



Aventuras CosmoVerse

**Gravedad
Geométrica**



El Aula

Introducción: La gravedad de Newton



Profesor :

(Dándole un mordisco a la manzana) ¡Buenos días, jóvenes exploradores! ¿Están listos para otra aventura en CosmoVerse?



Estudiante 1 :

¡Siempre señor! ¿Cuál es el tema de hoy?



Profesor :

Bueno, déjenme darles una pista. El tema de hoy fue introducido por primera vez por un científico que tuvo una revelación mientras observaba cómo caían las manzanas. ¿Puede alguno de ustedes adivinar quién era este científico y qué descubrió?

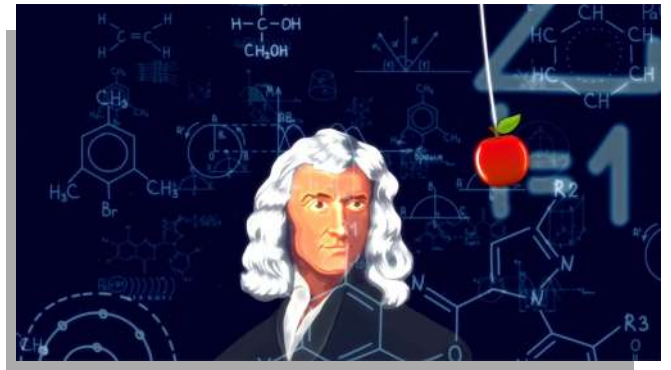


Figura 1: Representación artística de Sir Isaac Newton. Crédito de la imagen a klonusk.



Estudiante 2 :

¡Fue Sir Isaac Newton! Él descubrió la gravedad.



Profesor :

¡Excelente, así es! Hoy vamos a hablar de la gravedad. Pero antes, veamos este vídeo.

(El profesor(a) reproduce **un video** de una bola de boliche y una gran pluma cayendo en una cámara de vacío.)



Profesor :

Antes de que comience, ¿alguno de ustedes puede predecir cuál caerá primero?



Estudiante 3 :

Tiene sentido que la bola de boliche caiga primero porque es más pesada.



Profesor :

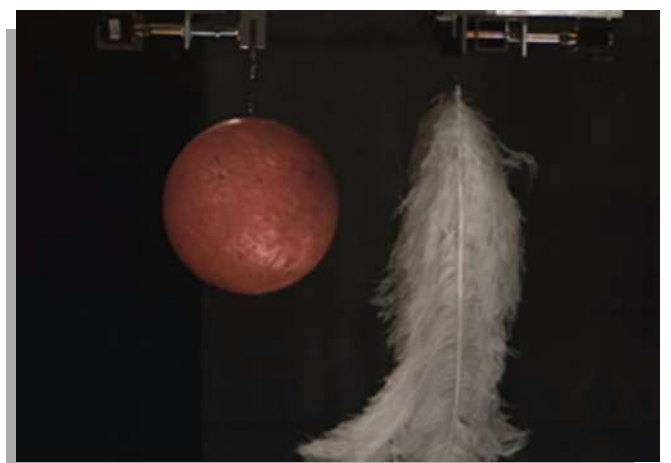
Miremos y observemos.

(Los estudiantes observan con asombro cómo la pluma y la bola caen al mismo tiempo.)



Estudiante 3 :

Wow, ellas cayeron exactamente al mismo tiempo!



Vídeo 1: Este fragmento está tomado del documental «Human Universe» de la BBC.

 **Profesor :**

¡Correcto! En el vacío no hay resistencia del aire. Pero la pregunta es, ¿por qué caen la pluma y la bola de bolos? Newton diría que hay una fuerza que las empuja hacia abajo, que es...?

 **Estudiante 2 :**

La gravedad?

 **Profesor :**

Exactamente! Newton explicó que cada masa atrae a todas las demás masas. La intensidad de esta fuerza varía en función de la masa de los objetos y de la distancia entre ellos. Todo sucede tal como dijo Newton: la Tierra gira alrededor del Sol, la Luna gira alrededor de la Tierra y el propio universo funciona según la gravedad de Newton. (Ver figura 2).

 **Estudiante 3 :**

Pero la distancia entre el Sol y la Tierra es de unos 150 millones de kilómetros, ¿habrá una fuerza para tal distancia?

 **Profesor :**

Brillante pregunta, y es exactamente la misma que empezaron a plantearse los científicos: ¿cómo funciona esta fuerza de gravedad en grandes distancias, como la que hay entre la Tierra y el Sol? Aquí entra en escena un joven empleado que trabajaba en una oficina de patentes Suiza, Albert Einstein. Tenía una perspectiva revolucionaria sobre la gravedad, inspirada por una simple observación.

 **Estudiante 1 :**

¿Fue otra manzana cayendo?

 **Profesor :**

(Risas) No exactamente. Estaba observando a un hombre que limpiaba las ventanas de un edificio y se preguntó qué pasaría si esa persona se cayera. Aunque nos pueda parecer extraño escuchar esto, Einstein lo describe como "el pensamiento más feliz de mi vida". Este pensamiento lo llevó a una de las ideas más innovadoras de la física.

 **Estudiante 4 :**

¿Un hombre que cae? Eso no tendría un final feliz.

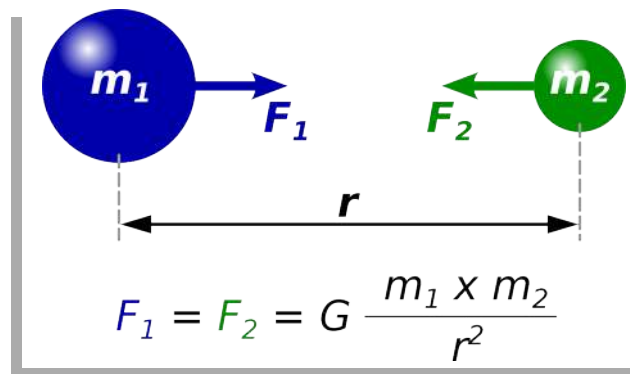


Figura 2: Este diagrama describe los mecanismos de la ley de gravitación universal de Newton. La fuerza es proporcional al producto de las dos masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia (r) entre las masas puntuales. Crédito de la imagen: Chris H. Hardy.

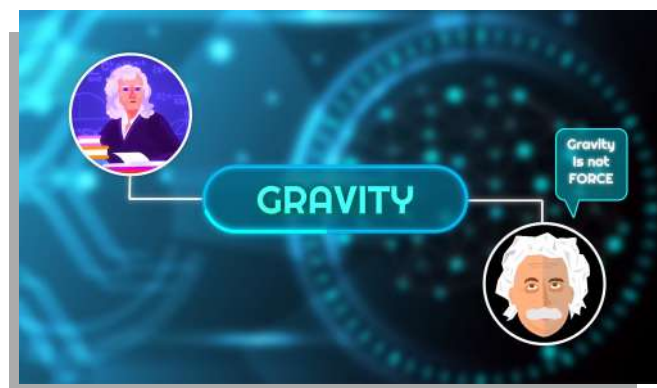


Figura 3: Teoría de la gravedad de Einstein vs. Teoría de la gravedad de Newton. Crédito de la imagen a klonusk.

Profesor :

Cierto, pero Einstein lo pensó de otra manera. En lugar de centrarse en el impacto, imaginó lo que sentiría el limpiador de ventanas al caer. Ahora, ponte en el lugar del limpiador de ventanas. ¿Qué crees que sentirías al caer?

Estudiante 2 :

¿Miedo? ¿Y el viento que soplaba a toda velocidad? ¡Y tal vez la gravedad me estaría empujando hacia abajo!

Profesor :

Dado que estás cayendo, la gravedad sería la única fuerza que actuaría sobre ti. No habría suelo que empujara tus pies ni ninguna silla que te sostuviera, por lo que no sentirías ningún peso. Sin la resistencia del viento, estarías en caída libre.

Estudiante 3 :

¡Ah, igual que la bola de boliche y la pluma del vídeo! Ambas están en caída libre, ¿correcto?

Profesor :

¡Exactamente! En caída libre, todo parece ingrávito. Einstein se dio cuenta de que la sensación de caerse de un edificio sería indistinguible de la de “flotar” en el espacio profundo. Pero para comprenderlo plenamente, tenemos que aventurarnos más allá de nuestra aula.

Estudiante 1 :

¿Nos vamos a otra aventura con Quark?

Profesor :

¡Exactamente! Invitemos a nuestro amigo cósmico, Quark, a que nos lleve a bordo de la nave espacial de la imaginación y exploremos más a fondo este fascinante concepto.



Figura 4: El experimento mental más feliz de Einstein: un hombre que cae al suelo y que lo llevó a su teoría de la relatividad general. Crédito de la imagen: klonusk.



Nave de la imaginación

La percepción de la gravedad



Quark :

¡Bienvenidos a bordo, jóvenes exploradores! ¿Están listos para otra aventura cósmica?



Estudiante 1 :

¡Siempre! ¿Cuál es el plan para hoy, Quark?



Quark :

Hoy vamos a experimentar la gravedad de una forma que nunca antes has sentido. ¡Abrochate el cinturón!

(Los estudiantes se apresuran a encontrar sus asientos y la nave espacial comienza a ascender. Cuando llegan al espacio, los estudiantes comienzan a “flotar” dentro de la nave espacial.)



Estudiante 2 :

¡Esto es increíble! Estamos “flotando”, es como nadar sin agua alrededor.



Quark :

Esto se debe a que nuestra nave espacial se desplaza a una velocidad constante, por lo que no sientes ninguna fuerza ni peso. ¿Recuerdas la primera ley del movimiento de Newton?



Estudiante 3 :

Sí un objeto está en reposo o se mueve a una velocidad constante en línea recta, permanecerá en reposo o seguirá moviéndose en línea recta a velocidad constante a menos que actúe sobre él una fuerza.



Quark :

¡Correcto! En este momento, eres un ejemplo perfecto de un observador inercial. Todos los objetos que hay aquí son estacionarios y relevantes para ti. No estás acelerando, no estás en un campo gravitacional, y todas las leyes de la física se aplican tal como esperarías.



Estudiante 4 :

Entonces, significa que no hay ningún experimento que podamos hacer para distinguir nuestro marco de referencia inicial de cualquier otro.



Figura 5: El observador inercial es un observador hipotético que no está acelerado con respecto a un sistema inercial. Crédito de la imagen: Veritasium.



Quark :

¡Exacto! Ahora, déjame cerrar las ventanas por un momento.

(La nave espacial comenzó a caer hacia la Tierra.)



Quark :

¿Sientes alguna diferencia ahora?



Estudiante 4 :

Todavía me siento igual, “flotando” por ahí.



Quark :

Interesante, ¿no? Pero déjame abrir las ventanas.



Estudiante 1 :

¡Nos dirigimos directo a la Tierra! ¿Pero por qué no siento eso?



Quark :

Estamos en caída libre. La nave espacial, incluso nosotros, descendemos al mismo ritmo. No hay ninguna fuerza en contra nuestra, por lo tanto, no hay sensación.



Estudiante 4 :

Ah, igual que el limpiador de ventanas en el experimento mental de Einstein.



Quark :

¡Precisamente! La sensación es idéntica, ya sea que estés “flotando” en el espacio profundo o cayendo en picado hacia la Tierra. Todo es relativo.



Estudiante 2 :

En realidad se trata de perspectiva y marcos de referencia.



Quark :

Ahora agreguemos otra capa a esto.

(Quark vuelve a cerrar las ventanas y activa el motor de la nave espacial y comienza a acelerar hacia arriba a 9.8 m/s^2)



Estudiante 3 :

¡Vaya! Me siento pesada, como si me estuvieran empujando al suelo. ¿Hemos aterrizado en la Tierra?



Figura 6: Caída libre en la Tierra = Movimiento libre en el espacio. Gravedad en la Tierra = 9.8 m/s^2 de aceleración en el espacio; es decir, la aceleración causa gravedad. Crédito de la imagen: klonusk.



Quark :

¡No! ahora estamos acelerando hacia arriba a 9.8 m/s^2 que es 1G, la fuerza gravitacional de la Tierra.



Estudiante 2 :

Ah, por eso parece que estamos en la Tierra. Una vez más, no puedo notar la diferencia.



Quark :

Exactamente, aprendimos que (Caída libre en la Tierra = Movimiento libre en el espacio) y (Gravedad en la Tierra = Aceleración de 9.8 m/s^2 en el espacio), y esto se llama principio de equivalencia de Einstein. Detengamos el motor para que podamos flotar de nuevo. Ahora, empujaré esta pelota hacia el centro y observaré su trayectoria.



Estudiante 2 :

Se mueve en línea recta.



Quark :

Ahora encendamos nuestro motor y aceleremos hacia arriba a 9.8 m/s^2 y lancemos la pelota nuevamente.



Estudiante 4 :

¡Ahora la pelota desciende en una trayectoria curva y golpea el suelo comportándose como lo haría en la Tierra!



Quark :

¡Exactamente! Pero ¿y si esta bola fuera un rayo de luz? ¿Se desviaría la luz? Einstein dijo que sí.



Estudiante 2 :

Pero la luz siempre toma el camino más corto entre dos puntos, ¿verdad?



Quark :

Correcto, Einstein postuló que el camino más corto no siempre es una línea recta. Piensa en la superficie terrestre. La distancia más corta entre dos puntos es una curva, no una línea recta, debido a la curvatura de la superficie terrestre.

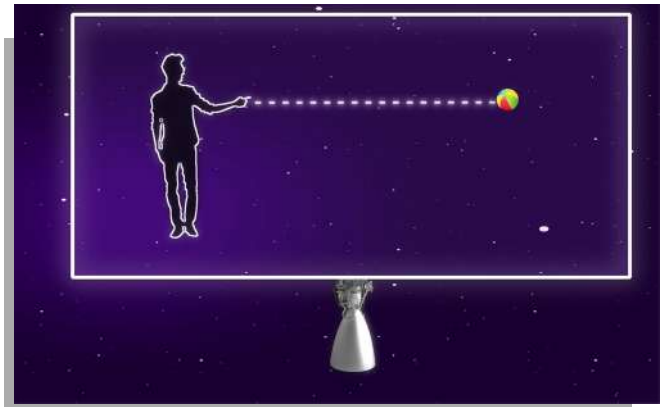


Figura 7: En caída libre, si lanzas una pelota, esta irá en línea recta. Crédito de la imagen: klonusk.

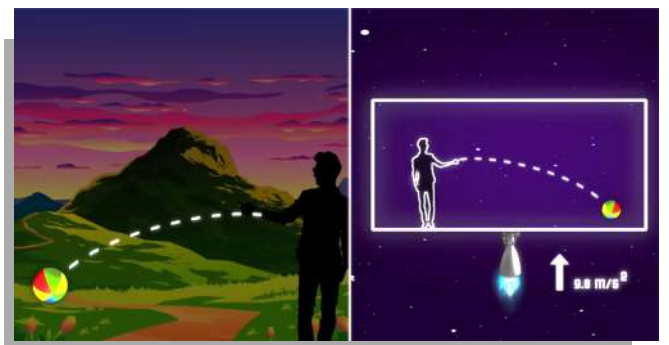


Figura 8: Lanzar una pelota en una nave espacial acelerada a 9.8 m/s^2 = Lanzar una pelota en la Tierra. Crédito de la imagen: klonusk.

Estudiante 1 :

¡Como las rutas de vuelo en la Tierra!

Quark :

¡Bingo! Estas trayectorias se conocen como «geodésicas». Otro ejemplo: si vamos directamente de un punto de la Tierra al Polo Norte. Para nosotros, vamos en línea recta, pero para un observador externo, parece que seguimos una trayectoria curva.

Estudiante 4 :

Entonces, ¿la idea de Einstein era que la presencia de masa y energía de alguna manera hace que el espacio mismo se curve?

Quark :

Exactamente, lo que le llevó a elaborar su revolucionaria teoría general de la relatividad, que publicó en 1915.

Estudiante 1 :

Sí, pero incluso si se dobla, no podemos verlo a esta velocidad de aceleración de sólo 9.8m/s^2 .

Quark :

Así es, entonces aumentemos nuestra velocidad de aceleración para que puedas observar la curvatura de la luz.

Estudiante 3 :

¡Vaya, Einstein tenía razón! Pero ¿cómo se demostró esto en su época?

Quark :

¡Una pregunta fantástica! Para comprenderla mejor, conozcamos al genio detrás de la teoría. ¡Vamos a conocer al profesor Albert Einstein!

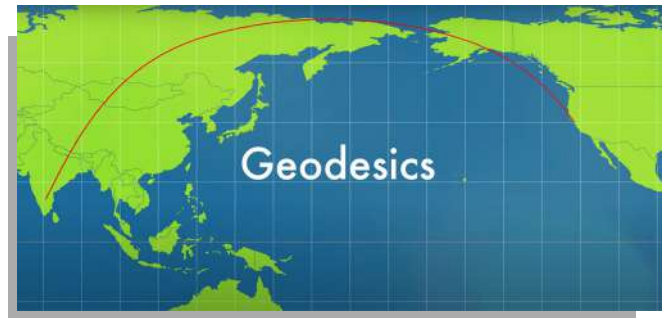


Figura 9: Las geodésicas pueden considerarse como las trayectorias más rectas posibles en un espacio dado. La Tierra es esférica, por lo que la trayectoria más corta traza una curva sobre su superficie. Los aviones siguen estas trayectorias para minimizar la distancia de vuelo. Crédito de la imagen: Veritasium.

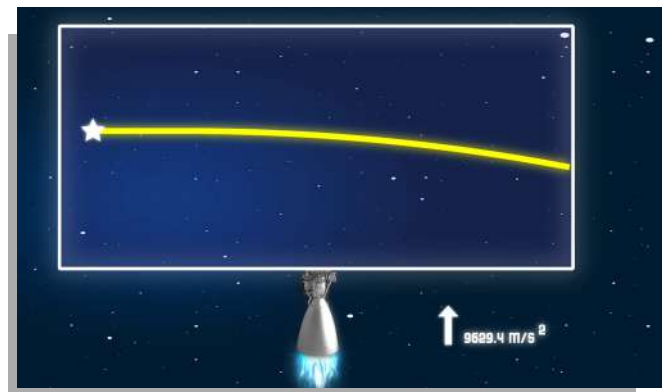


Figura 10: Cuanto mayor es la aceleración gravitacional, más pronunciada es la curvatura del espacio-tiempo a su alrededor, lo que resulta en una curvatura más pronunciada de la luz. Crédito de la imagen: klonusk

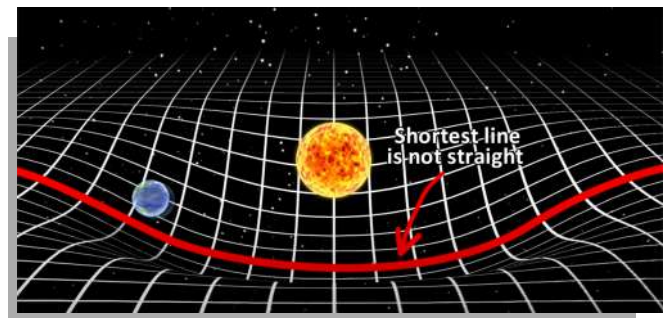


Figura 11: Visualización de la curvatura del espacio-tiempo alrededor de objetos masivos, donde la línea roja representa la geodésica, una trayectoria que demuestra que la distancia más corta entre dos puntos no es una línea recta, sino una curva moldeada por la gravedad. Crédito de la imagen: Arvin Ash.



Conoce a un científico

La teoría de la relatividad general y especial



Quark :

Students, meet someone who changed our understanding of the universe. The legendary Albert Einstein!



Einstein :

Guten Tag, ¡Jóvenes exploradores! Me alegra compartir un momento cósmico con ustedes.



Student 1 :

¡Es un honor, señor! Quark nos habló de su trabajo pionero sobre la relatividad y de cómo el espacio mismo es curvo. Pero tenemos curiosidad: ¿cómo se demostró una idea tan radical en su época?



Einstein :

¡Ah, qué mente tan curiosa! Para que mi teoría fuera aceptada, tenía que hacer una predicción comprobable y distinta de otras explicaciones. La clave estaba en la peculiar órbita de Mercurio.



Student 2 :

¡Oh! ¿Es ese el planeta que no orbita el Sol en una elipse cerrada?



Einstein :

¡Exactamente! La órbita de Mercurio tiene precesión, lo que significa que su órbita elíptica nunca se cierra perfectamente. En cambio, el punto más alejado de su órbita del Sol avanza ligeramente con cada revolución. Esta anomalía desconcertó a los científicos, ya que las ecuaciones de Newton no podían explicarla. Pero cuando apliqué mi teoría del espacio curvo, ¡predijo la precesión exacta observada de Mercurio!



Student 3 :

That must've been such a "Eureka!" moment for you!

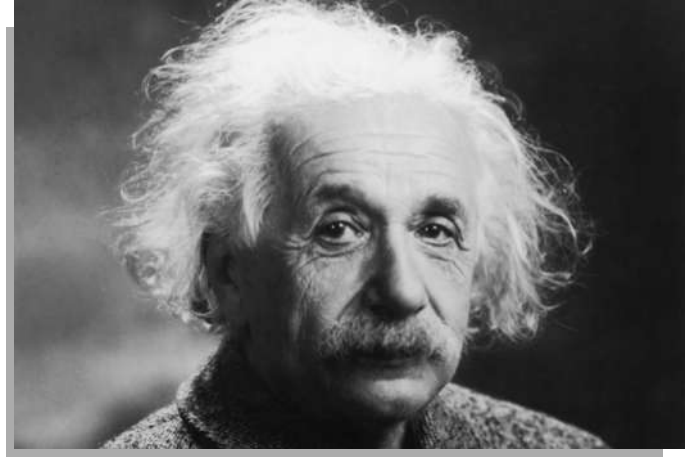


Figura 12: Albert Einstein. Crédito de la imagen: Biblioteca del Congreso.

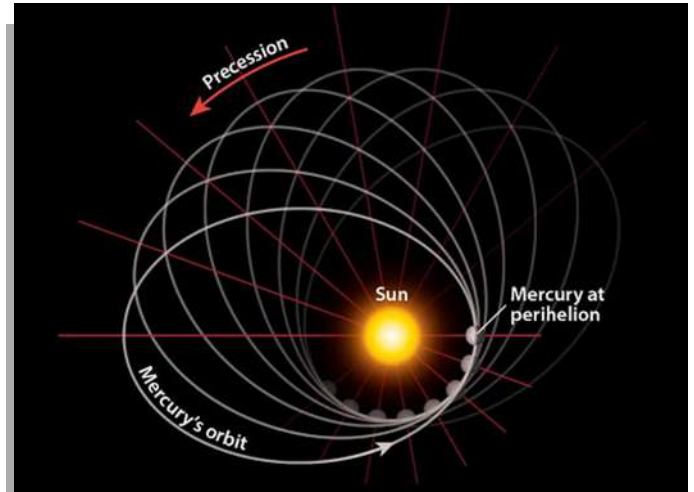


Figura 13: Impresión artística exagerada del desplazamiento orbital de Mercurio. Este hecho se considera el primer triunfo de la Teoría de la Relatividad General de Albert Einstein de 1915.



Einstein :

¡En efecto! Imaginar, por un momento, que yo era la única alma que entendía esta danza cósmica. Pero, aunque Mercurio fue un triunfo, muchos de mis compañeros permanecieron escépticos.



Estudiante 1 :

Entonces, ¿cómo los convenciste?



Einstein :

La evidencia más concluyente se obtuvo durante un eclipse solar en 1919, casi cuatro años después de publicar mi teoría. Un astrónomo inglés, Arthur Eddington, dirigió un equipo para fotografiar estrellas cercanas al Sol durante este eclipse. Mi teoría predecía que la luz de las estrellas, al pasar cerca del Sol, se desviaría debido a la curvatura del espacio creada por la gravedad solar.



Quark :

Y si Einstein estaba en lo cierto, la posición observada de estas estrellas sería diferente de sus posiciones esperadas sin la influencia del Sol.



Einstein :

¡En el clavo, Quark! Cuando el equipo de Eddington analizó las fotos, la luz estelar se había desviado exactamente como yo había predicho. Este experimento fue una confirmación contundente de mi teoría y cambió el curso de la física para siempre.



Estudiante 1 :

Entiendo la curvatura del espacio, pero a menudo nos referimos al término "espacio-tiempo", no solo al espacio. ¿Cómo influye el tiempo en esto?



Einstein :

Excelente pregunta. Para responderla, debemos retroceder un poco y revisar mi primera teoría: la relatividad especial, publicada en 1905. En esencia, esta teoría presupone que la velocidad de la luz permanece constante, independientemente de la perspectiva o el sistema de referencia. Por lo tanto, ya sea que esté acelerando o en reposo, la luz siempre viajará a la misma velocidad.

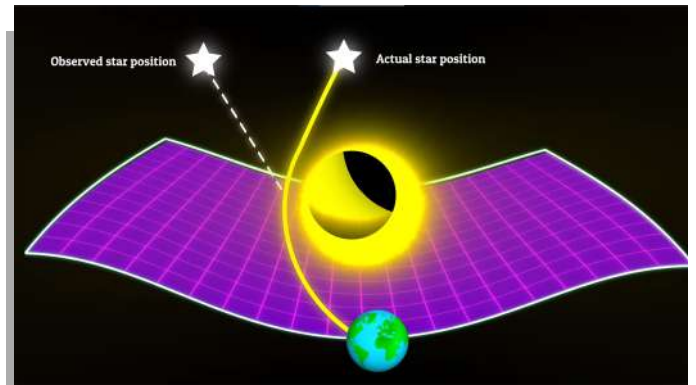


Figura 14: Demostración del efecto de lente gravitacional, donde la luz de una estrella se desvía por la gravedad del Sol, haciendo que la estrella aparezca en una posición diferente en el cielo vista desde la Tierra. El efecto ilustra la curvatura del espacio-tiempo predicha por la relatividad general. Crédito de la imagen: klonusk.

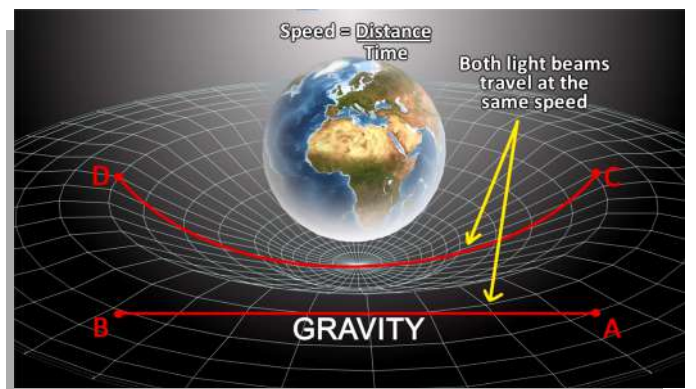


Figura 15: Como la distancia recorrida por la luz DC, bajo la influencia de la gravedad, es mayor que la de la luz BA, que no la sufre. Para mantener constante la velocidad de la luz, el tiempo debe transcurrir más lento en el campo gravitacional que en el espacio vacío. Crédito de la imagen: Arvin Ash.

Estudiante 3 :

Pero, profesor Einstein, ¿cómo se relaciona eso con la gravedad y el tiempo?

Einstein :

Consideremos esto: la velocidad es igual a la distancia sobre el tiempo, representada como $V = D/T$. Ahora bien, en presencia de un campo gravitacional, la trayectoria de la luz se alarga debido a la curvatura del espacio. Si queremos que la velocidad de la luz se mantenga constante, algo debe ceder, y ese algo es el tiempo. El tiempo transcurre más lento en un campo gravitacional que en el espacio vacío.

Estudiante 1 :

Entonces, ¿estás diciendo que el tiempo se curva con la gravedad al igual que lo hace el espacio?

Einstein :

¡Exactamente! La curvatura del espacio cerca de un campo gravitacional afecta el tiempo, asegurando que la velocidad de la luz se mantenga constante en ambos entornos. Este entramado es lo que llamamos espacio-tiempo.

Quark :

Para ponerlo en contexto, los relojes de la Tierra van un poco más lentos que los de la Estación Espacial Internacional. Hemos verificado este efecto mediante diversos experimentos. Es incluso crucial para la sincronización de los satélites GPS con los relojes terrestres. Sin este ajuste, las aplicaciones de GPS mostrarían ubicaciones incorrectas.

Estudiante 4 :

¡Ah! Esto me recuerda a la película "Interstellar". Había un planeta cerca de un agujero negro donde una hora en él equivalía a siete años fuera de su influencia gravitacional. ¿Se basaba en tus teorías?

Einstein :

No he visto la película, pero parece que "Interstellar" hizo un trabajo notable al ilustrar los efectos de la dilatación del tiempo debido a los intensos campos gravitacionales.

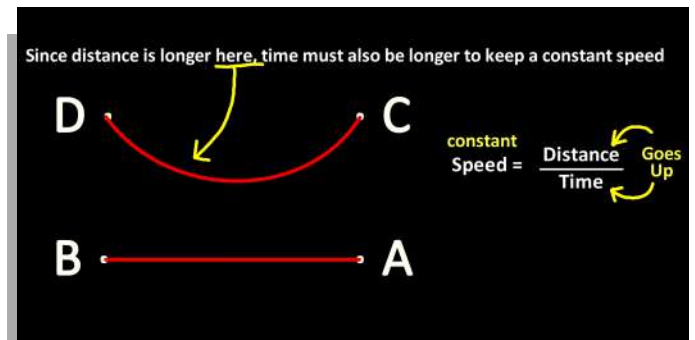


Figura 16: Dado que la distancia entre las corrientes continuas es mayor, el tiempo también debe ser mayor para mantener una velocidad constante. Crédito de la imagen: Arvin Ash.

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu} - \Lambda g_{\mu\nu}$$

space-time curvature = stress from stuff in space-time - stress from empty space-time itself



Figura 17: Ecuaciones de campo de la relatividad general de Einstein, que describen cómo la materia y la energía (tensión del material en el espacio-tiempo), junto con la constante cosmológica (tensión del propio espacio-tiempo vacío), determinan la curvatura del espacio-tiempo. Crédito de la imagen: Arvin Ash.



Quark :

Parece que nuestro viaje cósmico nos aguarda con más misterios. Gracias, profesor Einstein, por ilustrarnos hoy.



Einstein :

El placer es mío. Siempre pregunta, siempre preguntándome. El universo está lleno de enigmas esperando ser desvelados.





Laboratorio de Acción

Demostración 1: Botella de agua en caída libre



Objetivo :

Demostrar los efectos de la caída libre sobre los objetos y comprender la teoría de Einstein de que en caída libre, los objetos ya no "sienten" la gravedad de la misma manera.



Tiempo de preparación : 5 minutos



Tiempo de actividad : 5 minutos



Materiales necesarios :

- Una botella de plástico con tapa hermética
- Un alfiler o clavo pequeño para hacer agujeros en la botella
- Agua para llenar la botella
- Una lámina de plástico para contener el agua que gotea



Demostración y discusión :



Profesor :

¡Muy bien, estudiantes, pongamos a prueba nuestros conocimientos! Hemos aprendido bastante sobre la caída libre y cómo se comportan los objetos bajo la influencia de la gravedad. Veamos la teoría de Einstein en acción.

(Sostiene una botella llena de agua, con múltiples agujeros por los que sale agua).



Profesor :

Como pueden ver, la gravedad está extrayendo el agua de los agujeros de esta botella. Pero la teoría de Einstein sugiere que, en caída libre, los objetos ya no "sienten" la gravedad de la misma manera.



Estudiante 2 :

Entonces, si lo dejas caer, ¿el agua dejará de salir porque está en caída libre?



Profesor :

¡Exacto! ¿Listos para verlo? Cuenten desde tres.



Estudiantes :

Tres, dos, uno...



Figura 18: Sostiene una botella llena de agua, con múltiples agujeros por los que sale agua. Crédito de la imagen: giftofcuriosity.com

(Deja caer la botella y, como se predijo, el agua deja de salir mientras la botella está en caída libre).



Estudiante 3 :

Wow! ¡Eso fue increíble!



Estudiante 4 :

Entonces, ¿el agua dentro de la botella estaba en un estado similar a la ingravidez cuando estaba cayendo?



Teacher :

Exactamente. Esta es la esencia de la comprensión de Einstein sobre la gravedad.





Laboratorio de Acción

Demostración 2: Gravedad de láminas de goma espacio-temporales



Objetivo :

Visualizar el concepto de espacio-tiempo curvo propuesto por la teoría de la relatividad general de Einstein y comprender cómo los objetos masivos afectan el espacio que los rodea.



Tiempo de preparación : 10 minutos



Tiempo de actividad : 15 minutos



Materiales necesarios :

- Una lámina grande de goma elástica o tela de licra.
- Un marco o soporte para estirar y asegurar la lámina (opcional).
- Una pelota pesada (por ejemplo, de metal o de goma).
- Pelotas más pequeñas (por ejemplo, canicas o pelotas de ping pong).



Demostración y discusión :



Profesor :

Ahora, comprendamos la diferencia entre la gravedad de Newton y la de Einstein. Newton imaginó un espacio y un tiempo fijos, donde la gravedad era una fuerza misteriosa que actuaba entre los objetos, incluso si no se tocaban. En este modelo, la gravedad operaba dentro de los límites del espacio y el tiempo fijos sin afectarlos.



Figura 19: Una pequeña esfera se coloca en órbita alrededor de la masa central. Crédito de la imagen: NASA/JPL-Caltech | [+ Expand image](#)



Estudiante 2 :

Sí, Einstein propuso que la gravedad no es solo una fuerza entre objetos. Más bien, surge de la interacción entre el espacio y objetos masivos.



Profesor :

¡Excelente! En resumen, como John Wheeler posteriormente resumió la teoría en 12 palabras: «El espacio-tiempo le dice a la materia cómo moverse; la materia le dice al espacio-tiempo cómo curvarse».



Estudiante 1 :

Entonces, ¿las órbitas de los planetas están determinadas por cómo se curva el espacio alrededor de ellos?

 **Profesor :**

¡Correcto! Saquemos una lámina de goma y estirémosla. Así se vería el espacio si elimináramos toda la masa y la energía. Ahora veamos qué sucede si coloco una pelota pesada en el centro.

 **Estudiante 4 :**

Está provocando una caída en la lámina.

 **Profesor :**

Exactamente. Esta bola pesada representa un cuerpo celeste, como el Sol. Su enorme presencia curva el espacio. Ahora, gira estas bolas más pequeñas alrededor de la central.

 **Estudiante 3 :**

Vaya, las bolas más pequeñas parecen orbitar la central, emulando planetas en el espacio curvo excavado por un sol.

 **Profesor :**

¡Exactamente! La bola más pequeña seguiría la curva creada por el objeto más pesado. Pero recuerda, esta analogía es en un plano bidimensional, solo para visualización. La interacción real ocurre en tres dimensiones. El universo real no es una lámina plana; es una vasta extensión en todas direcciones.

 **Estudiante 3 :**

¡Gracias! Estas dos demostraciones me ayudaron a conectar la teoría con la práctica.

 **Profesor :**

¡Genial! Hoy, en nuestra aventura CosmoVerse, hemos visto que la gravedad no es solo una fuerza que actúa misteriosamente a distancia, sino una curvatura de la estructura misma del universo: el espacio-tiempo. Fuimos testigos de la genialidad de la visión de Einstein. Al regresar a nuestra vida cotidiana, mantengamos la sensación de asombro y curiosidad que ha guiado nuestra exploración de hoy, siempre conscientes de los profundos misterios del cosmos que esperan ser descubiertos.

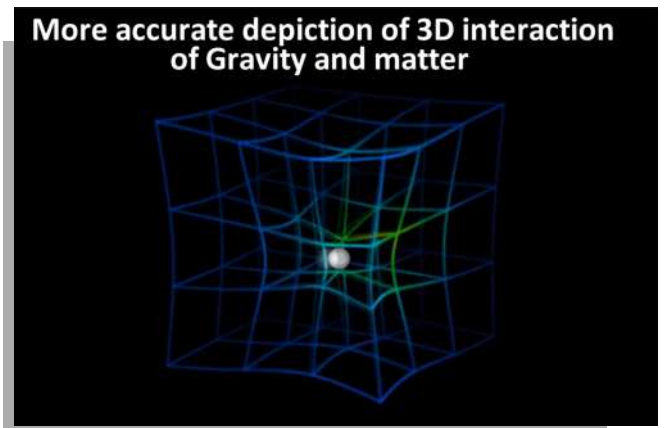


Figura 20: Representación más precisa de la interacción tridimensional entre la gravedad y la materia. Fuente: lucasvb.tumblr.com



Biblioteca Cósmica



Videos :

[Why Gravity is NOT a Force](#)

[General Relativity Explained simply & visually](#)

[If light has no mass, why is it affected by gravity? General Relativity Theory](#)

[Einstein's Special Relativity Theory | Does Time really Slow down](#)

[Brian Greene Explains That Whole General Relativity Thing](#)

[How Does Gravity Affect Light?](#)

[Base for Special Relativity theory | Why is the speed of light constant](#)

[Special Relativity: Crash Course Physics #42](#)

[Brian Cox visits the world's biggest vacuum | Human Universe - BBC](#)

[Gravity Visualized](#)



Interactivos :

[Modeling the Orbits of Planets](#)

[General Relativity explained like you've never seen before](#)

[A toolkit for teaching general relativity: II. Geodesics](#)

[Space-time concept](#)

[Relativity Simulator](#)

[Special Relativity: Time dilation](#)



Sitios web y artículos :

[Einstein Online](#)

[General Relativity](#)

[The Space Doctor's Big Idea](#)



Documentales :

[What Inside Albert Einstein Mind The Theory of General Relativity Documentary](#)

[General Relativity, National Geographic](#)

[Einstein's Big Idea, PBS NOVA](#)

[Einstein's Universe: Understand Theory of General Relativity](#)



Quiz :

[General Theory of Relativity](#)

[General Relativity Theory of Gravitation](#)

[Relativity flash cards quiz](#)



[Relativity 101](#)



Glosario

Constante Cosmológica: Término añadido por Einstein a su teoría general de la relatividad para permitir un universo estacionario, ahora relacionado con la energía oscura.

Principio de Equivalencia: Principio de la relatividad general que establece que la fuerza gravitacional experimentada localmente al estar de pie sobre un cuerpo masivo (como la Tierra) es la misma que la pseudofuerza experimentada por un observador en un marco de referencia acelerado.

Caída Libre: Movimiento de un cuerpo donde la gravedad es la única fuerza que actúa sobre él.

Teoría General de la Relatividad: Teoría de la gravitación desarrollada por Albert Einstein, que describe la gravedad no como una fuerza, sino como una consecuencia de la curvatura del espacio-tiempo causada por la distribución desigual de la masa.

Geodésica: Camino más corto entre dos puntos en un espacio curvo o espacio-tiempo.

Campo Gravitacional: Región alrededor de una masa donde otras masas experimentan una fuerza de atracción gravitatoria.

Lente Gravitacional: Fenómeno en el que la luz de un objeto distante se curva alrededor de un objeto masivo entre la fuente y el observador, de forma similar a una lente. Observador inercial: Un observador que no acelera y observa las leyes de la física para comportarse de forma estándar y predecible.

Curvación de la luz: El fenómeno en el que los rayos de luz que pasan cerca de un objeto masivo se desvían debido a la curvatura del espacio-tiempo, predicha por la teoría de la relatividad general de Einstein.

Ley de la gravitación universal de Newton: Una teoría de Isaac Newton que establece que cada masa atrae a todas las demás masas con una fuerza proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellas.

Precesión de Mercurio: El desplazamiento gradual de la órbita de Mercurio, según lo predicho por la relatividad general, que proporciona evidencia temprana de la teoría.

Mecánica cuántica: Una teoría fundamental de la física que proporciona una descripción de las propiedades físicas de la naturaleza a escala de átomos y partículas subatómicas.

Espacio-tiempo: Un continuo de cuatro dimensiones que combina las dimensiones del espacio y el tiempo. Según la teoría de la relatividad, la presencia de masa y energía "deforma" el espacio-tiempo, y esta curvatura es lo que percibimos como gravedad.

Velocidad de la luz: Velocidad constante a la que la luz viaja en el vacío, aproximadamente 299,792,458 metros por segundo.

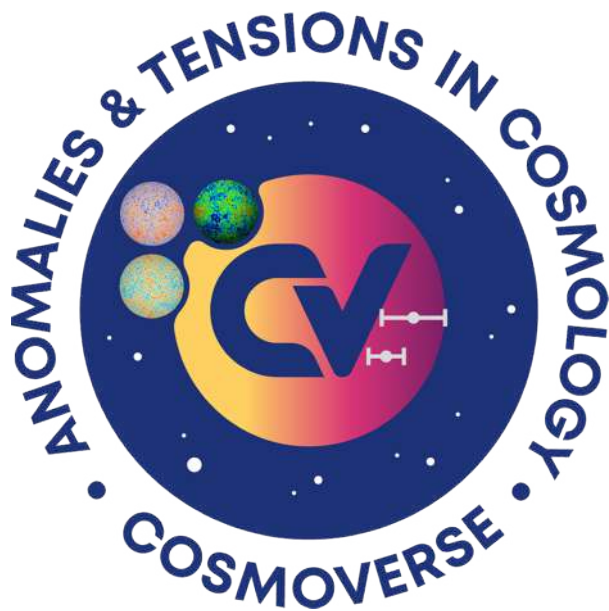
Dilatación del tiempo: Diferencia en el tiempo transcurrido medido por dos observadores, debido a una velocidad relativa entre ellos o a una diferencia de potencial gravitacional entre sus ubicaciones.

Agujero de gusano: Un puente o túnel hipotético en el espacio-tiempo que podría conectar puntos extremadamente distantes del universo.

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



www.cosmoversetensions.eu/