

Introducción a Física de Partículas y Teoría de Cuerdas

Teoría de cuerdas y Gravedad (2)

Angel M. Uranga

Instituto de Física Teórica UAM/CSIC, Madrid
angel.uranga@uam.es

Teoría de cuerdas y Gravedad (2)

Plan

Parte 1:

- Gravitones en teoría de cuerdas
- Microestados de agujeros negros
- Big Bang, otros fenómenos exóticos

Parte 2:

- AdS/CFT y Holografía
- Resumen y conclusiones

¿ALGUIEN ME RECIBE?



SANDRA
BULLOCK

GEORGE
CLOONEY

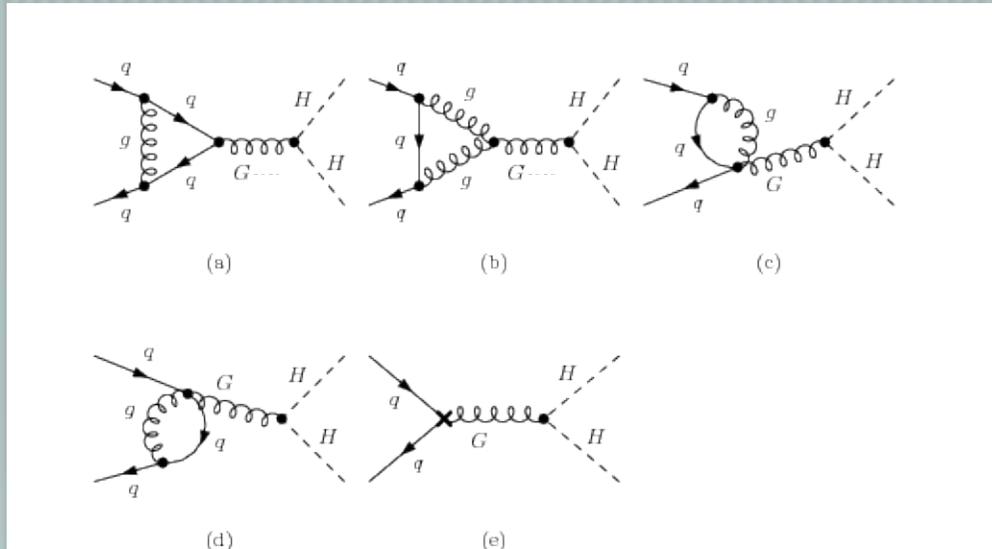
DEL DIRECTOR ALFONSO CUARÓN

GRAVITY

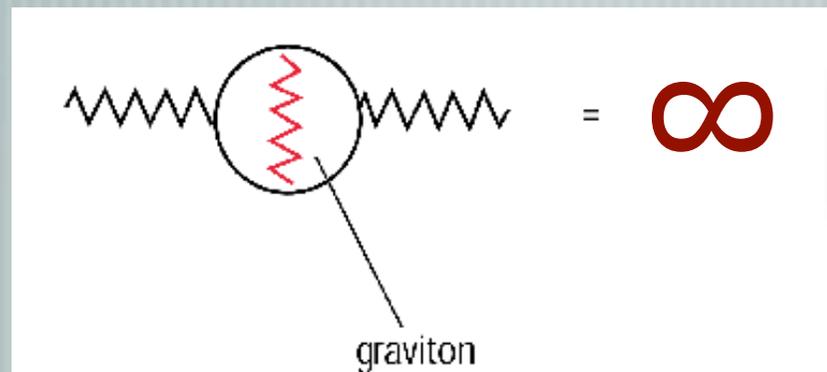
Infinitos en gravedad cuántica

Flash
back

Ingenuamente, la gravedad cuántica sería la suma de diagramas de Feynman involucrando gravitones



Pero la teoría es "no renormalizable": Infinitos problemáticos

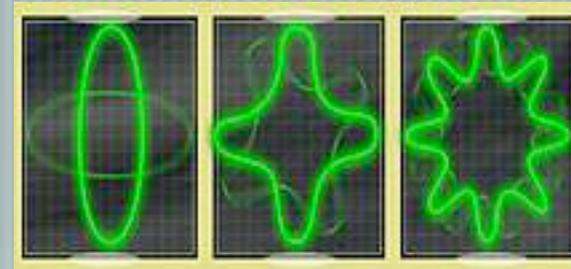


¿Qué pasa en teoría
de cuerdas?

Ideas básicas de teoría de cuerdas



Los diferentes modos de vibración de la cuerda son diferentes tipos de partículas



Sólo los estados ligeros son observables a las energías accesibles hoy día



¿Qué tipo de partículas?



Las cuerdas cerradas siempre producen una partícula sin masa de spin 2 \Rightarrow ¡Gravitón!



Las cuerdas abiertas producen partículas ligeras con spin 1, 1/2, 0 \Rightarrow ¡Bosones gauge, materia, Higgs!

Teoría cuántica de gravitación e interacciones gauge

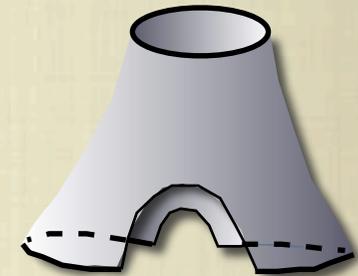
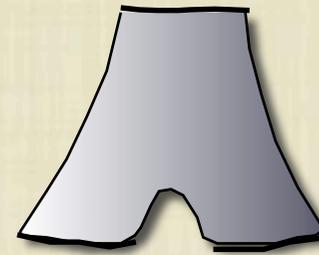
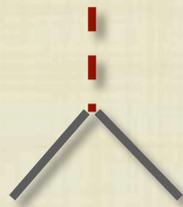
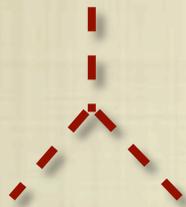
Finitud a altas energías

Generalización de los diagramas de Feynman

- Propagación



- Interacciones



Estos vértices bastan para generar todos los diagramas



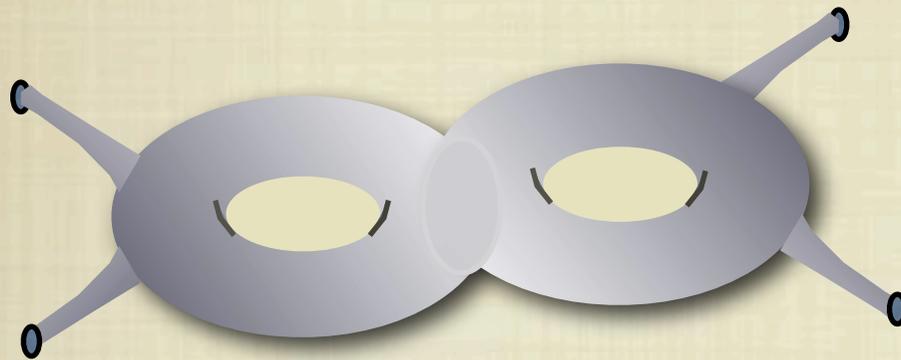
=



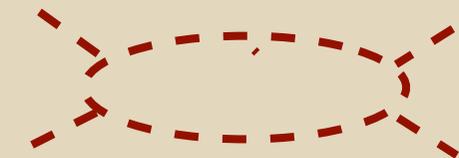
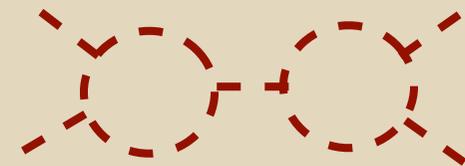
Finitud a altas energías

La regla es construir todos los diagramas posibles

(expansión perturbativa en el acoplamiento g_s)



versión cuerdosa de



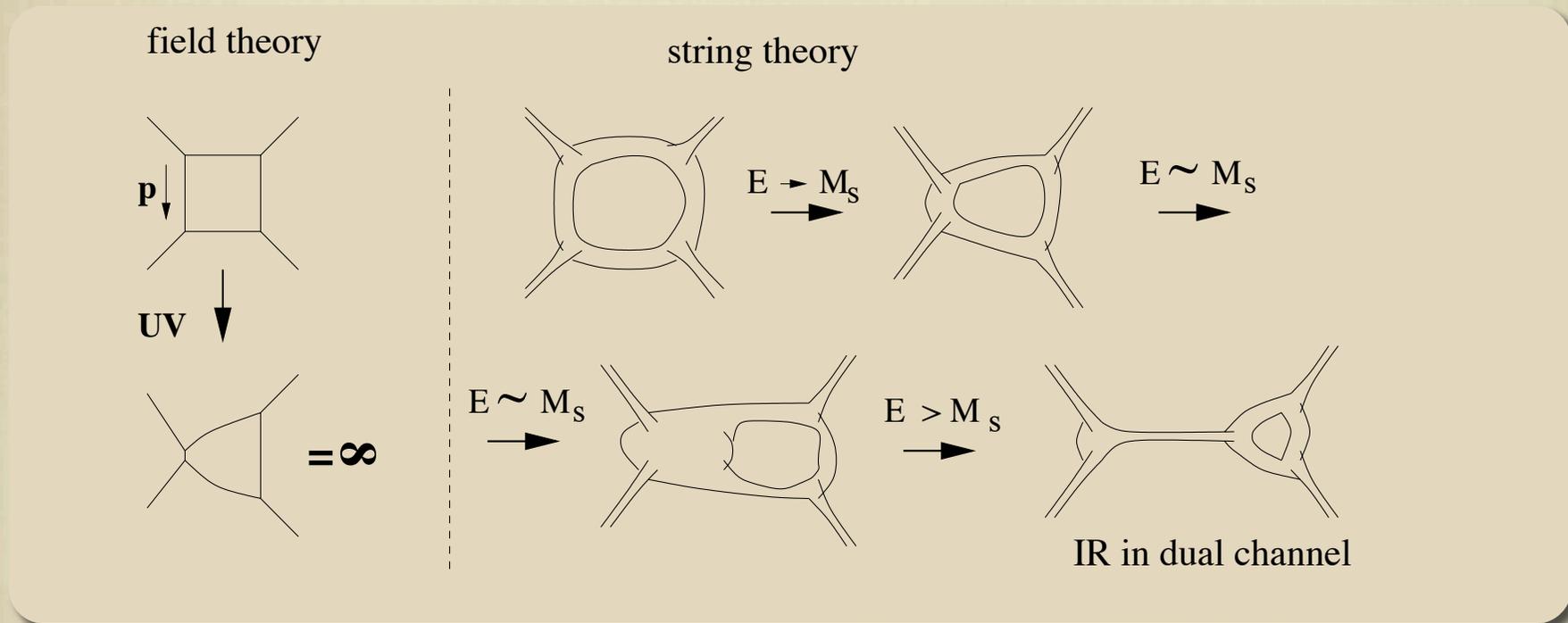
... y muchos otros

Los vértices están deslocalizados en una región de tamaño $1/M_s$
Imposible alcanzar distancias infinitamente pequeñas,
se cortan los infinitos

Las amplitudes son finitas ¡ incluso para gravitones!

Finitud a altas energías

El límite de altas energías de teoría de cuerdas difiere del de teoría cuántica de campos



La teoría de cuerdas incluye la interacción gravitatoria de forma consistente con la Mecánica Cuántica

Gravitones

Flash
back

No es la primera vez que surgen infinitos en Física de Partículas...

Analogy:

- Vértice



General Relativity



- Acoplamiento

G_F

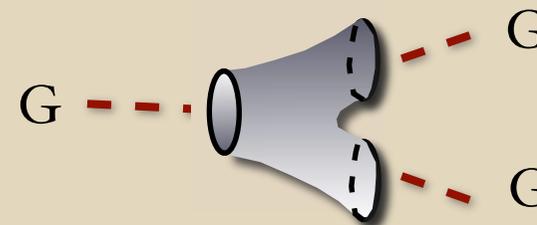
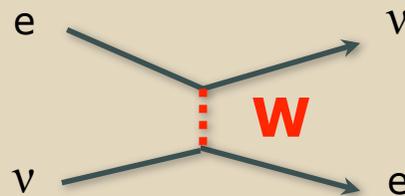
G_N

- Escala

$$L_F \approx (100 \text{ GeV})^{-1}$$

$$L_F \approx (10^{19} \text{ GeV})^{-1}$$

- Compleción
a alta energía



Los infinitos indican que hay nueva Física a altas energías:

La escala de Planck, M_P

¿Qué nueva Física? Las cuerdas

Escala de Planck

Flash
back



Masa de Planck

$$M_P = \sqrt{\frac{\hbar c}{G}}$$

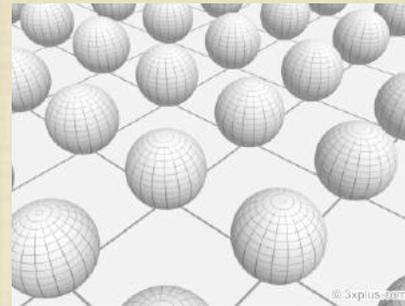
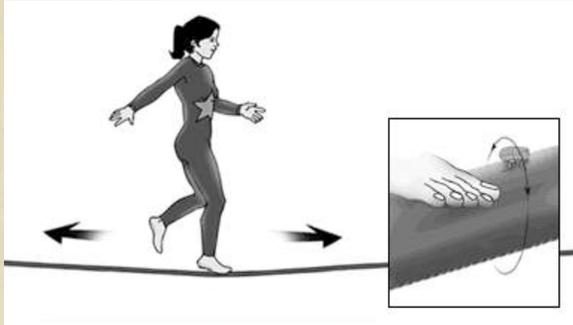
Interpretación: masa necesaria para que la fuerza de gravedad entre partículas sea comparable p.ej. a la electromagnética

$$M_P = 2,4 \times 10^{18} \text{ GeV}/c^2$$

Masa a partir de la que el radio de Schwarschild de una partículas es mayor que su longitud de Compton. La propia partícula es un agujero negro.

Escala de Planck

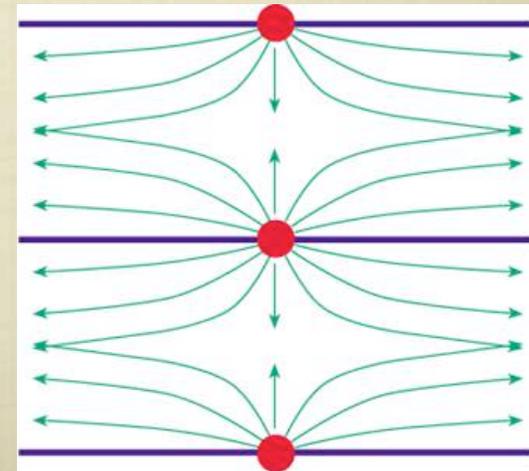
En teoría de cuerdas, lo fundamental es la escala de Planck 10d
De ella se obtiene la escala de Planck 4d por compactificación



$$M_{p,10d}^8 = \frac{M_s^8}{g_s^2} \rightarrow M_{p,4d}^2 = \frac{M_s^8 V_6}{g_s^2} \simeq (10^{18} \text{ GeV})^2$$

Intuición:

La interacción gravitacional se debilita porque las líneas de campo se diluyen en las dimensiones extra



Escala de Planck

En teoría de cuerdas, lo fundamental es la escala de la cuerda
De ella se obtiene la escala de Planck 4d por compactificación

$$M_{p,10d}^8 = \frac{M_s^8}{g_s^2} \quad \rightarrow \quad M_{p,4d}^2 = \frac{M_s^8 V_6}{g_s^2} \simeq (10^{18} \text{ GeV})^2$$

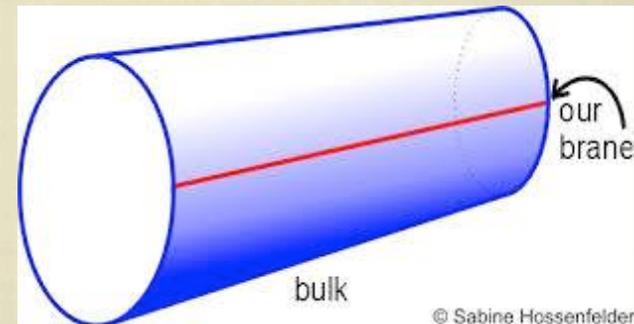
Es posible tener una masa de Planck 4d enorme incluso con M_s moderada

Dos posibilidades extremas:

Cuerdas y dimensiones
esencialmente indetectables

Tradicional: $M_s \sim 10^{17} \text{ GeV}$, $V_6 = M_s^{-6}$,

Large dims: $M_s \sim 10^3 \text{ GeV}$, $V_6 < 10^2 \text{ GeV}$



¡Detección directa
de cuerdas en aceleradores!

Dimensiones demasiado grandes
ino observado!

Pero...
Modelos brane-world
"mundo-brana"

Gravedad Cuántica

Hemos visto cómo las cuerdas describen la dinámica cuántica de los gravitones

Pero las grandes preguntas sobre Gravedad Cuántica surgen más allá del nivel de pequeñas perturbaciones

- Agujeros negros
- Big Bang
- ...

Analogía

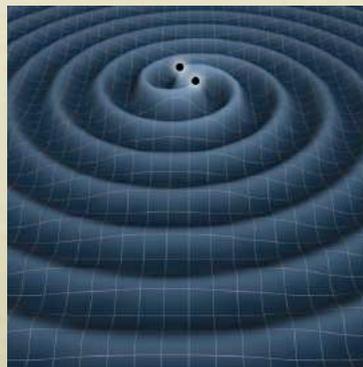
Régimen perturbativo

Régimen no perturbativo

Hidrodinámica



Gravitación



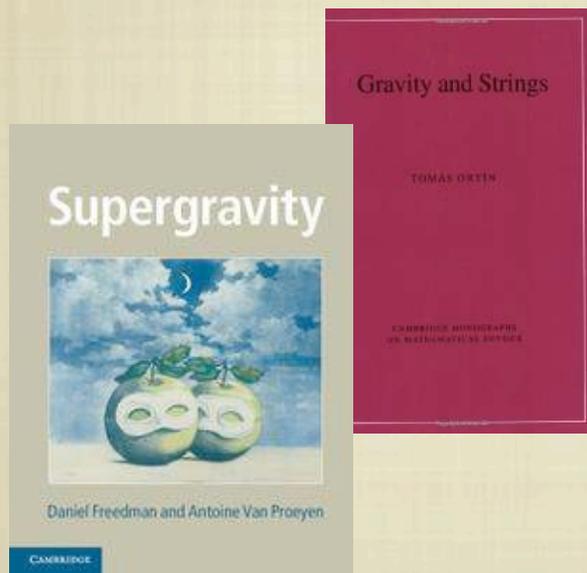
Supergravedad



A bajas energías la dinámica del gravitón de teoría de cuerdas reproduce la Relatividad General

+ campos adicionales (compañeros supersimétricos del gravitón)
Gravitinos, dilatón, dilatinos, ...

Teorías de supergravedad



Existen soluciones de tipo agujero negro en teoría de cuerdas, pero involucran estos campos adicionales

Generalizaciones de Schwarzschild, Kerr, Newman, ...

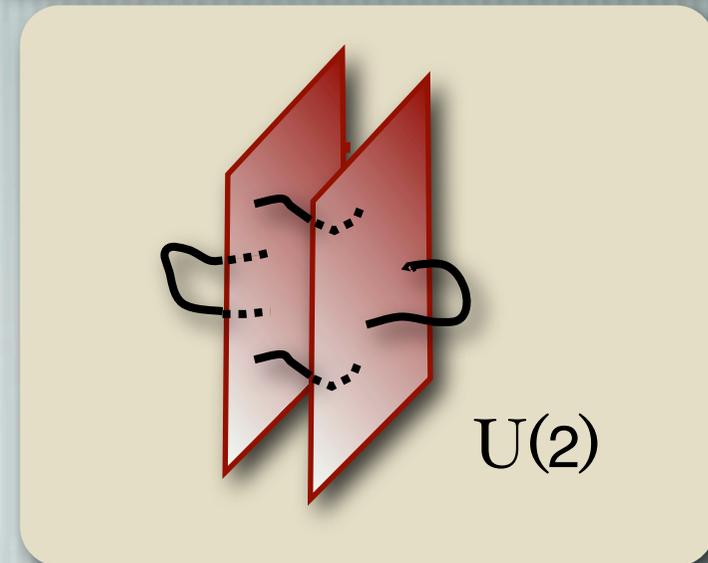
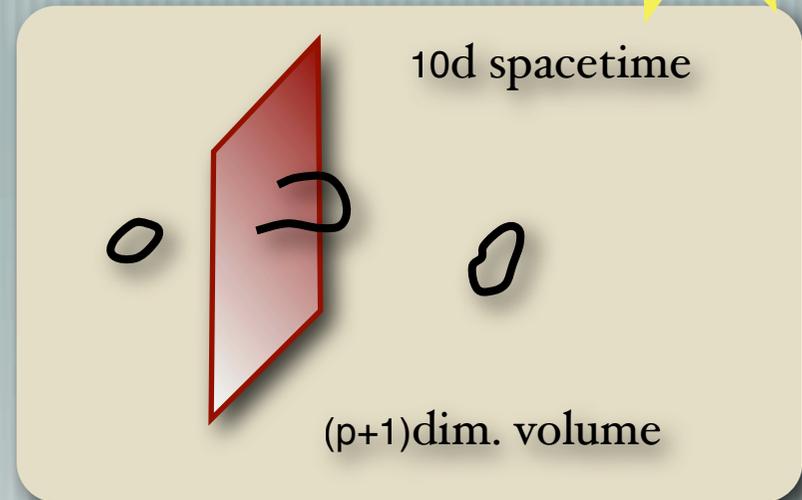
D-branas

Flash
back

Las Dp-branas son objetos extensos, con p dimensiones espaciales y que se propagan en el tiempo

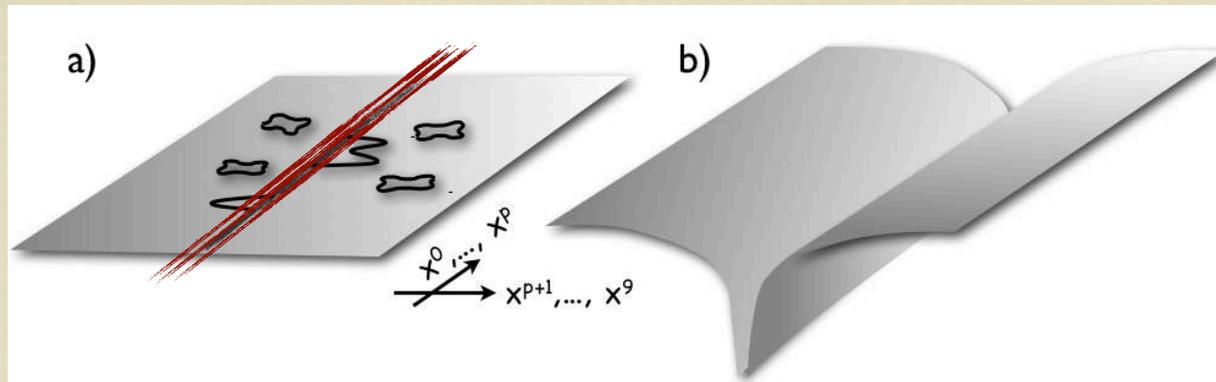
En acoplamiento débil se describe como hiperplanos en los que se localizan los extremos de las cuerdas abiertas

Se pueden apilar N Dp-branas
Las cuerdas abiertas describen una teoría de interacciones gauge $SU(N)$

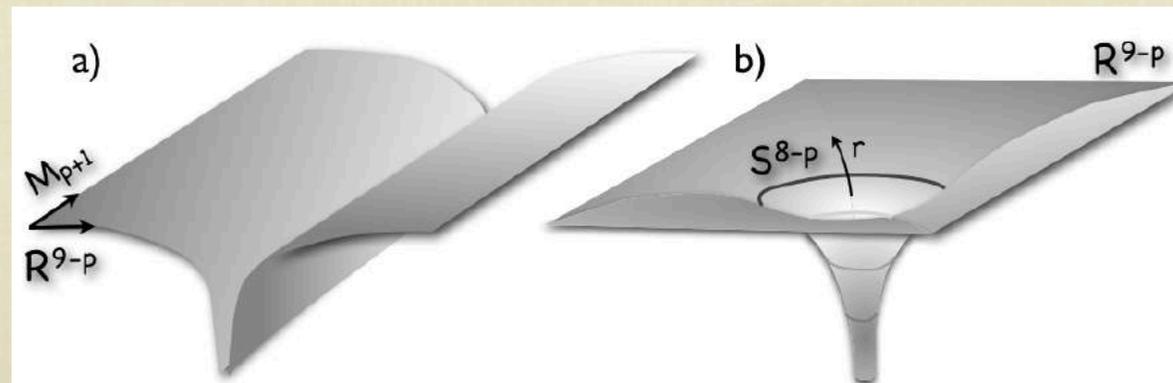


Supergravedad

La deformación del espacio-tiempo creada por conjuntos de N D $_p$ -branas paralelas se describen como soluciones de supergravedad.



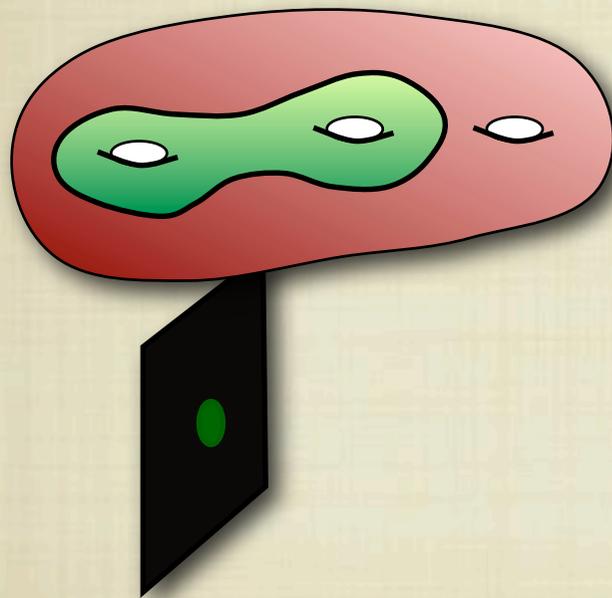
En las dimensiones transversas, son pozos gravitacionales con simetría esférica



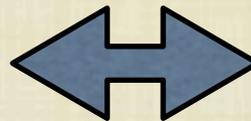
Sin embargo, no tienen horizonte (intuición: en el fondo de la garganta infinita)

Agujeros negros en teoría de cuerdas

Compactificando a 4d, y enrollando las dimensiones extra de la brana en el espacio interno, se pueden construir sistemas masivos que genera un pozo gravitacional con simetría esférica



Acoplamiento débil



¿Agujero negro?

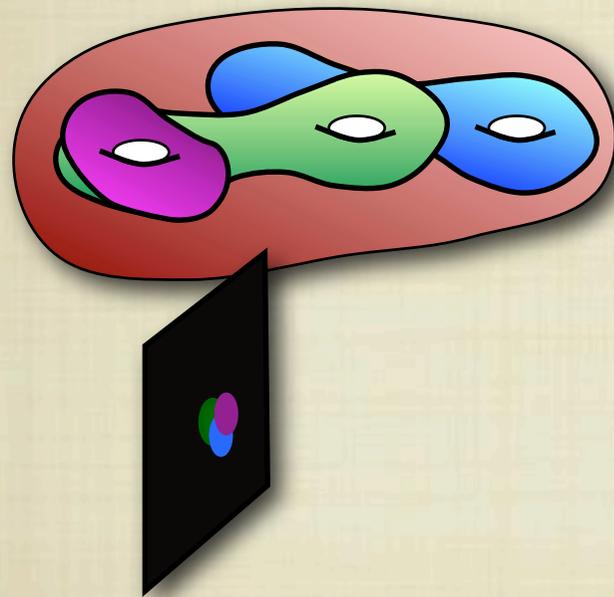


Acoplamiento fuerte

Sin embargo, no tienen horizonte (formalmente, en el fondo de la garganta infinita)

Agujeros negros en teoría de cuerdas

Existen agujeros negros que se obtienen superponiendo diferentes tipos de D-branas

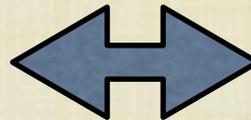


Acoplamiento débil

¡Agujero negro!



Acoplamiento fuerte



La descripción con D-branas permite entender los microestados del agujero negro

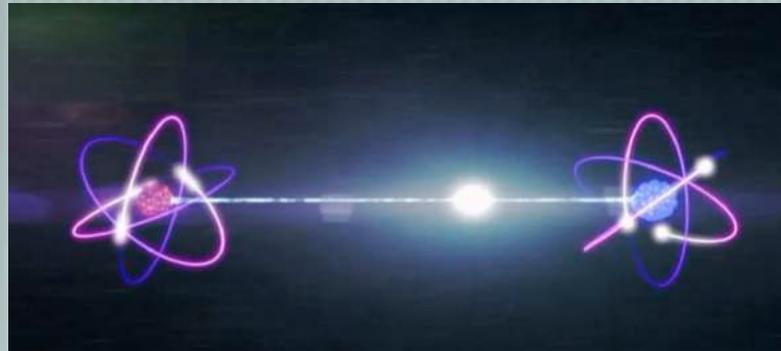
Agujeros negros (cuánticos)

Flash
back

El problema de la información

Si se pierde información se viola la Mecánica Cuántica

Experimento mental: decoherencia del par EPR



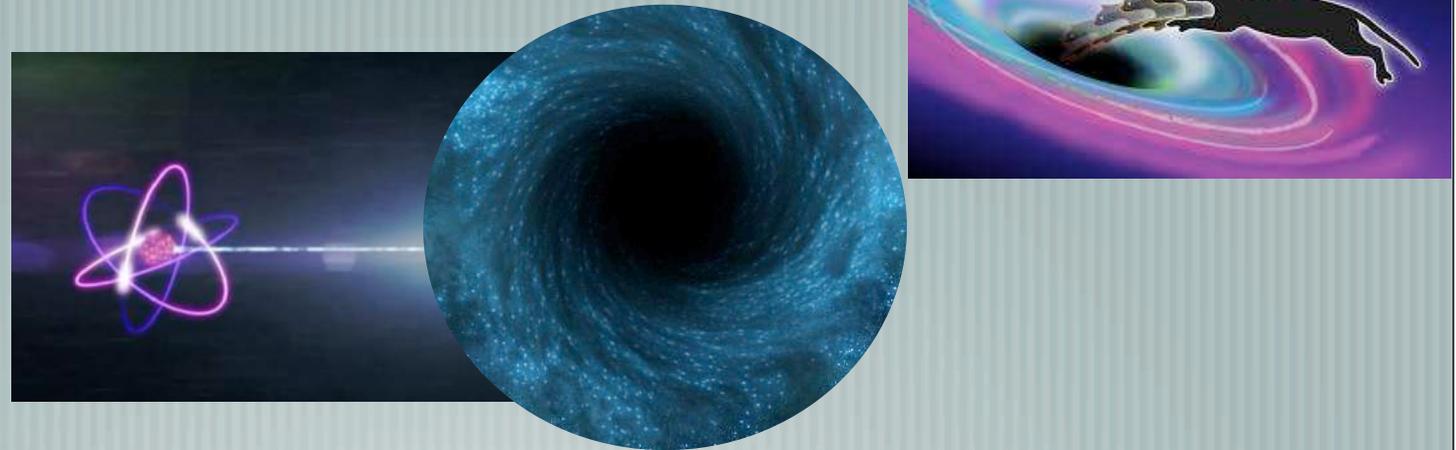
Agujeros negros (cuánticos)

Flash
back

El problema de la información

Si se pierde información se viola la Mecánica Cuántica

Experimento mental: decoherencia del par EPR



Microestados de agujeros negros

La interpretación mecánico-estadística de la entropía $S = \log N$, sugiere la existencia de una enorme cantidad N de microestados del agujero negro para una masa M dada.

Agujeros negros (cuánticos)

Flash
back

El problema de la información

Si se pierde información se viola la Mecánica Cuántica

Experimento mental: decoherencia del par EPR



Microestados de agujeros negros

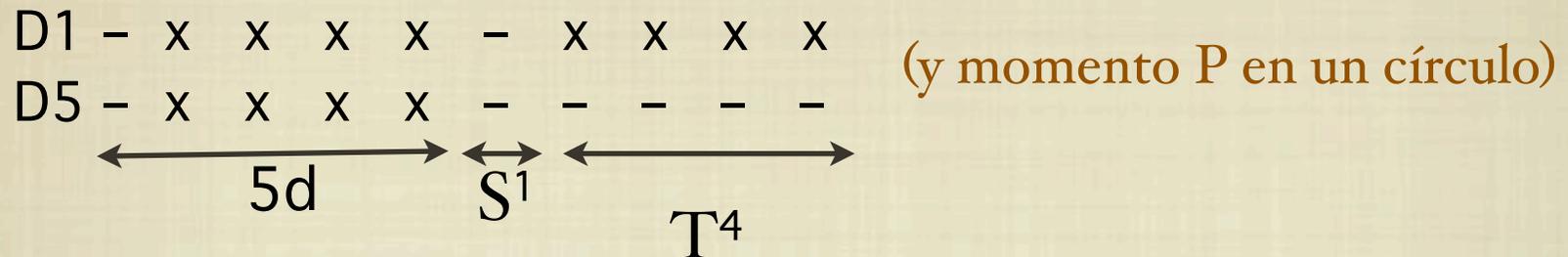
La interpretación mecánico-estadística de la entropía $S = \log N$, sugiere la existencia de una enorme cantidad N de microestados del agujero negro para una masa M dada.

Contradice la unicidad de la solución clásica (que sólo depende de M) (teorema "no hair")

¿Qué son esos microestados cuánticos?

Agujeros negros en teoría de cuerdas

Ej: Compactificación 10d \rightarrow 5d con cinco dimensiones extra circulares

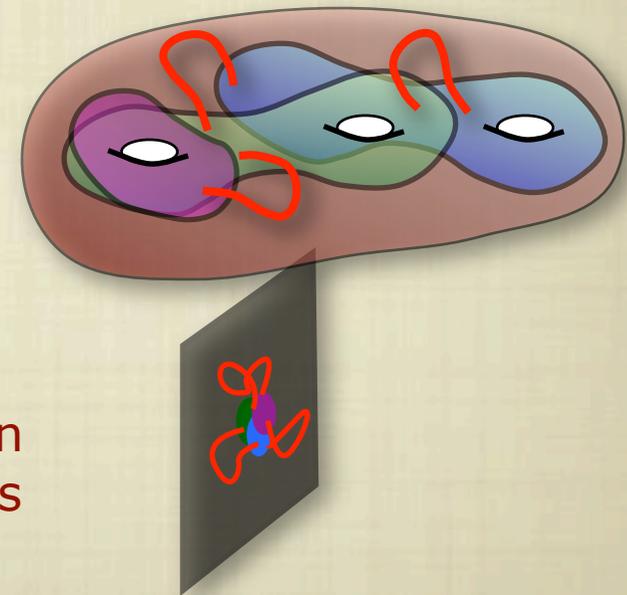


Forman un agujero negro con área que da una entropía de Bekenstein-Hawking

$$S = (N_1 N_5 P)^{1/2}$$

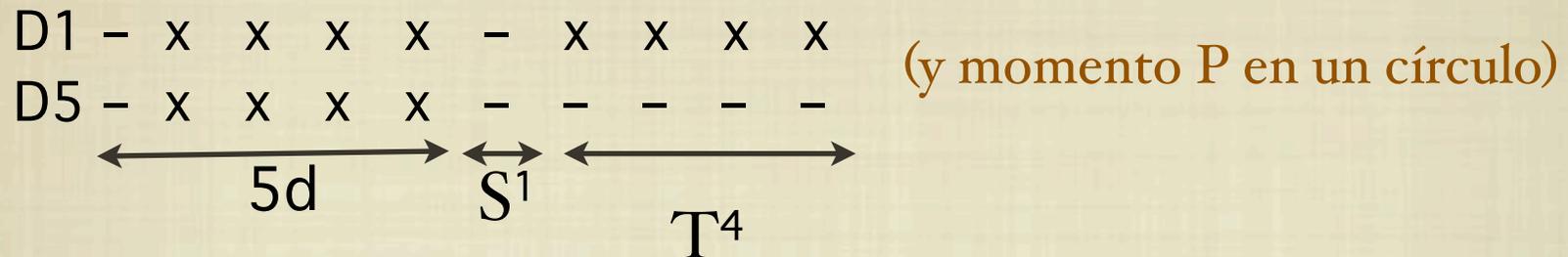
Concuerda con la entropía estadística de las cuerdas abiertas entre las D1s y las D5s

Los microestados del agujero negro corresponden a los microestados de la sopa de cuerdas abiertas entre las Dbranas que forman el agujero negro



Agujeros negros en teoría de cuerdas

Ej: Compactificación $10d \rightarrow 5d$ con cinco dimensiones extra circulares



Forman un agujero negro con área que da una entropía de Bekenstein-Hawking

$$S = (N_1 N_5 P)^{1/2}$$

Concuerda con la entropía estadística de las cuerdas abiertas entre las D1s y las D5s

Los microestados del agujero negro corresponden a los microestados de la sopa de cuerdas abiertas entre las Dbranas que forman el agujero negro

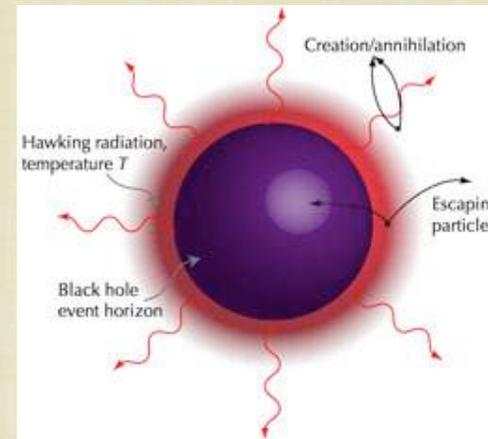
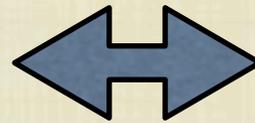
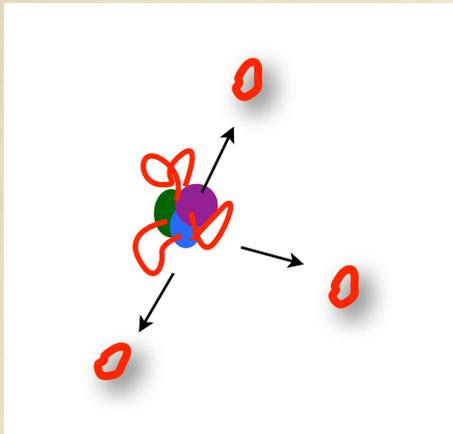


Agujeros negros en teoría de cuerdas

Radiación de Hawking

Cálculo en acoplamiento débil:

Las cuerdas abiertas chocan y pueden producir una radiación de cuerdas cerradas (gravitones, ...)



El conteo cuantitativo corresponde, pero la interpretación es distinta en acoplamiento débil o fuerte

Un paso importante hacia la resolución del problema de la información

Agujeros negros vs Fuzzballs

Artículo reciente de Hawking

Information Preservation and Weather Forecasting for Black Holes*

S. W. Hawking¹

¹*DAMTP, University of Cambridge, UK*

Abstract

It has been suggested [1] that the resolution of the information paradox for evaporating black holes is that the holes are surrounded by firewalls, bolts of outgoing radiation that would destroy any infalling observer. Such firewalls would break the CPT invariance of quantum gravity and seem to be ruled out on other grounds. A different resolution of the paradox is proposed, namely that gravitational collapse produces apparent horizons but no event horizons behind which information is lost. This proposal is supported by ADS-CFT and is the only resolution of the paradox compatible with CPT. The collapse to form a black hole will in general be chaotic and the dual CFT on the boundary of ADS will be turbulent. Thus, like weather forecasting on Earth, information will effectively be lost, although there would be no loss of unitarity.

[hep-th] 22 Jan 2014

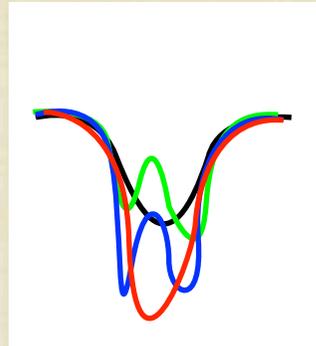
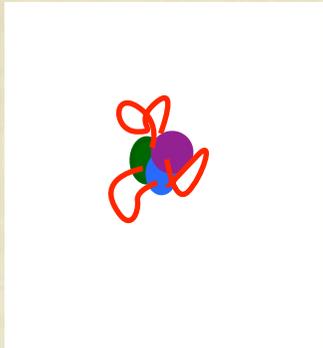
¿ O sea que no hay agujeros negros?

Agujeros negros vs Fuzzballs

¿ O sea que no hay agujeros negros?

Esencialmente lo mismo que en la denominada "propuesta fuzzball" en teoría de cuerdas:

- Cada microestado corresponde a una solución de gravedad. La entropía de un único microestado es cero, así que no hay horizonte



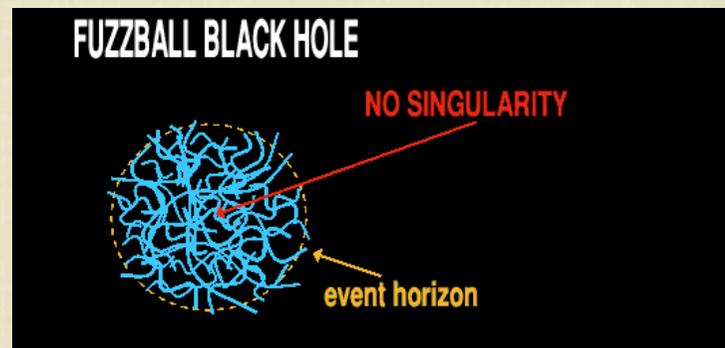
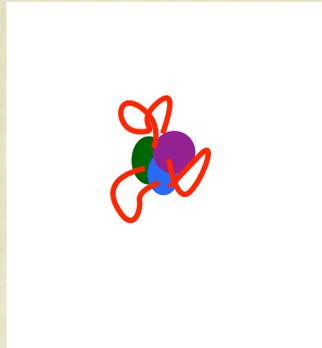
- Las soluciones de microestados distintos difieren sólo dentro de una región de tamaño R_s (horizonte aparente en el radio de Schwarzschild)

Agujeros negros vs Fuzzballs

¿ O sea que no hay agujeros negros?

Esencialmente lo mismo que en la denominada "propuesta fuzzball" en teoría de cuerdas:

- Cada microestado corresponde a una solución de gravedad. La entropía de un único microestado es cero, así que no hay horizonte



- Las soluciones de microestados distintos difieren sólo dentro de una región de tamaño R_s (horizonte aparente en el radio de Schwarzschild)
- La solución de agujero negro con horizonte es una descripción fiable en la región exterior al horizonte aparente. El interior no es un espacio-tiempo suave, sino una superposición caótica de muchas geometrías (fuzzball, "bola de pelusa").

Radical: Efectos de gravedad cuántica a escalas macroscópicas

⇒ **Controvertido**

Agujeros negros en teoría de cuerdas

Nuestras preguntas interesantes...

¿Qué hay dentro de un agujero negro?

¿Qué le pasa a quien cae en un agujero negro?

¿Tiene existencia física la singularidad?



... son difíciles de responder en la descripción de cuerdas que hemos revisado

Agujeros negros en teoría de cuerdas

Conclusiones (preliminares)

- Imagen microscópica de algunos ingredientes de los agujeros negros

- ¡Cálculos cuantitativos correctos!



Pero...- Agujeros negros muy distintos de Schwarzschild

- La interpretación resulta muy indirecta

¿Qué pasa con alguien que caiga dentro del agujero negro?
¿Y la holografía? ¿Y...?

Afortunadamente... AdS/CFT



(ver siguiente charla)



Interludio en otros temas



Flash
back

Muchos temas asociados a Gravedad Cuántica...

- De forma rigurosa

y/o

- En el imaginario colectivo

Algunos de ellos

- ✓ Agujeros negros

Big Bang y origen del Universo

Líneas temporales cerradas (viajes en el tiempo)

Agujeros de gusano

} Singularidades

Conclusiones Muy preliminares... Difícil describir geometrías no estáticas de forma exacta/precisa en teoría de cuerdas

Agujeros de gusano, CTCs,...

Problema de las energías negativas, etc...

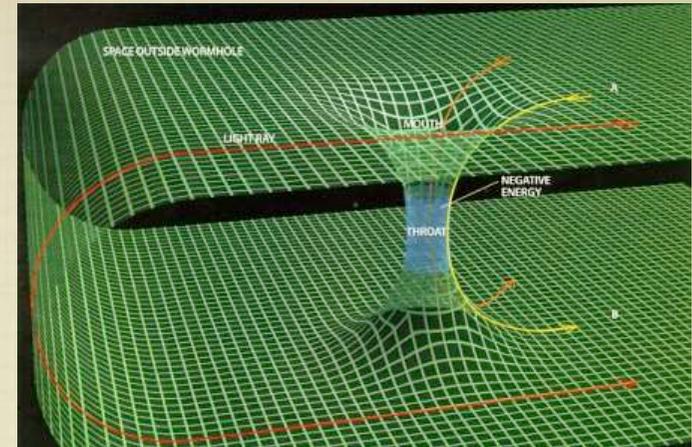
¿Y en cuerdas? Conclusiones (preliminares...)

Teoría de cuerdas contiene escalares extra que alivian el problema de energías negativas

Existen soluciones de agujeros de gusano en supergravedad (aproximación de bajas energías)

Pero... parecen ausentes en tratamientos más precisos (como AdS/CFT)

¿Fuera del "tablero de juego"?



TWILIGHT IMPERIUM
THIRD EDITION

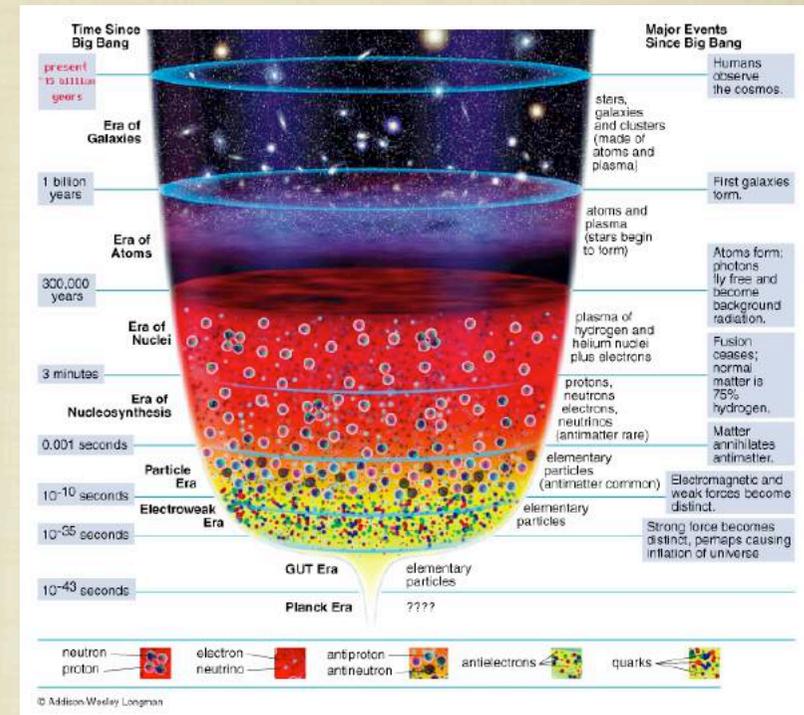
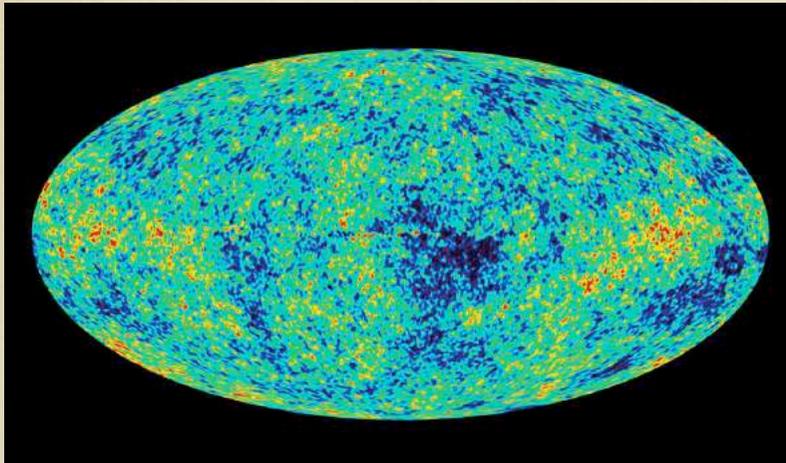
The Wormhole Nexus



The Wormhole Nexus tile represents a unique system outside the known galaxy. This tile is placed **off the board**, and a player may travel to it by using either an Alpha or a Beta Wormhole. Players always have a

Origen del Universo

El modelo estándar de Cosmología Λ CDM explica la evolución del Universo en excelente acuerdo con todas las observaciones



Cuestiones sensible a Física de distancias cortas / altas energías:

- Inflación ← p.ej. modelos brana-antibrana c.f. F.Marchesano
- Constante cosmológica (posible energía oscura)

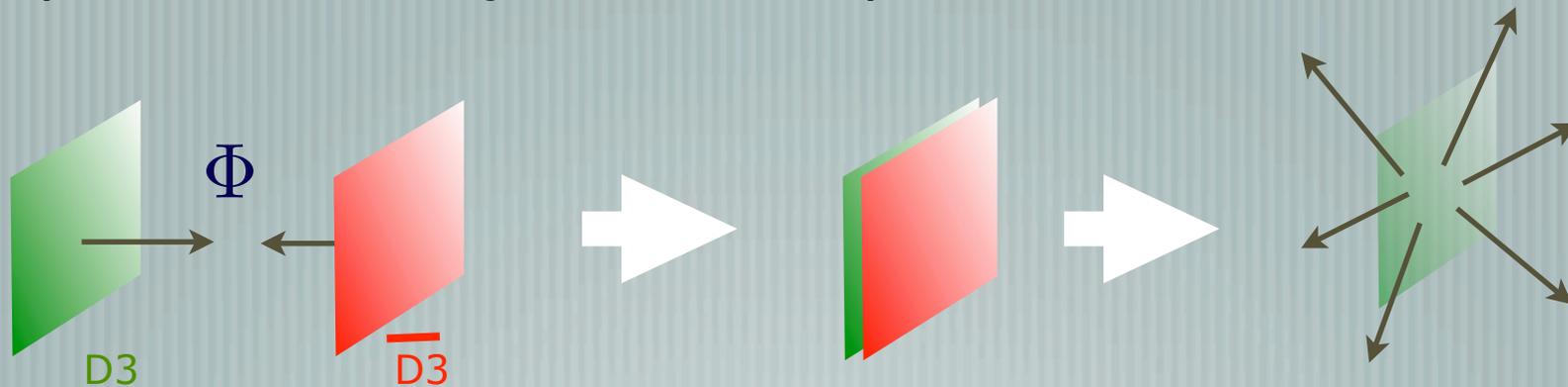
Inflación



- Varios posibles modelos de inflación en teoría de cuerdas

Por ejemplo: Inflación brana-antibrana

(antibrana: anti-objeto de la brana)



La tensión de un par brana-antibrana actúa como una energía de vacío que produce una fase de expansión acelerada.

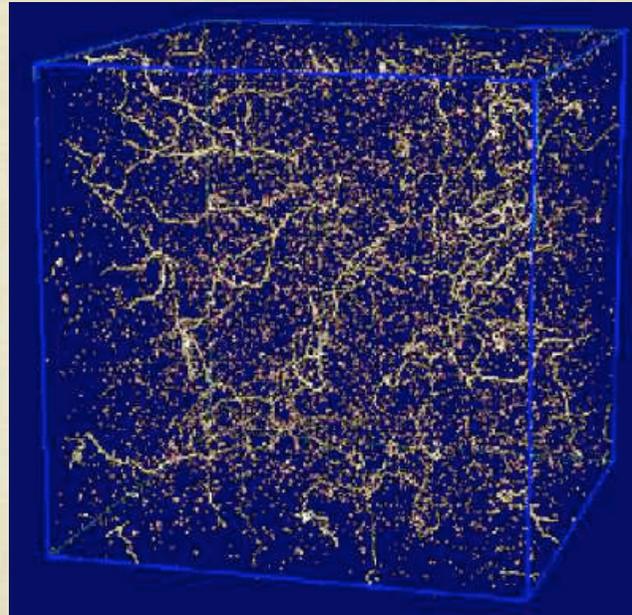
El inflatón es un campo que mide la distancia entre la brana y la antibrana

Inflación termina con la aniquilación del par, la energía se libera a partículas y radiación, en expansión decelerada.

Inflación

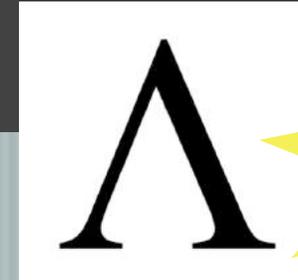
En algunos modelos, cuerdas microscópicas al final de inflación podrían quedar como reliquias macroscópicas, cuerdas cósmicas, con efectos observables hoy día

- CMB, lente gravitacional, ondas gravitacionales, ...



Cuerdas en el cielo

Constante cosmológica

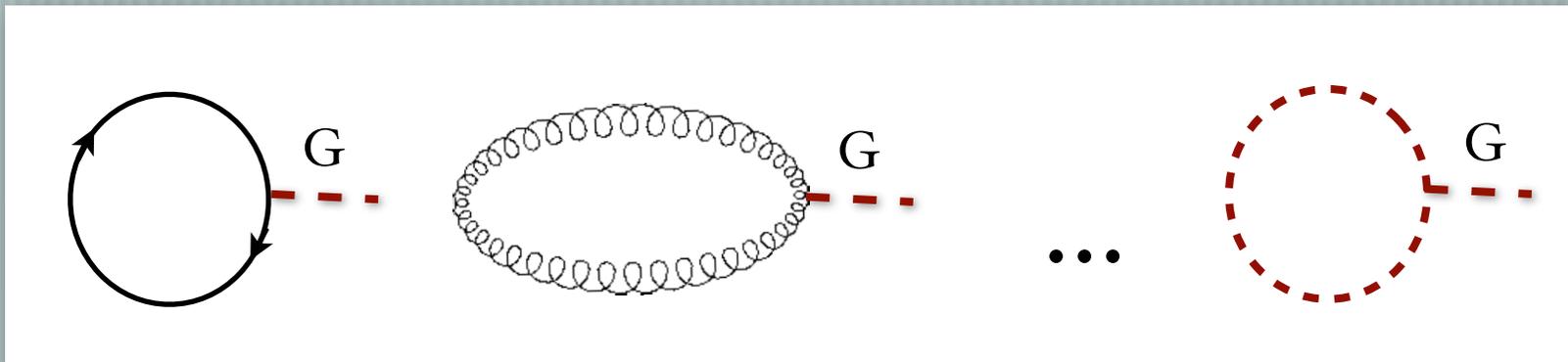


Flash
back

La divergencia más intrigante...

La constante cosmológica (energía oscura) es diminuta en la escala de energías de Física de Partículas: $(10^{-3} \text{ eV})^4$

Sin embargo, la aplicación de Teoría Cuántica de Campos implica que la c.c. se renormaliza enormemente



Su escala natural sería $M_p^4 \sim (10^{19} \text{ GeV})^4$
Muchos órdenes de magnitud de diferencia

¿Extrañas cancelaciones? ¿Cosas que no entendemos? ¿...?

Uno de los problemas más importantes de la Física Teórica para el s. XXI

Constante Cosmológica

La mayoría de los modelos de cuerdas son supersimétricos y tienen $\Lambda=0$

Al romper supersimetría, se genera una CC en general enorme

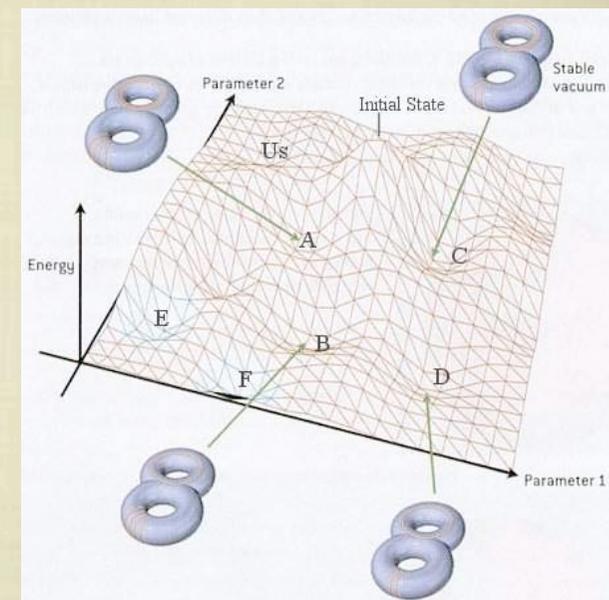
No se conoce ningún mecanismo que pueda explicar una CC tan pequeña como la observada en nuestro Universo

Quizás hay algo que no entendemos...

... quizás la pregunta está mal planteada

Hay una cantidad enorme de modelos de cuerdas ("*landscape*") cada uno con una CC diferente

Posible que alguno(s) tenga(n) una CC tan pequeña como la presente en nuestro Universo



¿Por qué ese/os modelos son "preferidos" frente a los otros?

Ojo: NO es una "minimización de la energía" (no bien definido en Relatividad General)

Constante Cosmológica



S. Weinberg

El argumento antrópico

En un Universo con enorme CC, la expansión acelerada hace imposible la formación de estructura (galaxias, estrellas). Imposible la existencia de observadores.

Weinberg, 1987 Cualquier Universo con estructura suficiente para permitir la existencia de observadores tiene una CC como máximo $\sim (3 \times 10^{-3} \text{ eV})^4$

¿Por qué vivimos precisamente en un Universo con CC diminuta?

Porque si la CC fuera muy diferente, no habría nadie para medirla

Constante Cosmológica

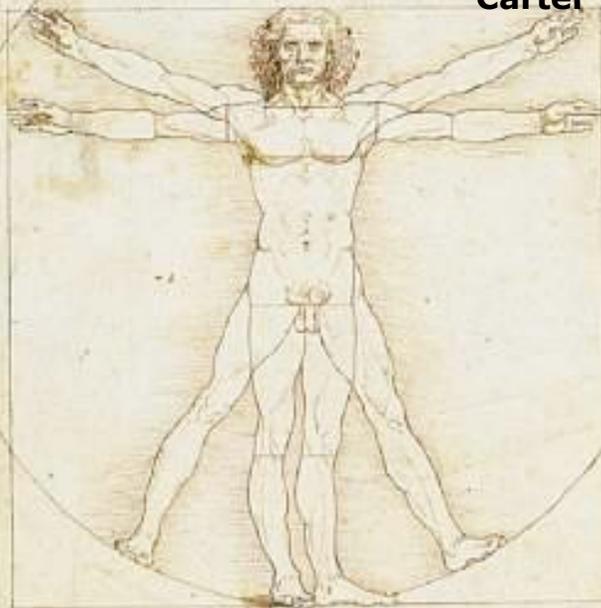
El argumento antrópico

con enorme CC, la expansión acelerada

la
osi
alc
e
(
e
er

Ideas antrópicas

Carter 1974



¿Renuncia a la predictividad de la Física?

Constante Cosmológica

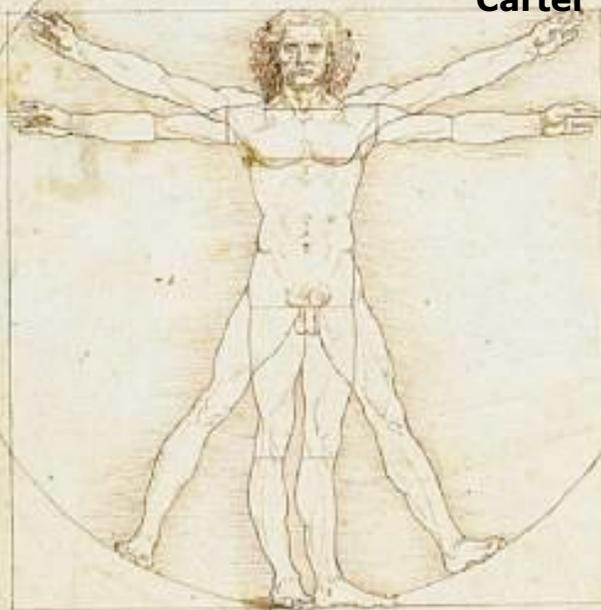
El argumento antrópico

con enorme CC, la expansión acelerada

la
osi
alc
e
(
e
er

Ideas antrópicas

Carter 1974



¿Renuncia a la predictividad de la Física?

Constante Cosmológica



S. Weinberg

El argumento antrópico

En un Universo con enorme CC, la expansión acelerada hace imposible la formación de estructura (galaxias, estrellas). Imposible la existencia de observadores.

Weinberg, 1987 Cualquier Universo con estructura suficiente para permitir la existencia de observadores tiene una CC como máximo $\sim (3 \times 10^{-3} \text{ eV})^4$

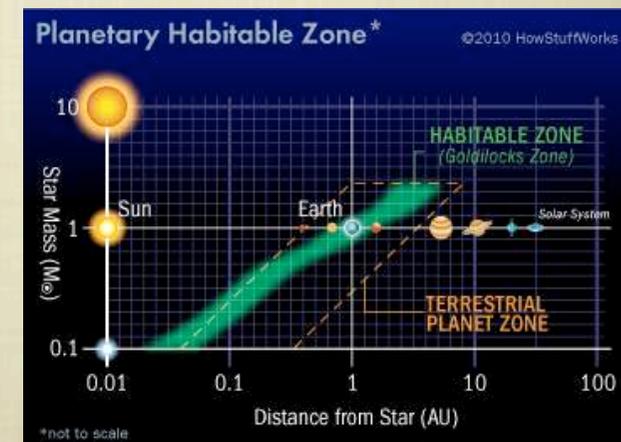
¿Por qué vivimos precisamente en un Universo con CC diminuta?

Porque si la CC fuera muy diferente, no habría nadie para medirla

La respuesta antrópica es conceptualmente similar a la explicación de la distancia Tierra-Sol
No invalida la predictividad de la Mecánica Celeste

Aceptar una explicación "ambiental" de la CC no invalidaría la predictividad de la teoría para otras cantidades (o para la distribución de CCs)

Cierta controversia en la comunidad...

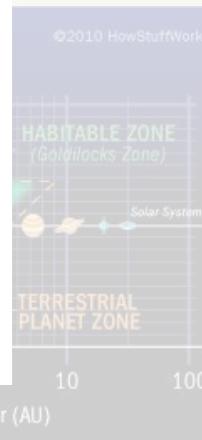


Constante Cosmológica



erada
as,
s.
iciente
una CC

ta?



Cierta controversia en la comunidad...

Fin del interludio

Hemos comentado algunos aspectos de Teoría de Cuerdas como Gravedad Cuántica

Ahora daremos un salto cualitativo: **Holografía**



Nuevos puntos de vista en muchas de las anteriores cuestiones...

Agujeros negros en teoría de cuerdas

Conclusiones (preliminares)

- Imagen microscópica de algunos ingredientes de los agujeros negros

- ¡Cálculos cuantitativos correctos!



Pero...- Agujeros negros muy distintos de Schwarzschild

- La interpretación resulta muy indirecta

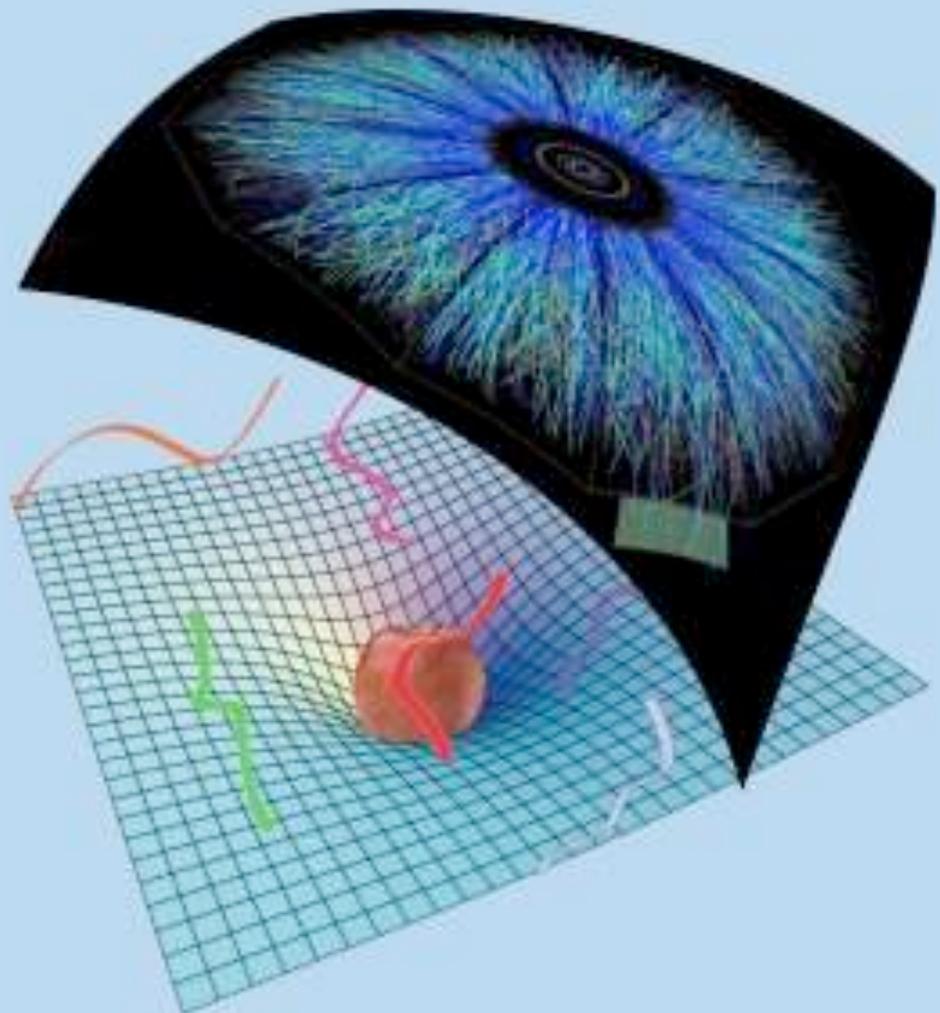
¿Qué pasa con alguien que caiga dentro del agujero negro?
¿Y la holografía? ¿Y...?

Afortunadamente... AdS/CFT



(**ésta** es la charla)

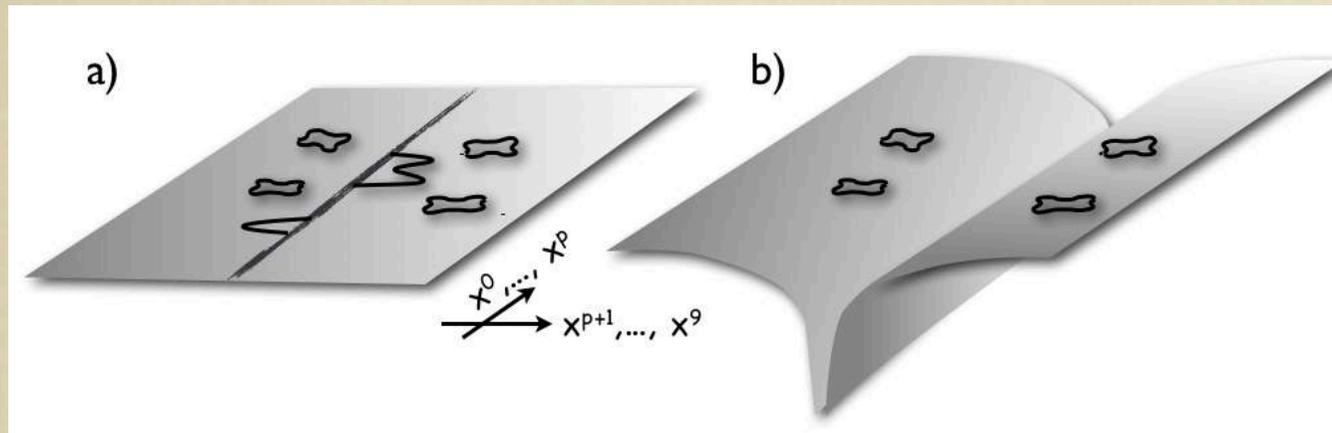




AdS/CFT

Correspondencia de Maldacena

Dos descripciones de las D3-branas



J. Maldacena

- cuerdas abiertas y cerradas, en espacio-tiempo plano 10d
- cuerdas cerradas en espacio-tiempo curvado

Deberían ser equivalentes...

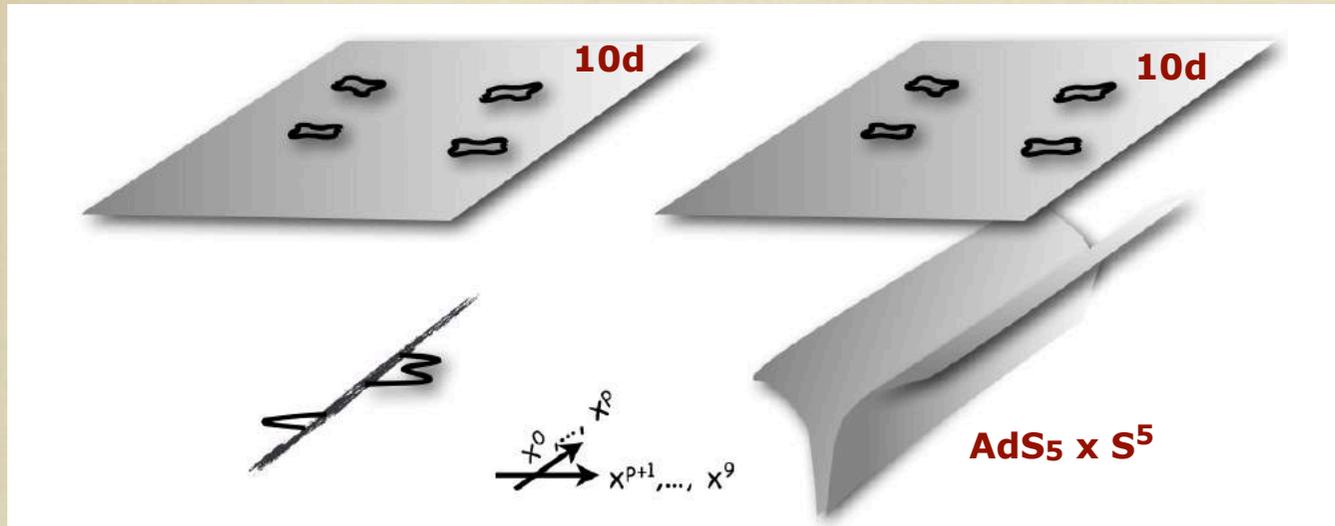
... pero son demasiado complicadas de analizar de forma exacta

Tomemos el límite de bajas energías

AdS/CFT

Correspondencia de Maldacena

Tomemos el límite de bajas energías



J. Maldacena

- La gravedad 10d se desacopla, las cuerdas masivas se desacoplan, ...
cuerdas abiertas, sector masa=0 \longleftrightarrow Teoría de cuerdas en la garganta
(bajas energías por corrimiento al rojo)

Teoría gauge SU(N) en 4d \longleftrightarrow Teoría de cuerdas en AdS₅ x S⁵

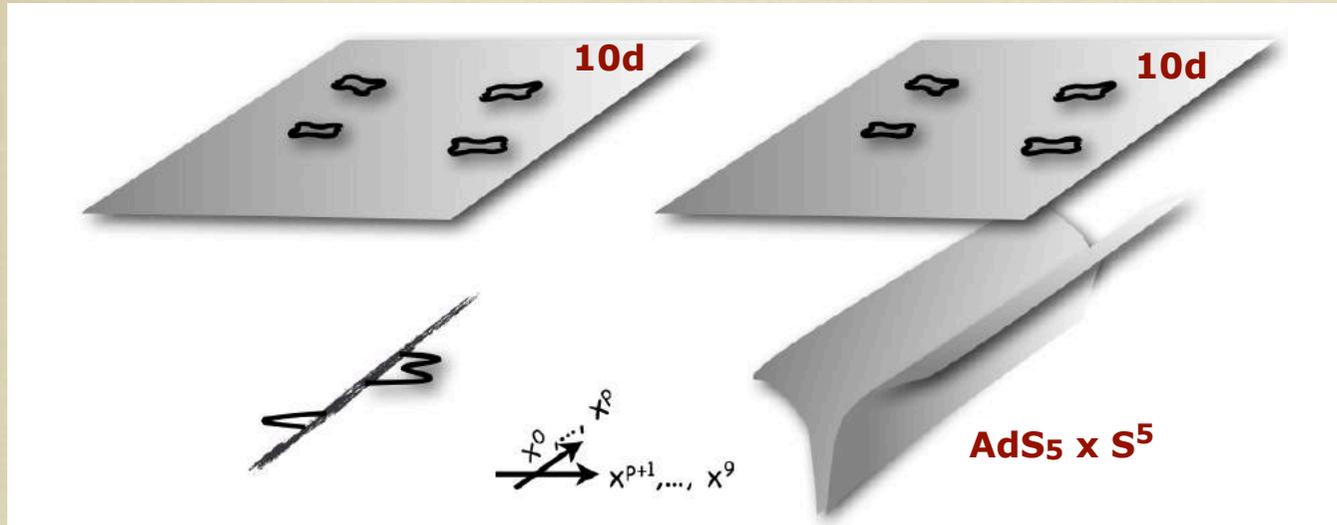
Deberían ser equivalentes...

... y son mucho más tratables que los sistemas originales

AdS/CFT

Correspondencia de Maldacena

Tomemos el límite de bajas energías



J. Maldacena

- La gravedad 10d se desacopla, las cuerdas masivas se desacoplan,...

cuerdas abiertas, sector masa=0 ↔ Teoría de cuerdas en la garganta (bajas energías, límite al rojo)

Teoría de cuerdas (N) en 4d ↔ Teoría de cuerdas en AdS5 x S5

CFT

AdS

Deberían ser equivalentes...

... y son mucho más tratables que los sistemas originales

AdS/CFT



Teoría gauge $SU(N)$ en 4d \longleftrightarrow Teoría de cuerdas en $AdS_5 \times S^5$



AdS/CFT

Teoría gauge $SU(N)$ en 4d \leftrightarrow Teoría de cuerdas en $AdS_5 \times S^5$

Teoría cuántica de campos



Teoría de cuerdas

Teoría SIN gravedad



Teoría CON gravedad

Teoría en 4 dimensiones



Teoría en 10 dimensiones

(bueno, 5d por compactificación de S^5)

HAS FLIPAO



AdS/CFT

Teoría gauge $SU(N)$ en 4d \leftrightarrow Teoría de cuerdas en $AdS_5 \times S^5$

Teoría cuántica

Teoría SI

Teoría en 4



s

edad

nensiones

ctificación de S^5)

HAS FLIPAO



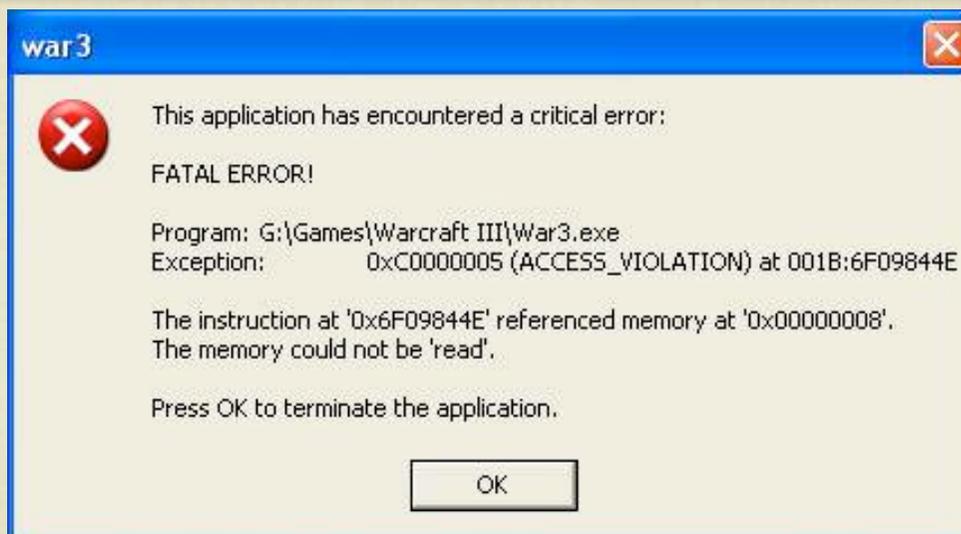
AdS/CFT



¿ Teoría cuántica de campos



Teoría de cuerdas ?





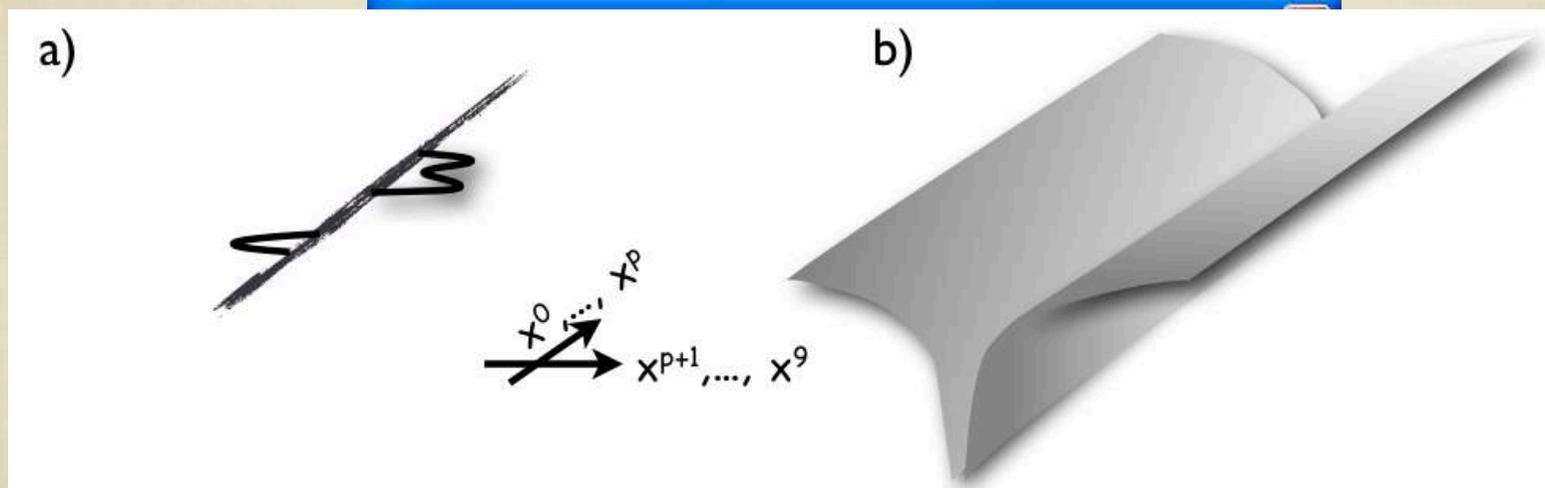
AdS/CFT



¿ Teoría cuántica de campos



Teoría de cuerdas ?



Buena descripción cuando
 $g_s N \ll 1$



Buena descripción cuando
 $g_s N \gg 1$

**No hay incompatibilidad
en tener dos descripciones tan distintas**

HAS FLIPAO

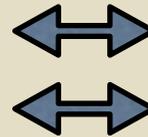


Holografía



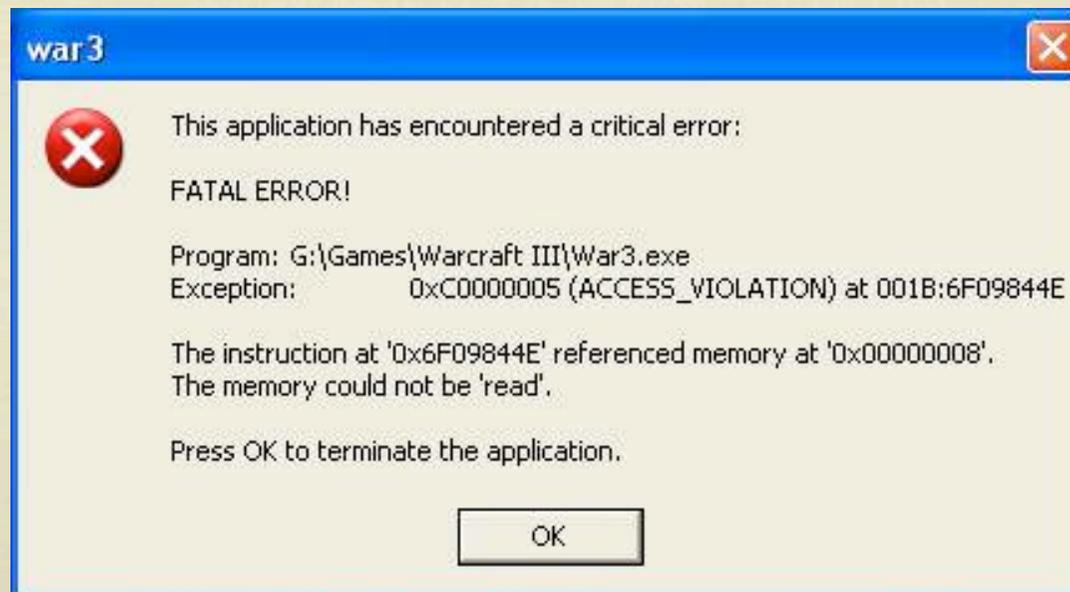
Teoría SIN gravedad

Teoría en 4 dimensiones



Teoría CON gravedad

Teoría en 5 dimensiones



Agujeros negros (cuánticos)

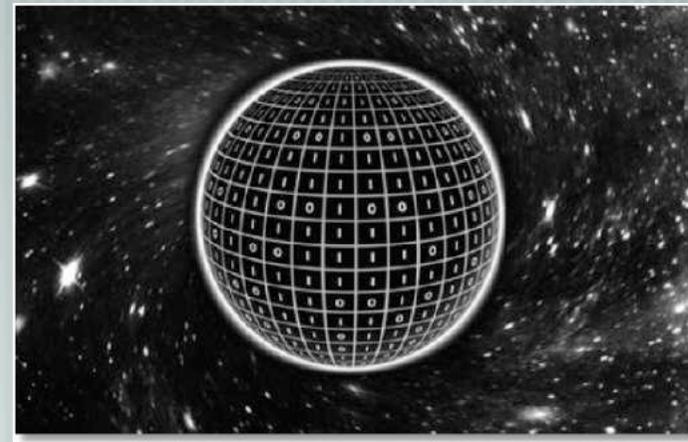
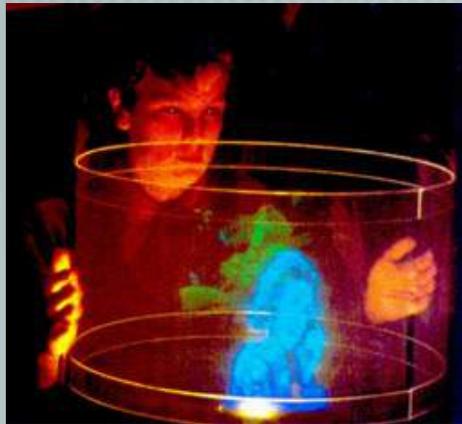
Flash
back

Holografía 't Hooft, Susskind

La entropía de un agujero negro está relacionada con el área de la región, y no con su volumen, al contrario de sistemas usuales (gases, etc).

Sugiere que la información de los microestados cuánticos del agujero negro está almacenada sólo en el horizonte

Analogía con un holograma, imagen 2d que almacena info 3d



Generalización

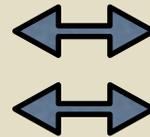
La información de un sistema con gravedad en D dimensiones se codifica en una teoría sin gravedad en su frontera de $(D-1)$ dimensiones



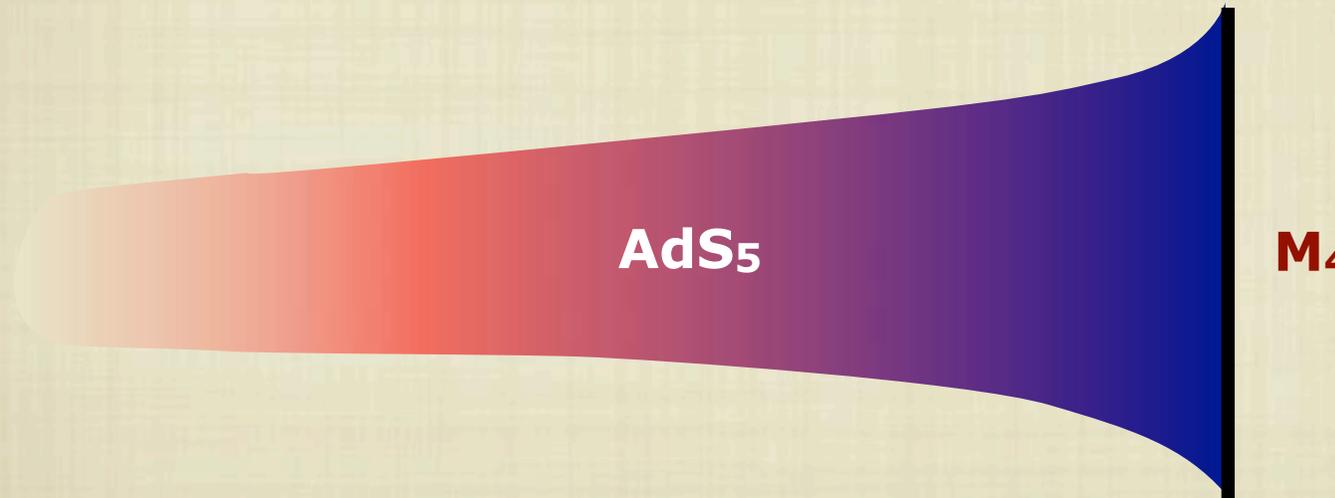
Holografía



Teoría SIN gravedad
Teoría en 4 dimensiones



Teoría CON gravedad
Teoría en 5 dimensiones



Generalización

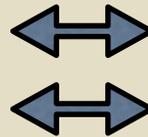
La información de un sistema con gravedad en D dimensiones se codifica en una teoría sin gravedad en su frontera de $(D-1)$ dimensiones



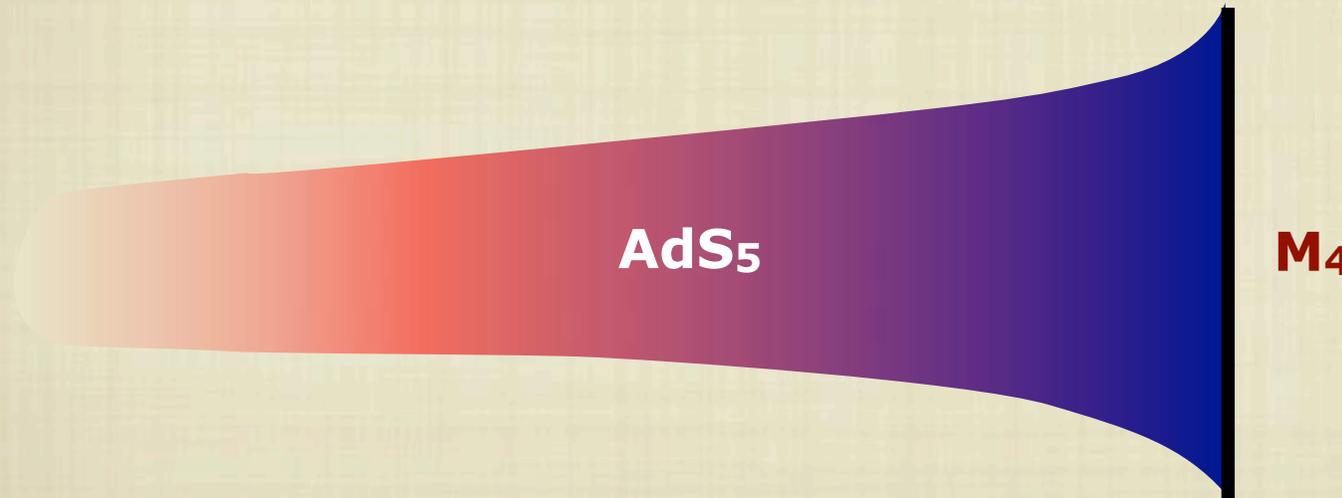
Holografía



Teoría SIN gravedad
Teoría en 4 dimensiones



Teoría CON gravedad
Teoría en 5 dimensiones



**AdS/CFT es una correspondencia holográfica
i con una descripción explícita de la teoría en la frontera !**

AdS/CFT

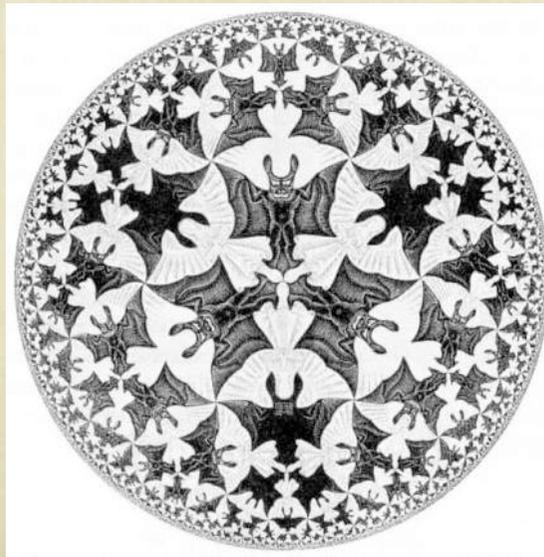
Geometría de anti de Sitter AdS₅

- solución máximamente simétrica de Relatividad General con constante cosmológica negativa

- hiperboloide en espacio de 6d

$$-t^2 + x^2 + y^2 + z^2 - w^2 = -R^2$$

- Intuición: región finita con una métrica peculiar...

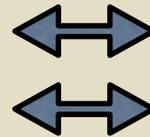




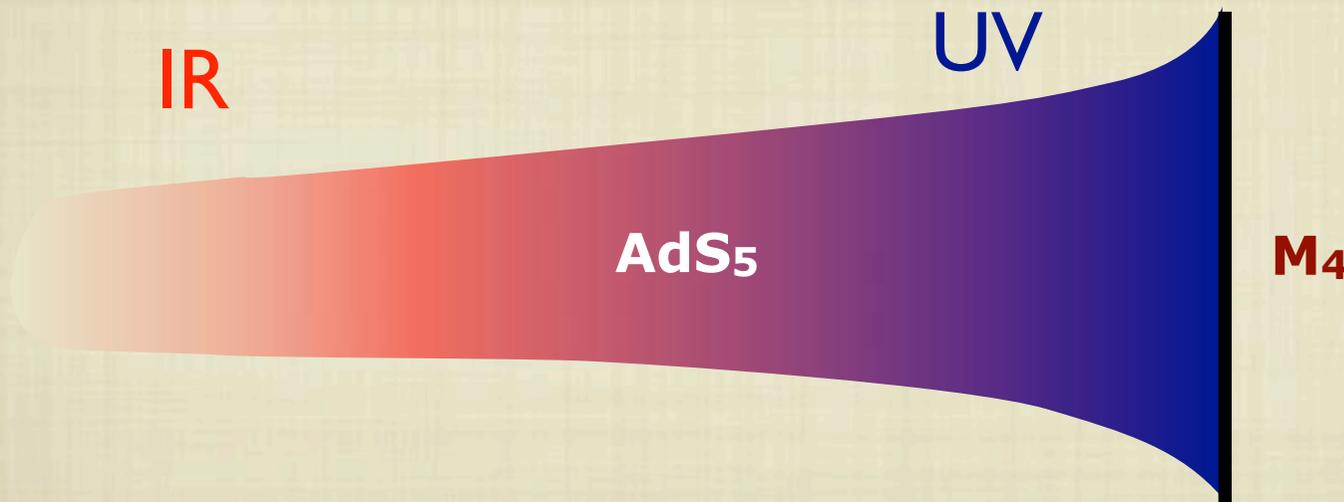
Holografía



Teoría SIN gravedad
Teoría en 4 dimensiones



Teoría CON gravedad
Teoría en 5 dimensiones



Dimensión holográfica

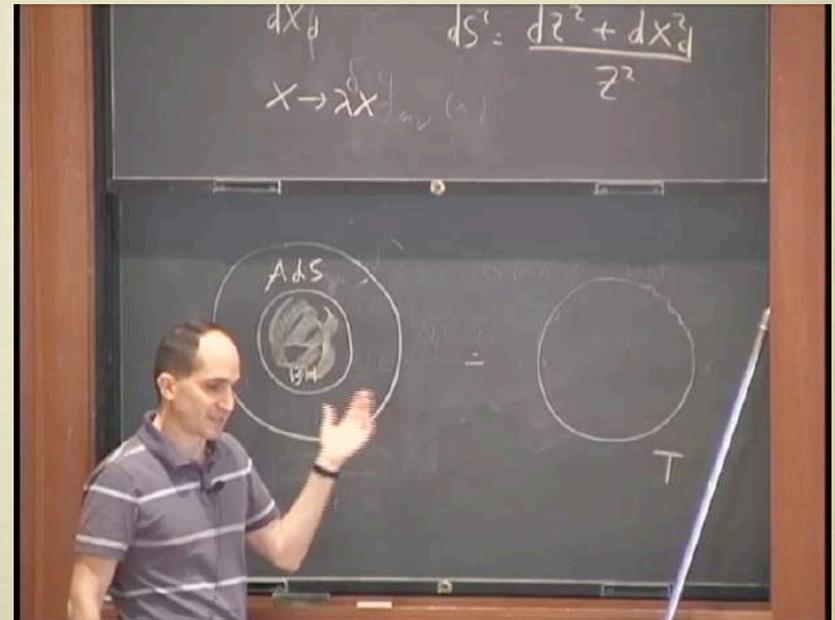
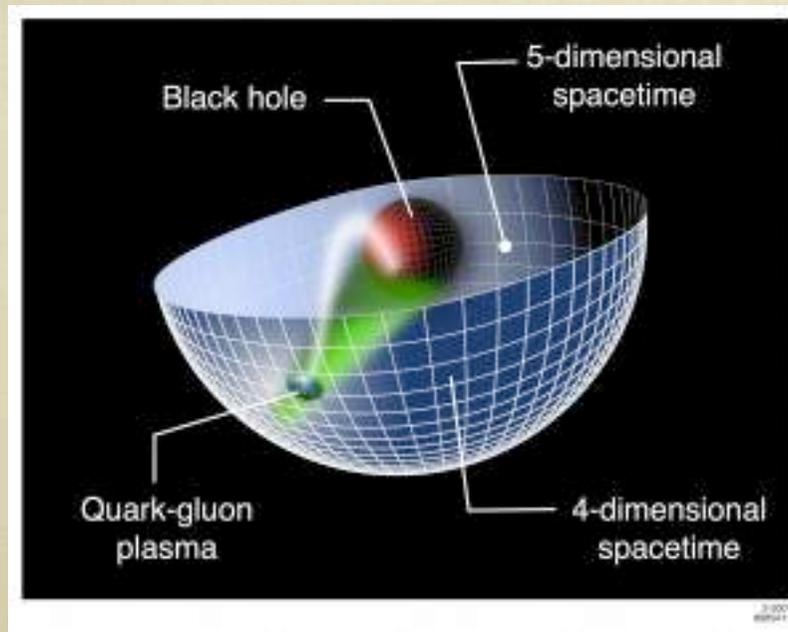
La dimensión extra corresponde a la escala de energías de la teoría 4d

Holografía, gravedad/gauge

Generalizaciones (I)

Temperatura finita T

- Plasma de partículas de interacción fuerte (gluones) a temperatura T
- Agujero negro en AdS_5 con temperatura de Hawking T



Holografía, gravedad/gauge

Implicaciones: gauge \Rightarrow gravedad

En principio se pueden reexpresar todas las cuestiones sobre agujeros negros cuánticos en términos de la teoría gauge dual

- No hay violaciones de la Mecánica Cuántica.
Implicaciones para el problema de la información



- Simulaciones numéricas de la teoría gauge que reproduzcan la evaporación y desaparición de agujeros negro

Teoría cuántica de campos en el retículo

- Formulación de "observables" dentro del horizonte
(qué pasa al caer en un agujero negro, resolución de la singularidad, ...)

Holografía, gravedad/gauge

Implicaciones: gauge \Rightarrow gravedad

En principio se pueden reexpresar todas las cuestiones sobre agujeros negros cuánticos en términos de la teoría gauge dual

- No hay violaciones de la Mecánica Cuántica.
Implicaciones para el problema de la información



- Simulaciones numéricas de la teoría gauge que reproduzcan la evaporación y desaparición de agujeros negro

Teoría cuántica de campos en el retículo

- Formulación de "observables" dentro del horizonte
(qué pasa al caer en un agujero negro, resolución de la singularidad, ...)

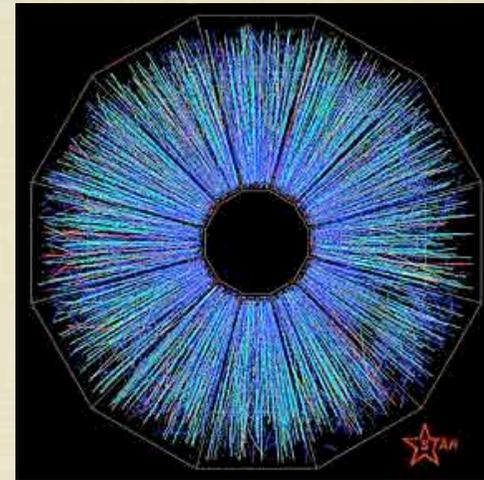
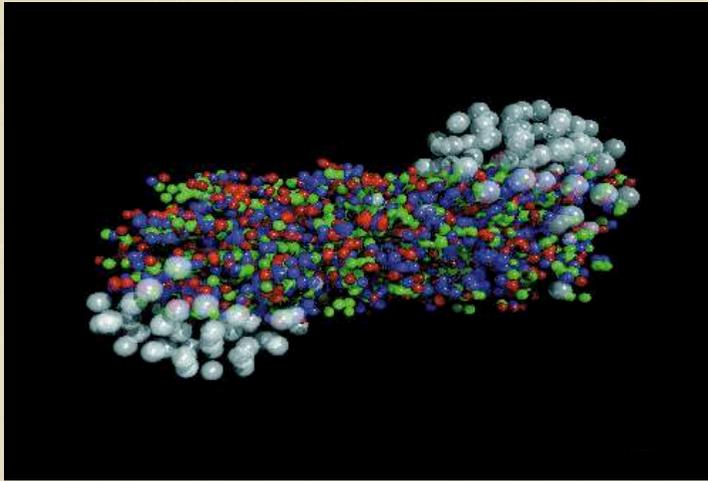
Aún queda mucho por hacer y entender...

Plasma de quarks y gluones

Implicaciones: gravedad \Rightarrow gauge

Modelización de plasmas de partículas gauge en acoplamiento fuerte

Plasma de quarks y gluones en colisiones de iones pesados en LHC (ALICE)



- Fluido de muy baja viscosidad $\frac{\eta}{s} \simeq \frac{1}{4\pi}$
- Cálculo de muchas otras propiedades...

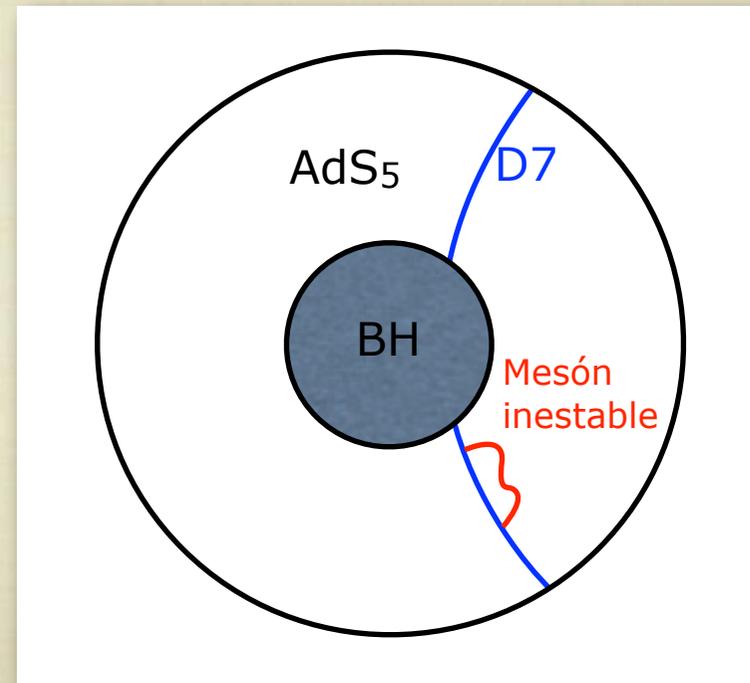
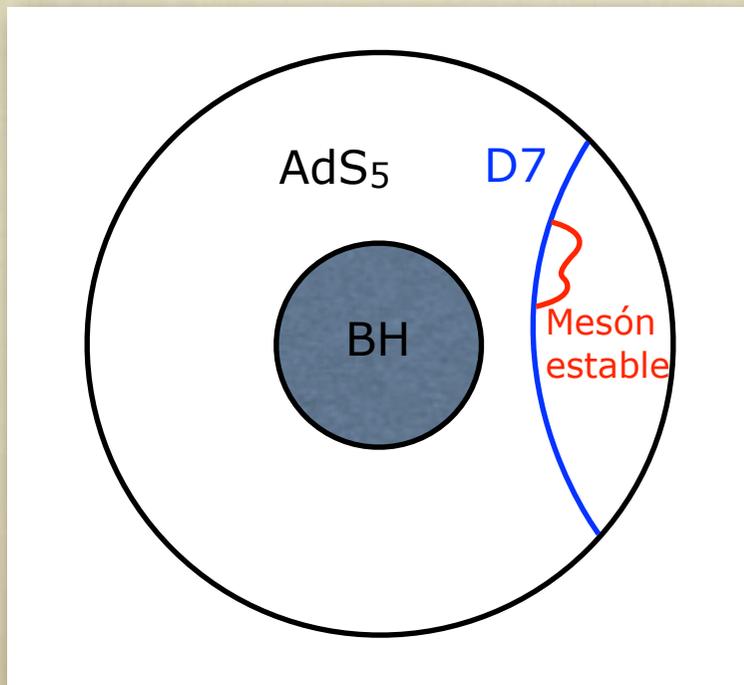
Holografía, gravedad/gauge

Generalizaciones (II)

Añadiendo quarks: añadimos D7s a las configuración de D3s

- Plasma de gluones y quarks/mesones a temperatura T
- Agujero negro en AdS_5 con D-branas adicionales

Transición de fase: quarks - mesones



Holografía, gravedad/gauge

Generalizaciones (III)

Aplicaciones a materia condensada: "superconductores holográficos"

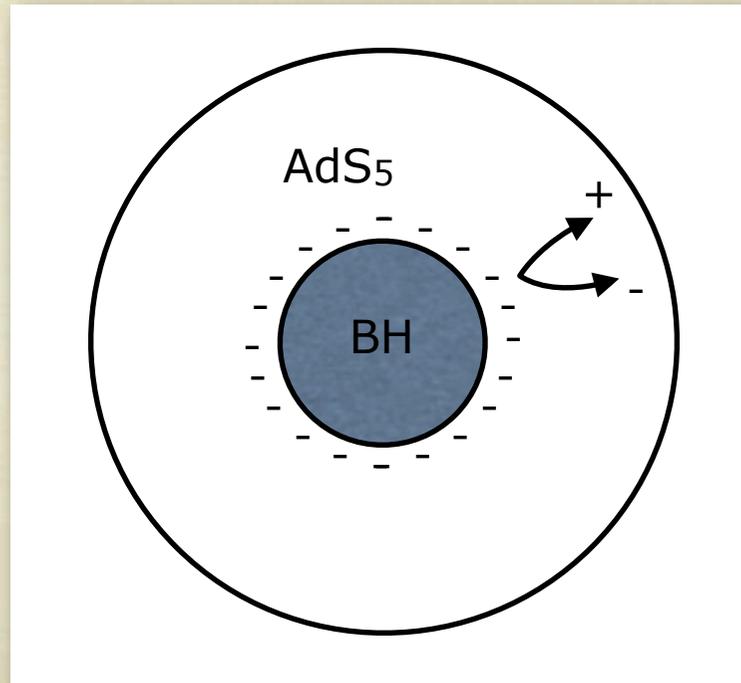


Holografía, gravedad/gauge

Generalizaciones (III)

Aplicaciones a materia condensada: "superconductores holográficos"

- Densidad de carga ρ , y condensado (par de Cooper) que da masa al fotón de forma similar a un mecanismo de Higgs
- Agujero negro cargado en AdS_5 con densidad ρ y campo cargado inestable en el horizonte



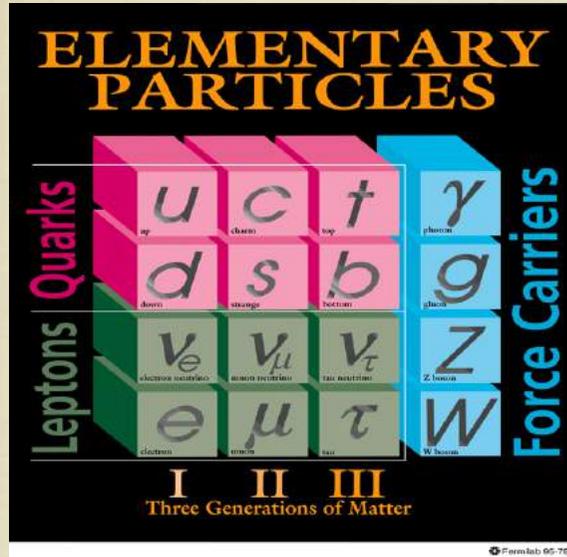
¿Nuevos tipos de superconductividad? ¿Alta temperatura crítica?

Conclusiones

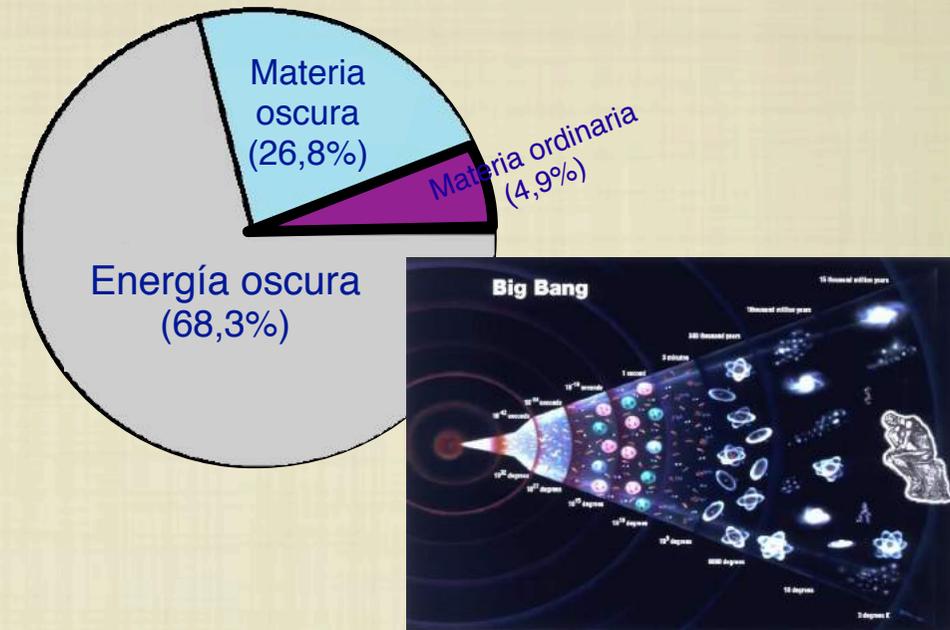
Sobre Física de Partículas
y Teoría de Cuerdas

Física de Partículas y Cosmología

Modelo estándar de Partículas Elementales



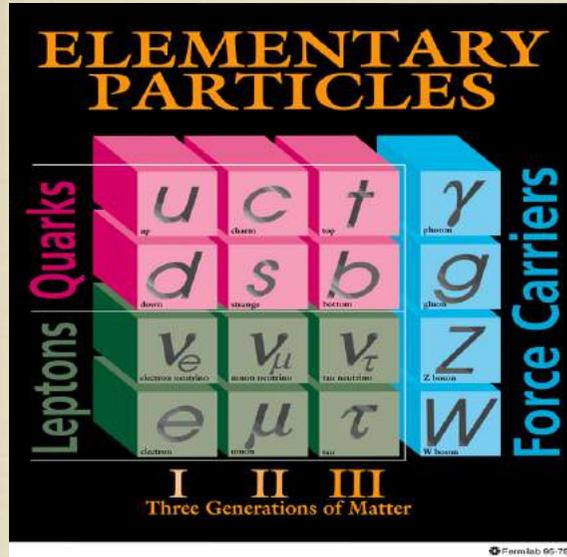
Modelo estándar de Cosmología (Λ CDM)



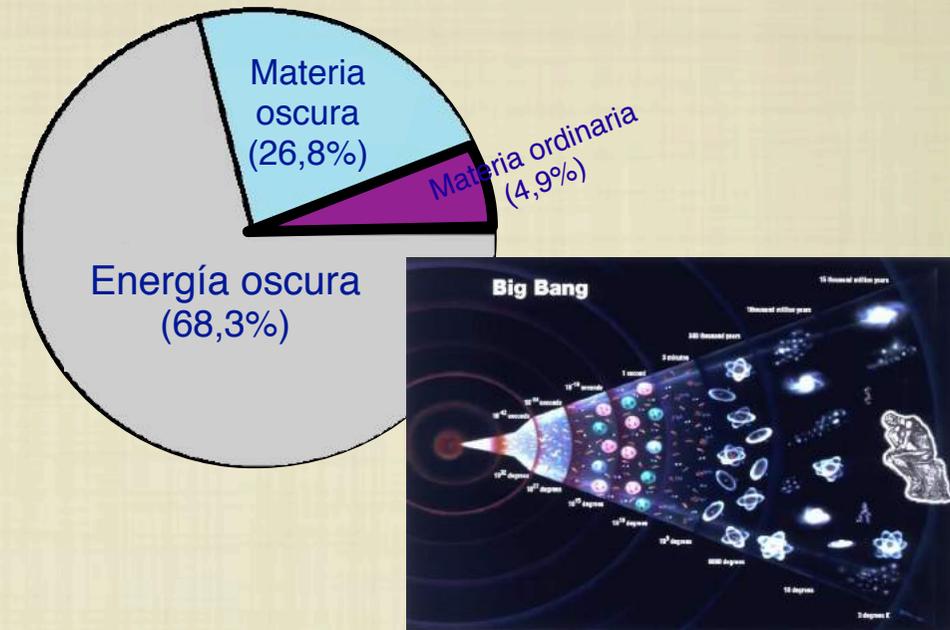
Proezas del intelecto humano
Describen la materia y fuerzas conocidas,
y la evolución del Universo.
Rango de validez de 10^{-18}m a 10^{-25}m ,
con precisión asombrosa

Física de Partículas y Cosmología

Modelo estándar de Partículas Elementales



Modelo estándar de Cosmología (Λ CDM)



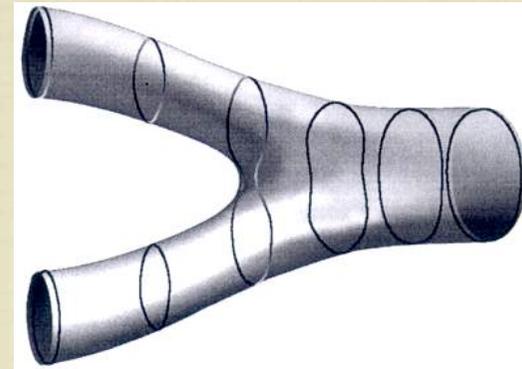
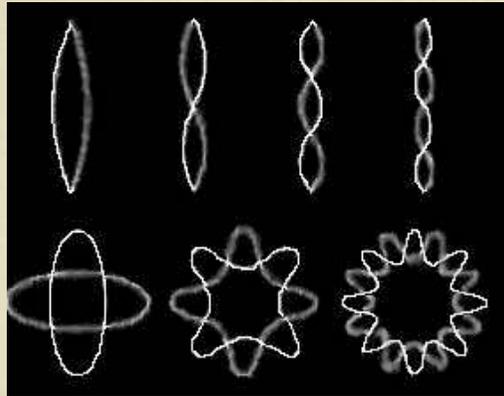
Proezas humanas describen la materia y las fuerzas conocidas, y la evolución del universo. Rango de valores con precisión de $10^{-18}m$ a $10^{-25}m$.



¡ pasamos al próximo nivel !

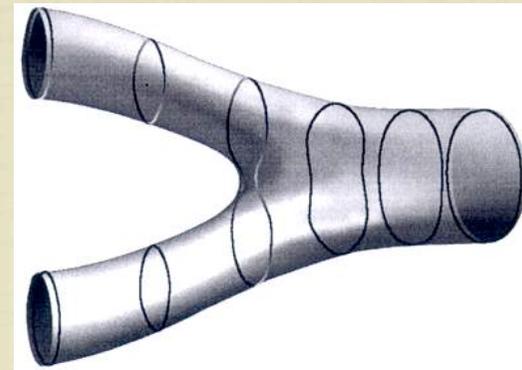
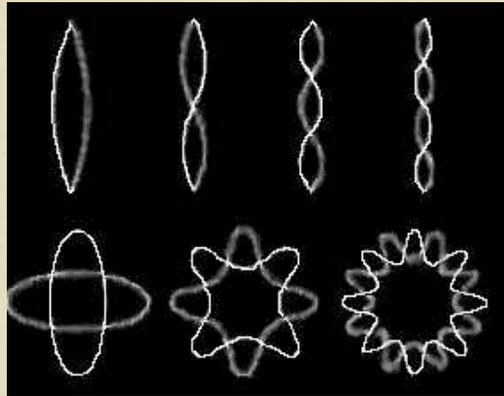
El largo recorrido de la teoría de cuerdas...

Desde su primera descripción con cuerdas que vibran y diagramas pantalón...

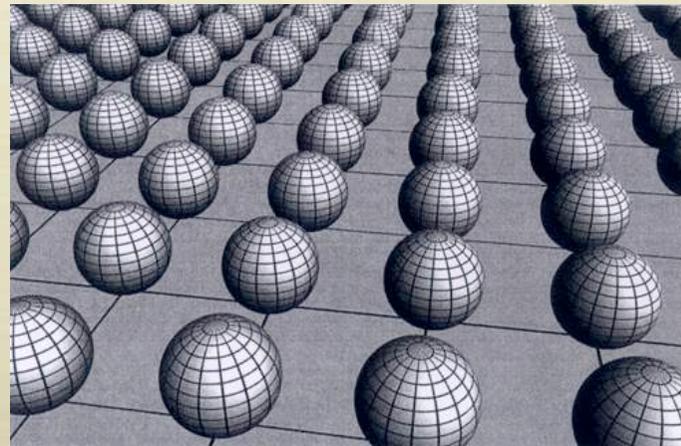


El largo recorrido de la teoría de cuerdas...

Desde su primera descripción con cuerdas que vibran y diagramas pantalón...

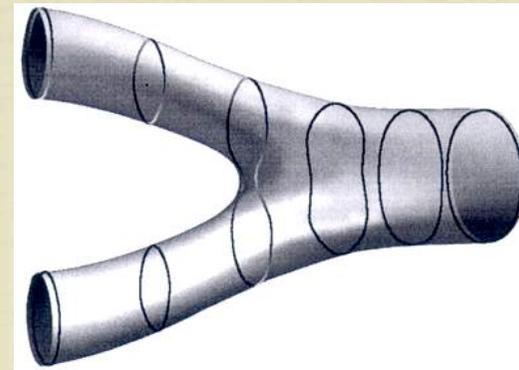
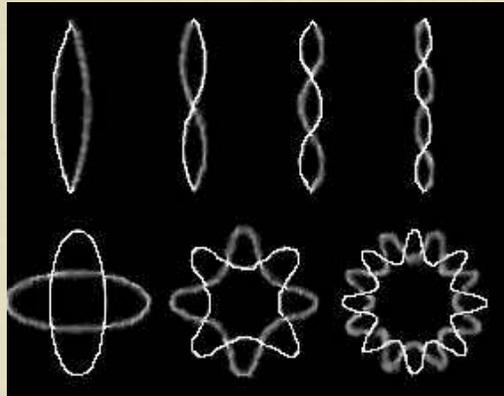


... al extraño mundo de las dimensiones extra compactificadas...



El largo recorrido de la teoría de cuerdas...

Desde su primera descripción con cuerdas que vibran y diagramas pantalón...



... y las encrucijadas de la dualidad

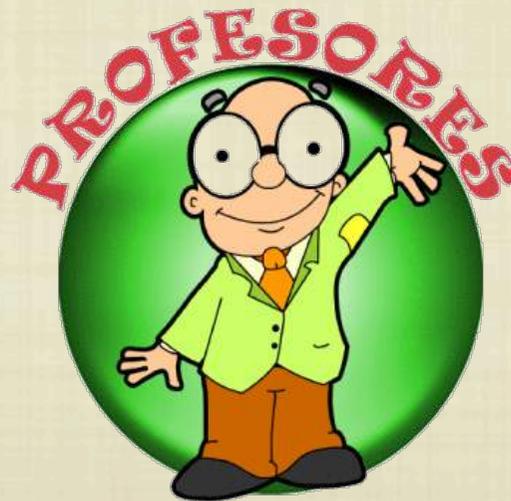


... y un largo recorrido para vosotros

Habéis recibido muchas, muchas, muchas capas de conocimiento

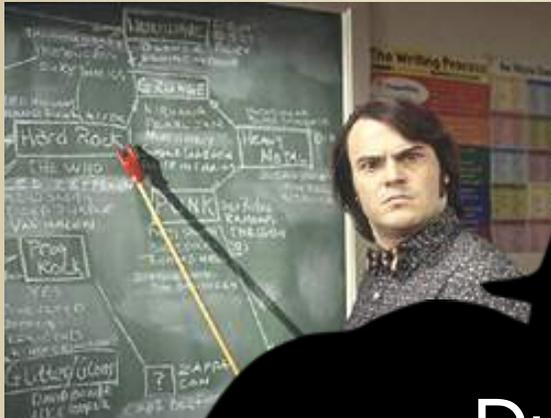


“Rock&roll duro”



... y un largo recorrido para vosotros

Habéis recibido muchas, muchas, muchas capas de conocimiento



"Rock

Dualidades

Mundos-brana

Agujeros negros

Gravedad
cuántica

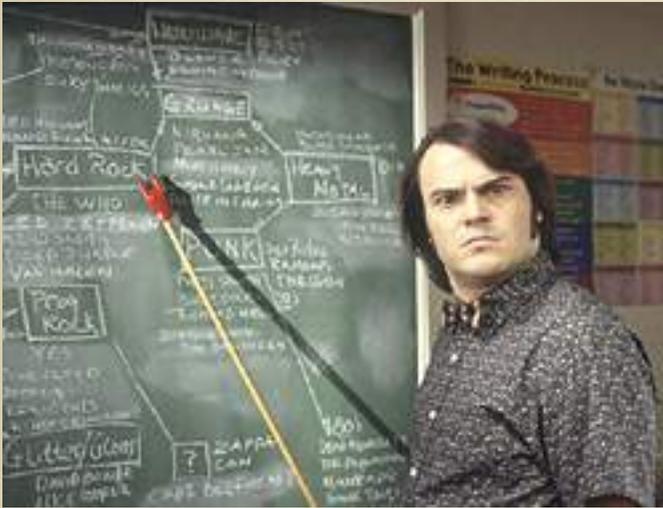
Supersimetría

Teoría unificada
de partículas



... y un largo recorrido para vosotros

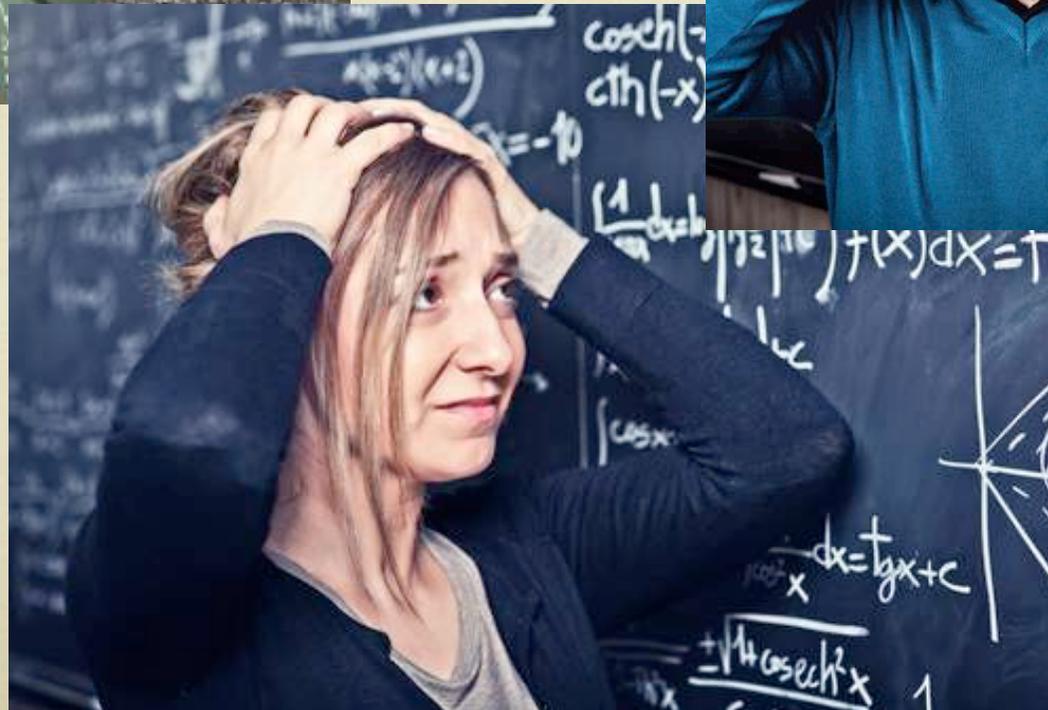
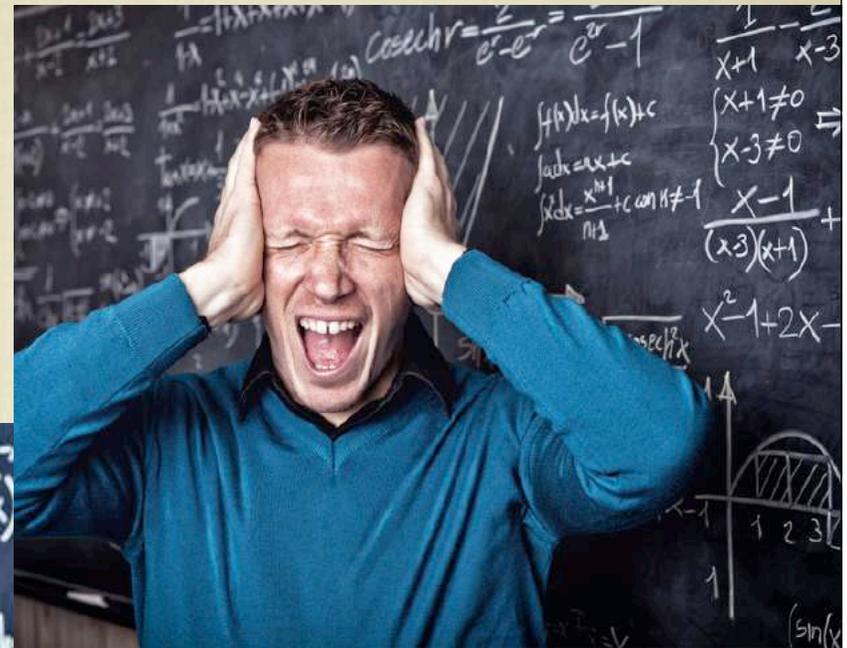
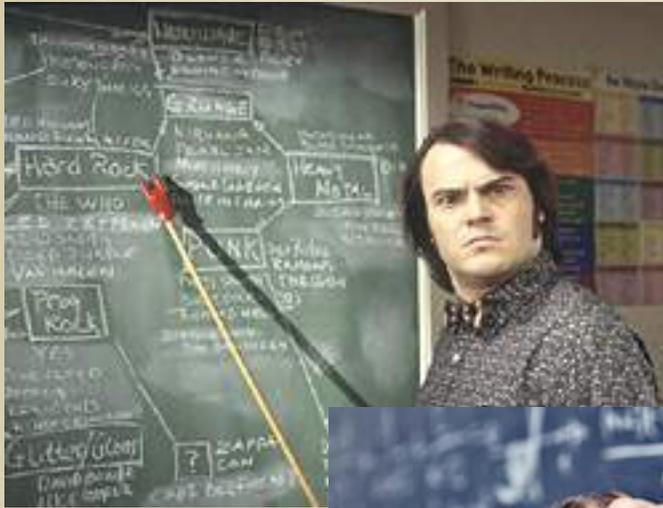
Habéis recibido muchas capas de conocimiento



Así que muchas veces os habréis sentido...

... y un largo recorrido para vosotros

Habéis recibido muchas capas de conocimiento



... y un largo recorrido para vosotros

Un camino largo y no siempre claro...



... pero vivir escudriñando los misterios del Universo...



Vivir escudriñando los misterios del Universo...

¡No tiene precio!

El presente de la teoría de cuerdas

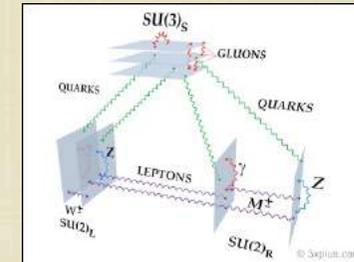
Teoría de gravedad cuántica

- Diagramas finitos con gravitones
- Agujeros negros, holografía.



Teoría unificada de partículas e interacciones

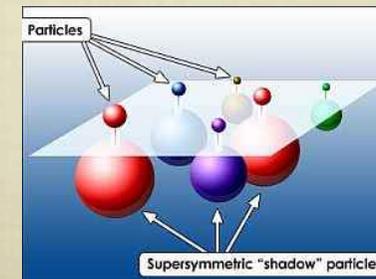
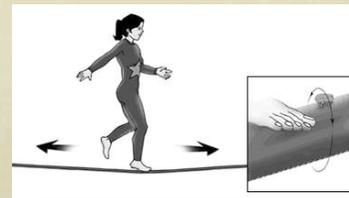
- Contiene interacciones como las del Modelo Estándar (gauge)
- Partículas de materia cargadas (fermiones)
- Escalares cargados (Higgs)



A falta de confirmación experimental...

... es generadora de ideas de Física más allá del Modelo Estándar

- Supersimetría
- Dimensiones extra
- ...



¿Futuro de la teoría de cuerdas?

La teoría de cuerdas está en forma...



Se ha aprendido mucho durante estos años



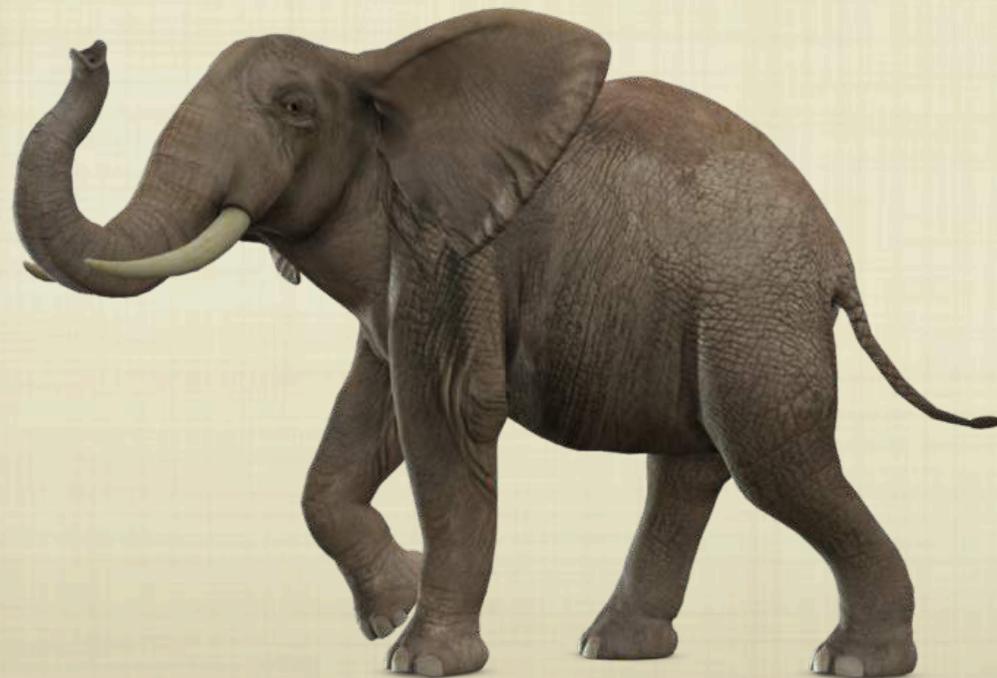
Hasta ahora, investigación guiada por la necesidad de comprender la teoría

(conocimiento bastante maduro, aunque aún **M**isterioso)



Siguiente paso: Continuar explorando la relación con el mundo real
(Cosmología, Física de Partículas, QCD holográfica,...)

¿Futuro de la teoría de cuerdas?



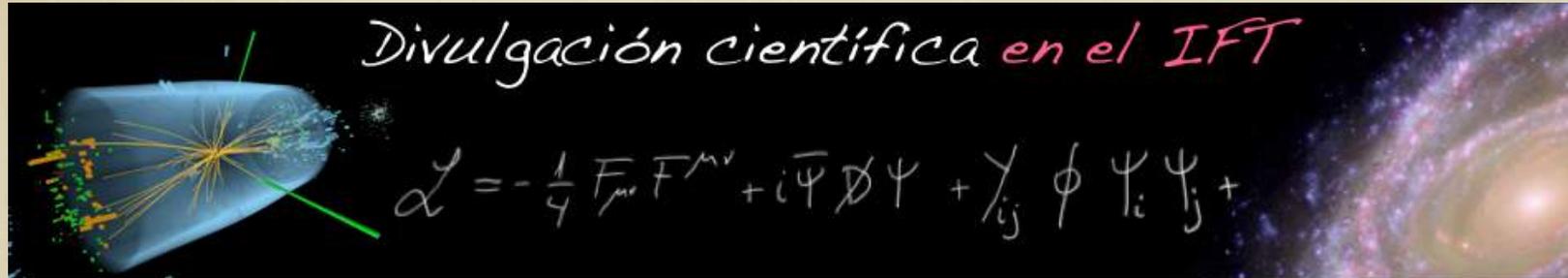
¿Futuro de la teoría de cuerdas?

está en esos/as jóvenes,
posiblemente aún en los IES,
que se preguntan
qué es eso de
“jugar con las cuerdas”

¿Futuro de la teoría de cuerdas?



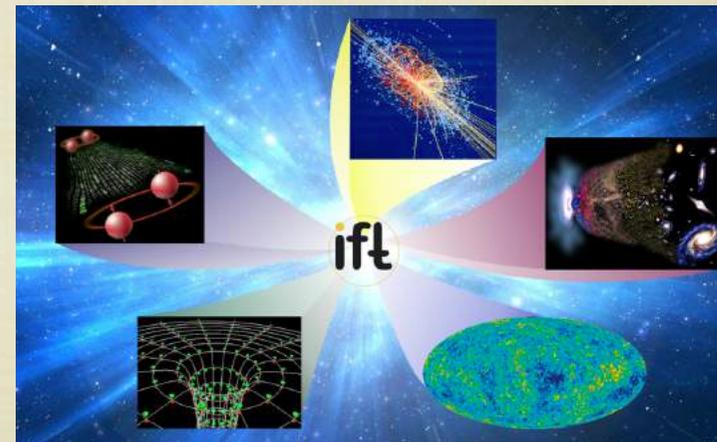
Para más información...



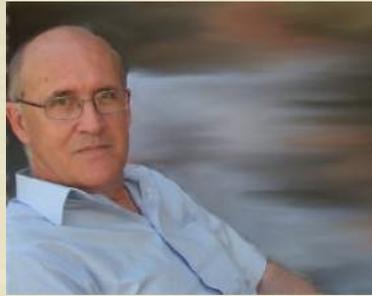
<http://projects.ift.uam-csic.es/outreach/index.php/es/>

Igualmente, <http://www.ift.uam-csic.es/>
y click en "Divulgación"

- vídeos, artículos, charlas
- "pregunta a un científico"
- Google hangouts
- y más...



En nombre del IFT



¡Gracias por vuestro interés
y vuestras ganas!

¡Gracias!
Muchas
¡Gracias!
¡A todos!!

