

The Quantum Versus Classical Boundary

[MUSIC PLAYING]

MARCELO GLEISER: In quantum physics, the fundamental object is the wave function. As we have seen, the wave function gives you the different probabilities for an electron to be here or there, or more generally, for a physical system to be in one state or another. Before you make a measurement, these different probabilities co-exist in the wave function. Sort of like an invisible wave that is approaching the coast, and you can only see it when it crashes against a rock.

The wave could have crashed against a different rock, but once it crashed against one rock, that's the end of the story. In quantum physics, we say that the wave function gives you the superposition of possible states-- that is-- of possible outcomes of an experiment. In the analogy of the wave hitting the coast, the wave function would give you the probabilities that the wave would hit this or that rock. In quantum physics, the crash of the wave against the rock is called the collapse of the wave function. Once a measurement is made, all the different probabilities cease to exist, and the one that was measured is the only real one.

Schrodinger-- as one of the great architects of the new theory-- was very bothered by quantum superposition and the strange reality of the wave function. To expose its absurdity, he came up with a weird thought experiment. Just to remind you, a thought experiment is an experiment that you do in your mind, and not in the laboratory.

Schrodinger said, imagine there is a cat in a box {meow}, and you cannot see inside the box. You do know that, inside the box, there is a device that has poison, and that the valve that releases the poison is controlled by a radioactive substance. At some point in time-- and you don't know when--, the substance may emit radiation releasing the poison and killing the cat, or not. And because you cannot see inside the box, you cannot know if the cat is dead or alive.

According to quantum physics, before you look, the cat is at a superposition of two possible states: dead cat, and living cat. Schrodinger thought this was crazy, and used this as an example of taking quantum physics too far. Of course, the observer will only know what happened to the cat when he or she opens the box. But, because of that, you can actually say that if the cat is dead, it was the act of opening the box that collapsed the cat's wave function into that dead cat state. In other words, looking killed the cat. All this is consistent with the laws of quantum physics, even if it sounds completely nuts.

The two states-- dead cat and living cat-- once they are in a superposition, are said to be entangled. The act of observing breaks this entanglement, and one of the two positions is realized. This provides a clue as to how we can reconcile this strange probabilistic nature of quantum physics with the deterministic nature of classical reality we live in. Essentially, the quantum superposition of many states is very fragile. If there is enough interference from the environment, for example, heat, radiation, disturbances in gravity-- any cause that is strong enough can break this superposition. And what was once a quantum system, starts to behave classically showing only one state. This is called decoherence.

Many people believe that decoherence is the explanation as to why we don't see crazy quantum superposition all the time. For example, the moon being here or there in the sky at the same time. The larger the system, the harder it is to keep its possible states in a co-existing quantum superposition. So it is very possible that the environment itself is responsible for the transition from a quantum to a classical reality.

But if you ask an expert, where do you draw the line between the two worlds, the answer is going to be vague. Because we really don't know. And it will really depend on the specifics of the situation we are analyzing. Finally, we can ask the question: "What does quantum physics tell us about the nature of Reality? The most direct answer is that it is showing us that, at the very core of matter of the particles that make up everything that exists, there is an indeterminacy, a jittery behavior as described by the uncertainty principle.

Because of this, we cannot know for sure which of the possible options or states will be chosen by a quantum system. All we can do is measure it and view the description of reality based on the outcomes of those measurements. Einstein liked to say that God is subtle, but not malicious, that He doesn't play dice. As an answer, Bohr once told Einstein to stop telling God what to do.

To the end of his life, Einstein believed that, one day, a theory would clean up the quantum mystery and explain those strange probabilities and superpositions in a clear, deterministic way. Eighty years later, what we know now indicates that this theory may not exist. At its very essence, we believe, Nature seems to be unknowable.

[MUSIC PLAYING]

O Quantum Versus Limite Clássico

[MÚSICA TOCANDO]

MARCELO GLEISER: O objeto fundamental da física quântica é a função de onda. Como vimos, a função de onda dá as diferentes probabilidades de um elétron estar aqui ou lá ou, de maneira mais geral, de um sistema físico estar em um ou outro estado. Antes de realizar uma medição, essas diferentes probabilidades coexistem na função de onda. Meio que como uma onda invisível que se aproxima do litoral e você só consegue ver quando bate nas pedras.

A onda poderia ter batido contra uma pedra diferente mas depois que se choca contra uma, isso é o fim da história. Na física quântica, dizemos que a função de onda nos dá a sobreposição de possíveis estados, ou seja, os resultados possíveis de um experimento. Na analogia da onda que chega à praia, a função de onda nos daria as probabilidades da onda bater nesta ou naquela pedra. Na física quântica, o choque da onda contra a pedra é chamado de colapso da função de onda. Depois de realizada uma medição, todas as probabilidades deixam de existir. e a medição obtida passa a ser a única real.

Schrodinger -- um dos principais arquitetos na nova teoria -- sentia se muito incomodado pela sobreposição quântica e pela estranha realidade da função de onda. Para expor esse absurdo, pensou em um experimento mental. Lembrando a todos que um experimento mental é realizado na mente apenas, não em um laboratório.

Schrodinger disse, imagine que há um gato em uma caixa. e você não consegue ver dentro da caixa. Você sabe que dentro da caixa há um dispositivo com veneno e que a válvula que libera o veneno é controlada por uma substância radioativa. Em algum momento, você não sabe quando, a substância pode emitir radiação, liberando o veneno e matando o gato, ou não. E como você não consegue ver dentro da caixa, não tem como saber se o gato está vivo ou morto.

De acordo com a física quântica, antes de você olhar na caixa, o gato é uma sobreposição de dois estados possíveis: gato morto, ou gato vivo. Schrodinger achava isso uma loucura e usava a situação como um exemplo do exagero da física quântica. É claro que o observador só descobrirá o que aconteceu com o gato quando ele ou ela abrir a caixa. Mas, por isso mesmo, é possível dizer que, caso o gato esteja morto, o ato de abrir a caixa causou o colapso da onda de função do gato no estado de gato morto. Em outras palavras, olhar dentro da caixa matou o gato. Tudo isso é condizente com as leis da física quântica, mesmo que pareça total loucura.

Os dois estados -- gato vivo e gato morto --, quando sobrepostos, estão entrelaçados. O ato de olhar dentro da caixa desfaz o entrelaçamento e uma das duas posições é concretizada. Isso fornece uma pista de como podemos conciliar essa estranha natureza de probabilidades da física quântica com a natureza determinista da realidade clássica em que vivemos. Basicamente, a sobreposição quântica de vários estados é muito frágil. Caso haja interferência suficiente do ambiente, por exemplo, calor, radiação, perturbações na gravidade -- qualquer causa forte o bastante pode quebrar essa sobreposição. E o que uma vez foi um sistema quântico começa a se comportar de maneira clássica, mostrando só um estado. Isso é chamado de decoerência.

Muitos acreditam que a decoerência é a explicação para não vermos sobreposições quânticas malucas o tempo todo. Por exemplo, a lua estar aqui ou lá no céu ao mesmo tempo. Quanto maior o sistema, mais difícil é manter seus possíveis estados coexistindo em uma sobreposição quântica. então é muito possível que o próprio ambiente seja responsável pela transição de realidade quântica para clássica.

Mas se perguntar a um especialista qual é a linha que divide esses mundos, a resposta será vaga. Pois realmente não sabemos. E isso depende completamente dos detalhes específicos da situação analisada Finalmente, podemos nos perguntar: "O que a física quântica nos diz sobre a natureza da Realidade?" A resposta mais direta é que ela nos mostra que bem no centro da matéria das partículas que constituem tudo que existe, há uma indeterminação, um comportamento agitado como descrito pelo princípio da incerteza.

Por isso, não há como sabermos com certeza quais dos possíveis estados ou opções serão escolhidos por um sistema quântico. Tudo que podemos fazer é medi-lo e ver a descrição da realidade baseada nos resultados dessas medições. Einstein dizia que Deus é sutil, mas não maldoso, e não joga dados. Como resposta, alguém lhe disse uma vez para não dizer a Deus o que fazer.

No final de sua vida, Einstein acreditava que, um dia, uma teoria resolveria o mistério quântico e explicaria essas estranhas probabilidades e sobreposições de maneira clara e determinista. O que sabemos hoje, 80 anos mais tarde, indica que essa teoria pode não existir. Na sua própria essência, a Natureza parece ser incompreensível.

[MÚSICA TOCANDO]