

What Is Light, Part I

[MUSIC PLAYING]

MARCELO GLEISER: We have seen that astronomers collect light, or, more generally, electromagnetic radiation, to study all sorts of objects in the universe, from nearby planets to faraway galaxies. But what is light? It's all over the place, but it's a very strange thing. You can't hold onto it, it doesn't seem to have weight, and we completely depend on it in our lives.

The nature of light has been a mystery since very early on. Skipping to Isaac Newton, in the 17th century, he would say that light is made of tiny little bullets-- atoms of light. This is what we call the atomistic description. Newton was influenced by Greek philosophers from a long time ago who believed that everything is made of tiny particles-- indivisible little bits of stuff called atoms.

However, also in the 17th century, the Dutch physicist Christiaan Huygens had a different point of view. He believed that light was made of waves-- that it waded through space as it propagated from one point to another, something like a water wave. So you can see that, even 400 years ago, people were already conflicted about the nature of light. Is it made of particles or is it a wave?

The discussions continued until the turn of the 19th century, when the English scientist Thomas Young showed, quite convincingly, that light is indeed a wave. He built what is now called a double slit experiment, where a wave of light coming from a source is made to pass through two holes. Once that happens, the waves of light will interfere with one another, sometimes enhancing their intensity, sometimes cancelling it out altogether so that when you project the light onto a screen, you will see a sequence of bright and dark fringes.

We are now going to repeat Young's experiment, but using a more modern apparatus than human hair and candlelight. What I have here is a helium neon laser, which has red light, as you can see. And I have it aimed at the wall, but it's passing through what we call a diffraction grating or a grid that I can adjust the width of it. And, as I change the width of this diffraction grid, what's going to happen is that the pattern projected on the wall is also changing. And it is very, very hard to explain the result of this experiment using a particle theory of light, and that's why, during the 19th century, the wave-like theory of light won.

You can use your imagination to play with light and its diffraction properties. For example, when you look at clouds with the sun behind them and you see a silver lining, that's an example of diffraction-- of light bending around an obstacle. Can you think of any other examples from everyday life?

Another effect is known as refraction of light, when light hits an object and changes its direction of propagation. This is what happens during a rainbow, as sunlight goes through water droplets in the atmosphere. If you have a prism or just a crystal ornament and you can make sunlight go through it, you will see it being separated into the colors of the rainbow-- from red to violet.

Or you can do that with a water spray and a hose. Or, even better, you can surprise me and come up with something quite different to show sunlight spreading into its colors. Let me know!

With the acceptance of the wave theory of light, it became clear that different colors are basically waves of different wavelengths. A wavelength is just the distance between two successive crests of the wave. For example, red light has a longer wavelength than violet light. Instead of wavelength, you can also use frequency, which is the number of wave crests that pass by a point in one second.

In the case of light or any electromagnetic radiation, if you multiply the wavelength by the frequency, you always get the speed of light, which physicists represent with the letter c . Since the speed of light, c , is constant, a high frequency wave has smaller wavelength and a low frequency wave has longer wavelength.

It turns out that the light that we can see with our eyes is just a tiny window in the electromagnetic spectrum. The typical wavelength of visible light varies from about 400 to 700 nanometers, where a nanometer is one billionth of a meter-- very tiny. Examples of electromagnetic waves of shorter wavelength than visible light are ultraviolet, x-rays, and gamma rays. On the other side of the spectrum, waves that have longer wavelength than visible light are infrared, microwaves, and different kinds of radio waves.

The energy packed in a wave of electromagnetic radiation is directly proportional to its frequency. So red light, having lower frequency than blue or violet light, has less energy than these two. The most energetic kind of electromagnetic radiation are gamma rays-- typical of nuclear phenomena. If a source emits gamma rays, you can be sure that nuclear physics is involved.

Going back now to the nature of reality, we realize that the picture of the world that our senses are able to construct is incredibly limited. In a sense, Plato was right-- we all live in a cave: The cave of our limited perception of reality. After all, our eyes evolved to capture only a very small fraction of the whole electromagnetic spectrum.

All around us, there are other kinds of electromagnetic radiation-- invisible kinds of light that are as real as visible light, even if we can't see them. That's why one of the roles of science is to amplify our perception of reality. The tools we use are a sort of window into invisible aspects of what's out there. The more we can see with our tools, the more complete our picture of reality is. But, as we know, there will always be something that is beyond what we can grasp, so that the very essence of reality will always remain elusive.

[MUSIC PLAYING]

O Que É Luz, Parte I

[TOCANDO MÚSICA]

MARCELO GLEISER:

Já vimos que os astrônomos coletam luz, ou, de uma forma mais geral, radiação eletromagnética, para estudar todos os tipos de objetos no universo, desde planetas próximos até galáxias distantes. Mas o que é a luz? Ela está em todos os lugares, mas é uma coisa muito estranha. Você não pode segurá-la, e ela parece não ter peso, e dependemos dela completamente em nossas vidas.

A natureza da luz tem sido um mistério desde o princípio. Voltando até Isaac Newton, no século XVII, ele diria que a luz é composta por minúsculos projéteis-- átomos de luz. É isso que chamamos de descrição atomística. Newton foi influenciado por filósofos gregos de muito tempo atrás que acreditavam que tudo é feito de partículas minúsculas-- pequenos pedaços indivisíveis de coisas que são chamadas de átomos.

No entanto, também no século XVII, O físico holandês Christiaan Huygens tinha um ponto de vista diferente. Ele acreditava que a luz era composta por ondas-- que ela ondulava através do espaço conforme se propagava de um ponto para outro, parecido com uma onda na água. Então você pode ver que, 400 anos atrás, as pessoas já entravam em conflito sobre a natureza da luz. Ela é feita de partículas, ou é uma onda?

As discussões prosseguiram até a virada do século XIX, quando o cientista inglês Thomas Young mostrou, de maneira bastante convincente, que a luz é de fato uma onda. Ele construiu o que hoje é chamado de experimento da fenda dupla, onde uma onda de Luz proveniente de uma fonte é obrigada a passar por dois furos. Quando isso acontece, as ondas de luz interferirão umas com as outras, às vezes aumentando sua intensidade, às vezes cancelando a por completo de forma que, quando você projeta a luz para uma tela, verá uma sequência de faixas claras e escuras.

Agora, nós vamos repetir o experimento de Young, mas usando um aparelho mais moderno que um cabelo humano e luz de vela. O que eu tenho aqui é um laser de hélio neônio, que tem uma luz vermelha, como você pode ver. E eu o aponte para a parede, mas ele está passando através do que chamamos de rede ou grade de difração, da qual eu posso ajustar a largura. E enquanto eu altero a largura desta grade de difração, o que vai acontecer é que o padrão projetado na parede também muda. E é muito, muito difícil de explicar o resultado deste experimento usando a teoria da partícula da luz e, por isso, durante o século XIX, a teoria ondulatória da luz ganhou.

Você pode usar sua imaginação para brincar com a luz e suas propriedades de difração. Por exemplo, quando você olha para as nuvens com o sol atrás delas e vê um contorno prateado, isto é um exemplo de difração: de luz dobrando em torno de um obstáculo. Você consegue pensar em alguns outros exemplos da vida cotidiana?

Outro efeito é conhecido como refração da luz, quando a luz atinge um objeto e altera a direção de sua propagação. Isso é o que acontece durante um arco íris enquanto a luz do sol atravessa as gotas de água na atmosfera. Se você tiver um prisma ou apenas uma peça de cristal e puder fazer a luz do sol atravessá-la, você a verá sendo separada nas cores do arco íris: do vermelho ao violeta.

Ou você pode fazer isso com um spray de água e uma mangueira. Ou, melhor ainda, você pode me surpreender e pensar em algo bem diferente para mostrar a luz do sol se propagando em suas cores. Me conte o que você descobrir!

Com a aceitação da teoria de onda da luz, ficou claro que as diferentes cores são basicamente ondas de diferentes comprimentos. Um comprimento de onda é simplesmente a distância entre duas cristas sucessivas da onda. Por exemplo, a luz vermelha tem um comprimento de onda maior do que a luz violeta. Em vez de comprimento de onda, você também pode usar a frequência, que é o número de cristas de onda que passa por um ponto em um segundo.

No caso da luz ou qualquer radiação eletromagnética, se você multiplicar o comprimento da onda pela frequência, sempre obterá a velocidade da luz, que os físicos representam com a letra "c". Uma vez que a velocidade da luz, c, é constante, uma onda de alta frequência tem comprimento de onda menor e uma onda de baixa frequência tem comprimento de onda maior.

Acontece que a luz que podemos ver com os nossos olhos é apenas uma janela minúscula no espectro eletromagnético. O comprimento de onda típico da luz visível varia de cerca de 400 a 700 nanômetros, em que um nanômetro é um bilionésimo de metro: muito pequeno. Exemplos de ondas eletromagnéticas com comprimento de onda menor que a luz visível são os raios ultravioletas, raios x e gama. No outro lado do espectro, as ondas que têm maior comprimento de onda que a luz visível são as infravermelhas, as micro ondas e os diferentes tipos de ondas de rádio.

A energia contida em uma onda de radiação eletromagnética é diretamente proporcional à sua frequência. Assim, a luz vermelha, que tem menor frequência que a luz azul ou violeta, tem menos energia que essas duas. O tipo mais energético de radiação eletromagnética são os raios gama: típicos do fenômeno nuclear. Se uma fonte emite raios gama, você pode ter certeza de que física nuclear está envolvida.

Voltando agora à natureza da realidade, nós percebemos que a imagem do mundo que nossos sentidos são capazes de construir é incrivelmente limitada. De certa forma, Platão estava certo: todos nós vivemos em uma caverna: a caverna de nossa percepção limitada da realidade. Afinal, nossos olhos evoluíram para capturar apenas uma parte muito pequena de todo o espectro eletromagnético.

Ao nosso redor, existem outros tipos de radiação eletromagnética: tipos invisíveis de luz que são tão reais quanto a luz visível, mesmo que não consigamos vê-las. É por isso que um dos papéis da ciência é amplificar nossa percepção da realidade. As ferramentas que usamos são uma espécie de janela para os aspectos invisíveis do que está lá fora. Quanto mais vemos com nossas ferramentas, mais completa será nossa imagem da realidade. Mas, como sabemos, sempre haverá algo que estará além do que podemos compreender, por isso, a própria essência da realidade permanecerá sempre indefinida.

[MÚSICA TOCANDO]