



Episódio 04 - ISSO É REAL OU SE PASSA APENAS NA MINHA CABEÇA?

“Itálico”: Excerto de fala de pseudociênci

[entre colchetes]: efeito sonoro

ABERTURA: DESCOBERTA OU INVENÇÃO? *****

[intro - baixo]

Gláucia - Lu, você lembra da história do Arquimedes?

Lu - Arquimedes é um da Grécia Antiga, né? Não é aquele que sai pelado correndo gritando eureka, eureka?

Gláucia - Então, tem essa história que um rei entregou uma certa quantidade de ouro, vamos dizer, dois quilos de ouro, para um ourives fazer uma coroa para ele. Aí depois de um tempo o ourives entregou uma coroa dourada bonita que pesava dois quilos. Mas o rei ficou desconfiado que o ourives talvez tivesse misturado o ouro com outro metal menos valioso. Só que era só uma desconfiança e a coroa era bonita, e ele não queria desfazer a coroa pra verificar isso... Então ele decidiu pedir ajuda para o Arquimedes. [pausa - congas] O Arquimedes ficou pensando, pensando e pensando como que ele poderia verificar se a coroa tinha só ouro mesmo. Eventualmente ele foi tomar banho, e quando ele entrou na banheira, que

tava cheia d'água, viu que uma certa quantidade de água foi jogada pra fora. Aí ele conectou os pontos e se deu conta que o volume de água que saiu da banheira é igual ao volume do corpo dele. Com isso, ele viu que podia fazer o seguinte: ele podia mergulhar a coroa num balde de água e ver se a água que é jogada para fora tinha o mesmo volume que dois quilos de ouro. Aí quando ele teve esse insight, diz a lenda que ele saiu correndo da banheira gritando eureka.

Lu - Ahh então por isso que ele tava pelado.

Gláucia - Pois é. Literalmente, “eureka” significa “descobri”. Com essa história, “eureka” se transformou num sinônimo de momento de descoberta, quando finalmente você descobre a solução de um problema em que tava trabalhando. Mas, Lu você concorda com isso?

Lu - Com isso... o quê?

Gláucia - Que a gente descobre a solução dos problemas? Que o que o Arquimedes fez foi uma descoberta? Bom, falando mais especificamente, você acha que o conhecimento científico é descoberto pelos pesquisadores?

Lu - Ué, acho que sim? Fazer ciência não é fazer descobertas?

Gláucia - Depende de como você vê a ciência. Nota que esse posicionamento é baseado em uma ideia anterior, a ideia de que existe uma verdade a ser descoberta. Mas em geral esse é o ponto de vista que a gente assume mesmo, na maioria das vezes que a gente fala de ciências naturais. Por exemplo, quando a gente fala em leis da natureza, a gente assume que essas leis existem, a gente só precisa identificar elas. Uma pessoa que pensava mais ou menos assim era o Platão. Por isso que ele escreveu aquela história do mito da caverna, lembra? Que a gente aprende na escola?

Lu - Acho que lembro sim, que tinham essas pessoas que passaram a vida toda numa caverna e só viam as sombras na parede da caverna, sem se dar conta que existia um mundo lá fora.

Gláucia - Isso, essa história mesmo. O Platão dizia que o papel da filosofia, ou da educação como um todo, era revelar esse nível mais complexo de realidade. Mas ele pensava nessa linha, que existe uma verdade absoluta, lá fora da caverna.

Então, pra ele, estudar e investigar o mundo se trata sim de fazer descobertas, de se aproximar dessas verdades.

Lu - Tá, mas a ciência vai evoluindo, né? Ontem a gente achava que algumas coisas eram verdade e hoje a gente sabe que não são.

Gláucia - Tudo bem, mas a gente pode pensar que esses tropeços da ciência são só aproximações dessa verdade final. O importante é que essa verdade existe. Desse ponto de vista, se a gente precisa de aproximações, é porque as ferramentas que a gente tem naquele momento é que são falhas. Por exemplo, vou tentar definir o Leo: ele tem cabelo castanho, usa barba, usa óculos e gosta de açaí. Agora, isso não define o Leo exatamente, tem muito mais por trás disso. Mas o fato de eu ter uma descrição incompleta não quer dizer que o Leo não exista exatamente como ele é.

[pause]

Leo - [rádio] Pessoal, só pra confirmar: eu existo.

[play]

Lu - Tá, então essas atualizações da ciência não querem dizer que não exista uma verdade científica pronta, esperando pra ser descoberta. Mas se tu tá falando assim é porque nem todo mundo concorda com Platão.

Gláucia - Nem todo mundo concorda. Tem essa visão que existe uma verdade e que a ciência descobre ela pedacinho por pedacinho... e tem uma outra visão mais ou menos oposta, que quase diz que a ciência é inventada.

Lu - Inventada? Isso me lembra que uma vez eu vi um meme que mostrava um monte de gente voando e dizia “assim era o mundo antes de Isaac Newton inventar a gravidade”.

Gláucia - Bom, não é no sentido de inventar como a natureza funciona, é mais no sentido de inventar uma representação, uma descrição, adequada para ela. A gente ainda vai falar mais disso ao longo do episódio, mas o ponto é que a visão de ciência que a maioria das pessoas têm é a mesma de Platão: que, na ciência, existe uma verdade que a gente vai desvendando através de, entre aspas, descobertas científicas. Aliás, a grande maioria dos físicos, implicitamente, também pensa assim em relação aos seus objetos de estudo, e com bons motivos: quando uma astrônoma identifica um novo planeta numa galáxia distante, ela diz que descobriu

um novo planeta. Quando um físico de partículas fala em prótons, quarks e pósitrons, ele não tem dúvidas que essas coisas existem mesmo.

[baixo]

Leo - Agora, tem uma exceção a essa regra. A exceção são aqueles que trabalham com física quântica. Ao contrário das outras áreas da física, a maioria desses pesquisadores acredita que a teoria quântica não foi descoberta, foi inventada. E a pergunta é: por quê? É isso que a gente vai tentar responder no episódio de hoje. O meu nome é Leonardo Guerini, matemático e professor na Universidade Federal de Santa Maria.

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

Gláucia - E eu sou Gláucia Murta, física e pesquisadora da Universidade de Dusseldorf, na Alemanha.

Leo - Esse é o podcast O Q Quântico. No primeiro bloco de hoje a gente volta no experimento da fenda dupla e tenta responder a pergunta: por qual fenda o fóton passou? No segundo bloco, a gente parte para a filosofia e discute o que a ciência ser descoberta ou inventada tem a ver com teoria quântica. E o assunto do bloco três são as dificuldades linguísticas que surgem quando a gente fala sobre quântica. Vem com a gente, que tá começando o Episódio 4: Isso é real ou se passa apenas na minha cabeça?

[gato]

BLOCO 1: SUPERPOSIÇÃO E TRAJETÓRIA *****

[pause]

Lu - [filtro rádio] A gente tá começando o quarto episódio e ele continua a discussão que começou no episódio 3, além de também fazer referência aos outros episódios anteriores. Então, se você ainda não escutou eles, a gente recomenda que você pause agora, escute, e depois volte aqui.

[play]

Leo - No final do episódio passado, a gente tava falando do experimento da fenda dupla: a gente tinha uma placa com duas fendas e a gente enviava fótons, ou

elétrons, ou átomos, um de cada vez em direção a essa placa. Para continuar a discussão, vamos dizer que a gente tá fazendo o experimento com elétrons. Os elétrons passavam pelas fendas e chegavam na parede atrás da placa. Marcando o local onde esses elétrons chegavam, a gente vai formando um padrão. O que a gente verifica, e que talvez seja inesperado, é que mesmo enviando um elétron de cada vez, o resultado final encontrado na parede é o que a gente chama de [filtro rádio] padrão de interferência, formado por vários conjuntos de marcas, como se houvesse várias fendas, e não apenas duas.

Gláucia - Então apesar da imagem mental que a gente tem do elétron ser algo como uma bolinha, isso talvez não seja tão correto, porque gerar esse padrão de interferência é um comportamento de onda, não de partícula. Só que quando ele chega na parede, ele é detectado em um só lugar, exatamente como uma partícula.

Lu - A gente falou bastante disso no episódio anterior, né? Que o elétron tem uma natureza tanto de onda quanto de partícula, porque ele tem propriedades dessas duas coisas. E isso vale também para um fóton, ou para um átomo, ou uma molécula...

Leo - Isso! E daí a gente pode se perguntar: por onde o elétron passou? E durante a trajetória... ele se comportou como onda ou como partícula? Porque... se ele atingiu a parede atrás da placa, é porque ele passou pela placa, ele seguiu algum caminho até lá. Se nesse período ele se comportou como uma partícula, partículas têm trajetórias bem definidas, o que significa que ele passou ou pela fenda da esquerda ou pela fenda da direita, assim como, por exemplo, uma bolinha de tênis faria. Mas se nesse meio tempo o elétron agiu como onda, ele se propagou de maneira mais ampla no espaço, passando pelas duas fendas, como uma onda sonora faria.

Gláucia - Pra tentar responder qual foi a trajetória do elétron, a gente pode modificar nosso experimento e colocar um detector atrás de cada uma das fendas. E o que a gente vê é que... esses detectores nunca são acionados ao mesmo tempo. Em outras palavras, ou o elétron é detectado passando por uma fenda... ou por outra, nunca passando pelas duas juntas.

Leo - A ação desses detectores funciona como se fosse uma fotografia do elétron na região das fendas: ou a fotografia mostra o elétron em uma fenda, ou mostra na outra, nunca nas duas. Ou seja, na foto, o elétron aparece como partícula, não como onda.

Gláucia - E aí tem um porém. Quando a gente detecta os elétrons nas fendas, não tem como eles continuarem seguindo em frente. A detecção é o fim da história.

Lu - Então nesse caso eles nem chegam na parede né?

Gláucia - Isso. Aí a gente precisa de alguma outra estratégia para tentar entender a trajetória do elétron. Uma alternativa é alterar mais uma vez nosso experimento tirando os detectores de trás das fendas mas espalhando um punhado de fôtons entre as fendas e a parede. Só para lembrar, o elétron é aquele que fica orbitando em torno do núcleo do átomo, enquanto que o fôton é a partícula elementar de luz, como se fosse um bloquinho de luz. Então quando a gente coloca fôtons entre a fenda e a parede, a ideia não é medir a trajetória do elétron diretamente... mas sim procurar os rastros que o elétron deixou quando interagiu com os fôtons.

Lu - Então agora é como se em vez de tirar uma fotografia do elétron, a gente procurasse as pegadas que o elétron deixou nos fôtons, é isso?

Gláucia - Isso.

Lu - E o que essas pegadas dizem?

Gláucia - Pois é, se prepara, que a gente chegou de novo numa parte surpreendente. As pegadas que o elétron deixa nos fôtons realmente mostram que ele passou por uma única fenda e seguiu um caminho específico até chegar na parede. Mas... depois de várias rodadas de elétrons sendo enviados um por um, o padrão que se forma na parede não é mais o padrão de interferência, que era o que dizia pra gente que o elétron agia como onda. Em vez disso, o que a gente encontra agora é simplesmente dois conjuntos de marcas, correspondentes a cada uma das fendas. E isso é bizarro, porque indica que o elétron agora agiu como partícula.

Leo - Ou seja, se a gente deixa os elétrons quietos, seguindo o seu caminho sem detector, sem fôton, sem perturbação nenhuma... eles geram um padrão de interferência, que é coisa que as ondas fazem. Mas se a gente tenta deixar a trajetória do elétron marcada, direta ou indiretamente, ele deixa de apresentar esse comportamento ondulatório e age o tempo todo como partícula. É como se ele só apresentasse esse comportamento esquisito de onda quando não tem ninguém vendo!

Lu - Como assim? O elétron sabe quando ele está sendo observado?

Leo - Mais ou menos. Aqui o ponto é que sistemas quânticos são super sensíveis, e qualquer interação que a gente tem com eles já perturba o estado em que eles estavam. Tanto o detector quanto os fótons que a gente espalha... ou, como a gente brincou, tanto tirar uma foto quanto deixar as pegadas do elétron marcadas... qualquer dessas interações já perturbam o elétron e fazem com que ele perca essas propriedades de onda. Mas a gente ainda vai detalhar isso melhor, esse vai ser o tema do nosso próximo episódio. Por agora vamos focar na trajetória do elétron.

Gláucia - Então aqui a gente chegou num beco sem saída. Quando a gente encontra o padrão de interferência e pergunta “por qual fenda o elétron passou?”, a gente não consegue nenhuma resposta clara, porque sempre que a gente tenta responder isso, só a nossa tentativa de responder a pergunta já perturba o sistema e faz com que o padrão de interferência desapareça.

Lu - Calma, deixa eu ver se eu entendi. Se a gente vê o padrão de interferência, não consegue saber por qual fenda o elétron passou. E se a gente detecta por qual fenda ele passou, ele não forma o padrão de interferência. Meu deus, que confusão.

Leo - Mas calma que tem mais... porque no caso em que a gente não vê a interferência, o melhor que a gente pode fazer é tentar deduzir, de maneira abstrata, a trajetória do elétron. Como a gente tem duas fendas e a gente sabe que o elétron passou por elas, a nossa intuição diz que tem 3 situações possíveis: a primeira, [plim] é que o elétron passou apenas pela fenda da esquerda; a segunda, [plim] é que o elétron passou apenas pela fenda da direita; e a terceira, [plim] é que o elétron passou pelas duas fendas.

Gláucia - Mas a gente já investigou essas possibilidades antes, quando colocou os detectores ou os fótons no caminho do elétron. Assumindo que foi formado um padrão de interferência, o elétron não pode ter passado apenas pela fenda da esquerda [aww], porque toda vez que a gente detecta isso acontecendo, de uma maneira ou de outra, o resultado marcado na parede não é um padrão de interferência; por esse mesmo motivo, o elétron também não pode ter passado apenas pela fenda da direita [aww]. O que resta é a última opção, que ele passou pelas duas fendas ao mesmo tempo... mas isso também não pode ser [aww], porque nunca elétron nenhum disparou ambos os detectores. A gente nunca obtém uma fotografia do elétron nas duas fendas ao mesmo tempo.

Lu - Tá, então vocês estão dizendo que tinha só 3 possibilidades e nenhuma delas pode acontecer? Então qual é a solução? Porque por algum lugar esse elétron passou, né?

Leo - Pois é, essa é a grande pergunta: qual foi a trajetória do elétron? Nesse momento de dúvida, a gente traz de novo para a conversa o Pablo Saldanha, que é professor do Departamento de Física da Universidade Federal de Minas Gerais e também já um assíduo convidado nosso aqui no podcast. Mas escuta só a resposta que ele deu...

Pablo Saldanha: Então, tem uma pergunta muito natural que é: o que acontece nesse experimento? O elétron passa pelos dois orifícios ou ele passa por um orifício só? Eu não sei responder essa pergunta, acho que ninguém sabe.

Lu - Ninguém sabe? Então a teoria quântica não tem uma resposta para isso?

Gláucia - Bom, aqui a gente precisa ir com calma. A teoria quântica com certeza descreve essa situação, ela prevê direitinho o padrão que a gente observa na parede. Mas é a teoria. Aqui, o Pablo tá fazendo referência a um dos grandes problemas da quântica: como a gente pode interpretar em termos intuitivos, o que a teoria quântica tá dizendo? Porque se a gente tentar entender isso em termos dos fenômenos do nosso dia a dia, a gente volta para a dualidade onda-partícula. Pensar o elétron como onda vai te dar uma resposta, e pensar o elétron como partícula vai te dar outra resposta.

Pablo Saldanha: Cada um responde a pergunta de um jeito, mas dão respostas que são contraditórias. [...] Então eu não entendo intuitivamente o que está acontecendo com o elétron.

Gláucia - E a palavra chave aqui é “intuitivamente”. Porque, se a gente ficar satisfeita com uma resposta abstrata, o que o formalismo quântico diz é claro.

Lu - Vocês podem me ajudar a lembrar o que é formalismo?

Gláucia - Lembra que no episódio 2 você perguntou para a gente qual a importância de ter um modelo matemático para descrever um fenômeno? O formalismo é mais ou menos isso, é a matemática que descreve uma teoria física. A gente deduz algumas regras fundamentais e deriva o resto da teoria a partir delas.

Leo - Pensando num exemplo bem bem simples, imagina aquele tipo de pergunta da terceira série: [trilha escola] “Joãozinho tem cinco maçãs. Se ele comer duas delas, com quantas maçãs ele fica”? Aqui a gente nem pensa muito, a gente só calcula 5 menos 2 e diz que ele ficou com 3 maçãs. Mas implicitamente, esse raciocínio faz uma série de relações: a gente associa um número à quantidade de maçãs que tem e a gente associa “comer duas maçãs” com “subtrair 2”. Essas relações, a forma como a gente modela o problema, é o nosso formalismo nesse caso. Claro, esse é um exemplo extremamente simples.

Pablo Saldanha: O formalismo da mecânica quântica ele é bem mais complicado. [...] Mas o fato é que você vai ter um conjunto de regras matemáticas, com equações matemáticas, que vão te permitir calcular nesse caso as probabilidades dos experimentos que você vai fazer. Esse conjunto de regras é o formalismo da mecânica quântica.

Lu - Então o que o formalismo quântico diz que acontece com a trajetória do elétron?

Gláucia - Ele dá uma resposta meio estranha. O formalismo diz que não existe apenas uma trajetória passando pela fenda da esquerda e outra trajetória passando pela fenda da direita. Ele diz que existem infinitos caminhos possíveis, porque a gente também pode ter superposições dessas trajetórias.

Lu - Ah então aqui finalmente apareceu essa palavra misteriosa, superposição, que vocês já tinham falado antes que era uma das coisas estranhas da quântica. O que que ela significa?

Gláucia - Então, superposição é um dos fenômenos mais importantes da teoria quântica. Mas quando a gente tenta explicar com palavras o que que isso significa, a gente cai no problema que o Pablo falou antes: a gente não tem uma maneira intuitiva de como fazer isso. Para entender qual foi a trajetória do elétron, eu preciso entender o que é uma superposição de trajetórias. E apesar de esse ser um conceito matematicamente bem definido, não é claro o que ele significa fisicamente.

Leo - Voltando pro exemplo das maçãs, seria mais ou menos assim: [trilha escola] é fácil interpretar o que significa 3+1: significa que eu tinha 3 maçãs e ganhei mais uma. Também é fácil interpretar o que significa 4-2: significa que eu tinha 4 e comi 2 maçãs. Mas o que significa tirar a raiz quadrada do número de maçãs? [fuuu] O que

significa calcular o logaritmo do número de maçãs? Não é claro como fazer essa tradução. Ou seja, nem todas as expressões matemáticas possuem uma interpretação simples ou palpável.

Gláucia - E é exatamente isso que acontece com a expressão matemática de uma superposição. E aí a gente encontra uma tentação muito grande de dizer que a superposição de passar pela fenda da esquerda e de passar pela fenda da direita, seria uma trajetória que passa pelas duas fendas ao mesmo tempo. Só que isso não é correto. É uma simplificação, mas que acaba simplificando demais, ao ponto de ficar errado. Como a gente já discutiu, quando a gente coloca detectores atrás das duas fendas, eles nunca detectam o elétron passando nas duas fendas ao mesmo tempo.

Leo - Aliás, esse é um mal-entendido que aparece em vários lugares. Muitas vezes a gente encontra, em conteúdos de pseudociência e até em materiais de divulgação científica, que uma partícula quântica pode estar em dois lugares ao mesmo tempo, ou, mais geralmente, que pode fazer duas coisas opostas ao mesmo tempo. Por exemplo, escuta essa fala, de um canal do youtube:

[chiado]

“Alimentado por outro conceito poderoso e contraintuitivo: superposição quântica. A superposição quântica explica como partículas podem fazer duas ou cem ou um milhão ou trilhão de coisas ao mesmo tempo.”

[chiado]

Leo - Aqui a gente tem outro exemplo:

[chiado]

“A superposição quântica implica que uma partícula pode estar em dois lugares, dois ou mais lugares ou estados simultaneamente.”

[chiado]

Gláucia - Essa última fala é do filme Quem somos nós, que fez bastante sucesso uns 15 anos atrás. Inclusive eu até assisti esse filme no cinema com meus amigos da física, lá no meu primeiro ano de graduação, e na época a gente achou que era um filme cientificamente sério, mas hoje tá bem claro que ele é basicamente uma aula sobre como falar de teoria quântica de maneira extremamente deturpada, pra não dizer errada mesmo.

Lu - Tá legal, já entendi que o elétron não passou pelas duas fendas ao mesmo tempo. Mas então a gente não consegue responder por onde ele passou?

Leo - Pois é, apesar do formalismo matemático ser claro, essa é uma pergunta que a teoria quântica não responde muito bem. Esse é o tipo de coisa que fez o físico estadunidense Richard Feynman, ganhador do Nobel em 1965, falar [efeito rádio] “eu acho que posso dizer com segurança que ninguém realmente entende a mecânica quântica”. Aliás, quando a gente conversou com o Pablo, ele falou uma frase parecida com essa, sobre a trajetória do elétron:

Pablo Saldanha: Se saber responder essa pergunta é importante pra eu falar que eu entendo o fenômeno, então eu não entendo o fenômeno.

Gláucia - Então essa se torna uma questão filosófica porque faz a gente olhar mais fundo e questionar o próprio papel da ciência. [congas] Como a gente vai ver a seguir, não conseguir responder esse tipo de pergunta gerou tanto alvoroço entre os fundadores da teoria quântica que acabou dividindo a comunidade em dois grupos, de acordo com o papel que eles atribuíam à ciência: o grupo dos realistas e o grupo dos anti-realistas.

[gato]

BLOCO 2: (ANTI)REALISMO *****

Leo - Ok, então resumindo o que a gente tem até agora: no experimento da fenda dupla, quando a gente detecta os elétrons apenas quando eles chegam na parede, a teoria quântica explica bem [plim] o padrão de interferência formado. Esse período de tempo, quando o elétron está entre as fendas e a parede, é o momento em que o elétron está no tal estado de superposição. Mas, nessa situação, a teoria explica mal [aww] por qual fenda o elétron passou. Se a gente tentar responder isso, novamente a teoria explica bem [plim] a situação em que a gente coloca detectores nas fendas e vê por qual delas cada elétron passou. Só que nesse caso, a parte ruim [aww] é que essa detecção perturba os elétrons e eles não formam mais o padrão de interferência na parede.

Gláucia - Se você notar bem, com esse resumo do Leo, a gente vê que a teoria é ótima para lidar com detecções. Ou, usando a analogia com fotografias, a teoria é ótima para explicar o que a gente encontra quando tira as fotos do elétron. E a parte

que a teoria não se sai bem é na hora de oferecer uma interpretação pros momentos em que a gente não estava, entre aspas, fotografando.

Leo - Então o dilema é: se a gente não fotografa, a gente não sabe por onde o elétron passou. Mas se a gente fotografa, essa interação faz o elétron agir de modo diferente, sem gerar o padrão de interferência. Então, existe uma certa limitação que nos impede de saber exatamente o que aconteceu. Mas a pergunta que fica é: isso é uma limitação da natureza... ou é uma limitação da teoria quântica? E a resposta... depende. Antes, a gente precisa responder qual é o papel de uma teoria científica.

[pause]

Lu - [rádio] Só um disclaimer: agora a gente vai falar sobre como interpretar a teoria quântica e a ciência como um todo. Mas essas questões filosóficas em aberto não mudam em nada o fato de que a gente sabe sim controlar e manipular os fenômenos quânticos de maneira efetiva, como a gente discutiu no episódio 2. Ou seja, nada disso afeta o funcionamento das tecnologias quânticas e os resultados dos experimentos no laboratório. Pronto, agora a gente volta pra discussão sobre o papel de uma teoria científica.

[play]

Patrícia Kauark: A mecânica quântica ela causou muitos embaraços assim, filosóficos e científicos, por romper com a nossa concepção chamada a concepção clássica ou tradicional de como nós entendemos que deve ser o papel de uma teoria científica né.

Gláucia - Essa falando é a Patrícia Kauark, ela é professora do departamento de filosofia da Universidade Federal de Minas Gerais. A Patrícia fez graduação em física e depois mestrado e doutorado em filosofia.

Patrícia Kauark: Classicamente, a gente tem essa impressão de que a teoria espelha, ou deveria espelhar o mundo, deveria espelhar a realidade.

Gláucia - Espelhar a realidade. É por isso que esse ponto de vista mais clássico vai dizer que a teoria quântica é problemática: porque a teoria fala que o elétron está em superposição, mas a gente não entende como isso poderia ser um reflexo da realidade.

Leo - O conceito filosófico por trás desse posicionamento é chamado de realismo. Aqui, a gente escuta o Osvaldo Pessoa Jr, professor de filosofia da Universidade de São Paulo, que já apareceu no nosso primeiro episódio.

Osvaldo Pessoa Jr.: E existem duas atitudes básicas na ciência. Uma é uma abordagem realista, é você se deixar ir além das observações e postular modelos e retratos de como que o mundo é, por trás das observações.

Leo - Ou seja, o realismo é uma postura que espera que a ciência vá além das detecções que são obtidas em um experimento, ou como a analogia que a gente usou, vá além das fotografias. Uma pessoa realista, nesse sentido, também espera que a ciência descreva um quadro geral, que explique a natureza como ela é. Inclusive quando ela não está sendo fotografada.

Gláucia - Em outras palavras, realismo significa acreditar que uma teoria científica se refere mesmo à essência da realidade, e que cada elemento da teoria descreve de fato um elemento da natureza. Talvez essa postura pareça natural para você. Em geral, é assim que a gente aprende a pensar em ciência mesmo. Não é por acaso que a Patrícia chamou esse ponto de vista de postura clássica.

Leo - O Osvaldo contou para a gente que alguns anos atrás ele realizou um estudo junto com uma aluna sua de mestrado, em que eles entrevistaram diversos físicos e cientistas em geral. Esse estudo também confirmou um domínio da postura realista.

Osvaldo Pessoa Jr.: A conclusão geral é que a atitude dos cientistas em quase todas as áreas é realista. Eles falam em quarks, sem problema, como sendo algo real, [...] espaço-tempo curvo, arrasto de referenciais...

Gláucia - Ou seja, a maioria das áreas da ciência e da física em particular supõe a existência de vários objetos que não são diretamente observados, mas que são amplamente aceitos como coisas que existem mesmo. É o caso dos quarks, do espaço-tempo curvo, e assim por diante. Como diz a Patrícia:

Patrícia Kauark: Realistas vão dizer que a teoria científica é uma descoberta, ela descobre que uma teoria desvenda ou descobre algo que já preexiste no mundo né.

Leo - Em outras palavras, por serem considerados reais, quando esses estudos surgem pela primeira vez, são tratados como descobertas: cientistas descobrem

que prótons são formados por quarks; cientistas descobrem que o espaço-tempo é curvo. E aqui a gente inclui aquela história que a gente trouxe na abertura do episódio: Arquimedes gritando eureka porque descobriu a força do empuxo.

Gláucia - Mas apesar do realismo parecer bastante natural, existe uma outra postura possível, que é chamada de antirrealismo. Aqui, o Osvaldo:

Osvaldo Pessoa Jr.: Mas também existe uma outra atitude na ciência, que é a atitude antirrealista, que engloba visões como positivismo, kantismo, instrumentalismo, enfim, são visões que consideram que o grande fator positivo da ciência é ela sendo conhecimento seguro.

Gláucia - Querer que a ciência ofereça um conhecimento seguro parece razoável, né? Então um antirrealista vai assumir uma postura mais ortodoxa, de se basear apenas nos dados observados. Ou seja, voltando para a nossa analogia, o antirrealismo diz que o papel da ciência se resume a explicar bem as fotografias. Tentar ir além disso e especular sobre o que acontece com aquilo que não foi observado estaria além do papel da ciência.

Osvaldo Pessoa Jr.: Então essa atitude mais segura, né? Querer garantir que a ciência não vai chegar a nenhum resultado que possa ser falso porque ele vai envolver uma especulação sobre a natureza física das coisas, que a gente não vai poder comprovar... essa atitude mais segura a gente chama de antirrealismo.

Gláucia - Então se vocês prestarem atenção, essa história de superposição e por qual fenda o elétron passou quando gerou o padrão de interferência, não causa problema nenhum para uma pessoa antirrealista, porque todos os dados gerados pelas observações estão bem explicados pela teoria. Tentar interpretar fisicamente o que significa o elétron estar em superposição é apenas mais uma especulação... sobre um aspecto da natureza que a gente não tem acesso.

Leo - Em contraste com o realismo, essa visão antirrealista basicamente absolve a teoria quântica de não conseguir interpretar muito bem essas coisas estranhas que acabam surgindo. Uma teoria seria meramente uma ferramenta para explicar nossas observações, e não os fenômenos em si.

Lu - Calma que esses termos tão me deixando um pouco confusa. No dia a dia, a gente chama de realista uma pessoa que se atêm apenas aos fatos. Mas aqui, a gente tá dizendo que essa é a postura antirrealista. É isso?

Leo - É isso. Pode parecer confuso mesmo, mas o termo “real” aqui se refere às coisas existirem mesmo ou não. O realismo é convicto de que existe uma realidade independente de a gente interagir com ela, e quer especular pra descrever essa realidade. Já do ponto de vista antirrealista...

Patrícia Kauark: A mecânica quântica não deve descrever a realidade última das coisas, mas o que ela pode no máximo descrever é a nossa interação e nossa relação com as coisas ou com os fenômenos.

Leo - Pra Patrícia, o objetivo da ciência é descrever as nossas interações e as nossas relações com o mundo. Então, cada vez que a gente aprende algo novo, a gente está inventando uma nova forma de interpretar essas nossas interações.

Patrícia Kauark: Um antirrealista [...] vai dizer que é uma teoria científica é muito mais uma invenção.

Leo - Eu acho legal essa linha de raciocínio, porque como a Patrícia ressalta, ver a ciência como uma invenção implica que o processo científico é mais ou menos semelhante ao processo artístico.

Patrícia Kauark: Então é o que vai nos aproximar muito mais da arte.

Gláucia - Ou seja, na visão anti-realista, tanto a ciência quanto a arte são criações humanas que se referem à maneira como nós enxergamos o mundo. Não faz sentido exigir que a ciência fale realmente sobre a essência da natureza, assim como não faz sentido exigir que um quadro seja um retrato objetivo do seu objeto (pensa nas pinturas de Picasso, por exemplo). Em ambos os casos, a gente está lidando com interpretações do mundo.

Leo - E como a gente já mencionou na abertura, apesar da maioria dos cientistas adotarem uma postura realista...

Osvaldo Pessoa Jr.: Quando chega na física quântica inverte. Aí tem uma tradição que vem, né? Da década de vinte, de evitar especulação sobre o que tá acontecendo por trás das medições, né?

Leo - De fato, a teoria quântica desafia esse paradigma realista desde a sua fundação. Grandes nomes como Niels Bohr e Erwin Schroedinger eram abertamente antirrealistas. Talvez você não saiba muito sobre o Schroedinger em si, mas provavelmente você já ouviu falar do gato dele. [efeito rádio] Aliás, a gente conta essa história, que tem tudo a ver com antirrealismo, no nosso próximo bit quântico. Já o Bohr, em particular, liderava um grupo que era muito influente na comunidade quântica nessa época. E um dos ingredientes centrais da visão dele era justamente o antirrealismo.

Gláucia - Mas nem todo mundo concordava com Bohr.

Patrícia Kauark: O Einstein por exemplo, foi um que vai se rebelar contra essa tendência de achar que a teoria não pode mais, não fala mais sobre a realidade última das coisas, mas que seria um modo que nós temos de interagir com o mundo né.

Gláucia - O Einstein era um realista convicto. Ele protagonizou, junto com o Bohr, um dos maiores debates científicos da história sobre o assunto. Ele entendia que a necessidade de apelar pro antirrealismo era uma limitação da teoria quântica, um sinal de que faltava algo na teoria. O Einstein tem uma frase famosa criticando o fato de que pro antirrealismo tudo que importa são as nossas observações: [efeito rádio] “você realmente acredita que a lua só está no céu quando você está olhando para ela?”

Leo - Apesar da pergunta ser muito boa, a maioria dos pesquisadores da época concordava com Bohr. Aliás, tem até uma história engraçada sobre isso. Em 1927 houve a Conferência de Solvay, na Bélgica, sobre física quântica, onde foi tirada uma foto que ficou conhecida como [efeito eco] “a fotografia mais inteligente do mundo”.

Gláucia - É uma foto dos participantes dessa conferência, sendo que 17 dos 32 participantes já tinham ganhado ou iriam ganhar o prêmio Nobel (ou até 2 prêmios Nobel como era o caso da Marie Curie).

Leo - Na foto, dizem que o Bohr, que aparece bem no canto direito, está com ar de riso, enquanto que Einstein, sentado bem no centro da foto, parece bem sério. Então reza a lenda que isso seria uma consequência de que a interpretação antirrealista do Bohr estava fazendo mais sucesso do que as ideias realistas do Einstein. Na minha opinião, até dizer que o Bohr está com ar de riso já é um exagero, mas se você quiser tirar as suas próprias conclusões, a gente vai deixar a foto no nosso site.

Essa discussão entre realismo e antirrealismo da teoria quântica é tão velha quanto a própria teoria. Mas do século vinte para cá, para a tristeza de Einstein, o antirrealismo veio crescendo na comunidade quântica, como concluiu a pesquisa que o Osvaldo mencionou mais cedo. Para fazer um teste, a gente aqui d'O Q Quântico perguntou aos nossos entrevistados como eles se posicionam em relação a esse tema. O Pablo deu uma resposta bem clara.

Pablo saldanha: Cem por cento. Sou antirrealista, que isso fique claro.

Leo - A Patrícia também não teve dúvidas.

Patrícia Kauark: Eu como kantiana eu sou adepta aí, tô mais do lado dos antirrealistas. Eu acho que a teoria quântica, ela desferiu realmente um golpe mortal nas nossas pretensões em relação à verdade das nossas construções teóricas.

Gláucia - Bom, apesar de toda essa convicção do Pablo e a da Patrícia, vale ressaltar que tem uma parte significativa da comunidade científica que adota uma postura realista. Inclusive, eu mesma acho me enquadro nesse grupo. E a gente não vai entrar nesse assunto aqui, mas dá pra imaginar que uma interpretação realista pra mecânica quântica não vai ser algo simples.

[congas]

Leo - De qualquer jeito, quando se trata de teoria quântica, tanto aderir ao realismo quanto ao antirrealismo envolve encarar perguntas que tiram a gente da nossa zona de conforto.

[gato]

BLOCO 3: LINGUAGEM *****

Lu - Então, se eu entendi bem, a atitude dominante dentro da comunidade de pesquisadores de teoria quântica é considerar que a teoria não propõe explicações sobre a realidade, ela é basicamente uma linguagem matemática que descreve os resultados dos experimentos. É isso mesmo?

Gláucia - Isso. Bom talvez essa descrição soe um pouco dura com a quântica, mas a gente pode encarar isso de duas maneiras. De um ponto de vista pessimista, é como se não fizesse sentido tentar traduzir essa linguagem matemática para uma linguagem física, que a gente consiga entender em termos de fôtons e elétrons. Como é o caso da superposição, que a gente não consegue dar uma interpretação física para ela. E não haver essa interpretação física dificulta o nosso entendimento, como a gente já discutiu aqui no episódio passado: a gente fica sem conseguir associar teoria quântica com as coisas do nosso dia-a-dia e sem conseguir criar uma imagem mental daquilo que a teoria diz.

Bárbara Amaral: E aí é muito mais difícil você falar assim, “ah entendi”, porque você não criou a imagem mental, então você fica com a sensação que você não entendeu.

Leo - Essa fala foi da Bárbara Amaral, professora da USP, que é física. Mas a Patrícia Kauark, que é filósofa, concorda com ela:

Patrícia Kauark: Ou seja, eu posso apontar com o dedo e falar “eis uma garrafa d’água” mas não posso apontar com dedo e falar “eis aqui um elétron”.

Leo - Agora, a gente também pode olhar essas lacunas que existem entre a linguagem matemática e realidade física de um ponto de vista otimista: num certo sentido, é como se a linguagem matemática da teoria quântica pudesse ir além da nossa compreensão física do mundo.

Patrícia Kauark: Nós nos valemos de uma linguagem mais rebuscada, de uma linguagem matemática, muitas vezes mais abstrata, para justamente retratar o que seria a essência das coisas.

Leo - E dessa vez, é a Bárbara que vem complementar a fala da Patrícia.

Bárbara Amaral: Então para a gente realmente falar assim “ah entendi” a gente precisa da matemática. Então para aprender física quântica de verdade, eu preciso saber a matemática que descreve aquele sistema. Porque a única maneira que eu vou ter algum contato mais palpável com aquilo, é através da matemática.

Leo - Ou seja, apesar da postura antirrealista de mundo não se preocupar muito em interpretar os conceitos que a gente encontra na teoria quântica, ela de certa forma se transforma num elogio à linguagem matemática desenvolvida pela teoria.

Bárbara Amaral: Por outro lado, vê que a nossa linguagem, que é linguagem matemática que a gente desenvolveu, é tão poderosa, que a gente consegue descrever tão bem sistemas que a gente entende tão mal.

Lu - Vocês já repetiram várias vezes que uma dessas coisas que a gente entende tão mal é a superposição. Isso quer dizer que não dá para descrever exatamente como é a cara de um elétron em superposição, certo? Mas então tem alguma forma de colocar esse conceito em termos mais familiares? Alguma analogia que vocês acham que funciona bem?

Leo - Pois é, a gente pensou bastante sobre isso e chegou numa analogia para compartilhar aqui com vocês. Vamos voltar pro exemplo que a gente vem discutindo o episódio inteiro, a trajetória do elétron no experimento da fenda dupla. A gente sabe diferenciar bem entre passar pela fenda da esquerda e passar pela fenda da direita, o difícil é dizer o que significa a superposição dessas trajetórias. Então a gente vai fazer o seguinte: a gente vai associar cada trajetória com um ponto cardeal.

Gláucia - Por exemplo, vamos considerar dois pontos cardinais, o norte e leste, aí a gente pode usar a direção norte pra representar a trajetória do elétron que passa pela fenda da esquerda; e já a trajetória do elétron que passa pela fenda da direita, a gente pode representar pela direção leste.

Leo - Do ponto de vista físico, a gente consegue distinguir apenas essas duas trajetórias, ir pela esquerda ou pela direita (ou, em termos de pontos cardinais, seguir pela direção norte ou pela direção leste). Isso é o que a gente consegue observar no experimento. Porém, a teoria quântica diz que existem todos os pontos cardinais possíveis entre eles: não só o norte e o leste, mas também, por exemplo, o

nordeste, o nor-nordeste... E todas essas outras direções seriam aquilo que a gente chama de superposições de norte e leste.

Gláucia - Ou seja, é como se a nossa percepção, que não é quântica, fosse uma bússola meio defeituosa, que só funciona quando a gente está se movendo para o norte ou para o leste. Enquanto isso, os sistemas quânticos têm um senso de direção muito melhor, podendo explorar qualquer direção possível, isto é, qualquer superposição de trajetórias.

Leo - Então fica aqui a pergunta: quando a gente pega a bússola e caminha na direção que fica exatamente entre o norte e o leste, que é a direção nordeste... seguir na direção nordeste significa que a gente tá indo para o norte e para o leste ao mesmo tempo?

Gláucia - Por um lado, a gente até fica tentada a dizer que sim, afinal a gente acaba num ponto que fica mais ao norte do nosso ponto de partida e mais ao leste do nosso ponto de partida... mas se a gente quiser ser literal mesmo, seguir pro norte e pro leste ao mesmo tempo só seria possível se a gente se dividisse em duas cópias e aí uma cópia da gente segue na direção norte e outra cópia segue na direção leste... o que é fisicamente impossível. O nordeste é um ponto cardeal por si só, então seguir na direção nordeste é seguir uma direção diferente de todas as outras.

Leo - Assim como o nordeste não significa literalmente “norte e leste ao mesmo tempo”, estar em superposição de passar pela fenda da esquerda e da direita não significa passar pelas duas ao mesmo tempo... [congas] uma superposição de trajetórias é uma trajetória inteiramente diferente das outras, ainda que a nossa percepção clássica tenha dificuldades em interpretar isso.

[gato]

ENCERRAMENTO *****

Gláucia - A gente aprendeu bastante entrevistando nossos convidados para esse episódio, que envolveu também uma reflexão da nossa própria relação com a ciência. Então a gente queria terminar compartilhando duas visões diferentes trazidas por dois dos nossos entrevistados sobre a teoria quântica e suas limitações.

Leo - Por um lado, a gente tem a Bárbara Amaral, que parece bastante confortável com o fato da teoria possuir elementos que não admitem uma interpretação física natural, como a superposição.

Bárbara Amaral: Na verdade eu acho legal assim o fato de ser diferente, sabe. [...] De deixar a gente sempre com essa pulga atrás da orelha, da gente nunca conseguir casar nossa intuição com o que acontece ali.

Leo - Do outro lado, a gente tem o Pablo Saldanha, que ao longo de todo o nosso papo mostrou um grande incômodo com essa situação, mas ressalta que apesar disso a teoria tem consequências práticas para além de qualquer dúvida.

Pablo Saldanha: Mas o fato é que independentemente da teoria quântica não descrever pra gente o que são as entidades fundamentais, ela funciona para descrever os experimentos e ela funciona para produzir tecnologia. Mas do que que ela está falando a gente não sabe.

Lu - Uma das coisas legais desse episódio é que ele deixa a gente refletindo sobre o nosso próprio posicionamento sobre essas questões. Eu mesma fiquei pensando, será que eu sou mais realista ou antirrealista? Será que os fatos científicos, eles são mesmo reais ou só uma invenção que serve pro mundo fazer sentido? Fica aí a reflexão...

Leo - [baixo] E para encerrar, já faz vários episódios que a gente vem falando que os fenômenos quânticos são bem diferentes daquilo que a gente encontra no nosso dia a dia... no próximo episódio a gente vai conversar sobre por que isso acontece e por que, do ponto de vista técnico, seria tão difícil obter uma superposição de objetos grandes, como, por exemplo, um gato em superposição de vivo e morto. De certa forma, a gente vai até responder a pergunta do Einstein: será que a lua está no céu quando você não está olhando pra ela?

[gato]

CRÉDITOS *****

[trilha identidade - bateria, depois baixo e piano]

Gláucia - No material extra no nosso site www.ufsm.br/oqquantico, você encontra mais informações sobre o livro que o Osvaldo Pessoa Jr escreveu com a sua aluna de mestrado, a Roseny Lisboa, sobre o realismo e antirrealismo entre os físicos. Lá tem também a referência pro livro da Patrícia Kauark sobre Teoria Quântica e filosofia transcendental, além também de outras referências que a gente citou aqui, junto com a transcrição do episódio e a tradução para o inglês.

Se você gostou do episódio, você pode ajudar 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.

Leo - Nesse episódio você ouviu trechos das entrevistas com o Pablo Saldanha, a Patrícia Kauark, o Osvaldo Pessoa Jr. e a Bárbara Amaral. Nosso muito obrigado aos nossos entrevistados.

Além disso, a gente também utilizou trechos do canal de youtube Giba Tavares e do filme Quem somos nós, de 2004.

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 suporte 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 chegassem ao seu formato final. Nós 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]