

Cosmología, ondas gravitacionales y gravedad cuántica

Gianluca Calcagni

Instituto de Estructura de la Materia – CSIC

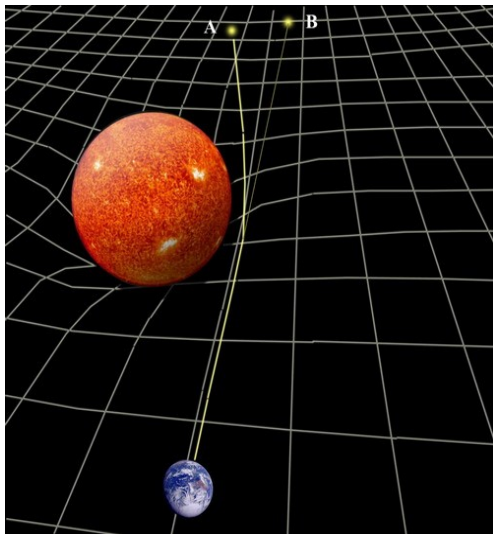
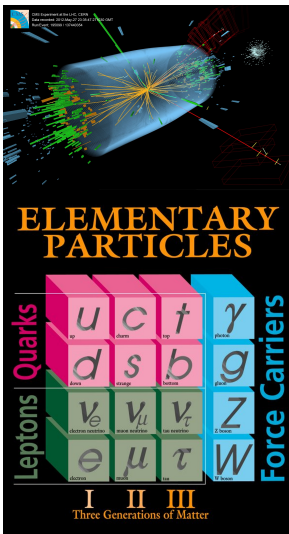


7 de abril 2022

01/27- Partículas elementales y gravedad

Modelo Estándar (cuántico)

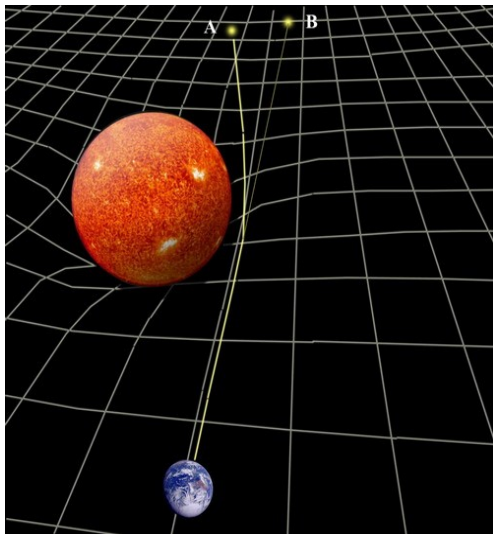
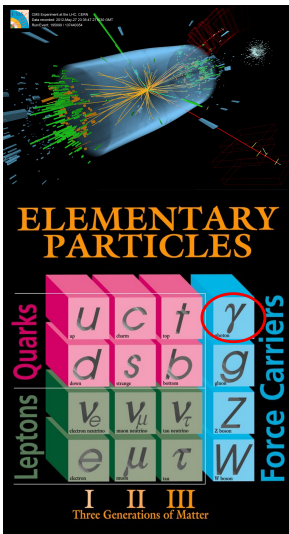
Relatividad General (clásica)



01/27- Partículas elementales y gravedad

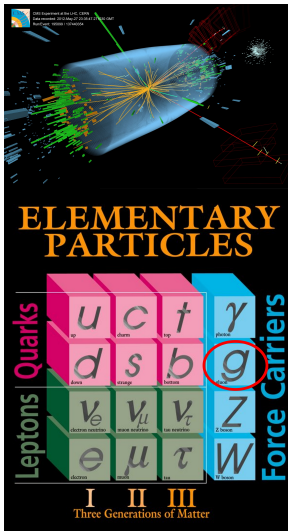
Modelo Estándar (cuántico)

Relatividad General (clásica)

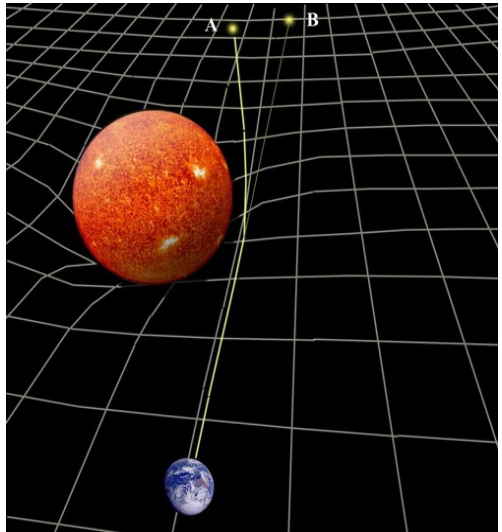


01/27- Partículas elementales y gravedad

Modelo Estándar (cuántico)



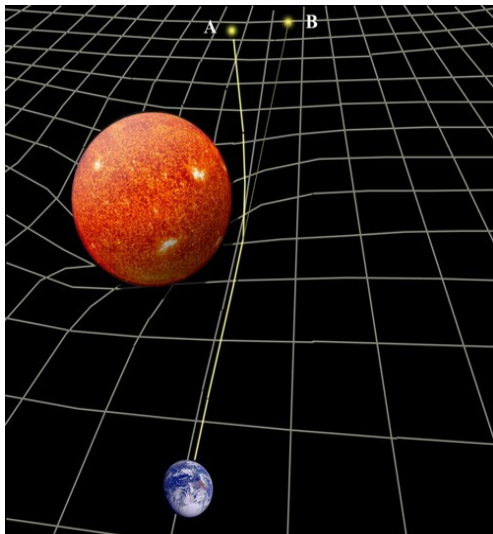
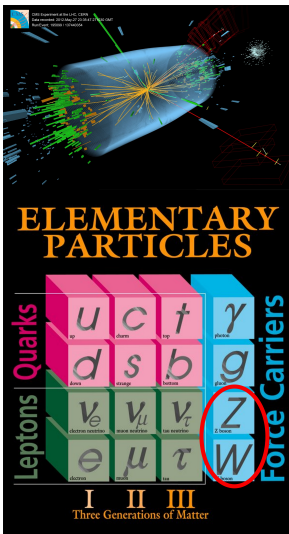
Relatividad General (clásica)



01/27- Partículas elementales y gravedad

Modelo Estándar (cuántico)

Relatividad General (clásica)



01/27- Partículas elementales y gravedad

Modelo Estándar (cuántico)

Relatividad General (clásica)

01/27- Experiment at the LHC: CMS
Particle detector at the LHC (2011-2012) (CC BY-NC-SA)
Particle name: 000001-120400000

ELEMENTARY PARTICLES

Quarks	u (up)	c (charm)	t (top)	γ (photon)
	d (down)	s (strange)	b (bottom)	g (gluon)
Leptons	ν_e (electron neutrino)	ν_μ (muon neutrino)	ν_τ (tau neutrino)	Z (Z boson)
	e (electron)	μ (muon)	τ (tau)	W (W boson)

Force Carriers

I II III
Three Generations of Matter

A B

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R = 8\pi GT_{\mu\nu}$$

Einstein equations

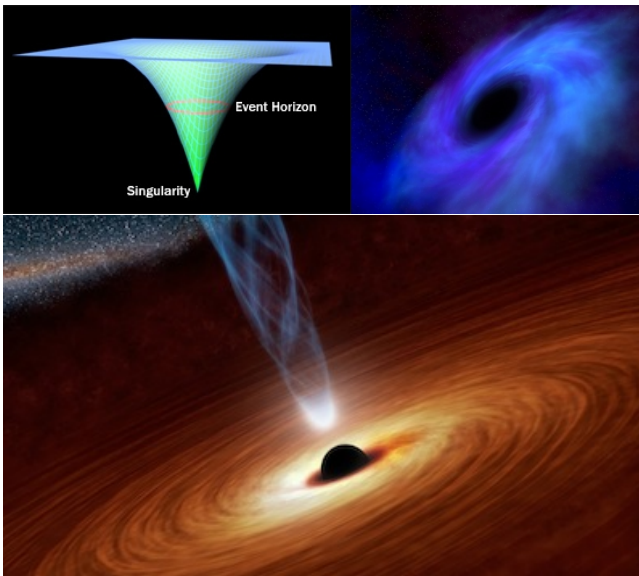
02/27– Tres problemas

Experimentos **muy precisos** han confirmado el Modelo Estándar y la Relatividad General. Pero hay **cuestiones no resueltas**:

- Problema de las **singularidades**
- Problema de la **constante cosmológica** (energía oscura)
- Problema de la **gravedad cuántica**

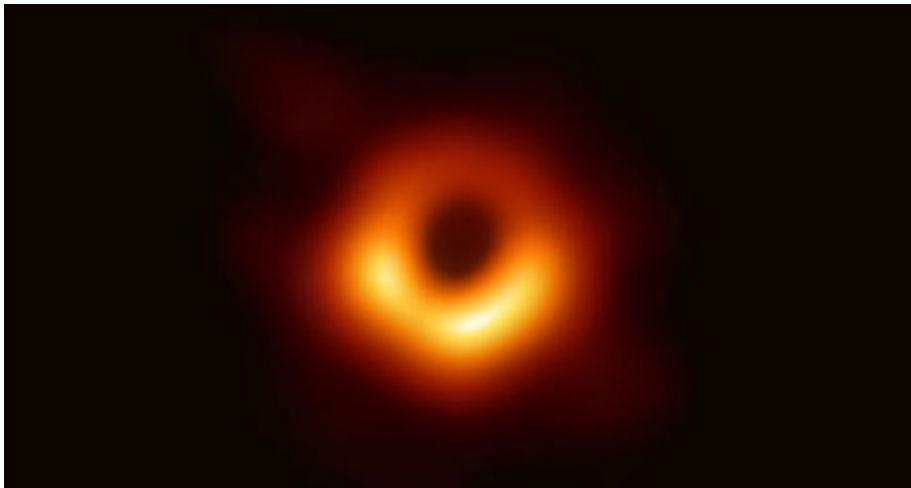
Se pueden estudiar dentro del marco de la **cosmología**.

04/27- Singularidades en agujeros negros



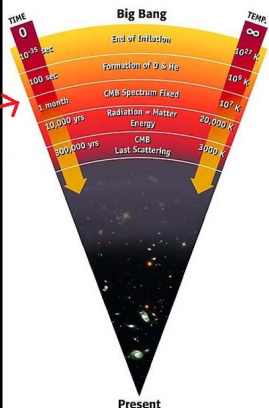
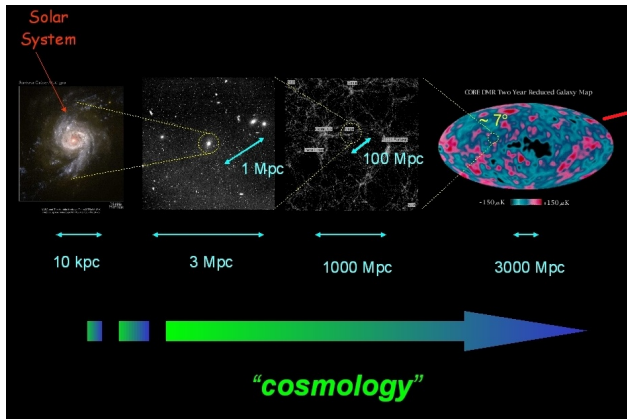
05/27– Primera observación directa: M87

Event Horizon Telescope (2019)



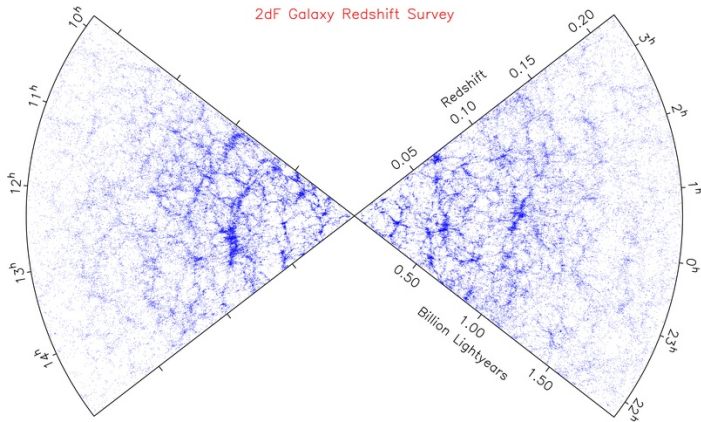
06/27- Cosmología

La luz se propaga con velocidad **finita**: ¡miramos hacia el pasado!

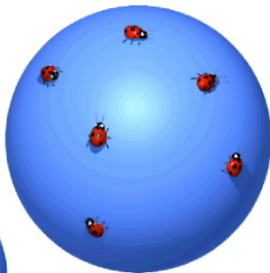
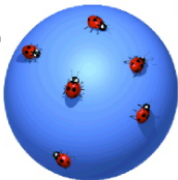
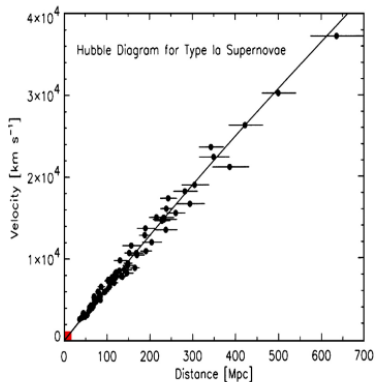


07/27-

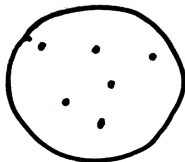
Distribución de galaxias



08/27- Expansión cósmica: ley de Hubble



09/27- Atrás en el tiempo hacia la Gran Explosión



09/27- Atrás en el tiempo hacia la Gran Explosión



09/27- Atrás en el tiempo hacia la Gran Explosión



09/27- Atrás en el tiempo hacia la Gran Explosión



09/27-

Atrás en el tiempo hacia la Gran Explosión



09/27-

Atrás en el tiempo hacia la Gran Explosión

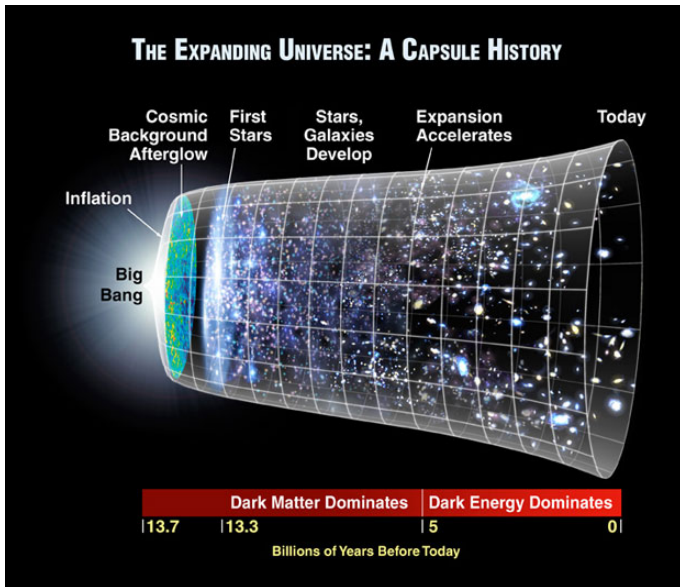


09/27-

Atrás en el tiempo hacia la Gran Explosión

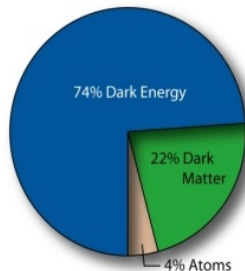
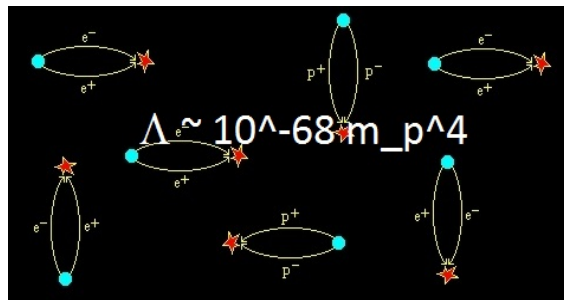
10/27-

Singularidad cósmica



11/27- Λ : ¿Cuál es el problema?

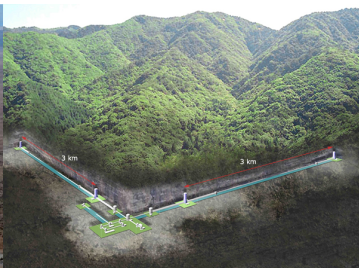
- Su valor es muy pequeño ($\rho_\Lambda \sim 10^{-124} m_{\text{Pl}}^4 = 10^{-29} \text{ g cm}^{-3}$) **y** no se explica por la física que conocemos.
- Ejemplo: $\rho_{\text{eq}} \approx 2.4 \times 10^{-113} m_{\text{Pl}}^4$ es calculable.
- Energía oscura: **¡no sabemos qué es!**



12/27– Problema de los números grandes/pequeños: una analogía

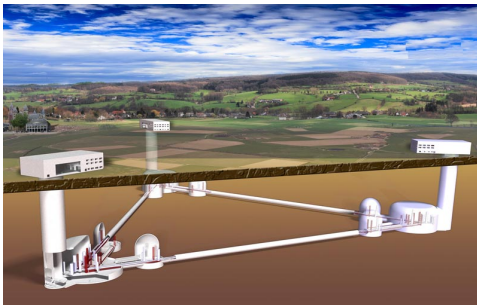
Preguntas: (1) ¿Porqué y (2) con qué probabilidad
una persona tiene cierto fenotipo?

13/27- LIGO-Virgo-KAGRA (terrestres)

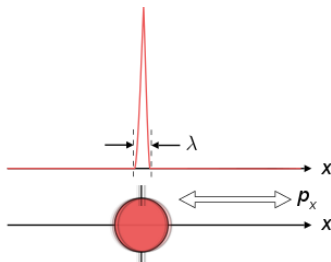
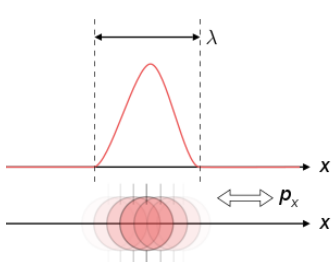


14/27-

Einstein Telescope (terrestre)

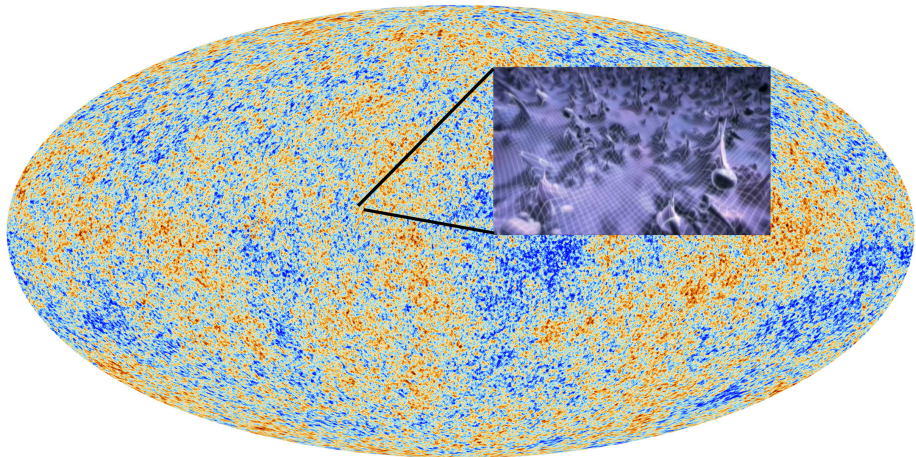


16/27- Fluctuaciones cuánticas



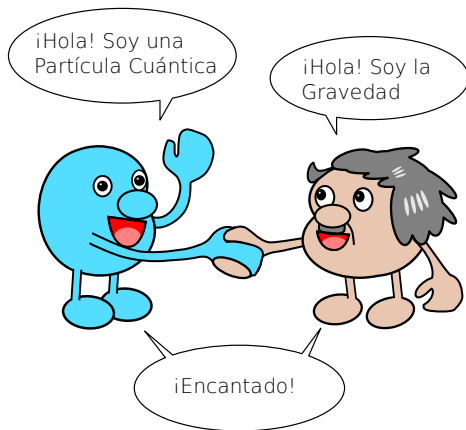
17/27- Perspectiva cosmológica

Fluctuaciones cuánticas infladas a escalas cosmológicas: una ventana en la microfísica.



17/27- Perspectiva cosmológica

Área donde la física de partículas y la gravedad se encuentran...



- **Difícil** cuantizar la gravedad como las otras fuerzas.
- Hay **muchas teorías** pero **muy formales** y con **poco contacto** con las observaciones.
- **¿Podemos verificar la gravedad cuántica? ¿Cuál es su huella? ¿Qué teoría?**

20/27– Gravedades cuánticas @IEM

- Gravedad/cosmología cuántica de lazos (2000+).
- Espaciotiempos multifractales (2010+).
- Gravedad cuántica no-local (2011+).
- Seguridad asintótica (1979,1998+).
- Cosmología cuántica canónica (1982+).
- Conjuntos causales (1987+).
- Teoría de cuerdas (1989+).
- Teoría de campos de grupos (1992,2000+).
- Triangulaciones dinámicas causales (2002+).
- Gravedad emergente unimodular (2006+).
- Espumas de espín (2009).

Muchas teorías diferentes, pero **algo tienen en común:**

Muchas teorías diferentes, pero **algo tienen en común**:

- 1 **Borrosidad** (*fuzziness*): incertidumbre intrínseca en medidas de tiempos y distancias.

Muchas teorías diferentes, pero **algo tienen en común**:

- 1 **Borrosidad** (*fuzziness*): incertidumbre intrínseca en medidas de tiempos y distancias.
- 2 **Flujo dimensional**: cambio de la dimensión del espaciotiempo con la escala de observación.

22/27– Borrosidad (*fuzziness*)

Incertidumbre intrínseca en medidas de tiempos y distancias a **escalas microscópicas**.

23/27 – Medir distancias y tiempos con incertidumbres: efecto difuminado



23/27- Medir distancias y tiempos con incertidumbres: efecto difuminado



23/27- Medir distancias y tiempos con incertidumbres: efecto difuminado



23/27- Medir distancias y tiempos con incertidumbres: efecto difuminado



23/27- Medir distancias y tiempos con incertidumbres: efecto difuminado



23/27- Medir distancias y tiempos con incertidumbres: efecto difuminado



23/27– Medir distancias y tiempos con incertidumbres: efecto difuminado



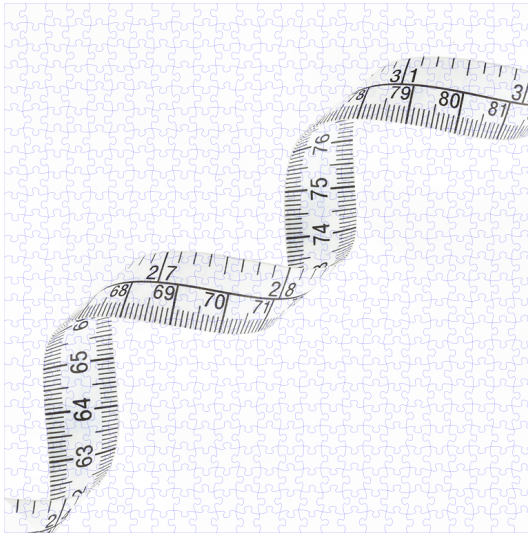
24/27- ¿A qué es debida la borrosidad?

Cuantos de espaciotiempos en “vibración” continua



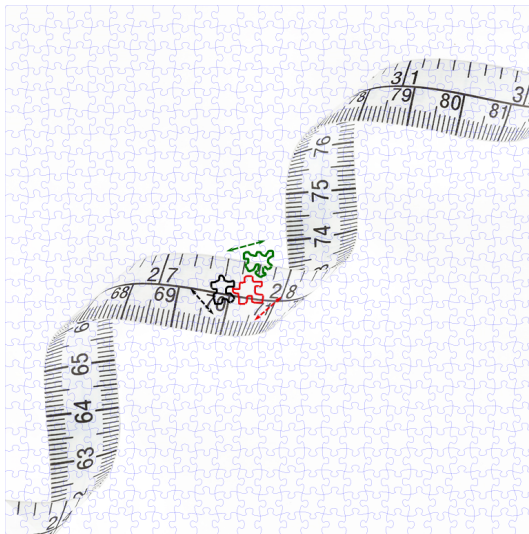
24/27- ¿A qué es debida la borrosidad?

Cuantos de espaciotiempos en “vibración” continua



24/27- ¿A qué es debida la borrosidad?

Cuantos de espaciotiempos en “vibración” continua



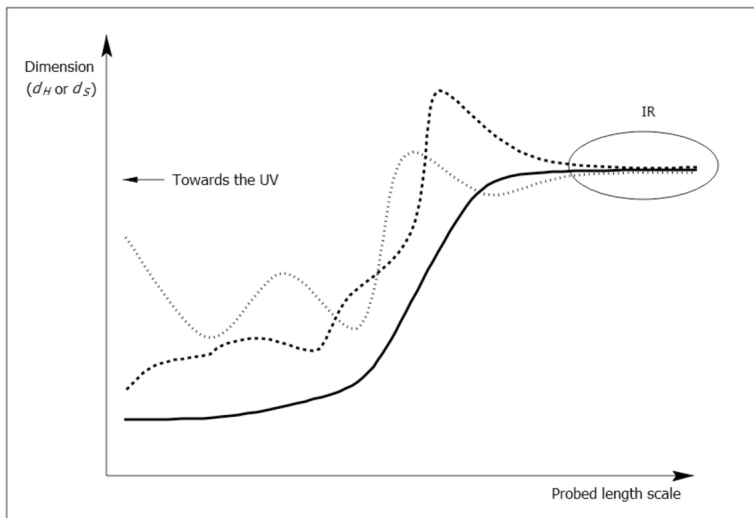
24/27- ¿A qué es debida la borrosidad?

Cuantos de espaciotiempos en “vibración” continua



25/27-

Flujo dimensional en gravedades cuánticas



26/27– Fondo estocástico de OG

Espaciotiempos multifractales

