



TRADIÇÃO EM
COMPARTILHAR
CONHECIMENTO

Bruce Rosenblum e Fred Kuttner

O enigma quântico

O encontro da física com a consciência

Tradução:
George Schlesinger

Revisão técnica:
Alexandre Cherman
Astrônomo da Fundação Planetário/RJ

Dedicamos nosso livro à memória de John Bell, talvez o mais importante teórico quântico da segunda metade do século XX. Seus textos, palestras e conversas pessoais nos inspiraram.

“Não é bom saber o que vem depois do quê, mesmo que não necessariamente Fapp? [Fapp é a sugestão de Bell para abreviatura de ‘*for all practical purposes*’ – ‘para todos os propósitos práticos’.] Suponha, por exemplo, que se descobrisse que a mecânica quântica resiste a uma formulação precisa. Suponha que, ao tentar uma formulação além de Fapp, encontrássemos um dedo imóvel apontando obstinadamente para fora do tema, para a mente do observador, para as escrituras hindus, para Deus ou mesmo apenas para a Gravitação? Isso não seria muito, muito interessante?”

JOHN BELL

Prefácio

A MECÂNICA QUÂNTICA TEM um sucesso impressionante. Nem uma única previsão da teoria jamais esteve errada. Um terço da nossa economia depende de produtos baseados nela. No entanto, a mecânica quântica também exhibe um enigma. Ela nos diz que a realidade física é criada pela observação, e que tem “ações fantasmagóricas” que influenciam instantaneamente eventos distantes entre si – sem nenhuma força física envolvida. Vista da perspectiva humana, a mecânica quântica é a física encontrando a consciência.

Nosso livro descreve os fatos experimentais absolutamente inquestionáveis e a explicação aceita desses fatos pela teoria quântica. Discutimos as interpretações rivais hoje existentes, e como cada uma encontra a consciência. Felizmente, o enigma quântico pode ser explorado profundamente em linguagem não técnica. O mistério apresentado pela mecânica quântica, que os físicos chamam de “problema quântico da medição”, aparece de imediato no experimento quântico mais simples.

Nos últimos anos, investigações nos alicerces, e nos mistérios, da mecânica quântica se multiplicaram. Fenômenos quânticos são cada vez mais visíveis em campos que vão da engenharia de computação à biologia e à cosmologia. Esta segunda edição inclui avanços recentes tanto em termos de compreensão quanto de aplicações. O uso do livro em grandes salas de aula e pequenos seminários nos deu a possibilidade de aprimorar o texto – um benefício que também se valeu das respostas dos leitores, de outros instrutores que utilizaram a obra e de comentários de resenhistas. Pretendemos expandir e atualizar a cobertura de certos tópicos no site do livro: www.quantumenigma.com.

1. Einstein o chamou de “fantasmagórico”

E eu gostaria de ter sabido

Pensei sobre o problema quântico cem vezes mais do que sobre a teoria da relatividade geral.

ALBERT EINSTEIN

Não posso acreditar seriamente [na teoria quântica] porque ... a física deve representar uma realidade no tempo e no espaço, livre de quaisquer ações fantasmagóricas a distância.

ALBERT EINSTEIN

NUM SÁBADO NA DÉCADA de 1950 eu estava visitando amigos em Princeton, e nosso anfitrião perguntou a seu genro, Bill Bennett, e a mim (Bruce) se gostaríamos de fazer uma visita a seu amigo Albert Einstein. Dois fascinados estudantes de pós-graduação em física logo estavam esperando na sala de estar de Einstein quando ele desceu de chinelos e moletom. Lembro-me do chá com biscoitos, mas não de como a conversa começou.

Logo Einstein perguntou sobre nosso curso de mecânica quântica. Ele aprovou o fato de nosso professor ter escolhido o livro de David Bohm como texto básico e nos perguntou se estávamos gostando do tratamento dado por Bohm à estranheza que a teoria quântica implicava. Não fomos capazes de responder. Tinham nos dito para pular essa parte do livro e nos concentrarmos na seção intitulada “A formulação matemática da teoria”. Einstein persistiu em explorar nossos pensamentos sobre o que a teoria realmente significava. Mas os assuntos que lhe interessavam não nos eram familiares. Nossos cursos focalizavam o *uso* da teoria, não seu significado. Nossas respostas à sua sondagem decepcionaram Einstein, e essa parte da nossa conversa terminou aí.

Muitos anos se passariam até que eu entendesse a preocupação de Einstein com as misteriosas implicações da teoria quântica. Eu não sabia que nos idos de 1935 ele havia surpreendido os responsáveis pelo desenvolvimento da teoria ao assinalar que ela requeria que uma observação num local influenciasse *instantaneamente* o que acontecia ao longe *sem envolver nenhuma força física*. E zombava disso como sendo uma “ação fantasmagórica” que não podia realmente existir.

Einstein sentia-se incomodado pela alegação da teoria de que, se você observasse um pequeno objeto, digamos, um átomo, presente em algum lugar, era o *fato de você olhar* que fazia com que ele estivesse lá. Será que isso se aplica a coisas grandes? Em princípio, sim. Ridicularizando a teoria quântica, Einstein perguntou certa vez a um colega físico, apenas *parcialmente* em tom de brincadeira, se ele acreditava que a Lua estava lá só quando olhava para ela. Segundo Einstein, se você levasse a teoria quântica a sério, negaria a existência de um mundo físico real independente da sua observação. Essa é uma acusação séria. A teoria quântica não é simplesmente uma entre muitas teorias na física. É o arcabouço sobre o qual *toda* a física em última análise se assenta.

NOSSO LIVRO se concentra nas misteriosas implicações da teoria quântica que incomodaram Einstein, desde sua proposta inicial do quantum, em 1905, até sua morte meio século mais tarde. Porém, durante anos após aquela noite com Einstein pouco pensei sobre a esquisitice quântica, aquilo que os físicos chamam de “o problema da medição”. Como estudante de pós-graduação, ficava intrigado com a correlata “dualidade onda-partícula”. Trata-se do paradoxo de que, olhando de uma maneira, podia-se demonstrar que um átomo é um objeto compacto, concentrado em um único lugar. No entanto, olhando de maneira diferente, podia-se demonstrar exatamente *o contrário*. Podia-se mostrar que o átomo *não* é um objeto compacto, que é uma onda espalhada sobre uma larga região. Essa contradição me intrigava, mas eu assumia que se passasse algumas horas pensando no assunto veria tudo com clareza – da maneira como meus professores

pareciam ver. Como aluno de pós-graduação, tinha coisas mais urgentes a fazer. Minha tese de doutorado envolvia montes de teoria quântica, mas, como a maioria dos físicos, eu tinha pouca preocupação com seu significado mais profundo. Na época, eu não percebia que ela ia muito além da mera “dualidade onda-partícula”.

Depois de uma década como pesquisador de física industrial e gerente de pesquisa, entrei no corpo docente da Universidade da Califórnia em Santa Cruz (UCSC). Lecionando num curso de física dirigido a alunos de artes liberais, os mistérios da mecânica quântica me intrigaram. Uma conferência de uma semana na Itália sobre os fundamentos da mecânica quântica me fisgou para o tema sobre o qual eu estava despreparado para conversar naquela longínqua noite em Princeton.

QUANDO EU (FRED) me encontrei com a mecânica quântica no meu penúltimo ano no Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), escrevi a equação de Schrödinger ocupando toda a página do meu caderno, empolgado com aquela fórmula que governava tudo no Universo. Mais tarde fiquei intrigado com a afirmação quântica de que o polo norte de um átomo pode apontar em mais de uma direção ao mesmo tempo. Depois de me debater com isso por algum tempo, desisti, imaginando que entenderia quando aprendesse mais.

Para minha dissertação de doutorado fiz uma análise quântica de sistemas magnéticos. Eu tinha ficado à vontade no *uso* da teoria quântica, mas não dispunha de tempo para pensar sobre o que ela *significava*. Estava ocupado demais tentando publicar trabalhos acadêmicos e conseguir meu doutorado. Depois de trabalhar em algumas empresas de alta tecnologia, entrei para o corpo docente de física da UCSC.

QUANDO NÓS DOIS começamos a explorar a fronteira onde a física se encontra com a filosofia especulativa, nossos colegas físicos ficaram surpresos. Nossas áreas de pesquisa anteriores eram bastante convencionais, até

mesmo práticas. (Há mais informações sobre nossos históricos em pesquisa industrial e acadêmica, bem como dados para contato, no site do nosso livro: www.quantumenigma.com.)

O esqueleto no armário da física

A teoria quântica tem um sucesso impressionante. Nem uma única de suas previsões jamais se mostrou errada. Um terço da nossa economia depende de produtos baseados nela. No entanto, a visão de mundo exigida pela teoria quântica é não só mais estranha do que poderíamos supor, mas mais estranha do que *conseguimos* supor. Vamos ver por quê.

A maioria de nós compartilha certas intuições do senso comum. Um único objeto não pode estar ao mesmo tempo em dois lugares distantes entre si. E, seguramente, o que alguém decide fazer aqui não pode afetar instantaneamente o que acontece em algum lugar distante. E será que é preciso dizer que existe um mundo real “lá fora”, quer olhemos para ele ou não? A mecânica quântica desafia cada uma dessas intuições. J.M. Jauch nos diz: “Para muitos físicos mais cuidadosos, [o significado mais profundo da mecânica quântica] tem permanecido uma espécie de esqueleto no armário.”

COMEÇAMOS ESTE CAPÍTULO falando sobre a preocupada inquietude de Einstein com a teoria quântica. O que é essa teoria? A teoria quântica foi desenvolvida no começo do século XX para explicar a *mecânica*, o mecanismo, que governa o comportamento dos átomos. Antes disso, havia sido descoberto que a energia de um objeto só podia variar numa quantidade discreta, um *quantum*, daí o termo “mecânica do quantum”, ou “mecânica quântica”, que abrange tanto as efetivas observações experimentais como a *teoria* quântica que as explica.

A teoria quântica está na base de toda ciência natural, desde a química até a cosmologia. Precisamos dela para entender por que o Sol brilha, como televisores produzem imagens, por que a grama é verde e como o Universo

se desenvolveu a partir do Big Bang. A tecnologia moderna baseia-se em dispositivos projetados com a teoria quântica.

A física pré-quântica, a “mecânica clássica” ou “física clássica”, às vezes chamada de “física newtoniana”, geralmente é uma excelente aproximação para objetos muito maiores que moléculas e costuma ser mais simples de usar do que a teoria quântica. Mas é apenas uma aproximação e não funciona, absolutamente, para os átomos dos quais tudo é feito. Mesmo assim, a física clássica é básica para nosso saber convencional, nossa visão de mundo newtoniana. No entanto, sabemos agora, essa visão de mundo clássica é fundamentalmente falha.

Desde tempos antigos os filósofos apresentaram especulações esotéricas sobre a natureza da realidade física. Antes da mecânica quântica as pessoas tinham a opção lógica de rejeitar tais teorias e ater-se a uma visão de mundo clara e direta, própria do senso comum. Hoje, porém, à luz dos fatos demonstrados em experimentos quânticos, a visão de senso comum já não é mais uma opção lógica.

Pode uma visão de mundo sugerida pela mecânica quântica ter uma relevância que vá além da ciência? Consideremos outras perguntas. Será que o fato de Copérnico ter negado que a Terra fosse o centro do cosmo teve uma relevância que ultrapassou a ciência? E quanto à teoria da evolução de Darwin? A relevância da mecânica quântica é, num certo sentido, mais imediata que a das ideias de Copérnico ou de Darwin, que lidam com o muito distante no espaço ou no tempo. A teoria quântica trata do aqui e agora e encontra-se até mesmo com a essência da humanidade, a nossa consciência.

Por que, então, a teoria quântica não teve o impacto intelectual e social das outras duas? Talvez porque elas sejam mais fáceis de compreender – e *muito* mais fáceis de acreditar. Pode-se resumir grosseiramente as implicações de Copérnico e Darwin em poucas frases. Pelo menos para a mente moderna, essas ideias parecem razoáveis. Tente resumir as implicações da teoria quântica, e o que você obtém soa místico.

De qualquer maneira, arriscamo-nos a fazer um resumo aproximado. A teoria quântica nos diz que a observação de um objeto pode influenciar

instantaneamente o comportamento de outro objeto a uma enorme distância – *mesmo que não haja força física ligando os dois*. São as influências que Einstein rejeitou como “ações fantasmagóricas”, mas que agora foi demonstrado que existem. A teoria quântica também nos diz que um objeto pode estar em dois lugares ao mesmo tempo. Sua existência num lugar determinado onde é encontrado torna-se realidade *apenas com sua observação*. A teoria quântica nega a existência de um mundo fisicamente real independente da sua observação. (Veremos que “observação” é um conceito traiçoeiro e controverso.)

Estranhos fenômenos quânticos podem ser demonstrados *diretamente* apenas para objetos pequenos. A física clássica descreve o comportamento razoável de coisas grandes com uma aproximação *extremamente* boa. Mas as coisas grandes são compostas de coisas pequenas. Como visão de mundo, a física clássica simplesmente não funciona.

A física clássica explica o mundo bastante bem; é apenas com os “detalhes” que ela não consegue lidar. A física quântica lida com os “detalhes” perfeitamente; é só o mundo que ela não consegue explicar. Dá para entender por que Einstein estava perturbado.

ERWIN SCHRÖDINGER, um dos fundadores da teoria quântica moderna, contou sua agora famosa história do gato para enfatizar que a teoria quântica diz algo “absurdo”. O gato não observado de Schrödinger, segundo a teoria quântica, está simultaneamente morto e vivo – até que observá-lo *faça com que* esteja ou morto ou vivo. E aqui está algo ainda mais difícil de aceitar: encontrar o gato morto criaria a história de ele desenvolver *rigor mortis*; achá-lo vivo criaria uma história de ele desenvolver fome. *Recuando no tempo*.

O enigma apresentado pela teoria quântica tem desafiado os físicos há oito décadas. Talvez o conhecimento e os talentos de físicos não nos qualifiquem *com exclusividade* para sua compreensão. Nós, físicos, poderíamos portanto abordar o problema com modéstia, ainda que achemos isso difícil.

Notavelmente, a essência do enigma quântico pode ser apresentada em sua totalidade sem envolver muito conhecimento de física. Poderia alguém

não sobrecarregado com anos de treinamento no uso da teoria quântica ter uma nova compreensão? Afinal, foi uma criança que mostrou que o imperador estava sem roupas.

Controvérsia

Nosso livro teve origem em um curso de física amplo para estudantes de artes liberais que em suas últimas semanas focalizava os mistérios da mecânica quântica. Quando eu (Bruce) propus inicialmente essas aulas numa reunião de departamento, o foco final levou um membro do corpo docente a objetar:

Embora o que você está dizendo seja correto, apresentar esse material a não cientistas é o equivalente intelectual de permitir que crianças brinquem com armas carregadas.

O professor que fez a objeção, um bom amigo, tinha uma preocupação válida: algumas pessoas, vendo a sólida ciência da física ligada ao mistério da mente consciente, poderiam ficar suscetíveis a todo tipo de absurdos pseudocientíficos. Minha resposta foi que ensinaríamos “segurança com armas”: enfatizaríamos o método científico. O curso foi aprovado. Atualmente Fred leciona essas aulas, que se tornaram as mais populares de nosso departamento.

VAMOS DEIXAR CLARO de saída que a referência ao “encontro com a consciência” no título não implica nenhum tipo de “controle da mente”; que seus pensamentos sozinhos possam controlar *diretamente* o mundo físico. Será que os resultados indiscutíveis de experimentos quânticos que descrevemos dão a entender algum misterioso papel para a consciência no mundo *físico*? Essa é uma questão calorosamente debatida que surge numa fronteira da disciplina da física.

Como nosso livro se concentra nessa fronteira, onde surge o enigma quântico, trata-se de uma obra necessariamente controversa. No entanto, absolutamente *nada* do que dizemos sobre a mecânica quântica em si é discutível. É o mistério que esses resultados implicam para *além* da física que suscita controvérsia. Para muitos físicos, é melhor que não se fale sobre essa desconcertante estranheza. Físicos (inclusive nós mesmos) podem se sentir desconfortáveis com sua disciplina ao encontrar algo tão “não físico” como a consciência. Embora os fatos quânticos não estejam em discussão, o significado *por trás* desses fatos, aquilo que a mecânica quântica nos conta sobre nosso mundo, é calorosamente discutido. Abordá-lo num departamento de física, especialmente num curso de física para uma plateia não técnica, incorrerá na desaprovação de alguns professores. (Os físicos, é claro, não estão sozinhos em seu desconforto com a questão da consciência surgindo misteriosamente na discussão de fenômenos físicos. Ela pode desafiar a visão de mundo de qualquer um de nós.)

Um biógrafo de Einstein nos conta que nos idos de 1950 um professor do departamento de física que não tivesse estabilidade acadêmica colocaria sua carreira em risco se mostrasse qualquer interesse nas estranhas implicações da teoria quântica. Os tempos estão mudando. A exploração das questões fundamentais da mecânica quântica, que não podem evitar o encontro com a consciência, está aumentando nos dias de hoje e se estende além da física para a psicologia, a filosofia e até mesmo a engenharia de computação.

Como a teoria quântica funciona perfeitamente para todos os propósitos *práticos*, alguns físicos negam que exista algum problema. Tal negativa deixa para os fornecedores de pseudociência os aspectos da mecânica quântica que compreensivelmente mais intrigam os não físicos. O filme *Quem somos nós?* é um exemplo de pseudociência que lamentamos. (Se você não está familiarizado com o filme, veja nosso comentário no capítulo 15.) O *verdadeiro* enigma quântico é mais bizarro e mais profundo do que as “filosofias” que tais tratamentos apoiam. Compreensivelmente, o real mistério quântico requer um pouco mais de esforço mental, mas vale a pena.

NUMA CONFERÊNCIA DE FÍSICA à qual compareceram várias centenas de físicos (inclusive nós dois), uma discussão irrompeu durante o debate após uma das palestras. (O acalorado debate que tomou conta do auditório foi relatado no *New York Times* em dezembro de 2005.) Um dos participantes argumentou que, por causa da sua estranheza, a teoria quântica tinha um problema. Outro negou vigorosamente que houvesse um problema, acusando o primeiro de “não ter entendido a questão”. Um terceiro se intrometeu para dizer: “Nós simplesmente somos jovens demais. Devemos esperar até 2200, quando a mecânica quântica for ensinada no jardim de infância.” Um quarto resumiu a discussão dizendo: “O mundo não é tão real quanto pensamos.” Três desses participantes da discussão têm prêmio Nobel de Física e o quarto é um bom candidato a ganhar.

Essa discussão lembra uma analogia que reflete nossa própria inclinação. Um casal está fazendo terapia conjugal. A esposa diz: “Há um problema no nosso casamento.” O marido discorda, dizendo: “Não há *nenhum* problema no nosso casamento.” O terapeuta sabe quem tem razão.

Interpretando a teoria quântica

Nos últimos vinte anos de sua vida, o questionamento contínuo de Einstein à teoria quântica frequentemente foi desconsiderado como falta de contato seu com a física moderna. Ele de fato estava errado em negar a realidade da “ação fantasmagórica” que descobrira estar sorrateiramente à espreita na teoria quântica. Sua existência, agora chamada de “emaranhamento”, foi demonstrada. Não obstante, Einstein hoje é reconhecido como o crítico mais presciente da teoria. Sua constante alegação de que a estranheza não deve ser deixada de lado é refletida pela atual proliferação de loucas interpretações da teoria quântica.

No capítulo 15 descrevemos várias visões e interpretações rivais do que a mecânica quântica está nos dizendo acerca do mundo físico – e, talvez, acerca de nós mesmos. São todas propostas sérias desenvolvidas com extensiva análise matemática. Sugerem alternadamente a criação da

realidade física pela observação, a existência de muitos mundos paralelos com cada um de nós em cada um deles, a interconectividade universal, o futuro afetando o passado, uma realidade além da realidade física e até mesmo um questionamento do livre-arbítrio.

Na fronteira onde a física não obriga mais a um consenso, o significado da teoria quântica é controverso. A maioria das interpretações do que está se passando mostra como a questão da consciência pode ser ignorada para todos os propósitos *práticos*. Entretanto, ao explorar os alicerces da teoria, a maioria dos especialistas contemporâneos admite um mistério, que geralmente encontra a consciência. Embora seja nossa experiência mais íntima, a consciência é mal definida. É algo com que a física não consegue lidar, mas que não pode ignorar.

Frank Wilczek, laureado com o Nobel de Física, recentemente comentou:

A literatura relevante [sobre o significado da teoria quântica] é famosa por ser contenciosa e obscura. Acredito que assim permanecerá até que alguém elabore, dentro do formalismo da mecânica quântica, um “observador”, isto é, uma entidade-modelo cujos estados correspondam a uma caricatura reconhecível da consciência quântica. ... Esse é um projeto formidável, que se estende para bem além do que é convencionalmente considerado física.

Ao apresentar os fatos indiscutíveis e enfatizar o enigma com que eles nos desafiam, não propomos uma solução para esse enigma. Em vez disso, oferecemos aos leitores uma base para suas próprias ponderações. Singularmente, essa questão controversa pode ser entendida com pouco conhecimento prévio de física.