

30 de mayo 2024 | 18:00 - 20:00 CARDIEL, Nicolás



23 de mayo 2024 | 18:00 - 20:00 FERNÁNDEZ, Telmo



MONTESINOS, Benjamín



04 de **abril 2024 | 18:00 - 20:00** MARTÍNEZ, Gustavo | GARAY, Cristina



11 de abril 2024 | 18:00 - 20:00 **GONZÁLEZ**, César



18 de abril 2024 | 19:00 - 21:00 CÁLVEZ, Emilio | CONZÁLEZ, César



25 de abril 2024 | 18:00 - 20:00 GONZÁLEZ-PEINADO, Rodrigo

ESTRELLAS: HORNOS NUCLEARES, EL ORIGEN DE (CASI) TODO

16 de mayo 2024 | 18:00 - 20:00



09 de **mayo 2024 | 18:00** - 20:00 BRIONES, Carlos

EL DESAFÍO DE LA COSMOLOGÍA MODERNA

https://apod.nasa.gov/apod/ap130325.html

DEL PLANETARIO AL COSMOS 2024





8 de diciembre de 2011 Aula Magna, Universidad de Estocolmo Suecia

El profesor Börje Johanson introduce la entrega del premio Nobel de Física a los descubridores de la expansión acelerada del universo...



https://nobel-videocdn01.azureedge.net/video/lecture_2011_phy_schmidt-intro_01_496.mp4



Nobelprize.org



4 de julio de 2012 Organización Europea para la Investigación Nuclear (CERN) Ginebra, Suiza

Fabiola Gianotti (portavoz del experimento ATLAS) y Joe Incandela (portavoz del experimento CMS) anuncian el descubrimiento del **bosón de Higgs**...

https://www.youtube.com/watch?v=JAlgX4FNiyM





Joe Incandela ULSB/LERN July 4, 2012

21 de marzo de 2013 Sede central de la ESA (Agencia Espacial Europea) París, Francia

medidas de la Radiación de Fondo de Microondas observada por el satélite Planck...

Presentación de los primeros resultados detallados sobre las



http://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2013/03/Replay_Planck_s_Cosmic_Microwave_Background_map_Media_Briefing

Il de febrero de 2016 Sede de la National Science Foundation Washington, D.C., EE.UU.

ondas gravitatorias...

David Reitze, director ejecutivo de LIGO (Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory), anuncia la primera detección de



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

National Science Foundation









10 de abril de 2019 Conferencias de prensa simultáneas en diferentes partes del mundo Sala de prensa del European Research Council, Bruselas

Palabras de apertura de: Investigación, ciencia e Innovación • Heino Falcke, presidente del EHT (Event Horizon Telescope) Science Council

Se anuncia la primera imagen de un agujero negro supermasivo...

Carlos Moedas, miembro de la Comisión Europea a cargo de

Muchas gracias. Es un gran honor estar aquí hoy.



¿Cómo es el Universo?

¿Tuvo un origen?

https://www.eso.org/public/images/potw1938a/

¿Cómo se ha formado?



¿Cuál es su futuro?



SESION 4

ASTROFISICA

- Medida de la distancia a las estrellas.
- Magnitudes aparentes y magnitudes absolutas.
- Clasificación espectral. Temperaturas y colores de las estrellas.
- Evolución estelar. Diagrama de Hertzsprung-Russell.
- Últimas etapas de la evolución estelar.
- Estrellas variables.
- Estrellas binarias.
- Nebulosas y Cúmulos.
- La Vía Láctea y las galaxias. Clasificación de Hubble.
- La expansión del Universo.
- Dimensiones del Universo.
- El Big Bang. Otras teorías.
- La radiación de fondo. El COBE.

Este curso, organizado por el Planetario de Madrid, ofrece una introducción general a la Astronomía, e intenta, partiendo de un nivel elemental, acercarnos a aquellos aspectos que, sin duda, proporcionan una mejor comprensión de los fenómenos celestes.

La utilización de un medio especialmente desarrollado para este fin, como es el Planetario, facilita en gran medida la visualización y asimilación de estos conceptos.

El curso será impartido por:

Telmo Fernández. Astrofísico. Subdirector del Planetario de Madrid y Coordinador del Curso. Nicolás Cardiel. Astrofísico. Departamento de Astrofísica. Universidad Complutense, Madrid Pedro Velasco. Astrónomo aficionado. Monitor de Astronomía y Colaborador del Planetario de Madrid. Toño Bernedo. Ingeniero. Responsable técnico del Planetario de Madrid.

Duración: 8 horas (4 sesiones de 2 horas).
Fechas: 15, 17, 22, 24 de noviembre, a las 20:00 horas.
Lugar: Sala de Proyección del Planetario.
Matrícula: 5.000 ptas. a abonar en el momento de la inscripción (18 octubre - 11 noviembre), en el Planetario de Madrid.
Plazas limitadas a 250, por orden de inscripción.
Teléfono de información: 467 34 61





ACTIVIDADES DE OTOÑO 1994

CURSO DE INTRODUCCION A LA ASTRONOMIA



SESI

ASTROFISICA

- Medida de la distancia a las estrellas.
- Magnitudes aparentes y magnitudes absolutas.
- Clasificación espectral. Temperaturas y colores de las estrellas.
- Evolución estelar. Diagrama de Hertzsprung-Russell.
- Últimas etapas de la evolución estelar.
- Estrellas variables.
- Estrellas binarias.
- Nebulosas y Cúmulos.
- La Vía Láctea y las galaxias. Clasificación de Hubble.
- La expansión del Universo.
- Dimensiones del Universo.
- El Big Bang. Otras teorías.
- La radiación de fondo. El COBE

1 -





CTIVIDADES DE OTOÑO 1994

CURSO DE TRODUCCION A LA ASTRONOMIA



























etano y en enas se usan todos los recursos audiovisuales disponibles. Así, la visual iliación de los conceptos astronômicos viene facilitada por la utilización de u icialmente desarrollado para este fin, como es el Planetario.

SEGUNDA PARTE: ASTROFÍ El Sistema Solar. Las estrellas y la Via Láctea. Las galaxías. Cosmología.

urso consta de nueve sesiones divididas en dos PRIMERA PARTE: ASTRONOMÍA Una ojeada al fimamento La esferia celesto: La ture y los planetas. La esferia celesto: La ture y los planetas. La obernación astronómica. Astronamin celetión:

Coordinador del curso: TELMO F Asistencia técnica: PABLO DUR Secretaria: ANTONIO ALONSO

Nefono de información: 91 467 OMO INSCRIBIRSE

INETARIO DE MADRID a. del Planetario nº 16 (Parque Tierno Galván) 11 457 24 61 - Fax: 91 458 11 54











CURSO

ASTRONOMIA Y

ario 💛 de Mac

madrid











































OÑO BERNEDO Ingeniero industrial lefe Técnico del Planetano de Machit









Todo un Universo por conocer

Un Universo sin fronteras





































DEL **PLANETARIO** AL COSMOS I Del 04 de abril al 30 de mayo 2024 I EDICIÓN 2024

CURSO **DE ASTRONOMÍA Y ASTROFÍSICA**









E











Nociones de Física

Siglo XIX





Siglo XX

Siglo XXI

Siglo XIX





AUTOR: DOMINIC WALLIMAN



TRADUCIDO POR MOLASABER ORG



Existe una temperatura mínima en el Universo

Termómetro de gas



Existe una temperatura mínima en el Universo





Existe una temperatura mínima en el Universo



El cuerpo negro

Esquema de un cuerpo negro: juna caja (vacía) con un agujero!



El observador puede medir la luz que sale del interior. El espectro que se observa solo depende de la temperatura de la caja.

Cualquier partícula de luz (fotón) que entra en un cuerpo negro tiene muchas más probabilidades de rebotar y ser absorbido que de volver a salir por el pequeño orificio de entrada. La luz que consigue salir ha sido generada en el interior del cuerpo negro y ha sido producida por las vibraciones del material de las paredes interiores debido a que se encuentran a una cierta temperatura.

Ver simulador de cuerpo negro en: <u>https://phet.colorado.edu/sims/html/blackbody-spectrum/latest/blackbody-spectrum_en.html</u>



Las estrellas emiten radiación siguiendo de forma aproximada la ley de un cuerpo negro



El color de una estrella está relacionado con la temperatura de su superficie (fotosfera)

T = 0.0029 K m

ley de Wien

Al aumentar la T, la estrella emite más radiación en longitudes de onda más cortas (más azul)





Las 4 fuerzas de la Naturaleza

Las 4 fuerzas de la naturaleza son necesarias para entender cómo funciona una estrella como el Sol.

Fuerza ejercida por la presión del gas

Durante la vida normal de una estrella la fuerza de la gravedad es compensada por la presión que ejerce el gas caliente.

Gravedad: Fuerza siempre atractiva, de largo alcance.

La presión del gas se debe al movimiento muy rápido de las partículas, causado a su vez por la elevada temperatura. ¿Qué genera esa temperatura tan elevada? Las reacciones nucleares en el núcleo del Sol.



2) Fuerza electromagnética: puede ser atractiva o repulsiva, de largo alcance.

Dificulta conseguir que dos protones ¹H (misma carga) se aproximen.

3) Fuerza nuclear débil: de corto alcance, es la responsable de la desintegración β .

La desintegración es probabilística: convierte un protón en un neutrón + positrón + neutrino. Es responsable de que dos protones (^{1}H) se conviertan en deuterio (2 H).

4) Fuerza nuclear fuerte: de

corto alcance, mantiene unidos a los nucleones (protones y neutrones) en los núcleos atómicos.











Jez Pricipe. Golileo Galily Humilins . Serves Della der: V: inuigilan. To assiduance, et & ogni spirito & botere no solar satisfare alcarico che tiene della lettura di Matsematios nello stu = Dio Di Ladona, Invere Dauere determinato Di presentare al Jen Pricipe (Outriste et A pessere di gionamente inertimetrile & ogni Regorio et in presa marittima o terrestre stino di tenere que = to nuous attifizio nel maggior segreto et solano a riportitione Di J. Ser: L'achiale canato dalle più re codite speculazioni di prospettina ha il nantaggio or proprise Legniet Vele dell'inmis " I vue hore et pui di tempo prima de egli jauopra noi et Distinguendo I numero et laqualita De i Vallely quichcare le sue forre pallestirsialta caccia al ambattimento o alla juga, o pure anco nella capagna aperta udere et partiularmy Distinguere agni suo muto et prepatamento. Gione sindle ati " * * * * * * * * * * * * * * * Ho " era dug diretto et no retrogrado 1 3 fine de mining: à Gione 4 stelle * @ *** imeglie asi * 8*** Adi 14 è nugolo 11 0 * * * * la prost à 4 ca la mine la 4° cra di= stante dalla 3ª il Suppio Tarra La spatio delle 3 audétali no era maggiore del Diametro Di 7 et es rans in linea retta .

https://en.wikipedia.org/wiki/Galileo_Galilei#/media/File:Galileo_manuscript.png





e gli acchi (ia dico cal, ma non si può. ee se prima non s'impara ter la lingua, e conoscer quali è scritto. Este suritto in lingua atica, e i caratteri son mangali, cerchi, ed altre figure geometriche, senza i quali mezi e impossibile a intenderne amanamente parola."

It is written in the language of mathematics, and its characters are triangles, circles, and other geometric figures without which it is humanly impossible to understand a single word of it -

TEED





Antes de Galileo



Después de Galileo

https://www.museogalileo.it/en/

2007-20

ol Equi

https://commons.wikimedia.org/wiki/F <u>:Pisa_experiment.png</u>















•

Después de Galileo

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pisa_experiment.png



https://www.youtube.com/witch?v=KDpItiUsZw8

Bien, en mi mano izquierda tengo una pluma.



https://en.wikipedia.org/wiki/Apollo_15





00



150



Un concepto fundamental en Física es el de "campo"

Un campo es una propiedad que asignamos a cada punto del espacio y que nos permite, por ejemplo, calcular fuerzas. Así, en Física hablamos de:

- Campo gravitatorio
- Campo eléctrico
- Campo magnético



Campo gravitatorio terrestre



Campo magnético

Rompemos el problema en 2 partes: primero calculamos el campo producido por uno o varios objetos luego calculamos el efecto que el campo tiene en otro(s) objeto(s)



Campo magnético terrestre



https://www.youtube.com/watch?v=IJgzVaTPEow



Un concepto fundamental en Física es el de "campo"

¡La acción a distancia no existe!

El espacio puede contener campos que son los responsables de transmitir las fuerzas.

En el caso del magnetismo, cada imán genera un campo magnético que se extiende alrededor del propio imán. Es ese campo el que interacciona con otros objetos.



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

https://www.youtube.com/watch?v=FWCN_ul5ygY

Origen de los elementos químicos detectados en el sistema solar









<u>http://cds.cern.ch/record/1279356</u>

2.4M 2/3 2/3 2/3 0 0 1/2 1/2

Necesitamos 2 quarks para explicar los protones y los neutrones




Los electrones completan los átomos

 $n \rightarrow p + e^- + V$

Los neutrinos explican:

Necesitamos 2 quarks para explicar los protones y los neutrones



Fuerza nuclear fuerte

Fuerza electromagnética

Fuerza nuclear débil



¡Tienen masa!



El origen de la masa: el campo de Higgs



El origen de la masa: el campo de Higgs



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



CERN: Organización Europea para la Investigación Nuclear (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire)

> LHC: Gran Colisionador de Hadrones (Large Hadron Collider)











https://home.cern/science/physics/higgs-boson



¿Hay algún nexo común entre diferentes leyes de la Física?

Principio de mínima acción: la naturaleza "es vaga" y quiere trabajar lo menos posible
→ Ejemplo, el principio de Fermat





¿Hay algún nexo común entre diferentes leyes de la Física?

Principio de mínima acción: la naturaleza "es vaga" y quiere trabajar lo menos posible \rightarrow Ejemplo, el principio de Fermat

Teorema de Noether



Teorema de Noether: simetría continua."



anyway and eventually held an official position. Hounded out of Germany by the Nazis, she went to the US and taught at Bryn Mawr and Princeton. Today, Noether's discoveries in sy conservation underpin much of modern physics.

antributing to our understanding of the universe. Learn more at www.insidetheperimeter.ca/donate/women.

"Para cada simetría continua de las leyes de la Física existe una ley de conservación. Para cada ley de conservación existe una







Emmy Noether-Programm

Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG



Un cuadrado presenta una simetría discreta: puedo rotarlo 90, 180, 270 o 360 grados y obtengo el mismo objeto.



Un cuadrado presenta una simetría discreta: puedo rotarlo 90, 180, 270 o 360 grados y obtengo el mismo objeto.



Un círculo presenta una simetría continua: puedo rotarlo cualquier ángulo arbitrario y obtengo el mismo objeto.



Simetría: desplazamientos espaciales

Si repito un experimento en sitios distintos, el resultado no cambia.

PHYSICS-ANIMATIONS.COM



Cantidad conservada: momento lineal $(\vec{p} = m \cdot \vec{v})$



https://www.youtube.com/watch?v=4v2RHtBTbj8

Simetría: rotaciones espaciales

Cantidad conservada: m





Si giro un experimento un ángulo cualquiera (sin moverme de sitio), el resultado no cambia.

nomento angular (
$$\vec{L} = I \cdot \vec{\omega}$$
)

https://www.youtube.com/watch?v=FmnkQ2ytlO8

Simetría: traslación temporal



https://www.youtube.com/watch?v=jyHFXTZmWgl

Si repito un experimento en otro momento el resultado no cambia.

Cantidad conservada: energía

K: energía cinética U: energía potencial E = K + U energía total (se conserva)



¿Hay algún nexo común entre diferentes leyes de la Física?

Principio de mínima acción: la naturaleza "es vaga" y quiere trabajar lo menos posible
→ Ejemplo, el principio de Fermat

Teorema de Noether

 \rightarrow Hay simetrías ligadas al espacio-tiempo que conducen a la conservación del momento lineal, momento angular y energía

→ Hay simetrías matemáticas más profundas que se aplican a los campos que usamos para describir las partículas elementales



¿Esto no era una conferencia sobre cosmología?





La Tierra



El Sistema Solar

La vecindad del Sol



La Vía Láctea



El debate de Shapley-Curtis

En abril de 1920, en la Academia Nacional de Ciencias de Washington, se celebra un importante debate entre Harlow Shapley y Herber Curtis sobre "La Escala del Universo" Dos puntos principales de discusión: El tamaño de la Galaxia

La posible naturaleza extragaláctica de las nebulosas espirales

Punto de vista de Harlow Shapley



La Galaxia tiene un gran tamaño (D = 100 kpc)

El Sol está lejos del centro

Las nebulosas espirales son objetos cercanos, distribuidos alrededor de la Galaxia como los cúmulos globulares



El Universo es nuestra Galaxia

Mapa de la esfera celeste Observatorio de Lund (1940)

STRUCTURE AND ADDRESS OF ADDRES ADDRESS OF ADDRESS ADDRESS OF ADDR

1 2 2 1 1 1 1 1 1

https://apod.nasa.gov/debate/debate20.html

Punto de vista de Herber Curtis

La Galaxia es bastante más pequeña (D < 10 kpc)

El Sol está cerca del centro

Las nebulosas espirales son objetos muy lejanos (de 150 a 3000 kpc)

Las nebulosas espirales son sistemas estelares en rotación similares a nuestra Galaxia

El Universo está lleno de galaxias



Resolución de la controversia

En 1923, Edwin Hubble descubre una estrella cefeida en una serie de fotografías de la nebulosa espiral de Andrómeda. Posteriormente descubre más y mide la distancia a M31 usando la relación periodo-luminosidad. Calcula una distancia de 300 kpc \rightarrow extragaláctica





La controversia queda zanjada: las nebulosas espirales son galaxias externas. El Universo era mucho más grande y poblado que lo que se había pensado

El valor actual para la distancia a M31 es de 770 kpc. Tiene un diámetro de ~47 kpc > Vía Láctea



Sa



nto)

(de car





















Clasificación morfológica de galaxias

La clasificación morfológica es un primer paso para entender las propiedades físicas de las galaxias Las formas geométricas son relativamente simples Hubble (1925) las clasificó en 5 grandes tipos (diapasón de Hubble)

E: Elípticas

SO: Lenticulares

S: Espirales

SB: Espirales Barradas

Irr: Irregulares



Colisión de galaxias espirales: comparación de simulaciones y observaciones

<u>https://esahubble.org/videos/heic0810d/</u>

La Vía Láctea



El Grupo Local de galaxias



El supercúmulo de Virgo



Los supercúmulos locales



El universo observable




Supercúmulos locales El Grupo Local de Galaxias El supercúmulo de Virgo



El universo observable

https://en.wikipedia.org/wiki/Universe#/media/File:Earth's_Location_in_the_Universe_SMALLER_(JPEG).jpg



El Principio Cosmológico

Ampliación del principio copernicano: la Tierra no ocupa una posición especial en el Universo



En grandes escalas, el Universo es homogéneo e isótropo



En grandes escalas, el Universo es **homogéneo** (similar en todos los sitios)





En grandes escalas, el Universo es **isótropo** (similar en todas las direcciones)



El Principio Cosmológico

Ampliación del principio copernicano: la Tierra no ocupa una posición especial en el Universo En grandes escalas, el Universo es homogéneo e isótropo



Para que se cumpla: "grandes escalas" significa distancias > 200 Mpc (por encima del tamaño de los supercúmulos de galaxias)

Es una hipótesis de trabajo para la construcción de modelos del Universo.

Corroborada por las observaciones (distribución de galaxias y de la radiación de fondo)

¡Podemos enunciar leyes universales!









Isaac Newton (1642-1726)



Infinito o colapsaría por acción de la gravedad

¿Tamaño del Universo?



¿Por qué el cielo por la noche es negro?









pero 4 veces más débil





pero 4 veces más débil

pero 9 veces más débil

¡Pero el cielo es negro!

Posibles respuestas:

Hay materia interestelar que absorbe la radiación (ino funciona!)

A mayores distancias hay menos estrellas o son menos luminosas (¿por qué?)

El Universo no es infinito (¿por qué no colapsa?)

El Universo tiene una edad finita y no ha dado tiempo a que llegue la luz de las estrellas más lejanas (Edgar Allen Poe)





¡El universo tuvo un origen!

- El mejor modelo cosmológico disponible es el del "Big Bang" (Gran Explosión)
- ¿En qué pruebas se basa?
 - Expansión del Universo
 - Detección de una radiación cósmica de fondo en microondas
 - Abundancias de elementos químicos: nucleosíntesis primordial

¡El universo tuvo un origen!

- El mejor modelo cosmológico disponible es el del "Big Bang" (Gran Explosión)
- ¿En qué pruebas se basa?

Expansión del Universo

Detección de una radiación cósmica de fondo en microondas

Abundancias de elementos químicos: nucleosíntesis primordial





infrarrojo

espectro «visible»

ultravioleta rayos X

rayos gamma















Ley de Hubble-Lemaître



Distancia



Telescopio Hooker, Observatorio del Monte Wilson







El espacio se expande y todos los observadores perciben que las galaxias se alejan las unas de las otras.



























galaxia 2







Principio Cosmológico

La expansión del espacio provoca que una observadora en cualquier galaxia detecte que el resto de las galaxias parezcan alejarse de ella

¡No existe un centro de la expansión!



Desplazamiento al rojo cosmológico



¡El Universo tuvo un origen!



Todo el universo observable en la actualidad se encontraba en una región diminuta, a una temperatura y presión inimaginablemente elevadas.

Pero si el Universo es (espacialmente) infinito ahora, ¡también lo era en su origen! ¿A qué velocidad se expande? ¿Qué forma tiene? ¿Hay alguna relación entre los agujeros negros y el origen y destino del Universo?

Tiempo

Futuro





Michael Faraday (1791-1867)











Michael Faraday (1791-1867)



James Clerk Maxwell (1831-1879)








Michael Faraday (1791-1867)

00000000

James Clerk Maxwell (1831-1879)



Albert Einstein (1879-1955)



ANNALEN DER PHYSIK.

BEGRÜNDET END PORTGEFÜHET DÜRCH F. A. C. SREN, L. W. GILBERT, J. C. POGGENDORFF, G. UND E. WIEDEKARN.

VIERTE FOLGE.

BAND 17. DER GANDEN REITH 332. DAND.

KURATORIUM:

F. KOHLRAUSCH, M. PLANCK, G. QUINCKE, W. C. RÖNTGEN. E. WARBURG.

UNTER MITWIREUNG

DES DEUTSCHEN PHYSIKALISCHEN GESELLSCHAFT

UND INSUESOSDIARIS VON

M. PLANCK

HERACSORGEBEN VON

PAUL DRUDE.

MIT FUNF FIGURENTAFELN.



LEIPZIG, 1905. VEBLAG VON JOHANN AMBROSIUS BARTH.

Daß die Elektrodynamik Maxwells -- wie dieselbe gegenwärtig aufgefaßt zu werden pflegt - in ihrer Anwendung auf bewegte Körper zu Asymmetrien führt, welche den Phänomenen nicht auzuhaften scheinen, ist bekannt. Man denke z.B. an die elektrodynamische Wechselwirkung zwischen einem Magneten und einem Leiter. Das beobachtbare Phänomen hängt hier nur ab von der Relativbewegung von Leiter und Magnet, während nach der üblichen Auffassung die beiden Fälle, daß der eine oder der andere dieser Körper der bewegte sei, streng voneinander zu trennen sind. Bewegt sich nämlich der Magnet und ruht der Leiter, so entsteht in der Umgebung des Magneten ein elektrisches Feld von gewissem Energiewerte, welches an den Orten, wo sich Teile des Leiters befinden, einen Strom erzeugt. Ruht aber der Magnet und bewegt sich der Leiter, so entsteht in der Umgebung des Magneten kein elektrisches Feld, dagegen im Leiter eine elektromotorische Kraft, welcher an sich keine Energie entspricht, die aber -- Gleichheit der Relativbewegung bei den beiden ins Auge gefaßten Fällen vorausgesetzt - zu elektrischen Strömen von derselben Größe. und demselben Verlaufe Veranlassung gibt, wie im ersten Falle die elektrischen Kräfte. Beispiele äbnlicher Art, sowie die mißlungenen Versuche, eine Bewegung der Erde relativ zum "Lichtmedium" zu konstatieren, führen zu der Vermutung, daß dem Begriffe der absoluten Ruhe nicht nur in der Mechanik, sondern auch in der Elektrodynamik keine Eigenschaften der Erscheinungen entsprechen, sondern daß vielmehr für alle Koordinatensysteme, für welche die mechanischen Gleichungen gelten, auch die gleichen elektrodynamischen und optischen Gesetze gelten, wie dies für die Größen erster Ordnung bereits erwiesen ist. Wir wollen diese Vermutung (deren Inhalt im folgenden "Prinzip der Relativität" genannt werden wird) zur Voraussetzung erheben und außerdem die mit ihm nur scheinbar unverträgliche

3. Zur Elektrodynamik bewegter Körper; von A. Einstein.



Teoría Especial de la Relatividad

- las leyes de la Física son las mismas para todos los observadores en movimiento relativo uniforme
- la velocidad de la luz en el vacío 2) es la misma para todos los observadores, independientemente de su velocidad







¿Dónde estoy?

En un ascensor que está cayendo hacia el suelo a) En una nave espacial que viaja por el espacio exterior b) (lejos de cualquier estrella/planeta) a velocidad constante ¡Las dos respuestas son válidas!

Esta idea guió a Einstein en la elaboración de la Teoría General de la Relatividad.



https://elpais.com/elpais/2015/11/20/ciencia/1448046863_223963.html



http://content.time.com/time/magazine/0,9263,7601991231,00.html



distancia



distancia



¡Curvaturas diferentes!

atura



distancia



La materia le dice al espacio-tiempo cómo ha de curvarse



distancia

¡Misma curvatura en el espacio-tiempo!

¡La pelota y la bala viajan "libres" en un espacio-tiempo curvo!





El tiempo también se ve alterado por la gravedad (a mayor gravedad el tiempo discurre más despacio)

P

Los planetas se mueven libremente por un espacio curvado por la presencia del Sol.

Análogamente, la Luna se mueve libremente por un espacio curvado por la presencia de la Tierra.





https://www.ligo.caltech.edu/video/ligo20160615v1

FIRST COSMIC EVENT OBSERVED IN GRAVITATIONAL WAVES AND LIGHT

0

https://www.ligo.caltech.edu/image/ligo20171016c ILIGO - Rett Attacked

https://www.ligo.caltech.edu/image/ligo20150731e





La curvatura del espacio

Los 5 postulados de Euclides (~ 300 a.C.)

- I. Dados dos puntos, se puede trazar una recta que los une
- misma dirección
- 3. Se puede trazar una circunferencia que tenga su centro en cualquier punto y cualquier radio
- 4. Todos los ángulos rectos son iguales
- 5. Si una recta, al cortar a otras dos, forma los ángulos internos de un mismo lado menores que dos rectos, esas dos rectas prolongadas indefinidamente se cortan del lado en el que están los ángulos menores que dos rectos
 - Tres tipos de geometría diferentes usando los mismos 4 postulados iniciales
- una única paralela)
- exterior
- 5c. Geometría hiperbólica (Carl Frederich Gauss, János Bolyai, Nikolai Lobachevski): existen al menos dos rectas paralelas diferentes que pasan por el punto exterior

2. Cualquier segmento puede ser prolongado de forma continua en una recta ilimitada en la

- 5a. Geometría Euclídea (John Playfair, 1795): por un punto exterior a una recta se puede trazar
- 5b. Geometría Elíptica (Bernhard Riemann): no existen rectas paralelas que pasen por el punto

¡Las dos geometrías no euclídeas son tan consistentes como la versión original de Euclides!





La curvatura del espacio-tiempo

3 posibles curvaturas (cumpliendo el Principio Cosmológico), dependiendo de k = parámetro de curvatura



curvatura nula espacio plano (euclídeo) Universo plano (espacio infinito)

$$\alpha + \beta + \gamma = 180^{\circ}$$

 $C = 2\pi b \pmod{b}$ el radio)

Las paralelas permanecen



curvatura positiva espacio esférico Universo cerrado (espacio finito)

 $\alpha + \beta + \gamma > 180^{\circ}$ $C < 2\pi b$ (con *b* el radio) Las paralelas convergen



curvatura negativa espacio hiperbólico Universo abierto (espacio infinito)

$$\alpha + \beta + \gamma < 180^{\circ}$$

 $\{C > 2\pi b \pmod{b} \text{ el radio}\}$

Las paralelas divergen

Versiones en 2D





¡No es necesario contemplar una figura geométrica desde fuera para poder conocer su curvatura!





Como el Universo contiene materia (y energía, que es lo mismo), el Universo como un todo puede estar curvado. Es decir, el Universo tiene una determinada geometría.

Además sabemos que el espacio aumenta con el tiempo (las galaxias se alejan unas de otras).

Pero el ritmo de expansión depende de la geometría.

En otras palabras, podemos llegar a conocer qué geometría tiene el Universo midiendo a qué ritmo se expande.









¿Cómo cambia la distancia entre dos puntos en universos con diferente densidad de materia $\Omega_{\rm M}$?













Cuando tenemos simetría esférica en la distribución de masa, podemos colocar toda la masa en el punto central y eso no cambiará la fuerza de la gravedad percibido por un objeto exterior.



$F = G \frac{M_{\text{Tierra}} \times m_{\text{manzana}}}{R_{\text{Tierra}}^2}$

R_{Tierra}



Cuando tenemos simetría esférica en la distribución de masa, podemos colocar toda la masa en el punto central y eso no cambiará la fuerza de la gravedad percibido por un objeto exterior.



¡La gravedad dentro de un planeta hueco es cero!



Se puede demostrar de forma rigurosa utilizando cálculo infinitesimal.

Cuando hay simetría esférica, para calcular el efecto de la gravedad sobre un punto solo necesitamos conocer cuánta masa hay encerrada en una esfera interior a ese punto.



La masa que se encuentra a una distancia mayor que r no ejerce ninguna fuerza sobre el objeto que cae

El punto rojo percibe solo la gravedad ejercida por el material dentro de un radio *r*, como si toda esa masa estuviera en el centro.

Dinámica de galaxias espirales: curvas de rotación



Dinámica de galaxias espirales: curvas de rotación



La existencia de un halo de materia oscura (de naturaleza todavía desconocida a día de hoy) explica por qué las estrellas en las partes exteriores de las galaxias espirales se mueven a velocidades más altas de lo esperado si solo se tiene en cuenta la presencia de las estrellas luminosas.

A medida que nos alejamos del centro de la galaxia, las estrellas exteriores perciben que hay más materia.

La extensión de estos halos, difícil de determinar, debe ser, como mínimo, de 50 - 100 kpc (más grande de lo que podemos ver en forma de estrellas).

Las estimaciones indican que la masa en los halos de materia oscura pueden contener entre 5 a 10 veces la masa en estrellas + gas + polvo



Si la distribución de masa en la lente es esférica se produce un anillo de Einstein



Si es un cúmulo de galaxias se producen arcos múltiples

Lentes gravitatorias



Si la lente es elongada se produce una cruz de Einstein

https://www.spacetelescope.org/videos/hst15_gravitational_lensing/



Múltiples arcos en A2218





Múltiples arcos en A2218



Múltiples arcos en A2218





(I) Galaxias lejanas



Cuando la densidad del objeto que actúa como lente gravitacional no es muy grande, no se forman imagen múltiples, pero sí se producen distorsiones de las galaxias lejanas (lentes débiles o "weak lensing").





Cuando la densidad del objeto que actúa como lente gravitacional no es muy grande, no se forman imagen múltiples, pero sí se producen distorsiones de las galaxias lejanas (lentes débiles o "weak lensing").

Cúmulo de la Bala

Optical .

...

See Clowe et al. 2006

Optical Dark Matter

7. .

.

Distribución de materia oscura (determinada a partir de lentes gravitacionales, fuertes y débiles)

See Clowe et al. 2006

Cúmulo de la Bala

Optical X-ray Gas

1.

Distribución de materia visible (gas intracumular caliente emisor en rayos X)

See Clowe et al. 2006



Cúmulo de la Bala

El cúmulo menor (la bala) ha atravesado el otro, hace ~150x10⁶ años. Las galaxias y la materia oscura no han interaccionado apenas pero el gas intergaláctico ha chocado produciendo un frente de choque con material más caliente.
La distribución de materia oscura no sigue a la de la materia visible (gas intracumular)
Mejor evidencia hasta la fecha a favor de la realidad de la existencia de materia oscura y en contra de las posibles teorías de gravitación modificada

Galaxy Cluster MACS J0025.4–1222 Hubble Space Telescope ACS/WFC Chandra X-ray Observatory

Near Infrared • Hubble Visible • Hubble X-ray • Chandra Dark Matter Map

460 kiloparsecs

Otro ejemplo: MACS J0025.4-1222

1.5 million light-years

1. 1. 2

70″

E N,

Modelizando el Universo

Podemos construir modelos "de juguete" del Universo para estudiar cómo se han podido formas las grandes estructuras a través del tiempo. Para simplificar, se puede partir de una distribución relativamente homogénea de materia oscura y se hace evolucionar el sistema sometido a la expansión del espacio y al efecto de la gravedad.



El volumen de la región representada aumenta con el tiempo debido a la expansión del Universo, aunque aquí se muestra siempre con el mismo tamaño para apreciar mejor la aparición de estructuras.

http://cosmicweb.uchicago.edu/filaments.html





La simulación de milenio (Springel et al. 2005)







https://wwwmpa.mpa-garching.mpg.de/galform/virgo/millennium/








Millennium II (Boylan-Kolchin et al. 2009)

Millennium-II Simulation http://www.mpa-garching.mpg.de/galform/millennium-II





https://wwwmpa.mpa-garching.mpg.de/galform/millennium-II/



https://flamingo.strw.leidenuniv.nl/index.html



FLAMINGO is a project of the Virgo consortium for cosmological supercomputer simulations. The acronym stands for Full-hydro Large-scale structure simulations with All-sky Mapping for the Interpretation of Next Generation Observations.

Motivation

Observational cosmology based on measurements of the growth of large-scale structure is increasingly limited by the accuracy of theoretical predictions. The models that are compared with the data are nearly always based on dark matter only (DMO) simulations, though some allow for marginalization over expected baryonic effects associated with galaxy formation. However, baryonic effects become increasingly important as observations move to smaller scales, and may be considerably more complex than is assumed in the corrections applied to DMO simulations. Hydrodynamical simulations can in principle help resolve this issue, but they tend to use volumes that are too small to study large-scale structure, they often do not reproduce the relevant observables, and/or they do not include model variations that cover the relevant parameter space. The FLAMINGO project aims to address these shortcomings.

Key features:

- Three resolutions: high/m8 (baryonic particle mass m_g = 1.3 x 10⁸ M_☉), intermediate/m9 (m_g = 1.1 x 10⁹ M_☉), and low/m10 (m_g = 8.6 x 10⁹ M_☉)
- Flagship simulations: 2.8 Gpc box size at m9 resolution (L2p8_m9) and 1 Gpc at m8 resolution (L1_m8)
- Up to 3 x 10¹¹ particles (2 x 5040³ + 2800³)
- Subgrid feedback is calibrated to the z=0 galaxy stellar mass function and low-z cluster gas fractions using Gaussian process emulation
- Massive neutrinos are modeled using particles with the 'δf' method that was designed to reduce shot noise
- Twelve L1_m9 variations: eight simulations varying the calibration data and four varying the cosmology
- Full-sky lightcone particle data and HEALPix maps for up to 8 different observer locations
- Run with the Swift code and SPHENIX smoothed particle hydrodynamics implementation
- 3-fluid initial conditions with separate transfer functions for CDM, baryons and neutrinos, perturbing particle masses rather than positions to suppress discreteness noise





¡El universo tuvo un origen!

¿En qué pruebas se basa?

Expansión del Universo

<u>El mejor modelo cosmológico disponible es el del "Big Bang" (Gran Explosión)</u>

Detección de una radiación cósmica de fondo en microondas Abundancias de elementos químicos: nucleosíntesis primordial

En su origen el Universo era todos sus puntos





Mirar lejos es mirar al pasado

Cúmulos de galaxias

Origen Universo

Recombinación

Edad oscura

Primeras estrellas

Primeras galaxias

Desarrollo de las galaxias

La radiación de fondo se observa en todas direcciones



¡Detectable como una parte del ruido que se observa en un televisor (en modo analógico)!

UNIVERSO OBSERVABLE



En 1965 Penzias y Wilson descubrieron una radiación procedente de todas direcciones en el cielo, y que no podían asociar a ningún objeto celeste conocido.

La existencia de la radiación de fondo demuestra que cuando el Universo era muy joven (edad=380000 años) su temperatura era muy elevada.

Debido a la expansión del universo, esa luz ha sufrido un desplazamiento hacia el rojo que ahora provoca que se observe en la región del espectro electromagnético correspondiente a las microondas.





La radiación de fondo se observa en todas direcciones

Observaciones posteriores mostraron que la radiación de fondo se ajustaba perfectamente a un cuerpo negro a $T = 2.725 \pm 0.002$ K (es el mejor cuerpo negro natural).



Detectable como una parte del ruido que se observa en un televisor (en modo analógico)!





En 1965 Penzias y Wilson descubrieron una radiación procedente de todas direcciones en el cielo, y que no podían asociar a ningún objeto celeste conocido.



En 1989, el satélite COBE pudo hacer un mapa bidimensional del fondo cósmico de microondas





Aparentemente el fondo cósmico de microondas es extraordinariamente homogéneo en todas direcciones.

hacia Acuario



Si cambiamos el contraste de la imagen podemos detectar el movimiento absoluto de la Tierra respecto al fondo cósmico de microondas





Tras corregir del movimiento de la Tierra, es necesario corregir de la emisión de nuestra propia Galaxia





COBE detectó, por primera vez, anisotropías en la radiación de fondo. Las anisotropías son del orden de 1 parte en 100.000. Semillas para el crecimiento de las estructuras en el Universo (arrugas del espacio-tiempo) La resolución espacial de COBE era moderada (7°)







George Smoot (1945-)

John C. Mather (1946-)

Premio Nobel de Física en 2006

Origen del Universo (Big Bang)

Inflación

Mapa del COBE



Creación de las galaxias

13700 millones de años después del Big Bang

Después de una fracción diminuta de segundo 10^{-43} s tras el Big Bang

380000 años después del Big Bang: generación de la radiación de fondo de microondas

> La existencia de inhomogeneidades ("arrugas") en la radiación de fondo de microondas explica la formación de estructuras en el Universo.



De COBE a WMAP



De COBE a WMAP

WMAP (9 años de datos)

De WMAP a Planck

Planck (2013)

https://apod.nasa.gov/apod/ap130325.html

¿Qué volumen de universo podemos observar?

500 Mpc/h

¿Qué volumen de universo podemos observar?

Es un volumen muy grande, en el que, si el principio cosmológico se aplica, en cada punto de dicho volumen deben existir galaxias/cúmulos de galaxias con propiedades similares a las de los mismos objetos que nosotros observamos en el universo local.

Pero como la velocidad de la luz es finita, a grandes distancias el universo observable se nos presenta con propiedades diferentes a las del universo local. Gracias a ello, sin embargo, ¡podemos contemplar su evolución temporal!

El universo puede ser muchísimo más grande de lo que observamos (¡incluso infinito!). Si el principio cosmológico funciona, cualquier observador debe contemplar un universo similar al que nosotros observamos.

¿Por qué regiones muy distantes entre sí son tan similares?

500 Mpc/h

Alan Guth propuso en 1979 que en una fracción diminuta dentro del primer segundo de vida del universo, se produjo una expansión inflacionaria.

¿Por qué ocurrió la inflación?

El espacio del universo recién formado se encontraba en un estado de falso vacío: había un campo cuántico con energía no nula (un campo escalar, similar al campo de Higgs, aunque diferente).

Según la Relatividad General, un espacio "vacío" de estas características debería sufrir una expansión exponencial.

Inflación (edad 10^{-35} segundos)

Big Bang (edad 0 segundos)

La inflación "aplana" la geometría

Después de la inflación, lo que vemos *parece* plano

El Universo tenía curvatura antes de la inflación

Se soluciona además otro problema: ¿cómo se produjeron las irregularidades del Universo primitivo que dieron lugar a las estructuras a gran escala, como los supercúmulos, etc? Como el vacío físico no existe, pequeñas fluctuaciones cuánticas antes de la inflación crecieron con ésta para convertirse en fluctuaciones macroscópicas que dieron lugar al Universo actual.

Efectos de la inflación

Debido a la inflación sólo vemos una parte minúscula del Universo real \rightarrow La curvatura del Universo visible ha de ser prácticamente nula ($\Omega \simeq I$)

¡El universo tuvo un origen!

- El mejor modelo cosmológico disponible es el del "Big Bang" (Gran Explosión)
- ¿En qué pruebas se basa?

Expansión del Universo

Detección de una radiación cósmica de fondo en microondas

Abundancias de elementos químicos: nucleosíntesis primordial

Notación científica

Podemos escribir números grandes y pequeños utilizando potencias de diez

Números grandes y pequeños

- $10^4 = 10000$ $10^3 = 1000$ $10^2 = 100$ $10^1 = 10$ $10^0 = 1$ $10^{-1} = 0.1$ $10^{-2} = 0.01$ $10^{-3} = 0.001$ $10^{-4} = 0.0001$

hoy

Historia térmica del Universo

 $t = 10^{-43}$ s; $T = 10^{32}$ K

Antes de la era de Planck el espacio-tiempo y la materia-energía se encuentran en un estado desconocido que no puede describir la Física actual.

Especulación: las 4 fuerzas fundamentales podrían estar unidas y vendrían descritas por una única teoría del todo.

Hace falta una teoría cuántica de la gravedad (supercuerdas, teoría cuántica de bucles,...) que una el Modelo Estándar de la física de partículas con la Relatividad General.

Theory Of Everything Era de Planck; ruptura TOE (hipotética Teoría del Todo)

4 FUERZAS UNIDAS

the**Big** BANG S. 0 rotura TOE inflación nucleosíntesis primor • /• (\bigcirc) formación estrellas y galaxias 0000

Historia térmica del Universo

 $t = 10^{-43}$ s; $T = 10^{32}$ K

$$t = 10^{-35}$$
 s; $T = 10^{27}$ K

 $t = 10^{-32}$ $T = 10^{26}$ K S;

> Física Cuántica: en el vacío se están formando continuamente pares virtuales de partículasantipartículas que se aniquilan rápidamente.

reales.

materia que de antimateria).

- Era de Planck; ruptura TOE (hipotética Teoría del Todo)
 - omienza la inflación; ruptura GUT (Gran Unificación)
 - Final de la inflación

- La inflación se produce tan rápidamente que las partículas y antipartículas de los pares virtuales son separadas y no se aniquilan. Se convierten en pares
 - La mayor parte de la masa del Universo se crea en este suceso (en principio se debería haber creado la misma cantidad de

4 FUERZAS UNIDAS

Historia térmica del Universo

- Era de Planck; ruptura TOE (hipotética Teoría del Todo)
- Comienza la inflación; ruptura GUT (Gran Unificación)
 - Final de la inflación
 - Separación fuerza electrodébil
 - Confinamiento quarks (formación de p y n)

FUERTE NUCLE Ľ

Historia térmica del Universo

- Era de Planck; ruptura TOE (hipotética Teoría del Todo)
 - Comienza la inflación; ruptura GUT (Gran Unificación)
 - Final de la inflación
 - Separación fuerza electrodébil
 - Confinamiento quarks (formación de p y n)
 - Desacoplamiento ν , aniquilación e⁻-e⁺
 - Nucleosíntesis primordial

FUERTE **NUCLE** Ľ

Nucleosíntesis Primordial

Prácticamente, todos los neutrones quedan encerrados en el ⁴He (el resto se desintegran).

9Be

7

6

Puede hacerse una estimación de cuánto He se debe formar a partir de los neutrones disponibles $(N_n/N_p \simeq 0.16)$ cuando empieza la formación de deuterio) La predicción: 24% He, 76% H (en masa) es justamente lo que se mide en el Universo actual

Contenido de materia ordinaria en el Universo



33F/abstract 003 $\overline{\mathbf{O}}$ 0 ttDS:/

Predicción de la cantidad de hidrógeno, deuterio, helio y litio generados en los primeros minutos de vida del universo (BBN: Big Bang Nucleosynthesis).

La cantidad de deuterio es el observable que mejor restringe el valor de la densidad bariónica.





Origen de los elementos químicos detectados en el sistema solar







hoy

Historia térmica del Universo

- Era de Planck; ruptura TOE (hipotética Teoría del Todo)
- Comienza la inflación; ruptura GUT (Gran Unificación)
 - Final de la inflación
 - Separación fuerza electrodébil
 - Confinamiento quarks (formación de p y n)
 - Desacoplamiento ν , aniquilación e⁻-e⁺
 - Nucleosíntesis primordial
 - Final era de la radiación
 - Recombinación





FUERTE **NUCLE** Ľ

Antes de la recombinación

La temperatura es demasiado alta: los electrones y protones no pueden formar todavía átomos estables porque las colisiones evitan que estén unidos.

Como los fotones interactúan fácilmente con los electrones libres, aquellos no pueden viajar libremente. La luz no puede recorrer largas distancias antes de ser dispersada.

> electrones protones fotones



La temperatura desciende y los electrones y protones pueden, por primera vez en la historia del universo, formar átomos estables

¡A partir de ese momento los fotones pueden viajar libremente por el universo!

> electrones protones fotones



Después de la recombinación

RRA

2 Sakamoto_ Merry Christmas Mr. Lawrence





















modos de vibración (tamaño)



intensidad





ANTES DE LA RECOMBINACIÓN



DESPUÉS DE LA RECOMBINACIÓN







intensidad



modos de vibración (tamaño)



Espectro de potencias con Planck



Planck (2009-2013)



Evidencias de un Universo plano (sin curvatura)

La posición del primer pico depende fuertemente de la curvatura del universo. Su tamaño lineal está fijado por la edad del Universo en la recombinación. La relación entre tamaño lineal y el tamaño angular depende de la curvatura del Universo:

Geometría del Universo







Curvatura negativa









Historia térmica del Universo

- Era de Planck; ruptura TOE (hipotética Teoría del Todo)
- Comienza la inflación; ruptura GUT (Gran Unificación)
 - Final de la inflación
 - Separación fuerza electrodébil
 - Confinamiento quarks (formación de p y n)
 - Desacoplamiento ν , aniquilación e⁻-e⁺
 - Nucleosíntesis primordial
- Final era de la radiación
- Recombinación
- Formación primeras estrellas y galaxias





FUERTE **NUCLE** Ľ



Historia térmica del Universo

- Era de Planck; ruptura TOE (hipotética Teoría del Todo)
- Comienza la inflación; ruptura GUT (Gran Unificación)
 - Final de la inflación
 - Separación fuerza electrodébil
 - Confinamiento quarks (formación de p y n)
 - Desacoplamiento ν , aniquilación e⁻-e⁺
 - Nucleosíntesis primordial
 - Final era de la radiación
 - Recombinación
 - Formación primeras estrellas y galaxias
 - Hoy





FUERTE **NUCLE** Ľ

¡El universo tuvo un origen!

- El mejor modelo cosmológico disponible es el del "Big Bang" (Gran Explosión)
- ¿En qué pruebas se basa?
 - Expansión del Universo
 - Detección de una radiación cósmica de fondo en microondas
 - Abundancias de elementos químicos: nucleosíntesis primordial

¡El Universo se expande aceleradamente!



El vacío físico no existe

La física cuántica predice que en el vacío se producen fluctuaciones que hacen aparecer y desaparecer partículas-antipartículas virtuales muy rápidamente (tan rápido que no podemos detectarlas). ¡Sin embargo se puede medir su efecto!



El vacío físico no existe

La física cuántica predice que en el vacío se producen fluctuaciones que hacen aparecer y desaparecer partículas-antipartículas virtuales muy rápidamente (tan rápido que no podemos detectarlas). ¡Sin embargo se puede medir su efecto!



MODELO COSMOLÓGICO ESTÁNDAR

Radiación de fondo de microondas (380000 años) z ~ ||00

Inflación

¡El Universo pudo surgir a partir de la nada!

LAWRENCE M. **KRAUSS** UN UNIVERSO DE LA NADA



Y tuvo que hacerlo con baja entropía!

Fluctuaciones cuánticas

Expansión acelerada (energía oscura)

z = 0

Desarrollo de galaxias, planetas, etc.

Época oscura

Primeras estrellas y galaxias 400 millones de años z ~ |0-|5

13800 millones de años

RESULTADOS CONTRADICTORIOS: tensión en la constante de Hubble

Las determinaciones de H_0 (constate de Hubble) obtenidas a partir de las medidas del fondo cósmico de microondas proporcionan un valor próximo a 67 km s⁻¹ Mpc⁻¹. La medida que se obtiene usando estrellas cefeidas y SN la en otras galaxias es 74. Un tercer método, basado en el brillo de estrellas gigantes rojas, proporciona un valor de 70. En todos los casos, no parece haber un buen acuerdo dentro de las barras de incertidumbre.



https://www.scientificamerican.com/article/how-a-dispute-over-a-single-number-became-a-cosmological-crisis/

Geometría \neq Topología

La Relatividad General nos proporciona la geometría local en cada punto del universo, pero no nos dice nada acerca de su topología.



Fig. 3.1, The Shape of Space, J.R. Weeks



Geometría \neq Topología

La geometría presta atención a detalles cuantitativos de la forma de un objeto: distancias, ángulos, áreas, volúmenes. ¿Qué cosas cambian cuando el objeto se deforma?

La topología se fija en detalles cualitativos que son más fundamentales para describir la forma de un objeto, independientemente de su tamaño, forma o distorsión. ¿Qué cosas no cambian cuando el objeto se deforma?



https://www.youtube.com/watch?v=4iHjt2Ovgag

Dos objetos son topológicamente equivalentes si podemos pasar de uno a otro realizando deformaciones continuas.







El universo de Pac-Man



El universo de Pac-Man



https://www.youtube.com/watch?v=i_OjztdQ8iw



En el universo de Pac-Man el borde izquierdo de la pantalla se ha pegado al borde derecho. Moviéndonos en horizontal, este universo es ilimitado.









Toro plano en 2D universo finito e ilimitado ¡con curvatura cero!











































The Shape of Space, J.R. Weeks













































The Shape of Space, J.R. Weeks

Universo observable más pequeño que el tamaño finito del universo



¡No podríamos saber si el universo es así!

Universo observable más pequeño que el tamaño finito del universo



¡No podríamos saber si el universo es así!

Universo observable más grande que el tamaño finito del universo



¡Sí podríamos saber que el universo es así!

No veríamos imágenes duplicadas porque la velocidad de la luz es finita.

El Desafío de la Cosmología Moderna Observaciones: necesidad de explotar la astronomía multimensajero (radiación electromagnética, neutrinos, ondas gravitatorias y rayos cósmicos). Teoría: necesitamos una teoría cuántica de la gravedad. Interrogantes a responder: ¿Qué es la materia oscura? ¿Qué es la energía oscura? ¿Topología del Universo? ¿Por qué hay una flecha del tiempo? ¿Existen más universos (multiversos)?

Podemos entender el Universo?



byte

ORDEN POCA INFORMACIÓN ALTA COMPRESIBILIDAD

https://www.eso.org/public/images/potw1938a/







ORDEN POCA INFORMACIÓN ALTA COMPRESIBILIDAD

https://www.eso.org/public/images/potw1938a/







En un lugar de la Mancha, de cuyo nombre no quiero...

En un lugar de la Mancha, de cuyo nombre no quiero...

En un lugar de la Mancha, de cuyo nombre no quiero...

¿Podemos entender el Universo?

ORDEN POCA INFORMACIÓN ALTA COMPRESIBILIDAD

https://www.eso.org/public/images/potw1938a/



¿Podemos entender el Universo?

ORDEN POCA INFORMACIÓN ALTA COMPRESIBILIDAD

https://www.eso.org/public/images/potw1938a/

Muy probablemente, el ser humano no es el ser vivo más inteligente que haya existido, exista o vaya a existir.



Teoremas de incompletitud de Gödel (1931):
(1) En cualquier sistema formal axiomático suficientemente complejo y consistente, existen enunciados verdaderos que no se pueden demostrar dentro del sistema. En otras palabras, hay verdades matemáticas que son indecidibles para ese sistema.

(2) Un sistema formal no puede demostrar su propia consistencia.

El problema de "La Parada" de Turing (1936): no es posible escribir un programa de ordenador que sea capaz de responder si cualquier otro programa de ordenador terminará de ejecutarse o entrará en un bucle infinito para una entrada particular de este segundo programa.

Estos resultados tienen implicaciones para la inteligencia artificial, sugiriendo que existen limitaciones en lo que las computadoras pueden lograr en términos de razonamiento y demostración matemática formal.

Kurt F. Gödel (1906-1978)



Alan M. Turing (1912-1954)







https://www.eso.org/public/images/potw1938a/

Kurt F. Gödel (1906-1978)



Johann Sebastian Bach (1685-1750)

<u>abstract/10.1103/</u>





¿Podemos entender el Universo?

Hay muchos aspectos de la naturaleza que nunca seremos capaces de conocer independientemente de la cantidad de experimentación, desarrollo de teorías y simulaciones que hagamos.

https://www.eso.org/public/images/potw1938a/

¿Puede una parte insignificante del Universo (el ser humano) entender la totalidad del Universo?





Nunca vamos a terminar de explorar la complejidad y belleza del Universo



Un Gran Anillo en el Cielo





Media release

https://www.uclan.ac.uk/news/big-ring-in-the-sky

A Big Ring on the Sky

A second ultra-large structure - the Big Ring on the Sky - has been discovered in the same cosmological neighbourhood as the earlier discovery of the Giant Arc on the Sky.

UCLan PhD student Alexia Lopez has discovered the Big Ring on the Sky at the same redshift (z ~ 0.80) and only ~ 12 degrees from her previous discovery of the Giant Arc. Individually and together, these two ultra-large structures seem to defy explanation in our current understanding of cosmology.







