

# **Conversation with David Kaiser: Einstein and Quantum Mechanics**

[MUSIC PLAYING]

MARCELO GLEISER: Do you think that was what worried Einstein?

DAVID KAISER: Einstein, I think, had many worries. He was a worried guy. He was an anxious guy. I think the biggest concern that Albert Einstein had with quantum theory-- which again, we should remember that Einstein was really a fantastic architect of quantum theory. And I mean one after another, the things that we now take for granted as the real building blocks of this edifice, came from Einstein, and from Einstein alone, in the early days.

So it's not like he was automatically a detractor. Right? Nonetheless, it's true that he certainly turned his attentions away from quantum theory.

Because he didn't think it was the best place to stop. He thought these were interesting regularities that matched experience and experiment. But he thought it would be selling short if physicists didn't keep working to find what he considered a more ultimate, deeper explanation for these things.

So Einstein, it's not that he thought quantum mechanics got things wrong. He was always quick to say it matches experiments, including very ingenious, strange experiments. It matched the data, quantitatively very well. But it wasn't solid enough for him.

It wasn't a foundation on which to keep building. And he came to consider, especially later in his life, that it was really a kind of cop out to stop with this strangenesses that had become unearthed, some of which he helped to actually clarify himself.

Because it wasn't what the job of the physicist should be. It really was like quitting early on your job. It was almost a moral concern he had, that physicists had a responsibility to try to understand nature according to certain very broad and very reasonable-sounding assumptions or ideas; things that had driven him to extraordinary success exploring things like relativity, the motion of objects when they move very, very quickly, or when masses become really condensed and glommed together; so we have to worry about the warping of space and time themselves.

Principles that Einstein had literally built his career on and that quantum theory showed more and more divergence from. So Einstein, I think, was worried that this was an interesting scaffold. But it should be a hint to press further. He said we were just stopping too short.

How big an object or pairs of objects could you entangle and retain that special quantum behavior? I mean, objects in our ordinary world don't do that. Right? Baseballs thrown in opposite directions don't show these amazing correlations. Even the axles of spinning tires, they don't-- the measurements on them aren't correlated nearly so much as they are on these little-bitty bits of matter, according to quantum theory.

So the question, the great challenge is how big a thing made of quantum stuff could one make, or pairs of things, and still show that quantum action of distance? And I believe people have gotten to big on the quantum scale. Molecules, say, many, many times bigger than electrons, single little bits of atoms, but still exponentially smaller than you or me or cats or baseballs.

MARCELO GLEISER: I heard there are plans to try to do that they've done it with buckyballs, which are like, a 60-carbon atom, a ball of a molecule. And it worked, right?

DAVID KAISER: Yeah.

MARCELO GLEISER: And I heard they're trying to do it with a virus.

DAVID KAISER: I've heard about viruses, yes. That's right.

MARCELO GLEISER: And then if you go from there to bacteria, then there will be a very interesting conversation which is how does life respond to entanglement?

DAVID KAISER: That's right, yeah.

MARCELO GLEISER: Or is life a completely classical phenomenon? Or does it have any quantum mechanics into it?

DAVID KAISER: And even before we get there, which are amazing questions, if you can do it with the bacteria, some bacteria are visible with the naked eye. We can do things that one could actually see and have them obeying the laws of quantum mechanics.

Not just these impossibly small little bits of matter like electrons, which we know we can't see with our usual senses. So it's this challenge of scaling up the quantum weirdness. When does the quantum weirdness fade away, and the world that obeys laws more like Einstein's and ultimately like Newton's, when does that world emerge? And that's an ongoing challenge.

MARCELO GLEISER: Yeah. So that is the transition from quantum to classical. Like, we perceive reality in a very classical way. And yet, if you go down to very small scales, everything seems to be quantum mechanical and obeying laws and behaviors which are so different.

So now we're talking about the interpretation of quantum mechanics, right? Which is, of course, a completely open question. And as you said, you get passions excited very quickly because people are going to have different ideas. Some people may say that many worlds is sort of a crazy idea.

Because if the universe is splitting into different options every time you make a measurement, where all of these other options?

And if we can't see them or interact with them, how do you know that exists? Right, then is that physics or is that metaphysics? And so it seems to me that at the very core of this conversation is the fact that the equation, the master equation for quantum mechanics, depends on a quantity

which is not directly a physical quantity, which is the so-called wave function. Which is so very different from everything else. So maybe you can tell us a little bit how is that different from say, a Newtonian particle moving in space?

DAVID KAISER: Yeah, or even an example like waves, electricity, and magnetism, like Maxwell's waves. I mean, so much of the mathematics of quantum mechanics is built upon or analogous to the mathematics that we do use to describe Newton's laws or electricity and magnetism, and things with which we build the world around us.

And yet, with this critical difference. Mathematics has so many similarities. And yet, the objects of mathematical study, of mathematical focus, really have this important difference, just as you say.

So the standard interpretation or the common words to use is that the wave function, this thing often symbolized by the Greek letter PSI-- looks like a pitchfork-- that PSI is not necessarily a thing in the world, but it's a statement about probabilities of what could happen in the world. And even saying that sentence actually has now become a bit more controversial than it was before too long ago.

MARCELO GLEISER: Right. So that's an ontological statement.

DAVID KAISER: That's an ontological statement. Or I guess it's saying is PSI only epistemic? Does PSI only represent our knowledge of what things could happen? Or is PSI a part of the furniture of the universe? Is PSI, is the wave function as real a physical object as, say, the electromagnetic field is?

And there are remarkable experiments being done now to try to pin that question down. Just as John Bell tried to pin down questions about quantum entanglement with experiments. So I'd say my sense is the jury's still out both. Both of those two sides have very smart and very well-spoken proponents.

But what I find amazing when I step back and put my historians cap back on, is that's a question that, in some sense, goes back 90 years. This is the 90th anniversary now. In 2016, it's the 90th anniversary of Schrodinger's introduction of the wave function, and of the equation that it would obey.

And of Max Born's interpretation that PSI is telling us about probabilities for things to happen. And for 90 years, we've been writing down the same equation and arguing about what it means. And these are smart folks, working very hard.

It's not an occasional question people think about. This has consumed a community of really, millions of people. I think if we add up all the people who've worked on this steadily for almost a century-- and we can still get people arguing with great passion today.

# **Conversa com David Kaiser: Einstein e Mecânica Quântica**

[MÚSICA TOCANDO]

MARCELO GLEISER: Você acha que isso era o que preocupava Einstein?

DAVID KAISER: Einstein, eu acho, tinha muitas preocupações. Ele era um cara preocupado. Ele era um cara ansioso. Eu acho que a maior preocupação que Albert Einstein tinha com teoria quântica-- o que, de novo, nós devemos lembrar que Einstein era realmente um fantástico arquiteto da teoria quântica. E eu quero dizer uma atrás da outra, as coisas que nós agora achamos normais como os blocos de construção desse edifício, vieram de Einstein e somente de Einstein, no início dessas coisas.

Então não é como se ele fosse automaticamente um caluniador. Certo? Apesar disso, é verdade que eles às vezes desviava sua atenção da teoria quântica.

Porque ele não achava que esse era o melhor lugar para parar. Ele achava que essas eram regularidades interessantes que combinavam experiência e experimentos. Mas ele achava que faltaria alguma coisa se físicos não continuassem trabalhando para descobrir o que ele considerava a mais definitiva e profunda explicação dessas coisas. Então Einstein,

não é que ele achasse que a mecânica quântica interpretava as coisas de forma errada. Ele sempre se prontificava a dizer que ela combina experimentos, incluindo experimentos muito engenhosos e estranhos. Ela combinava dados quantitativamente muito bem. Mas não era concreto o suficiente para ele.

Não era o alicerce sobre o qual continuar construindo. E ele passou a considerar, especialmente quando mais velho, que era realmente um tipo de pretexto para parar com essas estranhezas que haviam se tornado descobertas, algumas das coisas ele ajudou a explicar de verdade. Porque não

era o que o trabalho de um físico deveria ser. Era realmente como desistir cedo de seu trabalho. Era quase uma preocupação moral que ele tinha, que físicos tinham uma responsabilidade de tentar entender a natureza de acordo com certas suposições e ideias muito amplas e que soavam muito razoáveis; coisas que o levaram a um sucesso extraordinário explorando coisas como a relatividade, o movimento de objetos quando eles se movem muito, muito rapidamente, ou quando massas se tornam muito condensadas e presas umas às outras; então nós temos que nos preocupar com as próprias deformações do tempo e do espaço.

Princípios sobre os quais Einstein literalmente havia construído sua carreira e dos quais a teoria quântica mostrava cada vez mais divergências. Então Einstein, eu acho, estava preocupado que isso era um interessante ponto de apoio. Mas isso deveria ser uma pista para ir além. Ele disse que nós estávamos parando muito aquém.

Objetos ou pares de objetos de que tamanho seria possível enlaçar e reter o mesmo comportamento quântico especial? Quero dizer, objetos em nosso mundo comum não fazem isso. Certo? Bolas de beisebol jogadas em direções opostas não mostram essas incríveis correlações. Mesmo os eixos de pneus girando, eles não-- as medidas sobre eles não são correlacionadas tanto quanto elas estão nesses minúsculos pedaços de matéria, de acordo com a teoria quântica.

Então a questão, o grande desafio é o quão grande uma coisa feita de coisas quânticas alguém poderia fazer, ou pares de coisas, e ainda assim mostrar essa ação quântica de distância? E eu acredito que as pessoas exageraram na escala quântica. Moléculas, digamos, muitas vezes maiores que elétrons, pedacinhos individuais de átomos, mas ainda exponencialmente menores do que eu ou você ou gatos ou bolas de beisebol. MARCELO GLEISER:

Eu ouvi dizer que há planos de tentar fazer o que eles fizeram com fulerenos, que são tipo, um átomo com 60 carbonos, uma bola de uma molécula. E funcionou, certo?

DAVID KAISER:

É. MARCELO GLEISER: DAVID

KAISER: Eu ouvi dizer sobre vírus, sim. É isso mesmo.

MARCELO GLEISER: E então se você for daí a bactérias, então haverá uma conversa muito interessante que é como a vida responde ao emaranhamento? DAVID

KAISER: É isso mesmo, é.

MARCELO GLEISER: Ou a vida é um fenômeno completamente clássico? Ou ela tem um pouco de mecânica quântica em si? DAVID

KAISER: E mesmo antes de chegarmos aí, que são questões incríveis, se você pode fazer isso com as bactérias, algumas bactérias são visíveis a olho nu. Nós podemos fazer coisas que as pessoas de fato poderiam ver e fazê-las obedecer as leis da mecânica quântica.

Não apenas esses impossivelmente pequenos pedaços de matéria como elétrons, que nós sabemos que não podemos ver com nossos sentidos normais. Então é esse desafio que incrementa a estranheza da quântica. Quando a estranheza da quântica desaparece e o mundo que obedece leis mais como as de Einstein e posteriormente como as de Newton, quando esse mundo emerge? E esse é um desafio em andamento.

MARCELO GLEISER: É. Então essa é a transição da quântica para o clássico. Tipo, nós percebemos a realidade de uma forma muito clássica. E ainda assim, se você for para escalas muito pequenas, tudo parece ser mecânica quântica e obedecer leis e comportamentos que são muito diferentes.

Então agora nós estamos falando sobre a interpretação da mecânica quântica, certo? O que é, claro, uma questão completamente aberta. E como você disse, os ânimos se empolgam

rapidamente porque as pessoas terão diferentes ideias. Algumas pessoas podem dizer que muitos mundos seja um tipo de ideia louca. Porque

se o universo está se dividindo em diferentes opções toda vez que você faz uma medida, onde estão todas essas outras opções?

E se nós não podemos vê-las ou interagir com elas, como saber que isso existe? Certo, então isso é física ou metafísica? E então me parece que bem no núcleo dessa conversa está o fato de que a equação, a equação mestre da mecânica quântica, depende da quantidade que não é diretamente uma quantidade física, que é a chamada função de onda. Que é muito diferente de tudo o mais. Então talvez você possa nos contar um pouco como isso é diferente de, digamos, uma partícula newtoniana se movendo no

espaço? DAVID KAISER: É, ou mesmo um exemplo como ondas, eletricidade e magnetismo, como as ondas de Maxwell. Quero dizer, muito da matemática da mecânica quântica é análogo ou construído sobre a matemática que nós usamos para descrever as leis de Newton ou eletricidade e magnetismo, e coisas com as quais nós construímos o mundo ao nosso redor. E ainda

assim, com essa diferença crítica. A matemática tem muitas semelhanças. E ainda assim, os objetos do estudo matemático, ou do foco matemático, realmente tem essa diferença importante, assim como você diz.

Então a interpretação padrão ou as palavras comuns a serem usadas é que a função de onda, essa coisa geralmente simbolizada pela letra grega  $\Psi$ -- que parece com uma forquilha-- o  $\Psi$  não é necessariamente uma coisa do mundo, mas é uma afirmação sobre probabilidades do que poderia acontecer no mundo. E mesmo dizer essa frase na verdade se tornou um pouco mais polêmico agora do que era há muito tempo. MARCELO

GLEISER: Certo. Então é uma afirmação ontológica.

DAVID KAISER: É uma afirmação ontológica. Ou eu acho que quer dizer que  $\Psi$  é só epistêmico? O  $\Psi$  apenas representa nosso conhecimento de quais coisas poderiam acontecer? Ou o  $\Psi$  é uma parte dos móveis do universo? O  $\Psi$  é a função de onda tão real quanto um objeto físico como, digamos, o campo eletromagnético é?

E há experimentos notáveis sendo feitos agora tentando consolidar essa questão. Assim como John Bell tentou consolidar questões sobre emaranhamento quântico com experimentos. Então eu diria que o júri ainda está acontecendo. Ambos os lados têm propositores muito inteligentes e bem articulados.

Mas o que eu acho incrível quando eu volto ao passado e coloco minha roupa de historiador novamente é que isso é uma questão que, de certo modo, volta 90 anos no tempo. Esse é o 90º aniversário agora. Em 2016, é o 90º aniversário da introdução de Schrodinger da função de onda e da equação a que ela obedeceria.

E da interpretação de Max Born de que o PSI está nos contando sobre probabilidades das coisas acontecerem. E por 90 anos, nós temos anotado a mesma equação e discutido sobre o que ela significa. E esses são caras inteligentes, trabalhando com muito afinco. Não

é meramente uma questão ocasional. Isso consumiu uma comunidade de milhões de pessoas, de fato, se nós somarmos todas as pessoas que trabalharam com isso constantemente por quase um século. E nós ainda temos pessoas discutindo muito calorosamente hoje em dia.