

# Einstein's Muse (Special Theory Of Relativity)

[MUSIC PLAYING]

MARCELO GLEISER: We have seen that, in 1905, Einstein proposed his special theory of relativity, where he boldly suggested two postulates. First, that the laws of nature are the same for observers moving with constant speed with respect to one another. These are called "inertial observers."

For example, I am standing at a sidewalk and you pass by in a car moving at 60 miles an hour. The first postulate means that the way nature works should not depend on how people move. This first postulate was not invented by Einstein. Galileo had already thought of this.

The second postulate is really the one that is revolutionary. It says that the speed of light is the same for all inertial observers. Why is this weird? Well, let's say you are in a car moving at a constant velocity and your cousin is watching you move in that car from the sidewalk. Let's say your speed is 60 miles an hour.

Now imagine that you throw a ball forward at 20 miles an hour. For you, in the car, the ball would be moving at 20 miles an hour. But, for your cousin, at the sidewalk, the ball would be moving at 20 plus 60 miles an hour, that is, 80 miles an hour. The two velocities add up.

However, if instead you turned a flashlight on, both you and your cousin would see light traveling at the same speed of 300,000 kilometers per second. In other words, the speed of light is always the same. It's an absolute.

Einstein didn't know why the speed of light is constant for everyone or why its value is 300,000 kilometers per second, but he knew that, if this were true, his two postulates explained away many problems scientists were facing at the time, including the failed Michelson-Morley attempt to find the ether. In fact, according to the new theory, the ether was unnecessary. Light was pretty happy propagating in empty space.

Einstein's new theory with the speed of light being constant for every inertial observer had amazing consequences. First, an object in motion shrinks in the direction of that motion-- something called "length contraction." Second, clocks in motion slow down-- that is, they tick-tock slower. Third, the mass of an object in motion increases. The closer to the speed of light the object moves, the shorter it is, the slower time passes, and the more massive it is.

These three facts are against everything common sense tells us. And, in particular, they go against Newtonian physics, where space and time are absolute-- the length of an object or how time passes does not depend on how observers are moving with respect to the object. In Newton's world, which, by the way, is the world we perceive with our senses, space is a stage where things happen and time flows always the same way, like a steady river. The reason we don't see relativistic effects in our lives is just because our speeds are so much slower than the speed of light.

These effects are really strange, but do they actually happen? Oh, the answer is yes. Length contraction, time dilation, and mass increase are observed in many, many experiments. In fact, for your GPS to work properly, it needs to be corrected by the effects of this special theory of relativity.

And this because GPS is based on 24 satellites in orbit around the earth. And even if their speeds of roughly 20,000 miles per hour are much, much smaller than the speed of light, still, the effects of length contraction and time dilation would compromise the precision of the GPS measurements. So, the effects of relativity are not just real, but they are useful in the technologies that we use everyday.

The success of Einstein's special theory of relativity tells us, once again, that reality is stranger than fiction and that scientists are constructing a narrative to describe what we can see of nature. This narrative is always changing as our vision of the world improves through our instruments and our observations, but we must always keep in mind that there is no final chapter in this book. The story of the world that we scientists tell is a story that is always open to revision, as long as the revision describes things better.

[MUSIC PLAYING]

## **A Musa de Einstein (Teoria Especial da Relatividade)**

[MÚSICA TOCANDO]

MARCELO GLEISER: Nós vimos que, em 1905, Einstein propôs sua teoria especial da relatividade, onde ele sugeriu corajosamente dois postulados. Primeiro, que as leis da natureza são as mesmas para os observadores que se movem em velocidade constante em relação a uns aos outros. Eles são chamados de "observadores inerciais".

Por exemplo, eu estou em pé na calçada e você passa em um carro a 100 km/h. O primeiro postulado diz que a forma como a natureza funciona não dependerá da forma como as pessoas se movem. O primeiro postulado não foi inventado por Einstein. Galileu já tinha pensado nele.

Mas o segundo postulado é realmente revolucionário. Ele diz que a velocidade da luz é a mesma para todos os observadores inerciais. Por que isso é estranho? Bem, digamos que você está em um carro se movendo a uma velocidade constante enquanto seu primo o observa da calçada. Digamos que sua velocidade seja de 100 km/h. Agora,

imagine que você atira uma bola para frente a 30 km/h. Para você, no carro, a bola estaria se movendo a 30 km/h. Mas, para o seu primo, na calçada, a bola estaria se movendo a 30 mais 100 km/h, isto é, a 130 km/h. As duas velocidades se somam.

No entanto, se, em vez disso, você ligue uma lanterna, tanto você como seu primo verão a luz viajar na mesma velocidade de 300.000 quilômetros por segundo. Em outras palavras, a velocidade da luz é sempre a mesma. Isto é uma certeza absoluta.

Einstein não sabia por que a velocidade da luz é constante para todos ou por que seu valor é de 300.000 quilômetros por segundo, mas ele sabia que, se isso fosse verdade, seus dois postulados explicavam muitos problemas que os cientistas estavam enfrentando na época, incluindo a tentativa frustrada de Michelson Morley de encontrar o éter. Na verdade, de acordo com a nova teoria, o éter não seria necessário. A luz estaria bem satisfeita se propagando no espaço vazio.

A nova teoria de Einstein com a velocidade da luz sendo constante para cada observador inercial teve consequências incríveis. Primeiro, um objeto em movimento encolhe na direção daquele movimento: a chamada "contração do comprimento". Segundo, os relógios em movimento diminuem a velocidade: ou seja, eles tiquetaqueiam mais lentamente. Terceiro, a massa de um objeto em movimento aumenta. Quanto mais próximo da velocidade da luz o objeto se move, menor ele é, o tempo passa mais lentamente e mais massa ele adquire.

Esses três fatos vão contra tudo o que o senso comum nos diz. E, em particular, eles vão contra a física Newtoniana, onde o espaço e o tempo são absolutos: o comprimento de um objeto ou a forma como o tempo passa não dependem da forma como os observadores estão se movendo com relação ao objeto. No mundo de Newton, que, aliás, é o mundo que percebemos com os nossos sentidos, o espaço é um estágio onde as coisas acontecem e o tempo flui sempre da mesma forma, como um rio constante. A razão pela qual não vemos os efeitos da relatividade em nosso cotidiano é que as nossas velocidades são muito mais lentas do que a velocidade da luz.

Esses efeitos são realmente estranhos, mas eles de fato acontecem? A resposta é "sim". Contração do comprimento, dilatação do tempo e aumento de massa são observados em muitos, muitos experimentos. Na verdade, para seu GPS funcionar corretamente, ele precisa ser corrigido pelos efeitos da teoria da relatividade.

E isso porque o GPS está baseado em 24 satélites em órbita ao redor da Terra. E mesmo se suas velocidades de cerca de 32.000 km/h sejam muito, muito inferiores à velocidade da luz, ainda assim, os efeitos da contração do comprimento e da dilatação do tempo comprometeriam a precisão das medições do GPS. Por isso, os efeitos da relatividade não apenas são reais, mas eles são úteis nas tecnologias que usamos todos os dias.

O sucesso da teoria especial da relatividade de Einstein nos diz, mais uma vez, que a realidade é mais estranha do que ficção e que os cientistas constroem uma narrativa para descrever o que nós podemos ver da natureza. Esta narrativa está sempre progredindo ao passo em que nossa visão de mundo melhora através de nossos instrumentos e de nossas observações, mas nós devemos sempre ter em mente que não há nenhum capítulo final neste livro. A história do mundo que nós, cientistas, contamos é a história que está sempre aberta para revisão, desde que a revisão possa descrever melhor as coisas.

[MÚSICA TOCANDO]