

History of the Atom III: The Bohr Model

[MUSIC PLAYING]

MARCELO GLEISER: While Rutherford was busy trying to understand the structure of the atom, something else was going on that was very confusing and strange. In 1905, the same year that he came up with his special theory of relativity, Albert Einstein published a different paper, which is the one that would give him a Nobel prize in 1921. In this paper, he proposed something quite revolutionary-- that light can be a wave, as people had known for a long time, but it could also be interpreted as being made of little bullets, called "photons."

In the paper, Einstein used this interpretation that light can be thought of as being made of atoms to solve a longstanding problem in physics called the photoelectric effect. When scientists shine purple light or ultraviolet light into a metal plate, they find that the metal plate gets electric charges. If instead they shine yellow or red light, nothing happens. Einstein argued that these little bullets of light hit the electrons in the atoms of the metal plate and kicked them out, so as to give an extra charge to the plate. Yellow or red photons don't have as much energy as purple ones and can't kick the electrons out.

A few years later, the American physicist Robert Milikan confirmed-- much against his will-- that Einstein was correct. Light has this dual nature-- particle and wave-- and they co-exist somehow. Which one would manifest itself depends on the context of the experiment. This dual nature of light shows that, in the world of the very small, the nature of reality is quite ambiguous.

Is light a particle? Is light a wave? It's both and it's neither... What light is-- its physical nature-- depends on how we see it. That is, on the experimental setup or what kind of phenomenon we are studying. Suddenly, the observer-- always detached from what's being observed-- becomes tangled up in the very act of observation.

In Denmark, physicist Niels Bohr used Einstein's idea about light and Rutherford's model of the atom to solve a very serious problem. The year was 1913 and the problem was that if you consider the electrons circling around the atomic nucleus, the laws of electricity and magnetism would tell you that the electron would spiral into the nucleus in an unstable orbit. In other words, according to classical physics, atoms are unstable. They can't exist!

But, of course, that can't be true because atoms are all over the place. So what's going on? Bohr suggested that, like stairs, atoms have the nucleus at the center and the electrons can only circle around the nucleus in very specific orbits, like separate steps. The lowest possible orbit is called the ground state. The electron simply cannot go any lower to hit the nucleus. Bohr didn't explain why, but that was his assumption.

Since an electron is attracted to the positive nucleus, to go to a higher orbit, the electron needs energy. This energy comes from photons-- that is, from electromagnetic radiation that hits the atom. If the incoming photon has the right energy, it will be absorbed by the electron and the electron will jump to a higher orbit-- also known as an excited state. For the electron to go down, it has to release the extra energy, and it does that by emitting photons.

So the different kinds of light that we observe come from excited atoms relaxing to the ground state by emitting photons. Using this theory, Niels Bohr explained the different colors that appear in what is known as the spectrum of hydrogen and of different chemical elements. Atoms became part of physical reality, and the strange ideas of the quantum world became part of the everyday language of physicists.

[MUSIC PLAYING]

História do átomo Parte III: O modelo de Bohr

[MÚSICA TOCANDO]

MARCELO

GLEISER: Enquanto Rutherford estava ocupado tentando entender a estrutura do átomo, outra coisa muito confusa e estranha estava acontecendo. Em 1905, o mesmo ano em que ele criou sua teoria especial da relatividade, Albert Einstein publicou um artigo diferente, que daria a ele um prêmio Nobel em 1921. Nesse artigo, ele propôs uma coisa bastante revolucionária-- que a luz pode ser uma onda, como já se sabia há muito tempo, mas também poderia ser interpretada como sendo feita de pequenas balas, chamadas "fótons".

No artigo, Einstein usou essa interpretação de que a luz pode ser encarada como feita de átomos para resolver um antigo problema de física chamado efeito fotoelétrico. Quando os cientistas dispararam luz roxa ou luz ultravioleta em uma chapa de metal, eles descobriram que a chapa de metal recebe cargas elétricas. Se, em vez disso, eles dispararem luz amarela ou vermelha, nada acontece. Einstein argumentou que essas pequenas balas de luz atingiam os elétrons dos átomos da chapa de metal e as jogava para fora, dando uma carga extra à chapa. Os fótons amarelos ou vermelhos não têm tanta energia quando os roxos e não conseguem jogar os elétrons para fora.

Alguns anos mais tarde, o físico americano Robert Milikan confirmou-- muito contra sua vontade-- que Einstein estava correto. A luz tem essa natureza dual-- partícula e onda-- que podem coexistir de alguma forma. Qual dessas se manifestaria depende do contexto do experimento. Essa natureza dual da luz mostra que, no mundo das coisas minúsculas, a natureza da realidade é bastante ambígua.

Luz é uma partícula? Luz é uma onda? É ambas e é nenhuma delas... O que a luz é-- sua natureza física-- depende de como a vemos. Isto é, no cenário experimental ou qual tipo de fenômeno estamos estudando. De repente, o observador-- sempre de fora do que está sendo observado-- é emaranhado pelo próprio ato da observação.

Na Dinamarca, o físico Niels Bohr usou a ideia de Einstein sobre a luz e o modelo atômico de Rutherford para resolver um problema muito sério. O ano era 1913, e o problema era que, se você considerar os elétrons que giram em volta do núcleo atômico, as leis da eletricidade e do

magnetismo diriam que o elétron giraria em espiral até o núcleo em uma órbita instável. Em outras palavras, de acordo com a física clássica, os átomos são instáveis. Eles não podem existir!

Mas é claro que isso não é verdade porque há átomos em toda a parte. Então, o que está acontecendo? Bohr sugeriu que, assim como escadas, os átomos têm o núcleo no centro, e os elétrons só podem girar em volta do núcleo em órbitas bem específicas, como degraus separados. A órbita mais baixa possível é chamada de estado fundamental. O elétron simplesmente não pode ir mais baixo e tocar no núcleo. Bohr não explicou por quê, mas essa foi sua conclusão. Visto

que um elétron é atraído ao núcleo positivo, para ir para uma órbita superior, o elétron precisa de energia. Essa energia vem de fótons, da radiação eletromagnética que atinge o átomo. Se o fóton tiver a energia certa, ela será absorvida pelo elétron, e o elétron saltará para uma órbita superior--conhecido como estado excitado. Para descer, o elétron precisa liberar a energia extra, e ele faz isso por emitir fótons.

Assim, os diferentes tipos de luz que observamos vêm dos átomos excitados retornando ao estado fundamental e emitindo fótons. Usando essa teoria, Niels Bohr explicou as diferentes cores que aparecem no que é conhecido como espectro do hidrogênio e dos diferentes elementos químicos. Os átomos se tornaram parte da realidade física, e as ideias estranhas do mundo quântico se tornaram parte da linguagem cotidiana dos físicos.

[MÚSICA TOCANDO]