

## What Is Light, Part II

MARCELO GLEISER: Here is a very useful way to picture light as a wave propagating in space. Imagine an electric charge, like a single electron. We know that equal charges repel one another, positive repels positive, and negative repels negative. We also know that opposite charges attract one another.

But how can we see this in space? I mean, if you have, in one hand, a positive charge, and, in the other hand, a negative charge, they will attract one another. You will feel a force pulling on the charges even if they are not touching. That means that, somehow, the positive charge and the negative charge affect the space around them, so that one can feel the other without touching.

This effect on space of a source-- in this case, the source being an electric charge-- is what we call a field. So we can imagine that an electric charge has some sort of effect on the space around it so that another charge nearby will feel its presence. Kind of like a person using a lot of perfume. You can smell her at a distance. And some people may like it, and other people may not. Attraction or repulsion.

So a positive electric charge has a field around it. And we can picture it like arrows pointing outwards from the charge, like crazy hair. A negative charge will have the same kind of hairdo, but now the arrows point inwards.

If you place a small positive charge close to a big positive electric charge, the arrows will tell you that this small positive charge will be pushed away. That is, it will be repelled by the bigger charge. Of course, the big charge also gets repelled by the little one, but the effect is less dramatic. This field, represented by arrows, is called a static electric field, meaning that the field does not change in time.

But now imagine that the charge is oscillating up and down. Well, if the charge is oscillating up and down, the field it generates also oscillates up and down. This means that now we have a time-dependent or time-varying field. And this time-varying field will appear as waves propagating outwards from the source.

A useful image is to imagine what happens when you throw a rock into a pool or a lake. When the rock hits the water, you see concentric waves propagating outwards from the point of impact. If, instead of throwing the rock, you just make it go up and down, up and down, you would generate concentric waves moving outwards.

During the first half of the 19th century, Michael Faraday and James Clerk Maxwell showed that a changing electric field-- that is, an electric field that changes in time like the waves we just saw-- generates also a magnetic field. You can picture a magnetic field as the result of electric charges in motion. This means that a waving electric field will have a companion waving magnetic field. This deep connection between electricity and magnetism is why we often talk about electromagnetic fields.

In the mid 1860s, Maxwell found something amazing. He found that electromagnetic waves propagate at the speed of light. In other words, he discovered that light is nothing more than electromagnetic fields propagating through space.

If you remember that electromagnetic fields come from moving electric charges, we can think of these waves of light and of all types of electromagnetic radiation as how moving charges release their energy. In a sense, light is how electric charges sweat.

But if light is a wave propagating in space, where is it propagating? After all, every wave we know propagates on something. For example, water waves, like the ones we see at the beach, propagate on water. And sound waves propagate on air. This means, by the way, that, at the moon, where there's no atmosphere and no air, you can't talk to one another. The sound will not propagate.

So, when Maxwell described light as an electromagnetic wave, the question then became "Okay, where does it propagate, then?" Like all other waves, scientists thought there was some material medium supporting the propagation of light waves.

But it had to be a very bizarre kind of medium. After all, the fact that you could see stars from far away meant that the medium had to be perfectly transparent. It also couldn't interfere with planetary orbits by creating any kind of friction. And it had to be weightless and very rigid to support the propagation of waves at this super high speed of light.

Well, when faced with this question, scientists assumed that the whole of space was filled with some kind of medium, like water filling a fish bowl, which they called the Ether. It had to be a very special magical medium indeed. But everybody was convinced it was there.

This is a great example of how scientists use their imagination to propose elements of reality that may or may not exist. They needed a medium to support the propagation of light waves, but they had no clue if this medium existed or not. In the end, only experiments could decide.

In 1887, Albert Michelson and Edward Morley built an experiment to test the existence of the ether. Everyone was sure that they would find it. The idea of the experiment was to use what is called interference of light waves, like the one that we saw in the diffraction demonstration, to measure how fast Earth moved around the Sun.

Like the wind, the faster you move against it, the more you feel it. If there were any ether out there, there will be an ether wind. And that would affect how fast light propagates.

Guess what? The results were negative. Michelson and Morley found no effect whatsoever as the Earth moved around the Sun.

The results contradicted everything everyone expected. Many possible explanations were proposed, some of them even saying that the equipment shrunk in the direction of the motion, which is actually partially correct. But no one had the courage to just say that maybe there is no

ether. That maybe light and all types of electromagnetic radiation propagate in emptiness, not needing a material medium like other waves.

That was way too crazy an opinion for everyone, except for one person-- Albert Einstein. In 1905, Einstein published a paper with the basic ideas of his special theory of relativity. One of the consequences of this new theory was that light propagates in empty space without an ether. Furthermore, it always moves with the same speed of about 300,000 kilometers per second.

If Einstein was correct, it would prove that reality is even weirder than our wildest imagination. And, as we'll see soon, Einstein was correct.

## O Que É Luz, Parte II

MARCELO GLEISER: Aqui está um jeito muito útil de imaginar a luz como uma onda se propagando no espaço. Imagine uma carga elétrica, como um único elétron. Nós sabemos que cargas iguais se repelem, positivo repele positivo e negativo repele negativo. Nós também sabemos que cargas opostas se atraem.

Mas como nós podemos ver isso no espaço? Quero dizer, se você tiver uma carga positiva numa mão e, na outra mão, uma carga negativa, elas se atrairão. Você sentirá uma força puxando as cargas mesmo se elas não estiverem se tocando. Isso significa que, de alguma forma, a carga positiva e a carga negativa afetam o espaço ao redor delas, então uma pode sentir a outra sem tocá-la.

Esse efeito sobre o espaço de uma fonte-- nesse caso, a fonte sendo uma carga elétrica-- é o que nós chamamos de campo. Então nós podemos imaginar que uma carga elétrica tem algum tipo de efeito no espaço ao seu redor de forma que outra carga próxima sentirá sua presença. Meio como uma pessoa usando muito perfume. Você pode sentir o cheiro dela à distância. E algumas pessoas podem gostar e outras podem não gostar. Atração ou repulsão. Então

uma carga elétrica positiva tem um campo ao seu redor. E nós podemos imaginá-lo como flechas apontando para fora da carga, como cabelo bagunçado. Uma carga negativa terá o mesmo tipo de penteado, mas agora as flechas apontam para dentro.

Se você colocar uma pequena carga positiva perto de uma grande carga elétrica positiva, as flechas lhe dirão que essa pequena carga positiva será empurrada para longe. Isto é, ela será repelida pela carga maior. Claro, a carga maior também é repelida pela pequena, mas o efeito é bem menos dramático. Esse campo, representado por flechas, é chamado de campo elétrico estático, o que significa que o campo não muda com o tempo.

Mas agora imagine que a carga está oscilando para cima e para baixo. Bem, se a carga está oscilando para cima e para baixo, o campo que ela gera também oscila para cima e para baixo. Isso significa que agora nós temos um campo variável no tempo. E esse campo variável no tempo aparecerá como ondas propagando para fora da fonte.

Algo útil é imaginar o que acontece quando você joga uma pedra em uma piscina ou um lago. Quando a pedra bate na água, você vê ondas concêntricas se propagando para fora do ponto de impacto. Se, ao invés de jogar a pedra, você apenas fazê-la subir e descer, subir e descer, você gerará ondas concêntricas se movendo para fora.

Durante a primeira metade do século XIX, Michael Faraday e James Clerk Maxwell mostraram que um campo elétrico variável-- isto é, um campo elétrico que muda com o tempo como as ondas que nós acabamos de ver-- também gera um campo magnético. Você pode imaginar um campo magnético como o resultado de cargas elétricas em movimento. Isso significa que um campo elétrico ondulante terá como companhia um campo magnético ondulante. Essa profunda conexão entre eletricidade e magnetismo é a razão de nós frequentemente falarmos sobre campos eletromagnéticos.

Em meados da década de 1860, Maxwell descobriu algo incrível. Ele descobriu que ondas eletromagnéticas se propagam na velocidade da luz. Em outras palavras, ele descobriu que a luz nada mais é do que campos eletromagnéticos se propagando pelo espaço.

Se você se lembrar que campos eletromagnéticos vêm de cargas elétricas em movimento, nós podemos pensar nessas ondas de luz e em todos os tipos de radiação eletromagnética como a maneira pela qual as cargas liberam sua energia. De certa forma, a luz é como cargas elétricas transpiram.

Mas se a luz é uma onda se propagando no espaço, onde ela se propaga? Afinal, toda onda que conhecemos se propaga em alguma coisa. Por exemplo, ondas de água, como aquelas que nós vemos na praia, se propagam na água. E ondas sonoras se propagam no ar. Isso significa, a propósito, que, na lua, onde não há atmosfera e ar, você não consegue falar com os outros. O som não se propagará.

Então, quando Maxwell descreveu a luz como uma onda eletromagnética, a pergunta se tornou "Certo, onde ela se propaga, então?" Como todas as outras ondas, cientistas pensaram que havia algum meio material pelo qual as ondas de luz se propagassem.

Mas tinha que ser um tipo muito bizarro de meio. Afinal, o fato de que é possível ver estrelas de longe significava que o meio tinha que ser perfeitamente transparente. Ele também não poderia interferir nas órbitas planetárias criando qualquer tipo de atrito. E ele tinha que ser leve e muito rígido para apoiar a propagação de ondas nessa velocidade super alta da luz.

Bem, quando confrontados com essa pergunta, cientistas presumiram que todo o espaço era preenchido com algum tipo de meio, como água enchendo um aquário, o que eles chamaram de Éter. Tinha que ser um meio mágico, realmente muito especial. Mas todos estavam convencidos de que ele estava ali.

Esse é um ótimo exemplo de como os cientistas usam sua imaginação para propor elementos da realidade que podem ou não existir. Eles precisavam de um meio para permitir a propagação de ondas de luz, mas eles não tinham ideia se esse meio existia ou não. No fim, apenas experimentos puderam decidir.

Em 1887, Albert Michelson e Edward Morley construíram um experimento para testar a existência do éter. Todos tinham certeza de que eles o encontrariam. A ideia do experimento era usar o que é chamado de interferência das ondas de luz, como aquela que nós vimos na demonstração da difração, para medir o quão rápido a Terra se movia ao redor do Sol.

Como o vento, quanto mais rápido você se move contra ele, mais você o sente. Se houvesse éter lá fora, haveria um vento de éter. E isso afetaria o quão rápido a luz se propaga.

Adivinha só? Os resultados foram negativos. Michelson e Morley não encontraram efeito algum à medida que a Terra se movia ao redor do Sol.

Os resultados contradisseram tudo o que todos esperavam. Muitas possíveis explicações foram propostas, algumas delas até diziam que o equipamento encolhia na direção do movimento, o que, na verdade, é parcialmente correto. Mas ninguém tinha coragem de dizer que talvez o éter não existisse. Que talvez a luz e todos os tipos de radiação eletromagnética se propagam no vazio, sem precisar de um meio material como as outras ondas.

Essa forma era uma explicação muito louca para todos, exceto para uma pessoa-- Albert Einstein. Em 1905, Einstein publicou um artigo com as ideias básicas de sua teoria espacial da relatividade. Uma das conclusões dessa nova teoria foi que a luz se propaga no espaço vazio, sem um éter. Além disso, ela sempre se move com a mesma velocidade de cerca de 300.000 quilômetros por segundo.

Se Einstein estivesse certo, isso provaria que a realidade seria ainda mais estranha do que a nossa concepção mais louca. E, como nós veremos em breve, Einstein estava certo.