

General Theory Of Relativity

[MUSIC PLAYING]

MARCELO GLEISER: As soon as he was done with his special theory of relativity, Einstein knew that he had more work to do. After all, the special theory only dealt with motions at constant speed. And we all know that, in reality, motions are always changing speeds, going faster, going slower, starting, stopping, so that we need to include acceleration to describe motion.

Remember that acceleration means change of speed and that change of speed can happen in two ways. You can go in a straight line and increase or decrease speed, accelerate or decelerate, or you can turn a curve, and that also implies in a force acting to change the speed-- in this case, its direction-- through a force that you feel pulling you outwards.

According to Einstein himself, one day he had a sort of daydream that he considered the best idea in his life. What happens if a person falls from a roof? How heavy would she feel? Well, you can think of a similar situation, perhaps a little less dramatic.

Imagine you're going up and down a fast elevator. Let's say you are at the top floor of a tall building, and you start going down real fast. You'll feel lighter as if your weight is kind of disappearing. On the other hand, if you're going up fast, you'll feel your weight is increasing. How could going up and down an elevator change your weight? Isn't weight caused by gravity, by how Earth is pulling on you?

Einstein figured out that gravity and acceleration are kind of the same thing, in the sense that accelerated motion can mimic gravity. So, if you're accelerating up in an elevator, you could interpret feeling heavier by saying that the gravitational attraction from Earth was getting stronger.

On the other hand, a person falling from a roof would feel weightless. This is called "the principle of equivalence," the equivalence between gravity and accelerated motion. Einstein figured that a theory of relativity that included acceleration had to be also a theory of gravity.

Einstein then had an amazing idea. He knew that, when you throw an object like a ball, it describes that curve, more precisely, a parabola. This motion is caused by the acceleration of the Earth on the object. He then thought, what if, instead of thinking about the path being curved by a downward acceleration, I say that the Earth bends geometry around it so that a curved path is the fastest one possible? In other words, said Einstein, matter bends space.

Imagine that we have a flat surface, so like this two-dimensional surface here of the black cloth. If I have a planet and there is nothing to curve that surface, the path of this planet is going to be a straight line. Now, if instead I have a big mass that is able to curve the space, what's going to happen now is that the geometry of space is not going to be flat anymore. It's going to be this curved surface.

So now, when a planet is moving on it, it's going to have an orbit which deviates from a straight line, like this. And so Einstein's insight was to say that planets go around the sun in elliptical orbits, because the curvature of space around the sun makes it so. And that's what we call gravity.

Compare Einstein's gravity with Newton's. In Newton's world, gravity acted instantaneously at a distance, like some kind of ghost. Newton didn't like this, but his theory was good enough to describe many phenomena. Einstein changed everything. Space became a physical entity, deformable by mass and from the relationship between mass and energy, E equals mc squared, also by energy. Even light, heavy energy bends space. In Einstein's world, space is plastic, part of physical reality, as is time.

But how can we know if Einstein was right? Amazingly, in curved space, light rays would not propagate in straight lines. Einstein then figured that, when light from stars go by the sun, they get diverted due to the curvature of space around the sun.

But how can you see this, since the sun is so bright? "Easy," said Einstein. Look at the sun during a total eclipse when it's dark. Measure the position of the stars near it, and then compare to their positions at night when the sun is gone. Well, in 1919, two teams of astronomers set out to test Einstein's theory during a solar eclipse.

Even if the results weren't top notch, they were good enough to confirm Einstein's prediction. Mass does bend space, according to the equations of the general theory of relativity, the new theory of gravity. Einstein became a superstar. The man who created a new world view, based on matter, bending space, and distorting the flow of time. His next bold step came only two years after he proposed the theory.

In 1917, Einstein applied his new theory to the universe as a whole. If we know how much matter there is in the universe, we can calculate its geometrical shape. Hence is born modern cosmology, the application of general relativity to the whole universe.

[MUSIC PLAYING]

Teoria geral da relatividade

[MÚSICA TOCANDO]

MARCELO GLEISER: Logo após propor sua teoria especial da relatividade, Einstein sabia que tinha mais trabalho a fazer. Afinal de contas, a teoria só lidava com movimentos em velocidade constante. E todos sabemos que, na verdade, os movimentos estão sempre mudando de velocidade, ficando mais rápidos, mais lentos, começando, parando, de modo que devemos incluir a aceleração para descrever o movimento.

Lembre que aceleração significa a mudança de velocidade e que a mudança de velocidade pode acontecer de duas formas. Você pode ir em uma linha reta e aumentar ou diminuir a velocidade, acelerar ou desacelerar, ou você pode virar uma curva e isso também implica em uma força agindo para mudar a velocidade-- nesse caso, sua direção-- através de uma força que você sente te empurrando para fora.

De acordo com o próprio Einstein, um dia ele teve um tipo de devaneio em que ele teve a melhor ideia de sua vida. O que acontece se uma pessoa cai de um telhado? Quão pesada ela se sentiria? Bem, você pode pensar em uma situação similar, talvez um pouco menos dramática.

Imagine que você está subindo e descendo em um elevador rápido. Digamos que você está na cobertura de um prédio alto e você começa a descer muito rápido. Você se sentirá mais leve como se seu peso meio que desaparecesse. Por outro lado, se você estiver indo para cima rapidamente, você sentirá seu peso aumentando. Como que subir e descer um elevador pode mudar seu peso? O peso não é causado pela gravidade, pela forma como a Terra nos puxa?

Einstein entendeu que a gravidade e a aceleração são meio que a mesma coisa, no sentido de que o movimento acelerado pode imitar a gravidade. Então, se você está acelerando para cima em um elevador, você poderia interpretar o aumento de peso dizendo que a atração gravitacional da Terra estaria ficando mais forte.

Por outro lado, uma pessoa caindo do telhado se sentiria sem peso. Isso é chamado de "o princípio da equivalência", a equivalência entre gravidade e movimento acelerado. Einstein percebeu que a teoria da relatividade que incluía aceleração tinha que também ser uma teoria da gravidade.

Einstein então teve uma ideia incrível. Ele sabia que, quando você arremessa um objeto como uma bola, ela descreve uma curva, mais precisamente, uma parábola. Esse movimento é causado pela aceleração da Terra sobre o objeto. Ele então pensou: e se, ao invés de pensar sobre o caminho ser curvado por uma aceleração para baixo, eu disser que a Terra curva sua geometria de modo que um caminho curvo é o mais rápido possível? Em outras palavras, Einstein disse, a matéria dobra o espaço.

Imagine que nós temos uma superfície plana, assim como essa superfície de duas dimensões aqui nesse pano preto. Se eu tiver um planeta e não tiver nada para curvar essa superfície, o caminho desse planeta será uma linha reta. Agora, se ao invés eu tiver uma grande massa que é capaz de curvar o espaço, o que vai acontecer é que a geometria do espaço não vai mais ser plana. Ela será essa superfície curvada.

Então, agora, quando um planeta está se movendo, ele vai ter uma órbita que desvia de uma linha reta, como essa. E então a descoberta de Einstein foi dizer que os planetas giram em torno do sol em órbitas elípticas, devido à curvatura do espaço em volta do sol. E é isso que chamamos de gravidade.

Compare a gravidade de Einstein com a de Newton. No mundo de Newton, a gravidade agia instantaneamente a uma distância, como um tipo de fantasma. Newton não gostou disso, mas sua

teoria foi boa o bastante para descrever muitos fenômenos. Einstein mudou tudo. O espaço se tornou uma entidade física, deformável pela massa e pela relação entre massa e energia, E é igual MC ao quadrado, também pela energia. Mesmo a luz, uma energia pesada dobra o espaço. No mundo de Einstein, o espaço é plástico, parte da realidade física, assim como o tempo.

Mas como podemos saber se Einstein estava certo? Incrivelmente, em um espaço curvado, os raios de luz não se propagariam em linhas retas. Einstein então descobriu que, quando a luz das estrelas passa pelo sol, elas são divergidas devido à curvatura do espaço em volta do sol.

Mas como se pode ver isso, uma vez que o sol é tão brilhante? "Fácil", disse Einstein. Olhe para o sol durante um eclipse total, quando estiver escuro. Meça a posição das estrelas perto dele e compare com as posições durante à noite, quando o sol estiver já posto. Bem, em 1919, duas equipes de astrônomos foram testar a teoria de Einstein durante um eclipse solar.

Mesmo que os resultados não tenham sido extraordinários, eles foram bons o suficiente para confirmar a previsão de Einstein. A massa dobra o espaço, de acordo com as equações da teoria da relatividade geral e a nova teoria da gravidade. Einstein se tornou um superstar. O homem que havia criado uma nova forma de ver o mundo, baseada na matéria, curvaturas no espaço e a distorção do fluxo do tempo. Seu próximo passo audacioso veio dois anos depois que ele propôs sua teoria.

Em 1917, Einstein aplicou sua nova teoria para o universo como um todo. Se soubermos quanta matéria há no universo, podemos calcular sua forma geométrica. Assim nasceu a cosmologia moderna, a aplicação da relatividade geral para todo o universo.

[MÚSICA TOCANDO]