



Episódio 02 - EU TENHO UMA TEORIA

“Itálico”: Excerto de fala de pseudociência

[entre colchetes]: efeito sonoro

ABERTURA: FÍSICA NO SÉC. 19 *****

[intro - baixo]

Pablo Saldanha: Então tinha alguns fenômenos na virada do século dezanove pro século vinte que não eram explicados pelo que a gente chama de física clássica.

Leo - Essa voz você talvez já conheça do nosso primeiro episódio, é do Pablo Saldanha, professor da Universidade Federal de Minas Gerais e pesquisador de ótica quântica. Aqui o Pablo está descrevendo para a gente o panorama da física ali em torno do ano de 1900.

Pablo Saldanha: Então a física clássica ela foi desenvolvida desde Galileu, Newton que desenvolveram as leis da mecânica e depois veio a termodinâmica, o eletromagnetismo, a ótica. Então você tinha um conjunto de áreas do conhecimento humano que você tinha o que a gente chamava de física clássica para explicar. Explicava muito bem a maioria deles. Explica a geração de ondas eletromagnéticas, explica a formação do arco-íris, explica o movimento dos planetas em torno do sol...

Leo - Com isso a gente vê que grande parte dos fenômenos físicos do nosso cotidiano e a maior parte da física que a gente aprende na escola se encaixa dentro da física clássica mesmo.

Pablo Saldanha: Então propiciou um desenvolvimento tecnológico muito grande pra humanidade e um conhecimento da natureza muito efetiva.

Gláucia - De fato, a física clássica era tão bem sucedida que uma boa parte dos físicos do final do século 19 estavam satisfeitos e orgulhosos da física como um todo. Alguns dos mais confiantes inclusive diziam que já não havia grandes coisas a serem feitas na física, tudo já estava mais ou menos fechado. Tem uma frase famosa dessa época atribuída ao Albert Michelson, físico estadunidense que inclusive ganhou o prêmio Nobel em 1907, em que ele diz que [filtro rádio] “os grandes princípios fundamentais já foram firmemente estabelecidos... as próximas verdades da física devem ser procuradas após a sexta casa decimal”.

Lu - Esse negócio de sexta casa decimal eu imagino que tem algo a ver com cálculos, é isso?

Gláucia - Isso, basicamente ele falou que a gente só tinha que melhorar a precisão dos cálculos e acertar bem os números depois da vírgula. Por exemplo, a gente só não sabia se uma certa quantidade valia 12,000001 ou 12,000002, mas fora isso, a gente já entendia tudo, pelo menos era o que ele achava.

Leo - É, tá certo que ele ganhou o Nobel, mas essa ele errou feio né, porque a física clássica é legal e tudo mais, mas como o Pablo já tinha avisado...

Pablo Saldanha: Mas tinham algumas coisas que não eram explicadas.

[baixo]

Gláucia - Algumas dessas coisas não explicadas que o Pablo falou são justamente a ponta do iceberg da teoria quântica como a gente entende hoje. Mas tá, o que é, afinal de contas, essa tal de teoria quântica? Nesse episódio a gente vai falar sobre

como a teoria quântica surge, onde a gente encontra ela no nosso dia a dia e para qual direção ela tá caminhando.

Eu sou a Gláucia Murta, sou física e pesquisadora em criptografia quântica.

Lu - Eu sou Luciane Treulieb, jornalista e divulgadora científica.

Leo - Eu sou Leonardo Guerini, matemático e pesquisador de fundamentos da teoria quântica. Esse é o podcast O Q Quântico. No primeiro bloco, a gente vai falar sobre três fenômenos que foram fundamentais para o surgimento da teoria quântica. No segundo bloco, a gente fala de como o conhecimento dessa nova teoria acabou gerando uma série de tecnologias de ponta que temos hoje, e no bloco 3 a gente faz uma síntese de como a nossa compreensão atual da quântica está produzindo as tecnologias de amanhã. Vem com a gente que está começando o Episódio 2: Eu tenho uma teoria.

[Vinheta de abertura e gato]

BLOCO 1: QUANTIZAÇÃO *****

Leo - Como a gente já mencionou na abertura, por volta do ano de 1900, tinham alguns problemas que a física daquela época, que hoje a gente chama de física clássica, não dava conta. A gente começa falando sobre três desses fenômenos que não tinham explicação, mas que tiveram consequências incríveis e estão interconectados entre si. Esses fenômenos são: [plim] a barra de ferro que brilha com cores diferentes à medida que sua temperatura aumenta, [plim] os elétrons girando em torno do núcleo do átomo que estranhamente não caíam dentro do núcleo e [plim] a luz que arrancava elétrons de alguns materiais mas não de outros. A gente vai apresentar esses fenômenos aqui de maneira resumida com a ajuda do Pablo.

Gláucia - O primeiro deles é super comum, e você com certeza já se deparou com ele.

Pablo Saldanha: Quando você esquentar um objeto, por exemplo, se você pensar numa barra de ferro, se você esquentar muito, ela vai ficando avermelhada, alaranjada, até amarela.

Lu - Pera, esquentar barra de ferro até ela ficar amarelada não é assim super comum né... a menos que tu seja, sei lá, um ferreiro que faz teu próprio espeto de churrasco...

Gláucia - Hmm tá, mas por exemplo quando você vê um carvão em brasa na churrasqueira, o fenômeno é o mesmo. Basicamente, o ponto é que quando os materiais vão ficando mais quentes, eles emitem radiação, e essa radiação vai mudando de cor à medida que a temperatura aumenta. O carvão esquentar tanto que passa a emitir um brilho avermelhado. E aqui eu tô falando do carvão em brasa tá? E não da chama. Às vezes a chama até já apagou, mas o carvão ainda tá emitindo essa radiação avermelhada.

Lu - Tá, tu disse que o carvão emite radiação. Mas uma pergunta bem básica e acho que até anterior: o que é radiação?

Gláucia - Bom, aqui nesse contexto, a gente pode dizer que radiação é basicamente sinônimo de onda eletromagnética. A gente ainda vai falar melhor sobre isso, mas tem onda eletromagnética em muita coisa que a gente conhece bem: por exemplo, o microondas que a gente usa para esquentar comida, tem também as ondas de rádio, as ondas de celular, o raio-x... tudo isso são ondas eletromagnéticas.

Lu - Então, só pra confirmar se eu entendi bem então, radiação é a mesma coisa que onda eletromagnética?

Leo - Isso, mesma coisa. Então no exemplo do carvão em brasa, a luz avermelhada que o carvão tá emitindo é uma onda eletromagnética.

Lu - Então a luz também é radiação?

Leo - Sim! A luz visível, que é a luz que o olho humano consegue enxergar, também é uma forma de radiação. A gente enxerga luz apenas em uma faixa de frequências, que vai do vermelho ao violeta, mas alguns animais de hábitos noturnos, como o mosquito e alguns tipos de cobras e de morcegos, por exemplo, conseguem enxergar radiação em outras frequências também, como a infravermelha. Assim esses animais podem enxergar no escuro. E é também dessa forma que funcionam as câmeras noturnas.

Lu - É que a gente tá acostumado a pensar em radiação como algo perigoso né, radiação atômica, de usina nuclear...

Gláucia - Pois é, esse é um tipo específico de radiação, é uma radiação super energética. Pra explicar melhor, a gente precisa trazer alguns termos técnicos, mas me avisa se ficar muito difícil. Tem três características envolvidas aqui: a energia dessa radiação, a frequência dela, e a cor que a gente vê. Quanto maior a frequência, maior a energia da radiação. A gente só enxerga do vermelho, que é uma luz menos energética, até o violeta, que é uma luz mais energética. Então essas ondas mais energéticas ainda, como a radiação nuclear, a gente não vê porque elas têm frequência acima do violeta.

Leo - Mas esses são todos exemplos de radiação. Quem nem a Gláucia falou, o que muda da radiação infravermelha que é captada pelos mosquitos, pra luz da lâmpada da sua casa, pro raio X, lá de quando você faz uma radiografia, é o quão energética é essa radiação.

Gláucia - É, e voltando à barra de ferro e ao carvão, eles já estavam emitindo radiação mesmo antes de esquentar muito, mas a gente não via. Só que quando você aumenta a temperatura, a energia da radiação também aumenta. Aí, num dado momento, a temperatura é tão alta que a radiação entra no espectro visível, e a gente passa a enxergar ela na forma de um brilho avermelhado.

Lu - Nossa, é um monte de informação nova, mas acho que o principal eu entendi que é: quando a gente fala de radiação, quanto mais alta a frequência, maior a energia... é isso, né?

Leo - Isso, e vice-versa também. Mas no final do século 19, não se conseguia explicar exatamente o comportamento dessa radiação que era emitida. Mais especificamente, as fórmulas matemáticas propostas para descrever esse fenômeno, que eram baseadas na física clássica, elas faziam previsões totalmente inconsistentes com o que era observado na realidade. E isso era um problema.

Pablo Saldanha: Então por que que emite as cores que se emite mesmo em uma barra quente a física clássica não explicava.

Leo - O segundo fenômeno que a gente quer trazer aqui, a gente não vê no dia a dia, mas todo mundo já ouviu falar dele. No início do século 20, outra coisa básica que não era explicada...

Pablo Saldanha: ... é que os experimentos começaram a mostrar que a matéria era feita de átomos. Então em certo ponto descobriu-se que os átomos, eles tinham uma carga elétrica negativa em torno de uma carga elétrica positiva central, que é o que a gente chama de núcleo atômico.

Lu - Tá, acho que isso eu lembro, essa é aquela figura que a gente conhece do ensino médio, o átomo formado por um núcleo e com os elétrons orbitando em torno dele.

Pablo Saldanha: E aí uma pergunta fundamental é, como explicar isso? O que que é um átomo fundamentalmente? Uma maneira de entender [...] é fazer uma analogia com o sistema planetário. Que o sistema solar é parecido com isso. A gente tem um sol, [...] E tem os planetas girando em volta. [...] E você explica isso muito bem. Mas qual que é o problema de eu usar esse mesmo modelo para explicar um átomo? O problema é que o átomo é feito de partículas carregadas, com carga elétrica.

Gláucia - Isso vem da teoria eletromagnética, que é um dos pontos altos da física clássica. Essa teoria diz que tudo que tem carga elétrica, como é o caso do elétron, emite radiação ao se movimentar, essa mesma radiação que a gente tava discutindo agora há pouco.

Lu - Não entendi muito bem. Tu conseguiria falar disso usando algo do nosso dia a dia, que nem o microondas de antes?

Gláucia - Por exemplo, uma antena de celular funciona baseada nessa ideia. A antena precisa se comunicar com o seu smartphone e vice-versa, certo? Ela faz isso codificando a informação em ondas eletromagnéticas. Mas então tem que ser ondas bem específicas para eles se entenderem né? E aí como que a antena faz para gerar essas ondas? De uma maneira bem simplificada, ela usa elétrons oscilando, ou seja, que estão se movimentando. Dependendo de como os elétrons oscilam, eles geram ondas diferentes que vão se propagar no espaço e chegar no seu celular. Então, controlando essa oscilação, a antena consegue gerar as ondas de maneira precisa para enviar a informação desejada. Esse é o ponto: em geral, elétrons em movimento geram ondas eletromagnéticas, que é outro nome para radiação.

Lu - Hmmm tá, melhorou um pouquinho.

Gláucia - Eu sei que tá difícil, mas não desiste. E voltando pro que o Pablo tava falando, isso se torna um problema se a gente quiser explicar o átomo como se fosse um mini sistema solar, com os elétrons girando em torno do núcleo. Porque se o elétron se movimenta, ele emite radiação, e toda radiação tem uma certa quantidade de energia. Portanto, emitir radiação significaria perder energia.

Pablo Saldanha: Então esses elétrons girando, eles emitiriam radiação, perderiam energia e iam acabar caindo dentro do núcleo num tempo bem menor do que um segundo. Então as pessoas não conseguiam explicar como que é possível ter átomos e daí como é possível ter matéria de maneira geral. Então é uma pergunta muito fundamental. Isso com as leis clássicas não dava pra explicar.

Leo - Para fechar a conta, teve um terceiro fenômeno problemático que surgiu naquela época, que ficou conhecido como efeito fotoelétrico.

Gláucia - O efeito fotoelétrico é legal porque ele mostra a relação entre dois elementos fundamentais da física: o elétron e a luz. Os experimentos começaram a

mostrar que quando a gente joga luz em placas de um certo material, digamos césio, esse material começa a emitir elétrons. Ou seja, é como se a gente ligasse uma lanterna em frente a essa placa e a luz da lanterna arrancasse alguns dos elétrons que tavam lá, orbitando os núcleos dos átomos. Só que se a gente liga essa mesma lanterna em frente a uma placa de outro material, digamos um placa de lítio, essa segunda placa não emite elétron nenhum.

Lu - Tá, mas qual o problema? Se são dois materiais diferentes, não parece tão estranho se eles se comportam de maneira diferente.

Gláucia - Pois é, até aí tudo certo. Só que se a gente entende que esse é um princípio geral, que a luz faz os materiais emitirem elétrons, o natural seria pensar que o que tá faltando nesse caso é aumentar a intensidade da luz. Então vamos trocar a nossa lanterna, que não era muito grande, por uma lanterna maior. Mesmo assim nada acontece... a placa de lítio ainda não emite elétron nenhum. E a gente pode aumentar ainda mais a nossa fonte de luz, pode pegar um refletor gigante, de estádio de futebol, que mesmo assim não arranca elétron dessa segunda placa. E na época o pessoal não tinha uma explicação boa para isso.

Leo - Então, retomando: a gente tem [plim] a barra de ferro que brilha com cores diferentes à medida que sua temperatura aumenta, [plim] os elétrons girando em torno do núcleo do átomo que estranhamente não caíam dentro do núcleo e [plim] a luz que arrancava elétrons de alguns materiais mas não de outros. E o legal é que cada um desses problemas foi resolvido com uma mesma ideia aparentemente extravagante: a quantização. [contundência] Como a própria palavra já diz, quantização é a ideia fundamental sobre a qual foi criada a teoria quântica, o nome quântica vem daí.

Lu - Mas o que exatamente significa quantização? Porque quando eu procurei por quântica na internet, eu caí naqueles tópicos que a gente mostrou no episódio passado. Então, por exemplo, tem gente que associaria quântica a um papo pseudocientífico sobre o poder da mente:

[chiado]

“Isso é física quântica em ação. Isso é manifestação da realidade. Isso é o observador em pleno efeito.”

[chiado]

Leo - [filtro off] ...o que é totalmente furado...

Lu - Tem gente que diria que quântica é a chave para entender ufologia:

[chiado]

“Física quântica e ufologia, como é que nós podemos aplicar essas discussões mais avançadas da física quântica com relação ao fenômeno ufo.”

[chiado]

Leo - [filtro off]...o que é uma grande bobagem...

Lu - Tem gente que concluiria que quântica é a base teórica da homeopatia:

[chiado]

“Quando eu descobri que a homeopatia poderia ser explicada através da física quântica, aquilo para mim foi uma coisa espetacular.”

[chiado]

Leo - [filtro off]...o que não tem nada a ver...

Lu - E tem gente até que pensaria que quântica ensina como viajar no tempo:

[chiado]

“É apenas na experiência consciente que parece que estamos indo adiante no tempo. Na teoria quântica, também pode voltar no tempo.”

[chiado]

Leo - [filtro off]...eu que queria voltar no tempo só para não ter escutado isso...

Lu - Como tu deve ter adivinhado, nenhum desses áudios ajuda muito a definir o que é, de fato, quantização. Por sorte, a gente tem a Gláucia e o Leo para nos ajudar com isso.

Gláucia - A palavra Quantização está relacionada basicamente com a propriedade daquilo que não é contínuo, e que é formado por pacotes, por unidades. Por exemplo, maçã, lá no supermercado as maçãs são quantizadas..., eu compro 1 unidade, ou 2 ou 3... eu não compro meia maçã. E indo mais pro lado da física... a matéria é quantizada porque ela é formada por átomos, ou seja, se você vai dando um zoom na mesa de madeira aí da sua cozinha, vai ver que ela não é contínua, mas formada por esses bloquinhos individuais, que são os átomos.

Leo - A própria palavra quantum, né, vem do latim, associada a essas quantidades fundamentais que formam as coisas. Então o átomo seria o quantum da matéria.

Gláucia - E um exemplo de algo que não é quantizado é a velocidade do seu carro, porque você consegue ir acelerando e aumentando a velocidade continuamente. Se fosse quantizada, seu carro estaria sempre dando uns solavancos, porque quando você acelera ele passaria direto de 10km/h para 20km/h, por exemplo, depois outro salto para 30km/h. Ou seja, algo ser quantizado significa que esse algo só aparece em pacotes, que são múltiplos inteiros de uma unidade fundamental.

Leo - Hoje, esses exemplos da maçã, do átomo e da velocidade do carro ajudam a gente a entender o que é quantização. Mas como os cientistas do início do século 20 chegaram a essa ideia? Para explicar isso, a gente pode voltar para os nossos três problemas. No primeiro, o da barra de ferro, o primeiro obstáculo era encontrar uma fórmula matemática que descrevia corretamente a relação entre a temperatura da barra e a cor da radiação que ela emitia. Até que, no ano de 1900, um físico alemão chamado Max Planck decidiu usar um truque matemático que resolveu o problema: ele fez uma suposição, assim, meio tirada da cartola, de que essa radiação era emitida sempre em pacotinhos, em um múltiplo inteiro de cópias de uma mesma unidade fundamental.

Gláucia - Em outras palavras, ele supôs que a energia emitida pela barra era quantizada.

Leo - Com isso, ele conseguiu uma fórmula para explicar bonitinho as observações desse tipo de experimento.

Lu - Vocês já tinham falado antes em fórmula e modelo matemático. Por que que é tão importante assim ter uma fórmula pra esse tipo de coisa?

Leo - Tá, essa é uma pergunta muito boa, mas a gente vai poder dar uma resposta melhor pra ela no terceiro bloco, quando a gente discutir um pouco mais sobre essas coisas. Então guarda aí a pergunta que a gente volta nela quando chegar lá, pode ser?

Lu - Pode. Beleza.

Gláucia - Então voltando no Planck, ele conseguiu criar um modelo matemático pra explicar o problema da barra de ferro usando a ideia que a energia emitida era quantizada. Mas se a energia da luz é quantizada, isso significa que a própria luz é formada por pacotinhos... Só que o Planck não acreditava nisso de fato, que existiam mesmo pacotes individuais de luz. Para ele, a quantização não passava de um truque matemático que descrevia bem o problema em questão. O Planck, como todo mundo na época, acreditava firmemente que a luz era contínua.

Lu - Calma que eu to num desses momentos que nem sei o que perguntar. A parte que eu entendi bem é a da velocidade do carro, que quando a gente olha o velocímetro ele vai aumentando continuamente. Então a luz não é assim como velocidade? Ela não é contínua?

Gláucia - Pois é, não! E isso é surpreendente né? A quantização introduz a ideia de que a luz não é contínua, e que portanto ela é feita de pacotinhos. A gente já já vai falar mais disso. Por agora a gente só vai dizer que o Planck procurava um modelo matemático, não necessariamente relacionado com a realidade da coisa, e conseguiu esse modelo. Mesmo tendo que apelar, entre aspas, para a quantização.

Leo - Essa postura muda bastante quando, alguns anos depois, é encontrada a solução para o segundo problema, o do elétron em torno do núcleo. Lembrando, os elétrons orbitam o núcleo dos átomos, mas aparentemente eles deveriam ir

perdendo energia e acabar caindo dentro do núcleo. Mas isso não acontece, porque, mais uma vez, a quantização vem para salvar o dia.

Gláucia - Dessa vez quem se aventurou a pensar fora da caixa foi o Niels Bohr, um físico dinamarquês que em 1913 se deu conta de que pra explicar bem o comportamento de um elétron, esse elétron não podia estar livre para girar em torno do núcleo de qualquer maneira. Ele tinha que estar restrito a ocupar apenas algumas órbitas específicas, que representam as diferentes energias que ele poderia ter. Em outras palavras, o que o Bohr propôs e viu que fazia todo sentido era a quantização da órbita do elétron.

Lu - Tá, isso são aqueles elétrons fazendo círculos em torno do núcleo que a gente vê no colégio, né?

Gláucia - Isso. Na verdade, esse desenho dos círculos em torno do núcleo não é tão correto assim, hoje a gente tem um entendimento melhor do átomo, mas por ora vamos continuar com o modelo do Bohr mesmo. Então, o que o Bohr falou é que o elétron não era atraído até cair no núcleo do átomo porque ele só podia se mover em órbitas específicas. E esse espaço vazio entre as órbitas agia como se fosse uma barreira pra fazer o elétron ficar comportado, seguindo a sua rota. E cada órbita corresponde a uma energia específica do elétron. Isso implica que a energia do elétron também é quantizada.

Lu - Mas o que que significa que a energia do elétron também é quantizada?

Gláucia - Significa que assim como apenas algumas órbitas são permitidas pro elétron, a energia que o elétron tem também só pode assumir alguns valores específicos, dependendo da órbita que ele tá. Ou seja, é como se a energia do elétron também viesse organizada em pacotinhos e o elétron só perde ou ganha energia quando ele pula de uma órbita pra outra.

Leo - E isso nos leva ao nosso terceiro problema, da luz arrancando elétrons das placas de metal, e como a resolução dele amarra todas essas coisas juntas. Como a gente falou, a luz da lanterna arrancava elétrons da placa de cézio, mas não da placa de lítio. Quem teve o grande insight para explicar isso foi ele, o físico mais pop

de todos, Albert Einstein. Isso aconteceu em 1905, ainda um pouco antes do Bohr desvendar as órbitas do elétron. O Einstein explicou essa situação falando para quem quisesse ouvir: a luz é sim quantizada. Isso não é um truque matemático, que nem o Planck falava, é a natureza física da luz mesmo.

Gláucia - Ou seja, a luz tem uma unidade fundamental, como se fosse um bloquinho de luz, e todo raio de luz é formado por uma certa quantidade desses bloquinhos. Esse bloquinho é o que hoje a gente chama de fóton. Então, para todos os efeitos, esse foi o nascimento do fóton.

Lu - Tá, mas como isso explica o comportamento da luz nas placas?

Gláucia - Então, o que foi entendido é que os elétrons podem absorver fótons e também podem emitir fótons. E o que faz os elétrons se moverem de uma órbita para outra é exatamente a absorção de um fóton, que dá pra ele a energia exata pra ele transitar de nível. O elétron absorve esse fóton com energia específica e com isso ele consegue se mover para uma camada orbital mais externa, mais afastada do núcleo. Nesse caso, a gente diz que o elétron fica excitado.

Leo - E também pode ocorrer o contrário, o elétron pode emitir um fóton, diminuir a energia e por causa disso se mover para uma órbita mais próxima do núcleo.

Gláucia - É, nesse caso a gente diz que ele decaiu. Então o efeito fotoelétrico é quando um fóton, individualmente, dá energia suficiente para um elétron, que tá ali na camada mais externa do átomo, escapar completamente do núcleo.

Leo - Quando você liga a lanterna na frente da placa de metal, você tá bombardeando aquele material de fótons. Dependendo do material da placa e da energia dos fótons, os elétrons da camada mais externa absorvem esses fótons, ganham energia suficiente para declarar independência do núcleo e vão embora dali.

Lu - Não sei porque, mas essa descrição me lembra um pouco aquele filme 'A Fuga das Galinhas'. Aqui seria tipo 'A fuga dos elétrons'?

Leo - Tipo isso. Mas essa fuga dos elétrons de cada material é diferente, porque cada material tem a sua própria personalidade. O cézio, por exemplo, tem elétrons na sua última camada mais aventureiros, que precisam de menos energia para ir embora. Já os elétrons da última camada do lítio, por outro lado, vão requerer mais energia para isso. Então o X da questão aqui não é a intensidade da luz que você está jogando, mas sim o quão energética é essa luz.

Gláucia - Ou seja, se uma lanterna de luz amarela já não conseguiu arrancar elétrons de uma placa, não adianta ligar um refletor de luz amarela em cima dela que nenhum elétron vai ser arrancado. Então faz muito mais sentido trocar a lanterna de luz amarela por outra lanterna que emite luz violeta, por exemplo. Por que o que você precisa é de uma radiação que tenha uma energia maior.

Lu - Tá, deixa ver se eu entendi: da lanterna pro refletor eu tô aumentando a intensidade, a quantidade de luz que eu tô jogando. Mas só isso não é suficiente pra arrancar elétrons da placa de lítio, eu preciso mesmo é aumentar a energia da luz, o que tem a ver com a cor. É isso, né?

Leo - É isso. [congasa] Bom, vale ressaltar que a gente não tá explicando todos os detalhes de como a quantização resolve tudo isso (para isso a gente ia precisar de um semestre inteiro na faculdade), mas a ideia é que com esses três fenômenos tenha ficado claro como a quantização abriu as portas para a gente entender melhor como se comportam objetos fundamentais, como os átomos, os elétrons e os fótons.

[transição - gato]

BLOCO 2: TECNOLOGIAS QUÂNTICAS ATUAIS *****

Leo - Bom, talvez você já tenha escutado que o prêmio Nobel é a maior premiação da física. Então é legal pensar que as explicações para esses três fenômenos que a gente comentou até agora foi exatamente o que garantiu o prêmio Nobel do Max Planck, recebido em 1918, o prêmio Nobel do Albert Einstein, recebido em 1921, e o

prêmio Nobel do Niels Bohr, recebido em 1922. Mas não foi só por isso que a gente quis falar desses fenômenos para vocês.

Gláucia - Também não foi só para ilustrar o quão poderosa é a ideia de quantização, que resolveu esses diferentes problemas fundamentais que estavam surgindo naquela época. A gente quis trazer esses três fenômenos aqui porque entender eles trouxe um avanço conceitual gigante. Compreender bem a estrutura do átomo, o comportamento do elétron e como ele interage com a luz foi tão importante que hoje, mais de cem anos depois, a gente ainda estamos surfando uma onda de tecnologias baseadas nisso.

Ingrid Barcelos: A gente conhece muito bem o átomo, então essa é uma das coisas boas da gente trazer essas coisas que estão bem descritas pela mecânica quântica.

Lu - Essa falando agora é a Ingrid Barcelos, ela é física e pesquisadora, e trabalha com materiais em nanoescala no Sirius. Caso você não saiba, o Sirius é o maior acelerador de partículas que a gente tem aqui no Brasil, ele fica em Campinas, em São Paulo.

Ingrid Barcelos: E aí vai bateria, telefone, a gente consegue usar materiais que funcionam melhor, carregam mais rápido, mas tudo isso, a gente só consegue explorar esses materiais, que é o que eu faço aqui no laboratório em que eu trabalho, dado esse entendimento que a gente tem hoje.

Lu - Pra Ingrid, o entendimento desses primeiros fenômenos quânticos que a gente vem falando aqui no episódio desencadeou uma revolução tecnológica.

Ingrid Barcelos: Para gente que trabalha com física experimental, eu sempre falo que isso foi uma revolução, e por quê? Porque permitiu com que a gente conseguisse entender, depois visualizar e depois manipular os materiais.

Leo - E não é só a Ingrid que chama isso de revolução. Muitas pessoas se referem a esse boom de tecnologias geradas pela quântica de [efeito eco] “primeira

revolução quântica”. Isso não é por acaso, parte significativa do PIB dos Estados Unidos é proveniente de tecnologias de origem quântica, tem gente que diz que essa contribuição chega a representar um terço do PIB. Isso acontece porque todo o segmento de produtos eletrônicos depende fortemente da ciência quântica.

Ingrid Barcelos: Tudo que a gente usa hoje é baseado em microchips né, transistores, computador, notebook, tudo.

Gláucia - O transistor, ou transistôr, é uma pecinha que é essencial para microprocessadores. Ele está presente em computadores, celulares e muitos outros equipamentos eletrônicos. Ele é considerado um dos maiores avanços tecnológicos do século vinte.

Ingrid Barcelos: Então esses transistores eles são elementos que a gente usa para passar corrente elétrica para amplificar algum sinal [...] então ele é um componente eletrônico que você pode ligar e desligar, e o que que a gente associa com ligar e desligar: 0 e 1.

Gláucia - Você já ouviu falar que o seu computador funciona em linguagem binária, ou seja, baseado em zeros e uns? Pois é, o transistor é o hardware, ou seja, o componente físico por trás desses zeros e uns. Os transistores são os grandes responsáveis por possibilitar o processamento da informação dentro dos chips.

Leo - Num computador, primeiro a gente traduz a tarefa a ser feita em código binário e depois utiliza transistores para representar essa linguagem binária através da passagem ou não de corrente elétrica. Aqui, a contribuição da quântica se deve mais precisamente à miniaturização dos transistores.

Ingrid Barcelos: Se a gente pensar que o primeiro computador, ele ocupava um andar inteiro de um prédio e hoje a gente tem um computador que cabe na minha mão, isso só é possível porque a gente pode usar materiais com uma espessura muito reduzida.

Gláucia - Mais especificamente, um ponto chave foi desenvolver materiais semicondutores, ou seja, materiais que dependendo da situação podem conduzir a

corrente elétrica e funcionar como um 1, e, dependendo da situação, podem agir como isolantes, interrompendo a corrente elétrica e funcionando como um 0.

Leo - Agora, sabe que materiais definitivamente são ruins para isso? Os metais.

Ingrid Barcelos: Por exemplo, metal, metal é um péssimo material para fazer transistor, porque qualquer excitação térmica já tem condução, então você não consegue desligar.

Leo - Ou seja, o cobre, que é o metal geralmente usado na fiação elétrica, funcionaria sempre como 1, porque sempre deixa passar a corrente. Por outro lado, um exemplo de material semicondutor que é útil para construir transistores é o silício. É daí que vem o nome “vale do silício” para designar o local da Califórnia onde surgiram muitas fábricas de chips eletrônicos.

Gláucia - Hoje, um celular de última geração tem mais de 15 bilhões de transistores, cada um deles podendo alternar entre 0 e 1 bilhões de vezes por segundo. Agora, se cabem bilhões de pecinhas assim na palma da sua mão, imagina o tamanho delas, né? Construir pecinhas assim, tão pequenas, só foi possível por causa da quântica, que explica bem as energias dos elétrons de um átomo. E isso nos ajuda, por exemplo, a combinar o silício com outros materiais para que uma parte do transistor conduza bem a corrente elétrica e outra parte conduza mal, funcionando como um isolante.

Leo - Outra pessoa com quem a gente conversou sobre isso é a Gabriela Barreto Lemos, que é professora de física da Universidade Federal do Rio de Janeiro e pesquisadora de ótica quântica, além bastante ativa na promoção da diversidade e equidade dentro da física. A Gabriela concorda com o papel fundamental da quântica nos nossos computadores.

Gabriela Barreto Lemos: Na verdade, a gente está esperando o grande computador quântico, mas, de certa forma, todo computador que a gente tem, usa, né? A teoria quântica.

Leo - Mas além do transistor, existem também outras tecnologias super importantes que a gente pode mencionar.

Gláucia - Inclusive, o efeito fotoelétrico que o Einstein explicou é a premissa básica das placas solares que a gente tem hoje em dia: a luz do sol incide sobre uma placa, que emite elétrons, e que geram uma corrente elétrica. Claro, isso é uma maneira muito simplificada de descrever o processo. De 1905 para cá houve um avanço gigantesco tanto na parte de física experimental quanto na parte de engenharia para tornar essas placas viáveis e eficientes.

Lu - Falando com a Gabriela, ela contou pra gente que essa não é a única aplicação do efeito fotoelétrico.

Gabriela Barreto Lemos: E quem diria né, todo mundo tem efeito fotoelétrico em casa, né? Que é a base das câmeras digitais. [...] A própria câmera do seu celular, ela é baseada no efeito fotoelétrico, que é um efeito que foi descoberto no final do século 19 e que só foi entendido com o Einstein, num trabalho belíssimo, em que basicamente ele inventa o fóton, né?

Lu - Mas onde mais que a gente pode encontrar tecnologias que tiveram influência da quântica?

Gabriela Barreto Lemos: Por exemplo, ressonância magnética, né? Isso é uma aplicação de um efeito quântico. [...] O próprio laser, gente, que é usado em tudo.

Lu - O laser é usado para tudo?

Gabriela Barreto Lemos: Então o laser, o laser que a gente usa, pra depilar hahaha, a gente usa o laser pra fazer cirurgia, cirurgia de olho, então usa para cortar [...] usa o laser na moda, pra fazer, já viu assim, né, essas materiais são cortados a laser, né? A gente usa laser numa palestra para apontar. A gente usa realmente o tempo todo. E ele, e o laser é um fenômeno quântico, né?

Leo - Aqui vale a pena contar alguns detalhes. A diferença do laser para a luz de uma lâmpada qualquer é que a luz da lâmpada é toda bagunçada. Por exemplo, nessa lâmpada de luz fria, comum, que você provavelmente tem em casa, tem radiação de todas as cores que acaba gerando essa cor branca que a gente vê. A polarização, que é outra propriedade de ondas eletromagnéticas, nesse caso também é desorganizada, ela varia em todas as direções possíveis. [entrada tambores caóticos] Fazendo uma analogia com ondas sonoras, é como se a gente tivesse tocando ao mesmo tempo vários tambores que são de diferentes tamanhos e de um jeito caótico, fora de ritmo.

Gláucia - [saída tambores caóticos] Então o que uma caneta laser faz? sabe,... aquele laser pointer que a gente usa para apontar numa apresentação de slides ou para brincar com gato. Então, a caneta laser usa a energia da bateria dela para excitar os elétrons de um material específico. Com isso, esse elétron fica excitado e vai para uma órbita mais energética. Só que esse elétron excitado tende a decair, voltar pra sua órbita anterior. E quando isso acontece ele emite um fóton. Nas palavras da Ingrid...

Ingrid Barcelos: A gente tem um elétron de um átomo que ele é estimulado para o nível de energia maior, então a gente chama de emissão estimulada, e esse decaimento, ele vai emitir uma luz monocromática.

Gláucia - Luz monocromática... ou seja luz de uma cor só, ou uma só frequência como a gente já falou antes. Então a luz do laser é uma luz bem-comportada que pode ser controlada de forma precisa. A gente diz que é uma luz coerente. Essa emissão estimulada é um processo que ele organiza a emissão de luz, porque esse fóton emitido é emitido sempre com as mesmas características: mesma energia, e portanto mesma frequência, e a mesma polarização. [entrada tambores caóticos transitando para tambores em sincronia] É como se a gente filtrasse o som dos tambores diferentes batucando fora de compasso e sobrasse só os tambores de mesmo tamanho, tocando em sincronia. Isso é o laser.

Leo - E não precisa nem repetir qual a teoria que possibilitou todas essas tecnologias...

[congas]

Ingrid Barcelos: E a gente só consegue tirar informação disso, porque o átomo é muito bem descrito pela mecânica quântica.

[transição - gato]

BLOCO 3: A COISA É MAIS ESTRANHA AINDA *****

Leo - Então até agora a gente falou de como aqueles três fenômenos quânticos que a gente trouxe no início do episódio contribuíram para o desenvolvimento de muitas das nossas tecnologias atuais. Só que quando a gente pergunta para um especialista no assunto se esses são os fenômenos que melhor representam a teoria quântica, o Pablo Saldanha, que já estava conversando com a gente antes, responde que...

Pablo Saldanha: Eu diria que não, porque eles foram os primeiros, né, e eles motivaram a construção da teoria. Mas hoje eles estão muito bem entendidos dentro da teoria e eles não são os que expressam de maneira mais evidente a estranheza desse mundo quântico.

Leo - De fato, eles só arranham a superfície. A quântica é ainda mais estranha e mais bonita do que isso. Para falar disso, a gente precisa contar um pouco melhor sobre a maneira como a teoria quântica surgiu. Comparando com a teoria da relatividade, por exemplo, apesar de a relatividade ter aparecido mais ou menos na mesma época e também chegar a conclusões impressionantes, ela pode ser vista como uma generalização da teoria da gravitação de Newton. Ou seja, a relatividade generaliza resultados clássicos, o que quer dizer que nós temos um ponto de partida bem conhecido para dar o pontapé inicial na discussão.

Lu - E no caso da quântica, qual que seria esse ponto de partida?

Leo - Pois é, não tem. A comunidade científica se deparou com uma série de fenômenos que eles não sabiam nem por onde começar a entender. Quando se começou a estudar objetos muito pequenos, como é o caso do elétron ou do fóton, começaram a aparecer mais e mais fenômenos que pareciam incríveis, diferentes

de tudo que a gente encontra no nosso dia a dia. A Gabriela Lemos descreve essa sensação de uma maneira muito legal:

Gabriela Barreto Lemos: É meio Alice no país das maravilhas. [...] Para mim, eu me sentia como a Alice que tinha, sabe, descido aquele buraco e tinha encontrado, assim, fenômenos completamente malucos, né, e fascinantes, e fascinantes. Mas que não fazem sentido fora do buraco, né.

Gláucia - Então por causa desses fenômenos malucos, como a Gabriela falou, os pesquisadores foram forçados a criar um modelo matemático praticamente do zero. Aqui é um bom momento para voltar pra pergunta que a Lu fez lá no início do episódio, de porquê é importante ter uma fórmula ou um modelo matemático associado a um fenômeno físico.

Um modelo matemático é importante porque ele representa um nível mais profundo de compreensão. Ele é uma abstração que consegue ir além de uma situação específica. Então, por exemplo, quando a gente tem uma fórmula ou um modelo matemático que relaciona a temperatura de uma barra de ferro e a radiação que ela emite, a gente pode extrapolar e prever o que ocorre em muitas outras situações para além da barra de ferro. A gente pode até deduzir qual é a radiação emitida por objetos muito maiores e em temperaturas muito mais altas (como por exemplo as estrelas). Então com um bom modelo matemático, em vez de explorar um fenômeno na prática, a gente tem a opção de explorar esse fenômeno matematicamente.

Leo - Por outro lado, ter um modelo matemático também permite relacionar através da matemática coisas que aparentemente não tinham nenhuma relação. Um exemplo clássico disso é o pi, aquele número que começa com 3,141592 e por aí vai. Apesar de historicamente o pi surgir associado com a proporção dos elementos de um círculo, a gente também encontra ele em fórmulas de muitas coisas que à primeira vista não têm nada a ver com círculo, como o movimento de uma mola e o número de colisões de bolas de bilhar numa determinada situação, só para dar alguns exemplos. Essas conexões nada óbvias funcionam como pontes entre tópicos distantes, aumentando nosso entendimento geral.

Gláucia - O Rafael Chaves, professor da Universidade Federal do Rio Grande do Norte e pesquisador na área de informação quântica, fala um pouquinho como esse processo de formulação da teoria quântica aconteceu.

Rafael Chaves: Então ao longo aí, vamos dizer, desde ali de 1905 até mais ou menos mil novecentos e vinte e pouco, vinte e cinco foi basicamente uma coleção de dados experimentais e diferentes modelos, tentativas matemáticas de se explicar esses fenômenos.

Gláucia - Olha que interessante, apesar de ter os resultados experimentais como guia, também foi necessária uma boa dose de tentativa e erro até que os pesquisadores descobrissem a linguagem matemática que representa bem os sistemas quânticos. Como diz o Rafael, a teoria quântica...

Rafael Chaves: ... ela é um arcabouço matemático, um conjunto de regras matemáticas que sumarizam, que de certa forma codificam em si a essência da física quântica. Então a teoria quântica, ela é composta de postulados, de regras matemáticas que a gente não prova. A gente aceita.

Gláucia - Esse arcabouço matemático dá certo, ele é efetivo. Com isso em mãos, a gente consegue prever o que vai acontecer nos experimentos, mesmo que os resultados sejam contraintuitivos. Talvez um exemplo disso seja a luz, que intuitivamente a gente diria que é contínua, mas que a teoria quântica conclui que ela é quantizada.

Leo - Então as previsões da teoria funcionavam, mas ficava um gostinho amargo de insatisfação, porque era uma coisa do tipo “fazendo assim dá certo, mas eu não sei bem por que é assim”.

Gláucia - Ou seja, apesar da matemática representar bem a física, não havia um princípio físico bem compreendido associado a essa matemática.

Lu - Como assim, o que tu quer dizer com isso?

Leo - Para fazer uma analogia, imagina que você tá tentando entender como funcionam as marés. Né, em determinados períodos a maré sobe, em outros períodos a maré baixa. Num dado momento, você nota que isso tá relacionado com

a lua, que a maré alta ocorre sempre que a lua tá em certas posições no céu e em certas fases. Uma vez que você entende isso, basta olhar pra lua para prever o que vai acontecer com a maré. Hoje a gente sabe que essa relação é dada por conta da força da gravidade que a lua exerce sobre o oceano.

Gláucia - Ou seja, se a maré vai estar alta ou baixa, depende basicamente do quão distante a lua está daquele ponto do oceano.

Leo - Agora, se a gente não soubesse nada sobre a gravidade, a relação entre a lua e a maré pareceria mais misteriosa. E esse é o caso da quântica. A gente pode pensar que os fenômenos quânticos eram como a maré, e que a teoria quântica funcionava como a lua. Ou seja, estudando a teoria, a gente previa o que iria acontecer nos experimentos, mas nesse caso a gente não tinha um princípio físico mais fundamental, como a força da gravidade no caso da maré e da lua, explicando a conexão entre a teoria e a prática.

Gláucia - Mesmo assim, como a gente mencionou mais cedo, uma vez que você tem esse modelo matemático, a teoria quântica, você pode começar a fazer o caminho inverso. Agora que você já usou os primeiros experimentos para formular uma teoria, você pode explorar matematicamente a teoria para formular novos experimentos.

Lu - Em que período de tempo isso aconteceu? Lá no século passado? Ou agora?

Gláucia - Bom, a gente pode dizer que isso começou lá no início do século passado. Depois da quantização aparecer pra explicar aqueles três fenômenos isolados que a gente discutiu no início do episódio, uma teoria mais geral, englobando todos eles, começou a ser formulada na década de 1920. E uma vez que a gente tem a teoria quântica formulada, a gente atinge um novo patamar. Se antes a quantização já tinha dado contribuições práticas importantes, como descrever o comportamento do átomo, agora a teoria quântica vai um passo além e descreve uma porção de esquisitices que nunca tinham sido testemunhadas até aquele momento.

Leo - Só para dar uma noção do quão esquisitas são as coisas, a gente vai listar aqui algumas dessas estranhezas com uma descrição bem curtinha de cada uma delas. Talvez você já tenha ouvido falar de algumas.

Gláucia - A gente tem: superposição [tum], que diz que um sistema quântico pode se encontrar numa combinação de dois estados distintos.

Leo - Emaranhamento [tum], que Einstein descreveu como uma “ação fantasmagórica à distância”, e isso que acabou gerando muita confusão e muita pesquisa de qualidade, incluindo o prêmio Nobel de 2022.

Gláucia - Relações de incerteza [tum], que dizem que a gente não pode determinar todas as características de um sistema ao mesmo tempo.

Leo - Aleatoriedade intrínseca [tum], que significa que a gente não pode saber com certeza o resultado de um experimento antes de realizá-lo.

Gláucia - E a gente poderia continuar, citar contextualidade, não-localidade, não-clonagem, teleportação... foi graças à formulação matemática da teoria quântica que todas essas propriedades estranhas e complexas puderam ser reveladas.

Lu - Tá, mas eu, pelo menos, nunca ouvi falar da maioria dessas coisas.. nos próximos episódios a gente vai falar mais sobre elas, né?

Gláucia - De algumas, sim. Principalmente daquelas que aparecem mais nas pseudociências, como é o caso da superposição e da aleatoriedade.

Leo - Mas com boa parte desses fenômenos, quando alguém inicialmente previu que essas coisas eram possíveis... o pessoal achava difícil de acreditar. Dizia que era um capricho matemático que não se refletiria no mundo físico.

Lu - Por que eles diziam isso?

Leo - Uma, porque tinha essa desconfiança, de não estarem claros os princípios físicos por trás da teoria quântica. E outra, porque eram coisas contraintuitivas, muito diferentes da física que se conhecia e diferente também de tudo que a gente vê no nosso cotidiano. Como bem ressalta a Gabriela Lemos:

Gabriela Barreto Lemos: A gente vive no mundo que a gente não percebe os fenômenos quânticos no dia a dia. Então, a gente desenvolve uma forma de pensar que é meio incompatível com fenômenos quânticos. [...] E alguém te falar que o mundo funciona de uma forma que você não percebe, é muito ruim, é muito esquisito.

Lu - E bota esquisito nisso...

Leo - Pois é, só que mesmo sendo contraintuitivos, os experimentos confirmavam, uma vez atrás da outra, as previsões da teoria. Seguiu aquela ideia do “não entendo bem por que funciona, mas funciona”. E aqui reaparece a discussão do nosso primeiro episódio, sobre falseabilidade. É justamente por gerar tanta desconfiança que as pessoas tentavam mostrar que a teoria quântica tinha algum engano, que devia ter algo errado nessa história. Ao longo das décadas foram feitos muitos e muitos experimentos. E adivinha? A teoria quântica sobreviveu a todos esses testes. Hoje ela é considerada uma das teorias físicas mais bem sucedidas e mais bem estabelecidas do ponto de vista experimental.

Gláucia - Mas dadas tantas estranhezas, demorou décadas e décadas de estudos e experimentos para que a comunidade se convencesse que essas propriedades que a gente mencionou antes, aleatoriedade, superposição, etc, apesar de estranhas, são mesmo atributos legítimos de sistemas quânticos. E é justamente explorando essas propriedades que a gente tá prestes a dar o próximo grande passo tecnológico. Como diz o Pablo Saldanha...

Pablo Saldanha: Mas então tem várias questões esquisitas da mecânica quântica que antes eram uma curiosidade, né? E agora não, agora tem aplicação prática.

Leo - Então, a manipulação precisa e o refinamento de fenômenos como superposição e emaranhamento é exatamente o que tá nos levando à chamada [efeito eco] “segunda revolução quântica”, que já começou e será responsável pelo estabelecimento definitivo da computação quântica, da criptografia quântica e da internet quântica, entre outras coisas. Pra se ter uma ideia, em 2022, foi atingido o recorde de investimentos globais em startups de tecnologias quânticas, alcançando a marca de 2.35 bilhões de dólares. Além disso, estima-se que o tamanho de mercado dessas tecnologias pode ultrapassar 100 bilhões de dólares até 2040. Hoje, a soma dos investimentos públicos anunciados para os próximos anos no mundo, com o objetivo de impulsionar pesquisa e educação em tecnologias quânticas, chega a quase 35 bilhões de dólares, com a China liderando com mais de 40% desses investimentos.

Lu - E o Brasil não quer ficar fora dessa né. Pra dar alguns exemplos do que tem acontecido pelo país: o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial, a Embrapii, anunciou em 2023 um investimento de 60 milhões de reais para a criação do Centro de Competência em Tecnologias Quânticas, que vai ser liderado pelo Senai Cimatec, em Salvador. O projeto Rede Rio Quântica recentemente recebeu recursos de diferentes fontes de financiamento para viabilizar a implementação de uma rede de comunicação quântica no Rio de Janeiro. Além disso, desde 2020, um grupo de cientistas vem criando um roadmap para a implementação de Tecnologias Quânticas no estado de São Paulo. E recentemente o Brasil lançou as primeiras iniciativas de fomento federais e estaduais voltadas exclusivamente para pesquisa nas áreas de tecnologias quânticas.

[congas]

Gabriela Barreto Lemos: ...computadores muito mais rápidos, fazer criptografia, então, muito mais segura, fazer uma internet muito mais segura, né? [...] Então, pra você fazer, entender, resolver sistemas muito complicados, né? Na química, na física, na biologia, tem sistemas

complicadíssimos, nossos computadores não dão conta de fazer as contas, e nós também não. Mas com o desenvolvimento de computadores quânticos a gente pode avançar.

[transição - gato]

ENCERRAMENTO *****

Leo - A gente tá chegando ao fim desse episódio, onde a gente quis trazer uma visão panorâmica da teoria quântica e como ela transformou e ainda vai transformar o mundo. A gente quer encerrar amarrando essas características com as outras coisas que a gente escuta sobre quântica, mas que não são realmente científicas.

Gláucia - A gente contou como que alguns dos grandes nomes da física, como Einstein, Bohr e Planck, estabeleceram as bases para o entendimento da estrutura do átomo, dos elétrons e as suas interações com os fótons. Essas interações pertencem ao domínio da teoria quântica, mas isso é uma noção tão fundamental que de uma forma ou de outra ela tá presente em grande parte das tecnologias atuais. Mas então por que a gente não chama o laser de laser quântico, ou os computadores atuais de quânticos?

Leo - Compara com o termo 'atômico'. Ele se refere a átomos, que constituem toda a matéria. Mas não é porque toda bomba é formada por átomos, que todas elas são bombas atômicas.

Gláucia - Com quântica é parecido. Se a gente forçar a barra, muita coisa, em algum nível, depende das propriedades dos átomos, da sua estrutura eletrônica ou de alguma forma de radiação. Mas nem por isso essas coisas deveriam ser chamadas de quânticas. E aqui a gente poderia citar um monte de produtos que se anunciam dessa forma, como o colchão quântico que apareceu no episódio passado.

Leo - Além disso, boa parte das tecnologias que ainda estão por vir são baseadas nesses conceitos mais estranhos e curiosos que a gente mencionou nessa última

parte do episódio, como superposição e emaranhamento. Ou seja, teoria quântica é um prato cheio para quem gosta de ideias inusitadas.

Gláucia - Isso faz dela um ótimo lugar para se buscar analogias. Aliás, tem muitos pensadores sérios que buscam inspiração na teoria quântica pra aplicar em outras áreas do conhecimento. Mas também tem pessoas que tentam forçar a barra e fazer analogias com outros propósitos...

Leo - Pensa na ideia de quantização mesmo, no elétron lá numa órbita, bonitinho, e de repente, ele absorve um fóton e salta para outra órbita. Essa é exatamente a origem da expressão “salto quântico”. Só que “salto quântico”, hoje, virou sinônimo de “mudança radical” e com certeza está entre as expressões mais utilizadas pela pseudociência quântica. Por exemplo, no livro *A Cura Quântica*, a gente encontra uma passagem que diz: [filtro rádio][máquina de escrever] “a cooperação da mente com a matéria provoca um inesperado salto quântico; mas, como outros episódios mente-corpo, realiza-se de modo misterioso.”

Gláucia - Tudo bem usar “salto quântico” como analogia, a gente já falou que, na nossa opinião, a ciência não tem a patente da palavra “quântica”. Mas quando você faz a analogia dessa maneira, parece que a quântica explicaria esse “modo misterioso” que o livro fala. Como diz o Rafael Chaves, esse exemplo da transição de um elétron para outro nível de energia é mesmo um bom exemplo de mudança brusca...

Rafael Chaves: Mas o que é importante dizer é que a analogia termina aí. É simplesmente uma analogia, simplesmente uma outra maneira de pensar sobre o mesmo tema. Mas não quer dizer de forma alguma que as regras, as consequências da teoria quântica possam ser utilizadas para explicar esses fenômenos.

[trilha identidade - baixo]

Leo - Ao longo dos próximos episódios, a gente quer trazer pra vocês os conceitos quânticos que mais aparecem em conteúdos pseudocientíficos. Você já ouviu falar em coisas como vibração do sucesso, ou frequência da saúde? Pois é, várias vezes a gente escuta que essas ideias são fundamentadas por fenômenos quânticos. Mas o que ondas, partículas e dualidade onda-partícula, que são conceitos que

aparecem mesmo na quântica, têm a ver com isso? A gente conta para vocês no nosso Episódio 3: Particularmente ondulado.

[transição - gato]

CRÉDITOS *****

[trilha identidade - bateria, depois baixo e piano]

Leo - Grande parte dos temas que a gente tratou aqui nesse episódio, principalmente a parte histórica da formação da teoria quântica, aparecem com mais detalhes no livro Incerteza Quântica, do Rafael Chaves, que é um livro excelente e que a gente super recomenda se você quiser saber mais sobre essas coisas. O Rafael Chaves foi nosso entrevistado aqui hoje, e você ouviu também trechos das entrevistas com o Pablo Saldanha, a Ingrid Barcelos, e a Gabriela Barreto Lemos. Nosso muito obrigado aos nossos entrevistados.

A transcrição do episódio e a tradução para o inglês estão disponíveis no nosso site www.ufsm.br/oqquantico, assim também como links pra várias informações sobre tecnologias quânticas que a gente citou aqui no episódio.

Se você gostou do episódio, você pode ajudar recomendando ele para aqueles amigos que se interessam pelo tema. Siga também O Q Quântico no instagram @oqquantico e não deixe de avaliar o podcast na sua plataforma de podcast favorita.

Nesse episódio nos utilizamos trechos do filme Quem somos nós, de 2004, dos canais de youtube Laércio Fonseca e Kelly Lemos: dor crônica, e do livro A Cura Quântica, do autor Deepak Chopra.

Lu - O Q Quântico é apresentado por mim, Luciane Treulieb, pela Glaucia Murta e pelo Leonardo Guerini.

Além de nós três, a Samara Wobeto e o Vitor Zuccolo completam o time de produtores do podcast

O roteiro desse episódio é do Leonardo Guerini, com contribuições minhas, da Gláucia Murta, e da Samara Wobeto

A Idealização do projeto é do Leonardo Guerini e da Gláucia Murta

A Consultoria de roteiro é feita pela equipe do podcast Ciência Suja
A edição de som é do Leonardo Guerini, do Vitor Zuccolo e do Mateus Scherer
A mixagem é do Felipe Barbosa
O Apoio de gravação é do Pablo Ruan,
A música original é do Pedro Leal David
e A Identidade visual e as ilustrações de capa são do Augusto Zambonato
Quem cuida das nossas mídias sociais é a Milene Eichelberger e
O nosso site foi desenvolvido pelo Daniel Carli

Glaucia - O Q Quântico é produzido dentro de universidades públicas. A gente contou com o apoio de diversos funcionários das nossas instituições que contribuíram para que o podcast chegasse ao seu formato final. Agradecemos o apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e do cluster de excelência “Matter and Light for Quantum Computing” da Alemanha. E o suporte e infraestrutura da Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf e das rádios da Universidade Federal de Santa Maria.

Obrigado pela audiência e até o próximo episódio!

CAUSO PÓS-CRÉDITO *****

Ingrid Barcelos: Eu tenho uma amiga, que teve a coragem de me ligar, sabendo que eu sou física, pra me contar que ela tinha ido, “não vai brigar comigo não, mas eu fui em uma terapeuta, ela me indicou um negócio, falou que era produto novo e aí cobrou não sei quantos reais um pacote quântico”, eu já parei, é porque não sei o quê não sei o quê eu falei pra ela assim, “mas o que ela passou pra você?” “Ela me passou umas luzes passou o negócio que tava piscando” tá vendo, quântica, luz... aí começou a falar e eu falei assim, vou ser muito sincera com você, “eu fiz graduação em física, mestrado, doutorado em física, eu fiz uma infinidade de matérias de quântica, sim muitas [...] eu não consigo pensar em nada do que você me falou que ela fez com você que se aplica em qualquer coisa que eu já tenha visto na minha vida, e é baseado em qual conhecimento que você acha que a sua terapeuta tem para te fazer uma cura quântica porque eu penso assim: Se eu fosse fazer qualquer coisa que tivesse a ver com quântica, eu gostaria de fazer com alguém que trabalhasse com quântica, você não vai no açougue pedir

aula de matemática, você vai no açougue comprar carne com açougueiro, você vai na farmácia comprar remédio, você não vai comprar remédio sei lá, na padaria, então eu acho muito estranho você querer qualquer coisa de quântica, com alguém que não tenha formação.

[gato]