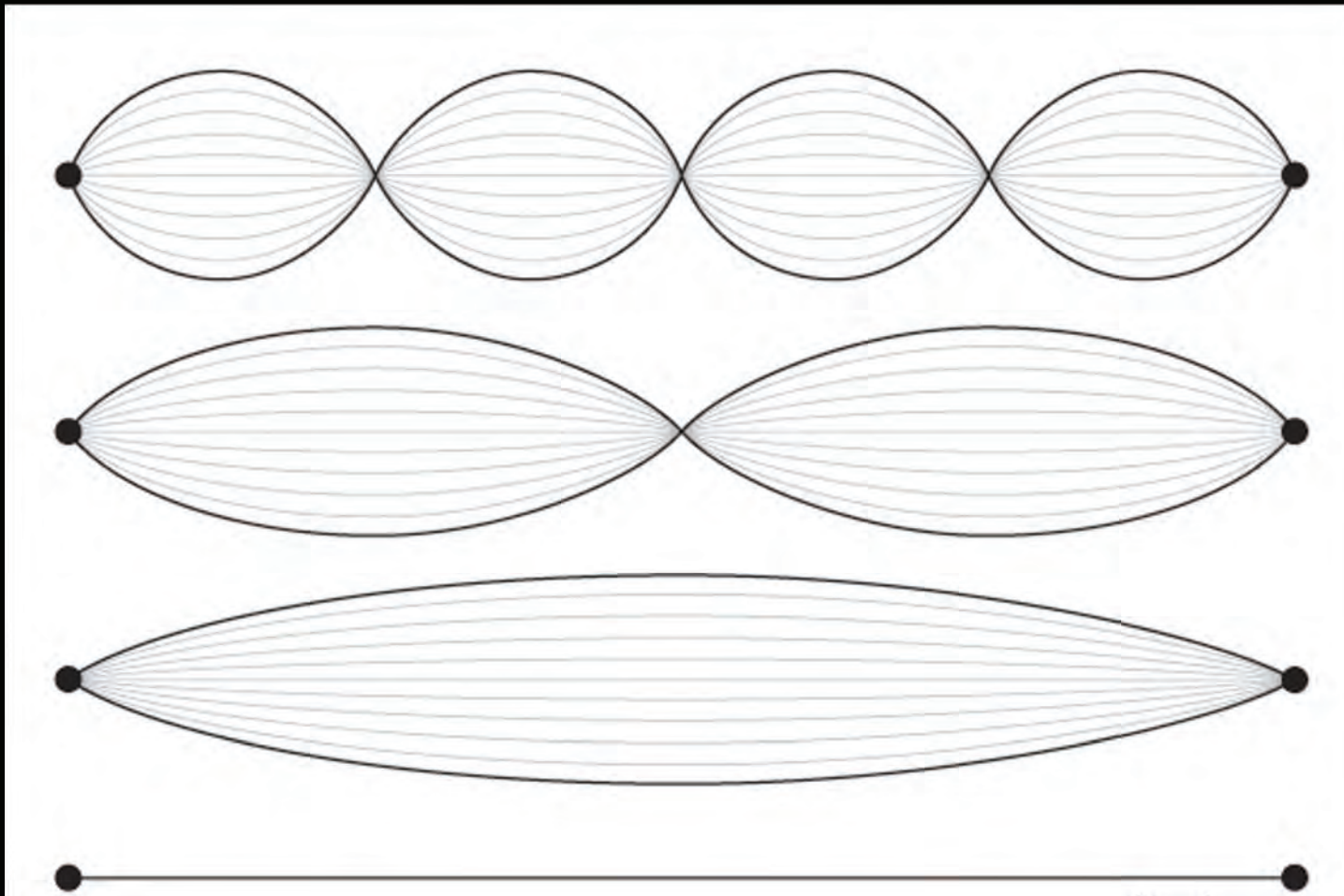


Leonard Susskind

El nacimiento de la teoría de cuerdas (1970)

Notaron independientemente que una propuesta para describir las nuevas partículas describía cuerdas rotantes y vibrantes:

¡cada modo de vibración corresponde a una nueva partícula!



El nacimiento de la teoría de cuerdas (1970)

Notaron independientemente que una propuesta para describir las nuevas partículas describía cuerdas rotantes y vibrantes:

¡cada modo de vibración corresponde a una nueva partícula!

¡¡¡PERO no funcionó!!!

¿O sí?

De partículas a cuerdas cuánticas...

De partículas a cuerdas

De partículas a cuerdas

- * El hipotético gravitón es la partícula cuántica responsable de interacciones gravitacionales

- * El *gravitón* es una cuerda cerrada

→ ¡La teoría de cuerdas es una teoría de **gravedad cuántica!**

De partículas a cuerdas

PERO hay tres problemas:

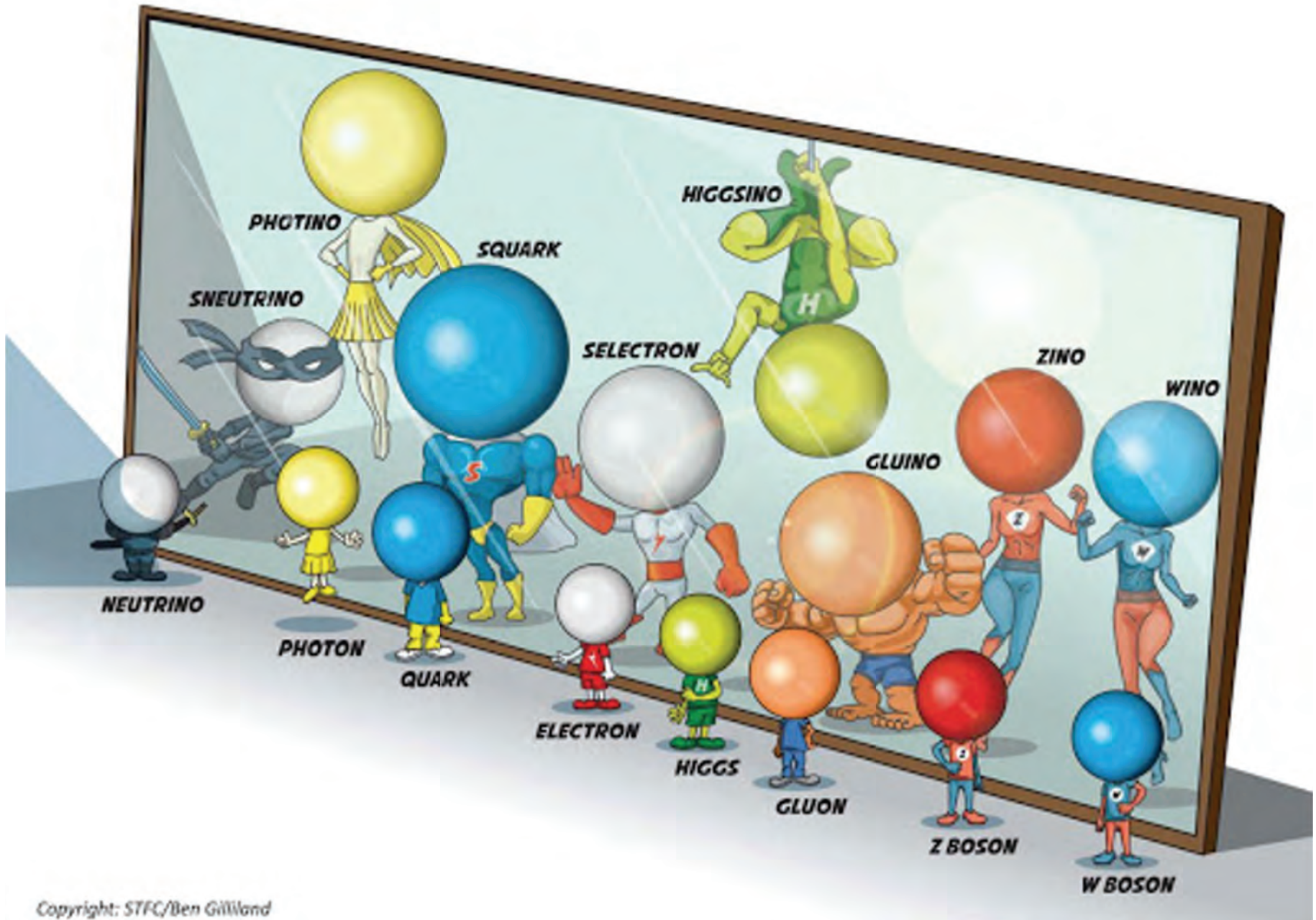
1. Sólo aparecen vibraciones de cuerdas que “parecen” bosones, como el Higgs
2. Una vibración de cuerdas es taquiónica
(¿viajan más rápido que la luz?)
3. La nueva teoría es válida sólo en 26 dimensiones (sólo 22 más que las observadas)

De partículas a cuerdas: primer intento

- :) Descripción cuántica de la gravedad
- :(Sólo aparecen vibraciones de cuerdas que “parecen” bosones, como el Higgs y el fotón
- :(Una vibración de cuerdas es taquiónica
- :(La nueva teoría es válida sólo en 26 dimensiones (sólo 22 más que las observadas)

Posible causa: **las cuerdas no tienen espín**

SUPER-simetría → superpartículas (1971)



SUPER-simetría → supercuerdas



Las SUPERcuerdas

- * Tamaño de cuerdas: 10^{-35} cm
- * Aparece un *gravitón* → gravedad cuántica
- * Ciertas vibraciones producen partículas mediadoras de las fuerzas (fuerte, débil,...)

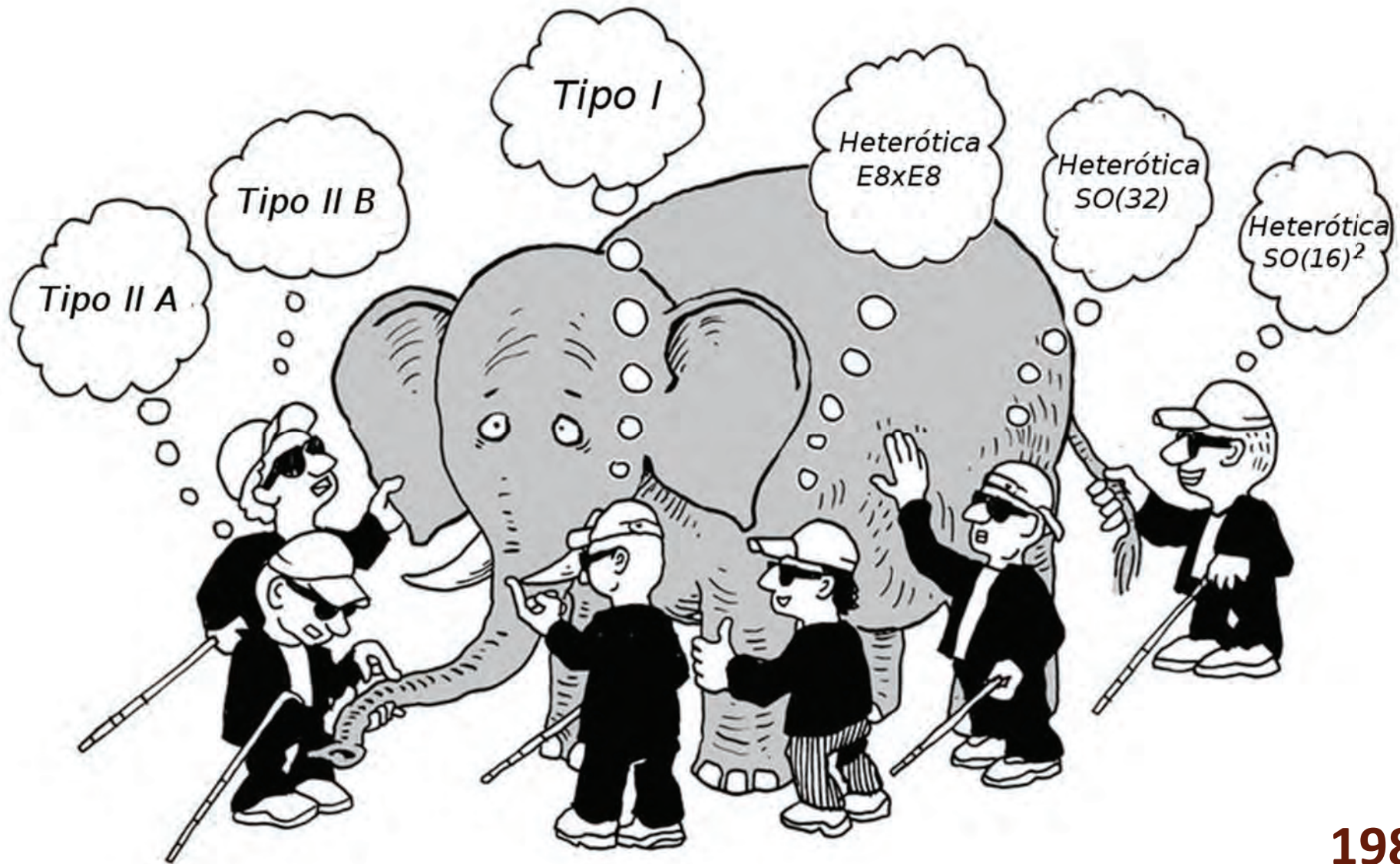
Interacciones gravitacionales y de partículas elementales proviene de una sola teoría

→ ¿Teoría de todo?

Las SUPERcuerdas

- * Tamaño de cuerdas: 10^{-35} cm
- * Aparece un *gravitón* → gravedad cuántica
- * Ciertas vibraciones producen mediadores de interacciones (**bosones** de norma)
- * Otras vibraciones producen partículas con espín
- * No hay taquiones (ni otras inconsistencias)
- * Las partículas resultantes **pueden** exhibir supersimetría (pero no ocurre siempre)
- * Son válidas en **10 dimensiones** (sólo 6 extra!)

Tipos de supercuerdas

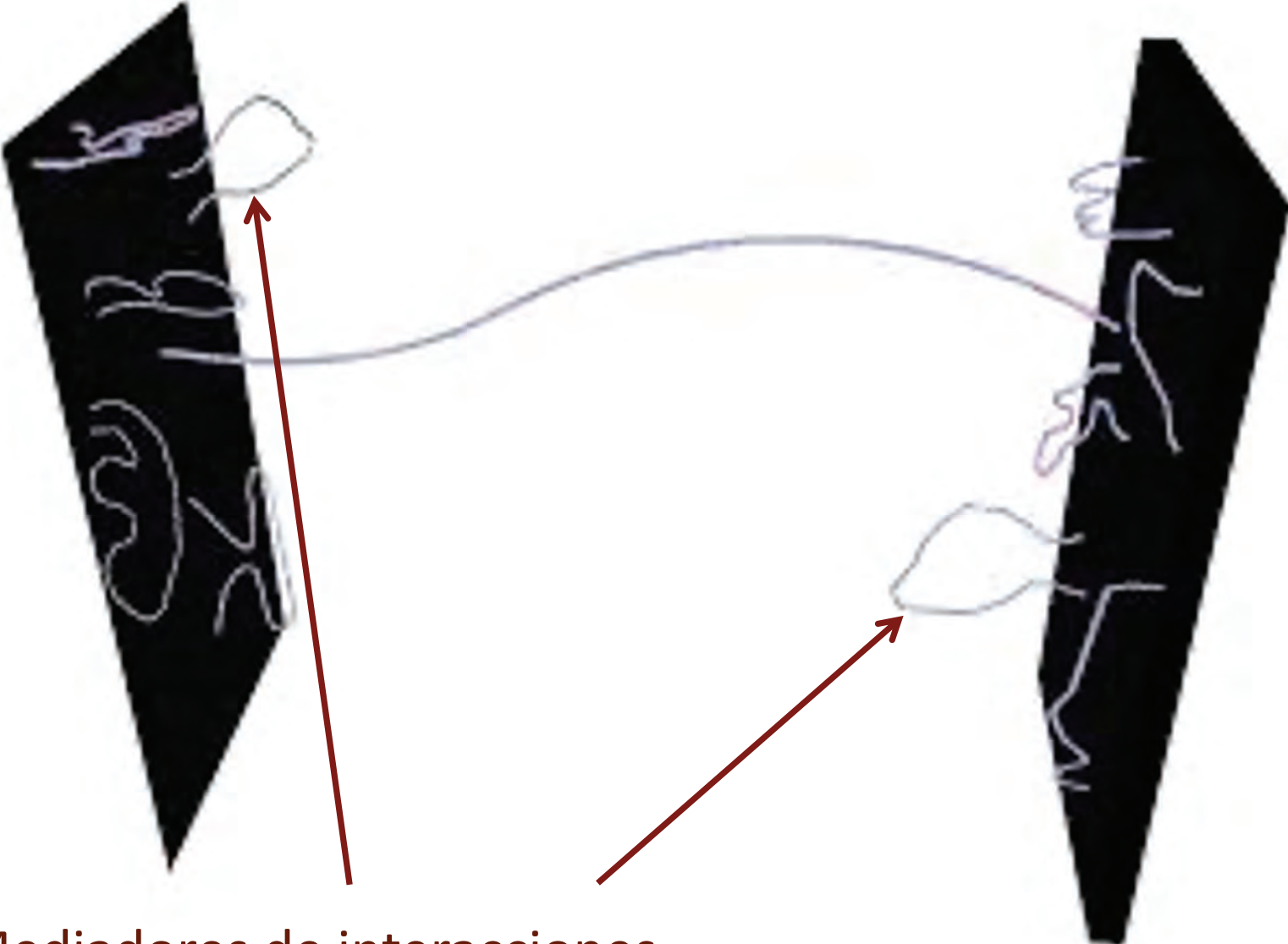


1985

cuerdas y (mem-)branas

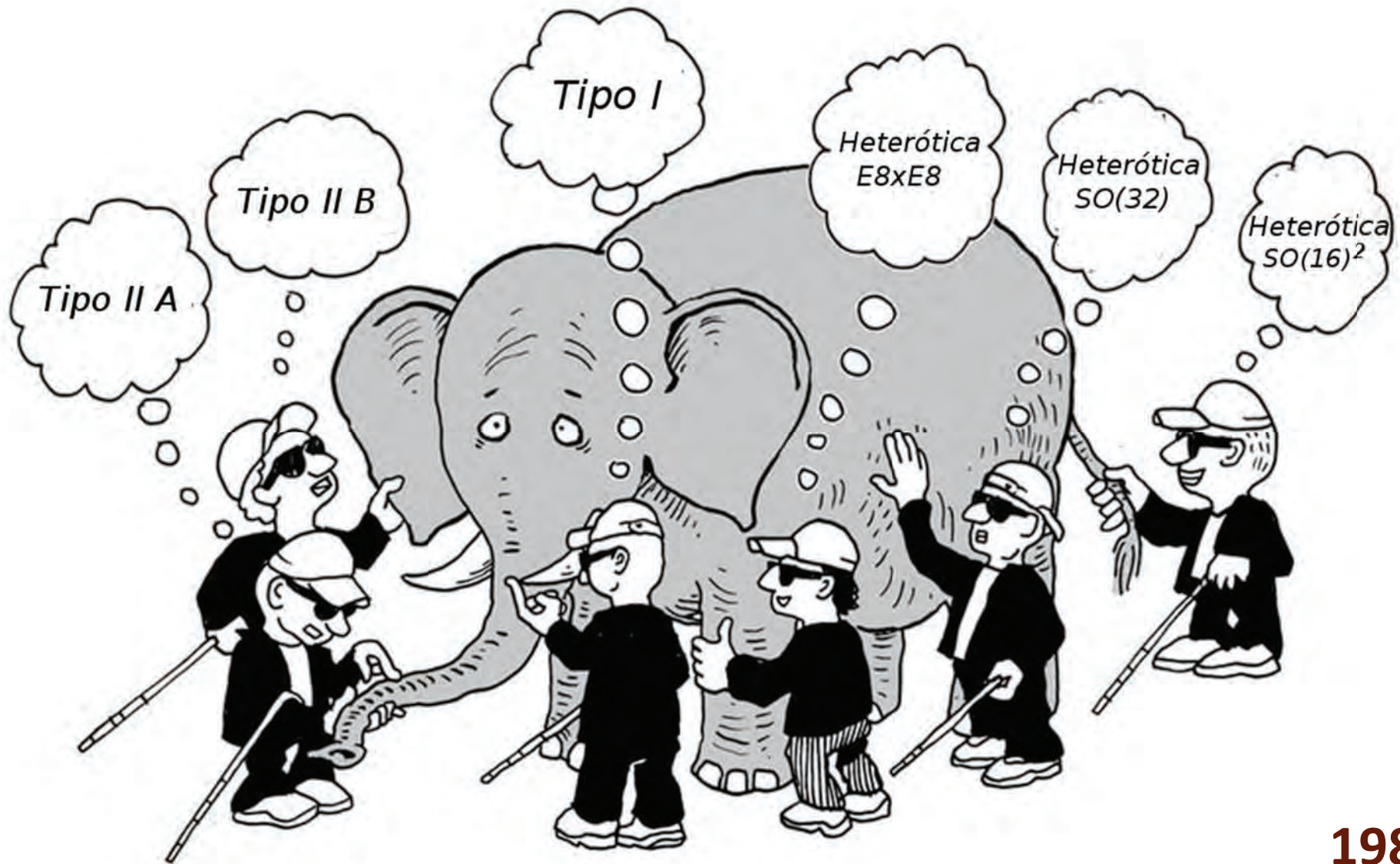


cuerdas y (mem-)branas



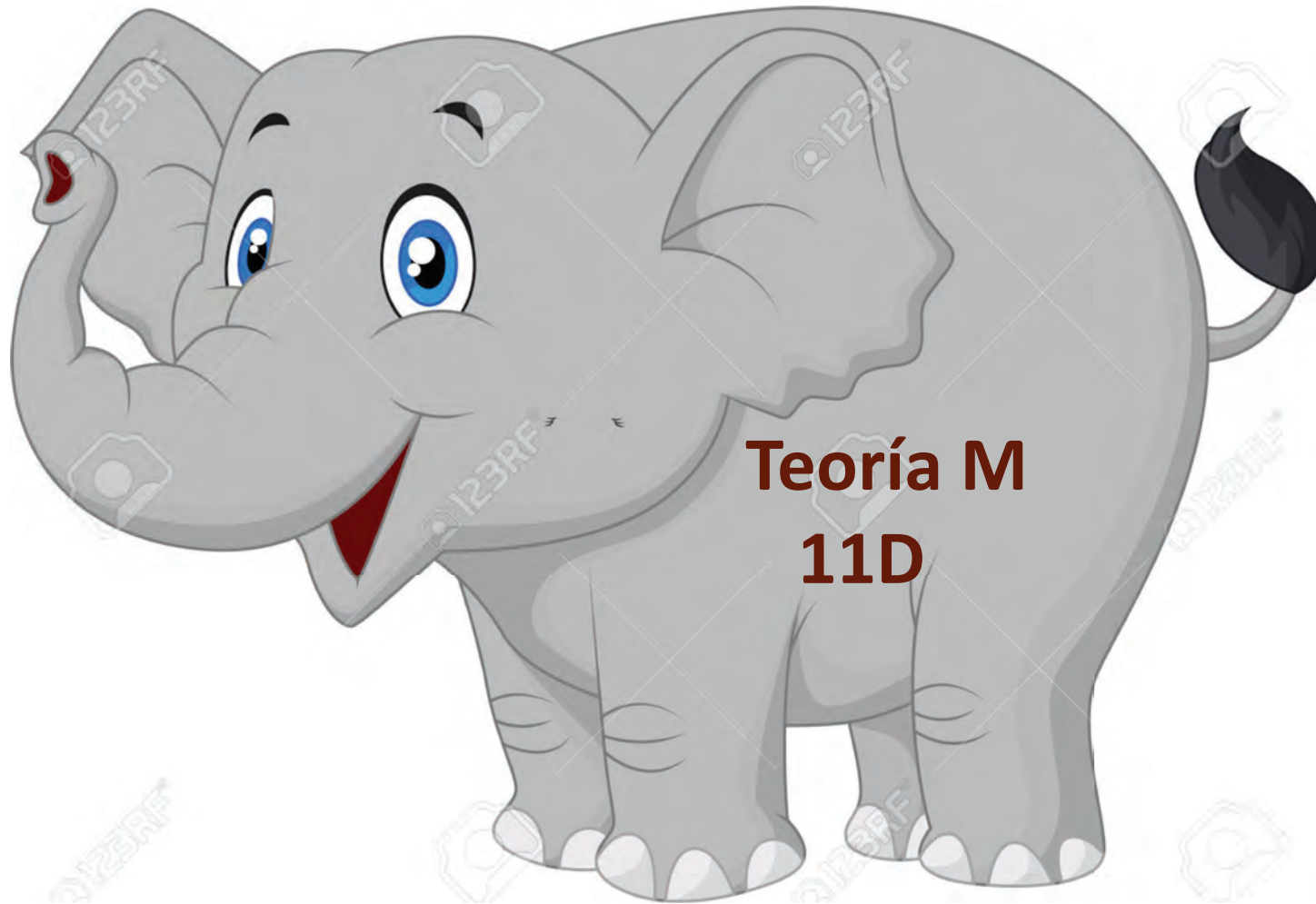
Mediadores de interacciones

Tipos de supercuerdas



1985

Supercuerdas unificadas



Teoría M
11D

Es válida en **11 dimensiones** (¡sólo 7 extra!)



Edward Witten (1995)

¿Describe la realidad la teoría de cuerdas?



¿Hay dimensiones adicionales?

**Gunnar Nordström (1914):
Nuestro Universo podría tener
más de tres dimensiones**



¿Hay dimensiones adicionales?

**Theodor Kaluza (1921):
Nuestro Universo podría tener
más de tres dimensiones,
como dice Gunnar**

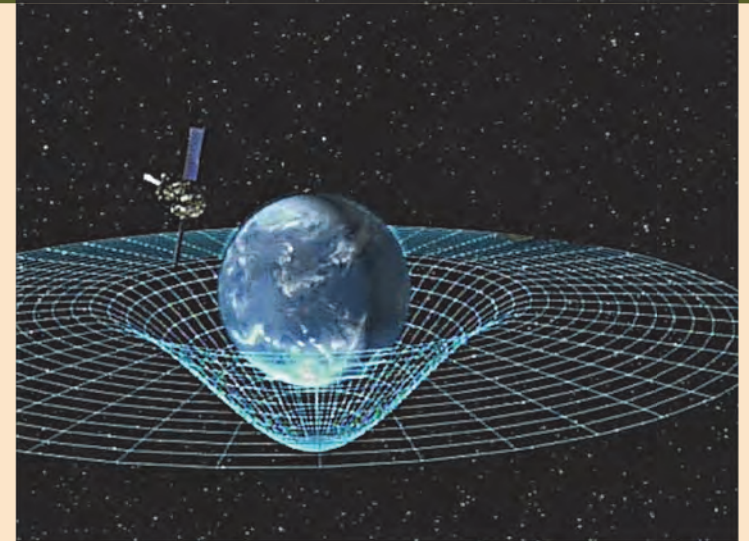


¿Hay dimensiones adicionales?

**Theodor Kaluza (1921):
Nuestro Universo podría tener
más de tres dimensiones,
como dice Gunnar**



**Gravedad
en 4
dimensiones**



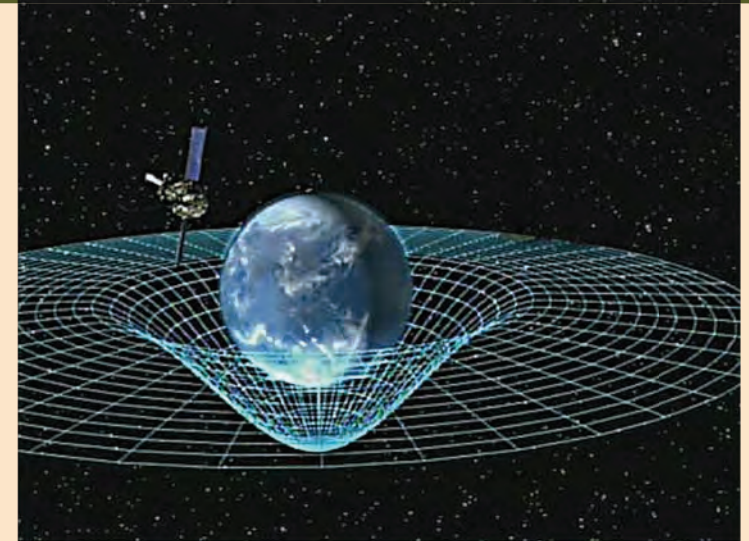
**Gravedad en 3
dimensiones**

¿Hay dimensiones adicionales?

**Theodor Kaluza (1921):
Nuestro Universo podría tener
más de tres dimensiones,
como dice Gunnar**



**Gravedad
en 4
dimensiones**



**Gravedad en 3
dimensiones**



Electromagnetismo

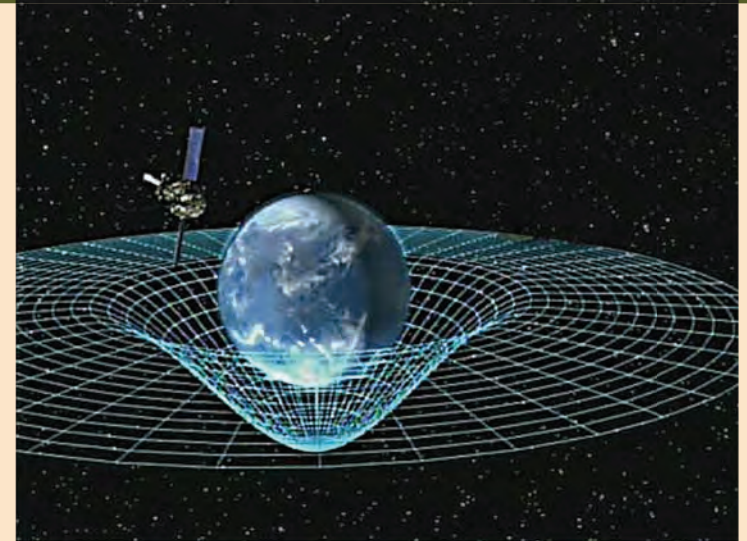
¿Hay dimensiones adicionales?

Theodor Kaluza (1921):
Nuestro Universo podría tener
más de tres dimensiones,
como dice Gunnar



Gravedad
en 4
dimensiones

= ¿teoría de “todo”?



Gravedad en 3
dimensiones



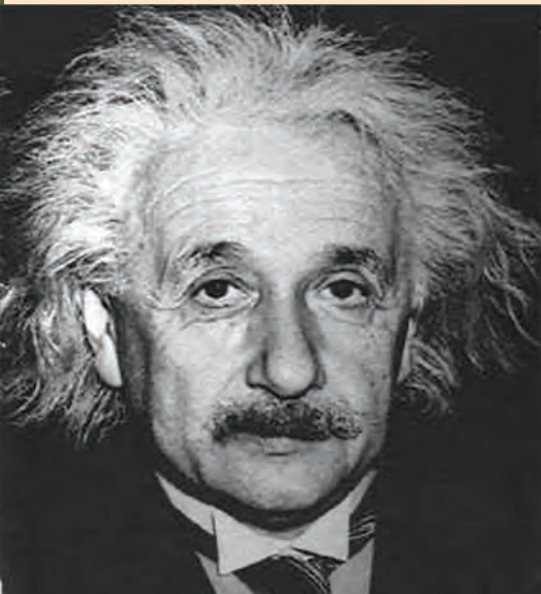
Electromagnetismo

¿Hay dimensiones adicionales?

**Theodor Kaluza (1919):
Nuestro Universo podría tener
más de tres dimensiones,
como dice Gunnar**



**Einstein (1921): “Respeto
enormemente la belleza y osadía de
sus ideas”**



Ok, sí, pero...

**¿Por qué no
vemos las
dimensiones
extra?**

Ok, sí, pero...

?

?

?

¿Por qué no

?

vemos las

?

dimensiones

?

?

?extra?

?

¿Hay dimensiones adicionales?

Oskar Klein (1926):

**La dimensión adicional puede estar
'compactificada'**



¿Hay dimensiones adicionales?

Oskar Klein (1926):

La dimensión adicional puede estar

'compactificada'



¿Hay dimensiones adicionales?

Oskar Klein (1926):

La dimensión adicional puede estar

'compactificada'



¿Hay dimensiones adicionales?

Oskar Klein (1926):

La dimensión adicional puede estar

'compactificada'



¿Hay dimensiones adicionales?

Oskar Klein (1926):

La dimensión adicional puede estar

'compactificada'



¿Hay dimensiones adicionales?

Oskar Klein (1926):

La dimensión adicional puede estar

'compactificada'



¿Hay dimensiones adicionales?

Oskar Klein (1926):

La dimensión adicional puede estar

'compactificada'



¿Hay dimensiones adicionales?

Compactificaciones de varias dimensiones



Consecuencias



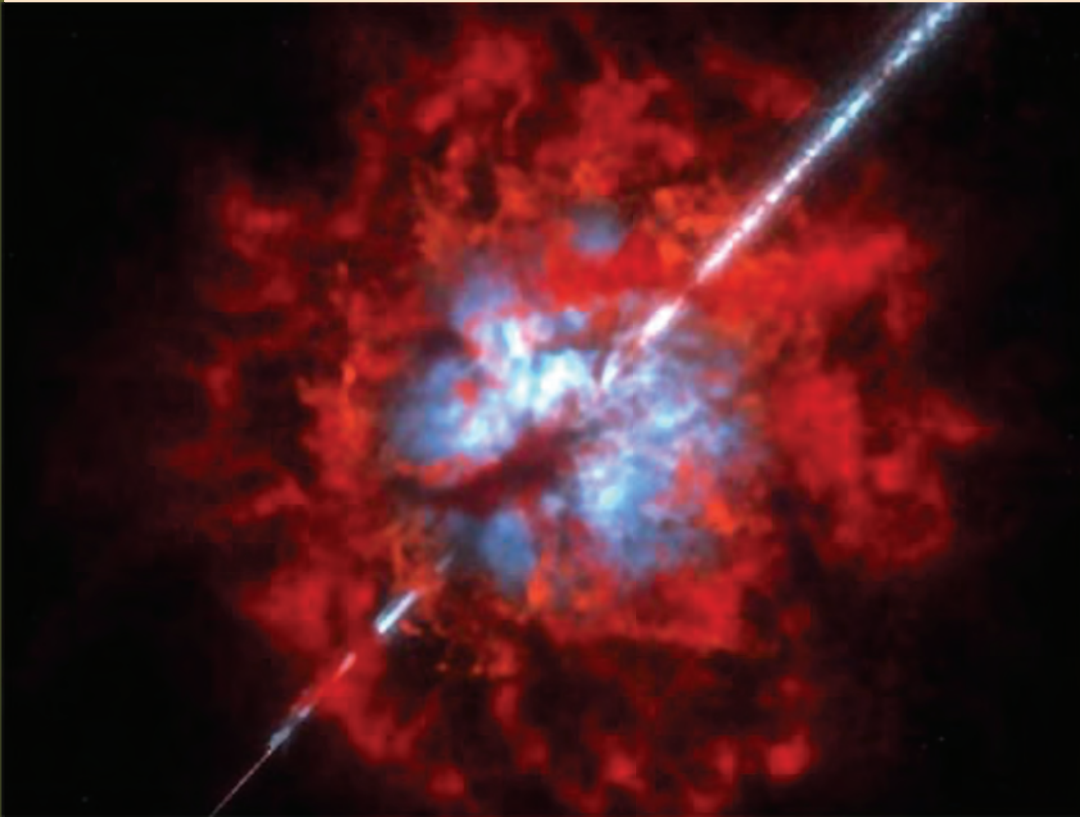
Torre de Kaluza-Klein:
copias mucho más pesadas de todas las partículas
conocidas

Consecuencias



Mini Agujeros Negros:
formados por acumulación de materia en la cuarta
dimensión

Muchísima energía

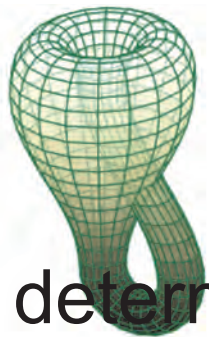


Copias Kaluza-Klein



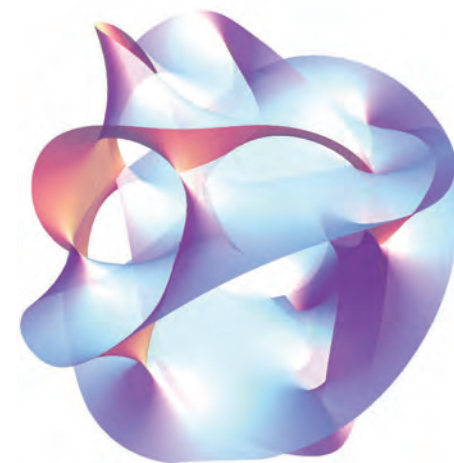
Mini Agujeros Negros

En teoría de cuerdas...

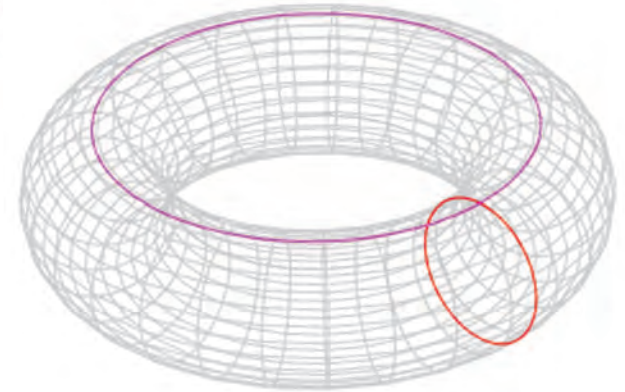
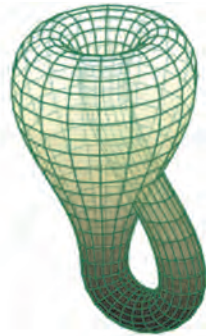
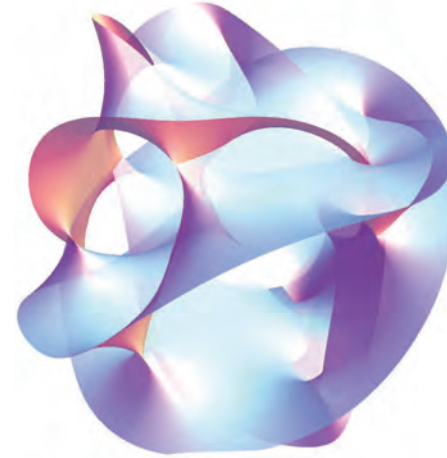


...son completamente determinadas por la geometría (y topología) del espacio en el que se encuentran.

¡TODAS!



Compactificaciones de la teoría de cuerdas



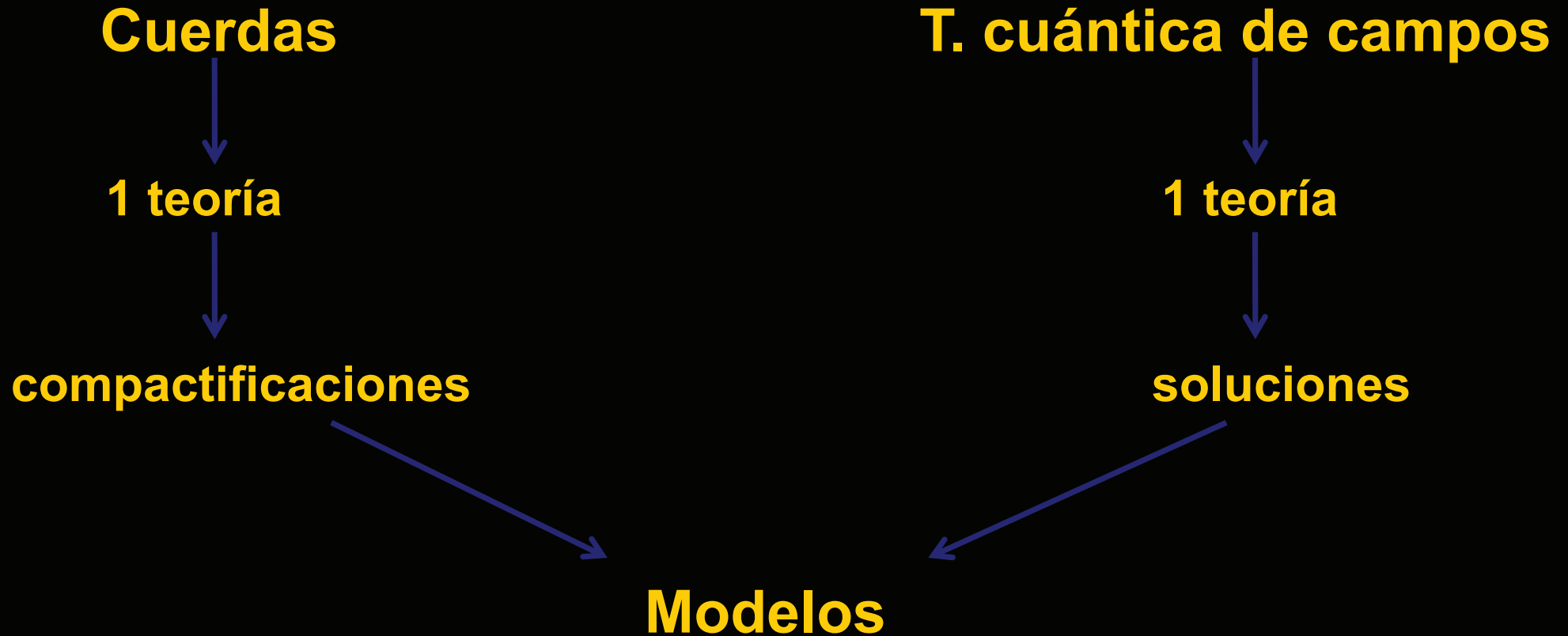
Muchos modelos similares al modelo estándar de partículas y al *big bang* con partículas adicionales que podrían explicar materia y energía oscuras

Landscape / Multiverso

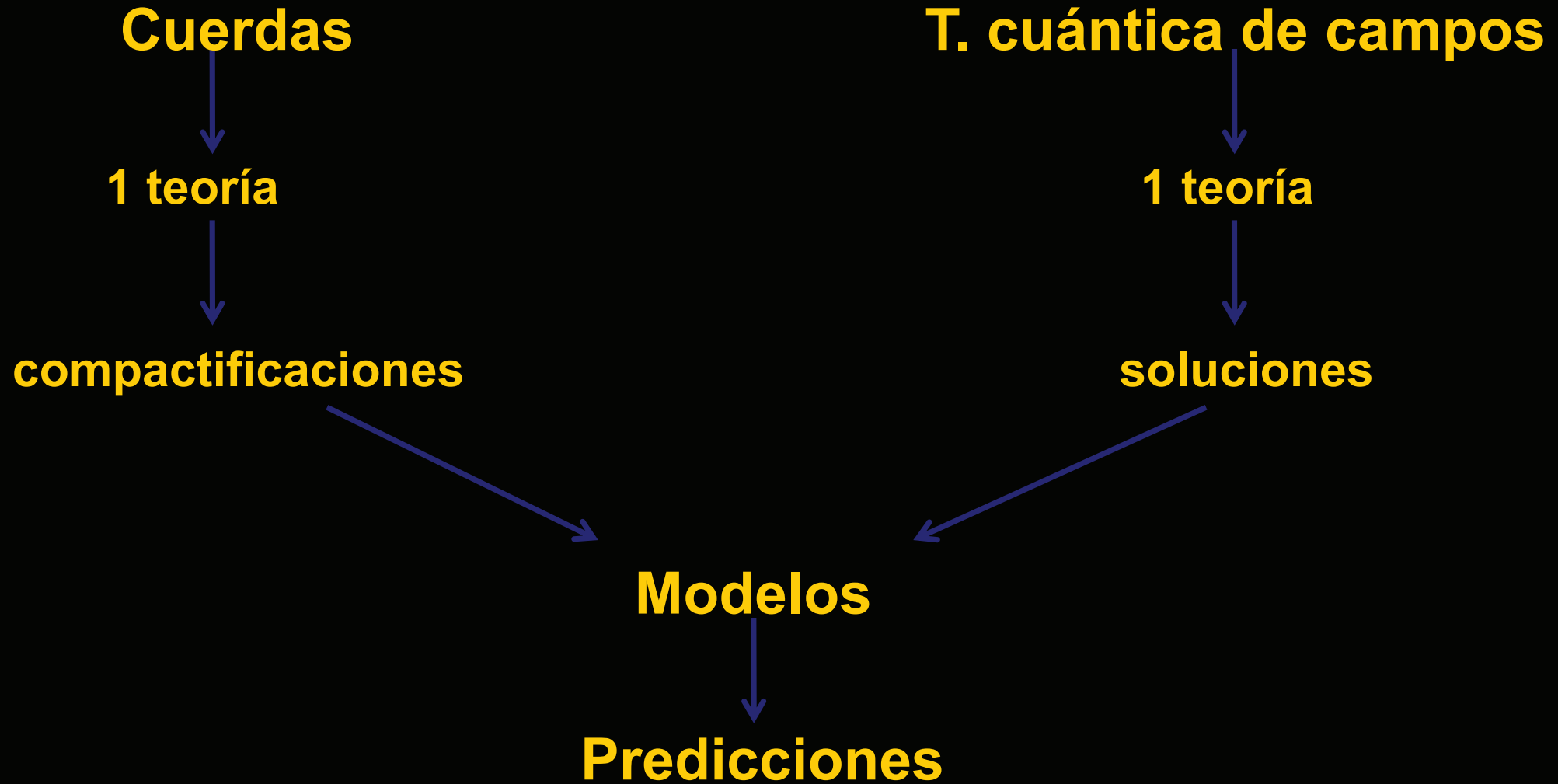


VFXWORLD

¡Múltiples modelos!



Predicciones



De predicciones

Cuerdas

1 acción

compactificaciones

Relatividad

1 teoría

soluciones

Modelos

**Predicciones
4D**

**modelo
estándar**



?

?

?

?

**¿De qué está
hecho el universo?**

?

?

?

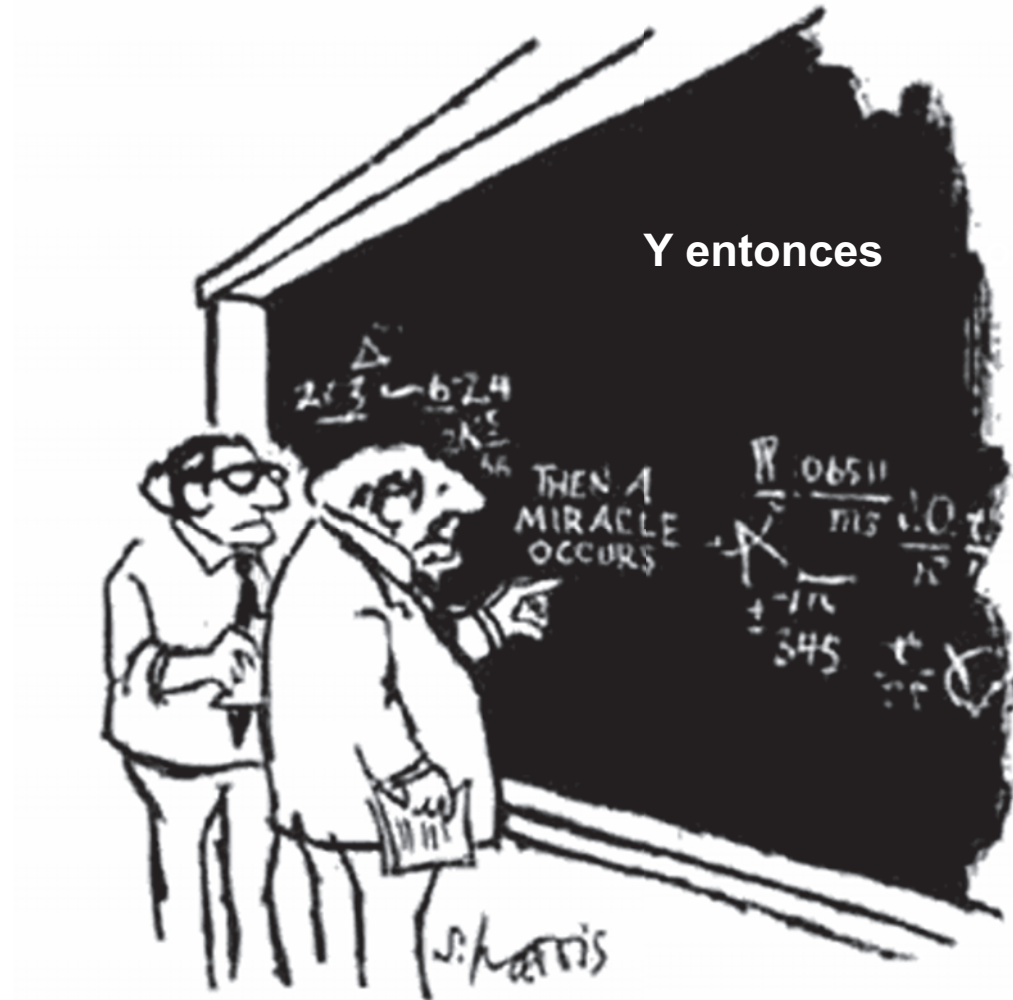
?

?

**¿De qué está
hecho el universo?**

**Probablemente, de
cuerdas**

¿La teoría de cuerdas describe la realidad?



Y entonces

“Creo que debería ser más explícito”

“I THINK YOU SHOULD BE MORE EXPLICIT
HERE IN STEP TWO.”

“Lo más importante es no dejar de preguntar. La curiosidad tiene su razón de ser.”

Einstein