

Gravedad y Cosmología: ¿Qué hay de verdad y de mentira en la ciencia televisiva?

 Dr. Javier Olmedo Nieto

Instituto de Estructura de la Materia, CSIC

Semana de la Ciencia
12 de Noviembre de 2010



¿En qué consiste esta charla?

- 1) los fenómenos de la naturaleza se pueden describir desde un punto de vista físico, tanto los observados diariamente como los más inusuales en la vida cotidiana.
- 2) en TV se explotan aspectos propios de la física moderna, consiguiendo escenas más espectaculares, guiones originales, ...
- 3) nosotros vamos a analizar algunos de estos fenómenos utilizados en distintas series de TV, películas, etc.

¿Qué se pretende con esta actividad?

- 1) diferenciar qué fenómenos son físicamente aceptables y cuáles no.
- 2) principalmente, explicar en cierto detalle todos aquéllos que realmente se observan en la naturaleza.

Nota: No se pretende realizar un estudio completo, más bien divulgativo, de algunos fenómenos en films, series, ...

Las películas/series que han llamado nuestra atención son ...

1) Futurama



2) Los Simpson



3) The big Bang Theory



4) La hora de José Mota



Futurama



Capítulo nº 12 *La ruta de todo mal* de la 3ª temporada:

- 1) Viaje de ida y vuelta al “fin” del universo, ¡realizado en tan solo 1 semana!
- 2) Proyecto de clase de Cubert y Dwight que consiste en un agujero negro.

Futurama



Capítulo nº 12 *La ruta de todo mal* de la 3ª temporada:

1) Viaje de ida y vuelta al “fin” del universo, ¡realizado en tan solo 1 semana!

2) Proyecto de clase de Cubert y Dwight que consiste en un agujero negro.



Capítulo 6 *Especial de Halloween de los Simpson VI* de la 7ª temporada:

3) Homer es absorbido por un agujero negro.

Futurama: ¡14000 millones de años-luz en 1 semana!

- a) Velocidad de la luz: $c = 3 \cdot 10^5 \text{ (km/s)}$
- b) Distancia recorrida: $D = 2 \cdot 14000 \text{ (m.a.l.)} \simeq 2.65 \cdot 10^{23} \text{ (km)}$
- c) Tiempo de viaje: $T = 6.05 \cdot 10^5 \text{ (s)}$
- d) Velocidad del viaje: $V = \frac{D}{T} \simeq 2.19 \cdot 10^{17} \text{ (km/s)}$

Futurama: ¡14000 millones de años-luz en 1 semana!

- a) Velocidad de la luz: $c = 3 \cdot 10^5 \text{ (km/s)}$
- b) Distancia recorrida: $D = 2 \cdot 14000 \text{ (m.a.l.)} \simeq 2.65 \cdot 10^{23} \text{ (km)}$
- c) Tiempo de viaje: $T = 6.05 \cdot 10^5 \text{ (s)}$
- d) Velocidad del viaje: $V = \frac{D}{T} \simeq 2.19 \cdot 10^{17} \text{ (km/s)}$

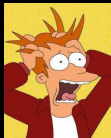


¡Han viajado a una velocidad superior a la de la luz!

¡ $V \gg c$!

Futurama: ¡14000 millones de años-luz en 1 semana!

- a) Velocidad de la luz: $c = 3 \cdot 10^5 \text{ (km/s)}$
- b) Distancia recorrida: $D = 2 \cdot 14000 \text{ (m.a.l.)} \simeq 2.65 \cdot 10^{23} \text{ (km)}$
- c) Tiempo de viaje: $T = 6.05 \cdot 10^5 \text{ (s)}$
- d) Velocidad del viaje: $V = \frac{D}{T} \simeq 2.19 \cdot 10^{17} \text{ (km/s)}$



¡Han viajado a una velocidad superior a la de la luz!

$$¡V \gg c!$$

No problem! En 2028 se incrementa la velocidad de la luz.



Relatividad

¡Aprovechemos para repasar
la *Relatividad ... Especial y
General!*

Relatividad

¡Aprovechemos para repasar
la *Relatividad ... Especial y
General!*



Pero antes ...

... tenemos que definir y recordar:

- 1) *Observador inercial*: observador que se mueve a velocidad constante (en adelante solo consideraremos estos observadores).
- 2) *Suceso*: algo que ocurre en un instante y lugar determinado (por ejemplo la emisión o recepción de un rayo de luz).

Relatividad Galileana vs. Einsteiniana

Según Galileo:

- 1) el tiempo, y el espacio para sucesos simultáneos (*longitudes*), son absolutos (independiente de quién lo mida).
- 2) el espacio es relativo para sucesos no simultáneos (depende de quién lo mide).
- 3) la inercia de un cuerpo es absoluta (solo depende de su masa).

Según Einstein:

- 1) el espacio y el tiempo son relativos (dependen de quién lo mide).
- 2) la inercia de un cuerpo es relativa (su masa depende de su energía).
- 3) la velocidad de la luz c es *absoluta* (e “irrebasable”).

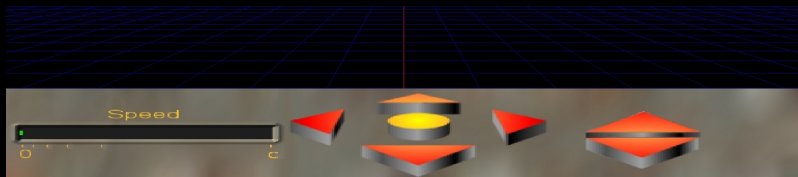
Relatividad Galileana

Si nos montamos en una nave a velocidad v ($\ll c$, Galileo \equiv Einstein), ¿cómo veríamos los objetos en reposo?

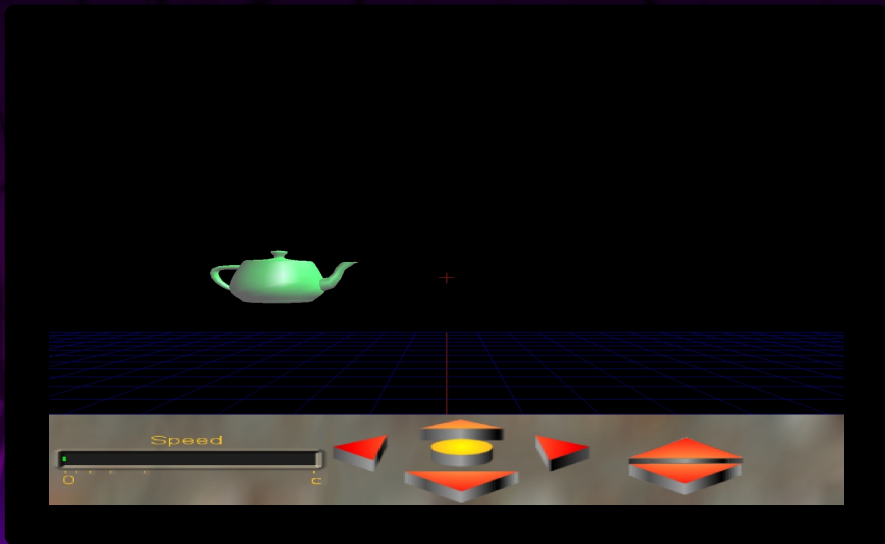


En la página web <http://www.adamauton.com/warp/> podemos encontrar un simulador, creado por Adam Auton, que nos puede servir para entender el comportamiento de la cinemática de los cuerpos.

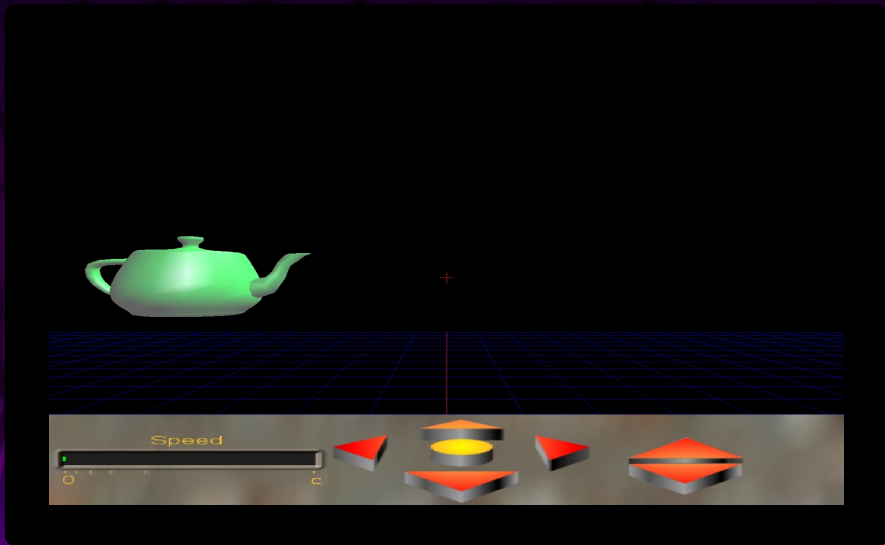
Relatividad Galileana



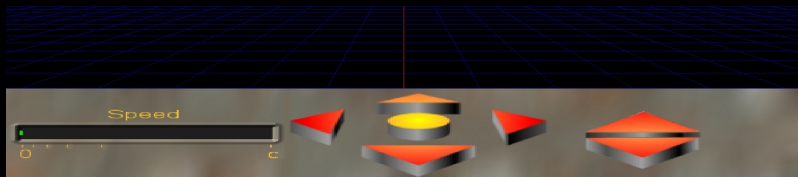
Relatividad Galileana



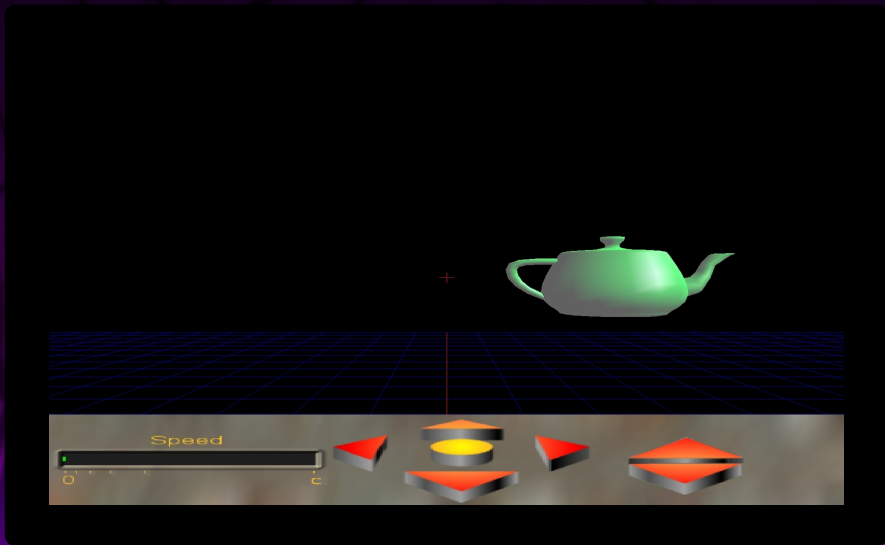
Relatividad Galileana



Relatividad Galileana



Relatividad Galileana



Relatividad Especial (contracción de longitudes)

¿Cómo se miden las longitudes? (sucesos simultáneos)

1) medimos en un detector dos rayos de luz simultáneos emitidos desde los extremos de un objeto de longitud L (foto instantánea).

2) para un objeto en reposo con respecto al detector: dos rayos de luz simultáneos con respecto al detector también lo son con respecto al objeto, salvo un tiempo L/c .

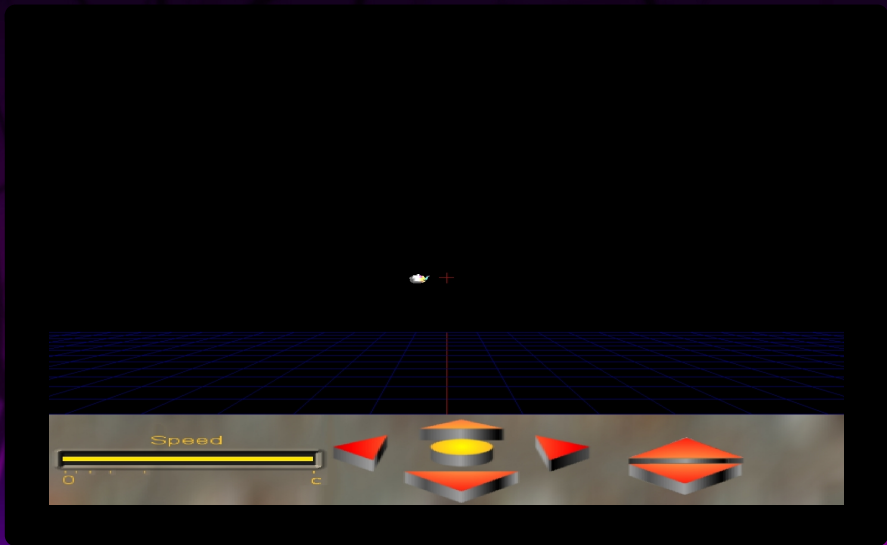
3) para un objeto en movimiento con respecto al detector: dos rayos de luz simultáneos con respecto al detector (salvo el lapso L/c) no lo son con respecto al objeto.

Consecuencias: la longitud de un objeto en reposo y en movimiento ¡es diferente!

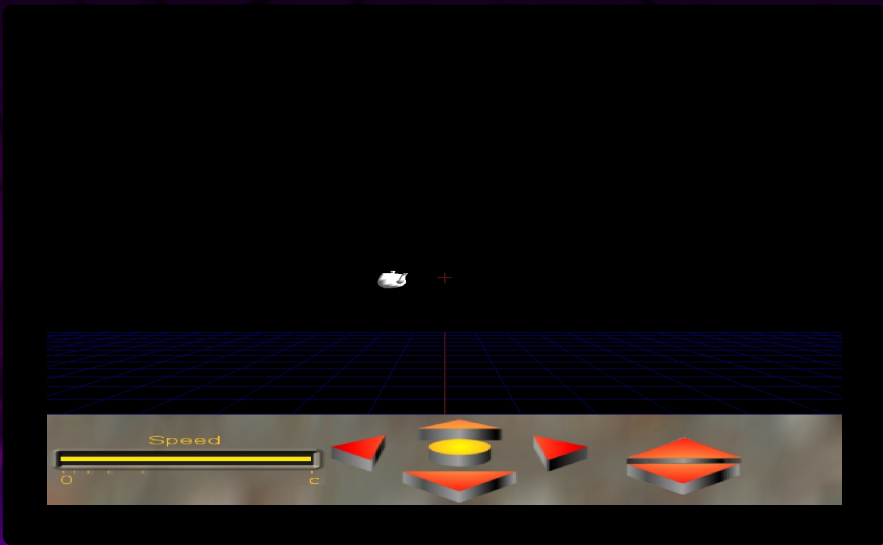
Si nos montamos en una nave a velocidad $v \sim c$,
¿cómo veríamos los objetos en reposo?



Relatividad Especial (contracción de longitudes)



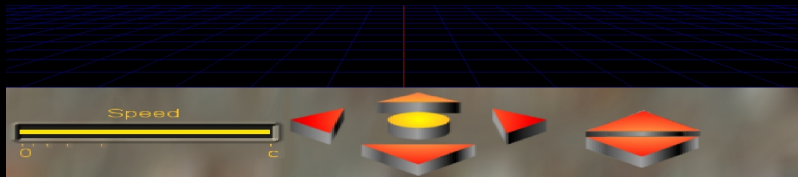
Relatividad Especial (contracción de longitudes)



Relatividad Especial (contracción de longitudes)



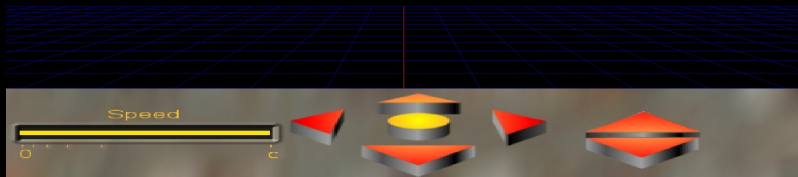
+



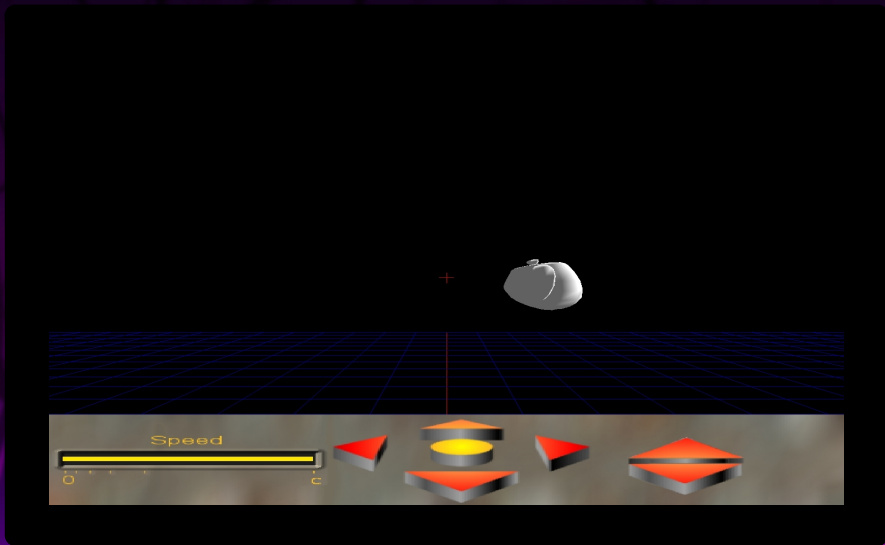
Relatividad Especial (contracción de longitudes)



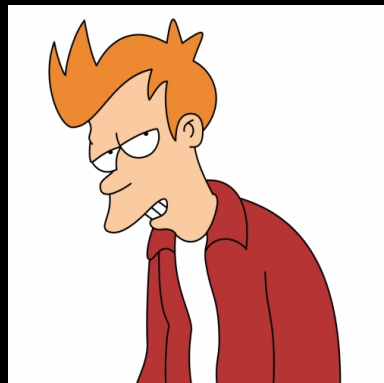
+



Relatividad Especial (contracción de longitudes)



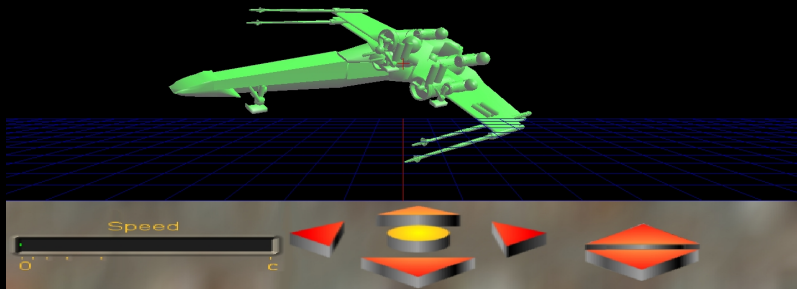
Relatividad (contracción de longitudes)



¿Y cómo veríamos la nave si nosotros fuéramos la tetera?



Relatividad Galileana



Relatividad Especial (contracción de longitudes)



Relatividad Especial (dilatación temporal)

¿Y qué pasa con la dilatación temporal? Podemos entenderlo con un experimento sencillo:

- 1) imaginemos dos naves que viajan a la misma velocidad y con la misma dirección por el espacio.
- 2) una dispara un rayo de luz hacia la otra de tal modo que rebota y vuelve a la primera nave.
- 3) consideremos, además, un observador colocado en un asteroide, en “reposo” con respecto a las naves.

Relatividad Especial (dilatación temporal)

¿Y qué pasa con la dilatación temporal? Podemos entenderlo con un experimento sencillo:

- 1) imaginemos dos naves que viajan a la misma velocidad y con la misma dirección por el espacio.
- 2) una dispara un rayo de luz hacia la otra de tal modo que rebota y vuelve a la primera nave.
- 3) consideremos, además, un observador colocado en un asteroide, en “reposo” con respecto a las naves.



<http://www.youtube.com/watch?v=KHjpBjgIMVk>

En resumen ...

... ¿qué está ocurriendo?:

- 1) medición de longitudes a través de *rayos* emitidos en puntos diferentes y recibidos simultáneamente.
- 2) el tiempo es medido con relojes que utilizan rayos de luz (interacciones electromagnéticas) para funcionar.

Conclusión: nuestro espacio y nuestro tiempo depende del observador.

Relatividad General

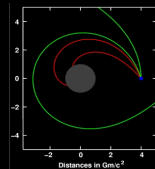
La Relatividad General es mucho más complicada:

- 1) descripción geométrica de la interacción gravitatoria satisfactoria (principio de equivalencia).
- 2) curvatura del espaciotiempo = energía contenida en el mismo.

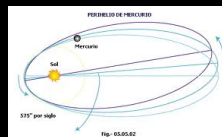
Aquí no vamos a explicar la Relatividad General, pero sí podemos resumir sus consecuencias.

Relatividad General (evidencias experimentales)

Deflexión de la luz cerca de objetos masivos: La trayectoria de un rayo de luz se curva al pasar cerca de un objeto masivo.



Variación del perihelio de Mercurio: La Relatividad General predice una variación con el tiempo del perihelio de una órbita. La gravedad Newtoniana dice que debe ser nula.

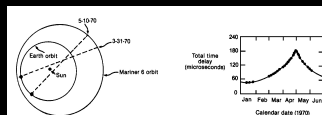


Dilatación gravitacional del tiempo: Los rayos de luz se desplazan con "dificultad" dentro de un campo gravitatorio. Los relojes funcionan más despacio.

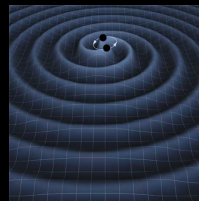


Relatividad General (evidencias experimentales)

Efecto Shapiro: Los rayos de luz se frenan en presencia de gravedad.



Ondas gravitatorias: La gravedad se puede comportar como una onda (Coalescencia de agujeros negros, sistemas binarios, ...)



Relatividad General

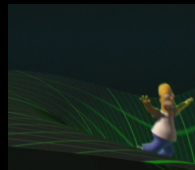
Agujeros
Negros:



Agujeros
Negros:
Futurama

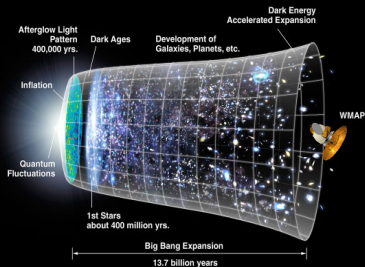


Agujeros negros: Los Simpson



Relatividad General: expansión del universo

Otro caso que la RG contempla y que es capaz de dar explicación es la expansión del universo...



... íntimamente relacionada con las siguientes series ...

The big bang theory



Capítulo nº 6 *El paradigma de la tierra media* de la 1ª temporada:

1) El personaje Sheldon va a una fiesta de disfraces de una manera muy peculiar ...

The big bang theory



Capítulo nº 6 *El paradigma de la tierra media* de la 1ª temporada:

1) El personaje Sheldon va a una fiesta de disfraces de una manera muy peculiar ...

Vídeo ...

<http://www.youtube.com/watch?v=J43IAESftPs&feature=related>

Efecto Doppler

El Efecto Doppler se define como ... *el cambio en la frecuencia de una onda para un observador en movimiento relativo respecto a la fuente emisora* ...



Si f_0 es la frecuencia de emisión, f la de recepción, v la velocidad de la onda en el medio, v_r la del receptor y v_f la velocidad de la fuente, entonces

$$f = \frac{v + v_r}{v + v_f} f_0.$$

Efecto Doppler: observaciones cotidianas

sirenas de los servicios de emergencias:

<http://www.youtube.com/watch?v=imoxDcn2Sgo>

Efecto Doppler: observaciones cotidianas

sirenas de los servicios de emergencias:

<http://www.youtube.com/watch?v=imoxDcn2Sgo>

Efecto Doppler: observaciones cotidianas

sirenas de los servicios de emergencias:

<http://www.youtube.com/watch?v=imoxDcn2Sgo>

carreras de Fórmula 1:

http://www.youtube.com/watch?v=fUuviW_BfUM&feature=related

Efecto Doppler: observaciones cotidianas

sirenas de los servicios de emergencias:

<http://www.youtube.com/watch?v=imoxDcn2Sgo>

carreras de Fórmula 1:

http://www.youtube.com/watch?v=fUuviW_BfUM&feature=related

Efecto Doppler: observaciones cotidianas

sirenas de los servicios de emergencias:

<http://www.youtube.com/watch?v=imoxDcn2Sgo>

carreras de Fórmula 1:

http://www.youtube.com/watch?v=fUuviW_BfUM&feature=related

una bicicleta:

http://www.youtube.com/watch?v=9jVIP_a-RM8

Efecto Doppler: observaciones cotidianas

sirenas de los servicios de emergencias:

<http://www.youtube.com/watch?v=imoxDcn2Sgo>

carreras de Fórmula 1:

http://www.youtube.com/watch?v=fUuviW_BfUM&feature=related

una bicicleta:

http://www.youtube.com/watch?v=9jVIP_a-RM8

Efecto Doppler: futura campaña de la DGT



... Si esta pegatina está azul, entonces estás conduciendo demasiado rápido ...

Nota: *American Physical Society* es la asociación fundadora de la revista *Physical Review*, donde publicamos muchos de nuestros resultados ... (cortesía de Dani Martín. No confundir con el de *El Canto del Loco*.)

Efecto Doppler en astronomía y cosmología

La interacción gravitatoria es responsable de:

1) desplazamiento al rojo gravitacional: un rayo de luz que se adentra en un campo gravitatorio sufre un desplazamiento hacia el azul (en frecuencias). Si se aleja, el desplazamiento es hacia el rojo.

$$\Delta f = \frac{GMf}{c^2} \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right)$$

2) desplazamiento al rojo cosmológico: un rayo de luz viajando por el universo sufre un desplazamiento al rojo debido a la expansión del espaciotiempo. (El desplazamiento sería al azul en caso de contracción)

$$\Delta f = -f \left(\frac{a(t_2) - a(t_1)}{a(t_1)} \right)$$

La hora de José Mota



Capítulo 10 de la 2^a temporada:

1) Uno de sus personajes, Blasa, una científica de prestigio internacional, nos cuenta su teoría sobre el universo.

La hora de José Mota



Capítulo 10 de la 2^a temporada:

1) Uno de sus personajes, Blasa, una científica de prestigio internacional, nos cuenta su teoría sobre el universo.

Vídeo ...

<http://www.rtve.es/mediateca/videos/20100320/hora-jose-mota--blasa-punset/724695.shtml>

Universo en expansión: orígenes

- 1) en 1912 Vesto Slipher mide el primer desplazamiento al rojo de una nebulosa. En poco tiempo se observa lo mismo en la mayoría de ellas.
- 2) 1922 es el año en que Alexander Friedmann deriva (desde la RG) las ecuaciones del universo, mostrando que *no* es estático (contrariamente a lo que se pensaba).
- 3) Georges Lemaître, en 1927, sugiere que esas observaciones son consecuencia de la expansión del universo deducida por Friedmann; y que, si uno invierte el tiempo, todo el universo debió estar concentrado en una región de volumen *física* nulo (*Big Bang*).



Medida auxiliar (sistema coordenado) \Rightarrow



\times $\underbrace{a(t)}_{\text{factor escala}}$

Medida *física*

- 4) Edwin Hubble anuncia su ley en 1929.

Universo en expansión: orígenes

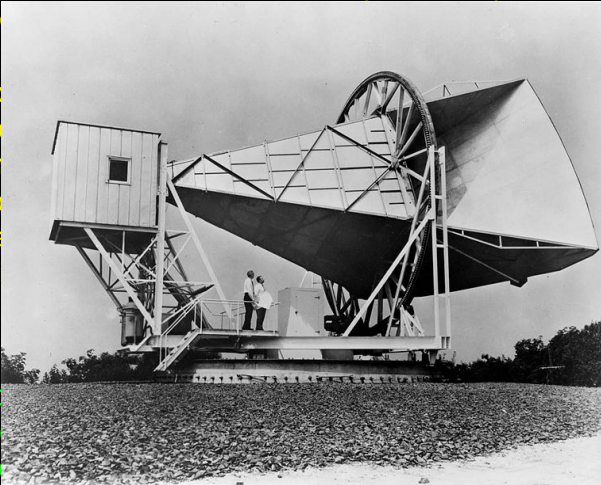
- 5) Hermann Bondi, Thomas Gold y Fred Hoyle en 1948 proponen la *teoría del estado estacionario*: el universo tiene la misma apariencia desde todo punto del espacio y del tiempo. Requisito: creación de materia de forma continua para compensar la disminución de la densidad debido a la expansión. Desafortunadamente ninguna evidencia experimental ha podido probar esta propuesta.
- 6) George Gamow, y sus colaboradores Ralph Alpher y Robert Herman, en ese mismo año, introducen la *nucleosíntesis primordial* y predicen la *radiación de fondo de microondas*.
- 7) el fondo cósmico de microondas es observado accidentalmente en 1964 por Arno Penzias y Robert Wilson.

El modelo de Big Bang es aceptado como candidato a explicar el origen del universo.



Universo en expansión: orígenes

5) Hermann Bondi, Thomas Gold y Fred Hoyle en 1948 proponen la *teoría del Big Bang* que describe la misma aparición y evolución del universo desde la creación hasta el presente. Requisito: el universo debe estar en expansión. Fue respaldado por las observaciones de Edwin Hubble y otros. Fue respaldado por las observaciones de las fluctuaciones del fondo cósmico de microondas descubiertas por Arno Penzias y Robert Wilson.



El modelo del Big Bang describe el origen y evolución del universo desde la creación hasta el presente.

Universo en expansión: fondo cósmico de microondas

El fondo cósmico de microondas es una radiación con unas características especiales:

- 1) su contribución principal se encuentra en el rango de las microondas (160.2 GHz ó 1.9 mm)
- 2) proviene de todas las direcciones *casi* de la misma manera.
- 3) existen pequeñas anisotropías e inhomogeneidades. Actualmente se interpretan como pequeñas fluctuaciones de origen cuántico.
- 4) esas leves modificaciones se ajustan muy bien a las predicciones del modelo de Big Bang.

La hora de José Mota



Capítulo 2 de la 2^a temporada:

1) Como no sabemos aún mucho sobre física cuántica, dejemos que Blasa nos haga un pequeño resumen ...

La hora de José Mota



Capítulo 2 de la 2^a temporada:

1) Como no sabemos aún mucho sobre física cuántica, dejemos que Blasa nos haga un pequeño resumen ...

Vídeo ...

<http://www.rtve.es/mediateca/videos/20100125/hora-jose-mota-redes-blasa/676501.shtml>

Física cuántica: Descripción microscópica

- 1) Max Planck en 1900 hace la siguiente hipótesis mientras estudiaba la radiación del **cuerpo negro**: la energía es absorbida y radiada en **cuantos** o **paquetes de energía**: $E = h\nu$, siendo $h = 6.62606896(33) \times 10^{-34} (Js)$ la constante de Planck.
- 2) En 1905 Albert Einstein propone la dualidad onda-partícula de la luz para dar explicación al **efecto fotoeléctrico**.
- 3) A partir de este momento se estudia la anomalía del calor específico de los sólidos, el átomo de hidrógeno, espectros de rotación y vibración de moléculas, el spin de los electrones, ...

Física cuántica: Descripción microscópica

4) 1924 es el año en que Louis de Broglie propone la misma dualidad para la materia.

<http://www.youtube.com/watch?v=DfPeprQ7oGc>

Física cuántica: Descripción microscópica

4) 1924 es el año en que Louis de Broglie propone la misma dualidad para la materia.

<http://www.youtube.com/watch?v=DfPeprQ7oGc>

Física cuántica: Descripción microscópica

4) 1924 es el año en que Louis de Broglie propone la misma dualidad para la materia.

<http://www.youtube.com/watch?v=DfPeprQ7oGc>

5) Erwin Schrödinger formula una ecuación de movimiento para las ondas materiales en 1925.

6) En 1927 Werner Heisenberg desarrolla el *Principio de Incertidumbre*.

7) En ese mismo año se da la interpretación de Copenhague.

Física cuántica: Descripción microscópica

4) 1924 es el año en que Louis de Broglie propone la misma dualidad para la materia.

<http://www.youtube.com/watch?v=DfPeprQ7oGc>

5) Erwin Schrödinger formula una ecuación de movimiento para las ondas materiales en 1925.

6) En 1927 Werner Heisenberg desarrolla el *Principio de Incertidumbre*.

7) En ese mismo año se da la interpretación de Copenhague.

Sistemas cuánticos

1) Oscilador armónico: estados de energía definida.

Creado por Paul Falstad: <http://www.falstad.com/qm1d/>

Sistemas cuánticos

1) Oscilador armónico: estados de energía definida.

Creado por Paul Falstad: <http://www.falstad.com/qm1d/>

Sistemas cuánticos

2) Oscilador armónico: evolución.

Creado por Paul Falstad: <http://www.falstad.com/qm1d/>

Sistemas cuánticos

2) Oscilador armónico: evolución.

Creado por Paul Falstad: <http://www.falstad.com/qm1d/>

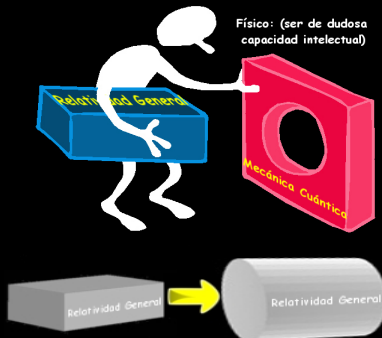
Relatividad General y Física Cuántica

¿Qué tiene que ver la física cuántica con “Gravedad y Cosmología”?

1) Todas las interacciones, salvo la gravedad, se pueden explicar a nivel cuántico.

2) La Relatividad General es una teoría *clásica*, siendo incompatible con la mecánica cuántica.

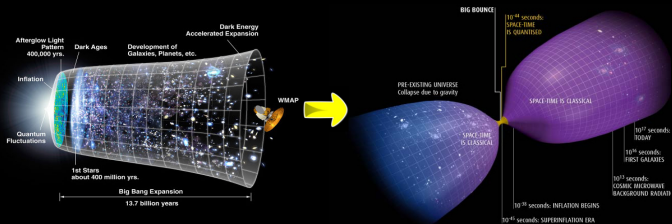
3) Existen actualmente varios formalismos candidatos que intentan resolver este “problema”: teoría de cuerdas, gravedad cuántica de lazos, ...



Relatividad General y Física Cuántica

¿A qué se podría dar explicación?

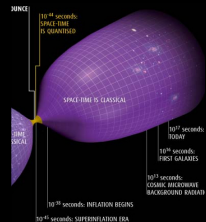
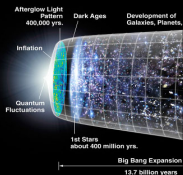
- 1) A algunas de las propiedades del fondo cósmico de microondas
- 2) Al origen del universo



Relatividad General y Física Cuántica

¿A qué se podría dar explicación?

- 1) A algunas de las propiedades del fondo cósmico de microondas
- 2) Al origen del universo



<http://www.rtve.es/mediateca/videos/20100315/hora-jose-mota--blasa-inmortalidad/719299.shtml>

En resumen

- 1) Hemos aprendido relatividad especial:
 - a) contracción de longitudes.
 - b) dilatación temporal.
- 2) Además se ha explicado la relatividad general.
- 3) Se ha entendido qué es el efecto Doppler.
- 4) Y gracias a él y a la relatividad general entendemos mejor la evolución y el origen del universo.
- 5) Blasa nos ha ayudado a explicar los principios de la mecánica cuántica ...
- 6) ...dando cabida a novedosos paradigmas que podrían ayudarnos a profundizar en el posible comportamiento que tuvo el universo en sus inicios.