

Cosmología, ondas gravitacionales y gravedad cuántica

Gianluca Calcagni

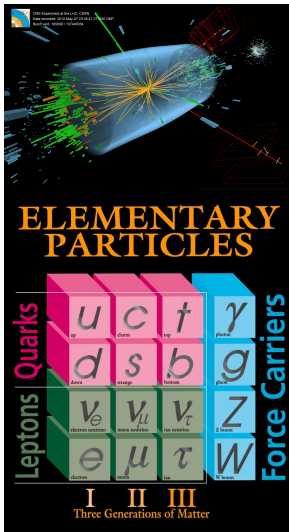
Instituto de Estructura de la Materia – CSIC



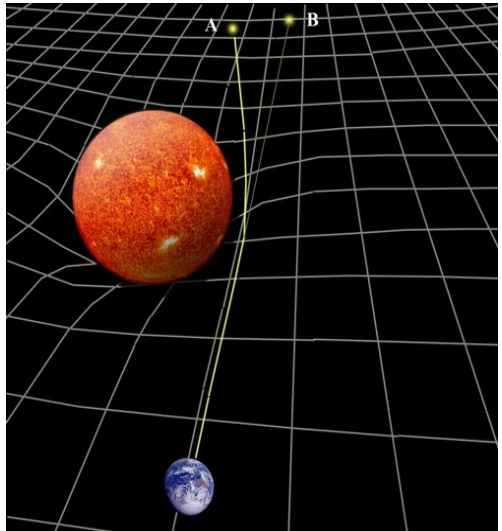
11 de abril 2019

01/27- Partículas elementales y gravedad

Modelo Estándar (cuántico)

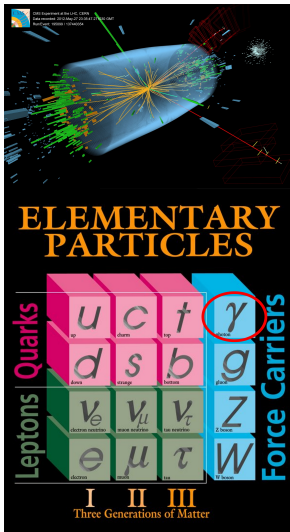


Relatividad General (clásica)

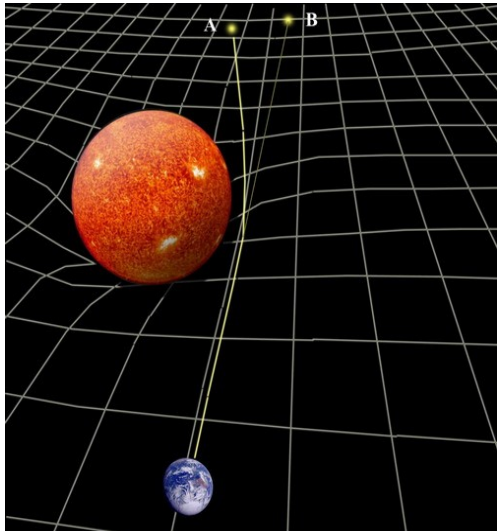


01/27- Partículas elementales y gravedad

Modelo Estándar (cuántico)

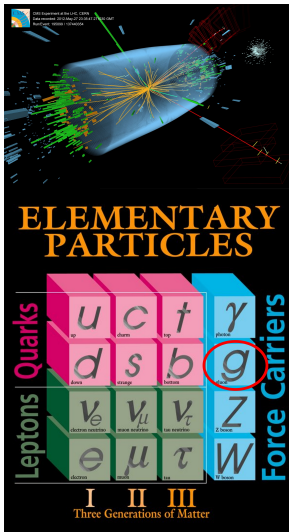


Relatividad General (clásica)

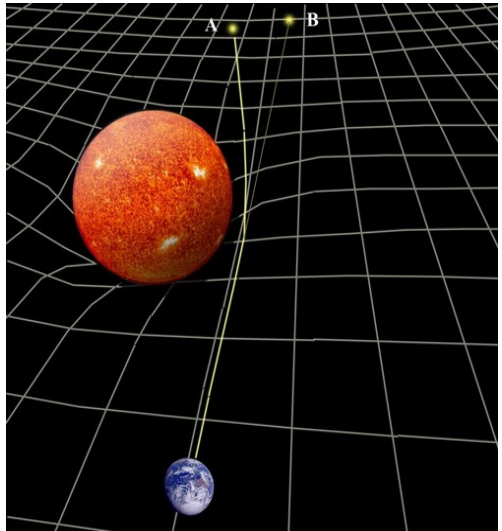


01/27- Partículas elementales y gravedad

Modelo Estándar (cuántico)

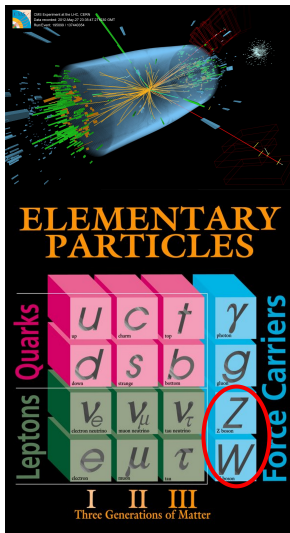


Relatividad General (clásica)

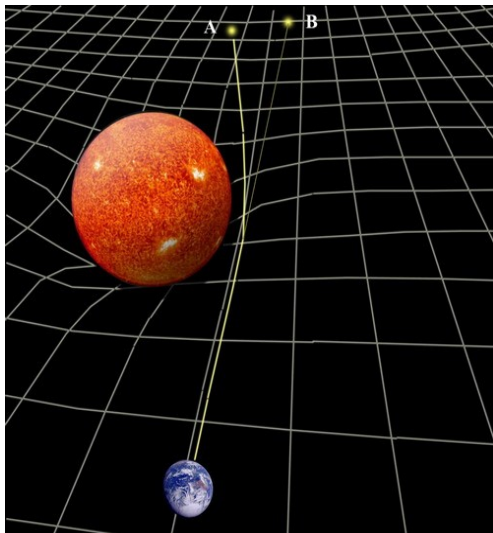


01/27- Partículas elementales y gravedad

Modelo Estándar (cuántico)

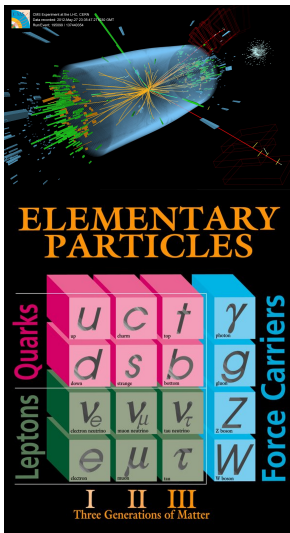


Relatividad General (clásica)

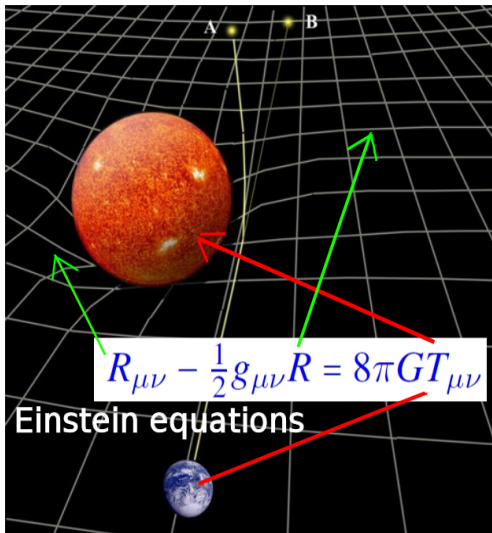


01/27- Partículas elementales y gravedad

Modelo Estándar (cuántico)



Relatividad General (clásica)



02/27– Tres problemas

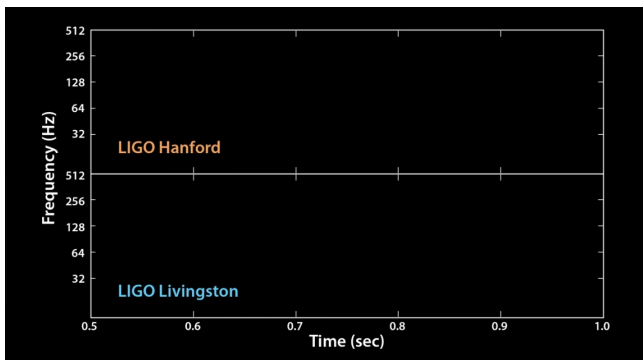
Experimentos **muy precisos** han confirmado el Modelo Estándar (valor de α_{QED} , vida media del muón, Higgs, ...) y la Relatividad General (invariancia de Lorentz, principio de equivalencia, estrellas, ondas gravitatorias, cosmología, ...). Pero hay **cuestiones no resueltas**:

- 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**.

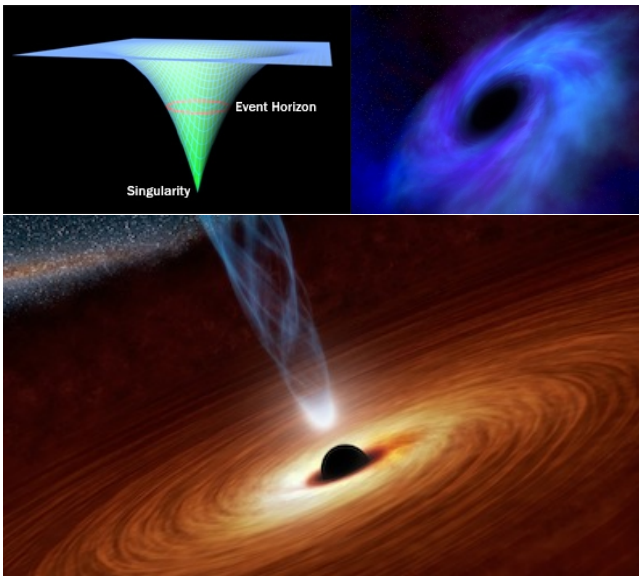
03/27– Descubrimiento de los agujeros negros: la voz de la gravedad

Abbott et al., 2016



04/27-

Singularidades en agujeros negros



05/27-

Primera observación directa: EHT, ¡ayer!



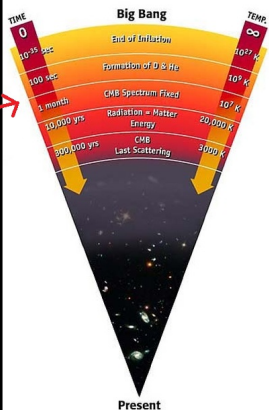
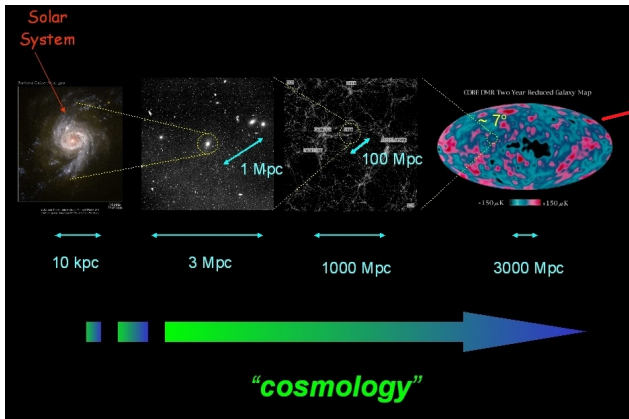
05/27-

Primera observación directa: EHT, ¡ayer!



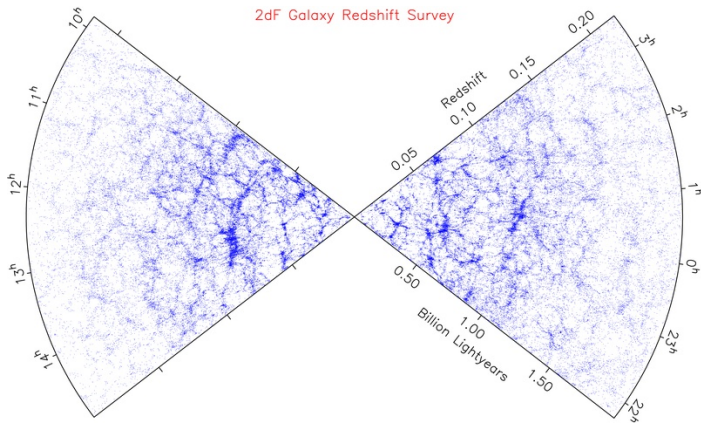
06/27– Cosmología

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

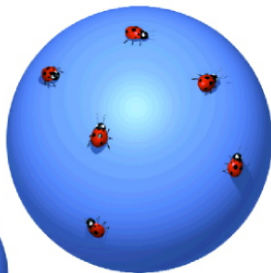
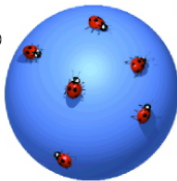
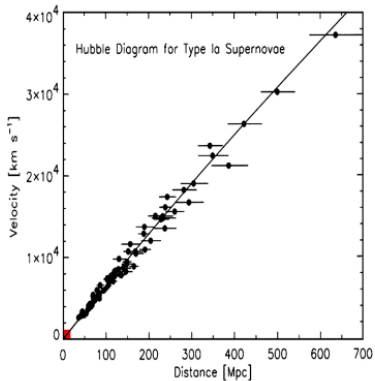


07/27-

Distribución de galaxias

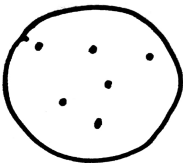


08/27- Expansión cósmica: ley de Hubble



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



El universo
○○

Singularidades
○○○○○●○

Constante cosmológica
○○

Gravedad cuántica
○○○○○○○○○○

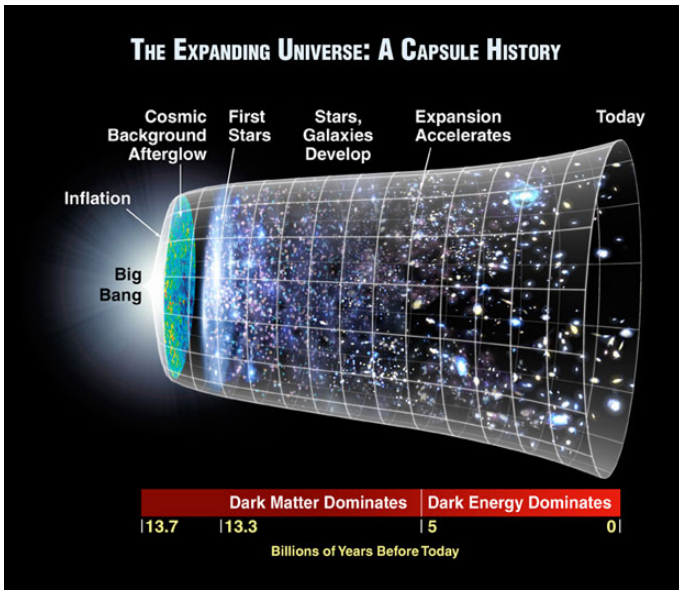
Observaciones
○○○○○

09/27-

Atrás en el tiempo hacia la Gran Explosión

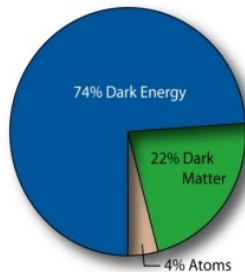
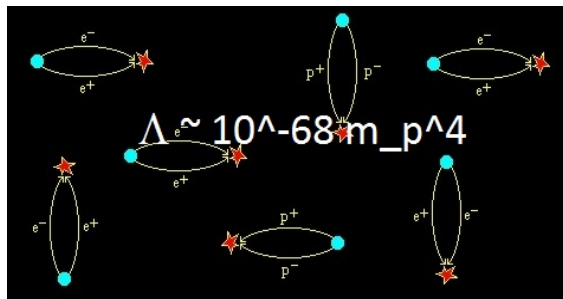
10/27-

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!**



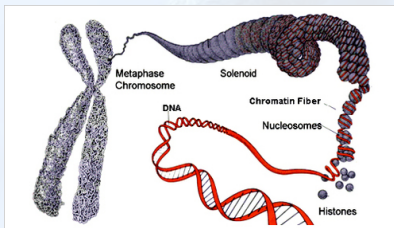
12/27– Problema de los números grandes/pequeños: una analogía

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

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

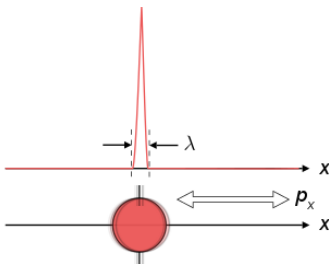
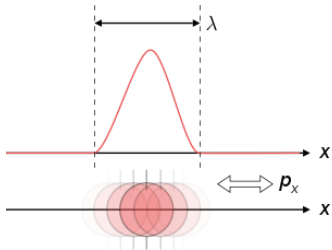
Preguntas: (1) ¿Porqué y (2) con qué probabilidad
una persona tiene cierto fenotipo?

Respuestas: (1) **genética**; (2) el genoma de cada individuo tiene
~ 3350 *loci* en heterocigosis, puede producir $2^{3350} \sim 10^{1000}$
gametos diferentes.



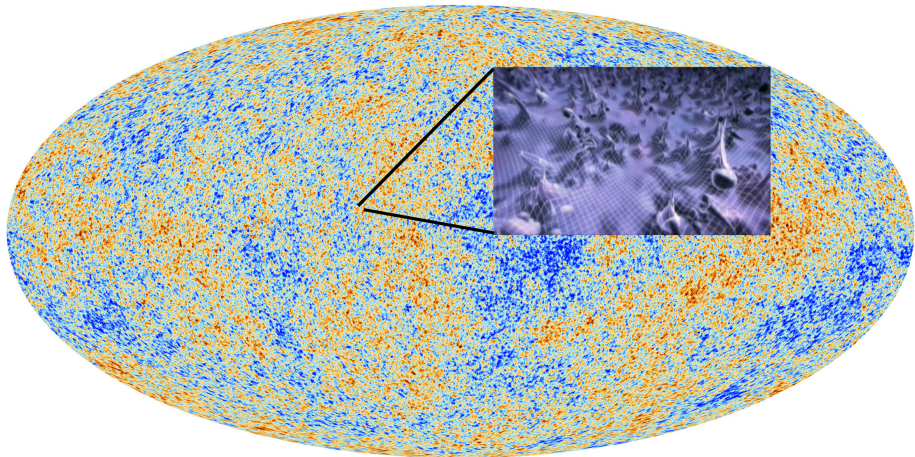
Problema de Λ : no conocemos el genoma del universo... ¡ni siquiera tenemos una “genética”!

13/27- Fluctuaciones cuánticas



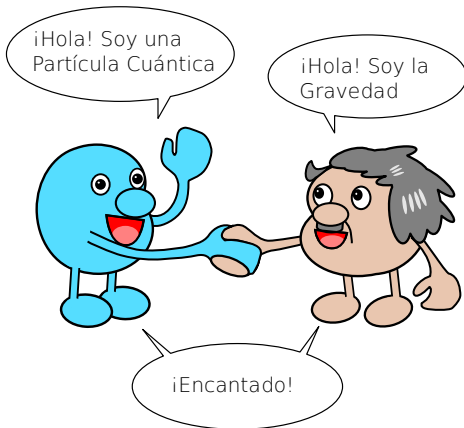
14/27- Perspectiva cosmológica

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



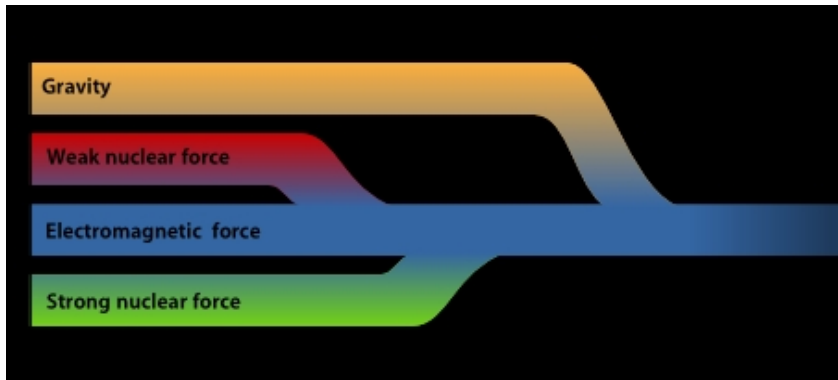
14/27- Perspectiva cosmológica

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



15/27- Una visión fragmentada

- ¿Es posible **unificar** las fuerzas cuánticas con la gravedad?
- ¿Podría una **gravedad cuántica** o una **teoría del todo** explicar lo observado y aliviar los problemas de la Gran Explosión y de Λ ?



- **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?**

17/27- Gravedades cuánticas @IEM

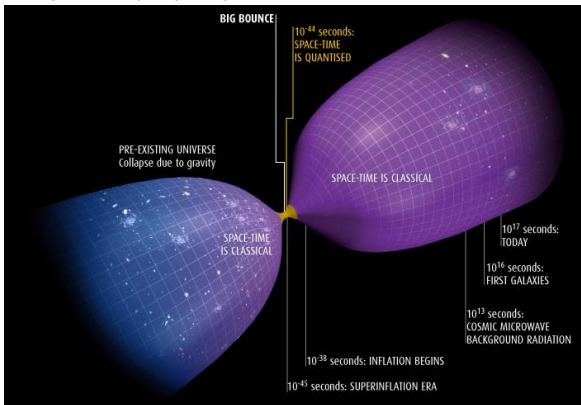
- Cosmología cuántica canónica (1982+).
- Gravedad/cosmología cuántica de lazos (2000+).
- Espumas de espín (2009).
- Teoría de campos de grupos (1992,2000+).
- Teoría de cuerdas (1989+).
- Triangulaciones dinámicas causales (2002+).
- Gravedad cuántica no-local (2011+).
- Espaciotiempos multifractales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

18/27- Cosmología de lazos

La Gran Explosión se reemplaza por un **rebote**.

THE BIG BOUNCE

Loop quantum cosmology predicts that the universe did not arise from nothing in a big bang. Instead it grew from the collapse of a pre-existing universe that bounced back from oblivion



Características universales

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.

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

21/27- Medir distancias y tiempos con incertidumbres: efecto difuminado



21/27- Medir distancias y tiempos con incertidumbres: efecto difuminado



21/27- Medir distancias y tiempos con incertidumbres: efecto difuminado



21/27- Medir distancias y tiempos con incertidumbres: efecto difuminado



21/27- Medir distancias y tiempos con incertidumbres: efecto difuminado



21/27- Medir distancias y tiempos con incertidumbres: efecto difuminado



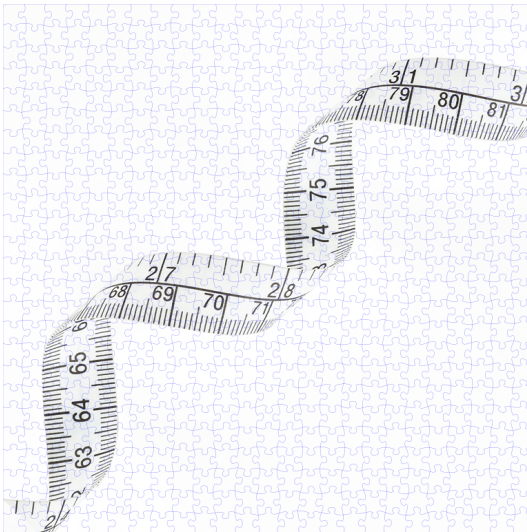
22/27- ¿A qué es debida la borrosidad?

Cuantos de espaciotiempos en “vibración” continua



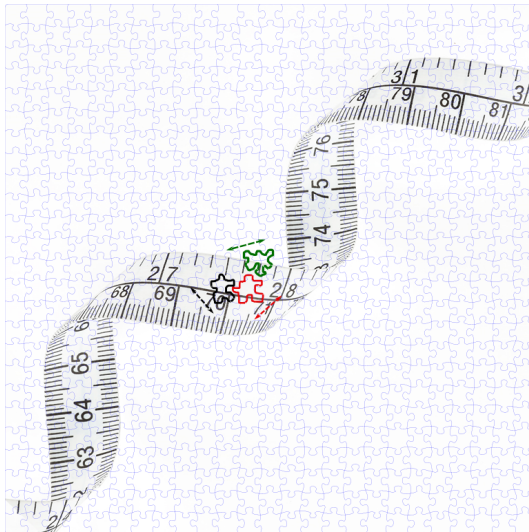
22/27- ¿A qué es debida la borrosidad?

Cuantos de espaciotiempos en “vibración” continua



22/27- ¿A qué es debida la borrosidad?

Cuantos de espaciotiempos en “vibración” continua



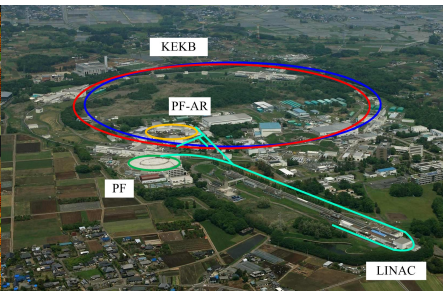
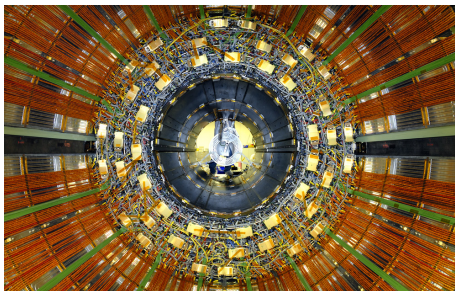
22/27- ¿A qué es debida la borrosidad?

Cuantos de espaciotiempos en “vibración” continua



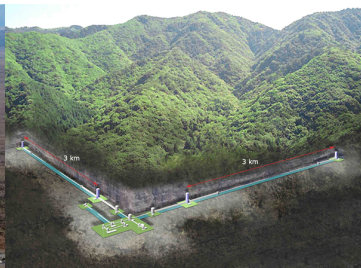
24/27-
LHC y KEK

Observaciones: aceleradores



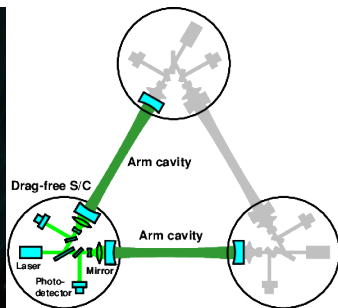
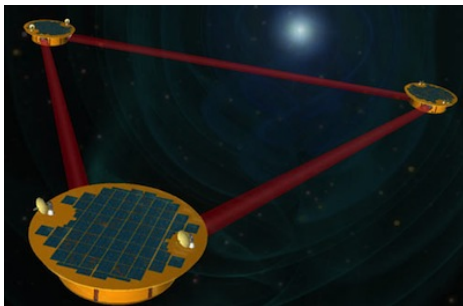
25/27- Observaciones: ondas gravitacionales

aLIGO, KAGRA (terrestres)



26/27- Observaciones: ondas gravitacionales

LISA, DECIGO (espaciales)





... E quindi uscimmo a riveder le stelle.