

The Universe

[MUSIC PLAYING]

We have seen that Einstein's theory of general relativity describes gravity as the curvature of space. Excited about his new theory, Einstein took a bold step. He thought: "If I knew the amount of matter in the universe, I could find out how curved it is."

For the first time in history we could contemplate having a mathematical theory of the universe as a whole. To make the calculation simple, Einstein suggested that the universe should be spherical and static, the simplest possible. He was actually influenced by Plato, in that the most symmetrical geometric shape should be the shape of the universe.

He suggested that to model the matter in the universe we could think of it as a gas with what we call a constant energy density, that is, the same amount of mass per volume around the universe. It's like when you make a soup and you have all those vegetables. Think of them as galaxies, and you put all of that in a blender to make a smooth, creamy soup.

That's the idea of the constant energy density across space spreading all the matter that exists evenly. When Einstein applied the equations of his theory to a spherical and static universe, he had a problem. He found out that, even though he could find a solution of these equations where all of it held together, that solution was unstable.

That is, if you perturbed it a little bit, the universe would collapse into a point of infinite density - catastrophic. In order to balance things out, Einstein included a new term into his equations, which is now known as the cosmological constant. This constant served no other purpose than to make the universe stable, having a sort of repulsive effect to counteract the attraction of gravity, so that, together, the two of them could produce a static universe.

Einstein wasn't too excited about this cosmological constant, but it worked for his purposes. Funnily enough, we now think that there is such a thing, or something very similar to it, filling up the universe, but we call it dark energy. Not much happened until the end of the First World War and the confirmation of the theory of relativity in 1919.

But, in the United States, big telescopes were being built, including the 100-inch telescope at Mount Wilson. Using that telescope, the American astronomer Edwin Hubble showed, in 1924, that the universe was composed of many galaxies, ours being called the Milky Way. Believe it or not, until that time, most astronomers believed that there was only one giant galaxy in the universe.

This was a great discovery, because it suddenly made the universe very, very large, and our galaxy was just one among many. Then, in 1929, Hubble took another huge step and showed that these galaxies are actually moving away from one another. We say that they are receding from one another.

And this recession is interpreted as saying that the universe is expanding. We should understand what we mean by an expanding universe. The picture people have in mind is that galaxies are like shrapnel spreading out from an explosion while space remains static as a stage in the background.

Well, that is not what the expansion of the universe really means at all. We should actually picture that space itself is stretching out in time as if it were made by some sort of rubber material, and that the galaxies are being carried along with this expansion, just like corks are carried along floating down the river. Einstein will only accept the expansion of the universe in 1931, when he goes to visit Hubble and realizes from the data that, indeed, the universe seems to be expanding in time.

This realization changed forever our conception of cosmic history, because now scientists realize that the universe has a birthday just like you and me. It started at a certain moment in the past where matter was incredibly dense and concentrated, and it has been expanding ever since. It is actually possible to use the equations of general relativity, and the equations of thermodynamics that tell us how a gas that is initially compressed expands in time to relate the age of the universe to the temperature of the gas that fuels it up.

That is, the matter that makes up galaxies, etc. Doing that, plus using a different set of observations, scientists are actually able to tell how old the universe is-- that is-- how long it has been expanding. The current answer is that the universe has been expanding for 13.8 billion years,

that is, the time since the origin of the universe, the event we call the Big Bang. Our cosmic horizon is then the bubble of information where we live, the distance light has traveled since the Big Bang, a sphere with a radius of about 46 billion light years. There may be more universe out there, like there is more ocean beyond the horizon, but we can't see it.

Circling back to the nature of reality, we see that cosmology tells us that there are aspects of the world that are unknowable to us.

O universe

[MÚSICA TOCANDO] Nós vimos que a teoria da

relatividade geral de Einstein descreve a gravidade como a curvatura do espaço. Empolgado com sua nova teoria, Einstein deu um passo ousado. Ele pensou: "Se eu soubesse quanta matéria existe no Universo, eu poderia descobrir sua curvatura."

Pela primeira vez na História, poderíamos contemplar uma teoria matemática do Universo como um todo. Para simplificar o cálculo, Einstein sugeriu que o Universo deveria ser esférico e estático, o mais simples possível. Na verdade, ele foi influenciado por Platão, de que a forma geométrica mais simétrica deve ser a forma do Universo.

Ele sugeriu que, para criar um modelo da matéria no Universo, poderíamos pensar nela como um gás com o que chamamos de densidade de energia constante, isto é, a mesma quantidade de massa por volume em todo o Universo. É como quando você faz uma sopa com vários legumes. Pense neles como galáxias, e você coloca tudo isso em um liquidificador para fazer uma sopa homogênea e cremosa.

Essa é a ideia da densidade de energia constante através do espaço, espalhando toda a matéria que existe de maneira uniforme. Quando Einstein aplicou as equações de sua teoria a um Universo esférico e estático, ele se deparou com um problema. Ele descobriu que, mesmo que encontrasse uma solução em que tudo se encaixasse para essas equações, essa solução seria instável.

Isto é, se ela sofresse alguma pequena perturbação, o Universo entraria em colapso, tornando-se um ponto de densidade infinita — catastrófico. Para equilibrar tudo isso, Einstein incluiu um novo termo em suas equações, hoje conhecido como constante cosmológica. Essa constante serviu exclusivamente para tornar o Universo estável, tendo uma espécie de efeito repulsivo para contrabalançar a atração da gravidade, para que, juntos, os dois produzissem um Universo estático.

Einstein não ficou muito empolgado com essa constante cosmológica, mas ela ia de acordo com seus objetivos. Curiosamente, hoje achamos que existe algo assim, ou alguma coisa bem semelhante, preenchendo o Universo, mas a chamamos de energia escura. Nada de mais aconteceu até o fim da Primeira Guerra Mundial e a confirmação da teoria da relatividade em 1919.

Mas, nos Estados Unidos, grandes telescópios estavam sendo construídos, incluindo o de 2,5 metros no Monte Wilson. Usando esse telescópio, o astrônomo americano Edwin Hubble mostrou, em 1924, que o Universo era composto por muitas galáxias, sendo a nossa chamada Via Láctea. Acredite ou não, até aquela época, a maioria dos astrônomos acreditava haver apenas uma galáxia gigante no Universo.

Essa foi uma grande descoberta, porque de repente, o Universo se tornou muito, muito grande, e nossa galáxia era apenas uma entre muitas. Então, em 1929, Hubble deu mais um grande passo e mostrou que essas galáxias estão, na verdade, se afastando umas das outras. Nós chamamos isso de recessão das galáxias.

E essa recessão é interpretada como a expansão do Universo. Devemos entender o que se quer dizer com um Universo em expansão. A imagem que as pessoas têm em mente é que as galáxias são como estilhaços se espalhando a partir de uma explosão enquanto o espaço permanece estático, como um palco ao fundo.

Bem, isso não tem nada a ver com o que a expansão do Universo realmente é. Na verdade, devemos imaginar que o próprio espaço está se esticando no tempo, como se fosse feito de algum tipo de material de borracha, e que as galáxias estão sendo carregadas com essa expansão, assim como rolhas são carregadas boiando no rio. Einstein só aceitou a expansão do Universo em

1931, quando foi visitar Hubble e percebeu a partir dos dados que, de fato, o Universo parece estar se expandindo no tempo.

Essa percepção mudou para sempre nossa concepção da história cósmica, porque agora os cientistas percebem que o Universo tem uma data de nascimento, como você e eu. Tudo começou em certo momento no passado, quando a matéria era incrivelmente densa e concentrada, e ela tem se expandido desde então. Na verdade, é possível usar as equações da relatividade geral, e as equações da termodinâmica que nos dizem como um gás que inicialmente é comprimido se expande no tempo, para relacionar a idade do Universo à temperatura do gás que o

abastece, isto é, a matéria que compõe galáxias, etc. Fazendo isso, além de usar um conjunto diferente de observações, os cientistas conseguem dizer quantos anos tem o Universo, ou seja, há quanto tempo ele está se expandindo. A resposta atual é que o Universo tem se expandido por 13,8 bilhões de anos,

isto é, o tempo desde a origem do Universo, o evento que chamamos de Big Bang. Dessa forma, nosso horizonte cósmico é a bolha de informações em que vivemos, a distância que a luz percorreu desde o Big Bang, uma esfera com um raio de cerca de 46 bilhões de anos luz. Pode haver mais Universo lá fora, assim como há mais oceano além do horizonte, mas não podemos vê-lo.

Voltando à natureza da realidade, vemos que a cosmologia nos diz que há aspectos do mundo que não podemos conhecer.