



UNIVERSIDAD
DE GRANADA

FACULTAD DE FILOSOFÍA
Y LETRAS



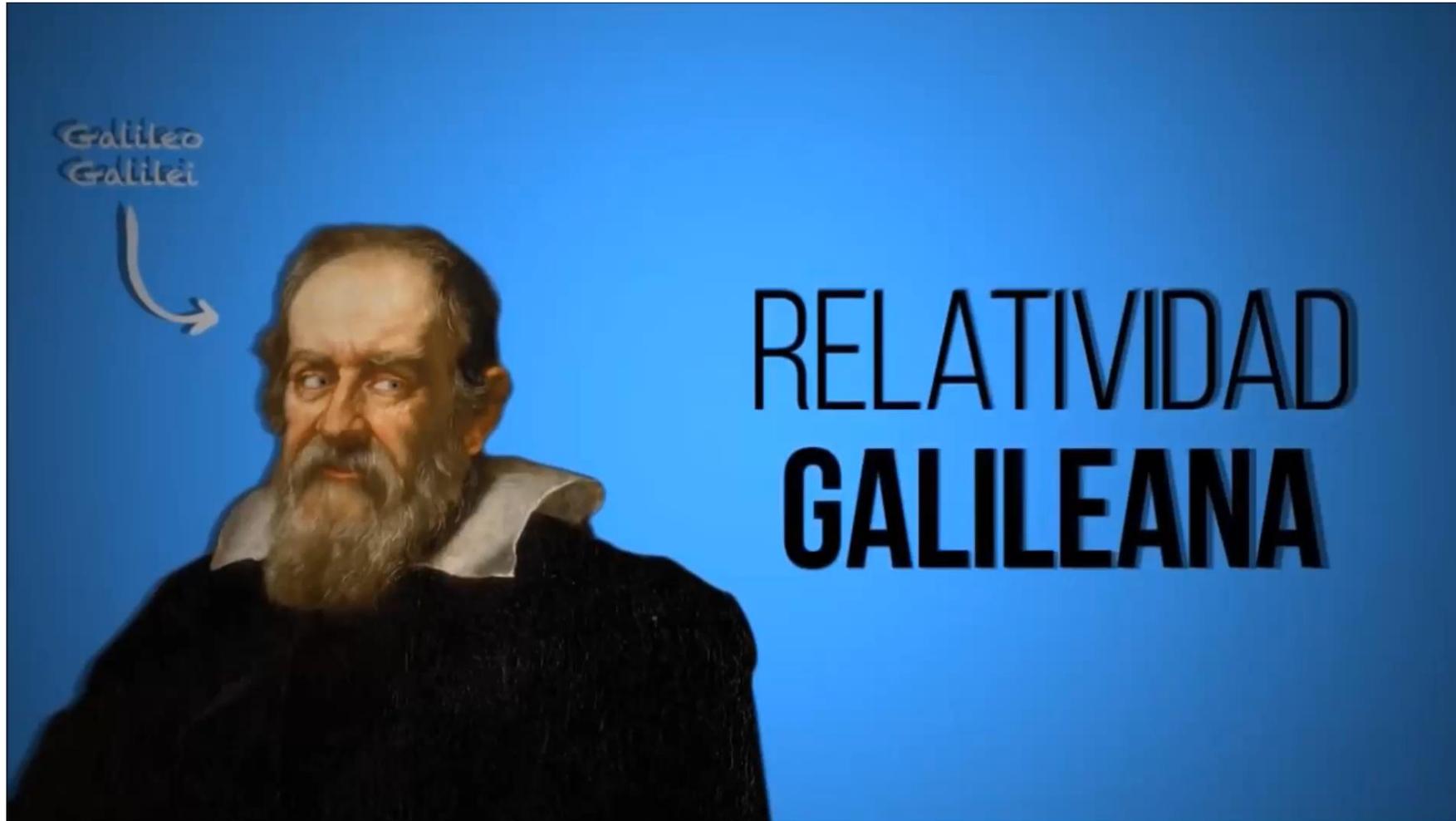
COSMOLOGÍA Y CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE LA FÍSICA CONTEMPORÁNEA

Teoría del conocimiento
Grado en Filosofía
Curso 2017-2018
Profesor de la asignatura: Miguel Moreno Muñoz

AUTORES:

Juan Luis Caler Gallardo
Juan Marcos Calet Machado
Manuel Julio J-Sanchís
Víctor Manuel Puertollano Afán de Rivera

Mecánica clásica

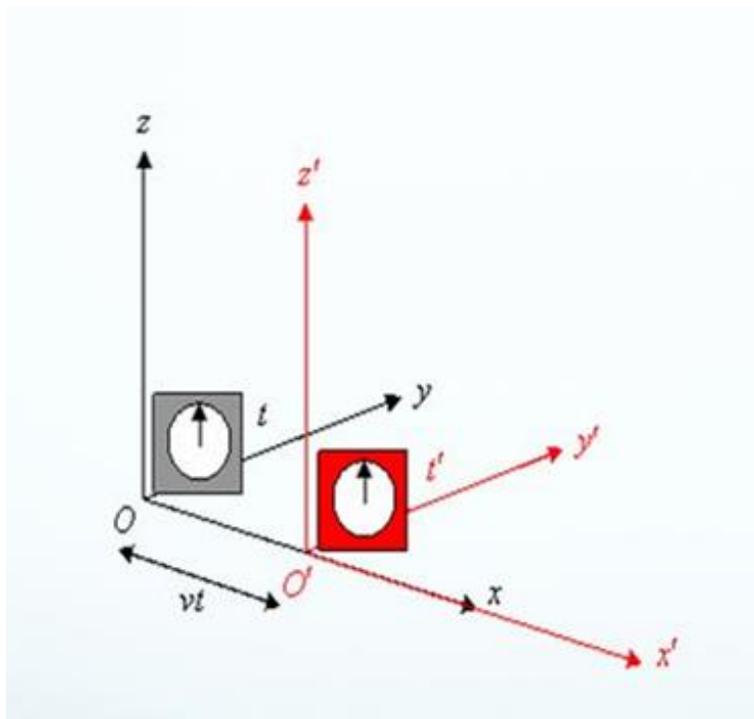


https://www.youtube.com/watch?v=-E_WOXNf_VI&index=2&list=PLOPFAG4mOJ11yefpxOd_wSvdBQMz6YIPcB

Ver desde 23s hasta 1m 31s

Mecánica clásica

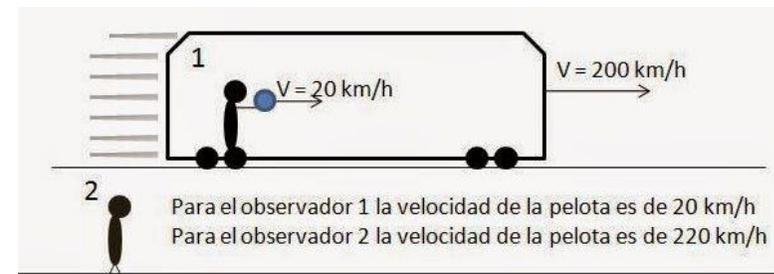
Sistemas de referencia inercial



Si K' es un sistema de coordenadas que se mueve uniformemente y sin rotación respecto a K , entonces los fenómenos naturales transcurren con respecto a K' **según idénticas leyes generales** que con respecto a K . Esta proposición es lo que llamaremos el "principio de relatividad" (en sentido restringido)

Adición de velocidades:

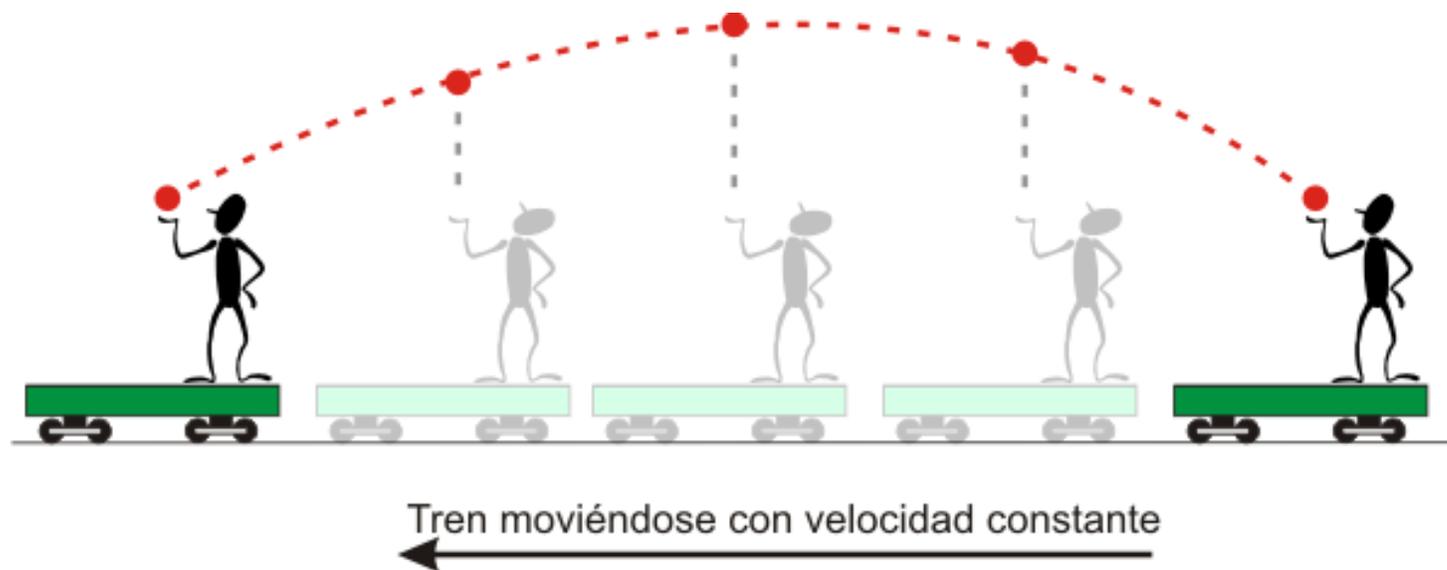
$$W = v + w$$



Mecánica clásica

Evidencia científica: la velocidad de la luz en el vacío es la misma independientemente del sistema de referencia elegido

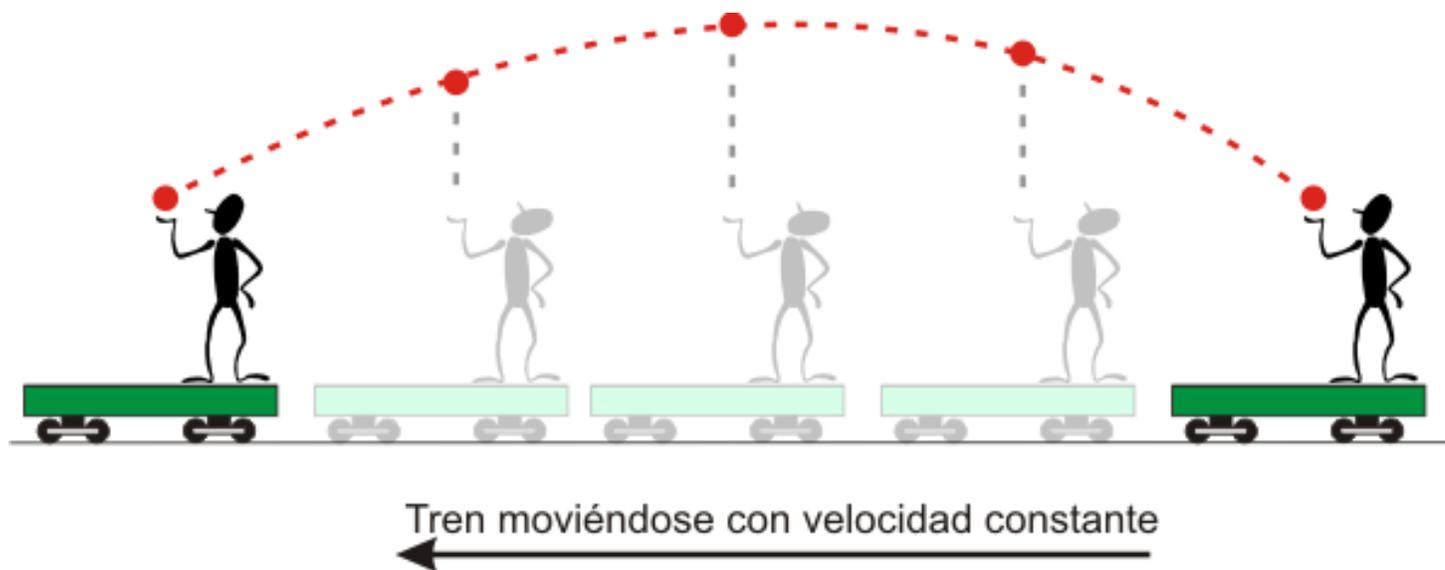
Mecánica clásica: si w es c y $v > 0$, entonces $W > c$
($W = v + w$)



Mecánica clásica

Evidencia científica: la velocidad de la luz en el vacío es la misma independientemente del sistema de referencia elegido

Mecánica clásica: si w es c y $v > 0$, entonces $W > c$
($W = v + w$)



Relatividad especial: constancia de la velocidad de la luz



<https://www.youtube.com/watch?v=OpVS6oxcFqU>

Ver desde 45s hasta 1m 1s

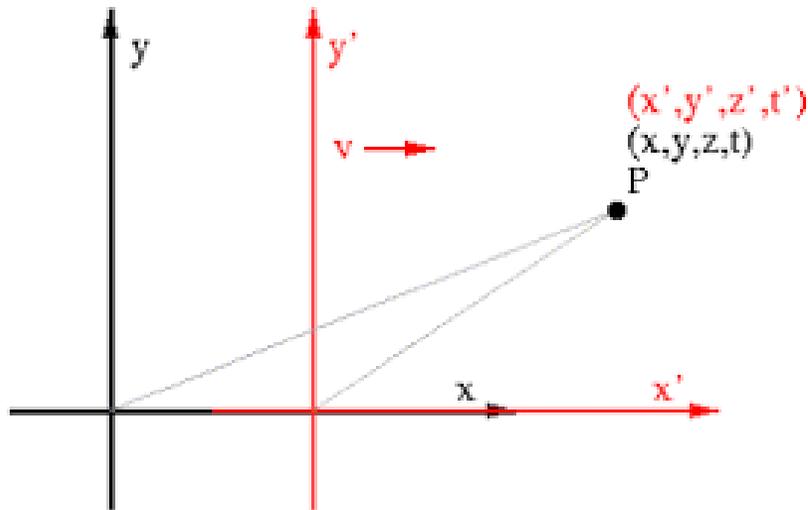
Relatividad especial: pero aparecen ciertas paradojas



<https://www.youtube.com/watch?v=SdWBw98DnI8>

Ver desde 0s hasta 1m 1s

Relatividad especial: transformaciones de Lorentz



$$\left. \begin{aligned}
 x' &= \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \\
 y' &= y \\
 z' &= z \\
 t' &= \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}
 \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \\ \\ \\ c \text{ velocidad límite} \end{array}$$

Distancias: La regla rígida en movimiento es más corta que la misma regla cuando está en estado de reposo, y es tanto más corta cuanto más rápidamente se mueva

Tiempos: en un reloj en movimiento el tiempo discurrirá más despacio que si estuviera en reposo, y discurrirá tanto más despacio cuanto más rápidamente se mueva

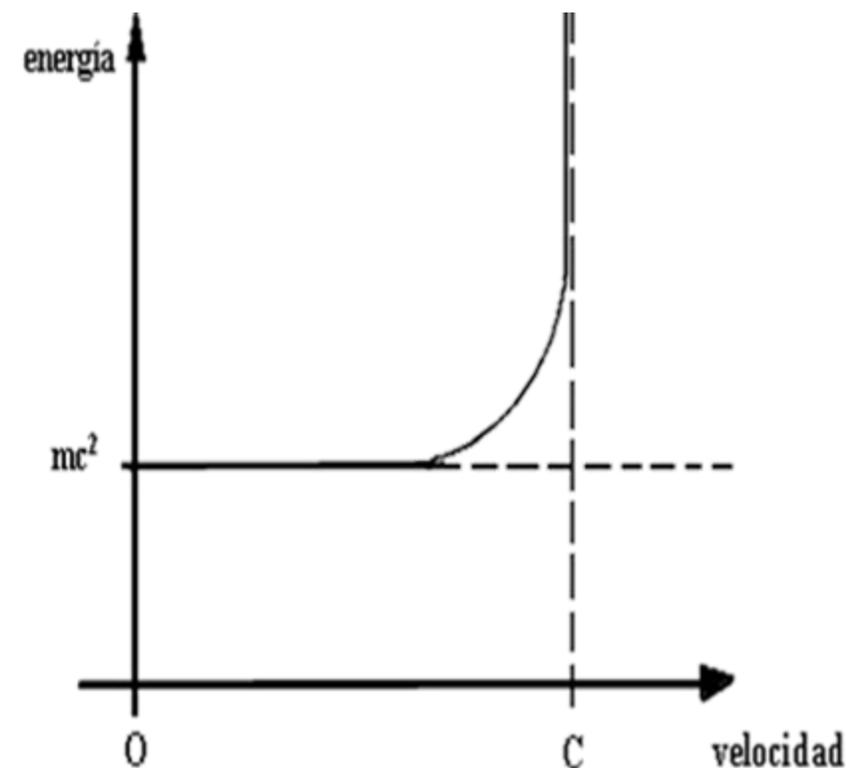
→ Contracción espacial

→ Dilatación temporal
(En la dirección del movimiento)

Relatividad especial: energía relativista

$$\text{Energía relativista} \rightarrow E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$\text{Energía en reposo} \rightarrow E_0 = m_0 c^2$$



Relatividad general: principio de equivalencia

- Reposo
- Velocidad constante
- Campo gravitatorio –
Aceleración

Indistinguibles

PRINCIPIO DE
EQUIVALENCIA

Nave que acelera un cuerpo hacia arriba

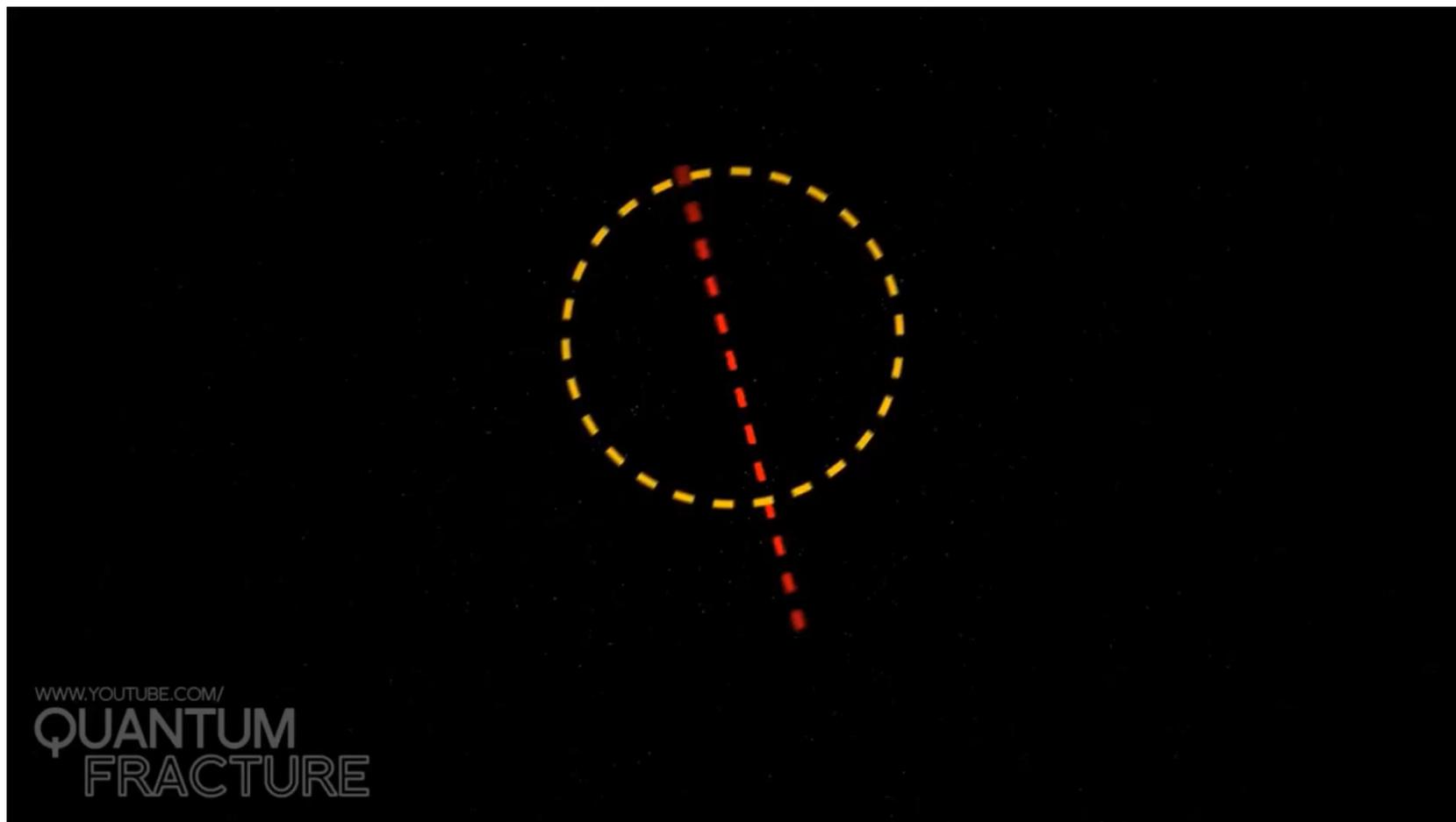


Cuerpo que cae bajo la acción de un
campo gravitatorio

¿Equivalentes S.R. en
reposo y acelerados?
Si lo fuesen las fuerzas
no tendrían ningún
papel y toda
aceleración
dependería del S.R.
escogido

Si descubrimos lo que sucede cuando un cuerpo se acelera, podremos explicar en qué consiste la gravedad

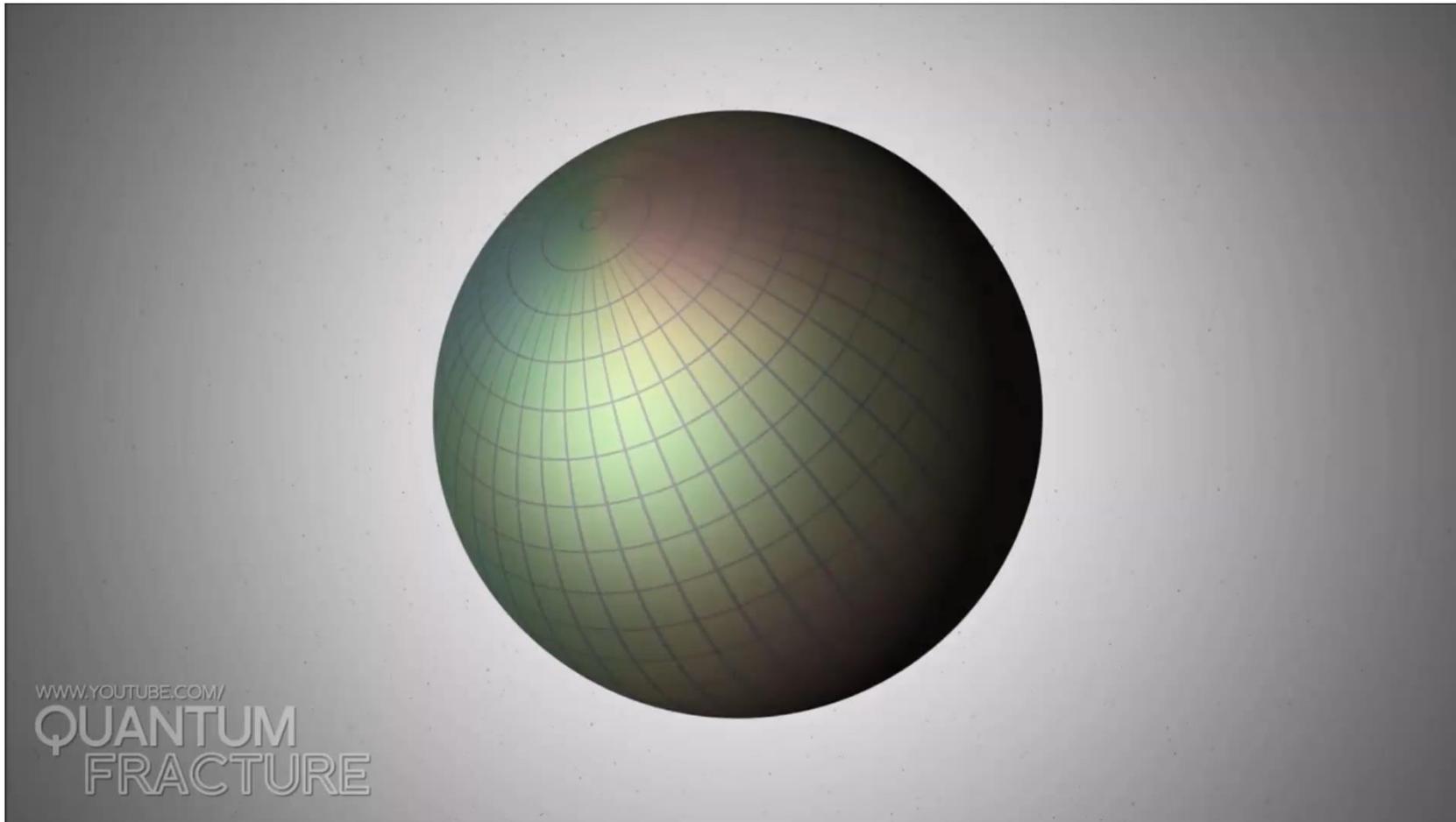
Relatividad general: curvatura espacio-tiempo



<https://www.youtube.com/watch?v=ESveYNa4OMk&list=PLOPFAG4mOJ10Ip3b63J3KseJEU4Uaf2Dr>

Ver desde 1m 2s hasta 1m 14s

Relatividad general: curvatura espacio-tiempo



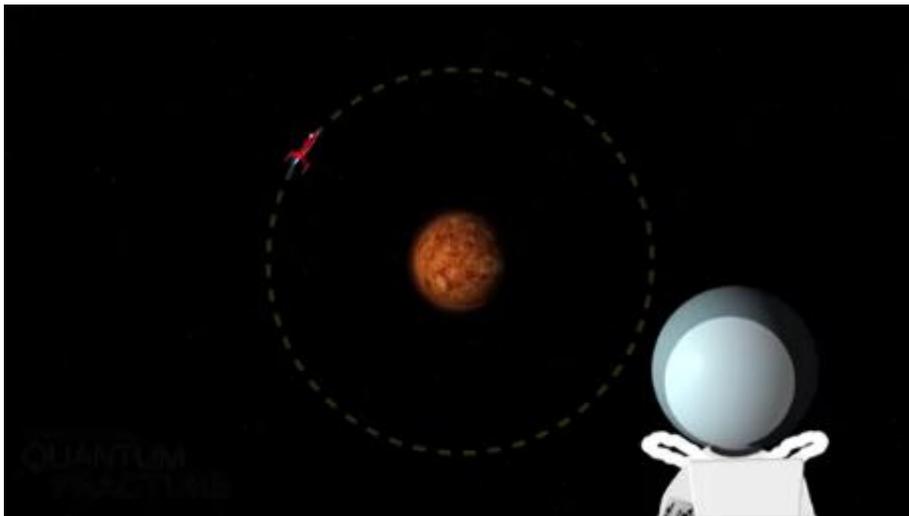
<https://www.youtube.com/watch?v=7vhc-hMWclY&list=PLOPF4g4mOJ10lp3b63J3KseJEU4Uaf2Dr&index=4>

Ver desde 6m 9s hasta 8m 43s

Relatividad general: curvatura espacio-tiempo

La gravedad (y la aceleración) es una consecuencia de la curvatura espacio-temporal

¿Pero qué causa esa curvatura?



Energía

$$\left(\begin{array}{l} \text{Energía relativista} \rightarrow E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \\ \text{Energía en reposo} \rightarrow E_0 = m_0 c^2 \end{array} \right)$$

Masa

Fuerzas fundamentales

Electrodébil

1. Gravitatoria: es la fuerza de menor intensidad. Actúa sobre todos los objetos con masa.
2. Electromagnética: segunda fuerza más intensa. Se da entre partículas con carga eléctrica.
3. Nuclear débil: interviene en la radiactividad y tiene gran importancia en la formación de los elementos de las estrellas y en el universo primitivo.
4. Nuclear fuerte: es la fuerza más intensa. Mantiene unidos los protones y los neutrones en el núcleo atómico, así como la cohesión interna de estos.

Modelo estándar

Modelo estándar

MODELO ESTÁNDAR DE FÍSICA DE PARTÍCULAS

Las tres generaciones de materia (Fermiones)

QUARKS

	Nombre Masa Carga Espín	ARRIBA 2.4 MeV 2/3 1/2		Nombre Masa Carga Espín	ENCANTO 1.27 GeV 2/3 1/2		Nombre Masa Carga Espín	CIMA 171.2 GeV 2/3 1/2
	Nombre Masa Carga Espín	ABAJO 4.8 MeV -1/3 1/2		Nombre Masa Carga Espín	EXTRAÑO 104 MeV -1/3 1/2		Nombre Masa Carga Espín	FONDO 4.2 GeV -1/3 1/2

LEPTONES

	Nombre Masa Carga Espín	NEUTRINO ELECTRÓNICO < 2.2 eV 0 1/2		Nombre Masa Carga Espín	NEUTRINO MUÓNICO < 0.17 MeV 0 1/2		Nombre Masa Carga Espín	NEUTRINO TAUÓNICO < 15.5 MeV 0 1/2
	Nombre Masa Carga Espín	ELECTRÓN 0.511 MeV -1 1/2		Nombre Masa Carga Espín	MUÓN 105.7 MeV -1 1/2		Nombre Masa Carga Espín	TAU 1.777 GeV -1 1/2

BOSONES (Fuerzas)

	Nombre Masa Carga Espín	FOTÓN 0 0 1		Nombre Masa Carga Espín	BOSON DE HIGGS 125 GeV 0 0
	Nombre Masa Carga Espín	GLUÓN 0 0 1		Nombre Masa Carga Espín	BOSON Z 91.2 GeV 0 1
	Nombre Masa Carga Espín	BOSON W 80.4 GeV ±1 1			

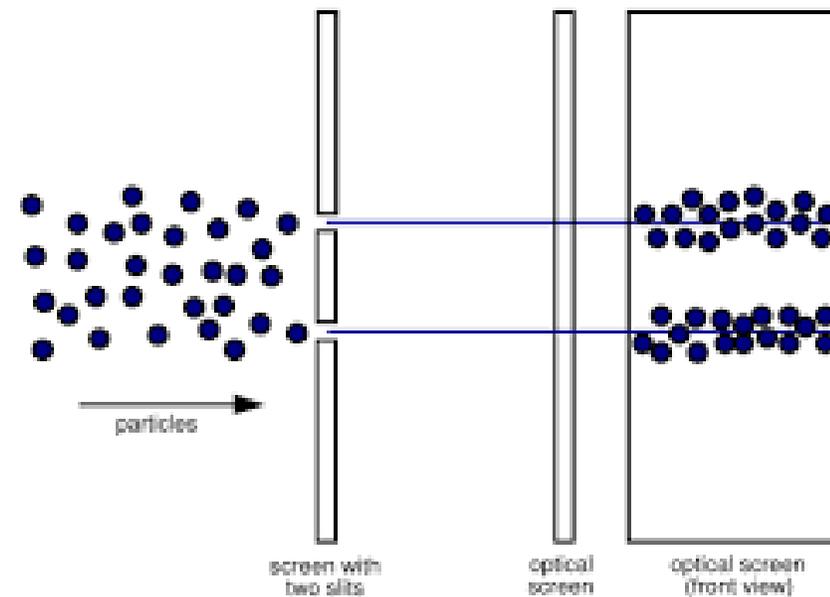
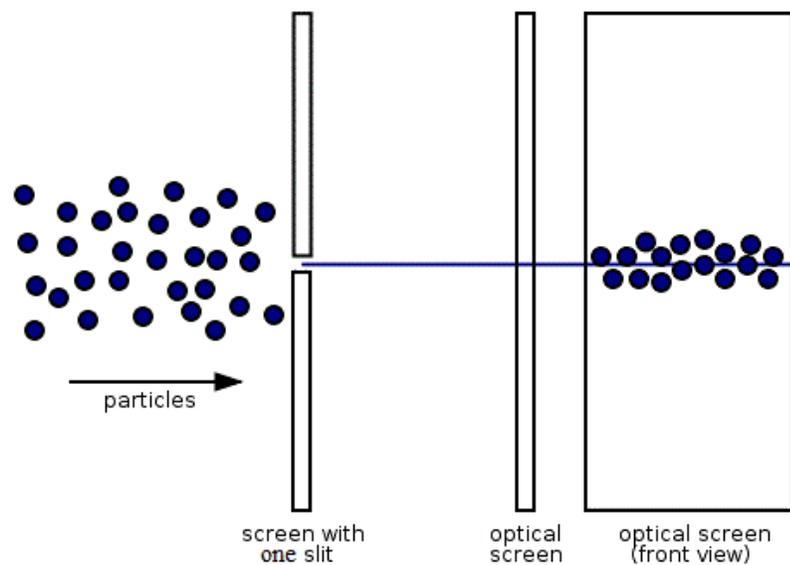
- Unifica las cuatro fuerzas, pero solo en tanto que relaciones de partículas.
- Electrodébil y nuclear fuerte.
- No gravitatoria en cuanto a ecuaciones.

Modelo estándar: 2 tipos de partículas elementales

- Fermiones: Quarks y leptones (espín no entero)
 - Quarks: Interactúan mediante la fuerza nuclear fuerte. Constituyen la materia bariónica. Gran importancia pues conforman los núcleos atómicos.
 - Leptones: No interactúan mediante la fuerza fuerte. Electrón y neutrinos.
- Bosones: encargados de transmitir la fuerza entre partículas.
 - Ejemplo de dos electrones se acercan intercambian un fotón. Colapsan dos agujeros negros transmiten la formación del campo a menor velocidad que luz. Onda gravitacional, gravitón.

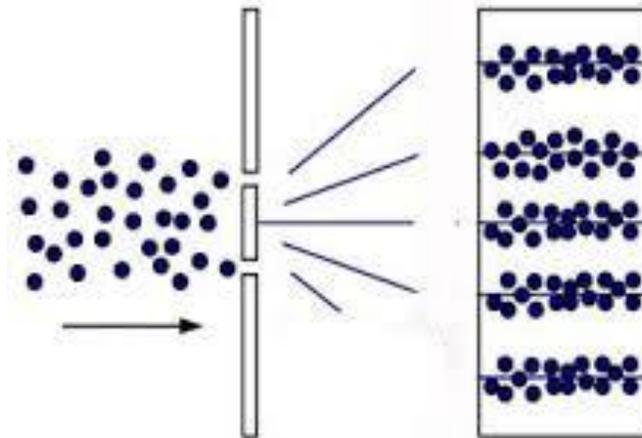
¿Entonces el Universo se compone de partículas?

Experimento de la doble banda



¿Entonces el Universo se compone de partículas?

- 1 A veces partícula y otras onda.
- 2 Detección determina el resultado.
- 3 Interferencia de la onda consigo misma (campo)



Principio de indeterminación

- Desarrollos matemáticos que lograran hacer predicciones: mecánica matricial y ecuación de onda. Tiene en cuenta los estados inicial y final de la partícula, pero es incapaz de hacer predicciones entre mediciones
- Hacer una medición en una partícula es saturar su función de onda (eliminar los números complejos). Entre mediciones la función no está saturada, por lo que no es posible conocer las propiedades de la partícula.

Principio de indeterminación: conclusiones

- La infinitud matricial y las variables imaginarias impiden conocer en todo momento las propiedades de una partícula.
- En concreto, el error en el momento lineal (velocidad para simplificar) y el error en la posición no pueden ser 0:

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$$

- Conclusión: no podemos conocer de forma absoluta el futuro.
- ¿Saturar la función de onda influye en los acontecimientos pasados?
- ¿Gato medio muerto?

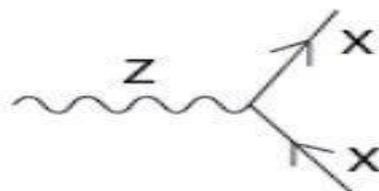
Diagramas de Feynmann

- Forma matemática de explicar teniendo en cuenta el principio de incertidumbre y la dualidad onda partícula, cómo interaccionan las partículas del modelo estándar. (Intercambio de bosón modelo estándar).
- Diferentes tipos de interacción entre partículas.
- La función de onda es la sumatoria infinita de los diagramas de Feynmann. (La partícula tiene una pequeña posibilidad de encontrarse en cualquier punto del universo).
- ¿Significa esto que la partícula toma todos los caminos posibles?
- ¿Una vez saturada la función el número de diagramas posible se reduce?

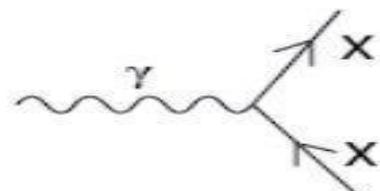
Diagramas de Feynmann



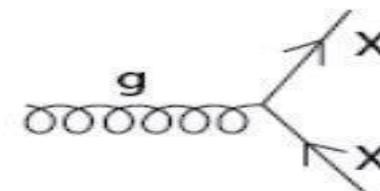
Standard Model Interactions (Forces Mediated by Gauge Bosons)



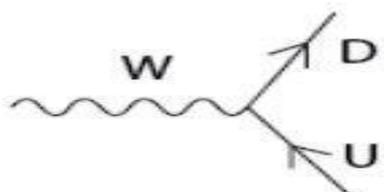
X is any fermion in the Standard Model.



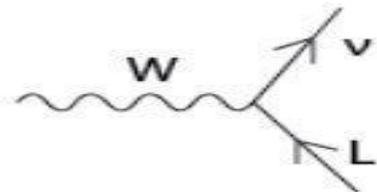
X is electrically charged.



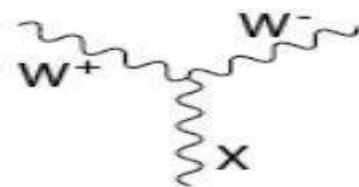
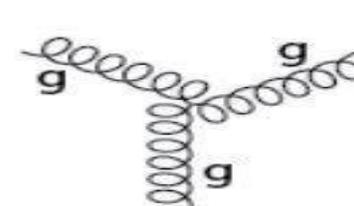
X is any quark.



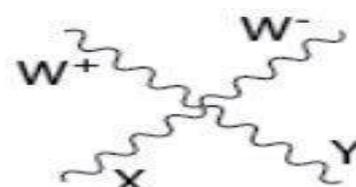
U is a up-type quark;
D is a down-type quark.



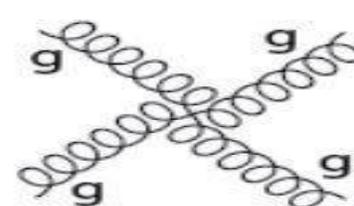
L is a lepton and ν is the corresponding neutrino.



X is a photon or Z-boson.



X and Y are any two electroweak bosons such that charge is conserved.



Del modelo estándar a la teoría del campo cuántico

¿Dónde nos lleva todo esto?

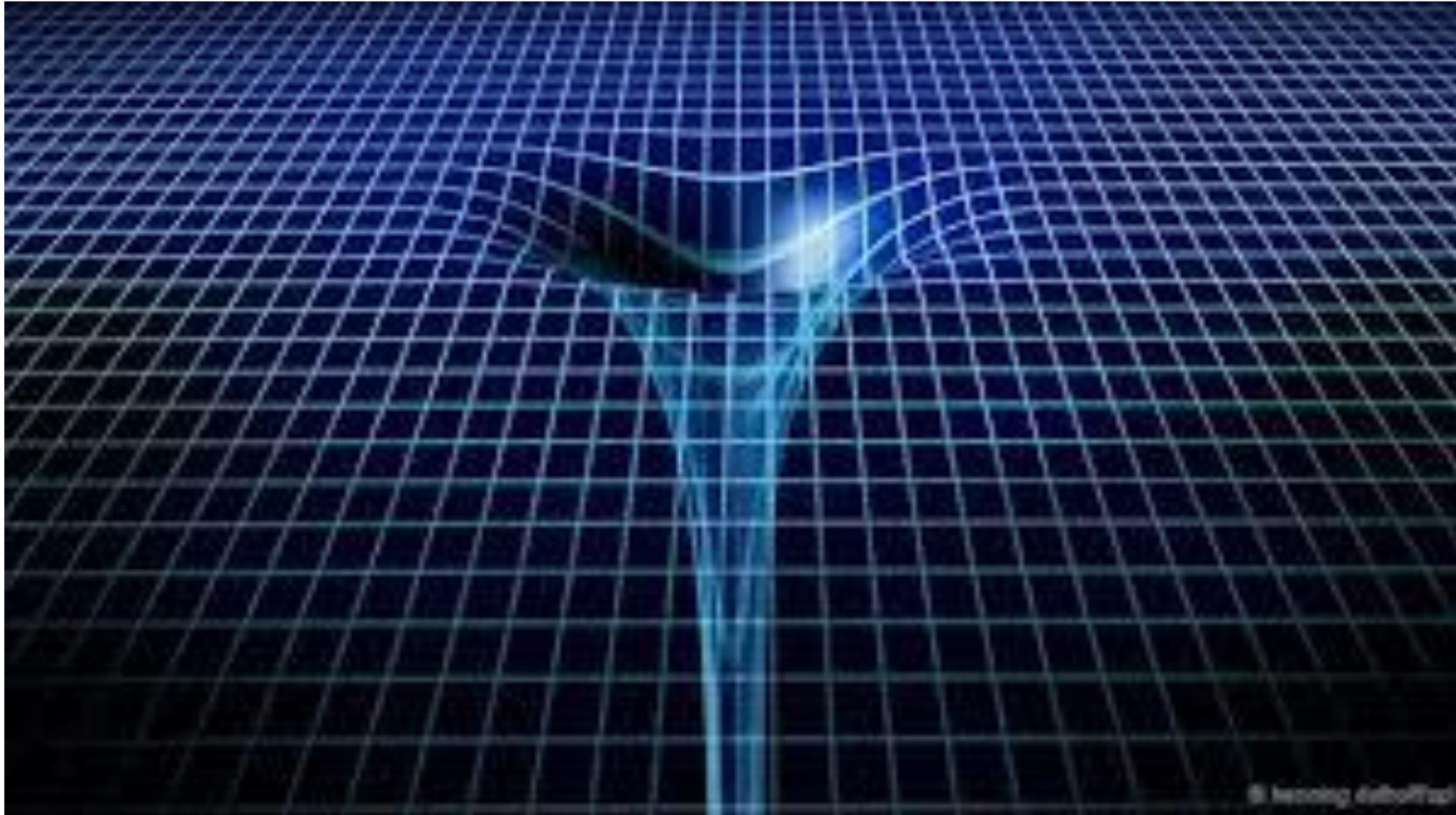
¿De qué se compone el universo que conocemos?

- Átomos.
- Partículas (protones, neutrones, electrones; fermiones y bosones... ¿?)
- ¿Ondas?

Campos cuánticos

- Campos que permean todo el espacio tiempo.
- Un campo por cada partícula del modelo estándar.
- El campo interfiere consigo mismo, una onda no (ver de nuevo doble banda).
- Todas las partículas son vibraciones en el mismo campo (tu materia y la mía... no son partículas diferentes y separadas.) (Por ello una partícula concreta según la función de onda puede encontrarse en cualquier parte del universo; quantum tunneling).
- Las variaciones en un campo no pueden transmitirse a mayor velocidad que la luz (ejemplo onda gravitacional).
- Quantum entanglement El potencial (valor) de un campo y la tasa de variación del potencial de un campo no pueden ser simultáneamente cero debido al principio de indeterminación. El campo siempre tiene un valor en todo punto del espacio tiempo. No hay espacio vacío ni cero absoluto.

Campos cuánticos



M. Estadística

- La Física Estadística como “puente”: Termodinámica y evidencias de la física cuántica.
- Boltzmann
- Entropía
- Leyes de la Termodinámica

Entropía

- Definición: Configuración de Estados



<https://www.youtube.com/watch?v=LetmPf0XLBk&t=47s>

Ver desde 44s hasta 1m 52s

Entropía

- Constante de Boltzmann: $S = K \text{ LOG } W \rightarrow$ Mide las configuraciones de un sistema aislado en equilibrio termodinámico. Relaciona los microestados del sistema con su estado macroscópico.
- 2ª Ley de la Termodinámica: La entropía siempre crece en sistemas aislados.

ENTROPIA



Entropía



La cantidad de
energía
del UNIVERSO
NUNCA CAMBIA

<https://www.youtube.com/watch?v=2mjv1DESrU>

Ver desde 1m 4s hasta 2m 51s

Entropía

- Constante de Boltzmann: $S = K \text{ LOG } W \rightarrow$ Mide las configuraciones de un sistema aislado en equilibrio termodinámico. Relaciona los microestados del sistema con su estado macroscópico.
- 2ª Ley de la Termodinámica: La entropía siempre crece en sistemas aislados.

Sin embargo, si esto es así: ¿porqué existen sistemas aislados como nosotros que permanecen ordenados?

Presente y futuro del Universo: ¿Qué es el Universo?

- La edad del universo es de 14 mil millones de años. Su tamaño observable es de 90 mil millones de años luz de diámetro, sin embargo, el universo en términos absolutos es probablemente infinito.



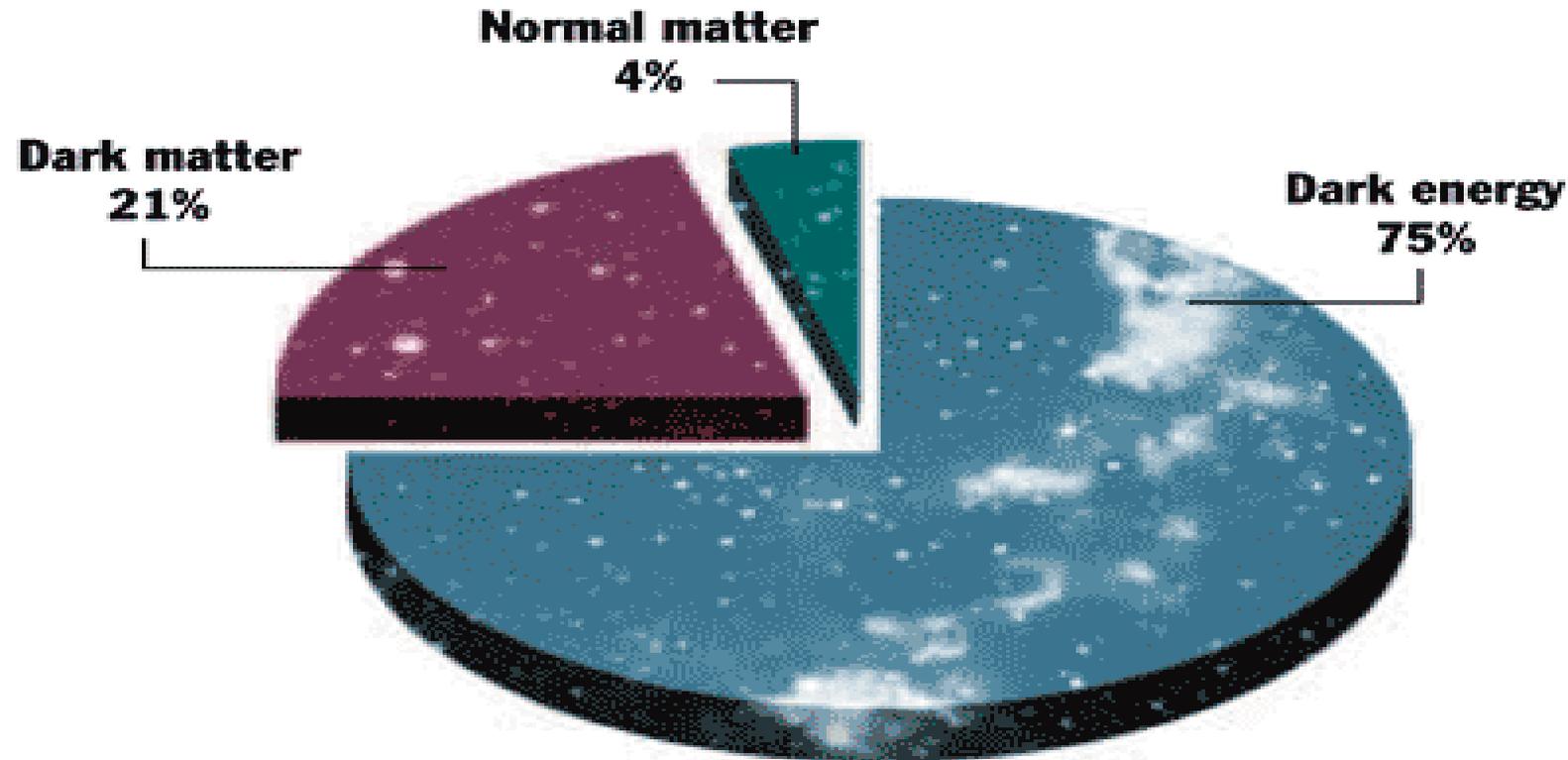
Presente y futuro del Universo: ¿Qué es el Universo?

- Formado por estructuras gigantescas llamadas “supercúmulos de galaxias” en los que cae casi toda la materia.

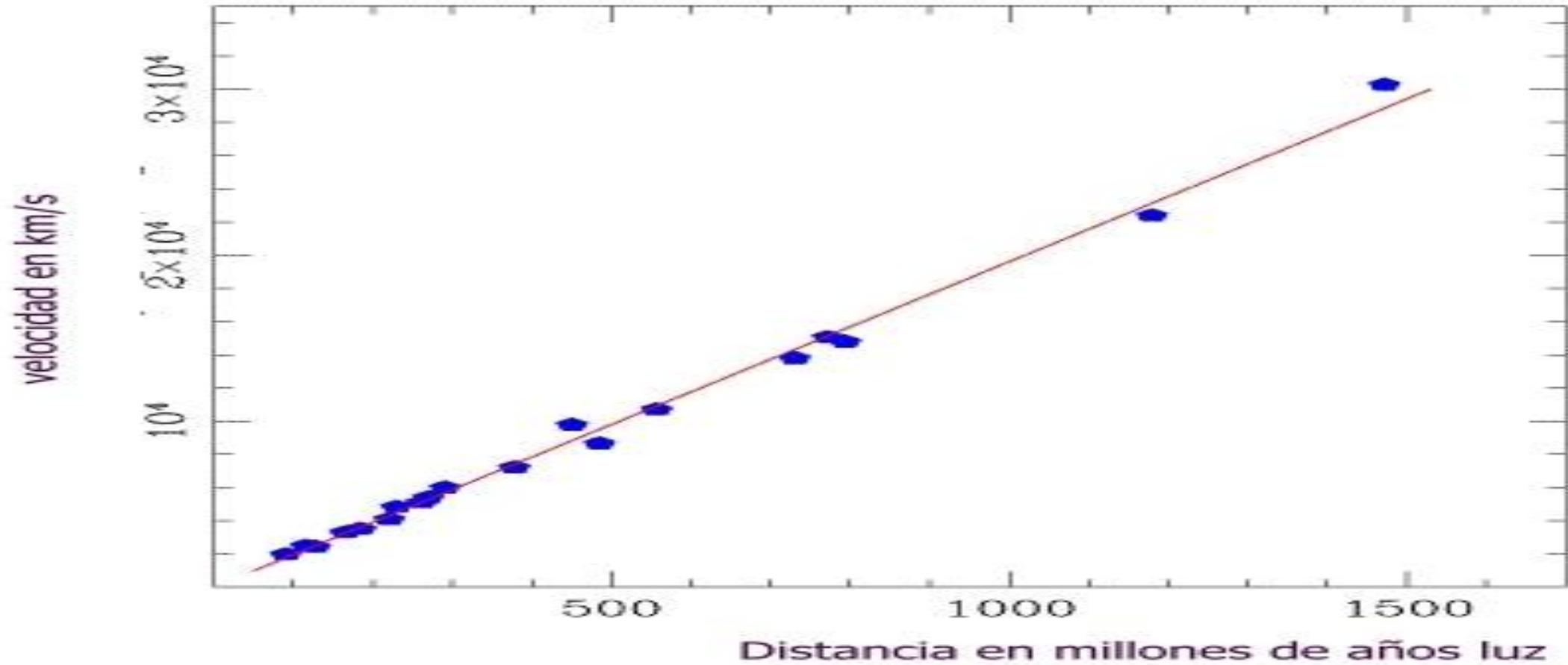


Presente y futuro del Universo: ¿Qué es el Universo?

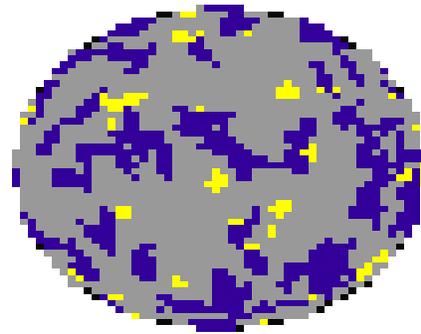
- El resto es materia-energía oscura, en cantidades mucho mayores.



Presente y futuro del Universo: La expansión del Universo



Presente y futuro del Universo: La expansión del Universo



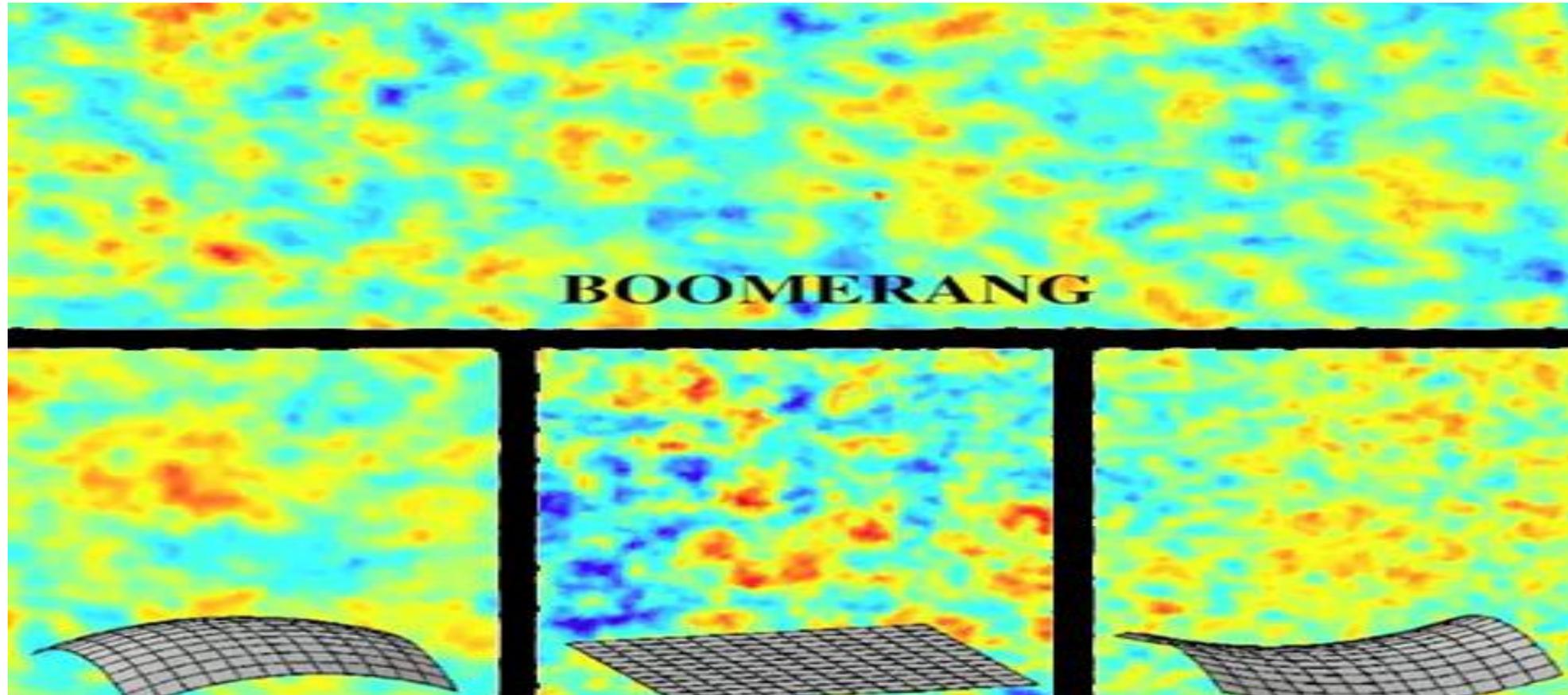
Presente y futuro del Universo: ¿Por qué el Universo se expande?

- La dinámica del universo está en su mayor parte determinada por su geometría, que está implicada por la cantidad y tipo de materia y energía que posee.
- Tipos:



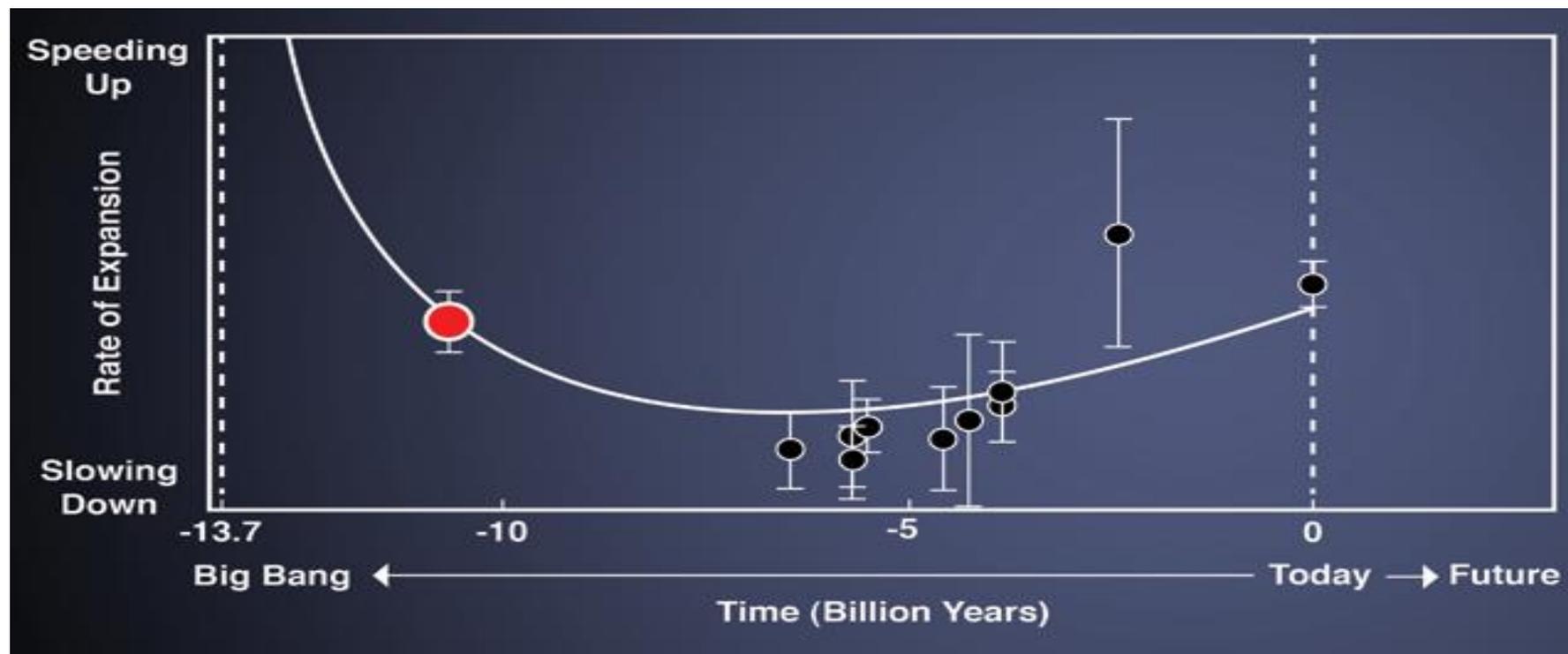
Presente y futuro del Universo: ¿Por qué el Universo se expande?

- El experimento boomerang:



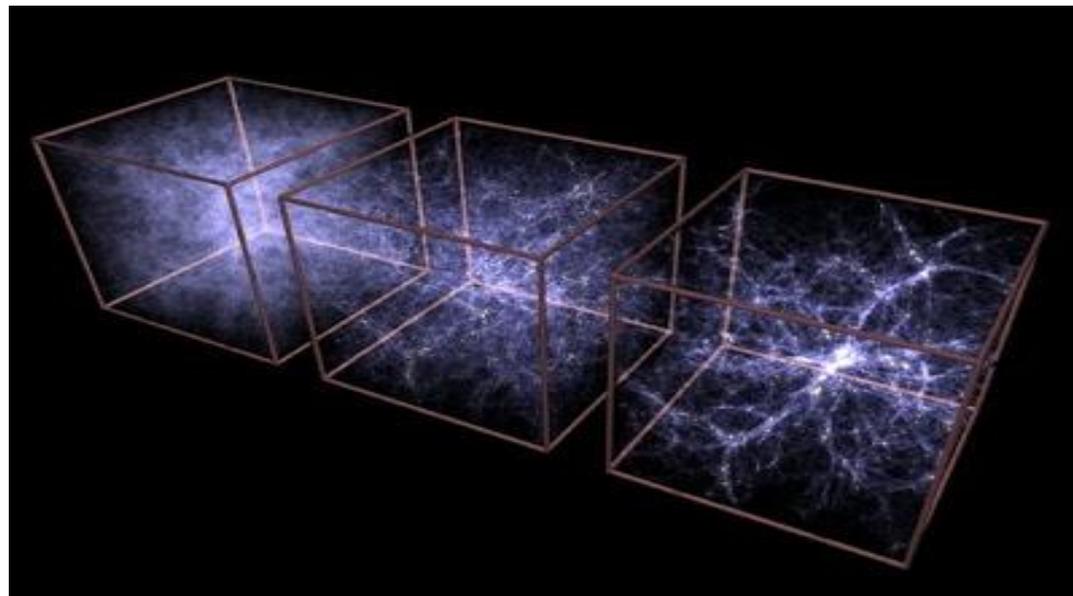
Presente y futuro del Universo: ¿Por qué el Universo se expande?

- También sabemos que la expansión del universo se acelera; estas dos evidencias nos llevan a un universo plano dominada por una cantidad ingente de energía oscura que en realidad es vacío.

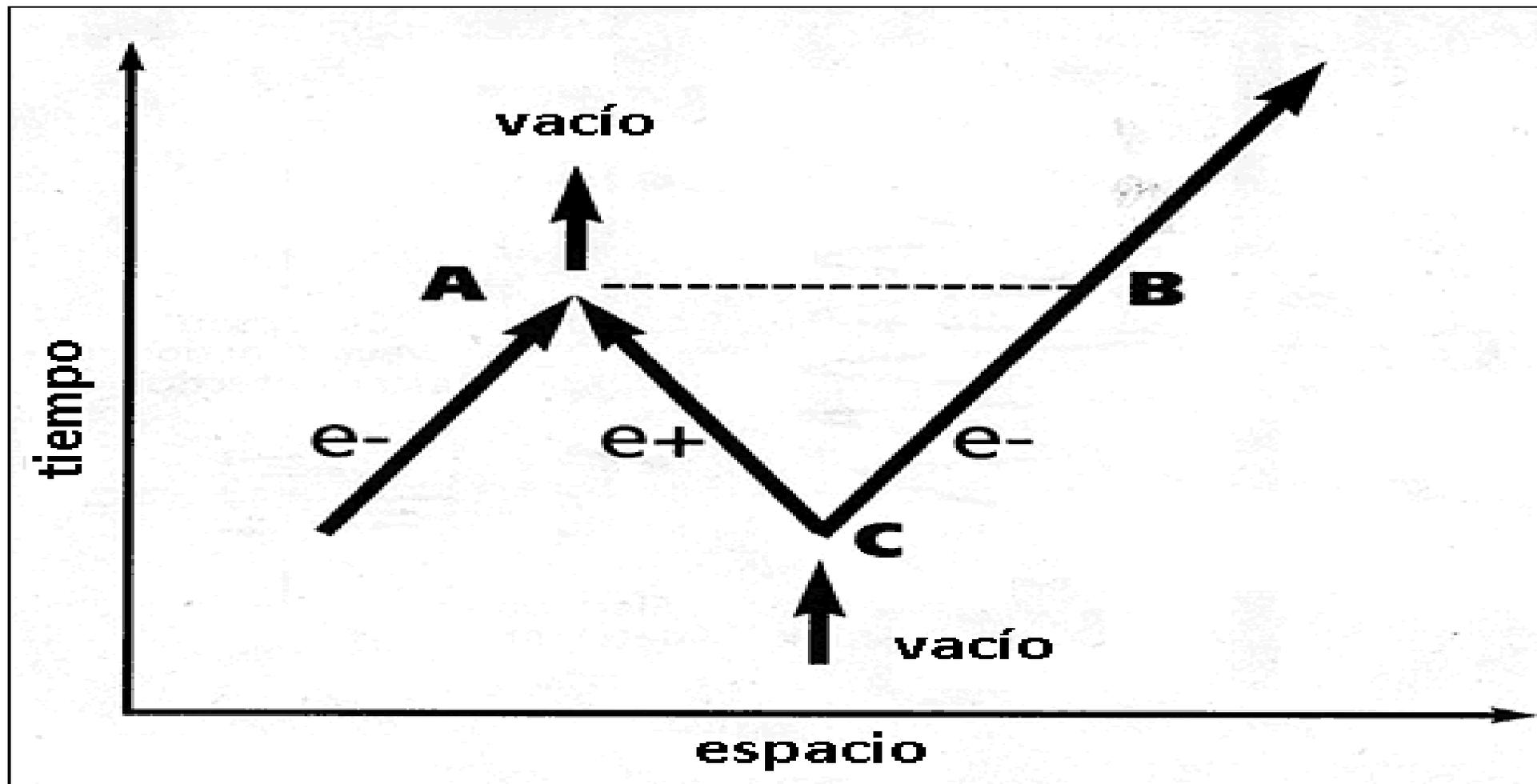


Presente y futuro del Universo: ¿Qué es la energía oscura?

- La energía oscura es el vacío, la nada, lo que pasa es que esta nada es continente de fluctuaciones cuánticas de partículas virtuales que son responsables de la mayor parte de energía y materia que existe. Ejerce una fuerza gravitacional repulsiva, responsable de la aceleración de la expansión.



Presente y futuro del Universo: ¿Qué es la energía oscura?



Presente y futuro del Universo: ¿Qué es la energía oscura?

- De acuerdo con la relatividad general, la presión de una sustancia contribuye a su atracción gravitacional sobre otras cosas igual que hace su masa.
- Si la sustancia es de presión negativa entonces su efecto es una repulsión gravitacional. Si el efecto gravitacional repulsivo de la presión negativa de la energía oscura es mayor que la atracción gravitacional causada por la propia energía, resulta una expansión del tipo que se ha observado.
- Su presión negativa es causa de que la densidad energética del vacío no varíe.

Origen del Universo

- La era de Planck ($t < 10^{-43}$ s). Teoría unificada. El espacio tiempo es una realidad burbujeante y dinámica.



Origen del Universo

- El inicio, $t = 0$. Hacia la singularidad y la incognoscibilidad.

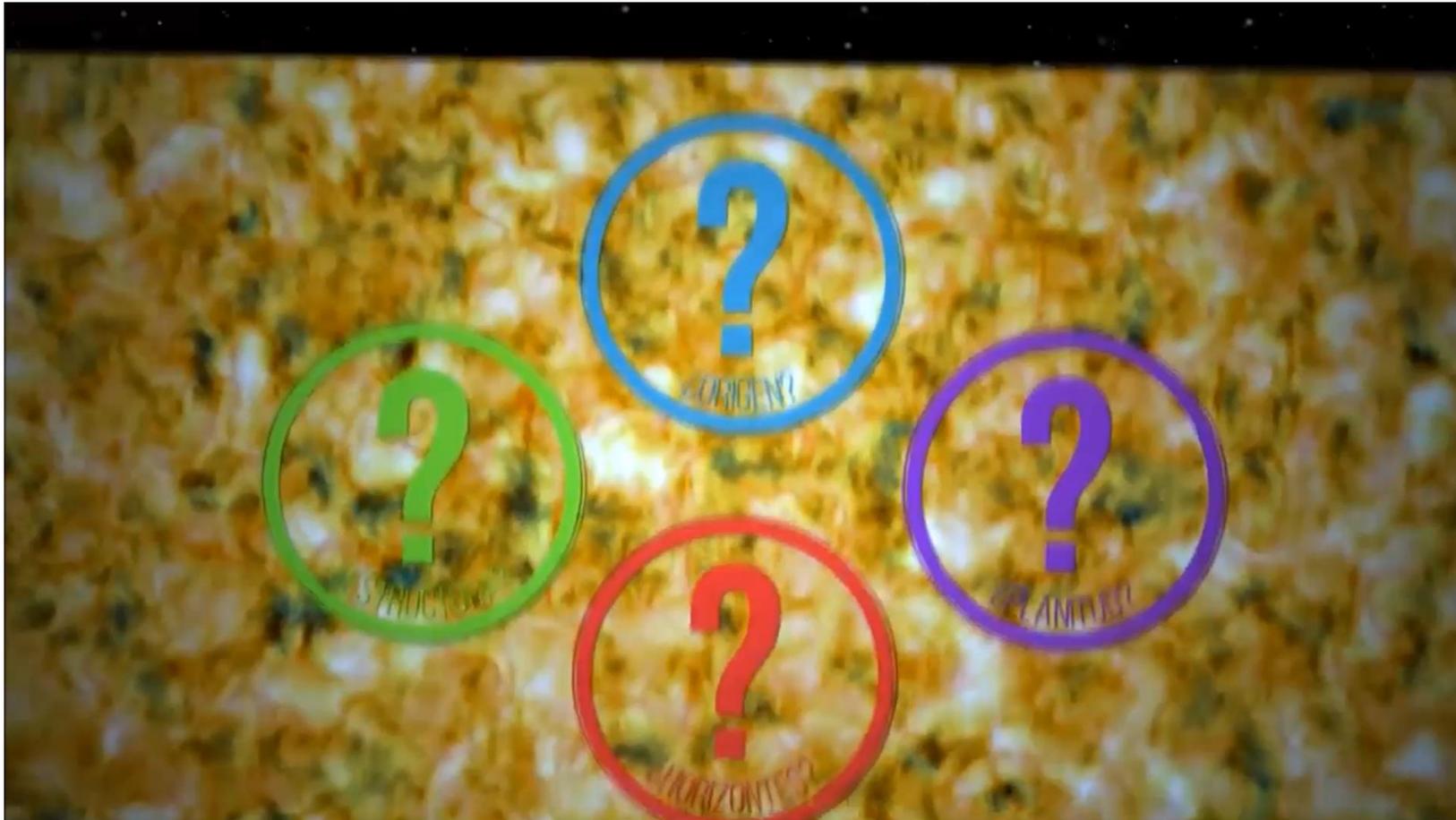


Origen del Universo

- La era inflacionaria, $t > 10^{-43}$ s.
- Cambio de fase. Las distancias se alargaron un quintillón de veces en una fracción de segundo.



Origen del Universo

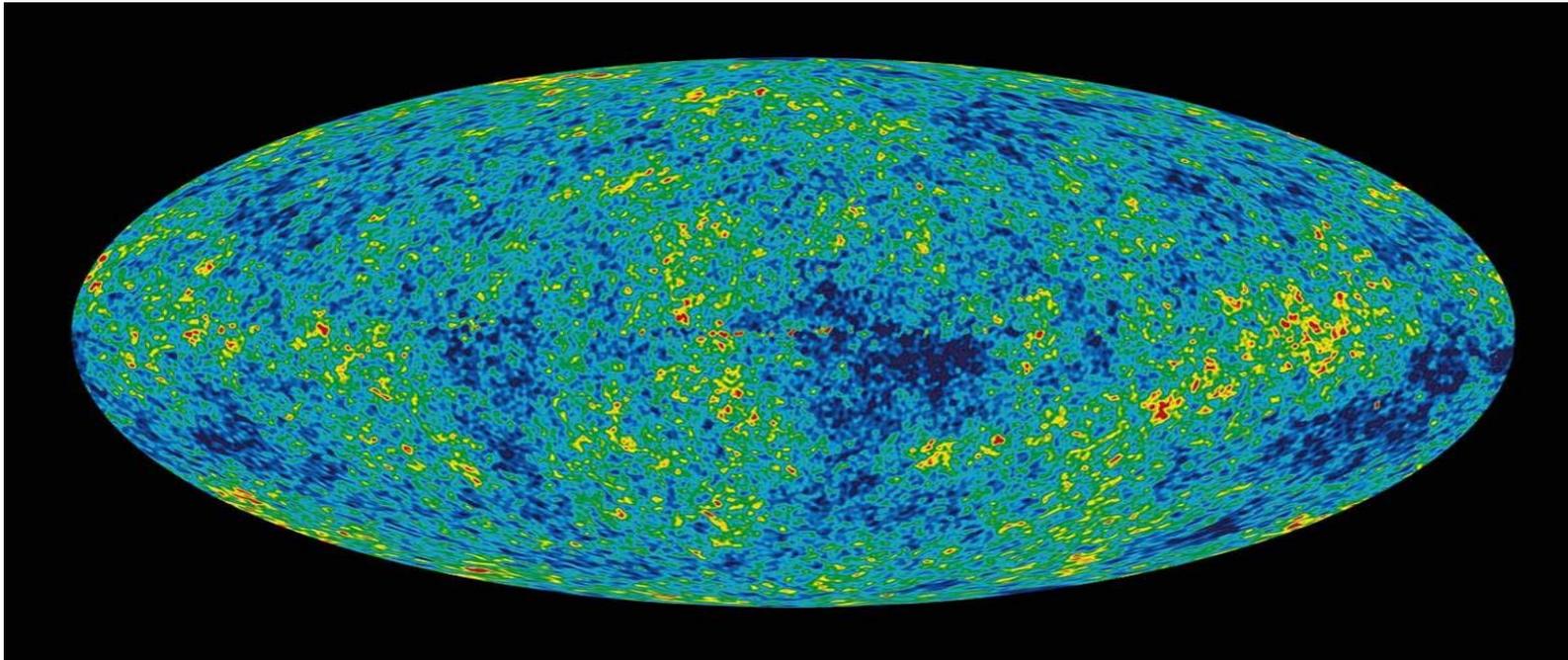


https://www.youtube.com/watch?v=6n2cw_AW01I

Ver desde 2m 21s hasta 4m 24s

Origen del Universo: ¿Por qué la inflación?

- La inflación es lo único que explica la planitud del universo y su homogeneidad.



Consiliencia

- La física permite tener un punto de partida cuando la ciencia en cuestión (biología, química, etc.) define el lugar donde se encuentran los átomos.
- Química
- Biología
- Geología
- Astronomía

Química

- La química teórica es física.
- Química inorgánica:
 1. Química Física: velocidad de las reacciones químicas
 2. Química Cuántica: que sucede en términos de leyes físicas
- Química orgánica: Fabricación de sustancias orgánicas a través de materiales inorgánicos.

Biología

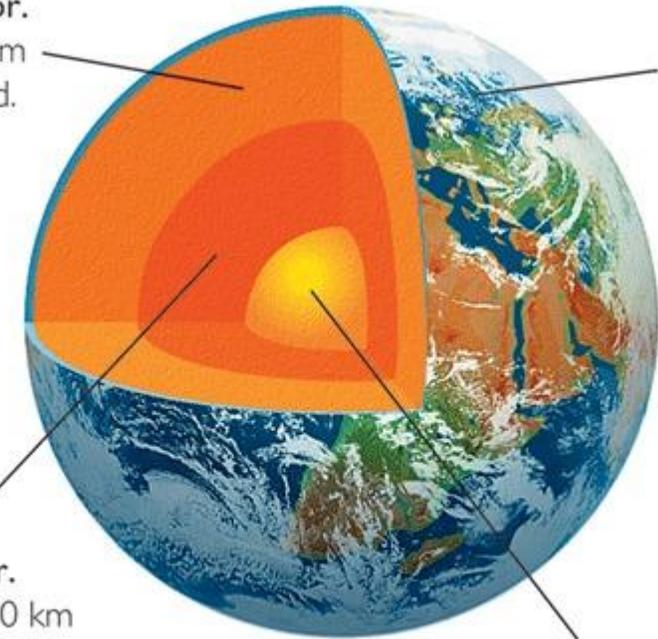
- Descubrimiento de la ley de la conservación de la energía a través de los procesos biológicos en seres vivos. Ej: Regulación térmica
- Procesos eléctricos en los nervios: transmisión de la información a través de iones bombeados por las células. Los iones se “descargan” cuando entran en contacto con otros iones. Ej: El dolor producido al pisar un cristal.
- Física Experimental: etiquetar átomos para observar el curso de las reacciones químicas que se producen en los procesos biológicos. Para ello se utilizan los isótopos.
- Todo esto hecho de átomos y se puede estudiar en tanto tal.

Geología

- Dificultad de establecer estudios físicos acerca del aire, el agua, etc. Esto se debe a su inestabilidad.
- No conocemos bien porque se producen los terremotos, los volcanes o la formación de montañas. → ¿Corrientes circulatorias?
- Se desconoce la densidad exacta del interior de la Tierra debido a que las matemáticas implicados son muy complejas.

Manto superior.
De 70 a 700 km
de profundidad.

Manto inferior.
De 700 a 2.900 km
de profundidad.

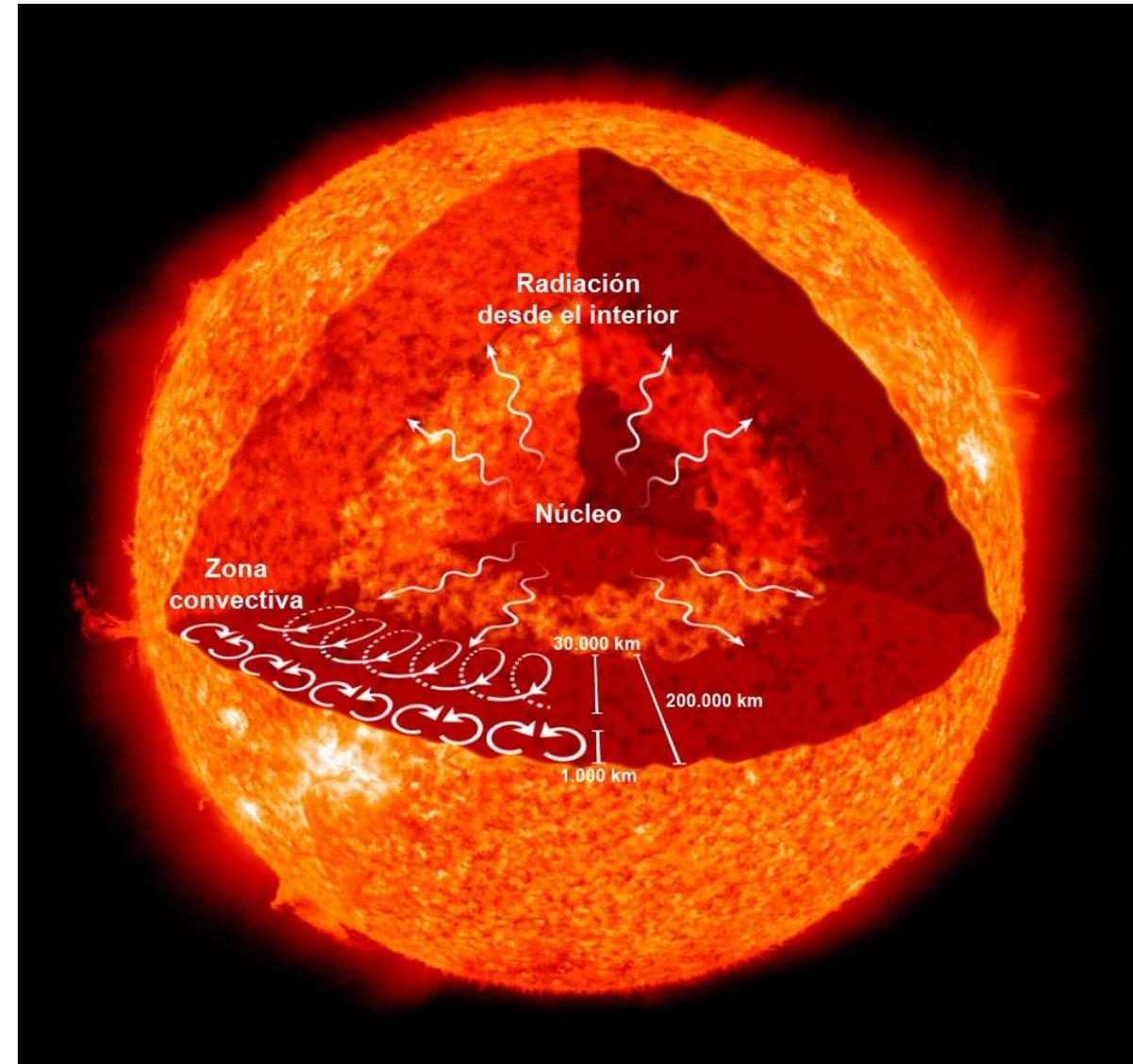


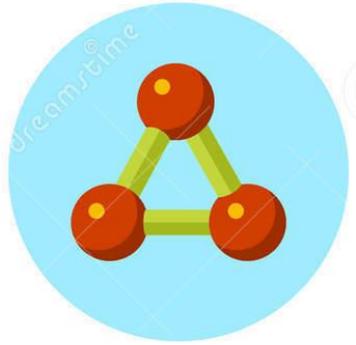
Corteza.
Con una
profundidad
de 20 a 70 km
bajo los
continentes,
y 10 km bajo
los océanos.

Núcleo. De 2.900 a más de 6.000 km
de profundidad.

Astronomía

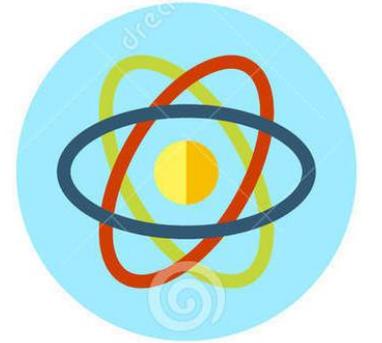
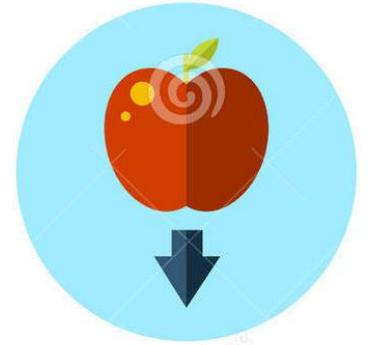
- Las estrellas están formadas por los mismos átomos que la Tierra. Gracias a ello, mediante un espectroscopio (mide la frecuencia de onda producida por un átomo) se descubrieron el Helio (en el Sol) y el Tecnecio (en estrellas frías).
- Mediante mecánica estadística podemos saber con bastante probabilidad lo que va a ocurrir en una estrella.
- Reacciones nucleares dentro de las estrellas: es la combustión nuclear del hidrógeno que se transforma en Helio la que da energía al Sol.





FIN

Debate y preguntas



BIBLIOGRAFÍA

Teoría de la relatividad:

- Einstein, A. (2008). *El significado de la relatividad*. Madrid: Espasa Calpe.
- Einstein, A. (2008). *Sobre la relatividad especial y general*. Madrid: Alianza.
- QuantumFracture. 19 de junio de 2018. *El Oscuro Secreto que Oculta la Luz*. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=-E_WOXNf_VI&index=2&list=PLOPFAG4mOJ11yefpxOdwSvdBQMz6YIPcB
- QuantumFracture. 19 de junio de 2018. *La Gravedad NO ES UNA FUERZA | El Principio de Equivalencia*. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=7vhc-hMWclY&list=PLOPFAG4mOJ10lp3b63J3KseJEU4Uaf2Dr&index=4>
- QuantumFracture. 19 de junio de 2018. *La Teoría de la Relatividad de Albert Einstein – (Explicación Breve)*. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=OpVS6oxcFqU>
- QuantumFracture. 19 de junio de 2018. *Por qué el Espacio se Curva*. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=ESveYNa4OMk&list=PLOPFAG4mOJ10lp3b63J3KseJEU4Uaf2Dr>
- Ranfeamon. 19 de junio de 2018. *Relatividad [Experimento mental de Dilatación del tiempo espacio]*. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=SdWBwg8Dnl8>

BIBLIOGRAFÍA

Fuerzas fundamentales y mecánica estadística:

- CorkScrew. 19 de junio de 2018. *¿Qué es la Entropía?* – CienciaClip. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=2mjjv1DESrU>
- Date un Vlog. 19 de junio de 2018. *¿Qué es la entropía?*. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=LetmPfoXLBk&t=47s>
- Feynman, R. (2013). *Seis piezas fáciles: La física explicada por un genio* (traducción de Javier García Sanz). Barcelona: Booket.
- Hawking, S., Mlodinow, L. (2010). *El gran diseño* (traducción de David Jou Mirabent). Bogotá: Planeta.

BIBLIOGRAFÍA

Mecánica cuántica:

- PBS Space Time. 19 de junio de 2018. *Hawking Radiation* | *Space Time*. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=qPKjoYnKANw&feature=youtu.be>
- PBS Space Time. 19 de junio de 2018. *What is the Energy?* | *Space Time*. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=PUnzizowBkw&feature=youtu.be>
- PBS Space Time. 19 de junio de 2018. *Extinction by Gamma-Ray Burst* | *Space Time*. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=8HvwNOSnveE&feature=youtu.be>
- PBS Space Time. 19 de junio de 2018. *The Vacuum Catastrophe* | *Space Time*. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=n6jAOV7bZ3Y&feature=youtu.be>
- PBS Space Time. 19 de junio de 2018. *White Holes* | *Space Time*. Recuperado de <https://youtu.be/S4aqGl1mSgo>
- PBS Space Time. 19 de junio de 2018. *The One-Electron Universe*. Recuperado de <https://youtu.be/gdqtW9MslFk>
- PBS Space Time. 19 de junio de 2018. *Dark Flow* | *Space Time*. Recuperado de <https://youtu.be/xgdNBQCdhdA>
- PBS Space Time. 19 de junio de 2018. *The Secrets of Feynman Diagrams* | *Space Time*. Recuperado de <https://youtu.be/fG52mXN-uWI>

BIBLIOGRAFÍA

Mecánica cuántica:

- PBS Space Time. 19 de junio de 2018. *Feynman's Infinite Quantum Paths* | Space Time. Recuperado de <https://youtu.be/vSFRN-ymfgE>
- PBS Space Time. 19 de junio de 2018. *How Time Becomes Space Inside a Black Hole* | Space Time. Recuperado de <https://youtu.be/KePNhUJ2rel>
- PBS Space Time. 19 de junio de 2018. *The Geometry of Causality* | Space Time. Recuperado de <https://youtu.be/1YFrISfN7jo>
- PBS Space Time. 19 de junio de 2018. *What Happens at the Event Horizon?* | PBS Digital Studios. Recuperado de <https://youtu.be/mht-1c4wcoQ>
- PBS Space Time. 19 de junio de 2018. *The Quantum Experiment that Broke Reality* | Space Time | PBS Digital Studios. Recuperado de <https://youtu.be/p-MNSLsjjdo>
- PBS Space Time. 19 de junio de 2018. *Is Quantum Tunneling Faster than Light?* | Space Time | PBS Digital Studios. Recuperado de <https://youtu.be/-lfmgYXs7z8>
- PBS Space Time. 19 de junio de 2018. *What Does Dark Energy Really Do?* | Space Time | PBS Digital Studios. Recuperado de https://youtu.be/RUE_LUqcTvM
- PBS Space Time. 19 de junio de 2018. *When Time Breaks Down* | Space Time | PBS Digital Studios. Recuperado de https://youtu.be/GguAN1_JouQ
- PBS Space Time. 19 de junio de 2018. *The Higgs Mechanism Explained* | Space Time | PBS Digital Studios. Recuperado de <https://youtu.be/kixAljyfdqU>

BIBLIOGRAFÍA

Mecánica cuántica:

- PBS Space Time. 19 de junio de 2018. *Feynman's Infinite Quantum Paths* | Space Time. Recuperado de <https://youtu.be/vSFRN-ymfgE>
- PBS Space Time. 19 de junio de 2018. *How Time Becomes Space Inside a Black Hole* | Space Time. Recuperado de <https://youtu.be/KePNhUJ2rel>
- PBS Space Time. 19 de junio de 2018. *The Geometry of Causality* | Space Time. Recuperado de <https://youtu.be/1YFrISfN7jo>
- PBS Space Time. 19 de junio de 2018. *What Happens at the Event Horizon?* | PBS Digital Studios. Recuperado de <https://youtu.be/mht-1c4wcoQ>
- PBS Space Time. 19 de junio de 2018. *The Quantum Experiment that Broke Reality* | Space Time | PBS Digital Studios. Recuperado de <https://youtu.be/p-MNSLsjjdo>
- PBS Space Time. 19 de junio de 2018. *Is Quantum Tunneling Faster than Light?* | Space Time | PBS Digital Studios. Recuperado de <https://youtu.be/-lfmgYXs7z8>
- PBS Space Time. 19 de junio de 2018. *What Does Dark Energy Really Do?* | Space Time | PBS Digital Studios. Recuperado de https://youtu.be/RUE_LUqcTvM
- PBS Space Time. 19 de junio de 2018. *When Time Breaks Down* | Space Time | PBS Digital Studios. Recuperado de https://youtu.be/GguAN1_JouQ
- PBS Space Time. 19 de junio de 2018. *The Higgs Mechanism Explained* | Space Time | PBS Digital Studios. Recuperado de <https://youtu.be/kixAljyfdqU>

BIBLIOGRAFÍA

Mecánica cuántica:

- PBS Space Time. 19 de junio de 2018. *What Survives Inside A Black Hole? | Space Time*. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=GscfuQWZFAo&feature=youtu.be>
- PBS Space Time. 19 de junio de 2018. *Why Quantum Information is Never Destroyed | Space Time*. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=HF-gDy6iB_4&feature=youtu.be
- The Royal Institution. 19 de junio de 2018. *Zap, Crackle and Pop: The Story of Electricity*. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=Ch6jti8i6u4&feature=youtu.be>
- The Royal Institution. 19 de junio de 2018. *Four Dimensional Maths: Things to See and Hear in the Fourth Dimension with Matt Parker*. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=1wAal_6bgJE&feature=youtu.be
- The Royal Institution. 19 de junio de 2018. *Dark Matter's Not Enough – with Andrew Pontzen*. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=GFxPMMkhHuA&feature=youtu.be>
- The Royal Institution. 19 de junio de 2018. *Tara Shears – Antimatter: Why the anti-world matters*. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=oFy6oilRwJc&feature=youtu.be>
- The Royal Institution. 19 de junio de 2018. *Jim Al-Khalili – Quantum Life: How Physics Can Revolutionise Biology*. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=wwgQVZju1ZM&feature=youtu.be>
- The Royal Institution. 19 de junio de 2018. *Sean Carroll – The Particle and the End of the Universe*. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=RwdY7Eqyguo&feature=youtu.be>

BIBLIOGRAFÍA

Mecánica cuántica:

- The Royal Institution. 19 de junio de 2018. *Beyond the Higgs: What's Next for the LHC? – with Harry Cliff*. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=edvdzh9Pggg&feature=youtu.be>
- The Royal Institution. 19 de junio de 2018. *Black Holes and the Fundamental Laws of Physics – with Jerome Gauntlett*. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=laKp1XeEF74&feature=youtu.be>
- The Royal Institution. 19 de junio de 2018. *We Need to Talk About Physics – with Helen Czerski*. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=ubJ7iqLkXfs&feature=youtu.be>
- The Royal Institution. 19 de junio de 2018. *Mapping Particle Physics – with Jon Butterworth*. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=wf1W_ZfqYEs&feature=youtu.be
- The Royal Institution. 19 de junio de 2018. *The Concept of Mass – with Jim Baggott*. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=HfHjzomqbZc&feature=youtu.be>
- The Royal Institution. 19 de junio de 2018. *The Mysterious Architecture of the Universe – with J Richard Gott*. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=s9AugxSVHUY&feature=youtu.be>
- The Royal Institution. 19 de junio de 2018. *Quantum Fields: The Real Building Blocks of the Universe – with David Tong*. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=zNVQfWC_evg&feature=youtu.be
- The Royal Institution. 19 de junio de 2018. *Fusion: How to Put the Sun in a Magnetic Bottle – with Ian Chapman*. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=zn1SJOPgewo&feature=youtu.be>

BIBLIOGRAFÍA

Cosmología:

- Hawking, S., Mlodinow, L. (2010). *El gran diseño* (traducción de David Jou Mirabent). Bogotá: Planeta.
- Maxwell Krauss, L. (2013). *Un universo de la nada* (traducción de Cecilia Belza). Barcelona: Ediciones de pasado y presente.
- Trefil, J. (2015). *The Routledge Guidebook to Einstein's Relativity*. Oxford y Nueva York: Routledge.
- Instituto de Física Teórica IFT. 19 de junio de 2018. *¿Qué pasó ANTES del Big Bang? | Inflación Cósmica*. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=6n2cw_AWo1I