



Aventuras CosmoVerse

**Gravidade
Geométrica**



Sala de Aula

Introdução: gravidade de Newton



Professor :

(Trincando uma maçã) Bom dia, jovens exploradores! Estão prontos para mais uma aventura CosmoVerse?



Aluno 1 :

Sempre! Qual é o tópico de hoje?



Professor :

Bem, dou-vos uma pista. O tópico de hoje foi introduzido inicialmente por um cientista que teve uma revelação enquanto via maçãs a caírem. Algum de vocês consegue adivinhar quem é este cientista e o que descobriu?



Aluno 2 :

Foi Isaac Newton! Descobriu a gravidade.



Professor :

Excelente, é isso! Hoje vamos falar sobre gravidade. Mas antes disso, vamos ver este vídeo.

(O professor põe um [vídeo](#) de uma bola de bowling e uma grande pena a cair numa sala de vazio.)



Professor :

Antes de começar, alguém consegue prever qual vai cair primeiro?



Aluno 3 :

Faz sentido que a bola de bowling caia primeiro porque é mais pesada.



Professor :

Vamos ver e observar.

(Os alunos vêem espantados que tanto a pena como a bola de bowling caem ao mesmo tempo.)



Aluno 3 :

Uau, caíram exatamente ao mesmo tempo!

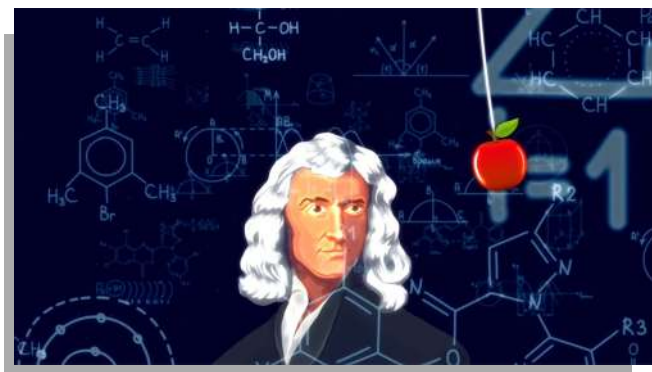


Figura 1: Representação artística de Sir Isaac Newton. Crédito de imagem a klonusk.



Vídeo 1: Este excerto é retirado do documentário "Human Universe" da BBC.

 **Professor :**

Correto! No vazio não há resistência do ar. Mas a questão é, por que é que a pena e a bola de bowling caem? Newton diria que há uma força que as puxa para baixo, que é...?

 **Aluno 2 :**

Gravidade?

 **Professor :**

Exatamente! Newton explicou que cada massa atrai todas as outras massas. A intensidade desta força varia com base na massa dos objetos e na distância entre eles. Tudo acontece como disse Newton, a Terra orbita o sol, a lua orbita a Terra, e o próprio Universo funciona de acordo com a gravidade de Newton. (Ver figura 2).

 **Aluno 3 :**

Mas a distância entre o sol e a Terra é de cerca de 150 milhões de quilômetros, há sequer uma força a essa distância?

 **Professor :**

Ótima pergunta, e é essa exatamente a questão que cientistas começaram a perguntar, como é que esta força de gravidade funciona a distâncias tão grandes como entre a Terra e o sol? É aqui que entra um jovem funcionário que trabalhava num escritório de patentes suíço, Albert Einstein. Ele teve uma perspectiva revolucionária inspirada por uma simples observação.

 **Aluno 1 :**

Foi outra maçã a cair?

 **Professor :**

(Rindo) Não propriamente. Ele estava a ver um homem a limpar as janelas de um edifício e perguntou-se o que aconteceria se o homem caísse. Pode parecer estranho para nós, mas Einstein descreveu-o como 'o pensamento mais feliz da minha vida'. Levou-o a uma das ideias mais inovadoras em física.

 **Aluno 4 :**

Um homem a cair? Não teria um final feliz.

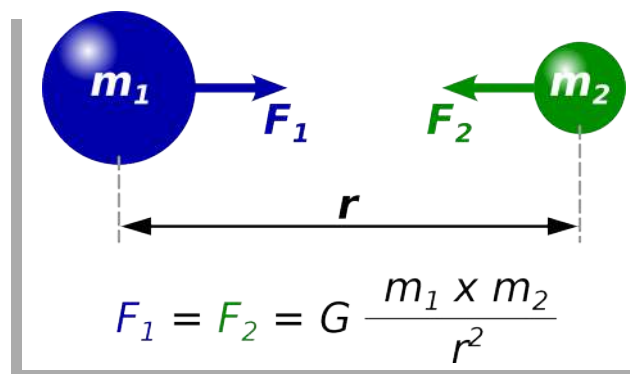


Figura 2: Este diagrama descreve os mecanismos da lei da gravitação universal de Newton. A força é proporcional ao produto das duas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância (r) entre as massas pontuais. Crédito de imagem a Chris H. Hardy.

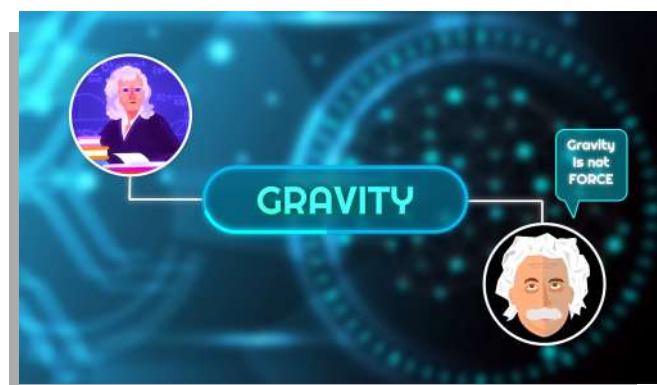


Figura 3: A teoria de gravidade de Einstein vs a de Newton. Crédito da imagem a klonusk.

Professor :

É verdade, mas Einstein pensou nisso de outra forma. Em vez de se focar no impacto, imaginou que sentiria o lavador de janelas enquanto caía. Ponham-se no lugar dele. O que acham que sentiriam ao cair?

Aluno 2 :

Medo? E o vento a passar? E talvez a gravidade a puxar-me para baixo!

Professor :

Como estão a cair, a gravidade seria a única força a atuar sobre vocês. Não há chão a empurrar os vossos pés, nem cadeira a apoiar-vos, não sentiriam peso. Sem resistência do ar, estariam em queda livre.

Aluno 3 :

Ah, tal como a bola de bowling e a pena do vídeo! Ambos estão em queda livre também, certo?

Professor :

É isso mesmo! Em queda livre, tudo parece não ter peso. Einstein apercebeu-se que a sensação de cair de um edifício seria indistinguível da de flutuar pelo espaço profundo. Mas para entender verdadeiramente isto, temos de nos aventurar para além da nossa sala de aula.

Aluno 1 :

Vamos noutra aventura com o Quark?

Professor :

Exatamente! Vamos convidar o nosso amigo cósmico, Quark, para nos levar a bordo da Nave Espacial da Imaginação e continuar a explorar este conceito fantástico!



Figura 4: O ensaio de pensamento mais feliz de Einstein de um homem a cair, que o levou à sua teoria de relatividade geral. Crédito de imagem a klonusk.



Nave Espacial da Imaginação

A percepção de Gravidade



Quark :

Bem-vindos a bordo, jovens exploradores! Estão prontos para mais uma aventura cósmica?



Aluno 1 :

Sempre! Qual o plano para hoje, Quark?



Quark :

Hoje vamos sentir a gravidade de uma forma que nunca sentiram antes! Apertem os cintos!

(Os alunos procuram os seus lugares apressadamente, e a nave espacial começa a subir. Ao chegar ao espaço, os alunos flutuam dentro da nave espacial.)



Aluno 2 :

Isto é incrível! Estamos a flutuar, é como nadar sem água à volta!



Quark :

Isso é porque a nossa nave espacial está a andar a uma velocidade constante, portanto não sentimos força nenhuma nem peso. Lembrem-se da primeira lei de movimento de Newton?



Aluno 3 :

Sim, um objeto em repouso ou movendo-se a velocidade constante numa linha reta permanece em repouso ou continuará a mover-se numa linha reta a velocidade constante, a menos que uma força atue sobre ele.



Quark :

Correto! Neste momento, vocês são o exemplo perfeito de um observador inercial. Todos os objetos aqui estão estacionários em relação a vocês. Vocês não estão a acelerar, nem num campo gravitacional, e as leis da física aplicam-se exatamente como esperado.



Aluno 4 :

Então isso significa que não há nenhuma experiência que pudéssemos fazer para distinguir o nosso sistema de referência de outro?



Figura 5: Um observador inercial é um observador hipotético que não está em aceleração em relação a um sistema inercial. Crédito de imagem a Veritasium.

 **Quark :**

Exato! Agora, deixem-me fechar as janelas por um momento.

(A nave espacial começa a cair em relação à Terra)

 **Quark :**

Sentem alguma diferença agora?

 **Aluno 4 :**

Eu ainda sinto o mesmo, estou a flutuar.

 **Quark :**

É interessante, não é? Mas deixem-me abrir as janelas.

 **Aluno 1 :**

Estamos a cair direitinhos à Terra! Por que é que não sentimos isso?

 **Quark :**

Estamos em queda livre. A nave espacial, incluindo nós, está a descer à mesma velocidade. Nenhuma força está a trabalhar contra nós, logo, não há sensação.

 **Aluno 4 :**

Ah, tal como o lavador de janelas no ensaio de pensamento de Einstein.

 **Quark :**

Precisamente! A sensação é idêntica, estejamos a flutuar no espaço ou a cair para a Terra. É tudo relativo.

 **Aluno 2 :**

É mesmo uma questão de perspetiva e sistemas de referência.

 **Quark :**

Agora, adicionemos mais uma camada.

(O Quark fecha as janelas novamente, ativa o motor da nave e começa a acelerar para cima a 9.8 m/s^2)

 **Aluno 3 :**

Uau! Sinto-me pesado, como se estivesse a ser empurrado para o chão. Aterrámos?



Figura 6: Queda livre na Terra = movimento livre no espaço. Free movement in space. A gravidade na Terra = 9.8 m/s^2 de aceleração no espaço, isto é, aceleração causa gravidade. Crédito de imagem a klonusk. klonusk.



Quark :

Não! Estamos agora a acelerar para cima a 9.8 m/s^2 , que é 1G, a força gravitacional da Terra.



Aluno 2 :

Oh, é por isso que parece que estamos na Terra. Mais uma vez, não sinto diferença.



Quark :

Exatamente. Então aprendemos que (queda livre na Terra = movimento livre no espaço) e (gravidade na Terra = 9.8 m/s^2 de aceleração no espaço) e a isto chama-se o princípio de equivalência de Einstein. Vamos parar o motor agora, para podermos flutuar outra vez. Agora, vou atirar esta bola para o centro. Observem a sua trajetória.



Aluno 2 :

Está a mover-se numa linha reta.



Quark :

Agora liguemos o motor e vamos acelerar até 9.8 m/s^2 e mandar outra vez a bola.



Aluno 4 :

Agora a bola segue uma curva e cai no chão, como faria na Terra!



Quark :

Exatamente! Mas e se esta bola fosse um raio de luz? A luz vai curvar? Einstein disse que sim.



Aluno 2 :

Mas a luz vai sempre pelo caminho mais curto entre dois pontos, certo?



Quark :

Correto, Einstein postulou que o caminho mais curto não é sempre uma linha reta. Pensem na superfície da Terra. A distância mais curta entre dois pontos é uma curva, não uma linha reta, por causa da curvatura da superfície terrestre.

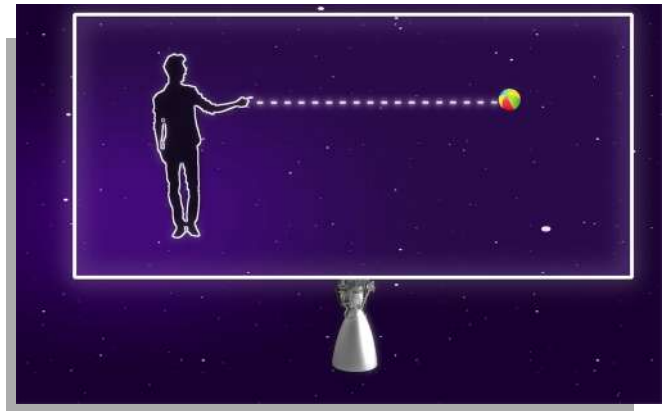


Figura 7: Em queda livre, se mandarmos uma bola, ela segue numa linha reta. Crédito da imagem a klonusk.



Figura 8: Mandar uma bola numa nave acelerada a 9.8 m/s^2 = mandar uma bola na Terra. Crédito da imagem a klonusk.



Aluno 1 :

Como trajetórias de voo na Terra!



Quark :

Bingo! Estas trajetórias são conhecidas como 'geodésicas'. Outro exemplo: se formos direitos de um sítio da Terra ao pólo norte. Para nós, estamos a ir numa linha reta, mas para um observador exterior parece que estamos numa trajetória curva.



Aluno 4 :

Então, a ideia de Einstein era que a presença de massa e energia de alguma forma faz com que o próprio espaço se curve?



Quark :

Exatamente, o que levou à sua revolucionária teoria de relatividade, que publicou em 1915.



Aluno 1 :

Sim, mas se curva, não o podemos ver a esta aceleração de só $9,8 \text{ m/s}^2$.



Quark :

Pois não, portanto vamos aumentar a nossa velocidade de aceleração para que possam observar a curvatura da luz.



Aluno 3 :

Uau, Einstein tinha razão! Mas como é que isto foi provado no seu tempo?



Quark :

Fantástica pergunta! Para entender melhor, vamos conhecer o génio por detrás da teoria. Vamos embora conhecer o Professor Albert Einstein.

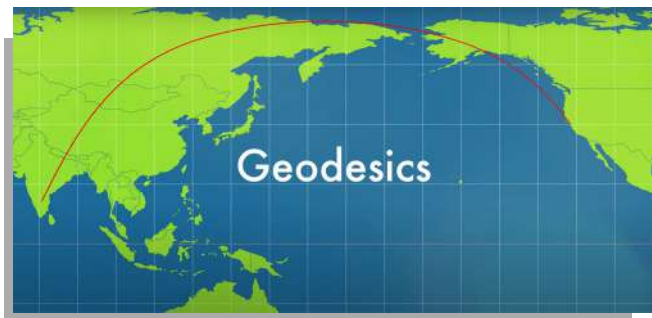


Figura 9: Podemos pensar em geodésicas como a trajetória "mais a direito possível" num dado espaço. A Terra é redonda, portanto o caminho mais curto segue uma curva na superfície. Os aviões seguem estas trajetórias para minimizar a distância de voo. Crédito de imagem a Veritasium.

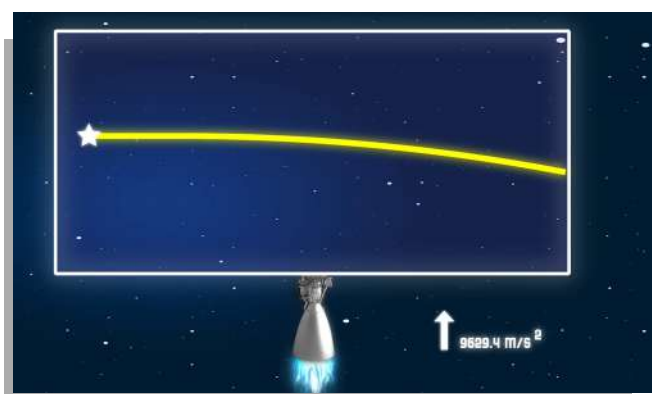


Figura 10: Quanto maior a aceleração gravitacional, mais intensa é a curvatura do espaço-tempo à sua volta, resultando numa curvatura mais pronunciada da luz. Crédito de imagem a klonusk

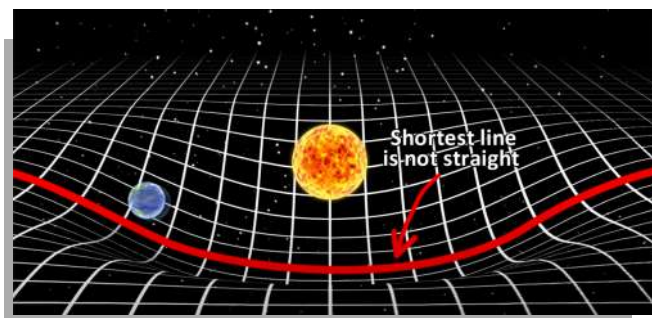


Figura 11: Visualização da curvatura do espaço-tempo à volta de objetos massivos, onde a linha vermelha representa a geodésica – um caminho que demonstra que a distância mais curta entre dois pontos não é uma linha reta mas uma curva formada pela gravidade. Crédito de imagem a Arvin Ash.



Conhece um cientista

As teorias de relatividade geral e relatividade especial



Quark :

Alunos, uma pessoa que mudou o nosso entendimento do Universo: o lendário Albert Einstein!



Einstein :

Guten Tag, jovens exploradores! Encantado de partilhar este momento cósmico convosco.



Aluno 1 :

É uma honra, senhor! O Quark contou-nos sobre o seu trabalho revolucionário em relatividade e sobre como o próprio espaço é curvo. Mas estamos curiosos, como é que uma ideia tão radical foi provada no seu tempo?



Einstein :

Ah, uma mente curiosa! Para a minha teoria ser aceite, tinha que fazer uma previsão que fosse testável e distinta de outras explicações. A chave estava na órbita peculiar de Mercúrio.



Aluno 2 :

Oh! Esse é o planeta que não orbita o sol numa elipse fechada?



Einstein :

Precisamente! A órbita de Mercúrio tem uma precessão, o que quer dizer que a sua órbita elíptica nunca fecha perfeitamente. Em vez disso, o ponto mais longe do sol na sua órbita avança ligeiramente com cada revolução. Esta anomalia intrigava cientistas, já que as equações de Newton não a explicam. Mas quando eu apliquei a minha teoria do espaço curvo, ela previa exatamente a



Aluno 3 :

Deve ter sido para si um momento “Eureka”!

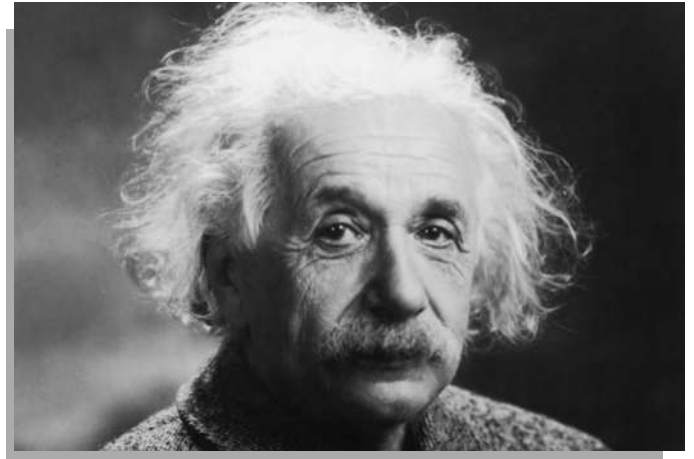


Figura 12: Albert Einstein. Crédito: Library of Congress.

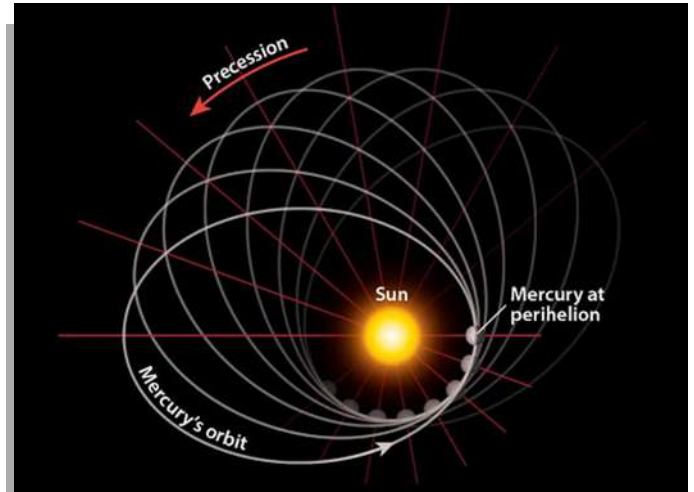


Figura 13: Impressão artística exagerada do deslocamento da órbita de Mercúrio. É considerado o primeiro triunfo da teoria de relatividade geral de 1915 de Albert Einstein.



Einstein :

Pois foi! Imaginar, por um momento, que eu era a única alma que entendia perfeitamente esta dança cósmica. Mas, enquanto Mercúrio foi um triunfo, muitos dos meus pares permaneceram céticos.



Student 1 :

Então, como os convenceu?



Einstein :

A prova mais conclusiva veio com um eclipse solar em 1919, quase quatro anos depois de publicar a minha teoria. Um astrónomo inglês, Arthur Eddington, liderou uma equipa para fotografar estrelas perto do sol durante este eclipse. A minha teoria previa que a luz das estrelas que passa perto do sol curvava devido à curvatura do espaço criada pela gravidade do sol.

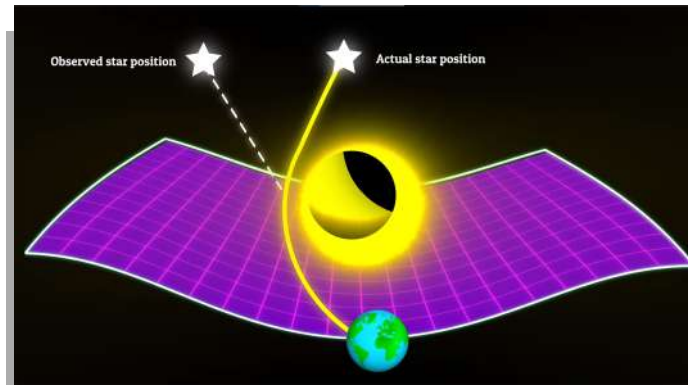


Figura 14: Demonstração do efeito de lente gravitacional, onde a luz de uma estrela é curvada pela gravidade do sol, fazendo com que a estrela aparente estar numa posição diferente quando vista desde a Terra. O efeito ilustra a curvatura do espaço-tempo prevista pela relatividade geral. Crédito: klonusk.



Quark :

E, se Einstein tivesse razão, a posição observada destas estrelas seria diferente da esperada sem a influência do sol.



Einstein :

Exatamente, Quark! Quando a equipa de Eddington analisou as fotografias, a luz das estrelas tinha curvado exatamente como eu tinha previsto. Esta experiência foi uma confirmação sólida da minha teoria, e mudou a rota da física para sempre.



Student 1 :

Eu entendo a curvatura do espaço, mas referimo-nos muito ao termo “espaço-tempo”, não só espaço. Como é que entra o tempo na história?



Einstein :

Excelente questão. Para responder, temos de dar um passo atrás e visitar a minha primeira teoria: relatividade especial, publicada em 1905. Fundamentalmente, esta teoria assume que a velocidade da luz é uma constante, independentemente da nossa perspetiva ou do sistema de referência. Portanto, quer estejamos a acelerar ou em repouso, a luz vai sempre viajar à mesma velocidade.

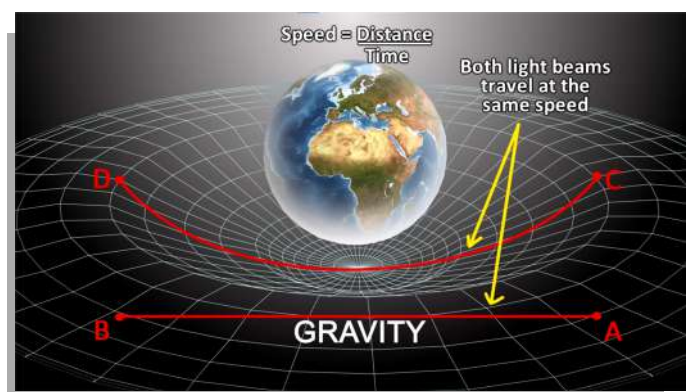


Figura 15: A distância viajada pela luz DC, que é influenciada pela gravidade, é maior do que a viajada pela luz BA, que não sofre essa influência. Mantendo a velocidade da luz constante, o tempo tem de passar mais devagar no campo gravitacional do que no espaço vazio. Crédito: Arvin Ash.

Aluno 3 :

Mas, professor Einstein, como é que isso se relaciona com gravidade e tempo?

Einstein :

Consideremos o seguinte: velocidade é igual a distância sobre tempo, representado por $V=D/T$. Ora, na presença de um campo gravitacional, o caminho percorrido pela luz é maior, devido à curvatura do espaço. Se queremos manter a velocidade da luz igual, alguma coisa tem de ceder – e é o tempo. O tempo passa mais devagar num campo gravitacional do que no espaço vazio.

Aluno 1 :

Então, está a dizer que o tempo curva com a gravidade, tal como o espaço?

Einstein :

Precisamente! A curvatura do espaço perto de um campo gravitacional afeta o tempo, garantindo que a velocidade da luz se mantém igual em ambos os cenários. Este tecido entrelaçado é o que chamamos de espaço-tempo.

Quark :

Para contextualizar, relógios na Terra andam ligeiramente devagar do que na Estação Espacial Internacional. Verificámos este efeito através de várias experiências. Aliás, é crucial para a sincronização de satélites de GPS com os relógios terrestres. Sem este ajuste, as apps de GPS dariam localizações incorretas.

Aluno 4 :

Oh! Isto lembra-me o filme "Interstellar". Havia um planeta perto de um buraco negro onde uma hora no planeta era equivalente a sete anos fora da sua influência gravitacional. Isso foi baseado nas suas teorias?

Einstein :

Não vi o filme, mas parece que fez um trabalho notável em ilustrar os efeitos de dilatação temporal devido a campos gravitacionais intensos.

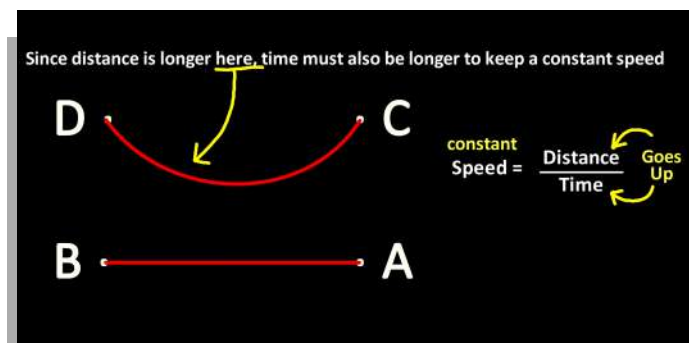


Figura 16: Como a distância é maior entre DC, o tempo também tem de ser maior para manter uma velocidade constante. Crédito: Arvin Ash.

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

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



Figura 17: Equações de campo da relatividade geral de Einstein, descrevendo como a matéria e energia (tensão de coisas no espaço-tempo) mais a constante cosmológica (tensão pelo próprio espaço-tempo vazio) ditam a curvatura do espaço-tempo. Crédito: Arvin Ash.



Quark :

Parece que nos esperam mais mistérios na nossa viagem cósmica. Obrigado, professor Einstein, por nos esclarecer hoje.



Einstein :

O prazer foi meu. The pleasure is mine. Questionem sempre, ponderem sempre. O Universo está cheio de enigmas à espera de serem descobertos.





Laboratório de Ação

Demo 1: Queda livre de garrafa de água



Objetivo :

Demonstrar os efeitos de queda livre em objetos e entender a teoria de Einstein de que objetos em queda livre não “sentem” gravidade da mesma forma.



Tempo de preparação : 5 minutos



Tempo de atividade : 5 minutos



Materiais necessários :

- Uma garrafa de plástico com uma tampa justa
- Um pin ou pequeno prego para fazer buracos na garrafa
- Água para encher a garrafa
- Lençol de plástico para conter os pingos de água



Demonstração e discussão :



Professor :

Muito bem, estudantes, vamos pôr o nosso conhecimento à prova. Aprendemos bastante sobre a queda livre e como objetos se comportam sob a influência da gravidade. Vamos ver a teoria de Einstein em ação.

(O professor segura uma garrafa de água cheia, com vários buracos dos quais água espirra para fora.)



Professor :

Como podem ver, a gravidade está a puxar a água para fora pelos buracos da garrafa. Mas a teoria de Einstein sugere que objetos em queda livre não “sentem” a gravidade da mesma forma.



Aluno 2 :

Portanto, se a deixar cair, a água deixa de sair pelos buracos porque está em queda livre?



Professor :

Portanto, se a deixar cair, a água deixa de sair pelos buracos porque está em queda livre?



Aluno :

Três, dois, um...



Figura 18: Garrafa de água cheia com buracos dos quais água espirra para fora. Crédito: giftofcuriosity.com

(O professor deixa a garrafa cair e, como previsto, a água deixa de espirrar pelos buracos enquanto a garrafa está em queda.)

 **Aluno 3 :**

Uau! Fantástico!

 **Aluno 4 :**

Então, a água dentro da garrafa estava num estado semelhante ao da ausência de peso quando estava a cair?

 **Professor :**

Exatamente. É a essência do entendimento de Einstein sobre a gravidade.





Laboratório de Ação

Demo 2: Gravidade de espaço-tempo de tecido elástico



Objetivo :

Visualizar o conceito de espaço-tempo curvo como proposto pela teoria de relatividade geral de Einstein e entender como objetos massivos afetam o espaço à sua volta.



Tempo de preparação : 10 minutos



Tempo de atividade : 15 minutos



Materiais necessários :

- Uma folha de borracha grande e extensível ou um tecido elástico
- Uma moldura ou suporte para esticar e fixar o tecido (opcional)
- Uma bola pesada (p. ex., uma bola de metal ou borracha)
- Bolas mais pequenas (p. ex., berlindes ou bolas de ping pong)



Demonstração e discussão :



Professor :

Agora vamos entender a diferença entre a gravidade de Newton e a de Einstein. Newton imaginou espaço e tempo fixos, onde a gravidade era uma força misteriosa que atuava entre objetos, mesmo que não estivessem em contacto. Neste modelo, a gravidade operava no mundo de espaço e tempo fixos, sem os afetar.



Figura 19: Uma pequena esfera é posta em órbita à volta da massa central. Crédito: NASA/ JPL-Caltech | [Expandir imagem](#)



Aluno 2 :

Sim, Einstein propôs que a gravidade não é apenas uma força entre objetos. Em vez disso, emerge como a interação entre o espaço e objetos massivos.



Professor :

Excelente! Resumidamente, John Wheeler mais tarde resumizou a teoria em 16 palavras: “O espaço-tempo diz à matéria como se mover, a matéria diz ao espaço-tempo como se curvar.”



Aluno 1 :

Então, as órbitas dos planetas são determinadas por como o espaço se curva à sua volta?

 **Professor :**

Correto! Vamos buscar um tecido elástico e esticá-lo. Isto é como se fosse o espaço se removermos toda a massa e energia. Agora, vamos ver o que acontece quando coloco uma bola pesada no centro.

 **Aluno 4 :**

Está a fazer uma cova no tecido.

 **Professor :**

Precisamente. Esta bola pesada representa um corpo celeste, como o sol. A sua presença massiva curva o espaço. Agora, rolamos estas bolas mais pequenas à volta da central.

 **Aluno 3 :**

Uau, as bolas mais pequenas parecem orbitar a central, emulando planetas no espaço curvo esculpido pelo sol.

 **Professor :**

Precisamente! A bola mais pequena seguiria a curva criada pelo objeto mais pesado. Mas lembrem-se, esta analogia é num plano 2D, só para visualização. A interação real acontece em três dimensões. O Universo real não é um lençol plano; é uma vastidão em todas as direções.

 **Aluno 3 :**

Obrigado! Estas duas demonstrações ajudaram-me a relacionar a teoria com a prática.

 **Professor :**

Fantástico! Hoje na nossa aventura CosmoVerse, vimos que a gravidade não é apenas uma força a atuar misteriosamente à distância, mas sim a curvatura do próprio tecido do Universo – o espaço-tempo. Testemunhámos a genialidade da visão de Einstein. Ao voltar às nossas vidas normais, vamos manter este sentimento de admiração e curiosidade que guiou a nossa exploração de hoje, sempre conscientes dos mistérios profundos que aguardam descoberta no cosmos.

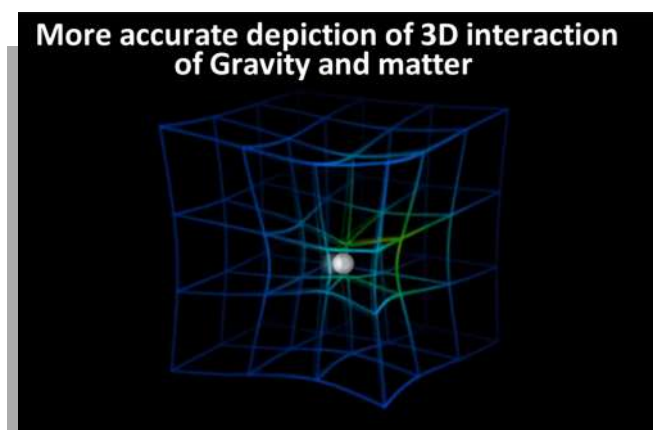


Figura 20: Representação mais precisa da interação entre gravidade e matéria em 3D. Fonte: lucasvb.tumblr.com



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](#)



Interativo :

[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](#)



Websites & Artigos :

[Einstein Online](#)

[General Relativity](#)

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



Documentários :

[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](#)



Jogos :

[Relativity 101](#)



Glossário

Constante Cosmológica: Termo adicionado por Einstein à sua teoria de relatividade para permitir um Universo estacionário, agora entendido como estando relacionado com energia escura.

Princípio de Equivalência: Princípio em relatividade geral que diz que a força gravitacional sentida localmente estando num corpo massivo (como a Terra) é a mesma que a pseudo-força sentida por um observador num sistema de referência acelerado.

Queda livre: Movimento de um corpo onde a gravidade é a única força que atua sobre ele.

Teoria de Relatividade Geral: Teoria de gravitação desenvolvida por Albert Einstein, que descreve a gravidade não como uma força mas com uma consequência da curvatura do espaço-tempo causada por uma distribuição não uniforme de massa.

Geodésicas: Caminho mais curto entre dois pontos num espaço ou espaço-tempo curvo.

Campo gravitacional: região à volta de uma massa onde outras massas sentem uma força atrativa gravitacional.

Efeito de lente gravitacional: Fenómeno onde a luz de um objeto distante é curvada à volta de um objeto massivo entre a fonte e o observador, de forma semelhante a uma lente.

Observador inercial: Observador que não está a acelerar e observa que as leis da física se comportam de forma normal e previsível.

Curvatura da luz: Fenómeno onde raios de luz que passam perto de um objeto massivo são curvados devido à curvatura do espaço-tempo, previsto pela teoria da relatividade geral de Einstein.

Lei da Gravitação Universal de Newton: Teoria desenvolvida por Isaac Newton que diz que cada massa atrai cada outra massa com uma força proporcional ao produto das suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas.

Precessão de Mercúrio: A deslocação gradual na órbita de Mercúrio, como previsto pela relatividade geral, fornecendo as primeiras provas da teoria.

Mecânica Quântica: Teoria fundamental da física que descreve as propriedades da natureza à escala de átomos e partículas subatômicas.

Espaço-tempo: Contínuo de quatro dimensões que combina as dimensões de espaço e tempo. De acordo com a teoria da relatividade, a presença de massa e energia “deforma” o espaço-tempo, e esta curvatura é o que percebemos como gravidade.

Velocidade da luz: Velocidade constante a que viaja a luz no vazio, aproximadamente 299,792,458 metros por segundo.

Dilatação temporal: Diferença no tempo decorrido conforme medido por dois observadores, devido a velocidades relativas entre eles ou a uma diferença no potencial gravitacional entre as suas localizações.

Buraco de minhoca (em inglês: wormhole): Uma ponte ou túnel hipotético que poderia conectar pontos extremamente distantes do 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

