



Aventuras CosmoVerse

Energía oscura



El Aula

Introducción: El lado oscuro del universo



Profesor :

(Atrapando una manzana lanzada al aire) ¡Buenos días clase! ¿Alguien puede decirme por qué la manzana regresa al suelo al haberla lanzado?



Estudiante 1 :

Es la gravedad tirándola hacia abajo ¿No?



Profesor :

¡Precisamente! La gravedad tira de la manzana de regreso a la Tierra. Pero si pudiera tirar la manzana lo suficientemente rápido, a más o menos 11 kilómetros por segundo, alcanzaría la velocidad de escape y no regresaría más a la Tierra. Seguiría avanzando hasta donde la atracción gravitacional de la Tierra fuera cercana a



Estudiante 2 :

¡Sería como lanzar un cohete al espacio!



Profesor :

Exacto. Ahora conectemos esto con nuestro universo. Desde el Big Bang nuestro universo ha estado expandiéndose. Solíamos creer que empezaría a desacelerarse debido a la gravedad de las galaxias y la Materia Oscura.



Estudiante 3 :

¿Materia Oscura? Esa es la materia que no podemos ver, pero tiene efecto gravitacional, ¿Cierto?



Profesor :

Correcto. Pero esta es la sorpresa: los científicos descubrieron que el universo no se está haciendo más pequeño ni se está expandiendo más lentamente; se está haciendo grande cada vez más rápido; ¡se está acelerando!



Estudiante 1 :

Espere, ¿Se está acelerando? ¿Cómo es eso posible?



Profesor :

Es como lanzar una manzana hacia arriba y en vez de volver a caer se acelera hacia el espacio. Los científicos creen que es un tipo especial de energía la causante de esta aceleración, llamada Energía Oscura.



Figura 1: Los científicos se sorprendieron de que el universo se estuviera acelerando. Es como tirar una manzana hacia arriba y que se acelerara hacia arriba.

 **Estudiante 2 :**

¿Entonces la Energía Oscura es diferente a la Materia Oscura?

 **Profesor :**

¡Exactamente! La Materia Oscura es la materia que no vemos que tiene influencia gravitacional, actuando más como una red que detiene el vuelo de la manzana.

 **Estudiante 2 :**

¿Cuánta Energía Oscura existe en el universo?

 **Profesor :**

Bueno, cuando los científicos suman todo lo que existe en el universo, resulta que un asombroso 95% son cosas que no podemos ver directamente. Y dos tercios o cerca del 70% es Energía Oscura, que es tan poderosa que domina el destino de nuestro universo.

 **Estudiante 3 :**

¿Entonces el universo seguirá expandiéndose para siempre?

 **Profesor :**

Esa es la gran pregunta. Para averiguarlo, observamos la geometría del universo y si hay suficiente materia para evitar la expansión. Pero con tanta Energía Oscura, pareciera que sí, el universo se expandirá para siempre.

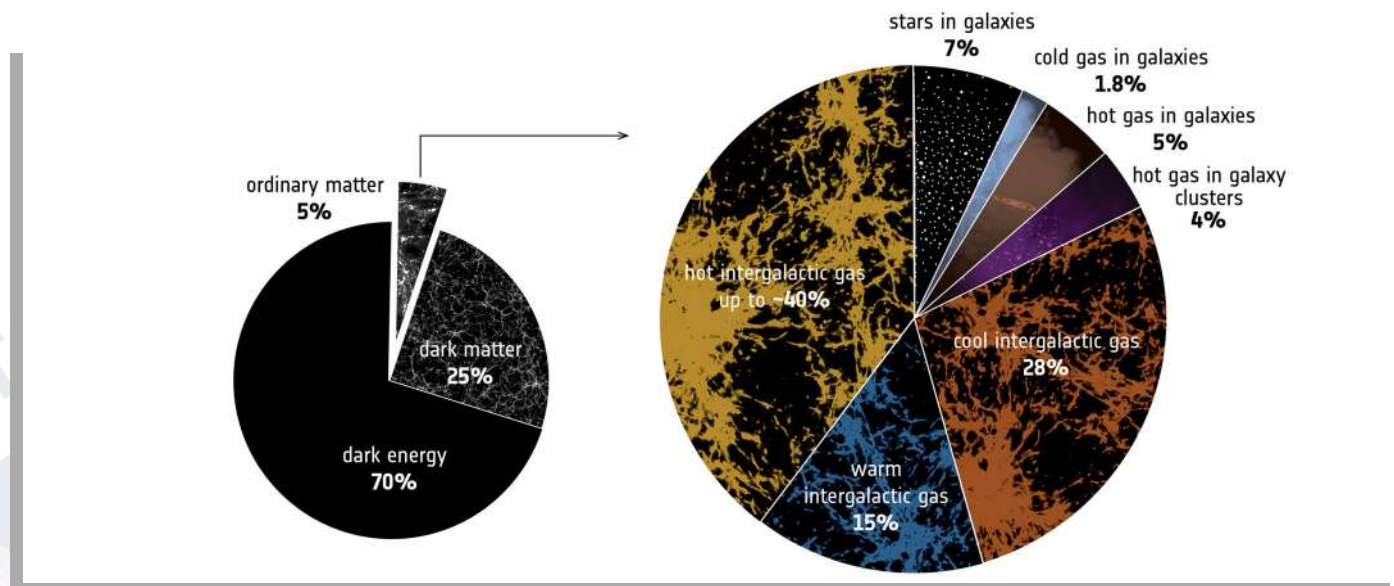


Figura 2: La Materia y Energía oscuras forman cerca del 95% del universo; el restante 5% está conformado por materia ordinaria llamada Bariones, mucha de la cuál estaba oculta hasta muy recientemente. Los científicos han descubierto recientemente mucha del material intergaláctico que no se había podido observar. Crédito: ESA.

 **Profesor :**

Unámonos a Quark en su nave espacial para explorar esto más detenidamente y presenciar el destino del universo y tal vez ¡el final del tiempo en sí mismo!



Nave de la imaginación

El destino del universo



Quark :

¡Bienvenidos de vuelta, exploradores cósmicos! Habiendo viajado a través del pasado del universo, es momento de poner marcha hacia el futuro, para preguntarnos sobre cómo terminará.



Estudiante 1 :

Siempre me he preguntado, ¿cuáles son los posibles finales?



Quark :

Claro, las posibilidades de final para el universo son tan variadas como emocionantes. Viajemos hacia el futuro lejano a bordo de la nave de la imaginación.

(La nave empieza a zumbear, las estrellas pasan a toda velocidad mientras se acelera hacia el futuro)



Quark :

Ahora, nuestra obra se desarrolla en tres actos, cada uno determinado por el protagonista, Omega Ω —el radio de toda la materia y energía respecto a la densidad crítica, el balance perfecto para un universo plano.



Estudiante 2 :

¡Omega Ω ! Se llama como la letra del alfabeto griego!



Quark :

Así es. En nuestro primer acto, si Omega Ω es menor que uno, el universo es como un tazón demasiado grande para su contenido. El espacio es curvo como una silla cósmica de montar, siempre abierto y expandiéndose. Esta es la historia del Gran Enfriamiento o Big Freeze, donde las galaxias se alejan entre ellas; dejándonos una fría e interminable expansión gracias a la enigmática Energía Oscura.



Estudiante 4 :

Eso es... bastante escalofriante.



Quark :

Así es. En el segundo acto, Omega Ω es mayor que uno y nos encontramos en universo demasiado pequeño para sus componentes, curvándose como una esfera. Aquí, la expansión del universo se detiene y luego se revierte, colapsando de nuevo en una ardiente singularidad -- un Big Crunch o Gran Aplastamiento.

Estudiante 3 :

¿Cómo si el universo tomara su último aliento?

Quark :

Un último suspiro, pequeño astrofísico. Pero en nuestro tercer acto, donde Omega Ω es igual a uno, tenemos un universo plano perfectamente balanceado. Aún así, este balance se decanta por una expansión interminable.

Estudiante 1 :

Entonces, ¿La Energía Oscura está ganando el tira y afloje cósmico?

Quark :

¡Exactamente! La Energía Oscura es como un actor oculto en esta obra espacial cósmica. Está haciendo que el universo se expanda cada vez más rápido, dominando la atracción gravitacional de todo lo demás. Esto hace que el escenario del Big Freeze, un universo cada vez más frío conforme se expande, sea el final más probable.

Estudiante 2 :

¿Vamos nosotros a ver este congelamiento?

Quark :

No por muchos eones. Pero algún día, las galaxias al borde de nuestra observación se apagarán, perdidas detrás de un horizonte cósmico siempre creciente, dejándonos en un oscuro y vasto océano de vacío. Un destino paradójico donde el universo crece pero revela menos.

Estudiante 4 :

¿Qué pasará si la Energía Oscura crece con el tiempo?

Quark :

Si la Energía Oscura se hace más fuerte, podría llevarnos a una Gran Rasgadura o Big Rip. Todo, incluso las galaxias y los átomos, se romperían mientras la expansión del universo crece incontrolablemente.

Estudiante 1 :

¿Puede la Energía Oscura hacerse más débil?

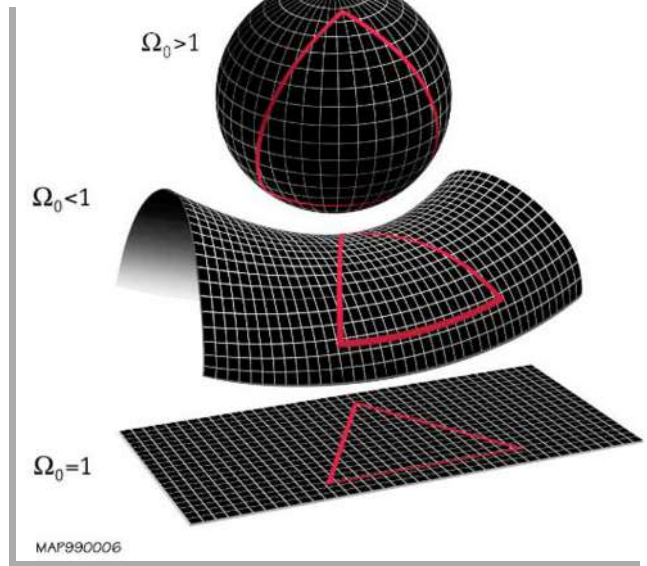
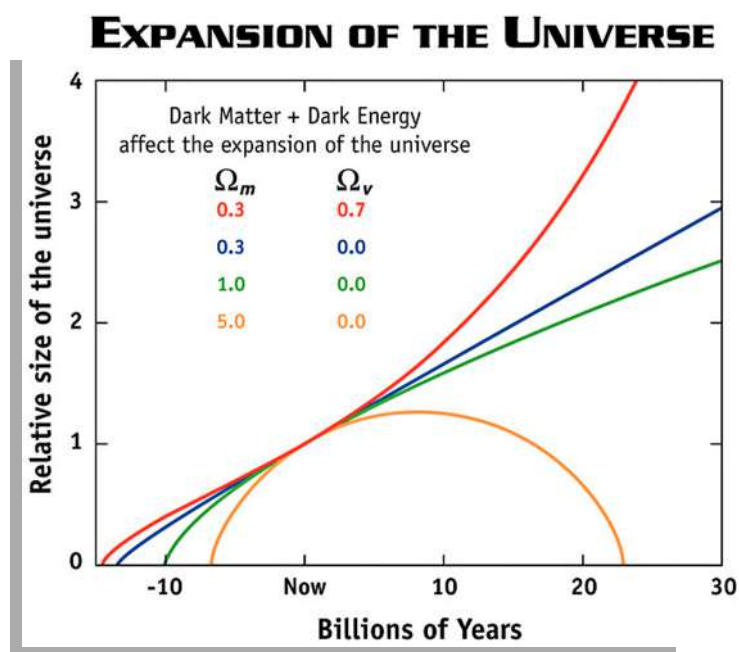


Figura 3: La geometría local del universo está determinada por el valor de la densidad relativa si Omega Ω es menor, igual, o mayor que uno. De arriba hacia abajo: un universo esférico con densidad crítica mayor ($\Omega > 1$, $k > 0$); un universo hiperbólico y de baja densidad ($\Omega < 1$, $k < 0$); y un universo con exactamente la densidad crítica ($\Omega = 1$, $k = 0$). El espacio-tiempo del universo es, contrario a los diagramas, de cuatro dimensiones. Crédito de la imagen: NASA.

Figura 4: Escenarios posibles del destino del universo: la curva naranja representa un universo cerrado con alta densidad que se expande por millones de años hasta que colapsa por su propio peso. La curva verde representa un universo plano con densidad crítica en donde el ritmo de expansión se frena continuamente (la curva se hace cada vez más horizontal). La curva azul muestra un universo abierto de baja densidad cuya expansión está disminuyendo en ritmo, pero no tan radicalmente como los anteriores porque la influencia gravitacional no es tan grande. La curva roja muestra un universo con cuya fracción de materia es una forma de Energía Oscura que hace que la expansión se acelere. Cada vez tenemos más evidencia de que nuestro universo está siguiendo la línea roja. Ω_m (Omega_m) y Ω_v (Omega_v) son parámetros que los cosmólogos usan para referirse al contenido del universo. Ω_m se refiere al contenido de materia del universo, que incluye materia ordinaria y materia oscura. Ω_v se refiere a la densidad de energía oscura. Es importante notar que los porcentajes están divididos entre 100. Créditos de la imagen: Equipos científicos de NASA / WMAP.



Quark :

Es posible. Si se hace más débil podríamos ver de todas formas un Gran Enfriamiento, pero si se hace negativa podría llevarnos a una Gran Aplastamiento o Big Crunch, donde el universo colapsa sobre sí mismo. Aunque, si algún cambio ocurre, tomaría mucho más que la edad actual del universo.

Estudiante 3 :

¿Entonces estamos en una carrera cósmica contra el tiempo?

Quark :

Para ponerlo de forma elegante, sí. La historia de nuestro universo todavía se está escribiendo, y tenemos los asientos delanteros para la obra. Mantenemos nuestros ojos abiertos para sus maravillas. Por ahora, hagamos lo que más podamos de nuestro viaje cósmico, mientras las estrellas sigan brillando sobre nosotros.

Estudiante 4 :

Yo sigo preguntándome, ¿Cómo hicieron los científicos para descubrir la Energía Oscura?

Quark :

¡Esa es una gran pregunta! Para descubrir la historia de la Energía Oscura, conozcamos a una mente brillante que profundizó en estos misterios cósmicos. Es tiempo de conocer al renombrado cosmólogo Stephen Hawking, quien nos puede iluminar sobre este enigma.

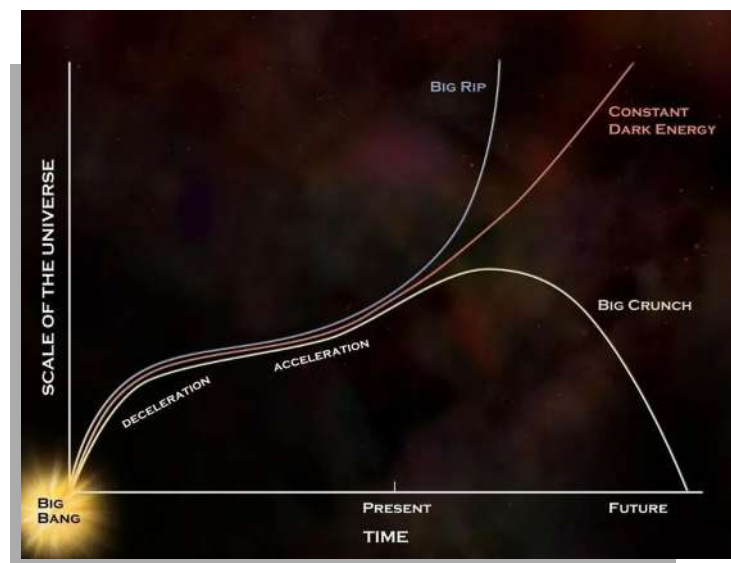


Figura 5: El destino final del universo depende de la influencia de la Energía Oscura. Si continua dominando a un ritmo constante, el universo seguirá creciendo sin límite. Si la influencia de la Energía Oscura crece demasiado, el universo se romperá en un "Big Rip". Si la Energía Oscura decrece y existe suficiente materia este eventualmente colapsará en un "Big Crunch". Crédito: NASA/CXC/M. Weiss



Conoce a un científico

El descubrimiento de la Energía Oscura

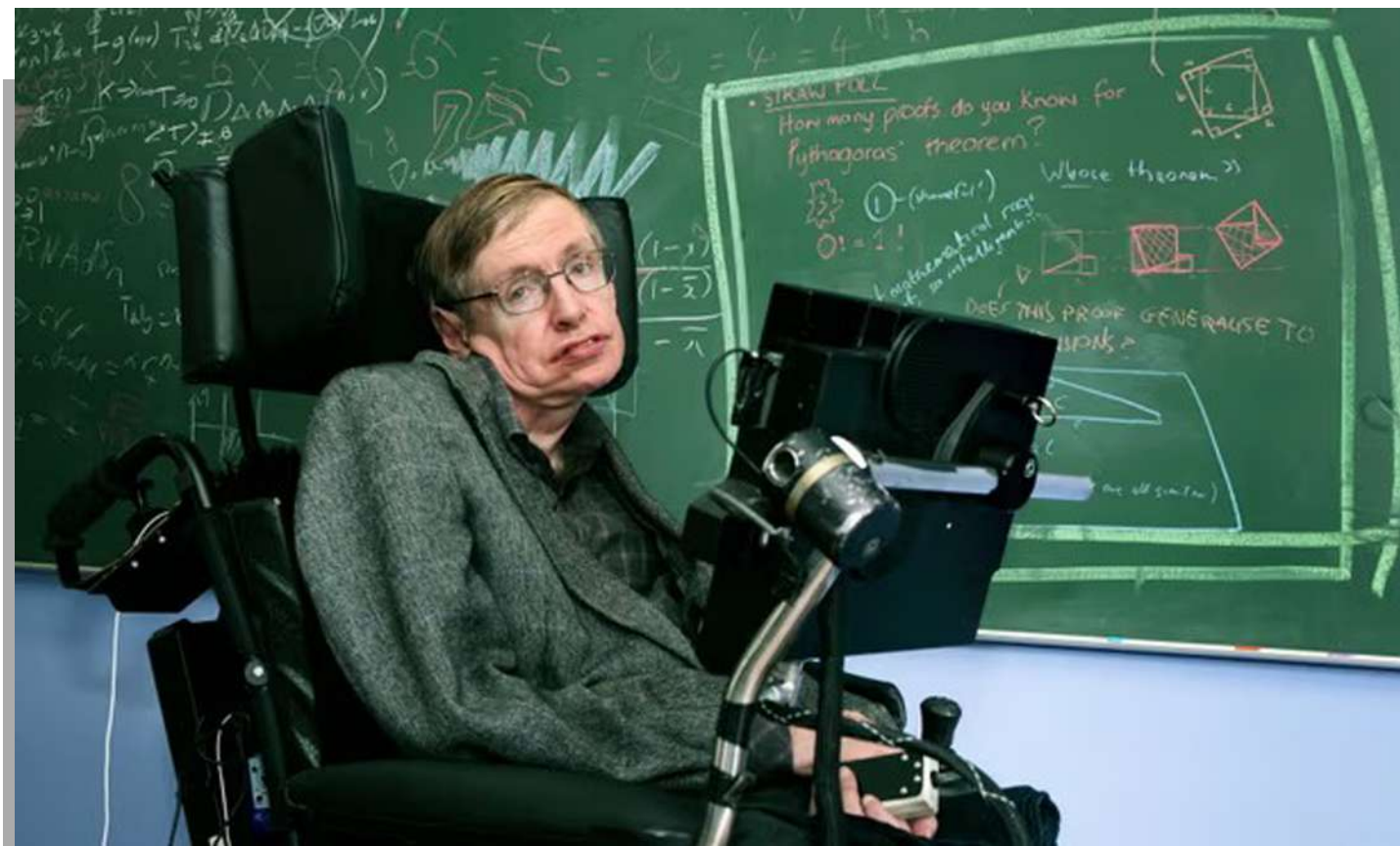


Figura 6: Stephen Hawking en su oficina en el departamento de matemática aplicada y física teórica de la universidad de Cambridge en 2005. Fotografía: Murdo Macleod/The Guardian.



Quark :

¡Bienvenidos, jóvenes exploradores! Hoy tengo el honor de presentarles al Profesor Stephen Hawking, ¡una de las grandes mentes de la cosmología!



Estudiante 3 :

¡Es un placer conocerlo profesor! Nos preguntábamos cómo fue que se midió la expansión del universo, llevando al descubrimiento de la Energía Oscura.



Hawking :

Feliz de estar aquí con ustedes. La clave para entender la expansión del universo está en cada fotón de luz que nos alcanza. Conforme el espacio se expande, estira la luz, incrementando su longitud de onda, creando algo que llamamos el corrimiento al rojo cosmológico.



Estudiante 1 :

Entonces, mientras el espacio se expande, más corrimiento al rojo observamos?



Hawking :

Precisamente. Y midiendo el corrimiento al rojo y la distancia que viajó la luz, podemos entender la historia de expansión del universo.



Estudiante 2 :

¿Pero cómo medimos que tan lejos ha viajado la luz?



Hawking :

Usamos una relación conocida como corrimiento al rojo-distancia. El corrimiento al rojo nos dice cómo se expande el universo, y la distancia nos dice la cantidad de espacio físico que ha cubierto la luz en su viaje.



Quark :

Para trazar esta historia de expansión, necesitamos medir diferentes corrimientos al rojo a diferentes distancias. Pero medir distancias no es fácil especialmente para objetos muy lejanos.



Hawking :

Es ahí donde entran las candelas estándar, objetos cuyo brillo intrínseco es conocido. Su aparente debilitamiento de brillo nos dice la distancia a la que se encuentran.



Estudiante 3 :

Es ahí donde entran las candelas estándar, objetos cuyo brillo intrínseco es conocido. Su aparente debilitamiento de brillo nos dice la distancia a la que se encuentran.



Hawking :

Exactamente. En los noventa, dos equipos de científicos estaban usando los telescopios más potentes para observar tan profundo como se pudiera en el universo buscando por un tipo especial de supernova llamada Tipo Ia. Estas son enanas blancas que explotan con una masa específica, haciendo que su luminosidad sea uniforme.



Estudiante 4 :

Entonces, sabiendo que tan brillantes son, ¿podemos saber qué tan lejos están?

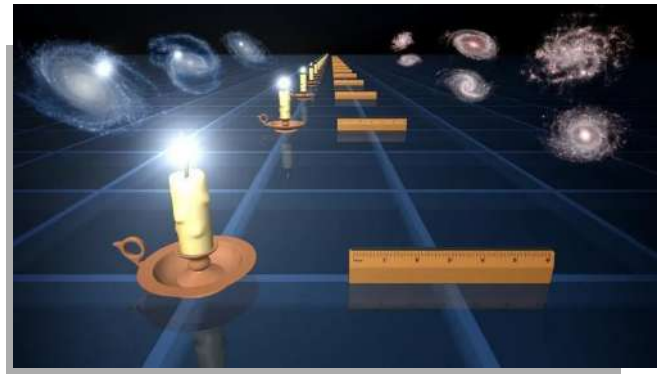


Figura 7: Ilustración artística del concepto "Candelas estándar" que son objetos astronómicos con luminosidad conocida, lo que significa que su brillo está bien entendido. Por comparación con su brillo conocido y por su brillo aparente visto desde la Tierra, los astrónomos calculan su distancia hasta nosotros.



Figura 8: Supernova tipo Ia 1994D que explotó en los alrededores de la galaxia NGC4526. La supernova es el objeto brillante en la esquina inferior izquierda. Créditos: NASA/ESA, The Hubble Key Project Team y el Equipo de Búsqueda de supernovas a alto z.



Hawking :

Justamente. Comparando su brillo esperado con que tan brillante las vemos podemos calcular la distancia. Y midiendo su corrimiento al rojo, sabemos que tanto el universo se ha expandido desde que la luz ha sido emitida.



Quark :

Pero algo inesperado ocurrió, ¿Verdad, Profesor Hawking?



Hawking :

En efecto. Las supernovas parecían más tenues de lo esperado, sugiriendo que estaban más lejos. Esto sugiere que el universo se expande más rápido actualmente que en el pasado.



Estudiante 1 :

Entonces, ¿la expansión del universo se está acelerando?



Hawking :

Correcto. Esperábamos que se frenara por la gravedad. Pero el descubrimiento de que se está acelerando derivó en la conclusión que una fuerza desconocida, que llamamos Energía Oscura, está impulsando esta aceleración los últimos 5 mil millones de años.



Estudiante 2 :

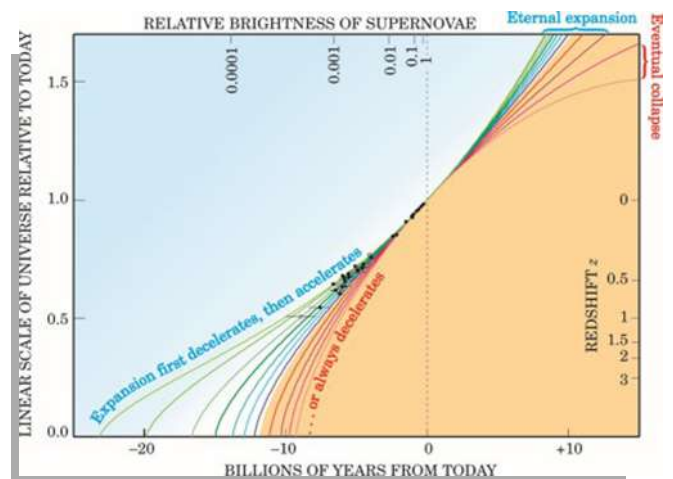
¿Y es así como descubrimos la Energía Oscura?



Hawking :

Si, este descubrimiento revolucionario cambió nuestro entendimiento del universo y se ganó un premio Nobel. Es un claro ejemplo de cómo nuestro universo nos sorprende continuamente, revelando más misterios mientras más exploramos.

Figura 9. Esta gráfica representa la expansión del universo a lo largo del tiempo, como se trazó observando Supernovas Ia. El eje horizontal muestra el tiempo, con el pasado a la izquierda y el futuro a la derecha, y el eje vertical indica el tamaño relativo del universo. El punto donde los dos ejes se encuentran representa el tamaño del universo actualmente. Las bandas de colores representan diferentes modelos de la expansión. Las regiones azules sugieren que la expansión del universo se está acelerando en el tiempo debido a una misteriosa fuerza llamada Energía Oscura o fuerza del vacío. Las curvas en esta región muestran diferentes cantidades de energía, de mayor (superior) a menor (inferior). La región amarilla, por otro lado, muestra modelos donde el universo siempre se frena por el contenido de materia. En los casos más extremos de esta banda, la expansión del universo incluso se detiene y se contrae, llevando a un colapso. Los puntos negro representan mediciones de Supernovas. Comparando el brillo esperado con el medido de las Supernovas, podemos ver que tan rápido se expandía el universo en distintas épocas. Estas mediciones sugieren que la expansión del universo primero se frenó y luego empezó a acelerarse, que es consistente con los modelos de la región azul. Créditos de la imagen: Perlmutter S., Physics Today.





Laboratorio de Acción

Demostración: El universo en expansión



Objetivo :

Entender el concepto de la Energía Oscura y su papel en el universo en expansión.



Tiempo de preparación : 5 minutes



Tiempo de actividad : 5 minutes



Materiales necesarios :

- Globos
- Pegatinas o stickers circulares
- Plumones
- Regla
- Papel



Procedimientos y observaciones :

- Divide a los estudiantes en grupos de dos o tres.
- Haga que los estudiantes inflen el globo hasta tomar forma, pero no completamente y que no sea amarrado. El globo representa al universo.
- Brinde a cada grupo unos cinco o diez stickers para pegar en el globo. Si no hay stickers disponibles, los estudiantes pueden pintar círculos con los plumones.
- Enseñe a los estudiantes a dibujar una onda en el globo para representar la luz viajando entre las galaxias.
- Los estudiantes deben medir la distancia entre los puntos del globo y la distancia entre las crestas de la onda. Estas mediciones representarán el punto de inicio del universo.
- Haga que los estudiantes inflen parcialmente más el globo, aún sin amarrarlo. Deben volver a realizar las mediciones entre puntos y de las crestas de la onda.

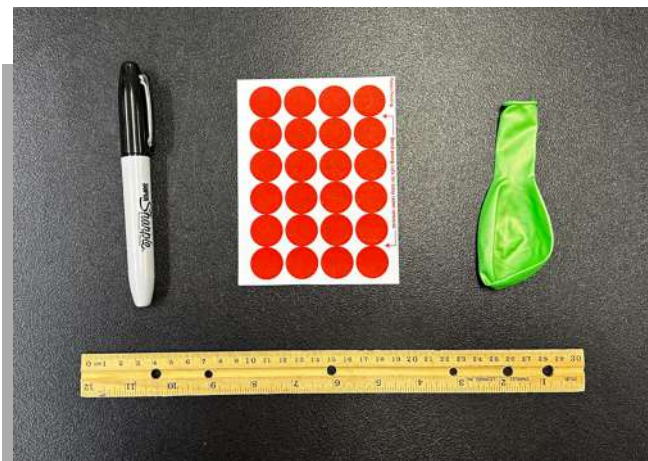


Figura 10: Créditos de la imagen: NASA/JPL-Caltech

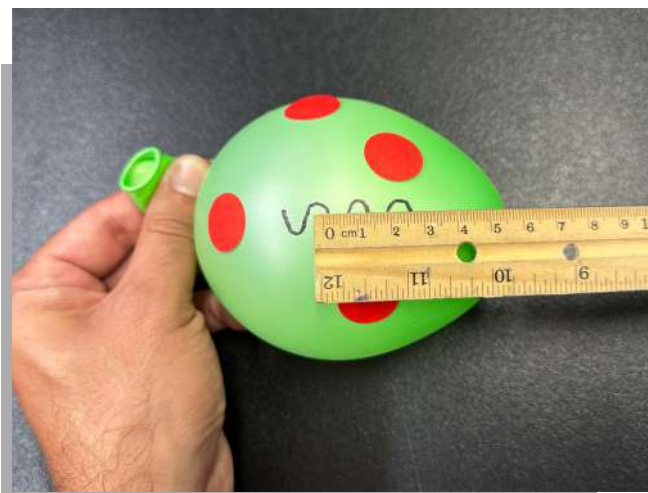


Figure 11: Créditos de la imagen: NASA/JPL-Caltech

- Los estudiantes deberían de realizar esto algunas veces más, observando el cambio de las mediciones. Deberían poder observar como las distancias entre las galaxias (puntos o stickers) y las ondas se incrementan conforme el globo (universo) se expande.

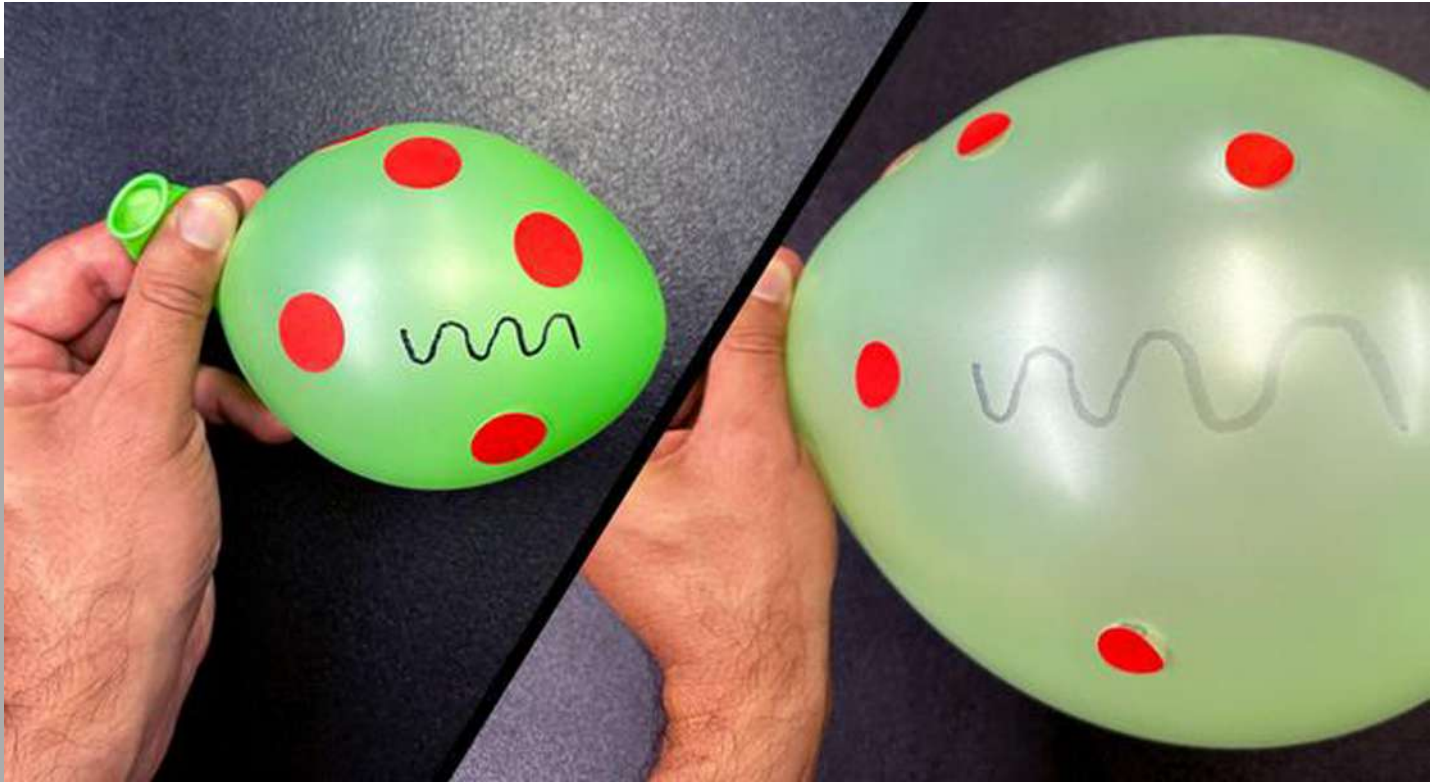


Figura 12: Los estudiantes usan un globo para modelar el universo en expansión. Créditos de la imagen: NASA/-JPL-Caltech.





Demostración y discusión :



Profesor :

Hoy demostraremos una de las teorías dominantes de la expansión del universo: que es una propiedad del espacio en sí mismo.



Estudiante 1 :

¿Y cómo haremos eso?



Profesor :

Usaremos globos como nuestros “universos”. Así como van inflando el globo noten como los stickers se van alejando. Esto simula cómo las galaxias se alejan en el universo. Las ondas de luz que dibujaron también se estiran, representando el fenómeno de corrimiento al rojo. ¡Recuerden no inflar tan fuerte o romperán el universo!



Estudiante 3 :

Así que mientras más inflamos las distancias siguen incrementándose. ¿Esto es como el universo que se hace más grande con el tiempo?



Profesor :

¡Exactamente! Y el incremento del espacio entre los stickers es una forma de visualizar cómo la Energía Oscura hace que el universo se expanda más rápido.



Estudiante 4 :

¿Entonces la Energía Oscura es como el aire que infla el globo?



Profesor :

Justamente, la Energía Oscura creemos que es una propiedad del espacio, y mientras aparece más espacio también aparece energía oscura haciendo que este se expanda más rápido. Esto es similar a la idea que tuvo Einstein en 1917, llamada *Constante cosmológica*.



Estudiante 2 :

¿De qué se trataba eso?



Profesor :

Einstein propuso que esta misteriosa energía balanceaba a la gravedad, previniendo al universo de colapsar. En su momento, él pensaba que el universo era estático y sin cambios, y la constante cosmológica explicaba esto.

 Estudiante 3 :

Pero el universo no es estático, ¿cierto?

 Profesor :

¡Exactamente! En 1929 Hubble descubrió que el universo se está expandiendo, lo que contradijo la idea de Einstein de un universo estático. Esto llevó a Einstein a replantearse la idea de una constante cosmológica, incluso llamándola el mayor error de su vida.

 Estudiante 3 :

Pero de una forma, el 'error' de Einstein ha encontrado nueva vida con nuestro entendimiento de la Energía Oscura.

 Profesor :

Cierto, pero hablemos ahora de otras ideas. Algunos científicos piensan que la Energía Oscura podría tratarse de partículas virtuales que aparecen y desaparecen en el espacio. Otra idea es que podría tratarse de algo conocido como “Quintaesencia” una forma de energía o campo que permea todo el universo, pero con un efecto opuesto en el universo que la energía normal y la materia.

 Estudiante 1 :

¿Hay alguna limitación para estas teorías?

 Profesor :

Los cálculos teóricos no igualan las observaciones tan bien como la Energía Oscura. O nos dan demasiada energía o sugieren que esta cambia con el tiempo, lo que no parece concordar con lo que observamos en el universo actualmente.

 Estudiante 2 :

Por tanto, ¿seguimos tratando de averiguarlo?

 Profesor :

Si, y esto es lo que hace a la ciencia tan estimulante. Siempre hay algo más por descubrir y entender. Como Einstein alguna vez dijo: “ La cosa más bella que podemos experimentar es el misterio. Es la fuente de toda la ciencia y arte. Aquel a quién la emoción le es ajena, quién ya no puede detenerse para maravillarse y asombrarse, está como muerto; y sus ojos están cerrados”.



Biblioteca Cósmica



Videos :

[The Dark Side Of The Universe – Brian Green](#)

[What Is Dark Energy?](#)

[What is Dark Matter and Dark Energy?](#)

[Unraveling the Mysteries of Dark Energy with NASA's WFIRST](#)

[What is Dark Energy made of? Quintessence? cosmological constant?](#)

[Dark Energy, Cosmology part 2: Crash Course Astronomy](#)

[Will the Universe Expand Forever?](#)

[Why the Universe Needs Dark Energy](#)

[What Does Dark Energy Really Do?](#)

[Neil deGrasse Tyson: What is Dark Matter? What is Dark Energy?](#)

[Mapping the universe: dark energy, black holes, and gravity](#)



Interactivo e Infografías :

[Dark Energy simulation](#)

[Dark Matter and Dark Energy Explained \(infographic\)](#)



Sitios web y artículos :

[The Five Ways The Universe Might End](#)

[Different articles and news about Dark Energy](#)

[Four Ways That Our Universe Might End](#)

[Dark Energy, Dark Matter - NASA](#)

[Accelerating the Expansion of the Universe](#)

[Dark Matter and Dark Energy – National Geographic](#)

[Dark Energy: The Biggest Mystery in the Universe](#)



Libro de texto :

[physics-for-21st-century-dark-energy-online-textbook](#)



Documentaries :

[Dark Energy: The Biggest Mystery In The Universe](#)

Most of the Universe is Missing



Quiz :

Dark Energy Quiz

The Mystery of Dark Energy



Glosario

Big Bang: La teoría que describe el origen del universo, empezando por un punto y expandiéndose a lo largo del tiempo.

Big Crunch: Escenario hipotético del universo en donde la expansión eventualmente es frenada llevando al colapso de nuevo a una singularidad.

Big Freeze: El potencial destino del universo donde este se expande hasta que llega a un estado frío donde las galaxias son separadas entre sí.

Big Rip: Un final teórico del universo donde la Energía Oscura incrementa con el tiempo y eventualmente hace que las galaxias, átomos y la materia sean separados.

Bariones: Partículas como los protones y neutrones que, junto con los electrones, forman a los átomos y forman la materia ordinaria del universo.

Constante cosmológica: Un concepto introducido por Einstein, representa una densidad constante en el universo que lo llena de forma homogénea.

Corrimiento al rojo cosmológico: El corrimiento al rojo (alargamiento de la longitud de onda) de la luz de galaxias lejanas, indicando que el universo se está expandiendo.

Energía Oscura: Forma de energía misteriosa que hace que el universo se expanda aceleradamente.

Materia Oscura: Forma de materia que no emite y absorbe la luz, pero que ejerce efectos gravitacionales en la materia visible.

Velocidad de escape: Velocidad mínima para que un objeto se libere de la atracción gravitacional de un cuerpo masivo.

Galaxias: Grandes sistemas de estrellas, polvo y gas unidos por gravedad, como la Vía Láctea.

Gravedad: La fuerza con la que un planeta u otro cuerpo celeste atrae otros cuerpos a su centro.

Omega Ω : Un parámetro cosmológico que representa el ratio de la densidad actual del universo respecto a la densidad crítica.

Quintaesencia: Forma hipotética de Energía Oscura, descrita por una energía dinámica o por un campo.

Candelas estándar: Objetos astronómicos, como las Supernovas Ia, cuyas luminosidades son conocidas y pueden ser usadas para medir distancias en el universo.

Supernovas: Objetos astronómicos, como las Supernovas Ia, cuyas luminosidades son conocidas y pueden ser usadas para medir distancias en el universo.

Supernovas Type Ia: Subclase de supernovas resultantes de la explosión de una enana blanca en un sistema binario.

This article/publication is based upon work from COST Action CA21136 – “Addressing observational tensions in cosmology with systematics and fundamental physics (CosmoVerse)”, supported by COST (European Cooperation in Science and Technology)

COST (European Cooperation in Science and Technology) is a funding agency for research and innovation networks. Our Actions help connect research initiatives across Europe and enable scientists to grow their ideas by sharing them with their peers. This boosts their research, career and innovation.

www.cost.eu

