

WICK, D. *The infamous boundary: seven decades of heresy in quantum physics*. New York: Copernicus, 1996, 332 p.

Talvez um dos únicos pontos não controversos acerca da mecânica quântica seja o fato de que a teoria é um sucesso em matéria de predições. Por outro lado, a interpretação desta teoria, juntamente com uma explicação coerente sobre como ela ‘descreve’ a realidade, é questão de pura controvérsia. Com efeito, um dos principais aspectos desta disputa se refere ao modo como devemos entender (ou seja, interpretar) aquilo de que a teoria trata. Esta é uma querela que começa com o próprio nascimento da chamada “nova” mecânica quântica nos anos de 1925 e 1926 e se alonga até os dias de hoje. O livro de que tratamos aqui, *The Infamous Boundary: Seven Decades of Heresy in Quantum Mechanics*, de autoria de David Wick, é mais uma testemunha de que a questão sobre a interpretação que pode ser considerada a mais adequada para a mecânica quântica (se alguma houver) ainda é um problema que desperta o interesse tanto de cientistas quanto de filósofos e que, com certeza, não se esgotou no tempo dos criadores desta teoria (que inclui figuras como Heisenberg, Schrödinger, Bohr, Einstein, Dirac entre outros).

Trata-se de um livro destinado ao grande público, mas também a especialistas que desejam uma abordagem que abranja quase todos os aspectos que são comuns à discussão em torno do desenvolvimento e interpretação da mecânica quântica. A exposição de Wick é em geral clara e precisa, entremeando história, exemplos ilustrativos, muitas anedotas (algumas vezes beirando o exagero) e divulgação científica de qualidade. Apesar de deixar a desejar no que se refere a uma explicação mais detalhada de algumas passagens mais obscuras de algumas das propostas tratadas, pode-se dizer que o resultado final é, como dito, um livro de interesse geral que não pede ao leitor o domínio de muitos pré-requisitos e que também não se utiliza de uma sofisticação matemática comum em exposições padrão desta teoria. Para os que desejam tal sofisticação, o livro inclui um apêndice matemático de cerca de cinquenta páginas, escrito por W. Farris, trazendo uma formulação

geral da mecânica quântica em bases um pouco mais matemáticas e abordando temas como o tratamento da probabilidade no contexto quântico e as desigualdades (ou teoremas) de Bell (primeiro e segundo). Trata-se assim de um excelente livro para filósofos da ciência que estão começando a tomar contato com a teoria quântica e suas controvérsias, um livro que aponta diretamente para as dificuldades da teoria. No entanto deve ficar claro desde o início: não se trata de um livro de caráter meramente expositivo, pois, como mencionaremos adiante, Wick pretende defender uma posição realista, contra posições positivistas e anti-realistas. Parte de sua argumentação, deste modo, se volta contra a ortodoxia de Copenhague e sua aparentemente injustificada divisão do mundo em dois domínios, um clássico e um quântico, regidos por leis distintas e entendidos de modo completamente distintos. Wick busca argumentar que esta divisão (a *Infamous Boundary* – termo que dá título à obra e que foi, diga-se de passagem, retirado de um artigo de J. S. Bell – BELL, 1987, p. 35) não se justifica de modo algum e que podemos ter sim uma compreensão realista da mecânica quântica. Interessante notar que, neste contexto, os realistas tornam-se os céticos que assumem a posição de duvidar da ortodoxia (principalmente da chamada interpretação de Copenhague), enquanto os positivistas são rotulados como dogmáticos defensores do *status quo*.

Assim, a proposta de Wick é clara desde o início de seu livro: pretende questionar a ortodoxia da interpretação de Copenhague e defender (ou pelo menos argumentar a favor da plausibilidade de) uma interpretação realista da mecânica quântica, na qual os objetos tratados pela teoria possuem propriedades independentes do observador. Admite-se, porém, que, em alguns casos, uma mensuração possa sim afetar o objeto mensurado (por exemplo, no caso da medição da temperatura de uma pequena quantidade de água com um termômetro: a temperatura do termômetro irá interferir na temperatura dessa pequena quantidade de água e resultar em um valor ‘incorreto’. Todavia, essa diferença pode ser explicada e/ou compensada – cf. p. 172). Uma das perguntas que Wick coloca é que, já que existem alternativas realistas à interpretação de Copenhague, como, por exemplo, a interpretação de David Bohm (apresentada em um capítulo de seu livro), por que ainda se trata este tipo de opção como uma heresia? Segundo Wick, as propostas de tipo realista também merecem ser levadas a sério, e um dos objetivos deste autor é exatamente mostrar que este tipo de interpretação consegue resistir às principais objeções levantadas contra ela. Para tanto, o autor argumenta que será preciso primeiramente separar teoria e ideologia e mostrar o que a *teoria* implica e o que a *autoridade* de figuras como Niels Bohr (um dos pais da mecânica quântica e um dos principais proponentes da interpretação de

Copenhague, segundo Wick) introduziu - muitas vezes sem justificações adequadas - no imaginário coletivo. De fato, um tema recorrente no livro é a afirmação de que a ortodoxia da interpretação de Copenhague, com seu tom altamente positivista está fundamentada, segundo o autor, muito mais em dogmas, obscuridades e em uma sutil ideologia, do que em argumentos aceitáveis (cf. p. xiii). Desse modo, será preciso abrir caminho por estas vias para mostrar que, ao contrário do que se argumenta usualmente, uma interpretação realista, longe de ser apenas uma curiosidade ou uma mera possibilidade conceitual, é altamente recomendável.

A partir de agora, trataremos mais detidamente de alguns pontos específicos discutidos no livro.

Nos primeiros capítulos, Wick apresenta uma breve história do início dos desenvolvimentos da teoria quântica desde o final do século XIX e começo do XX. Esta recapitulação se inicia com o positivismo de Mach, que duvidava da existência de átomos e restringia o que podemos conhecer àquilo que fosse observável (um princípio metodológico que será retomado por Heisenberg no desenvolvimento da mecânica de matrizes), passando pelas contribuições de Einstein com sua teoria sobre o efeito fotoelétrico e pelo átomo de Bohr até os desenvolvimentos da mecânica de matrizes de Heisenberg, da mecânica ondulatória de Schrödinger e do Princípio de Complementaridade de Bohr. A exposição de Wick segue a ordem cronológica dos eventos, reservando grande espaço para anedotas e aspectos centrais da biografia dos protagonistas do desenvolvimento da teoria quântica (o que é, diga-se de passagem, um grande atrativo para leitores que não estão acostumados com a carga teórica do assunto). Wick chama a atenção principalmente para o papel de Bohr nesta etapa do desenvolvimento da teoria. Segundo ele, foi Bohr o responsável por se criar uma espécie de hegemonia positivista no que diz respeito à interpretação da teoria quântica.

Um dos conceitos-chave na interpretação proposta por Bohr, posteriormente adotada por vários dentre os principais físicos envolvidos no desenvolvimento da teoria quântica (com as notáveis exceções de Broglie, Einstein e Schrödinger), foi a noção de complementaridade. Este, como Wick enfatiza (até demais), é um dos conceitos mais vagos e difíceis de serem compreendidos na literatura sobre a mecânica quântica. A prosa de Bohr, em geral confusa e por vezes ambígua, dificulta ainda mais a compreensão desta noção-chave da interpretação de Copenhague. Eventos complementares, falando por alto, são aqueles que são mutuamente excludentes e conjuntamente exaustivos, ou seja, não ocorrem simultaneamente, mas são ambos imprescindíveis para se explicar completamente o fenômeno. Deste modo, por exemplo, a famosa dualidade onda-partícula é um exemplo

paradigmático em que a noção de complementaridade deve ser empregada. Realmente, nada pode ser onda e partícula ao mesmo tempo. Porém, se tomarmos o famoso experimento das duas fendas e tentarmos explicar o padrão de interferência registrado em um anteparo quando *as duas* fendas estão abertas, só podemos fazê-lo se utilizarmos a noção de onda e os conceitos de interferência construtiva e destrutiva; por outro lado, quando apenas *uma* das fendas está aberta, o padrão formado pela chegada dos 'objetos' no anteparo atrás da fenda é outro, o qual só pode agora ser explicado se passarmos a utilizar a noção de partícula (e com isso também podemos assumir o fato de que aparentemente, neste caso, podemos falar de uma trajetória bem definida para essas partículas - cf. p. 45-46). Assim, um elétron, por exemplo, é onda e é partícula, mas isto não significa que possua as duas características ao mesmo tempo: estes dois conceitos, com relação ao elétron, são complementares. Outra versão do princípio da complementaridade (que Wick simplesmente rejeita como muito confusa) diz respeito aos modos de descrição dos sistemas quânticos. Por um lado, um sistema quântico quando considerado apenas em si mesmo, não perturbado por aparatos de mensuração, não poderá ser conhecido. Por outro lado, se quisermos conhecer algo desse sistema devemos efetuar uma medição sobre ele. Podemos então conhecer os valores de determinadas grandezas (aquelas sendo medidas), mas não podemos atribuir os valores assim obtidos ao sistema físico *em si* (como acontece na mecânica clássica), haja vista que ao realizarmos esta medição interferimos de modo essencial com o sistema quântico. De certo modo, em uma medição quântica, é impossível dissociar o sistema do aparato de medição para podermos distinguir o que é realmente uma propriedade do sistema e o que é na verdade resultado de interferência do aparato: aparato e sistema tornam-se um só e são complementares.

A complementaridade também é utilizada para se interpretar as relações de incerteza de Heisenberg. Estas relações, derivadas por Heisenberg para pares de observáveis que não comutam, sendo os mais famosos deles os pares posição-momento e energia-tempo (tempo não é, estritamente falando, um observável), despertam muita controvérsia sobre o modo como devem ser entendidas, tendo sido responsáveis até mesmo por um pequeno atrito entre Heisenberg e Bohr com respeito a isto. Como Wick argumenta (p. 73-74), a leitura das relações como nos dizendo que não podemos conhecer os valores para estas duas grandezas simultaneamente não se justifica, pois, permitindo a possibilidade de retrodição, em muitos casos podemos conhecer sim os dois valores (como o momento e posição, por exemplo) com bastante precisão; só não podemos é prever estes valores, com um grau de precisão arbitrária, antes do experimento ser feito (de qualquer forma para Heisenberg era, na verdade,

“matéria de crença pessoal se um cálculo desse tipo, concernindo a história passada [da partícula], pode designar qualquer realidade física ou não [ao ‘caminho’ da partícula]” – p. 74). Heisenberg também havia proposto que podemos ilustrar as relações de incerteza através da famosa experiência mental do microscópio, na qual observamos um elétron com um microscópio. Para determinarmos, por exemplo, a posição do elétron com grande precisão, devemos iluminá-lo com bastante luz, o que resulta que os fótons do feixe luminoso ao, atingirem o elétron, perturbam seu momento. Para determinarmos, por sua vez, seu momento com alta precisão, devemos fazer o elétron colidir com outra partícula, de modo que sua posição se alterará e não poderemos mais determiná-la precisamente. Segundo Bohr, esta forma de se motivar as relações de incerteza gera grandes dificuldades, e o modo correto de as entendermos, na verdade, consiste em percebermos que elas expressam o fato de que para medir grandezas como momento e posição, que figuram na formulação mais famosa das relações de incerteza, precisamos de aparatos de medição complementares que não podem ser utilizados simultaneamente (p. 43-44).

Mas a utilização mais importante da complementaridade, e que ocupa um papel central no livro de Wick, consiste em seu uso para mostrar que o famoso argumento de Einstein-Podolski-Rosen contra a alegada completude da mecânica quântica estava equivocado. Este é, segundo o autor, um dos principais golpes que deslançou o crescente sucesso da interpretação de Copenhague e a crença de que interpretações realistas não teriam sucesso. Einstein, desde os primórdios da teoria quântica, não escondia que estava insatisfeito com o seu caráter eminentemente probabilístico. Segundo ele, a mecânica quântica deveria ser parte de uma teoria mais completa da realidade, na qual a probabilidade representasse no máximo o grau de ignorância acerca das informações que temos disponíveis em determinado momento e não uma característica intrínseca da realidade. Sustentou esta crença até o fim de sua vida, tentando construir uma teoria de campo unificado em que os postulados quânticos se tornassem ‘casos particulares’ dos axiomas desta teoria unificada. Sua busca foi infrutífera, mas muitos dos princípios filosóficos que o motivaram despertam interesse até hoje.

O primeiro grande encontro de Einstein e Bohr e o conseqüente debate que daí resultou (que ficou famoso como sendo um dos maiores debates intelectuais da história), iniciou nas Conferências Solvay de 1927, na qual os grandes nomes da mecânica quântica (que acabara de aparecer) discutiam seu significado e sua interpretação. Entre eles estavam Heisenberg e Born (que propunham, seguindo uma linha positivista, que a teoria era completa e não admitia extensões), e Einstein, que concordava que de Broglie

estava no caminho certo ao propor uma interpretação dualista, aceitando tanto ondas quanto partículas em seu quadro conceitual, mas buscando uma interpretação mais próxima da física clássica para os fenômenos quânticos (cf. p. xi). O próprio de Broglie, no entanto, foi depois temporariamente persuadido de que sua posição não se sustentava (devido essencialmente à críticas feitas a ele neste mesmo congresso, principalmente aquelas apresentadas por Wolfgang Pauli, que era outro simpatizante das idéias de Bohr). Foi também nesse congresso que Bohr apresentou seu Princípio de Complementaridade pela segunda vez; a primeira com Einstein na platéia (Bohr já havia apresentado o seu Princípio de Complementaridade meses antes em um congresso em Como, na Itália, mas Einstein estava ausente). Segundo Bohr, a complementaridade engloba um dos principais aspectos da nova teoria, a chave para se resolver muitas das dificuldades apresentadas por ela. Em seus vários textos tratando do assunto, diversas formulações são propostas com o objetivo de se atingir uma versão rigorosa deste princípio, aparentemente, sem muito sucesso (muitas vezes devido, como dito, à própria obscuridade da prosa de Bohr). Com efeito, Wick, em sua exposição, enfatiza a vagueza e falta de precisão desse cientista ao formular este princípio, e levanta a questão sobre como um princípio tão vagamente enunciado possa ter tido tanto sucesso e agregado tantos partidários.

A princípio, o alvo das críticas de Einstein nessas conferências são as relações de incerteza de Heisenberg. A famosa disputa com Bohr, que começava geralmente pela manhã durante o café, com Einstein propondo alguma experiência mental (as famosas *Gedankenexperimente*), e terminavam no final da tarde, com Bohr apontando algum equívoco ou dificuldade na experiência, entraram para a história (vale a pena enfatizar que todas as críticas ou experimentos mentais propostos por Einstein durante as conferências, no intuito de mostrar que a mecânica quântica estava errada ou era incompleta, foram respondidas ou mostradas que estavam equivocadas por Bohr, como se costuma aceitar). Posteriormente, em 1935, Einstein, com seus colegas Boris Podolski e Nathan Rosen, passou a atacar não mais o princípio de incerteza, mas a própria ideia de que a teoria realmente nos fornece uma descrição completa da realidade, entendida grosso modo como uma descrição que não admite extensões adicionais, ou seja, que captaria todos os aspectos relevantes da realidade. Seu argumento – que ficou conhecido pela sigla dos nomes de seus autores, EPR – propunha que existiam “elementos da realidade” que não eram captados pela teoria quântica e, logo, esta seria incompleta. O argumento começa com uma caracterização do que conta como um *elemento da realidade* (p. 70): “Se, sem perturbar o sistema de qualquer modo, podemos predizer com certeza (i.e., com

probabilidade igual à unidade), o valor de uma quantidade física, então existe um elemento da realidade física correspondendo a esta quantidade física”. Em linhas gerais, o argumento começa propondo que tomemos um sistema composto de dois subsistemas  $a$  e  $b$  que interagiram previamente, e estão localizados em laboratórios bastante afastados. O argumento começa deixando claro que a mecânica quântica, apesar de limitar nosso conhecimento de grandezas que não comutam, como posição e momento, nos permite definir a partir delas duas grandezas que podem ser medidas simultaneamente: a distância entre  $a$  e  $b$ , denotada  $d(a,b) = q_a - q_b$  e a soma dos momentos de  $a$  e  $b$ , denotada  $s(a,b) = p_a + p_b$ . Estas duas grandezas podem ser medidas com certeza, ou seja, com probabilidade igual a 1. Com uma medição da posição  $q_a$  podemos atribuir com certeza um valor para a posição de  $b$  a partir da relação  $q_b = q_a - d(a,b)$ , sem para isso perturbar a partícula  $b$ . Além disso, podemos arranjar as coisas de modo que a soma dos momentos seja 0, e assim, atribuir um valor preciso para o momento de  $b$ . Deste modo,  $b$  terá tanto uma posição quanto um momento bem determinado, e ambos são elementos da realidade. Isto contraria o que diz a mecânica quântica, a saber, que esta partícula estaria sujeita às limitações impostas pelas relações de incerteza e, portanto, não seria possível conhecer a sua posição e o seu momento ao mesmo tempo. Se há algo na realidade que não possui nenhum correspondente na teoria e mesmo assim é um elemento da realidade então, conclui o argumento EPR, a teoria é incompleta. Devemos notar que, mesmo fazendo uso das relações de incerteza, este não é um argumento contra elas, mas antes contra a completude da teoria.

Bohr resolve esta dificuldade apelando para a complementaridade: medir cada uma das distintas grandezas envolveria a utilização de diferentes aparatos que são complementares (ou seja, estão numa mesma descrição teórica) e que não podem ser utilizados simultaneamente. No momento em que medimos uma das grandezas, utilizamos um aparato, e isto impede que se possa medir a outra grandeza. Assim, não faz sentido atribuir valores a posição e momento ao mesmo tempo, pois a medição de um deles exclui a medição da outra. Esta explicação sucinta, escrita no confuso estilo de Bohr, segundo Wick, deveria ter levantado suspeitas pelo menos entre os físicos (p. 72-74). Além disso, o argumento foi formulado precisamente para evitar este tipo de objeção, de modo que, segundo Wick, Bohr não acertou no alvo (“and he begged the question”, p. 75). No entanto, a maioria dos físicos não pensou assim. A história que se conta geralmente é a de que Bohr ‘derrotou’ Einstein e que mostrou assim que a interpretação de Copenhague parecia estar no rumo certo. Mas, como esta pretensa vitória pode se basear em fundamentos tão frágeis? A princípio, tratava-se de uma disputa

epistemológica (p. 74), que não parecia ter nenhuma possibilidade de ser travada no campo experimental. Porém, a situação começou a mudar depois que os dois principais protagonistas do grande debate já estavam mortos.

Durante o período em que viveram Einstein e Bohr, as tentativas de se completar a mecânica quântica com novas variáveis, e assim obter uma formulação mais adequada para os gostos realistas, foram praticamente banidas por alguns teoremas proibitivos, os *no-go theorems*. Estes teoremas são resultados matemáticos que limitam certas versões da teoria, como, por exemplo, aquelas que admitem variáveis ocultas (que é o caso das teorias realistas). Seguindo o tom geral do livro de Wick, qual seja, de desmistificar afirmações que se sustentam principalmente no peso da autoridade de quem as propôs, grande importância é atribuída ao fato de que o primeiro destes teoremas (demonstrado por John von Neumann, em 1932), que supostamente demonstrava a impossibilidade de se ‘completar’ a mecânica quântica com variáveis ocultas, continha hipóteses demasiado restritivas. Durante muito tempo este assunto foi considerado como tendo sido encerrado por von Neumann, baseando-se principalmente em sua autoridade como matemático. No entanto, com a percepção de que este teorema proibia somente uma classe muito limitada de teorias de variáveis ocultas (classes essas que se percebeu não valerem em um contexto quântico que interpreta fenômenos da realidade física, mas apenas em um contexto matemático abstrato), uma nova onda de interesse no assunto teve impulso.

O próximo passo nessa controvérsia foi dado por John Bell, um físico irlandês, em 1964. Bell, além de ser um dos que contribuíram para apontar o equívoco de Von Neumann, ainda derivou um conjunto de desigualdades que deveriam ser respeitadas por qualquer teoria realista local, e sugeriu que estas desigualdades poderiam ser testadas experimentalmente. Falando por alto, uma teoria é realista local se assume que um sistema físico possui valores determinados para todos os observáveis antes de efetuarmos uma medição (realismo), e se a medição em um sistema A afastado espacialmente de um sistema B não afeta B instantaneamente. Com o advento das desigualdades de Bell surgia uma possibilidade de se por à prova o cerne da disputa entre Bohr e Einstein; algo impensado talvez até mesmo para estes dois grandes físicos que ficaram sempre restritos ao campo das experiências de pensamento. A possibilidade de se realizar esses testes era a chance que se tinha de mostrar se a possibilidade vislumbrada por Einstein era ou não exequível. Wick discute com vagar as preparações para esses testes, detalhando os bastidores dos experimentos e como os primeiros resultados colaborativos foram alcançados. Desde que os testes começaram a ser realizados, os resultados se mostraram favoráveis à mecânica quântica (e à interpretação de



Copenhagen), violando as desigualdades. Isso mostra que uma teoria realista não é possível? Não, segundo Wick. Os próprios experimentos envolvem hipóteses às quais não se prestou a devida atenção, mas que podem ser questionadas se desejamos fornecer uma interpretação realista da teoria (cf. p. 135-136) e é, segundo Wick, este o caminho que devemos trilhar se quisermos obter uma teoria realista. Além disso, as dificuldades técnicas inerentes a estes experimentos não podem deixar de ser mencionadas. Fica em aberto como esta interpretação deve ser formulada, mas, pelo menos existem razões para se pensar que não estão completamente descartadas.

O livro de Wick ainda contém discussões interessantes, mesmo que breves, de alguns dos principais ‘paradoxos’ da mecânica quântica, como o efeito Zenão quântico, o gato de Schrödinger, o problema da medição, entre outros. Encontramos também uma concisa discussão acerca de algumas interpretações alternativas da mecânica quântica, como a interpretação dos muitos mundos, a lógica quântica e a probabilidade quântica. Como estas propostas não atraem Wick, são discutidas de modo resumido. Em particular, a teoria dos muitos mundos é descartada por ser difícil de aceitar, filosoficamente, que uma pluralidade de mundos que não interagem entre si existe realmente (trata-se de “ficção científica”, segundo Wick, p. 196). As lógicas quânticas, por sua vez, são abandonadas por desistirem de se entender que a validade dos argumentos deve ser independente das circunstâncias e do assunto tratado, e ainda por não prestarem a devida atenção ao aparato de medição (cf. p. 196).

Apesar de tratar de modo bastante claro e acessível vários temas já clássicos na literatura sobre os fundamentos da mecânica quântica e filosofia da física, achamos que o livro de Wick possui alguns pontos fracos. O debate entre Einstein e Bohr, por exemplo, é um tema amplamente estudado, sendo muito discutido entre filósofos da ciência. Sentimos falta, na exposição de Wick, de uma aproximação dos estudos mais recentes que estão sendo feitos sobre o assunto, tanto por especialistas em Einstein quanto em Bohr, que resgatam o debate trazendo-o a uma nova luz. A velha imagem de um Einstein derrotado, levado a trabalhar no isolamento em uma teoria unificadora, e de um Bohr triunfante, dogmático, que impunha seu ponto de vista aos físicos mais jovens que o visitavam no seu Instituto em Copenhague, já foi revista, e não é mais levada tão a sério: há bons argumentos para se mostrar que se trata, na verdade, de uma caricatura. Assim, por exemplo, o fato de o Princípio de Complementaridade apresentar-se tão vago dá margem a diversas interpretações e formulações, várias delas já explorados pelos estudiosos da filosofia de Bohr, algumas mais plausíveis no corpo de sua obra, outras nem tanto. Claro, isto não significa que o

princípio em questão tenha deixado de ser controverso ou que deva ser aceito ‘por definição’, mas Wick sequer discute ou menciona o fato de que existem diversas formulações diferentes deste princípio, limitando-se simplesmente a desqualificá-lo como vago e não compreensível. A alegação de Bohr de que somente podemos comunicar resultados de experimentos com a linguagem da física clássica (idéia conhecida como Princípio da Correspondência), e de que este é um requisito para a objetividade dos mesmos, é rapidamente discutida e rejeitada por Wick sem nem ao menos relacioná-la com a complementaridade.

Do mesmo modo, no que diz respeito a Einstein e seu papel no debate, também há uma enorme literatura que surge para fazer justiça à plausibilidade de sua posição e mostrar que há uma interessante filosofia por trás dela. Wick se esquece de mencionar, por exemplo, que o próprio Einstein não ficou satisfeito com o argumento apresentado no artigo EPR (que fora escrito por Podolski) e posteriormente reformulou sua objeção, deixando claro, sem utilizar critérios de realidade e nada deste tipo, qual era seu principal ponto. Todavia, as idéias de Einstein apresentadas nesses artigos não afetaram os desenvolvimentos subseqüentes da mecânica quântica e é duvidoso que alguma vez possam fazê-lo (PAIS, 1995, p. 542). Como enfatiza Howard (HOWARD, 2010), Einstein estava interessado em argumentar a favor da separabilidade de sistemas físicos, ou seja, sistemas físicos separados espaço-temporalmente deveriam contar como sistemas distintos, como distintos indivíduos que podem ser estudados separadamente. Ele continuava trabalhando no assunto ainda depois de 1935. No entanto, ambos, Einstein e Bohr, perceberam que no centro dessas discussões estava o emaranhamento (*entanglement*), fenômeno que perpassa a mecânica quântica e dá a ela grande parte de seu mistério. Este ponto é pouco explorado por Wick, e renderia mais justiça ao debate conforme ele é entendido atualmente.

Outro ponto que poderia ter sido explorado com mais afinco diz respeito à própria interpretação de Copenhague. Muito se argumenta de que se trata da ortodoxia corrente e de que Bohr é o principal responsável por sua formulação e defesa (e o livro de Wick, como dito, contribui para reforçar esta imagem). Todavia, como foi enfatizado anteriormente, dificilmente encontramos uma formulação precisa do que afinal de contas consiste a interpretação de Copenhague, de seus princípios e teses fundamentais. Em geral, além do Princípio de Complementaridade de Bohr, ainda está envolvida em sua formulação alguma forma de interpretação do postulado do colapso, na qual os resultados de uma medição passam do reino das probabilidades para um resultado efetivo, ou porque a “natureza faz uma escolha” (como defendia Dirac), ou ainda por força de um observador (como

queria Heisenberg). No entanto, o próprio Bohr não aceitava essas interpretações. É claro que Bohr e os físicos que são comumente associados com a interpretação de Copenhague partilhavam de muitos pressupostos e pontos de vista, mas de modo algum podemos dizer que havia *uma única* interpretação de Copenhague e que esta fosse defendida por todos aqueles que são usualmente vistos como seus aderentes. Seria interessante que este tipo de discussão fosse apresentada e que Bohr e Heisenberg, apesar de todas suas semelhanças, tivessem seus pontos de vista mais nitidamente distinguidos no que diz respeito à interpretação da mecânica quântica (ver, por exemplo, HOWARD, 2010a e as referências ali contidas).

Em resumo, pode-se dizer que se trata de um livro interessante, útil para se tomar contato com algumas das principais 'heresias' no campo da mecânica quântica sem entrar em detalhes técnicos. Algumas vezes, o interesse do autor em defender essas heresias e denegrir a ortodoxia acabam por prejudicar a clareza da exposição (como, por exemplo, no caso da derivação das desigualdades de Bell), principalmente quando se trata de trazer ao leitor do modo mais claro o possível a doutrina de seus adversários, soando um pouco preconceituoso em alguns pontos. Em alguns momentos do livro, as próprias heresias recebem apenas um tratamento superficial, que poderia ser mais aprofundado em um livro como este. Um exemplo desta situação diz respeito à interpretação de Bohm que, apesar de receber bastante destaque no livro, ainda assim não é apresentada com o grau de detalhes suficiente para se propiciar ao leitor uma impressão nítida daquilo que está por trás de seus principais aspectos. Estes, no entanto, são defeitos que podemos relevar, já que existem outros lugares nos quais podemos procurar este tipo de informação e haja visto que, não obstante, o resultado da leitura do livro como um todo é positivo.

### **Referências Bibliográficas**

BELL, J. S. "Introduction to the Hidden-variable Question". In: BELL, J. S., *Speakable and Unsayable in Quantum Mechanics*. Cambridge: Cambridge University Press, 1987, p. 29-39.

HOWARD, D. "Revisiting the Einstein-Bohr Dialogue." Disponível em <http://www.nd.edu/~dhoward1/Revisiting%20the%20Einstein-Bohr%20Dialogue.pdf>

\_\_\_\_\_. *Who Invented the "Copenhagen Interpretation? A Study in Mythology*. Disponível em <http://www.nd.edu/~dhoward1/Copenhagen%20Myth%20A.pdf>

PAIS, A. “*Sútil é o senhor...*”: *a ciência e a vida de Albert Einstein*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1995.

WICK, D. *The infamous boundary: seven decades of heresy in quantum physics*. New York: Copernicus, 1996.

Jonas Rafael Becker Arenhart  
*Universidade Federal da Fronteira Sul*

Jaison Schinaider  
*Universidade Federal de Santa Catarina*