



Episódio 03 - PARTICULARMENTE ONDULADO

“Itálico”: Excerto de fala de pseudociência

[entre colchetes]: efeito sonoro

ABERTURA: PSEUDOCIÊNCIA DAS VIBRAÇÕES *****

[intro - baixo]

Leo - Quando a gente começou a pesquisar conteúdos de pseudociência quântica, a gente encontrou um leque amplo de ideias bem confusas, mas teve dois temas que se destacaram como os mais recorrentes. O campeão de citações, o tema que aparece mais vezes nesse meio, é a ideia de que [efeito eco] “o nosso pensamento constrói a nossa realidade”. E claro, de acordo com os grandes disseminadores dessa ideia, você poderia confiar nisso porque era tudo baseado em ciência. Mais especificamente, era a teoria quântica que estaria por trás desse tipo de ideia, dando o suporte científico.

Gláucia - Tem um filme de 2006 sobre esse tema que fez muito sucesso, ele se chama O Segredo. Talvez você já tenha ouvido falar dele. Esse filme também virou um livro best-seller que foi traduzido para mais de 40 línguas. Escuta aqui um trequinho do filme:

[chiado]

“A física quântica realmente começa a apontar para essa descoberta, diz que não se pode ter um universo sem se estar mentalmente nele. Que a mente está realmente forjando a coisa que está sendo percebida.”

[chiado]

Leo - Dizendo com todas as letras: isso é falso, teoria quântica não fala isso. A gente ainda vai desenvolver melhor esse papo de mente e consciência influenciando a realidade alguns episódios mais para a frente. Na verdade, o que a gente quer focar agora é naquele que ficou em segundo lugar no nosso pódio dos argumentos mais populares da pseudociência quântica. A medalha de prata foi para essa ideia um pouco vaga, um pouco ampla, de que [efeito eco] “tudo tem uma vibração”.

[chiado]

“O resultado foi uma base de doutorado e tese cientificamente validados de que todo e qualquer objeto tem energia. A energia vibratória que é conhecida na escala de consciência.”

[chiado]

Gláucia - Alguma vez você já encontrou uma pessoa, e assim..., de cara, teve uma sensação ruim? Às vezes a gente até diz que a pessoa tem uma energia negativa, uma vibração estranha. Ou então o contrário, tem aquela pessoa que quando chega, o ambiente logo fica mais leve, parece que ela emite uma vibração boa. Eu também já senti isso, e não sei explicar exatamente como isso acontece. Agora, uma coisa é certa. Até onde se sabe, isso não tem absolutamente nada a ver com teoria quântica.

Leo - No episódio passado, a gente mencionou que os objetos podem emitir ondas eletromagnéticas em diferentes frequências. A frequência é justamente o quão rápido essa onda está vibrando. Em particular, o corpo humano também emite ondas eletromagnéticas, em frequência infravermelha. Então, num certo sentido, dá para dizer que a gente emite mesmo uma vibração.

Lu - Tá, mas essa não é a vibração boa ou ruim que a gente sente de algumas pessoas, que a Gláucia tava falando né?

Leo - Não, não é. Nesse contexto mais esotérico, vibração se refere mais a algo tipo o estado de espírito da pessoa. Nesse sentido, o que a gente pensa e o que a gente sente influenciaria essa suposta vibração que a gente emite.

[chiado]

“As emoções duras, como tristeza, como culpa, a humilhação, ela vibra em escalas baixas, enquanto sentimentos de amor, felicidade, iluminação, elas estão vibrando em escalas altas.”

[chiado]

Gláucia - Esse é o ponto de vista pseudocientífico. Segundo ele, essa vibração determinaria, ou ajudaria a determinar, tudo que acontece com a gente: as nossas realizações pessoais, o nosso sucesso profissional e até a nossa saúde. Nesse contexto, daria pra comparar a situação em que a gente tá doente ou tá passando por um momento difícil no trabalho com um rádio mal sintonizado, que fica chiando e fazendo aquele barulho de estática porque não tá na frequência correta.

[rádio mal sintonizado]

Leo - E, bom, não existe nenhuma evidência de que esse tipo de coisa é verdade, mas nosso foco principal aqui não é discutir o posicionamento pessoal de quem acredita nisso. O problema começa quando esses conceitos populares de energia e vibração são confundidos com os conceitos físicos e essas ideias esotéricas passam a ser disseminadas como se fossem científicas. E, mais especificamente, como se fossem justificadas pela teoria quântica.

[chiado]

“Existem algumas técnicas né que são mais, como a gente brinca, que é tecnologia quântica. Eu acho interessante falar sobre aquela que eu mais tenho praticado hoje em dia, que é a terapia frequencial floral quântica né.”

[chiado]

Lu - Isso me lembra o congresso de saúde quântica que apareceu aqui no nosso episódio 1, em que o Marcelo Schappo, que é físico e divulgador científico, contou pra gente que participou de um evento desses, que de ciência não tinha nada... pois é, lá mesmo, naquele contexto que deveria tratar de “saúde”, ele ouviu bastante sobre esse papo de vibrar positivamente. Escuta ele aqui:

Marcelo Schappo: E assim gente, o que permeou as palestras de ciências do início ao fim. E tudo nessa lógica do que eu tô contando para vocês, de que a gente tem que mudar o nosso estado mental, de que a gente tem que ir vibrar positivamente.

Lu - Ou seja, falar em vibrações é uma das grandes muletas para apoiar ideias pseudocientíficas. Então você pode ter a vibração do sucesso, a vibração do fracasso... no caso desse congresso que o Schappo participou, um dos grandes segredos, entre aspas, da saúde quântica, é a chamada “vibração da saúde”.

Marcelo Schappo: Então basicamente congresso foi isso. E muito muito focado na vibração, a vibração da saúde, buscar essa tal vibração da saúde e vender produtos relacionados a essa vibração.

Leo - De maneira indireta, talvez essa ideia agrade também por se tratar de uma individualização do problema, como se você pudesse ignorar todos os outros fatores físicos, biológicos e sociais e melhorar sua saúde apenas mudando a sua vibração individual. É uma simplificação, e a gente em geral gosta de ouvir que nossos problemas têm uma solução simples.

Como pesquisador, eu posso afirmar que a teoria quântica não dá suporte para esse papo de que existe uma vibração da saúde. Mas então de onde vem essa conexão entre vibração, em qualquer sentido que seja, e teoria quântica? [baixo] Como foi que a teoria quântica ficou famosa em certos círculos por ser a teoria das vibrações e das frequências? Eu sou Leonardo Guerini, professor do departamento de matemática da Universidade Federal de Santa Maria e pesquisador de fundamentos da teoria quântica.

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

Gláucia - Eu sou Gláucia Murta, pesquisadora de informação e criptografia quântica na Universidade de Dusseldorf, na Alemanha.

Esse é o podcast O Q Quântico. No primeiro bloco de hoje a gente fala das diferenças entre bolas de bilhar e cordas de violão. No bloco dois, a gente conta para vocês uma breve história da luz. E no terceiro bloco, a gente discute como essas coisas ficam ainda mais interessantes quando a quântica entra na jogada. Vem com a gente que tá começando o Episódio 3: Particularmente ondulado.

[gato]

BLOCO 1: PARTÍCULAS E ONDAS *****

Gláucia - Na abertura, a gente escutou algumas falas pseudocientíficas que tinham palavras como frequência e vibração. Então o primeiro ponto importante que a gente

precisa deixar claro é que, na física, essas coisas, tipo frequência, vibração, são conceitos relacionados a ondas. Mas um outro conceito que aparece lado a lado, ou melhor, em contraposição ao conceito de onda, é o conceito de partícula. E é por aqui que a gente começa a discussão de hoje: por uma das grandes dicotomias da física clássica, que tinha mania de separar tudo em ondas ou em partículas.

[botão de pause]

Lu - [efeito rádio] Só um aviso rapidinho: esse é o nosso terceiro episódio, e a gente vai mencionar ideias que já apareceram nos episódios anteriores. Então se tu não escutou eles ainda, dá um pause aqui, escuta esse episódios e depois volta.

[botão de play]

Pablo Saldanha: Então uma onda é algo que vai se propagar pelo espaço no tempo. Tem vários tipos de onda. Por exemplo, o som é um tipo de onda. Quando eu falo, as cordas vocais vibram e empurram as moléculas de ar, né? Isso dá uma onda de pressão.

Gláucia - Aqui quem fala é o Pablo Saldanha, professor de física da Universidade Federal de Minas Gerais. Essa voz deve ser familiar pra você porque o Pablo já apareceu nos dois primeiros episódios.

Pablo Saldanha: Então, eu falo, por exemplo, a minha corda vocal vai tá vibrando ali centenas de vezes por segundo, é bem rápido, né? E essa perturbação é transmitida para o ar, então cada molécula vai empurrando a molécula vizinha e isso vai se propagando pelo espaço, tá? [...] Quando chega no meu ouvido, essa variação da pressão que vem faz meu tímpano vibrar, enfim, aí meu cérebro tem como interpretar aquilo ali como um som.

Gláucia - E ele ainda acrescenta:

Pablo Saldanha: A onda na água também, se eu jogo uma pedra, essa pedra perturba a superfície da água, eu vejo aquelas ondulações se propagando. Então os fenômenos ondulatórios são assim, são essas coisas que se propagam pelo espaço, pelo tempo.

Lu - Então não tem mistério né, onda é aquilo mesmo que a gente tá acostumado a pensar, né? Ondinha no lago, ondas sonoras...

Gláucia - Ou quando você toca violão: a própria corda forma uma onda quando ela vibra... E esses são os exemplos mais comuns que a gente vê no dia a dia. Essas são as ondas mecânicas, que dependem de um meio para se propagar. Mas nem todas as ondas são assim.

Pablo Saldanha: É isso, por exemplo, a onda na água precisa da água. Se você tirar a água, não tem. A onda sonora precisa do ar, se você não tem ar a onda não se propaga. [...] Mas a onda eletromagnética, ela se propaga mesmo sem meio, tá?

Gláucia - A gente já falou de ondas eletromagnéticas no episódio passado, quando discutiu a barra de ferro que esquentava e começava a emitir luz, lembra? A gente também comentou que a gente encontra vários exemplos de ondas eletromagnéticas no nosso dia a dia.

Pablo Saldanha: A luz é um tipo de onda eletromagnética. Eh, ondas de rádio, televisão, celular, são ondas eletromagnéticas, tá? Só que aí você muda a frequência de oscilação. A luz oscila muito rápido, são muitas oscilações, dá nem pra contar, né? Mal tem detectores que detectam isso. [...] Enquanto que uma onda de celular ela vai oscilar muito rápido [...] mas mais devagar, de maneira que o aparelho pode ler a informação contida ali naquela onda.

Leo - Então existem dois tipos principais de ondas: as ondas mecânicas, que são a onda no lago, a onda sonora e a onda da corda do violão, e as ondas eletromagnéticas, que são a luz, a onda de rádio, o raio x. As ondas mecânicas precisam de um meio físico para se propagar. As ondas eletromagnéticas, não.

Lu - Nesse último trecho, o Pablo também falou em frequência né, frequência de oscilação, que é a mesma palavra que a gente escuta nas frases de pseudociência. Vocês podem explicar o que é isso?

Gláucia - Bom, a frequência é uma das propriedades que define uma onda. Imagina que você atirou uma pedra num lago paradinho. Isso causa uma ondulação no lago. Se a gente olhar um ponto específico, a água fica lá, oscilando para cima e para baixo. Consegue visualizar?

Lu - Aham.

Gláucia - Então a frequência da onda nada mais é do que o número de oscilações por segundo: quanto maior a frequência, mais frenética é a onda, mais rápida ela oscila e se propaga; já se a frequência é menor, a onda é mais calma, oscila menos e propaga mais devagar.

Leo - Mas nem tudo são ondas. A gente já comentou que tem uma outra classe de objetos físicos, que são as partículas.

Pablo Saldanha: Então por exemplo eu pego uma bolinha de gude né? Ela é um corpo material, é extenso. [...] Eu falo, não, isso é uma partícula.

Leo - Ou seja, uma bolinha de gude não se comporta como uma onda, ela não se propaga pelo espaço. Ela é um objeto concreto, que ocupa uma posição bem definida, e por isso a gente diz que ela se comporta como uma partícula. Aliás, a posição e a trajetória de um objeto são dois quesitos centrais para a gente classificar esse objeto como onda ou partícula.

Pablo Saldanha: Então, uma partícula, eu sempre posso em princípio definir uma trajetória pra ela. [...] Eu posso até desenhar qual foi a trajetória que ela teve e registrar isso, enquanto uma onda ela vai se dispersando, não tem uma trajetória única, né? Cada pedaço da onda pode ir numa trajetória diferente quando essa outra está se propagando.

Gláucia - Ou seja, a trajetória de uma partícula é clara, mas não faz muito sentido falar na trajetória de uma onda. O Rafael Chaves, professor de física da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, que também já apareceu aqui no podcast, concorda:

Rafael Chaves: E a onda, ao contrário da partícula, ela é delocalizada no espaço, né? Então por exemplo, pense numa onda numa corda. Eu te pergunto, onde é que tá a onda? Bom, ela tá em toda a corda, ela tá em todo lugar, né.

Gláucia - Ela tá na corda inteira. Um outro exemplo, a onda sonora que eu to produzindo agora com isso que to falando, ela parte das minhas cordas vocais e rapidinho ocupa a sala toda. Ela não vai pra um ponto específico, vai para todo o lado. Já a bolinha de gude tem sempre uma posição específica, ela não fica espalhada.

Leo - O ponto é que é importante entender se as coisas apresentam um comportamento ondulatório ou comportamento corpuscular (corpúsculo aqui é apenas outra palavra para partícula). E para decidir entre uma coisa e outra, a gente pode procurar por um fenômeno específico: interferência. [contundência]

Rafael Chaves: E na prática, o que de fato diferencia, né, ou a característica que eu diria que é fundamental, é o que a gente chama de interferência. Ondas elas interferem entre si. Então se eu joga uma onda uma contra a outra [...] em alguns pontos a amplitude dessas ondas vai diminuir. É o que eu chamo de interferência destrutiva. E em alguns pontos essas ondas, elas vão aumentar.

Leo - Então é como se a gente pudesse somar e subtrair ondas. Nesse sentido, a interferência construtiva ocorre na parte em que uma onda reforça a outra, e a intensidade delas aumenta. É o que acontece quando a gente para à mesma distância de duas caixas de som tocando a mesma música, uma reforça a outra e a nossa sensação é que o som fica mais alto. Enquanto que a interferência destrutiva ocorre quando uma onda anula a outra.

Lu - Uma onda simplesmente anula a outra? Como assim, elas desaparecem?

Leo - É. Um exemplo de interferência destrutiva e ondas se anulando ocorre nos fones de ouvido com cancelamento de ruído. O cancelamento de ruído é exatamente isso, o fone gera ondas sonoras que anulam os ruídos externos ao fone.

Lu - E interferência só acontece com ondas né? Não vai acontecer com partículas.

Gláucia - É, só com ondas. Assim como não faz muito sentido falar em trajetórias de ondas, a princípio não faz sentido falar em interferência de partículas. Olha o que o Rafael fala pra gente:

Rafael Chaves: Fenômenos corpusculares, eles não levam a esse fenômeno de interferência. Por exemplo, quando eu joga uma bola de sinuca, uma na outra, duas bolas de sinuca, eu não crio uma bola de sinuca maior. Ou as bolas de sinuca não somem, elas continuam mantendo as suas características individuais e a sua localização específica no espaço.

Gláucia - Ou seja, quando duas bolas de sinuca colidem, elas não se reforçam nem se anulam, como as ondas fariam. Elas agem como partículas. Não existe interferência nesse caso. É por isso que é útil estudar se um fenômeno apresenta ou não algum tipo de interferência. Se apresentar, a gente já sabe: é porque esse fenômeno é ondulatório.

Rafael Chaves: Então o que caracteriza de forma bastante precisa se um fenômeno é ondulatório ou corpuscular é a possibilidade daquele fenômeno, daquele sistema físico, dar origem a um padrão de interferência ou não, ou seja, que seriam essas regiões onde as ondas se somam ou se subtraem.

Leo - O motivo pelo qual a gente tá falando tanto de comportamento ondulatório ou corpuscular é porque esses são dois conceitos distintos mas muito bem estudados na física clássica.

Lu - Vocês podem me ajudar a lembrar rapidinho o que é mesmo a física clássica?

Leo - A física clássica é aquela parte da física que foi estabelecida antes do surgimento da quântica e da relatividade, basicamente antes do século vinte. Então o que o pessoal dessa época acreditava firmemente é que essa divisão entre ondas e partículas organizava o mundo de maneira categórica, ou seja, sem nenhuma zona cinzenta. Era uma coisa ou outra.

Gláucia - E se a gente pensar nos exemplos do nosso dia a dia, a gente vê que tinha bons motivos para essa divisão existir. É difícil confundir uma bolinha de gude com uma onda, assim como é difícil confundir uma onda num lago com uma partícula. São coisas obviamente diferentes. Só que tem outras entidades físicas que não são tão fáceis assim de decifrar... principalmente se a gente vai estudando objetos em escalas cada vez menores. E aqui entra a personagem principal dessa polêmica toda: a luz [efeito sonoro de brilho].

[congas]

Leo - A gente já apresentou a luz como onda eletromagnética, mas no episódio passado a gente também já mencionou o fóton, que é a partícula fundamental da luz. Então a gente quer encerrar esse bloco com a seguinte pergunta: afinal de contas, a luz é uma onda ou uma partícula?

[gato]

BLOCO 2: BREVE HISTÓRIA DA LUZ *****

Leo - A natureza da luz é um tópico de discussão antigo e que já deu muito pano pra manga. A gente já deu alguns spoilers sobre esse assunto no episódio passado, quando a gente falou das contribuições do Einstein logo no surgimento da física quântica, mas agora vamos falar um pouco de como as pessoas pensavam na luz antes disso. Se prepara que a gente vai trazer agora uma breve história da luz.

[trilha clássica]

Gláucia - O primeiro grande personagem dessa história é Isaac Newton, o matemático e físico inglês que nasceu em 1643. Se Einstein é hoje o físico mais popular de todos, Newton provavelmente é o segundo grande nome que vem à cabeça quando se pensa em física. Isso falando só em fama mesmo né, a gente não tá querendo comparar as contribuições de cada um aqui.

Leo - É. Mas a gente precisa começar falando de Newton, porque antes dele, não havia um consenso sobre qual era a natureza da luz. Tinha várias escolas de pensamento distintas entre si, e cada uma dizia uma coisa. Então, tinha um grupo que defendia que a luz era formada por partículas que emanavam dos corpos. Outro dizia que a luz era uma espécie de modificação do meio que se encontra entre o objeto e o olho; tinha ainda uma terceira escola que pensava a luz como sendo algo que era emitido pelos nossos olhos e atingia os objetos que a gente vê.

Lu - E qual delas tava certa?

Leo - Essa era a pergunta. E aqui a gente precisa voltar pro nosso episódio 1: em ciência, não basta propor uma ideia, você precisa embasar ela com evidências. O ponto é que nenhum desses grupos oferecia evidências para a ideia de luz que eles tinham. Na verdade, era até pior, eles não tinham nem argumentos teóricos muito convincentes para isso.

Lu - Então o que tu tá dizendo é que naquele momento, essas ideias eram só diferentes maneiras de pensar, né? Quando uma pessoa estudava essas coisas, ela meio que podia escolher no que acreditava, era praticamente uma questão de gosto, de interpretação...?

Leo - Isso, e como nenhum desses grupos tinha evidências para falsear ou corroborar essas descrições, todas elas eram igualmente boas, ou igualmente ruins. E nenhuma muito confiável.

Gláucia - Então o Newton foi a primeira pessoa que criou uma teoria da luz que teve uma adesão ampla da comunidade científica da sua época. O período que a gente tá falando agora é em torno do ano de 1700. Nessa época, uma ideia que estava muito disseminada entre os físicos e cientistas em geral era que o universo era formado por partículas minúsculas e que todos os fenômenos naturais poderiam ser explicados através dessas partículas. Baseado nisso, o Newton escreveu o seu livro intitulado “Ótica”, e nele ele apresentava os argumentos para defender que a luz era formada por... [rufar dos tambores] partículas de matéria.

Leo - Mas, de novo, o que faltava era evidências mostrando isso. Com isso em mente, uma das coisas que os apoiadores de Newton tentavam fazer era mostrar que quando as partículas de luz colidiam com um objeto, exerciam uma pequena pressão sobre ele. Só que eles não conseguiam provas disso de jeito nenhum... então apesar dessa teoria fazer sentido e contar com o apoio da maior autoridade científica da época, o próprio Newton, isso ainda não era algo comprovado. E sem comprovação, você deixa a porta aberta para outras teorias serem exploradas.

Gláucia - Essa ideia de que a luz era feita de partículas era chamada de [efeito eco] teoria corpuscular da luz. Como nessa época as coisas se dividiam entre partícula ou onda, quem não comprava esse papo de partícula era o pessoal que apostava que...a luz era uma onda. O principal defensor dessa ideia era o físico e matemático holandês Christiaan Huygens. Tinham outras pessoas que concordavam com ele, mas era uma minoria. O importante era que a discussão ficava só no bate boca mesmo, porque, como diz o Rafael Chaves, também não havia grandes evidências para apoiar uma teoria ondulatória da luz.

Rafael Chaves: Os experimentos que existiam não eram capazes de detectar quaisquer diferenças entre essas duas teorias, a corpuscular e a ondulatória.

[trilha clássica]

Leo - A situação muda apenas muito tempo depois, no ano de 1801, quando o cientista inglês Thomas Young realiza um experimento decisivo que aparentemente resolvia a questão.

Marcelo Terra Cunha: E isso tá relacionado, por exemplo, com fenda dupla né?

Leo - O Marcelo Terra Cunha, professor de matemática da Unicamp e pesquisador de fundamentos de teoria quântica que você ouviu agora, já deu a letra: o experimento que o Young fez é chamado de [efeito eco] experimento da fenda dupla, e é um dos experimentos mais famosos não só entre quem estuda os fenômenos da luz, mas da física em geral.

Marcelo Terra Cunha: Fenda dupla é uma história fantástica, né? Fenda dupla começa com Thomas Young, que estava tentando entender a luz, tentando entender como se dá a propagação da luz, e percebeu que tinha esse fenômeno interessante de interferência, né?

Gláucia - E olha a interferência aparecendo aí! Mais cedo a gente contou que ondas interferem entre si, se reforçando ou se anulando, e que isso é uma característica crucial pra diferenciar ondas de partículas. Pois foi exatamente essa propriedade da luz, a interferência, que fez o nome do Thomas Young ficar famoso.

Lu - Interferência era aquilo de somar e subtrair ondas, certo? Então o que vocês tão falando é que dá para somar e subtrair... luz?

Leo - É, de certa forma é isso que o experimento da fenda dupla mostra.

[pause]

Lu - [rádio] Só um aviso: desse ponto em diante, a gente vai contar em detalhes como é o experimento da fenda dupla. Mas isso é uma tarefa um pouco difícil, porque ele tem um componente bastante visual. Então já fica a dica de que talvez seja um pouco difícil de montar as imagens na nossa cabeça, mas vocês sempre podem procurar as figuras do experimento no nosso site ou na internet mesmo.

[play]

Leo - Para dar uma ideia de como é o experimento, imagina que você faz um rasgo, ou uma fenda, num pedaço de papel alumínio e joga um feixe de luz através dessa fenda. Na verdade, não pode ser uma luz qualquer, a gente precisa que seja um laser, que é aquela forma de luz bem organizada que a Ingrid Barcelos explicou para a gente no episódio passado. Quando a gente faz o laser passar pela fenda e chegar na parede que está lá atrás dela, o que você imagina que a gente enxerga nessa parede, Lu?

Lu - Não sei bem, acho que formaria uma figura de luz na parede.

Leo - E que formato teria essa figura de luz?

Lu - O mesmo formato da fenda que você fez no papel. Ou não?

Leo - Perfeito, é isso mesmo: a gente abriu uma fenda no papel, como se fosse uma rachadura, e a parte do feixe de laser que passa pelo papel assume o mesmo formato dessa rachadura. Só que por enquanto a gente só abriu uma fenda, e o nome do experimento é “fenda dupla”, né. Então o que a gente faz a seguir é abrir uma segunda fenda no papel alumínio, ou uma segunda rachadura, bem pertinho da primeira, e jogar um feixe de laser nelas, um feixe largo o suficiente para passar pelas duas fendas ao mesmo tempo. E agora, o que você acha que acontece?

Lu - Não sei, a mesma coisa? Só que vai ter duas figuras de luz lá na parede agora.

Leo - Pois é, aí é que a coisa fica interessante! Porque não é bem isso que aparece na parede.

[baixo]

Gláucia - E aqui a gente chegou num ponto chave, que pode até ser um pouco difícil de imaginar: quando a gente olha a luz que passou pelas duas fendas e chegou na parede que estava atrás do papel, em vez de ver duas figuras de luz no formato exato de cada fenda, o que a gente encontra são... várias faixas de luz, como se houvesse várias fendas. [contundência]

Lu - Como assim? Sai mais luz de um lado do que entra do outro?

Gláucia - Na verdade não. Mas talvez a gente fica com essa sensação porque quando a luz incide sobre as duas fendas, é como se cada uma delas gerasse um feixe independente de luz, como se tivesse uma lanterna em cada fenda. Aí o que acontece é que a luz que vem de uma fenda interfere com a luz que vem da outra. Essa interferência é tanto construtiva quanto destrutiva, então a gente vê acontecendo aquela história de somar e subtrair ondas.

Lu - Mas essas interferências acontecem ao mesmo tempo?

Gláucia - Tudo ao mesmo tempo, em alguns lugares a luz de uma fenda anula a luz da outra, e em outros lugares elas se reforçam. O resultado da interferência construtiva é que a luz se espalha e ilumina locais da parede que não estavam diretamente atrás das fendas. Por isso que apesar de ter apenas duas fendas no

papel, a gente enxerga mais do que duas faixas de luz na parede, a gente enxerga várias... algumas com uma intensidade menor e outras com intensidade maior de luz.

Leo - A gente chama essas faixas de [efeito eco] padrão de interferência, e você pode ver figuras disso no nosso site. Agora, se por um lado a interferência construtiva faz a luz se espalhar e gera esse padrão de interferência, o resultado da interferência destrutiva também é inesperado.

Lu - Interferência destrutiva é quando elas se subtraem, né? Então tu quer dizer que uma luz cancela a outra?

Leo - Parece estranho, né? Mas é isso. Por causa da interferência destrutiva que ocorre, ambos os feixes se cancelam em alguns pontos.

Marcelo Terra Cunha: Se você fechasse uma das fendas, aquela região era clara, se as duas estivessem abertas, aquela região era escura. E isso é surpreendente.

Leo - Isso é surpreendente porque com duas fendas, a gente permite que mais luz passe, então a gente espera uma figura mais iluminada, certo? Mesmo assim, em algumas regiões que deveriam estar completamente iluminadas, a gente encontra partes escuras por causa desse cancelamento.

Gláucia - De qualquer jeito, esses comportamentos estranhos que a gente vê no experimento permitem uma conclusão muito clara: [efeito eco] a luz apresenta interferência. E se uma coisa apresenta interferência, é porque essa coisa tem comportamento de onda.

[trilha clássica]

Marcelo Terra Cunha: A interferência foi descoberta ou foi confirmada neste experimento, que essencialmente acabou com um debate grande que era sobre a natureza da luz, né? [...] De certa forma, o experimento da fenda dupla decide a favor do Huygens contra o Newton, decide a favor de ondas em relação a partículas.

Gláucia - Então agora a gente finalmente tem evidência que a luz é uma... [rufar de tambores] onda.

Lu - Isso quer dizer que aquele grande debate que vocês tavam falando antes finalmente foi resolvido, certo?

Gláucia - Ahn... na verdade, não.

Lu - Putz... :(

Gláucia - E o problema não tá na resposta que o Thomas Young encontrou, o experimento da fenda dupla faz tudo certo. O que é problemático é colocar a questão da seguinte forma: “ou a luz é corpuscular, ou é ondulatória”, como se uma coisa excluísse a outra. Um bom tempo depois da primeira realização do experimento da fenda dupla, dois elementos surgiram que mudaram radicalmente a física. O primeiro, foi a teoria quântica. E o segundo, foi alguém chamado Albert Einstein.

Leo - Apesar do Einstein ser famoso pela sua teoria da relatividade, foi graças a uma contribuição para a teoria quântica que ele ganhou o seu prêmio Nobel. Como a gente contou no episódio passado, quando Einstein propôs sua teoria de que a luz era quantizada, basicamente ele tava afirmando que a luz é feita de... [rufar de tambores] partículas! Aqui, o Rafael Chaves novamente.

Rafael Chaves: Mas aí você pode se perguntar tá, o Einstein idiota ele não era, né? Então como é que ele foi contra o experimento que provava de maneira conclusiva que a luz é uma onda? E aí é aquela história, se permitir pensar fora da caixa. Ele falou, olha, a luz é uma onda, mas talvez ela também se comporte como uma partícula.

Gláucia - Como a gente viu no episódio 2, foi essencial entender que a luz é formada por bloquinhos fundamentais, que são os fótons. Só assim foi possível explicar o efeito fotoelétrico e uma série de outros fenômenos. E isso foi corroborado por vários outros experimentos, se tornando uma evidência clara de que a luz, sim, é formada por partículas. E logo também apresenta um comportamento corpuscular.

Rafael Chaves: Então o que se percebeu é que essa essa categorização entre onda e partícula é uma categorização artificial. Então, é verdade que alguns sistemas físicos podem se comportar como onda, podem se comportar como partícula, mas na verdade não ser nem uma coisa e nem outra. Isso parece muito estranho, né?

Lu - Sim, e vai além de parecer estranho né... eu tô aqui pensando, como assim isso é possível?

Leo - Pois é. Mas a questão é, por que isso não seria possível? Talvez seja contra-intuitivo, mas essa história da luz mostra que o universo não tá nem aí para o que gente acha estranho ou não. Nota que aquela dicotomia estrita da física clássica de “ou é onda ou é partícula” perdeu o sentido e a teoria quântica mostrou que existem objetos físicos que apresentam características tanto de uma coisa quanto de outra.

Lu - Curiosidade minha: tu falou que objetos físicos apresentam características dessas duas coisas... Por que o plural? Além da luz, tem outras coisas que também apresentam isso?

Leo - Com certeza. Mas antes de falar mais disso, vamos resumir essa parte da história. Tentando organizar cronologicamente a gente tem:

Gláucia - [plim] Até 1700, por aí, existiam várias escolas de pensamento diferentes, descrevendo a luz cada uma do seu jeito.

Leo - [plim] Aí por volta dessa época, 1700, o Newton formaliza a sua posição defendendo que a luz é formada por partículas, levando a maior parte da comunidade científica com ele. Já o Huygens discorda.

Gláucia - [plim] Cem anos mais tarde, em 1801, a gente tem uma reviravolta, com o Thomas Young realizando o experimento da fenda dupla. Por causa da interferência que é verificada, todo mundo fica convencido de que a luz é uma onda.

Leo - [plim] Só que uns cem anos depois disso, em 1905, a gente tem outra reviravolta: Einstein explica o efeito fotoelétrico dizendo que a luz é ondulatória, ok, mas além disso ela também é corpuscular, formada por fótons.

[trilha clássica]

Gláucia - E falar em fótons é falar em quantização, então aqui a gente já entrou na parte quântica da discussão. A nossa breve história da luz termina aqui, mas no bloco 3 a gente vai continuar falando sobre o experimento da fenda dupla... isso, porque quando a gente traz a teoria quântica para a conversa, as coisas ficam ainda mais estranhas.

[gato]

Bloco 3: REGIME QUÂNTICO *****

Leo - Então tá, a gente chegou na conclusão que a luz se comporta como onda mas mesmo assim é formada por partículas. Uma coisa muito legal é que a gente consegue ver essa dualidade no próprio experimento da fenda dupla.

Gláucia - Quando a gente descreveu o experimento, a gente falou de um feixe de luz passando pelas fendas. Para ser mais específico, um feixe de laser. Esse feixe é basicamente uma rajada de milhões e milhões de fótons.

Lu - E daria pra fazer esse experimento enviando só um fóton, ou seja, uma partícula de luz, de cada vez?

Leo - Essa é a próxima grande questão: o que acontece no experimento da fenda dupla no regime quântico, com um fóton de cada vez? Antes de responder, vamos fazer uma brincadeira para tentar entender melhor esse experimento. Eu queria pedir para a Lu imaginar que ela encolheu até ficar bem pequeninha, bem menor que uma formiga. Então, Lu, nesse tamanho você enxerga aquela placa, ou o papel alumínio, como se fosse um grande muro e as fendas como se fossem duas janelas bem estreitas e compridas nesse muro. Lá atrás das fendas você vê a parede, ok?

Lu - Ok.

Leo - Tá, mas imagina que você não encolheu sozinha, você trouxe um monte de amigos que encolheram também e junto com vocês tem um monte de bolinhas de tênis, também encolhidas. Que que a gente vai fazer? A ideia é que você e seus amigos joguem essas bolinhas através das fendas. Antes a gente falou que o feixe de laser era uma rajada de fótons. Agora, a gente tá substituindo o laser por essa rajada de bolinhas que vocês tão jogando através das fendas. Certo?

Lu - Ok, então é como se eu e meus amigos estivéssemos emitindo um laser, que nesse caso a gente tá imaginando que é formado pelas bolinhas de tênis.

Leo - Então você e seus amigos começam a jogar as bolinhas na direção do papel, na direção desse muro gigante com as duas fendas. Um monte de bolinha voando no ar ao mesmo tempo. Uma parte delas bate no muro e volta na direção de vocês,

mas também várias delas passam por uma fenda ou por outra, e atingem a parede lá atrás. Dá para imaginar?

Lu - Por enquanto, dá sim.

Leo - Beleza, então depois de um tempo que vocês tão lá jogando bolinha, a gente pode ver que figura é formada pelas marcas que essas bolinhas deixaram na parede. Bom, seguindo tudo aquilo que a gente sabe sobre bolinhas de tênis, a princípio a gente diria que as bolinhas que passaram pela fenda da esquerda deixaram um conjunto de marcas atrás dessa fenda, e as bolinhas que passaram pela fenda da direita deixaram outro conjunto de marcas atrás dela, e isso é tudo. Maaas... o experimento da fenda dupla mostra que, no fim das contas, os fótons não são como bolinhas de tênis. Como a gente falou no bloco anterior, o padrão que os fótons formam na parede é o tal padrão de interferência, com várias faixas marcadas na parede por conta da interferência construtiva.

Lu - Então a gente tem que desistir das bolinhas de tênis?

Gláucia - Calma, que por enquanto nem tudo está perdido. A gente pode fazer um esforço para tentar manter a explicação em termos de bolinhas. Até agora, o que a gente vê é que depois que as bolinhas passam pelas fendas, ocorre algum tipo de interferência, que quando a gente olha a parede, a gente vê várias faixas com marcas de bolinha e que tem alguns lugares em que as bolinhas não batem nunca. Agora, o que a gente precisa responder é: como que esse monte de bolinhas poderia gerar um padrão de interferência?

Lu - Pois é, como é que pode ter interferência se as fendas são paralelas e as bolinhas viajam reto através delas?

Gláucia - Realmente, se as bolinhas seguissem trajetórias paralelas, elas nunca iriam colidir. Agora, se você e seus amigos não jogassem as bolinhas exatamente retas, mas talvez com algum efeito ou passando pelas fendas meio na diagonal, aí a bolinha que veio de uma fenda poderia acabar batendo na bolinha que veio da outra fenda. Isso faria com que a gente encontrasse marcas de bolinhas em lugares que a princípio a gente não esperava encontrar.

Lu - Mas então é isso? Isso explicaria a marca que a gente vê?

Leo - Essa poderia ser uma boa explicação! As bolinhas colidindo no ar explicam tanto a interferência construtiva, luz se espalhando para lugares que não estão imediatamente atrás das fendas, quanto a destrutiva, porque as bolinhas se chocam e acabam evitando certas regiões da parede que a gente esperaria ver marcada. Por enquanto, isso poderia explicar o padrão de interferência na parede. Só que agora a gente pode fazer aquela pergunta interessante que você falou antes: o que acontece se a gente faz o experimento com um fóton, ou uma bolinha, de cada vez?

Gláucia - Nas condições dessa brincadeira, seria o análogo da gente pensar na Lu agora sozinha, jogando só uma bolinha de tênis de cada vez, e marcando onde ela atinge a parede quando ela passa por alguma das fendas. Então ela vai lá, com toda a paciência, fica um tempão atirando bolinhas. E aí aos poucos, lentamente, essas marcas na parede vão formando um padrão. Que padrão você acha que forma, Lu?

Lu - Agora eu já não faço nem ideia.

Gláucia - A nossa intuição diria que agora que só tem uma bolinha no ar de cada vez, não tem como a trajetória dela ser afetada por outra bolinha, certo? Então a gente não deveria ver interferência. O surpreendente é que quando a gente faz esse experimento com fótons ao invés de bolinhas de tênis, o que a gente encontra marcado na parede é... novamente o padrão de interferência, com suas várias faixas.

Lu - Tá, mas o que alterou a rota da bolinha agora, se ela tava sozinha?

Gláucia - Boa pergunta! Encontrar aqui um padrão de interferência é estranho porque indica que mesmo um único fóton apresenta um comportamento de onda. Não tem outros fótons para influenciar ele, ele tá sozinho! É como se o fóton conseguisse fazer interferência com ele mesmo. [contundência]

Leo - A gente chega então nessa conclusão que parece bem estranha. Por um lado, a gente consegue verificar o local onde os fótons chegam na parede, e cada fóton chega sempre em um único ponto, que nem uma bolinha de tênis. Então nesse sentido ele age como partícula. Só que, depois de um tempo, quando a gente vê a figura que as marcas dos fótons formam na parede, a gente encontra um padrão de interferência, e isso é coisa que só as ondas fazem. Aqui, o Pablo Saldanha novamente:

Pablo Saldanha: A minha interpretação é a seguinte: se eu detecto sempre em um ponto, isso não é uma onda, porque uma onda se espalha. E, por outro lado, se eu vejo interferência, isso não é uma partícula, porque uma partícula não sofre interferência. [...] Isso pra mim é um paradoxo que é o que a gente chama de dualidade onda-partícula.

Leo - Toda essa discussão sobre o experimento de fenda dupla foi pra gente chegar nesse conceito fundamental da teoria quântica a [efeito eco] dualidade onda-partícula.

Gláucia - Com essa história da fenda dupla, a gente viu que é bem problemático querer falar de quântica usando analogias com objetos do dia a dia, como bolinhas de tênis; os objetos quânticos, como os fótons, agem de maneira mais estranha.

Lu - Mas... se é tão problemático assim comparar fóton com bolinha de tênis, por que a gente passou tanto tempo aqui no episódio fazendo essa analogia?

Gláucia - Pergunta justa...Pra mim, esse caminho que a gente percorreu é essencial pra gente realmente entender onde é que aparecem as estranhezas da teoria quântica. A gente falou que pra explicar os experimentos lá do final do século 19, surgiu essa ideia de que a luz é formada por partículas. Agora, como são essas partículas? A nossa conversa mostrou que elas não são como bolinhas de tênis. São como o que, então? A gente não tem ferramentas do nosso dia a dia para fazer analogias diretas com fenômenos quânticos. É um mundo à parte, por isso que é tão difícil de entender o que tá acontecendo.

Lu - Tá, então é por isso que vocês falam tanto que a teoria quântica é contraintuitiva?

Leo - Por isso, entre outros motivos. A Bárbara Amaral, que é professora e pesquisadora no departamento de física na USP, conversou com a gente sobre isso.

Bárbara Amaral: E essa é a maior dificuldade pra gente na física quântica, você vai explicar física clássica, você pode sempre falar assim, “ah imagina uma bola de tênis, imagina um cilindro descendo o plano inclinado”, aí você consegue fechar os olhos e fazer aquele experimento na sua cabeça, imaginar uma bolinha de tênis. Isso não é possível para a gente na quântica.

Gláucia - Talvez não pareça grande coisa, mas o que significa quando você tá estudando alguma coisa e de repente fala “entendi”? Em física, muitas vezes significa que você conseguiu criar uma imagem mental daquele conteúdo. E na quântica isso é uma dificuldade, como a gente viu bem com a tentativa fracassada de usar bolinhas de tênis, porque a gente encontra fenômenos que não aparecem em nenhum outro lugar.

Bárbara Amaral: Então quando você fala de as leis de Newton você consegue o bolar um experimento simplesinho ali, com objetos triviais, do nosso dia a dia ou então fazer um experimento pensado, se fala para a pessoa “imagina que você tem um trem, imagina que você tem uma bola de tênis, imagina que você tá escorregando uma rampa no skate” é muito fácil da gente criar essas imagens mentais. [...] Na física quântica a gente não consegue fazer nem uma coisa nem outra normalmente.

Gláucia - A Bárbara, além de nossa entrevistada, ela é nossa irmã acadêmica, minha e do Leo. Quem escuta os nossos bit quânticos, que são os mini-episódios que complementam os nossos episódios regulares, já sabe que o Marcelo Terra Cunha, que já apareceu aqui mais cedo, foi o orientador de doutorado tanto meu quanto do Leo. E a Bárbara também fez o doutorado dela com o Terra. Tem essa brincadeira de chamar os orientandos do Terra de “terráqueos”, então a gente pode dizer que eu, o Leo e a Bárbara somos três terráqueos.

Leo - Bom, mas falando no Terra, ele conta para a gente como essa dualidade onda-partícula não é algo exclusivo da luz.

Marcelo Terra Cunha: Mas entre as coisas muito bonitas que aconteceram ao longo do século vinte foi poder fazer experimento de fenda dupla também com coisas que a gente pensaria como partículas se não tivesse aprendido teoria quântica. Hoje em dia a gente sabe teoria quântica, a gente sabe que o elétron não é muito diferente do fóton.

Lu - Então o elétron também tem esse comportamento esquisito?

Gláucia - Sim! Se a gente faz o experimento da fenda dupla enviando elétrons em vez de fótons, a gente vê que os elétrons também apresentam padrão de interferência. Ou seja, os elétrons, que a gente costuma imaginar como partículas, também apresentam comportamento de onda [contundência]. E não para por aí.

Marcelo Terra Cunha: Elétrons foram o primeiro passo, mas depois fizeram com nêutrons, fizeram com átomos, fizeram moléculas muito grandes já né? Você já tem experimento de fenda dupla feita com moléculas que passam das centenas de átomos.

Leo - Ou seja, a gente vai aumentando de tamanho, de fóton, elétrons, átomos, moléculas... e essas coisas todas, que a gente tinha cada vez mais certeza que eram 100% partículas, localizadas num ponto só e bem diferentes de ondas, apresentam esse comportamento ondulatório que é o padrão de interferência. É a esse tipo de coisa que a gente se refere quando diz que a teoria quântica é contraintuitiva. O Pablo aqui concorda comigo.

Pablo Saldanha: Então se você faz um experimento desse de fenda dupla ou de orifício duplo né? Com com átomo você esperaria não ver interferência né? [...] Só que os experimentos mostram que tem interferência. [...] E o formalismo descreve a propagação dos átomos como uma onda. Então isso é muito esquisito.

[congas]

Leo - Isso tudo é muito esquisito. Mas é exatamente por esse tipo de coisa que a teoria quântica é tão interessante.

[gato]

ENCERRAMENTO *****

Lu - Ufa, depois dessa dose concentrada de experimentos, fótons, elétrons, ondas e partículas, eu me perdi um pouco. Por que a gente tá falando disso mesmo?

Gláucia - O início dessa conversa toda foi vibrações né. Só que falar em vibrações, no contexto de ciência, é falar sobre ondas. Então a gente falou um pouco do que caracteriza uma onda e do que caracteriza uma partícula, E a mensagem final disso tudo é que os sistemas quânticos têm esse comportamento dual, que ora apresenta características de onda e ora características de partículas. E uma consequência disso é que fótons, elétrons, e até mesmo átomos e moléculas, em certas situações específicas, também apresentam características de ondas, como a interferência.

Lu - É, dá pra imaginar que isso é um prato cheio pra pseudociência explorar.

Leo - Exato. Quando a gente escuta que átomos e moléculas podem se comportar como ondas... é estranho, porque todas as coisas, entre aspas, sólidas, são formadas por átomos e moléculas. Mas a gente precisa lembrar que isso acontece num contexto específico, em termos de fenda dupla, de interferência.

Gláucia - No caso de átomos e moléculas, a gente precisa de experimentos extremamente sofisticados pra demonstrar esse comportamento de onda. E mais: como a gente vai contar nos próximos episódios, tudo indica que fora dessas situações controladas, esses fenômenos não ocorrem.

Leo - Agora, é muito fácil você pegar essa afirmação bombástica e levar para o contexto pseudocientífico, como faz essa fala aqui que a gente encontrou num canal de pseudociência no youtube:

[chiado]

“Uma coisa que é interessante que a ciência já provou que é a dualidade partícula onda.”

[chiado]

Leo - Até aqui ok, mas...

[chiado]

“Então imagine assim, você me dá um sorriso, ou você está sendo simpático comigo. Você vai emitir uma vibração, a minha pineal ela vai pegar essa estrutura e vai verter em partícula. Ela vai fazer com que o organismo receba alguma coisa através desta vibração que você me deu.”

[chiado]

Gláucia - Depois desse episódio todo, a gente agora entende que essa pessoa tá fazendo referência à dualidade onda-partícula, mas de forma deturpada. Primeiro porque parte do princípio que dar um sorriso para alguém significa de alguma forma emitir uma onda para essa pessoa. Mas que onda? Onda de quê? Talvez algum dia a ciência tenha algo a dizer sobre isso, mas por enquanto não tem nenhuma relação científica entre sorrir e enviar uma onda.

Leo - Além disso, como a gente viu, dizer que um objeto tem características de ondas e de partículas é bem diferente de dizer que uma onda qualquer pode se transformar em uma partícula e vice-versa. Na fala que a gente ouviu, parece que é

uma coisa assim, puf, virou partícula, puf, virou onda. Não. O comportamento dos fótons e elétrons pode ser bem estranho, mas não tem nada a ver com isso.

Lu - O mesmo vale para as outras falas que envolvem vibrações então né?

Leo - Exato, não é porque em certas ocasiões específicas a quântica descreve os átomos como ondas, que faz sentido falar em terapia frequencial quântica.

Gláucia - Falando nisso, foi legal a gente apresentar o experimento da fenda dupla com alguns detalhes, por causa de falas como essa:

[chiado]

“Mas se somos realmente energia, será possível o nosso pensamento criar a nossa realidade? Um experimento que abalou o mundo científico deixou esse questionamento.”

[chiado]

Gláucia - O narrador segue contando que esse experimento que abalou o mundo, é justamente o experimento da fenda dupla, como talvez você tenha adivinhado. E pelo que a gente contou ao longo desse episódio, ele não tem nada a ver com pensamento criar a realidade, certo?

Leo - Embora a gente possa facilmente excluir essas extrapolações absurdas, o experimento de fenda dupla ainda deixa em aberto uma pergunta muito simples: qual foi a trajetória que o fóton (ou o elétron, ou o átomo) seguiu até chegar à parede? Porque uma onda, como uma onda de som, por exemplo, passaria pelas duas fendas ao mesmo tempo... então isso quer dizer que o elétron passa pelas duas fendas ao mesmo tempo?

Pablo Saldanha: Então, tem uma pergunta muito natural que é, que que acontece nesse experimento? O elétron passa pelos dois orifícios ou ele passa por um orifício só?

Gláucia - Parece uma pergunta simples, mas quando a gente tenta verificar isso no experimento... as coisas ficam cada vez mais bizarras. Tanto que o Pablo confessa:

Pablo Saldanha: Eu não sei responder essa pergunta, acho que ninguém sabe.

Gláucia - A gente deixou essa pergunta para o final não porque ela não é importante. Pelo contrário, ela é essencial para a gente continuar discutindo quântica. Mas como algo tão simples assim pode ser tão difícil de responder?

Pablo Saldanha: E isso gera um incômodo, eu pelo menos fico incomodado. Você não fica não, Leo?

[congas]

Leo - Fico. Principalmente porque isso nos obriga a fazer uma pergunta mais complicada ainda: afinal de contas, essas esquisitices da teoria quântica são mesmo reais ou apenas uma história que os cientistas inventaram porque explica os experimentos? No nosso próximo episódio a gente discute questões filosóficas, átomos em dois lugares ao mesmo tempo e um dos conceitos mais fundamentais da teoria quântica: a gente vai falar de superposição.

[gato]

CRÉDITOS *****

[trilha identidade - bateria, depois baixo e piano]

Leo - Nesse episódio você ouviu trechos das entrevistas com o Marcelo Schappo, o Pablo Saldanha, o Rafael Chaves, o Marcelo Terra Cunha e a Bárbara Amaral. Nosso muito obrigado aos nossos entrevistados.
Nesse episódio nos utilizamos trechos dos canais de youtube Elaine Ourives, TV Unesp e Fatos desconhecidos.

Gláucia - A transcrição do episódio e a tradução para o inglês estão disponíveis no nosso site www.ufsm.br/oqquantico, assim também como figuras, recomendações e mais informações sobre o experimento de fenda dupla.
Se você gostou do episódio, você pode ajudar a gente recomendando o podcast para aquele amigo ou amiga que se interessa pelo tema. Siga também O Q Quântico no instagram @oqquantico e não deixe de avaliar o podcast na sua plataforma de podcast favorita.

Lu - O Q Quântico é apresentado por mim, Luciane Treulieb, pela Gláucia 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

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!

[transição - gato]