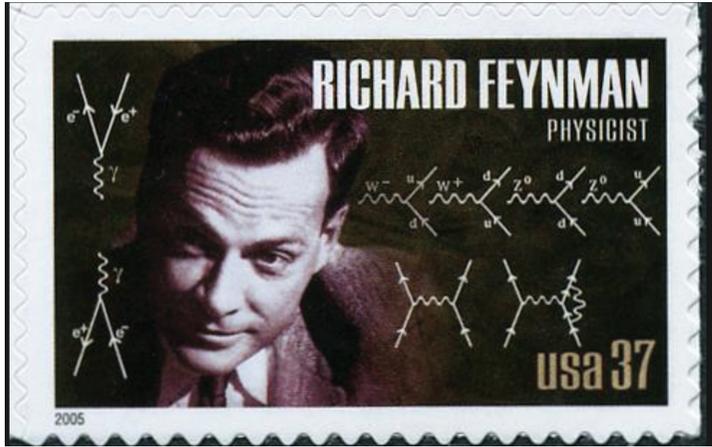


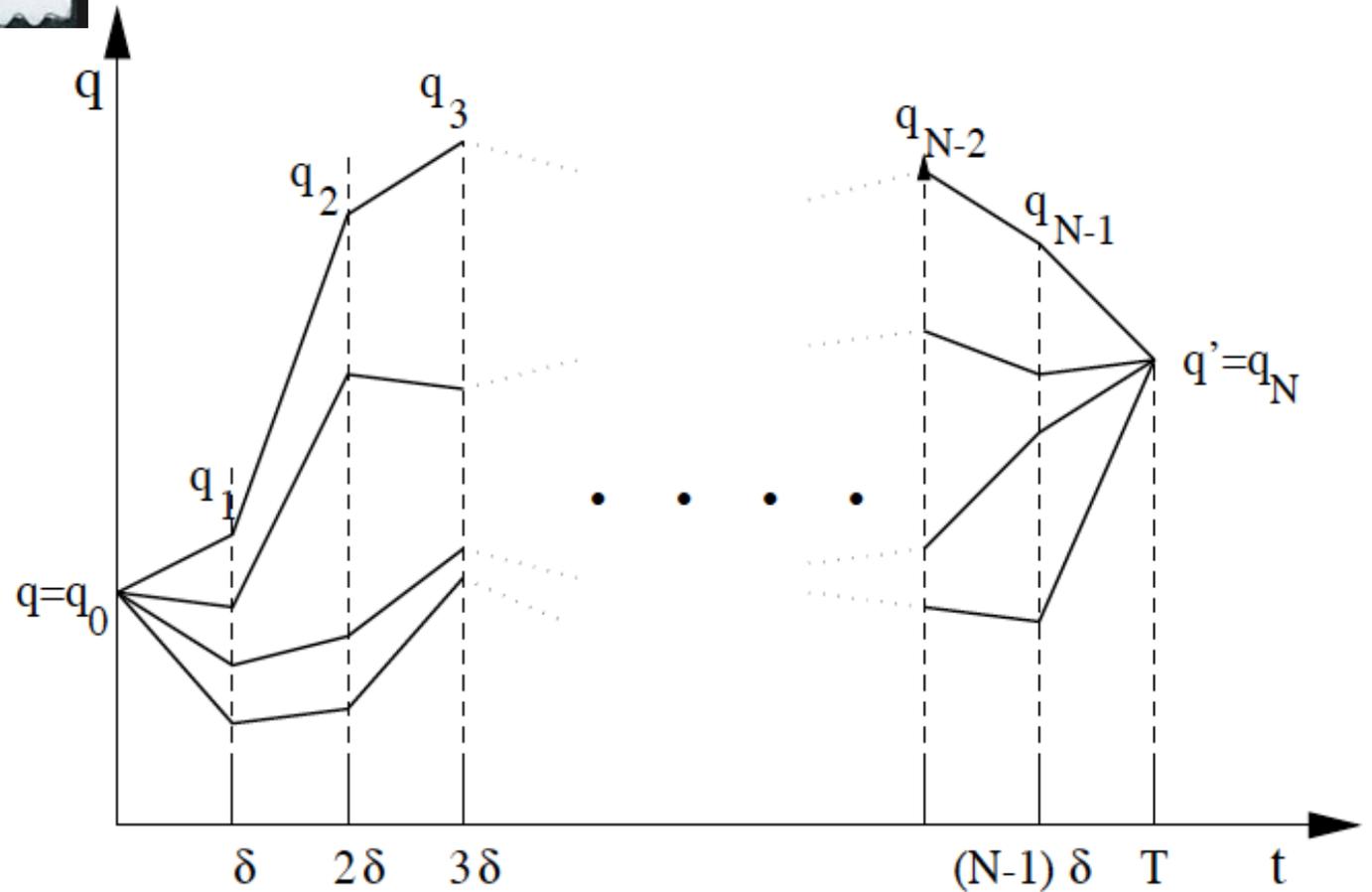
# Relatividad General y Mecanica Cuantica

La gravedad es el espacio-tiempo curvado, enrevesado.  
Y al mismo tiempo el espacio-tiempo tiene estructura de espuma  
y se desvanece como la espuma sobre la arena.  
!Caotico mar donde aun la nocion comun de lugar desaparece!  
Y donde el mismo espacio puede cambiar y moverse  
(y hacerse espuma).

Mecanica clasica: trayectoria unica definida por los extremos inicial y final



Mecanica cuantica



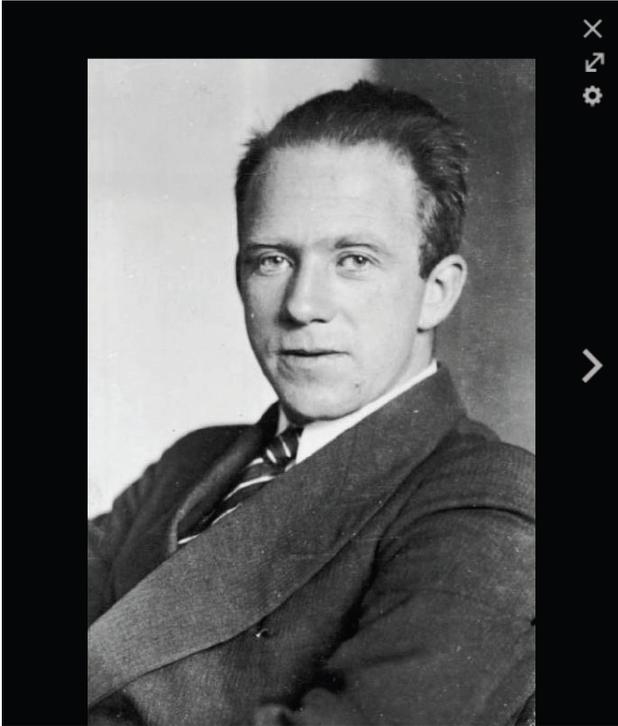
# Mecanica Cuantica no relativista

Funcion de ondas=densidad de probabilidad.

$$\int d^3x |\psi(t, \vec{x})|^2 = 1$$

Las particulas ni se crean ni se destruyen

# Principio de incertidumbre

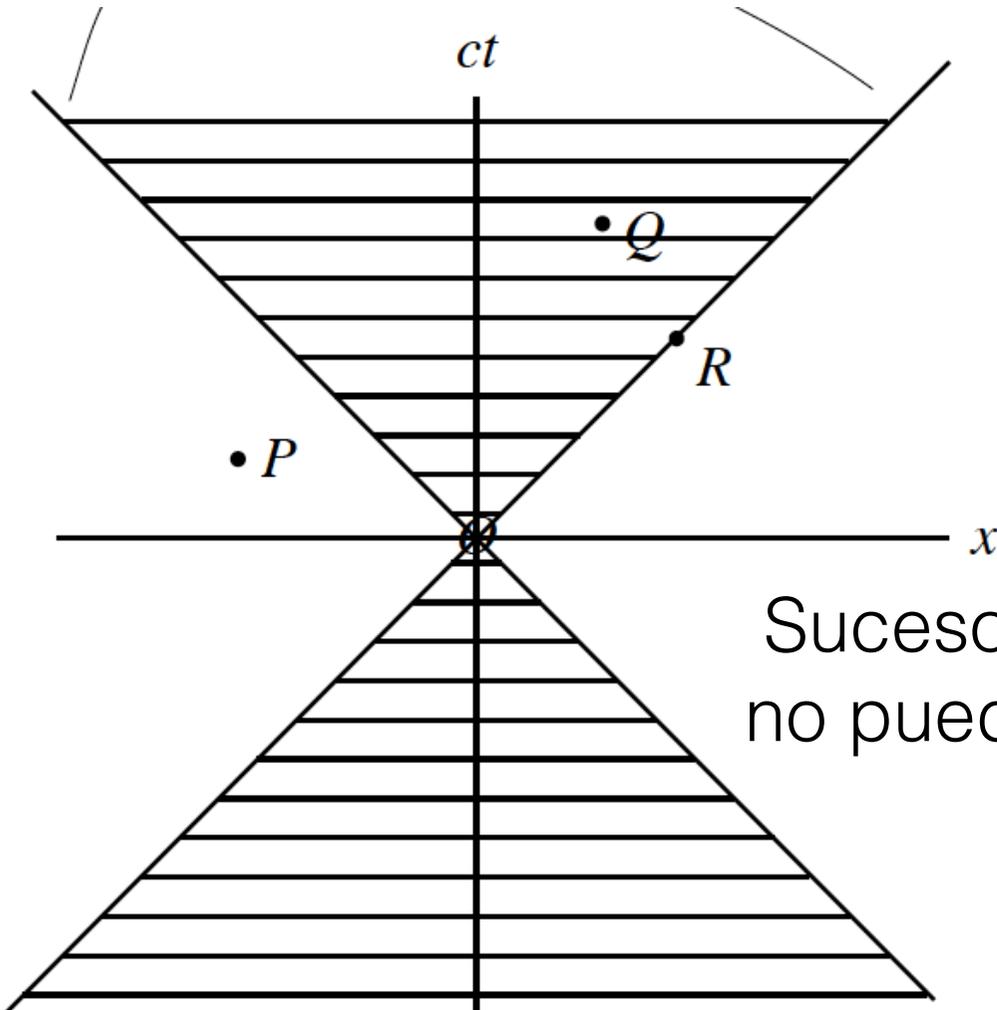
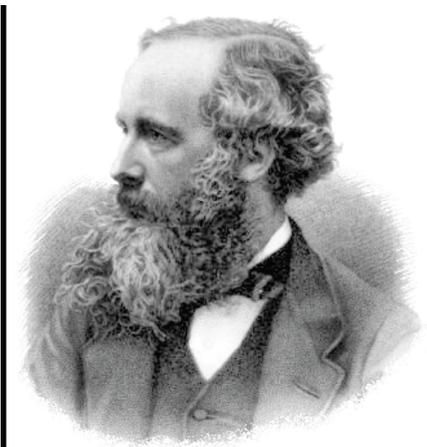


$$\Delta x \Delta p \geq \hbar$$

Cuanto mas precisa es la determinación de la posición, mas incertidumbre existe en el momento lineal

# Maxwell

## Relatividad especial



$$c \neq c + v$$

Sucesos separados espacialmente  
no pueden entrar en contacto causal

# SR+QM

Fotones

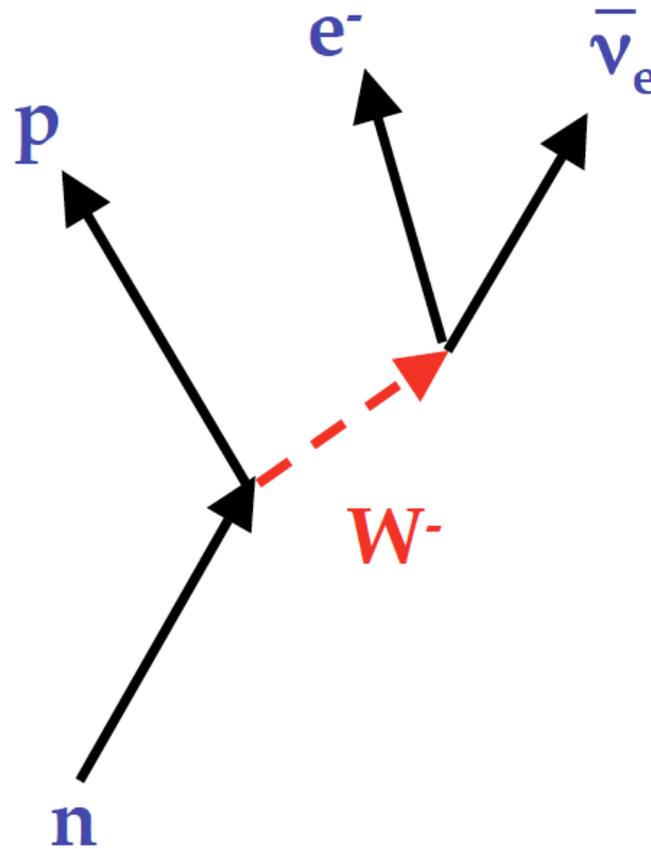
$$E = \hbar\omega$$

En fisica newtoniana no existian particulas sin masa



# SR+QM=QFT

Desintegración beta  $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$

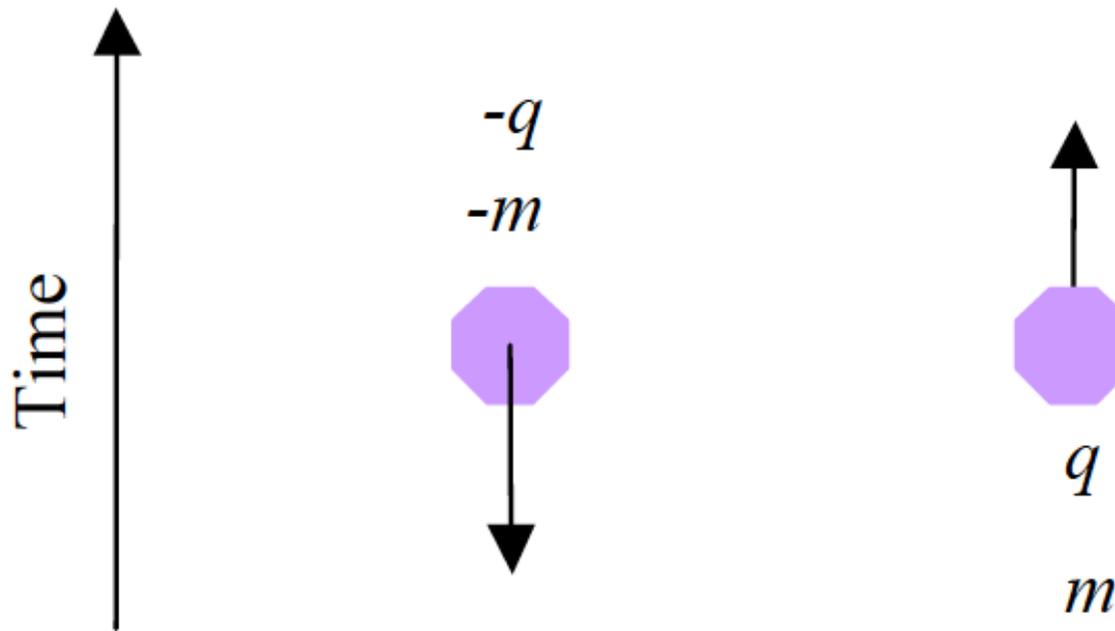


Se pueden crear o destruir partículas



# ANTIPARTICULAS

$$e^{-i(-|E_{\text{particle}}|)(-|t|)} \equiv e^{-i|E_{\text{antiparticle}}||t|}$$





Microcausalidad:  
Campos definidos a distancias separadas  
espacialmente conmutan



Las partículas no tienen una existencia absoluta

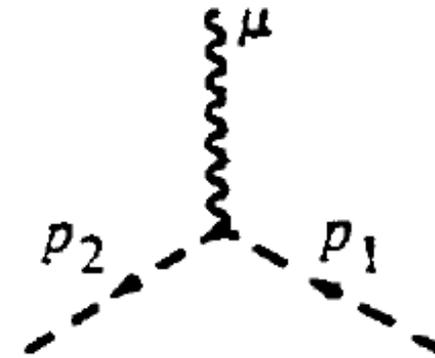


Son posibles todas las desintegraciones que  
satisfagan unas pocas leyes de conservación.



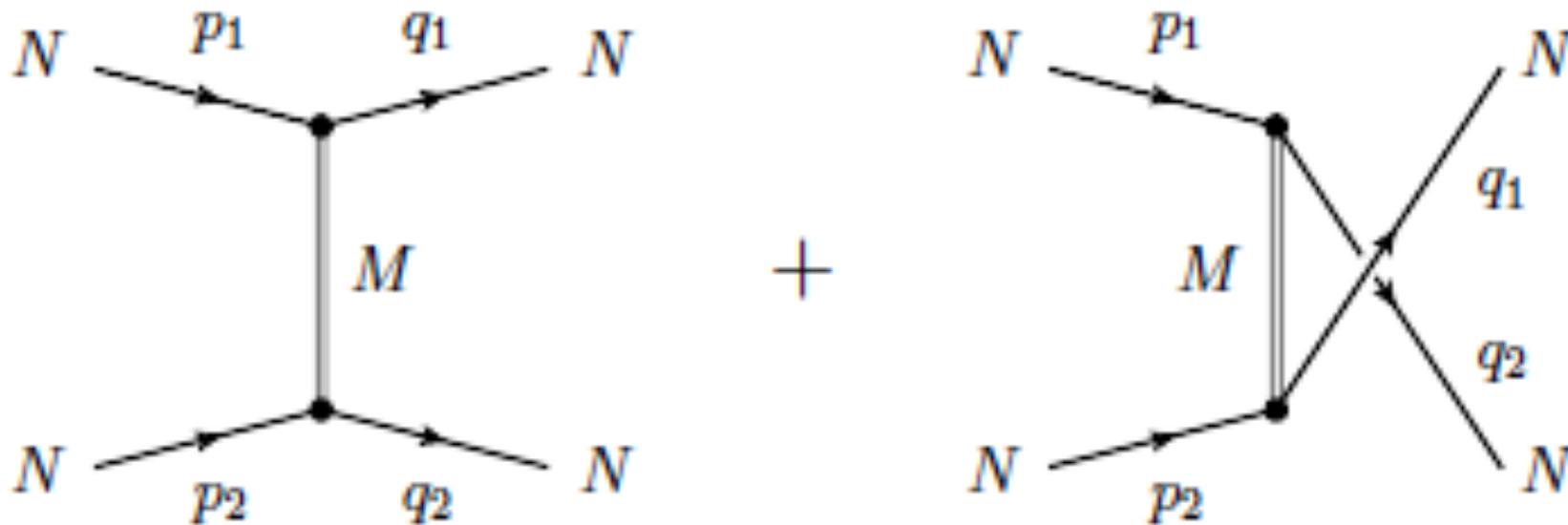
Heisenberg permite la aparición de partículas  
virtuales con momentos espaciales

# Diagramas de Feynman





Yukawa:  
Interacciones=intercambio de  
partículas virtuales

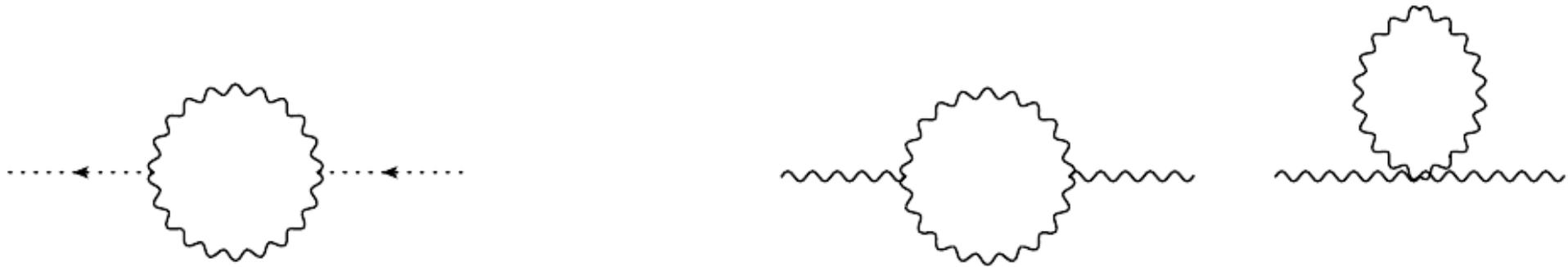


Postulamos la existencia del

GRAVITON

como la partícula intermediaria de la  
interacción gravitatoria

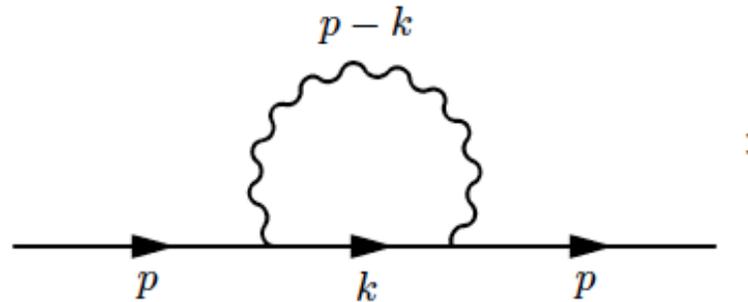
Es posible arguir que si existe, tiene que tener  
 $s=2$



Muchas cosas pasan en el mundo cuantico en la propagacion de una particula de un punto a otro

No linealidad= la particula interacciona consigo misma

# Renormalizacion



Todas las “cargas” (como por ejemplo la masa) se renormalizan debido a las partículas virtuales.

Solo la suma de la carga desnuda y la “nube de interaccion” es observable.

Nunca se puede “desconectar” la interaccion

# Ecuaciones de Einstein

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} (R + 2\lambda) g_{\mu\nu} = \kappa^2 T_{\mu\nu}$$

marmol=madera

EDP no lineales.

No se sabe mucho de la solución general  
Fourier no es util

# Escala de longitudes característica de RG+MC



$$l_p = \sqrt{\frac{G\hbar}{c^3}} \approx 10^{-35} \text{ m}$$

19 ordenes de magnitud mas pequeña que la escala de las interacciones nucleares fuertes

# Singularidades en el espacio-tiempo

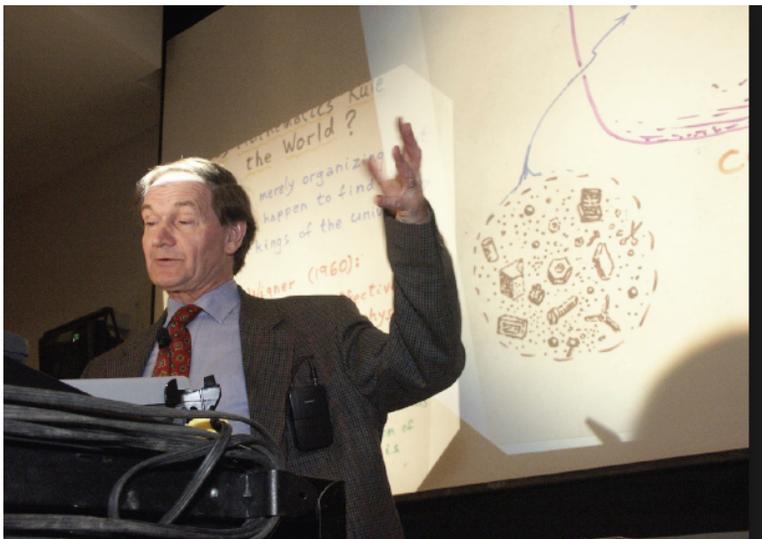
Penrose & Hawking: Condiciones suficientes

Cuan genericas son?

Black hole?

Big-Bang?

Cuando una teoria predice una singularidad quiere decirse que se ha alcanzado la escala de aplicabilidad de la teoría.



Ejemplo: La singularidad de Coulomb

$$V = \frac{q}{4\pi r}$$

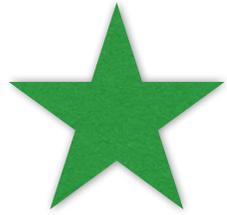
Que ocurre cuando  $r=0$ ?

El concepto de radio classico del electron

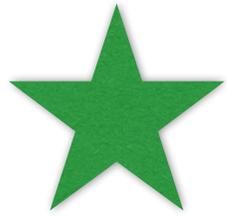
Suponer que toda la masa del electron se debe a la autoenergia electromagnetica

En QFT el problema se “soluciona” mediante la renormalizacion combinada con el principio de Heisenberg

# RG & MC



No somos conscientes de ningun dato experimental (excepto quizas la c.c.) que obligue a extender la QFT



La fisica esta escrita en lenguaje matematico

Pero para que la fisica no sea mera literatura matematica, necesitamos la guia del experimento



NO ESTA CLARO CUAL  
PUEDE SER EL DATO  
EXPERIMENTAL  
QUE NOS IMPIDA HACER  
LITERATURA



Cuando es de esperar que los efectos combinados de QFT y de GR sean importantes?

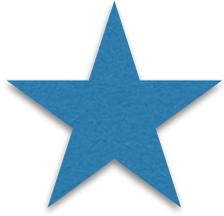
$$[G] = (\text{Length})^2 = (\text{Energy})^{-2}$$

⇒ Dimensionless coupling is  $GE^2$

Podemos decir que el precio de tener acoplo debil en el IR  
es

Acoplo fuerte en el UV

# Gravedad Cuantica: Los problemas de fundamento



Si la metrica del espacio-tiempo fluctua entonces como definir la : Microcausalidad?

Campos en puntos separados espacialmente conmutan

Si los conos de luz no estan definidos, entonces como introducir condiciones iniciales?



No sabemos definir la mecánica cuántica sin el concepto de “tiempo”

La ecuación de Schrödinger determina la evolución temporal de la función de ondas (esto sigue siendo cierto en QFT)

Es difícil definir “tiempo” en GR sin hacer referencia a un campo de fondo



Cual es el vacio de QG?

El concepto “energía” no esta definido en GR  
(Siempre se anula en un FREFO)

Ergo, el vacio no puede ser el estado de minima energia

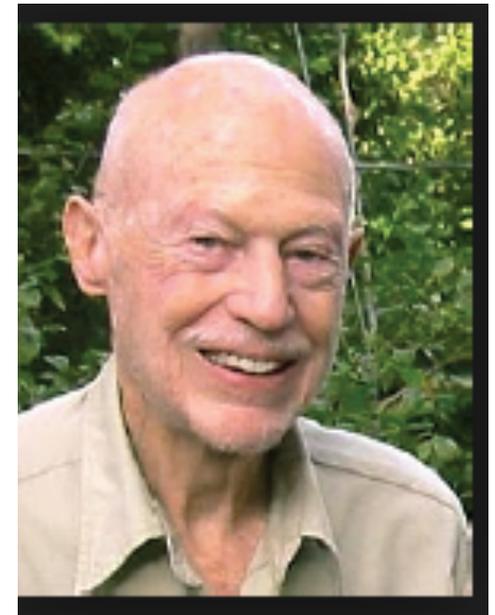
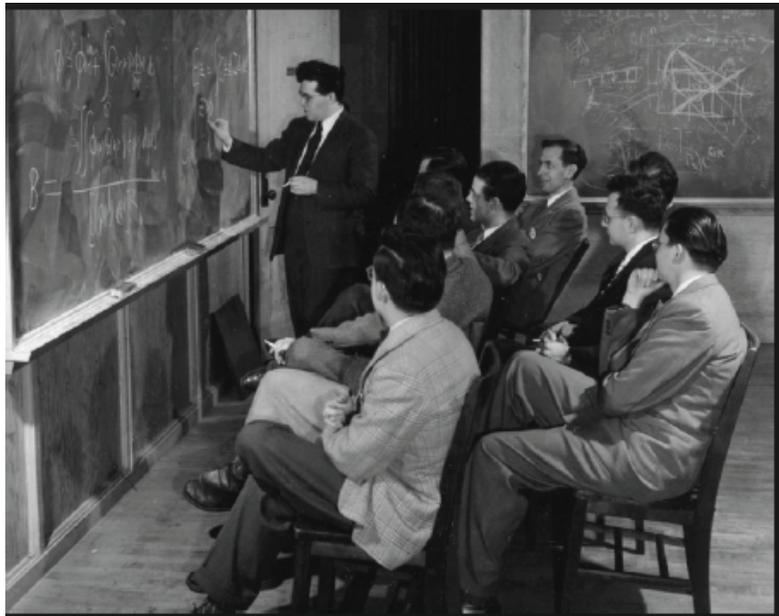
Bien es verdad que tampoco entendemos el vacío de QCD, ni  
de la teoria electrodébil



Necesitamos un campo de fondo?

Se puede argumentar que la física debe ser independiente de un campo de fondo

No es facil ni siquiera concebir a nivel literario como podría ser una teoria así





Cuales son los observables de la teoria?

Si han de ser invariantes Diff, entonces solo integrales de n-formas o invariantes topologicos?

Por otra parte el grupo Diff depende de la variedad considerada.



La teoria esta formulada en una variedad suave?

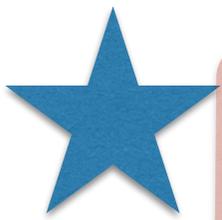


No es posible sumar sobre todas las 4-topologías  
(Kolmogorov)

No existe un número finito de invariantes que permitan  
elucidar cuando dos 4-variedades son difeomorfas

Además,  $\text{Hom}$  no es equivalente a  $\text{Diff}$   
(Existen  $R^4$  exóticos)

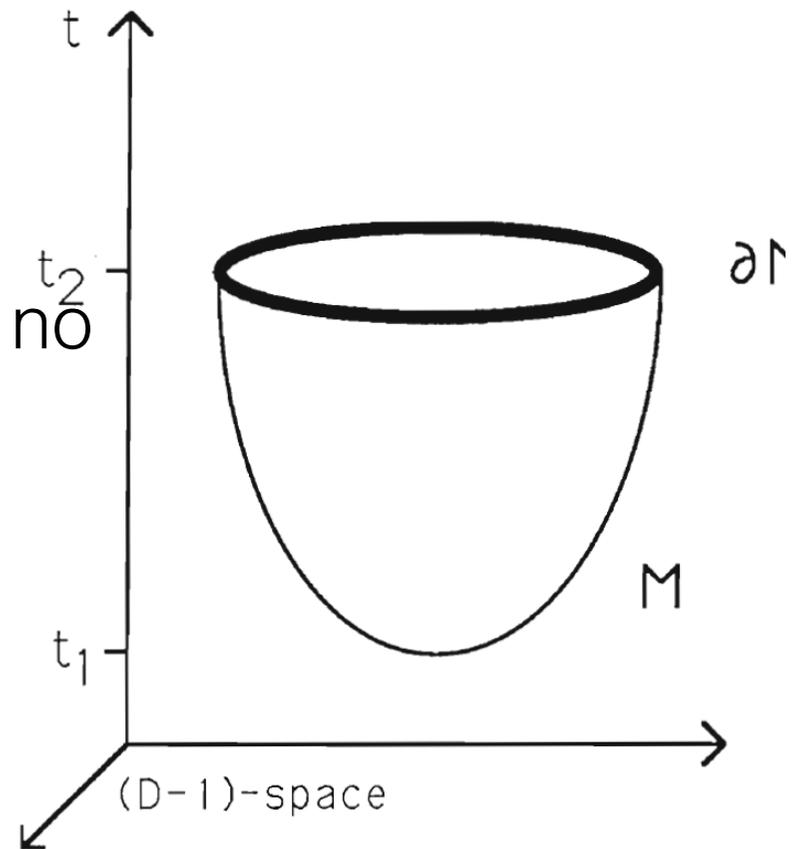




Ni siquiera es posible caracterizar las 3-variedades mediante un numero finito de invariantes (Perelman)

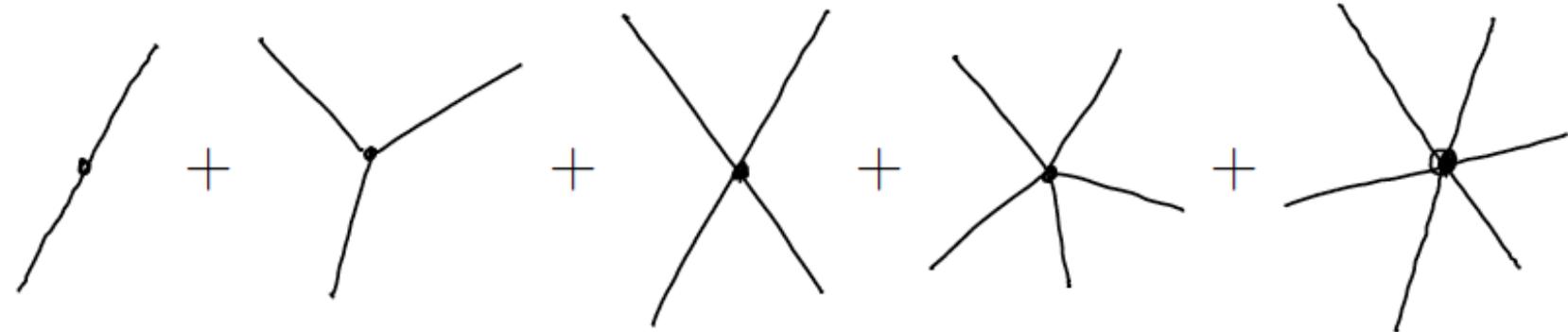
Para el programa de geometrizacion de Thurston es necesario utilizar cirugia canonica, sumas conexas, etc.

Postulado de Hartle-Hawking de no introducir fronteras innecesarias



Una caricatura: pequeñas fluctuaciones respecto de un fondo

$$L = M^2 R + \alpha M^4 R^2 + \beta M^6 R^3 + \dots$$

$$S = \text{diagram 1} + \text{diagram 2} + \text{diagram 3} + \text{diagram 4} + \text{diagram 5} + \dots$$


No renormalizable= hay que ajustar un numero infinito de parametros comparando con el experimento

Es posible obtener resultados fiables a bajas energias



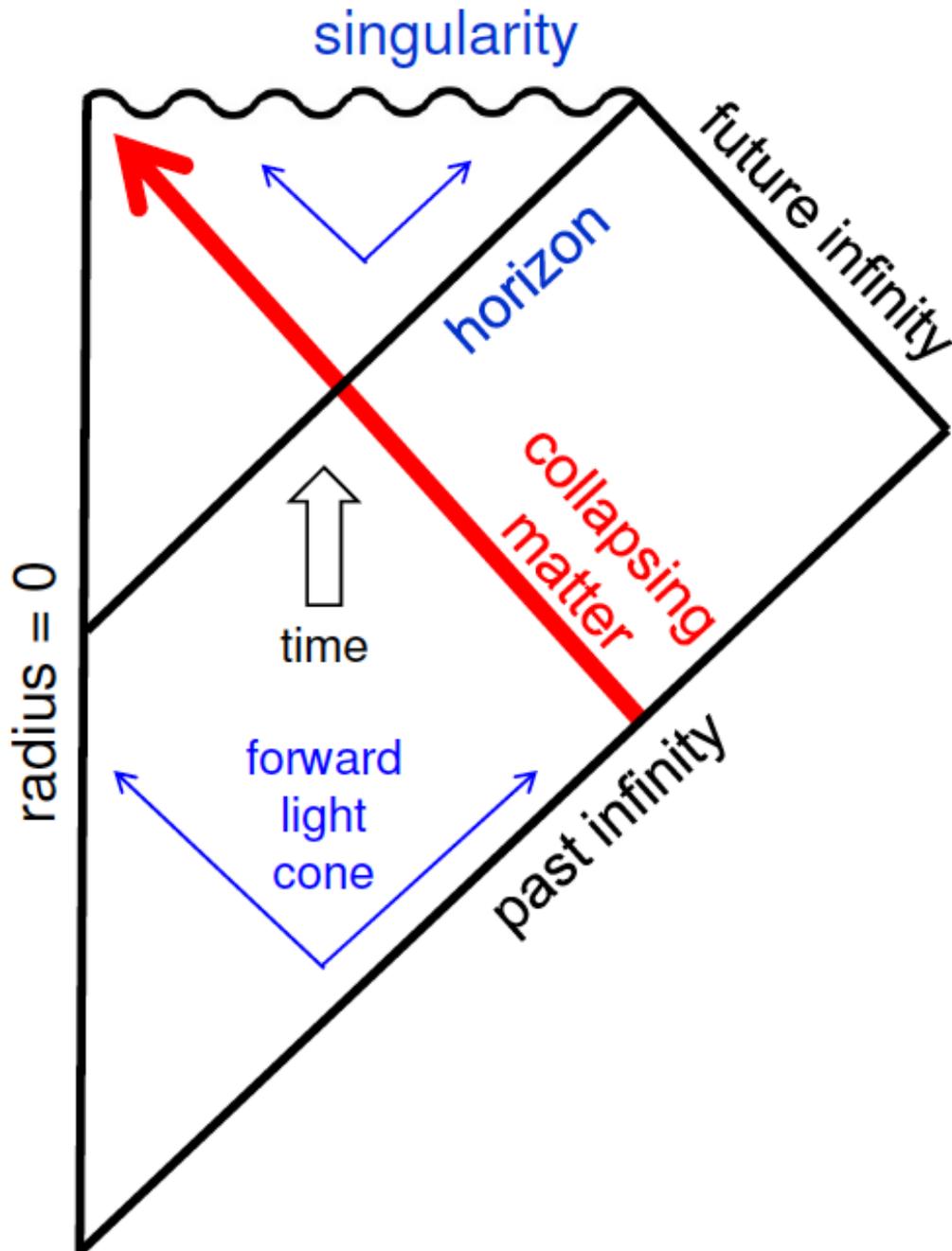
(Wilsoniano)



PERO LA CC OBSERVADA ES MUCHO  
MAS

PEQUEÑA DE LO QUE INDICAN  
ARGUMENTOS WILSONIANOS

# Hawking: Paradoja de unitariedad



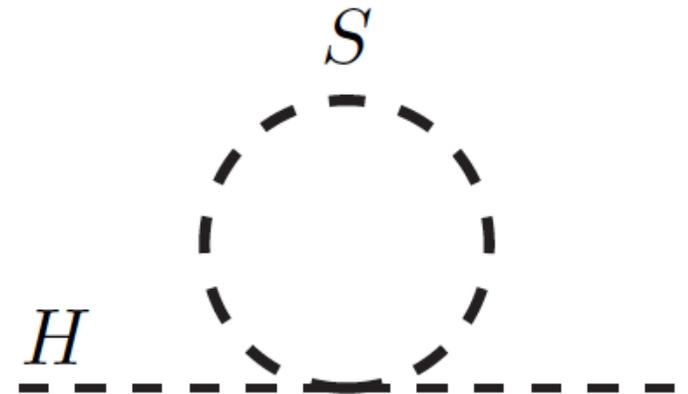
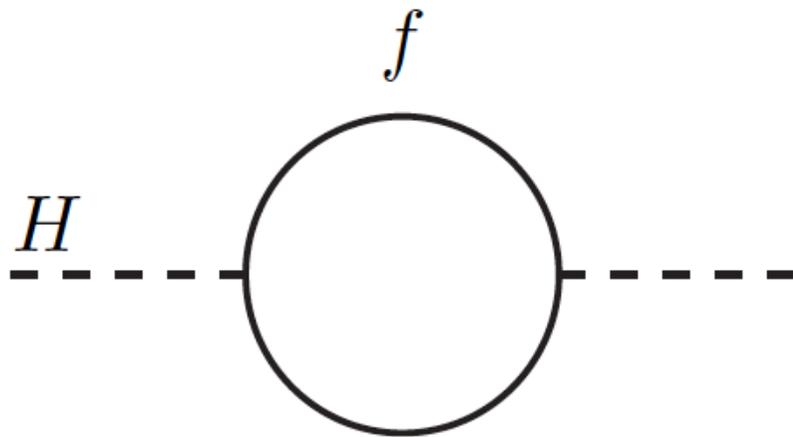
Parece claro que SI hay consistencia, ello sera debido modificaciones IR

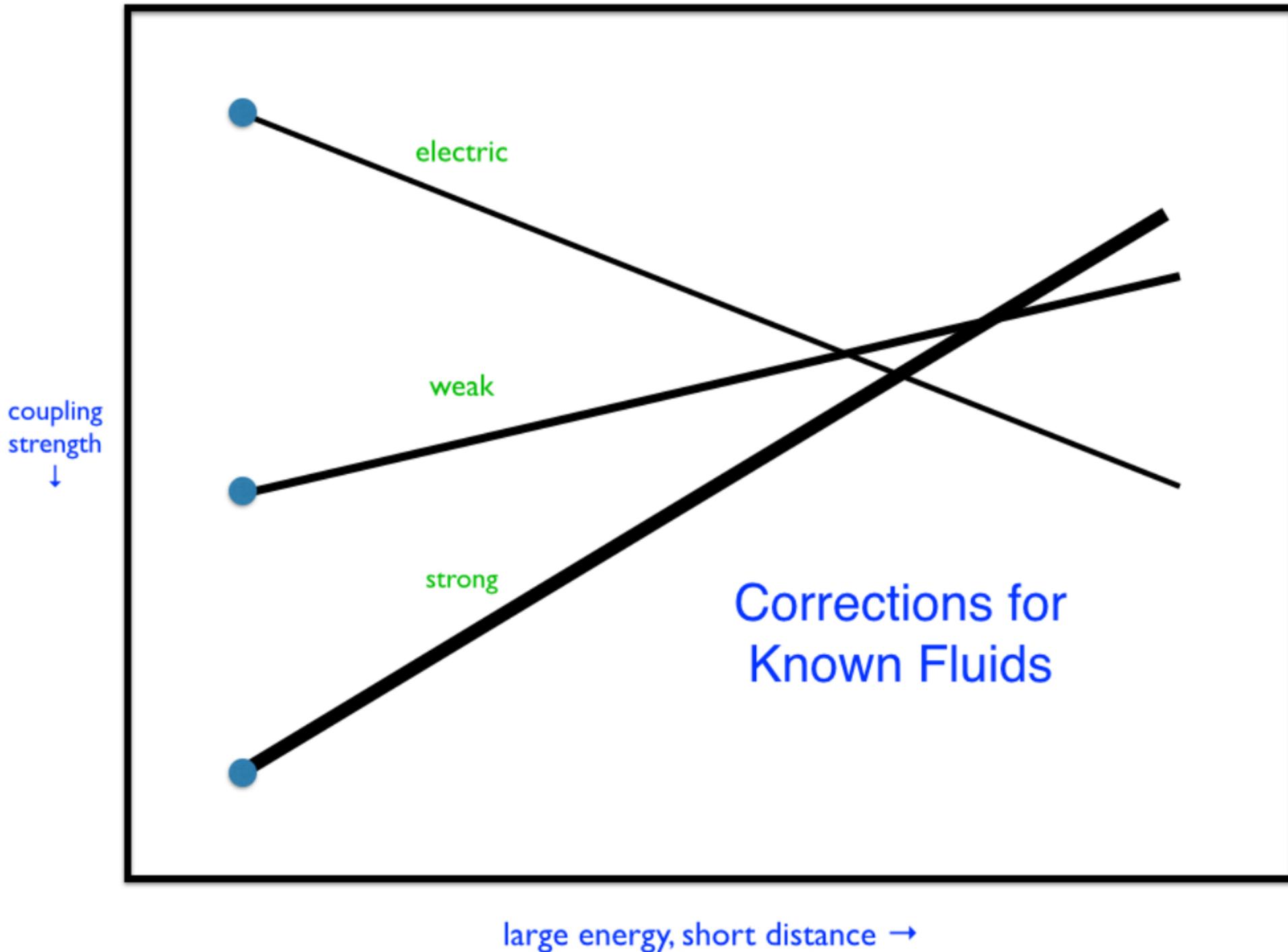
El comportamiento UV (la no renormalizabilidad) es probablemente irrelevante

# Supersimetría

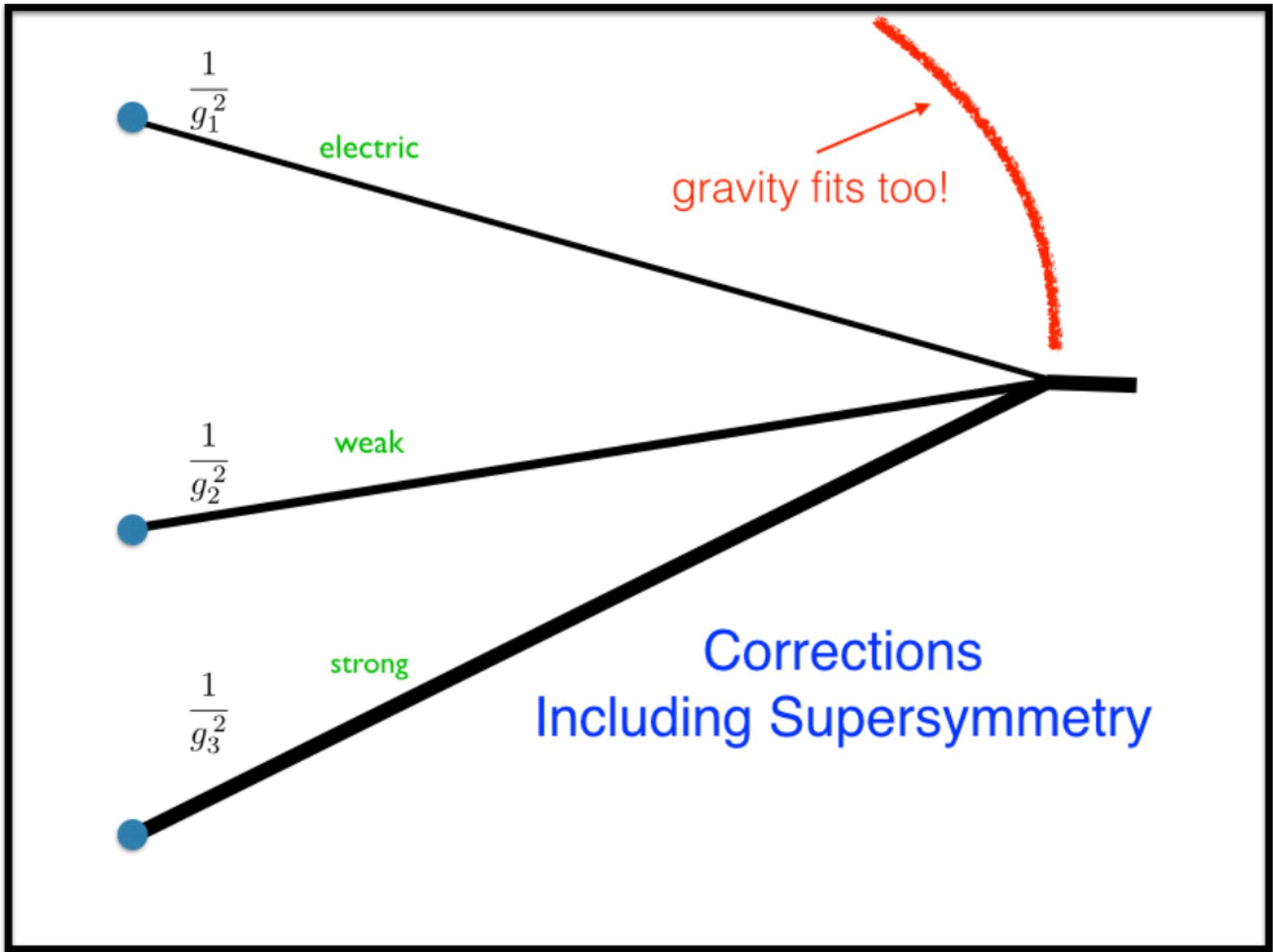
fermions y bosons contribuyen con signos opuestos

HLS: Es la maxima simetria posible de la matriz  $S$





coupling strength  
↓



large energy, short distance →

# Supergravedad

Sugra= gravedad+ susy

Spin 2 graviton



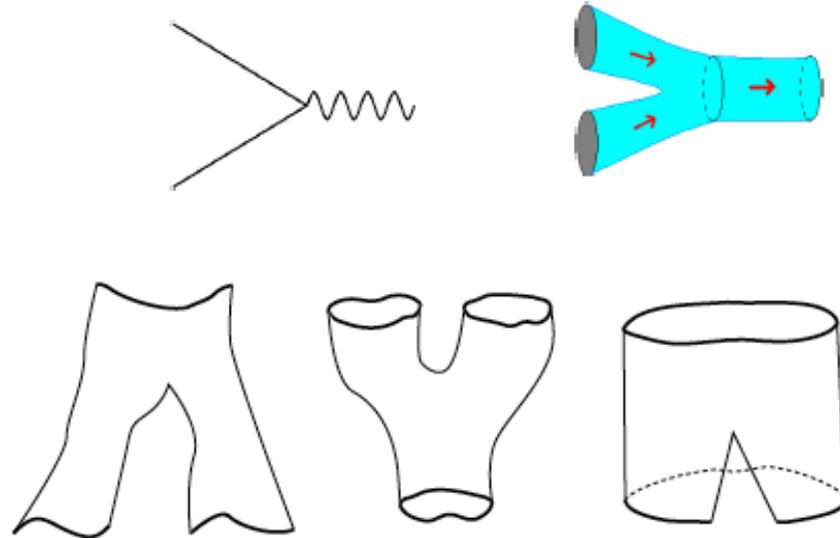
Spin 3/2 gravitino

$s < 5/2$  32 supercargas

No esta descartado que N=8 sugra sea UV finita

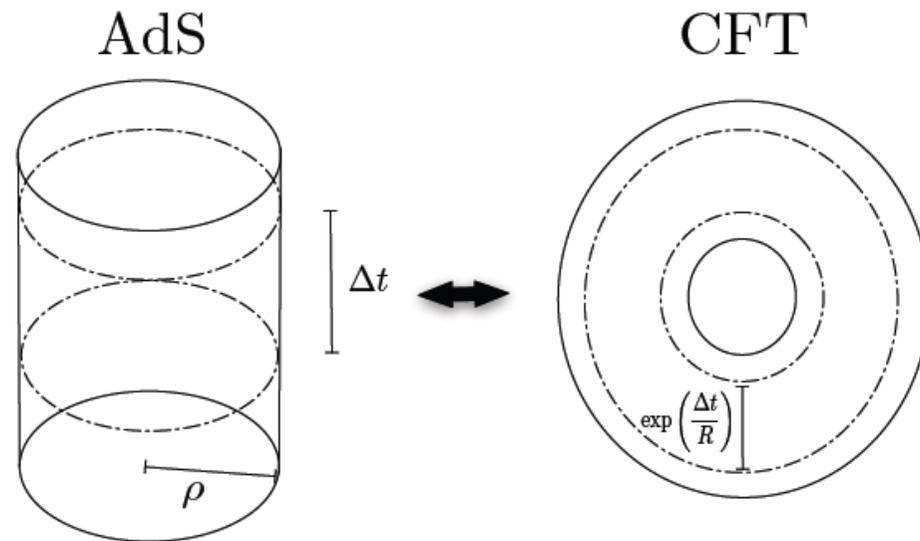
Calculos explicitos a 7 lazos ?

# Cuerdas



FASCINANTE, PERO DE MOMENTO NO DAN RESPUESTA A LAS GRANDES PREGUNTAS

# AdS/CFT



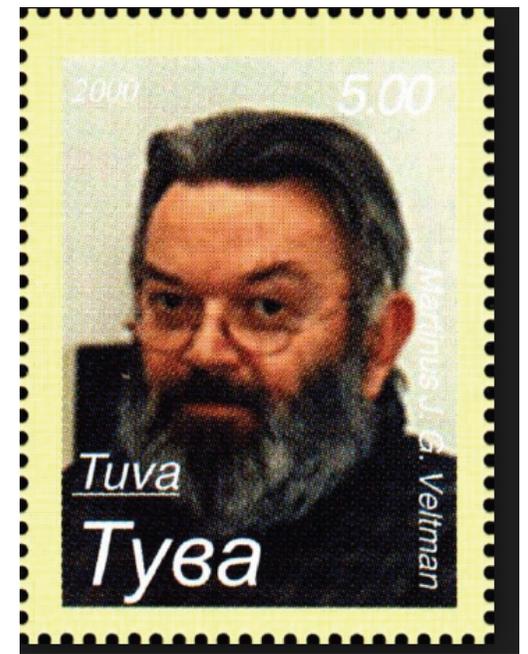
Cuerdas IIB en (AdS<sub>5</sub>, S<sub>5</sub>) son equivalentes (duales) a N=4 SYM en n=4 dimensiones (Maldacena)

Es el ejemplo mas preciso de holografía

Fisica gravitatoria codificada en la frontera?



Energia oscura=  
Lambda?



Energia del vacio es Wilsoniana?

Pauli consideraba improbable que la energia del vacio  
fuese la constante cosmologica

# Queda mucho camino por recorrer...

- ★ No tenemos ni siquiera una “propuesta matematico-literaria” de como resolver los problemas conceptuales de GR & MC

Recordemos que la belleza de las matematicas puede llevarnos a la perdicion.

Hay muchos ejemplos en el basurero de la fisica

- ★ Las dualidades indican relaciones insospechadas entre QFT y ST.



Un problema urgente (pero muy difícil) es entender el sector no perturbativo de QFT

Existe evidencia (retículo) de que la integral de Feynman contiene información no perturbativa al menos en el caso de las interacciones fuertes (cromodinámica)



Ello es probablemente un paso previo para QG

LCG es un análisis canónico en términos de unas variables relacionadas de manera no local con la métrica de forma que RG se asemeja a una teoría gauge (confer más arriba).

Backup slides

“I do not know what I may appear to the world, but to myself I seem to have been only like a boy playing on the sea-shore, and diverting myself in now and then finding a smoother pebble or a prettier shell than ordinary, whilst the great ocean of truth lay all undiscovered before me.”

— Isaac Newton







