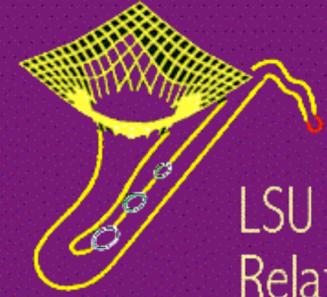
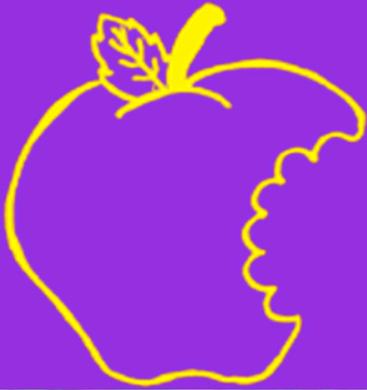


Horace Hearne Jr.
Laboratory for Theoretical Physics
Louisiana State University



LSU
Relativity

Gravedad Cuántica: una revolución incompleta en la física

Jorge Pullin

*Horace Hearne Laboratory
for Theoretical Physics
Louisiana State University*

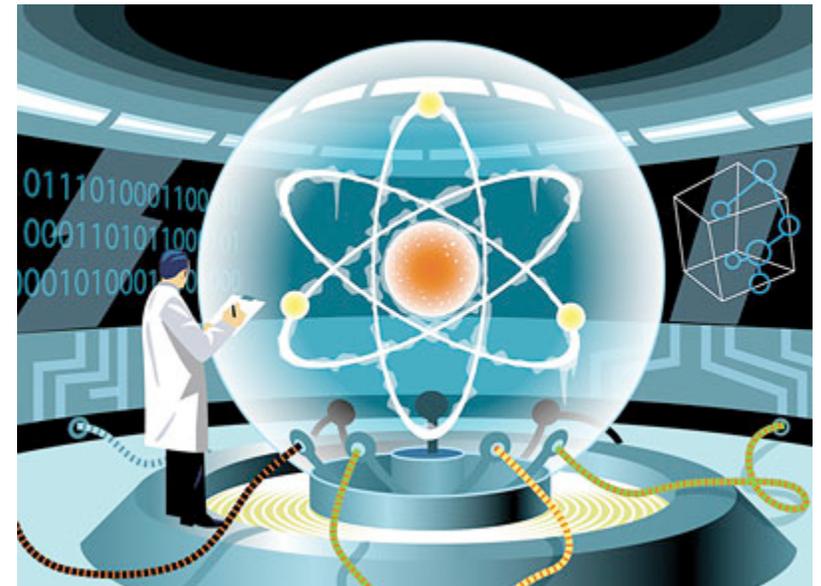
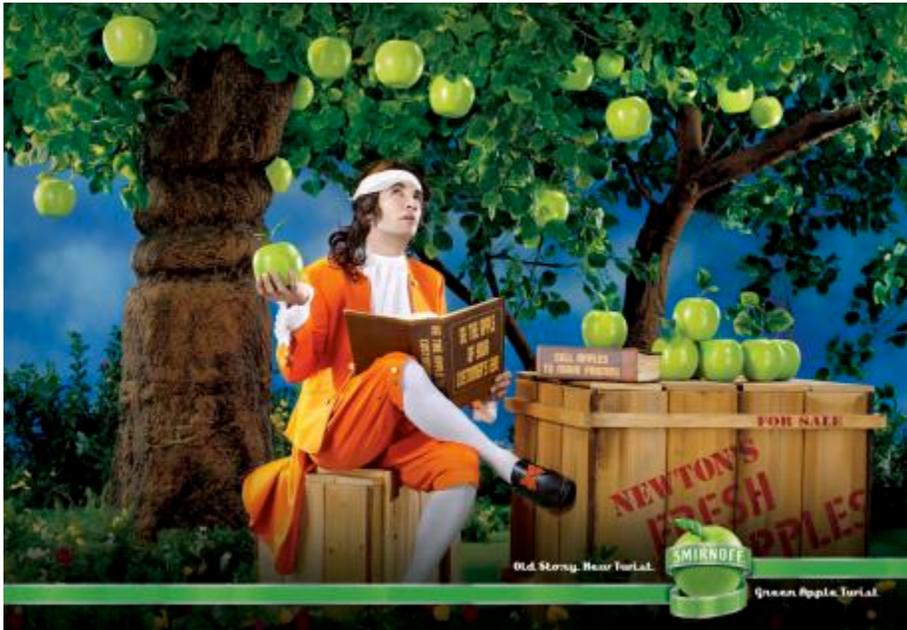


Plan de la platica:

- Daremos un vistazo a la interfase entre la relatividad general y la física cuántica, enfatizando un punto de vista específico: “geometría cuántica” o “gravedad cuántica de loops”.
- Empezaremos definiendo un marco histórico y conceptual.
- Hablaremos luego de geometría cuántica.
- Discutiremos algunas aplicaciones de la teoría.

Que es la gravedad cuántica?

Como su nombre lo indica, es el estudio de la gravedad usando la mecánica cuántica. Para entender por que hay tanto interés en este tema, conviene que recordemos algunos elementos de estas dos teorías físicas.

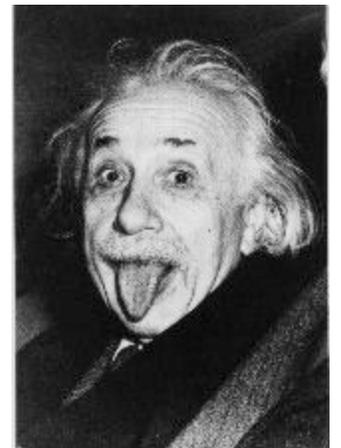
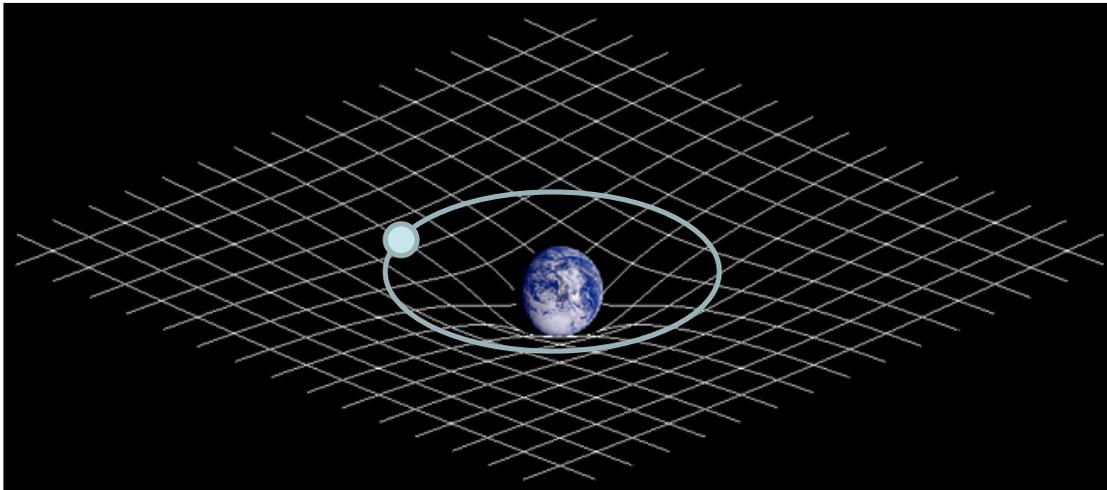


La Gravedad:



Usualmente pensamos en la gravedad como la fuerza que nos atrae hacia la Tierra y que además mantiene “unido” al sistema solar y a la Tierra y la Luna.

La descripción moderna de la gravedad esta dada por la teoría de la relatividad general de Einstein. En ella la gravedad se entiende como una deformación del espacio-tiempo.



Mecánica cuántica

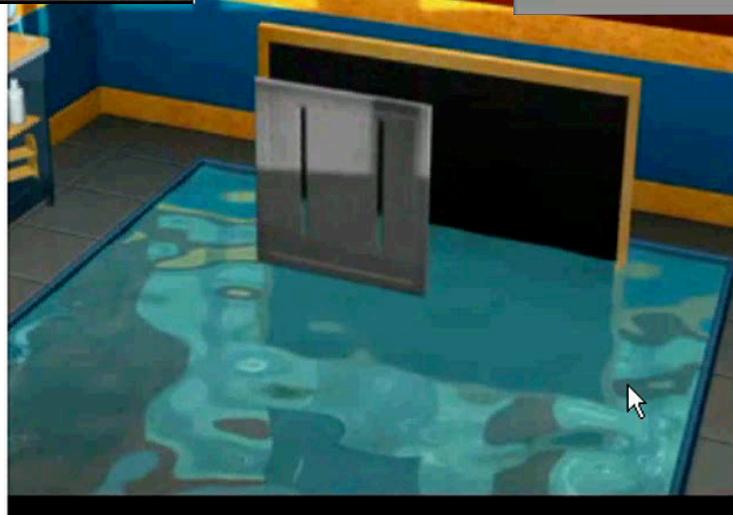
Es la teoría física que describe el mundo microscópico.
Las cosas no se comportan como en el mundo cotidiano.



Clásico



Cuántico



La relatividad general se introdujo en 1916. La mecánica cuántica en la segunda mitad de la década de 1920. La manera en que se introdujo la mecánica cuántica fue suponiendo que el espacio-tiempo no está curvado, lo que contradice a la relatividad general.

Desafortunadamente la manera en que se creó la mecánica cuántica es tal que sus principios básicos se contradicen con que no haya un espacio y tiempo absoluto.

Un elemento central de la mecánica cuántica es que solo hace predicciones sobre probabilidades. Eso automáticamente implica una idea absoluta de tiempo y espacio.

Estos problemas nos complican la situación hasta hoy día.

Gravedad cuántica: diversos puntos de vista y evolución histórica

El principal problema de la gravedad cuántica es que no tenemos evidencia experimental que nos guíe. Sabemos que hay que cuantizar la gravedad, pero no existen situaciones experimentales donde su cuantización sea esencial. La gravedad solo es relevante para objetos grandes, la mecánica cuántica solo es relevante para cosas microscópicas.

Debido a esto, los distintos enfoques al problema son guiados por prejuicios intelectuales acerca de cuáles son los temas centrales y cuáles otros temas “se arreglarán fácilmente” una vez que los temas centrales sean resueltos



INFORMACIÓN RELACIONADA

MULTIMEDIA

PARTICIPACIÓN

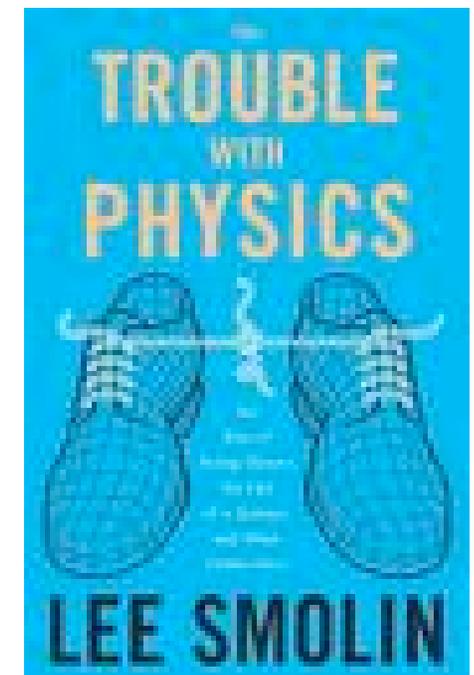
UTILIDADES

MOLÉCULAS

EL PAÍS - 25-10-2006

Contra las cuerdas

Dos libros que critican el estado actual de la física teórica y especialmente el imperio de la teoría de cuerdas están provocando polémica en esta comunidad científica. *Not even wrong (Ni siquiera equivocado)*, de Peter Woit y *The trouble with physics (El problema de la física)* de Lee Smolin, critican que la teoría de cuerdas esté aislada del resto de la física al no poder demostrarse experimentalmente.



Los dos enfoques principales:

“El tema central es unificar las fuerzas”

Teorías con derivadas altas
Supergravedad

Teoría de Cuerdas
Teoría M

Sociología:

“Físicos de Partículas elementales”

“El tema central es la geometría”

Triangulaciones dinámicas
Twistores

Geometría cuántica
Gravedad cuántica de loops

“Físicos relativistas”

Las preguntas centrales:

(Si no hay experimentos concretos que explicar, que busca entender la gente en este tema?)

- **Big Bang.** Que lo reemplaza? Se produjo un “túnel” desde un universo anterior?
- **Huecos negros:** Que es un hueco negro cuántico?
- **Mundo cotidiano:** pese a lo que argumentamos antes, habrá experimentos que puedan confirmar predicciones de la gravedad cuántica?

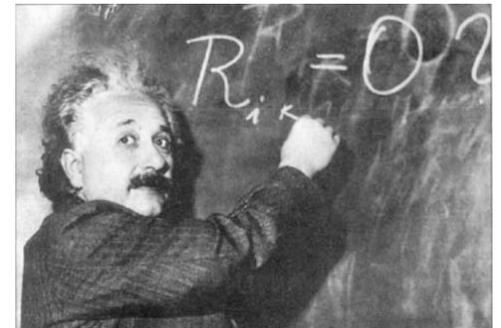
El enfoque llamado “geometría cuántica” o “gravedad cuántica de loops” esta lo suficientemente maduro para proveer algunas respuestas (al menos parciales) a estas preguntas.

Geometría cuántica y gravedad cuántica de loops:

- Es la geometría un trasfondo conceptualmente útil pero no físico, o es una entidad “real” como una mesa o una silla?

Riemann en 1854 en la conferencia inaugural en Göttingen
Einstein en 1915 en la relatividad general postularon que la geometría es una entidad real.

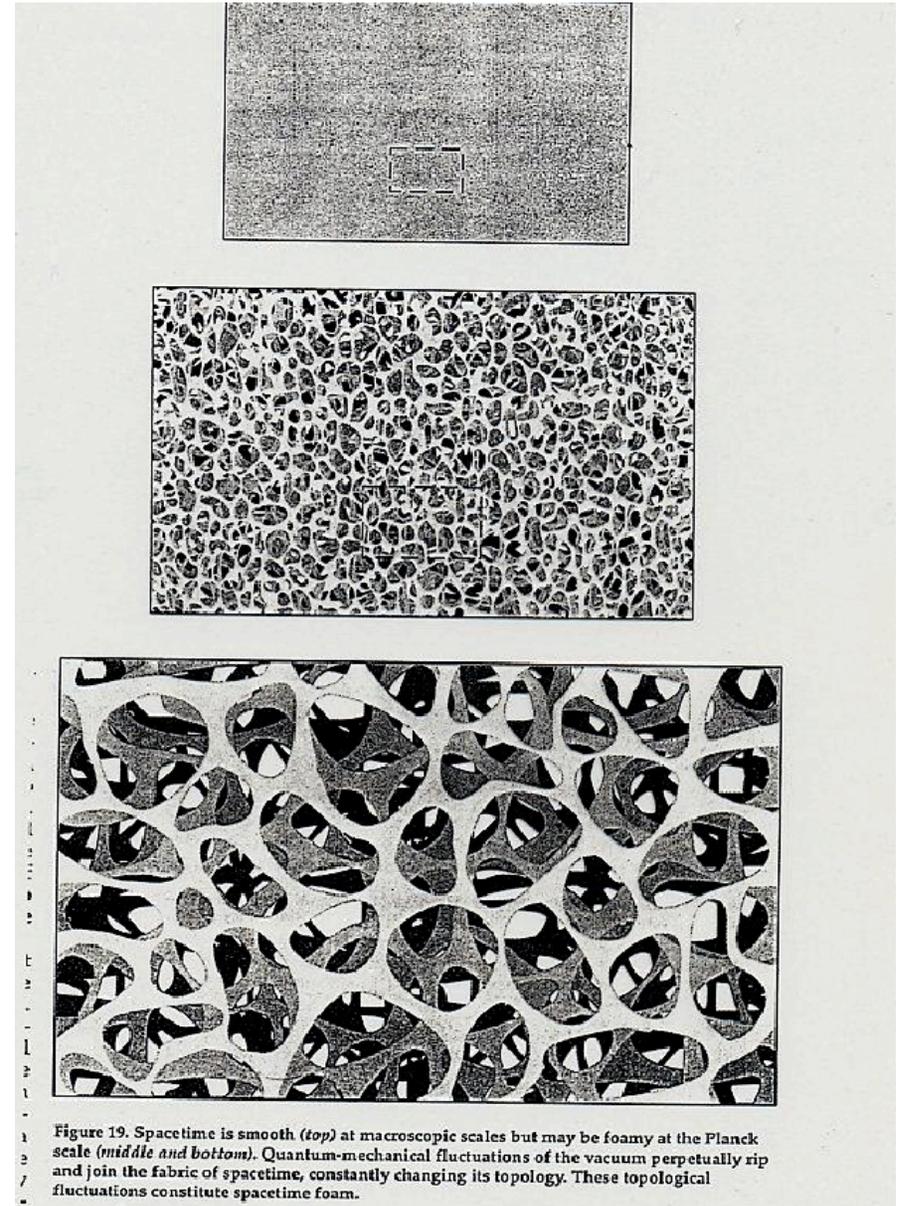
En la relatividad general de Einstein se ve que la geometría queda determinada por la materia,



- La materia tiene constituyentes. ¿Los tiene la geometría? ¿Átomos de geometría? ¿Cómo emerge la imagen de una geometría continua? ¿Hay procesos en los que cuantos de materia se convierten en cuantos de geometría (p.ej. en la evaporación de huecos negros?)

Si la geometría es dinámica, se deberá reformular la estructura matemática que se usa en teorías de campos.

Imagen cualitativa
propuesta por Wheeler
“espuma de espacio-
tiempo”



- Escala de Planck

$$l_P = \sqrt{\frac{G\hbar}{c^3}} \approx 10^{-33} \text{ cm}$$

Notese que : $\frac{\text{Radio de Bohr}}{l_P} \gg \frac{\text{Radio de la Tierra}}{\text{Radio de Bohr}}$

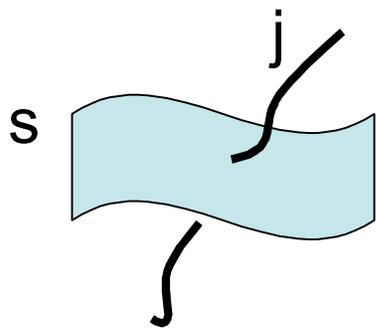
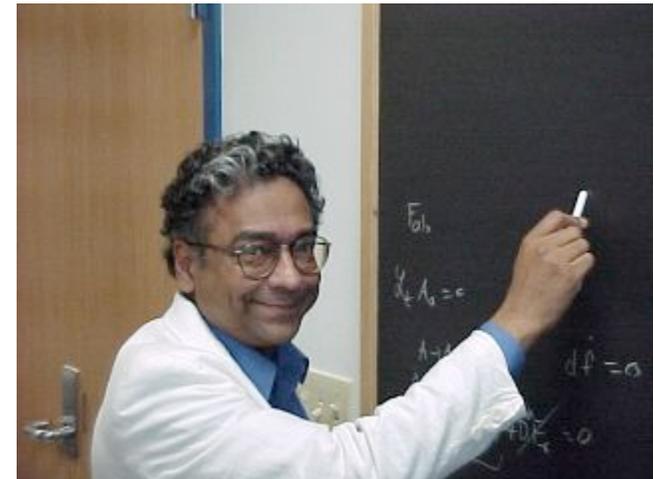
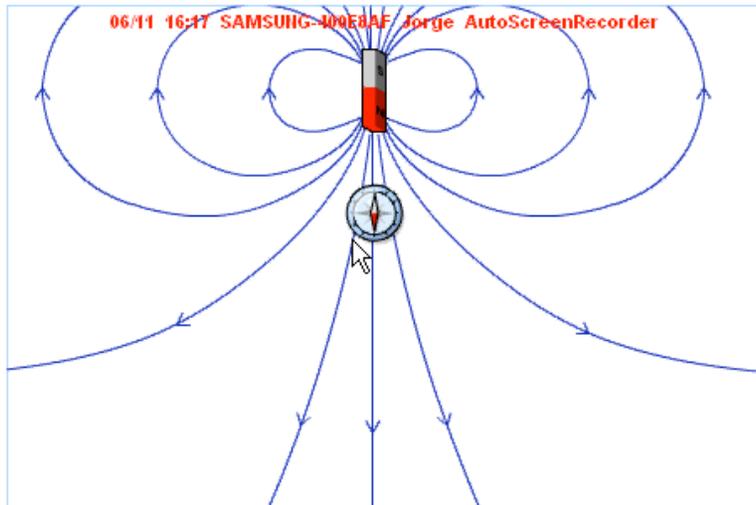
Esta es la razón por la cual la imagen usual de la geometría como un continuo funciona tan bien!

- Como se observa la geometría cuántica?

Similar al estudio de los átomos . Allí lo que se observan son líneas espectrales, que aparecen discretas.

Para la geometría los observables son la longitud, área y volumen. Los mismos solo adquieren valores discretos.

- En 1986 Abhay Ashtekar encontró una manera de formular la relatividad general en términos de variables relacionadas a las líneas del campo gravitatorio. Dichas líneas forman los “loops” (ciclos) de la llamada “gravedad cuántica de loops”.



$$A_s \approx \sqrt{j(j+1)} l_P^2 \quad 100\text{cm}^2 \sim 10^{68} \text{ líneas de campo}$$

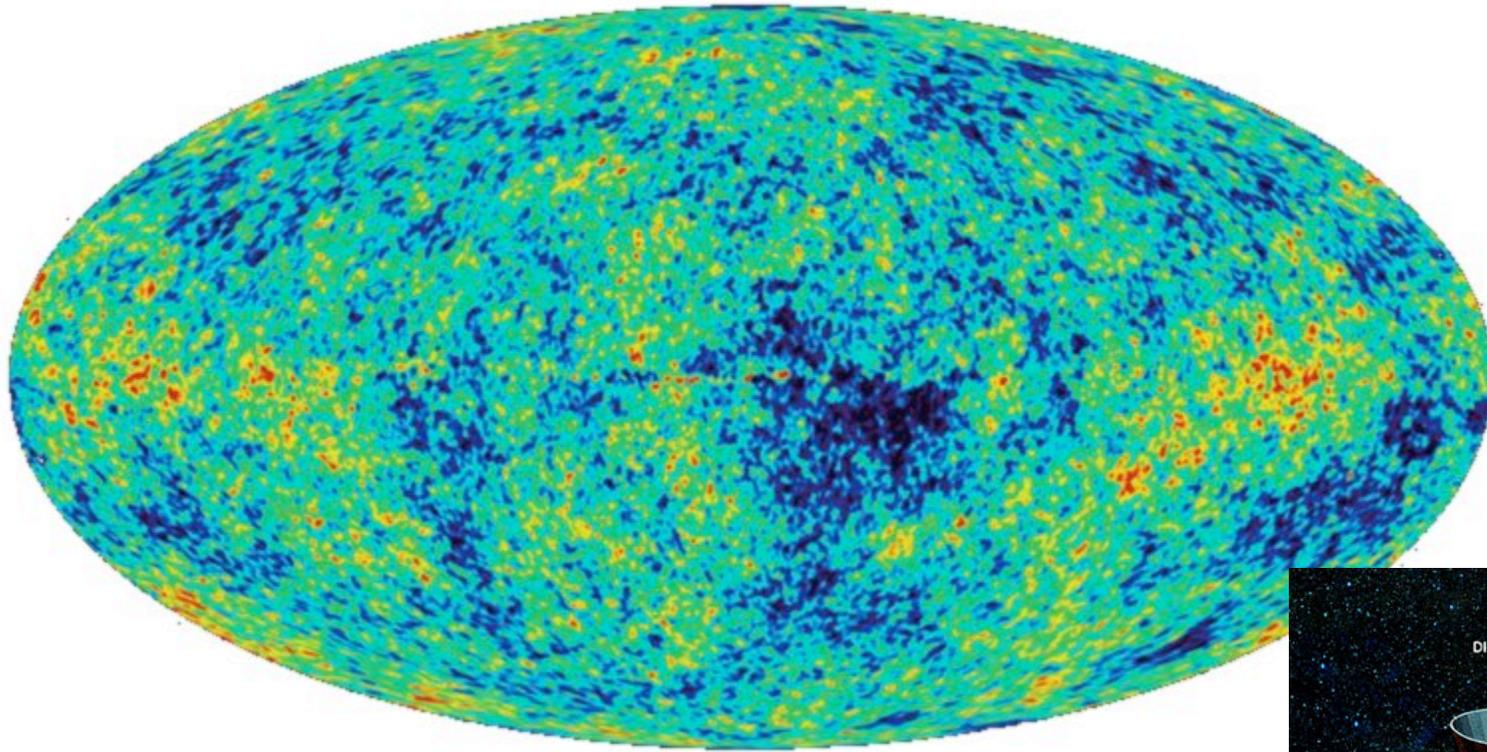
El Big Bang:

El universo esta en expansión y existe evidencia que sugiere que en el pasado era mas pequeño y denso. La extrapolación de esto lleva a pensar que se origino en un estado de densidad infinita.



Esto implica bastante mas de lo que parece. Lleva a un modelo muy detallado de como se forma el universo actual.

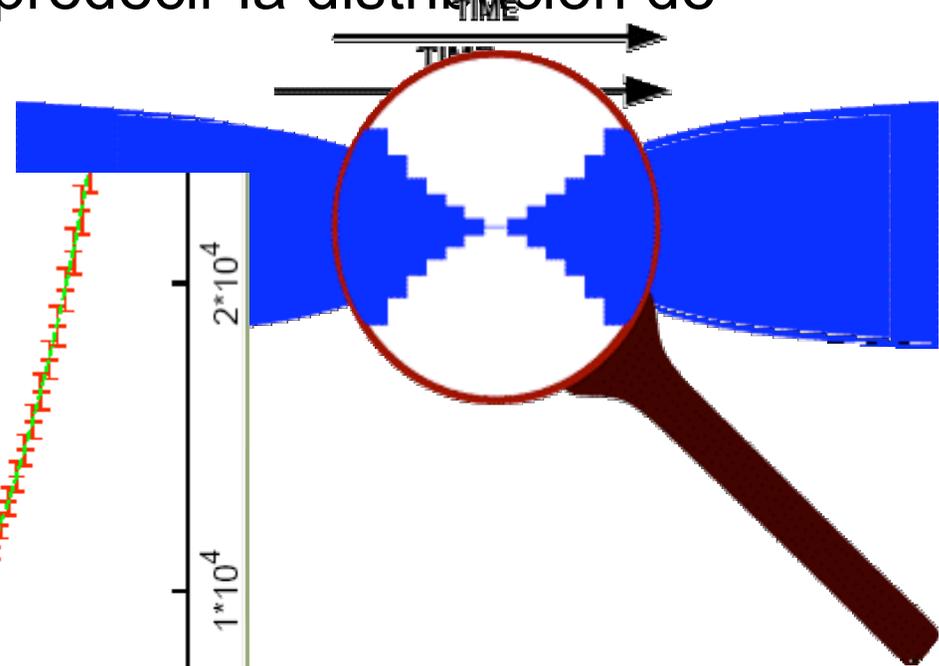
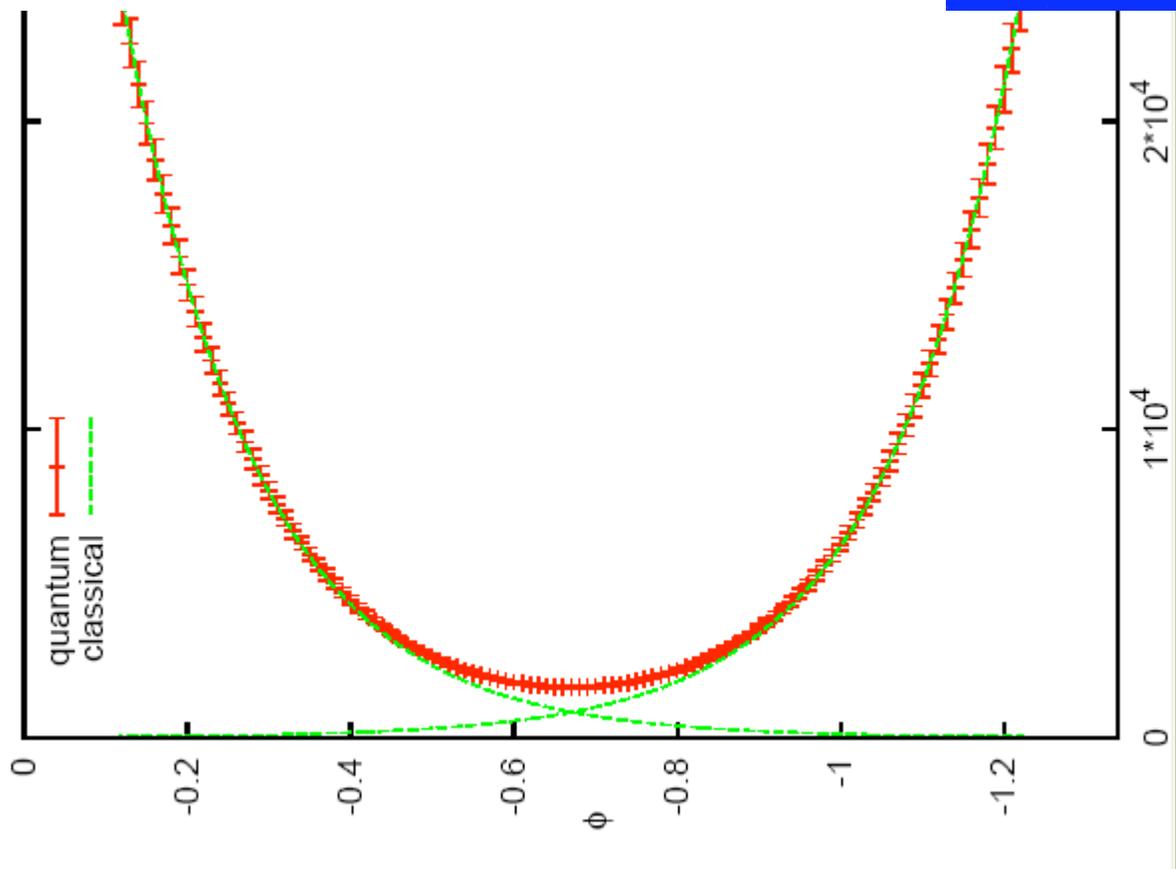
Por ejemplo predice la “temperatura de los cielos” con una precisión de una millonésima de grado.



Satélite COBE
Premio Nobel 2007



La gravedad cuántica de loops predice, en modelos sencillos, que el universo “tuneleó” desde un universo anterior. Es decir, al comienzo del Big Bang no había una densidad infinita sino muy alta. Los modelos aun son sencillos pero implican algunos de los elementos que permiten predecir la distribución de temperaturas que mostramos.



Martin
Bojowald



Agujeros negros:

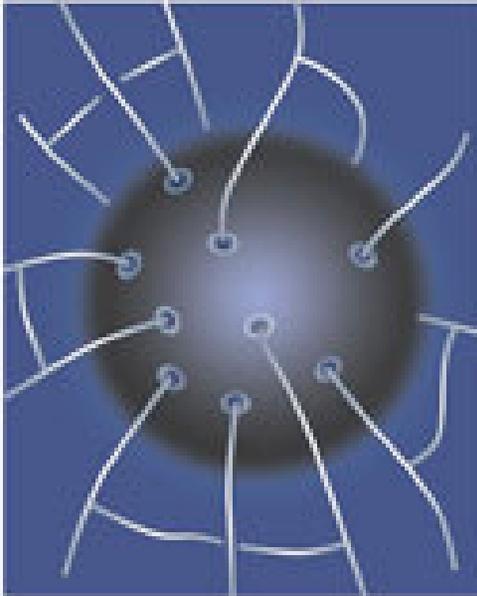
Son regiones donde la gravedad es tan intensa que nada que entre puede escapar.

Se forman cuando una estrella agota su combustible y su superficie colapsa.



Como en el caso del Big Bang, se espera que dentro del agujero haya regiones de densidad muy grande. Al igual que en ese caso la gravedad cuántica de loops ha provisto una explicacion en la que la densidad permanece finita y se conecta a otra region del espacio.

Una propiedad conocida de los agujeros negros es que su complejidad (“entropía”) es proporcional no a su volumen sino a su área. La gravedad cuántica de loops provee una imagen muy natural para este hecho.



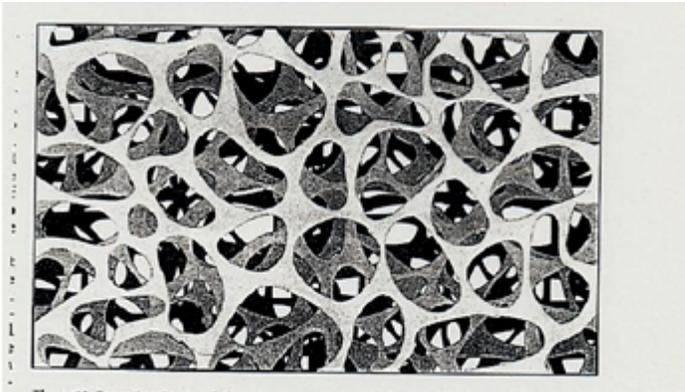
La geometría cuántica interactúa con el agujero negro a través de las “pinchaduras” de las líneas de campo. La complejidad del agujero es proporcional al número de pinchaduras, que como dijimos, es proporcional al área.

Alejandro Corichi



Posibles efectos observacionales?

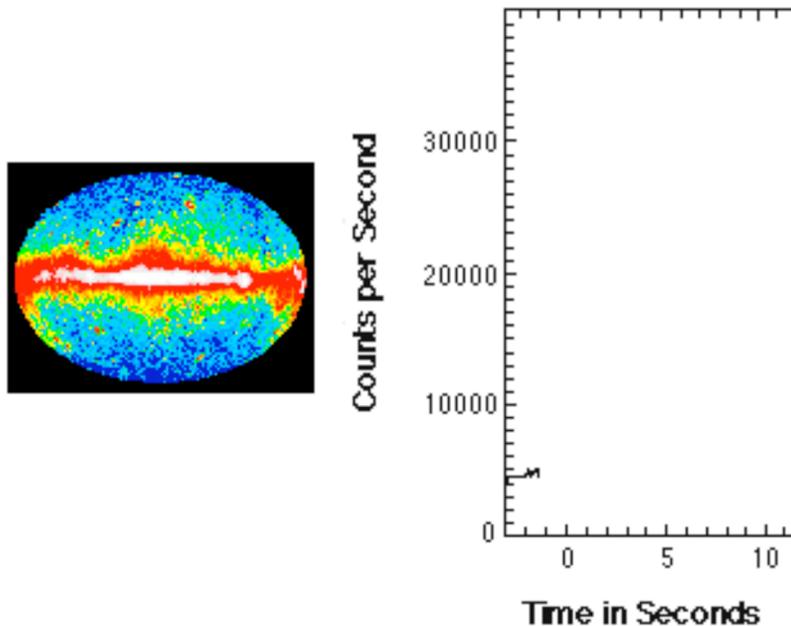
La luz y otras formas de radiación que nos llegan desde objetos astronómicos, supuestamente ha debido viajar a lo largo de una geometría cuántica.



El hecho de que la geometría no sea “suave”, no tendrá efectos sobre lo que recibimos en la Tierra?

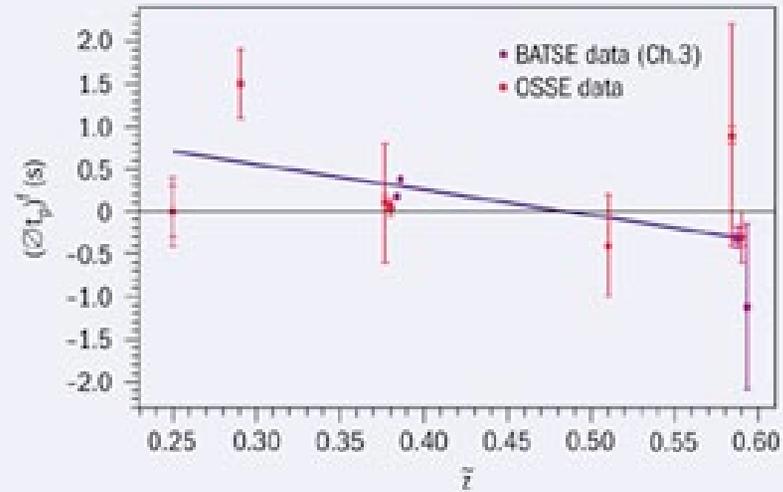
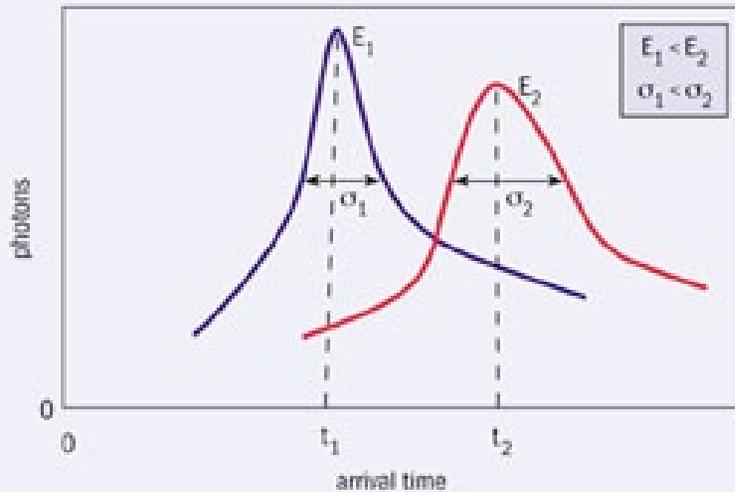
El efecto es muy pequeño. Pero si nos concentramos en objetos muy distantes, es posible que sea observable.

En los últimos años nos hemos enterado de que enormes explosiones de rayos gamma tienen lugar en el universo.



El entendimiento actual, si bien no se conoce en detalle que produce estas explosiones, es que las mismas tienen lugar fuera de nuestra galaxia. Los rayos gamma que llegan a la Tierra deben entonces viajar distancias muy grandes, al punto tal que los efectos del espacio-tiempo cuántico se acumulan y podrían ser detectados.

Rayos gamma de mayor energía interactúan más con la granularidad del espacio-tiempo y llegan más tarde,



Se espera que el satélite GLAST tenga una chance de detectar estos efectos.



Inicialmente propuestos junto a Rodolfo Gambini, esta clase de efectos fue estudiado a fondo no solo en rayos gamma sino en otros tipos de particulas que llegan a la tierra por Hugo Morales-Tecotl y Luis Urrutia. Otras implicaciones experimentales tambien han sido estudiadas por Daniel Sudarsky y Alejandro Perez.



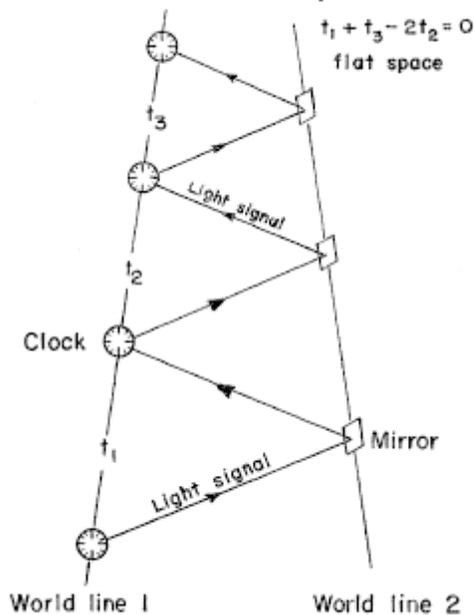
Otro aspecto en el que la gravedad cuántica podría influir es en la medición muy precisa de distancias y tiempos.

Quantum Limitations of the Measurement of Space-Time Distances

H. SALECKER* AND E. P. WIGNER

Palmer Physical Laboratory, Princeton University, Princeton, New Jersey

(Received September 23, 1957)

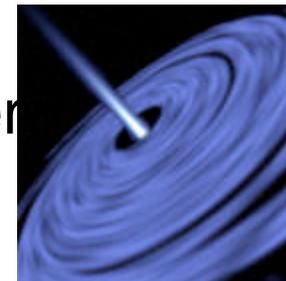


Consideran un reloj consistente de dos espejos y luz que se refleja entre ellos. Cada “tic” del reloj es cuando la luz impacta con un espejo.

Ellos notan que cuando la luz rebota en un espejo y vuelve, en el tiempo que le toma la función de onda del espejo se ensancha y esto introduce error en el siguiente “tic”. El error es:

$$\delta t \approx \sqrt{\frac{t}{M}} \quad (h = c = 1)$$

Así que si uno quiere un reloj mejor, lo tiene que hacer más masivo..



Pero hay un problema. Si pongo mucha masa eventualmente formo un agujero negro!

(Ng and Van Dam, Ann. NY Acad. Sci 755, 579 (1995))

Un agujero negro es, en este sentido, el mejor reloj posible.

Como es que un agujero negro es un reloj? Los agujeros negros tienen modos vibracionales (modos cuasinormales). Si bien son muy amortiguados, en principio uno podría usarlos para armar un reloj.

Piensen en una campana.



La frecuencia de oscilación es inversamente proporcional a la masa, así que agujeros negros chicos son mejores relojes..

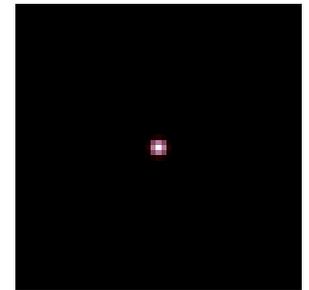
Hay por ende una tensión entre este argumento y el de Wigner que indica que hay un “punto medio” en términos de masa para tener un reloj óptimo.

Hay razones adicionales para no usar agujeros negros muy chicos...



Hawking mostro en 1975 que los agujeros negros no son tales sino que emiten radiación con un **espectro de cuerpo negro**. La temperatura es inversamente proporcional a la masa.

La radiación saliente se lleva energía, lo que eventualmente lleva a que el agujero negro se **evapore**.



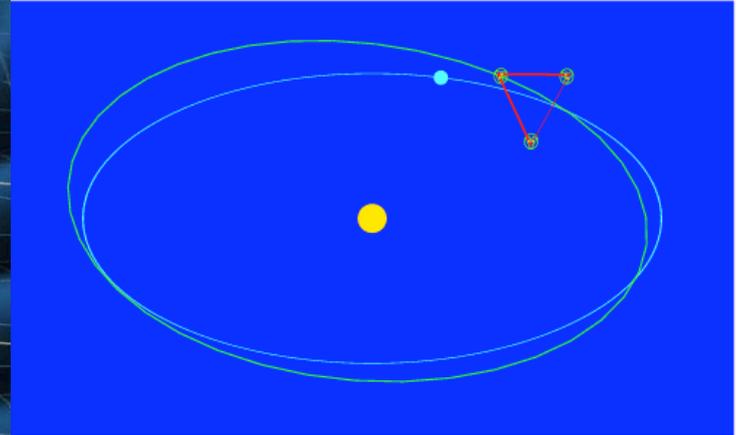
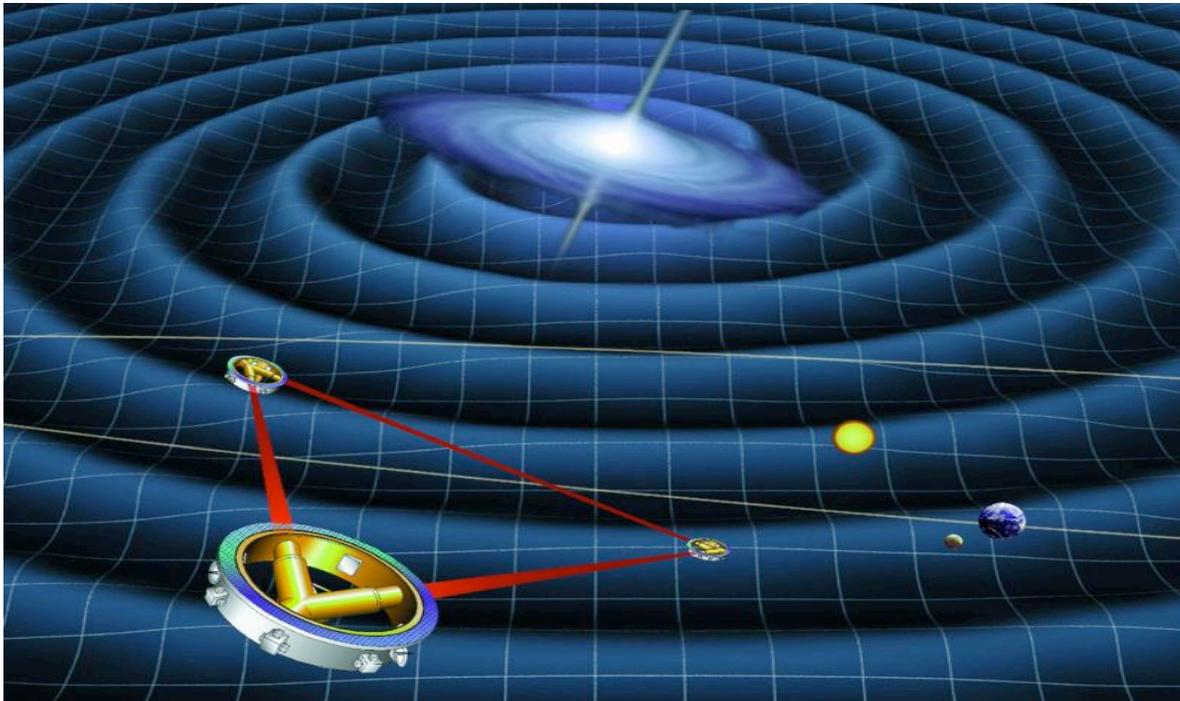
Así que si uno hace el agujero negro muy chico se evapora antes de ser útil como reloj!

Estas tensiones llevan a un limite fundamental a cuan preciso puede ser un reloj que sirva para medir un tiempo T_{ma} .

$$\delta T \sim t_P \sqrt[3]{T_{\text{max}}/t_P}$$

Donde t_p es el tiempo de Planck: 10^{-44} s.

Estos tiempos son muy chicos para ser medidos en experimentos ordinarios. Pero el interferometro espacial LISA, destinado a detectar ondas gravitatorias, requerira medir tiempos de una magnitud similar a las del efecto, que por ende podria ser detectado.



Conclusiones

- La carencia de experimentos que guíen a la teoría pone a la gravedad cuántica en una situación muy particular en la física.
- Se ha desarrollado un punto de vista matemáticamente sólido que permite plantear varias de las cuestiones fundamentales de interés.
- Se está dando al menos respuestas parciales a preguntas como que ocurrió en el origen del universo o el interior de agujeros negros.
- Es posible que en pocos años haya confirmación experimental directa de las predicciones de la teoría.
- **Varios de los actores principales de esta historia están en Morelia esta semana!**