

III. A INTERPRETAÇÃO DE COPENHAGUE DA TEORIA QUÂNTICA

A INTERPRETAÇÃO de Copenhague da teoria quântica tem, como ponto de partida, um paradoxo. Qualquer experiência em física, refira-se ela a fenômenos da vida comum ou a eventos atômicos, tem que ser descrita na terminologia da física clássica. Os conceitos da física clássica propiciam a linguagem por meio da qual descrevemos os arranjos experimentais e enunciamos seus resultados. Não podemos e não temos como substituí-los por outros. Ainda assim, a aplicação desses conceitos sofre as limitações ditadas pelo princípio da indeterminação. Devemos ter em mente o alcance limitado da aplicabilidade desses conceitos, mas não podemos melhorá-los e, assim, não há por que tentar.

Para um melhor entendimento desse paradoxo, é útil compararmos os procedimentos utilizados na interpretação teórica de uma experiência em física clássica e em física quântica. Na mecânica newtoniana, por exemplo, podemos começar pela medida da posição e velocidade do planeta cujo movimento queremos estudar. O resultado da observação feita é traduzido matematicamente com auxílio dos valores numéricos que a experimentação revelar. No passo seguinte, as equações de movimento são utilizadas para, desses valores das coordenadas e momentos lineares, em um dado instante de tempo, alcançar os valores futuros dessas coordenadas e momentos ou de qualquer outra grandeza do sistema. E, dessa maneira, o astrônomo prevê as propriedades do sistema que pesquisa a qualquer tempo futuro. Ele poderá, por exemplo, prever o instante exato em que ocorrerá um eclipse da lua.

Na física quântica, o procedimento é ligeiramente diferente. Nós poderíamos, digamos, estar interessados no movimento de um elétron em uma câmara de Wilson e poderíamos determinar, por algum tipo de observação, a posição e velocidade iniciais do elétron. Essa determinação, todavia, não seria precisa; ela traria consigo, pelo menos, as imprecisões que derivam da correspondente relação de incerteza e, provavelmente, ainda erros maiores devido às dificuldades da técnica experimental utilizada. Mas são as imprecisões do primeiro tipo mencionado que nos permitem traduzir o resultado da observação na linguagem matemática da teoria quântica. Nesse ponto, exibe-se uma função de probabilidade que representa a situação experimental, no instante em que a observação foi feita, nela estando também incluídos os eventuais

erros cometidos nas medidas.

Essa função de probabilidade representa a mistura de duas coisas, em parte um fato e em parte nosso conhecimento desse fato. Ela representa um fato, na medida em que prescreve uma probabilidade igual à unidade (isto é, certeza completa) à condição inicial do sistema: o elétron movendo-se com a velocidade observada, na posição observada. A qualificação "observada" refere-se à observação dentro da precisão do experimento. A função de probabilidade representa, também, nosso conhecimento, no sentido de que um outro observador poderia, talvez, conhecer a posição do elétron com maior precisão. O erro experimental não representa — pelo menos dentro de certos limites — uma propriedade do elétron mas sim o conhecimento deficiente que temos acerca do elétron. E a deficiência desse conhecimento está também expressa na função de probabilidade.

Na física clássica, deve-se também considerar, em uma experiência cuidadosamente conduzida, os erros experimentais. Como resultado, obteríamos uma distribuição de probabilidades para os valores iniciais das posições e velocidades e, assim, algo muito semelhante à função de probabilidade da mecânica quântica; com a diferença que as incertezas vinculadas ao princípio de indeterminação estão ausentes na física clássica.

Na teoria quântica, após ter sido determinada a função de probabilidade, no instante inicial, através das observações feitas, pode-se calcular com auxílio das leis quânticas a função de probabilidade em qualquer instante futuro e, dela, determinar a probabilidade de ocorrência, em uma medida, de um certo valor da grandeza observada. Nós podemos, por exemplo, prever a probabilidade de se achar um elétron, em um instante posterior, em um dado ponto, em uma câmara de Wilson. Deve-se, todavia, chamar atenção ao fato de que a função de probabilidade, por si mesma, não representa um curso de eventos, no correr do tempo. Ela representa uma tendência para a ocorrência de eventos e nosso conhecimento desses eventos. Dada uma função de probabilidade, ela somente poderá ser ligada à realidade se uma condição essencial for satisfeita, a saber, se uma nova medida for feita para determinar uma certa propriedade do sistema. Somente assim a função de probabilidade nos permitirá calcular o resultado provável da nova medida. E o resultado da medida será, novamente, expresso nos termos da física clássica.

A interpretação teórica de uma experiência requer, portanto, três estágios distintos: (1) traduzir a situação experimental inicial em uma função de probabilidade; (2) seguir a evolução temporal dessa função; (3) escolher uma nova medida a ser feita no sistema físico considerado, cujo resultado poderá então ser calculado da função de probabilidade. No primeiro estágio, o princípio de indeterminação tem necessariamente que ser ouvido. No segundo, não pode ser descrito em termos dos conceitos da física clássica; não há descrição alguma do que ocorre no sistema, do instante em que foi feita a observação inicial ao instante em que for efetuada a próxima medida. E é somente no terceiro estágio que mudamos novamente, passando do "possível" ao "real".

Ilustremos esses três estágios em uma *experiência ideal* simples. Já dissemos que o átomo consiste de um núcleo e de elétrons que em torno dele circulam; afirmou-se, também, ser duvidoso o conceito de órbita eletrônica. Poder-se-ia argumentar ser pos-

sível, pelo menos em princípio, observar-se o elétron em sua órbita. O experimentador simplesmente olharia através de um microscópio de grande poder resolutivo e veria então o elétron revolvendo em sua órbita. Esse microscópio de alto poder resolutivo não poderia, certamente, utilizar a luz ordinária, pelo fato da imprecisão, na medida da posição do elétron, jamais poder ser menor que o comprimento de onda da luz. Mas um microscópio que utilizasse raios gama, cujo comprimento de onda é menor que o tamanho do átomo, serviria para o propósito indicado. Um tal microscópio ainda não foi construído, o que não nos proíbe de discutir essa experiência ideal.

Uma pergunta: é o primeiro estágio — a tradução do resultado da observação em uma função de probabilidade — realmente possível? Ora, ele seria possível somente se a relação de incerteza, de posição e momento linear, fosse satisfeita após a observação. A posição do elétron seria conhecida com uma precisão dada pelo comprimento de onda do raio gama. E o elétron poderia ter estado praticamente em repouso, antes da observação. Todavia, no ato de observação, pelo menos um quantum de radiação gama teria atravessado o microscópio e seria, então, defletido pelo elétron. Assim, portanto, o elétron seria empurrado pelo quantum de radiação gama, o que viria modificar sua posição e momento linear, e aqui se pode mostrar que a incerteza dessa mudança seria suficientemente grande para garantir a validade da relação de incerteza correspondente. A conclusão é, pois, que não haveria dificuldade alguma com respeito ao estágio primeiro.

Poderemos, ao mesmo tempo, perceber facilmente que não existe maneira alguma de se observar a órbita do elétron, em sua revolução ao redor do núcleo. O estágio segundo mostraria um pacote de ondas, não em movimento em torno do núcleo, mas sim afastando-se do átomo, pois o primeiro quantum teria arrancado o elétron do átomo. O momento linear do quantum de radiação gama seria muito maior do que o momento linear original do elétron, se o comprimento de onda do raio gama fosse muito menor do que o tamanho do átomo. Portanto, o primeiro quantum gama teria energia suficiente para arrancar o elétron do átomo, e nunca se poderia observar nada mais do que um ponto na órbita do elétron; assim, não haveria órbita eletrônica no sentido comum. A observação que se seguiria, a do estágio terceiro, mostraria o elétron em seu trajeto ao afastar-se do átomo. De um ponto de vista muito geral, não há maneira alguma de se descrever o que acontece entre duas observações consecutivas. É, certamente, tentador dizer-se que o elétron deve ter estado em algum lugar, no intervalo de tempo entre essas duas observações e que, portanto, o elétron deveria ter descrito algum tipo de trajetória ou órbita, mesmo que seja impossível saber-se qual. Esse seria um argumento razoável em física clássica. Em teoria quântica, porém, teria sido um abuso de linguagem que, como veremos depois, não pode ser justificado. Deixaremos, por enquanto, de esclarecer se esse aviso deva ser entendido como uma afirmação a respeito da maneira pela qual deveríamos nos expressar acerca dos eventos atômicos ou, então, uma asserção sobre os próprios eventos, isto é, se ele se refere à epistemologia ou à ontologia. Seja como for, temos que proceder com grande cautela, no uso das palavras, ao fazermos uma afirmação sobre o comportamento das partículas atômicas.

Na verdade, não precisamos de maneira alguma falar em partículas. Em muitas experiências, é mais conveniente falar-se em ondas de matéria; por exemplo, as ondas estacionárias de matéria ao redor do núcleo atômico. Uma tal descrição contradiria frontalmente a outra descrição, caso se ignorasse as limitações impostas pelas relações de incerteza. Levando-se em conta essas restrições, a contradição é evitada. O uso de "ondas de matéria" é conveniente, por exemplo, ao se lidar com a radiação emitida pelo átomo. Por intermédio de suas frequências e intensidades, a radiação presta informação acerca da distribuição de carga oscilante no átomo e, nesse caso, a descrição ondulatória aproxima-se muito mais da verdade do que a de partículas. Eis por que Bohr advogou o uso de ambas descrições e chamou-as de *complementares* entre si. As duas descrições são, certamente, mutuamente exclusivas, pois uma certa coisa não pode ser ao mesmo tempo uma partícula (i.é., substância confinada a um volume muito pequeno) e uma onda (i.é., substância espalhada sobre uma região de dimensões muito grandes), mas se complementam uma à outra. Jogando-se com ambas as descrições, indo-se de uma à outra e de volta novamente, obteremos por fim a impressão correta desse estranho tipo de realidade que permeia os fenômenos atômicos. Bohr faz uso, em muitas instâncias, na interpretação da teoria quântica, do conceito de *complementaridade*. O conhecimento da posição de uma partícula é complementar ao conhecimento de sua velocidade (ou momento linear). Se conhecermos uma dessas grandezas com alta precisão, a outra não poderá ser conhecida com essa mesma, alta, precisão; mesmo assim, precisaremos conhecer ambas as imprecisões a fim de determinar o comportamento do sistema. A descrição espaço-temporal dos eventos atômicos é, por sua vez, complementar à descrição determinista desses eventos. Por outro lado, a função de probabilidade obedece uma equação de movimento (como também é o caso na mecânica newtoniana, para as coordenadas de posição) e a variação dessa função, no correr do tempo, fica completamente determinada por essa equação quântica, mas ela não permite uma descrição no espaço e tempo. Por outro lado, a observação experimental compele à descrição espaço-temporal mas quebra a continuidade presente na função de probabilidade, por mudar nosso conhecimento do sistema.

Em geral, o dualismo entre as duas distintas descrições, da mesma realidade, já não mais constitui uma dificuldade, pois sabemos, da *formulação* matemática, que contradições não podem ocorrer. O dualismo entre as duas descrições complementares, por ondas e partículas, é claramente exemplificado na flexibilidade do esquema matemático. Na mecânica de matrizes, o formalismo é normalmente escrito de maneira a assemelhar-se ao da mecânica newtoniana, com equações de movimento para as coordenadas de posição e momento linear das partículas. E elas podem, por uma simples transformação, ser reescritas de maneira a tomar a forma de uma equação de ondas, para ondas tridimensionais ordinárias de matéria. Assim, portanto, essa possibilidade de se jogar com descrições complementares distintas encontra sua analogia nas diferentes transformações que o esquema matemático oferece; e tal possibilidade não conduz a dificuldade alguma, na interpretação de Copenhague da teoria quântica.

Uma dificuldade verdadeira, no entendimento dessa interpretação, surge, todavia, quando se faz a famosa pergunta: mas o que ocorre "realmente" em um evento

atômico? Já dissemos antes que o mecanismo e os resultados de uma observação experimental podem sempre ser enunciadas em termos do conceitos da física clássica. Mas o que se deduz de uma tal observação é uma função de probabilidade, uma expressão matemática que traz consigo tanto enunciados sobre possibilidades ou tendências, como também afirmações sobre nosso conhecimento de fatos. Assim, pois, não podemos objetivar completamente o resultado de uma observação experimental, e não temos como descrever o que "acontece" entre essa observação e a seguinte. Isso deixa a impressão de que tenhamos introduzido, na teoria, um elemento subjetivo, como quiséssemos dizer: o que acontece depende de nossa maneira de observar o sistema ou do fato de que o estamos observando. Antes de discutirmos esse problema da subjetividade, é necessário explicar muito claramente por que se entraria em dificuldades, sem a menor esperança de solução, ao se tentar descrever o que ocorreria entre duas observações consecutivas.

Com esse propósito em vista, é útil se discutir a experiência *ideal* seguinte. Suponhamos que uma pequena fonte, de luz monocromática, irradie um feixe em direção a uma tela negra que ostente dois pequenos furos. O diâmetro dos furos não poderá ser muito maior que o comprimento de onda da luz utilizada, mas a distância entre os dois terá que ser muito maior. À alguma distância, atrás da tela, situa-se uma chapa fotográfica para registro da luz incidente. Se a experiência for descrita em termos ondulatorios, dir-se-ia então que a onda primária penetrou através dos dois furos: haveria ondas esféricas secundárias, partindo dos furos, que interfeririam uma com a outra, o que daria lugar a uma figura de intensidade variável na chapa fotográfica, as assim chamadas *franjas de interferência*.

O enegrecimento da chapa fotográfica é um processo quântico, uma reação produzida por quanta individuais de luz. Portanto, deveria ser também possível descrever-se a experiência em termos de quanta de luz. Se fosse permissível dizer-se o que acontece a um único quantum de luz, no intervalo de tempo entre sua emissão pela fonte luminosa e sua posterior absorção na chapa fotográfica, poder-se-ia argumentar assim: o único quantum de luz poderá ser passado através do primeiro furo ou pelo outro. Se tiver atravessado o primeiro, sendo então por ele defletido, sua probabilidade de ser absorvido, em um ponto qualquer de chapa fotográfica, não poderá depender de estar o segundo furo fechado ou não. A distribuição de probabilidades, na chapa, seria então a mesma que ocorreria se somente o primeiro furo estivesse aberto. Se a experiência fosse repetida um grande número de vezes e se agrupássemos todos os casos em que o quantum luminoso tivesse passado pelo primeiro furo, o enegrecimento da chapa devido a esses casos corresponderia a essa distribuição de probabilidade. Se considerássemos somente aqueles quanta de luz que tivessem atravessado o segundo furo, o enegrecimento resultante corresponderia a uma distribuição de probabilidade que decorreria da hipótese de que somente o segundo furo estivesse aberto. O enegrecimento total, portanto, seria assim tão-somente a soma dos enegrecimentos nos dois casos: em outras palavras, não ocorreria figura de interferência alguma. Sabemos, todavia, que isso não é assim e que a experiência iria exibir franjas de interferência. Portanto, a assertiva de que qualquer quantum de luz passou *ou* pelo primeiro *ou* pelo segundo furo é

problemática e conduz a contradições. Este exemplo mostra, claramente, que o conceito de função de probabilidade não permite uma descrição do que ocorra entre duas observações consecutivas. Qualquer tentativa, de se encontrar uma tal descrição, daria lugar a contradições: isso deve ser entendido como significando que a palavra "acontece" está restrita à observação experimental.

Bem, isso é realmente um resultado muito estranho, visto que parece ele indicar que a observação experimental tem um papel decisivo no acontecimento e que a realidade varia, isso dependendo de se a observamos ou não. A fim de esclarecer esse ponto, temos que analisar o procedimento experimental de mais perto.

Para começar, é importante lembrarmos-nos que, na ciência natural, não estamos interessados no Universo como um todo, nós nele incluídos, mas sim em dirigir nossa atenção a alguma parte dele, que será então o objeto de nossos estudos. Em física atômica, essa parte é, freqüentemente, um objeto muito pequenino, uma partícula atômica ou um agregado dessas partículas, às vezes bem maior — seu tamanho não importa; mas é importante que se reconheça que uma boa porção do Universo, nós incluídos, *não* faz parte do objeto em sua observação experimental.

Bem, a interpretação teórica de uma experiência inicia-se com os dois estágios que já discutimos. No primeiro deles, temos que descrever o arranjo experimental, eventualmente combinando-o com a primeira observação, em termos de conceitos da física clássica e, após, traduzir tal descrição em uma função de probabilidade. A função de probabilidade obedece às leis da teoria quântica e, a variação contínua dessa função, com o correr do tempo, pode ser calculada a partir das condições iniciais: este é o estágio dois. Digamos assim: a função de probabilidade combina em si elementos objetivos e subjetivos. Ela contém asserções sobre possibilidades ou tendências mais propícias (*potentia*, na filosofia aristotélica) e tais asserções são completamente objetivas, por não dependerem de observador algum; ademais, contém ela afirmações acerca de nosso conhecimento do sistema que, é claro, são subjetivas no sentido de poderem diferir de um experimentador a outro. Em casos ideais, o elemento subjetivo contido na função de probabilidade pode ser em prática desprezível quando comparado com a faceta objetiva. Os físicos falam, então, de um "caso puro".

Quando, então, chegamos ao momento da próxima observação experimental, cujo resultado deveria ser predito pela teoria, é muito importante entender-se que o objeto da pesquisa está em contato com a outra parte do Mundo, a saber, o arranjo experimental, a régua de medida, etc., antes ou, pelo menos, no momento da observação. Isso significa que a equação de movimento, a que satisfaz a função de probabilidade, contém agora, de fato, a influência da interação com o instrumento de medida. Essa influência introduz um novo elemento de incerteza, pois o aparelho de medida é, necessariamente, descrito na linguagem da física clássica; uma tal descrição contém todas as incertezas que digam respeito à estrutura microscópica do instrumento de medida que conhecemos da termodinâmica e, visto que esse instrumento está ligado ao resto do mundo, aquela descrição conterà, de fato, as incertezas da estrutura microscópica do Mundo todo. Essas incertezas podem ser rotuladas de *objetivas*, dentro dos limites em que elas possam ser consideradas como uma simples consequência da

descrição em termos da física clássica e pelo fato de independerem do observador. Por outro lado, elas podem ser consideradas como *subjetivas*, dentro dos limites em que se referiram ao nosso conhecimento incompleto do Mundo.

Após a ocorrência dessa interação, a função de probabilidade passa a conter o elemento objetivo de tendência e, também, o elemento subjetivo do conhecimento incompleto, mesmo que se tivesse um "caso puro", antes da interação. É, assim, por essa razão, que o resultado da observação não pode, em geral, ser *predito* com certeza: o que pode ser teoricamente previsto é a probabilidade de um certo resultado ocorrer na observação e, tal afirmação sobre essa probabilidade poderá ser verificada, repetindo-se a experiência um grande número de vezes. A função de probabilidade não descreve — em oposição ao procedimento usual na mecânica clássica — um certo evento mas, pelo menos durante o processo de observação, um conjunto todo de acontecimentos possíveis.

O ato de observação, por si mesmo, muda a função de probabilidade de maneira descontínua; ele seleciona, entre todos os eventos possíveis, o evento real que ocorreu. Visto que, pela observação, nosso conhecimento do sistema mudou descontínuamente, sua representação matemática sofreu essa descontinuidade. E falamos, então, de um "salto quântico". Quando ouvirmos o velho adágio, *Natura non facit saltus**, como base para se criticar a teoria quântica, poderemos replicar que, certamente, nosso conhecimento pode mudar abruptamente e esse fato justifica o uso da expressão "salto quântico".

Portanto, a transição do "possível" ao "real" ocorre durante o ato de observação. Se quisermos descrever o que ocorre em um evento atômico, deveremos compreender que o termo "ocorre" pode somente ser aplicado à observação, e não ao estado de coisas durante duas observações consecutivas. Aquele termo diz respeito à componente física do ato de observação mas não à psíquica e poderemos dizer que a transição do "possível" ao "real" toma lugar tão logo a interação do objeto com o instrumento de medida (e, portanto, com o resto do Mundo) tenha se realizado; ele nada tem a ver com o ato de registrar o resultado por parte da mente do observador. A mudança descontínua na função de probabilidade, no entanto, tem lugar com o ato de registro, pois é essa mudança descontínua do nosso conhecimento, no instante do registro, que tem por imagem a mudança descontínua da função de probabilidade.

Até que ponto, então, finalmente conseguiu-se uma descrição objetiva do Mundo e, especialmente, do domínio atômico? Na física clássica, a ciência teve, como ponto de partida, a crença — ou dever-se-ia dizer ilusão? — de que se poderia descrever o Mundo ou, pelo menos, partes dele, sem referência alguma a nós mesmos. Isso é, em grande medida, de fato possível. Por exemplo, todos nós temos conhecimento da existência da cidade de Londres*, independentemente de tê-la visto ou não. Poder-se-ia dizer que a

*Expressão devida a Leibniz (*Nouveaux Essais*, IV, 16) (N.T.).

*Heisenberg, possivelmente, teve em mente o caso de Emmanuel Kant que muito conhecia sobre o Tâmia, por leituras e conversas com viajantes e marujos em Königsberg, sem jamais ter lá estado (N.T.).

física clássica é justamente aquele tipo de idealização, segundo a qual podemos falar de coisas do Mundo sem qualquer referência a nós mesmos. Seu sucesso deu lugar ao ideal bem amplo de uma descrição objetiva do Mundo. Objetividade tornou-se, assim, o critério primeiro na avaliação de qualquer resultado científico. Pergunta: E a interpretação de Copenhague ainda segue esse ideal? Talvez se possa dizer que a teoria quântica corresponda, a esse ideal, tanto quanto possível. Certamente, a teoria quântica não contém características subjetivas genuínas, ela não introduzindo a mente do físico como parte do evento atômico. Mas a teoria quântica começa pela divisão do mundo em "objeto" e o resto do Mundo e, também, do fato de que, pelo menos para o "resto do Mundo", utilizamos conceitos clássicos em nossa descrição. Essa divisão é arbitrária e, historicamente, uma consequência direta do método científico; a utilização de conceitos clássicos é, afinal, uma consequência da maneira geral do ser humano pensar. Mas isso já constitui uma referência a nós mesmos e isso na medida em que nossa descrição não é completamente objetiva.

Afirmamos, na abertura deste capítulo, que a interpretação de Copenhague da teoria quântica começa por um paradoxo. Ela começa pelo fato de que descrevemos, nossos experimentos, apoiados nos conceitos da física clássica e, ao mesmo tempo, do conhecimento de que esses conceitos não se ajustam à Natureza de maneira precisa. É na tensão reinante, entre esses dois pontos de partida, que se encontra a raiz do caráter estatístico da teoria quântica. Eis por que já foi sugerido algumas vezes que se deveria abandonar por completo os conceitos clássicos e que uma mudança radical nos conceitos utilizados para se descrever as experiências poderia, possivelmente, levar-nos de volta a uma descrição não estática e completamente objetiva da Natureza.

Essa sugestão, todavia, baseia-se em um engano. Os conceitos da física clássica constituem, por certo, um refinamento dos conceitos da vida cotidiana e são parte essencial da linguagem que propicia a base da ciência natural toda. Nossa real situação na ciência é tal que nós usamos *de fato* os conceitos clássicos para descrever as experiências e isso apresentou-se como um desafio à teoria quântica, quer dizer, se ela é realmente capaz de exibir uma interpretação teórica, dessas experiências, em base àqueles conceitos. Não adianta discutir-se o que poderia ser feito se fôssemos seres diferentes dos humanos que somos. Neste ponto, temos que compreender, como disse von Weizsäcker, que "a Natureza precedeu o homem mas o homem precedeu a ciência natural". A primeira parte da citação justifica a física clássica, no seu ideal de objetividade completa. A segunda, diz-nos que não podemos escapar ao paradoxo da teoria quântica, vale dizer, à necessidade de se usar conceitos clássicos.

Temos que adicionar alguns comentários sobre o procedimento concreto na interpretação teórica quântica dos eventos atômicos. Já dissemos que sempre se tomou, como ponto de partida, a divisão do Mundo em objeto, aquilo a estudar, e o resto do Mundo, e que essa separação é um tanto arbitrária. Não deveria, de fato, fazer diferença alguma no resultado final, se, por exemplo, adicionássemos uma parte do instrumento de medida, ou o instrumento inteiro, ao objeto e aplicar, então, as leis quânticas a esse objeto novo mais complexo. Pode-se mostrar que uma tal modificação do tratamento teórico não viria alterar as predições que dizem respeito a uma dada experiên-

cia. Isso segue, matematicamente, do fato de que as leis da teoria quântica são quase idênticas às leis clássicas para aquela classe de fenômenos em que a constante de Planck possa ser considerada uma grandeza desprezível. Seria entretanto um erro acreditar-se que essa aplicação das leis teóricas quânticas ao instrumento de medida poderia ajudar a evitar o paradoxo básico da teoria quântica.

O instrumento de medida somente fará por merecer seu nome se estiver em contato bem próximo com o resto do Mundo, e se houver uma interação entre esse instrumento e o observador. Portanto, a incerteza, com respeito ao comportamento microscópico do Mundo, penetrará no sistema teórico quântico também naquele caso, da mesma maneira que na primeira interpretação. Fosse, o instrumento de medida, isolado do resto do Mundo, ele não seria um instante de medida, nem tampouco poderia ser descrito nos termos da física clássica.

No que diz respeito a essa situação, Bohr enfatizou ser mais realista afirmar-se que a divisão entre objeto e o resto do Mundo não é arbitrária. Nossa situação concreta, o trabalho de pesquisa em física atômica, é usualmente o seguinte: desejamos entender um certo fenômeno, queremos reconhecer como esse fenômeno decorre das leis gerais da Natureza. Portanto, aquela parte de matéria, ou de radiação, que toma parte no fenômeno, é o "objeto" natural no tratamento teórico e deveria ser separado, nesse respeito, dos instrumentos utilizados no estudo do fenômeno. Isso de novo realça o elemento subjetivo na descrição dos eventos atômicos, pois o instrumento de medida foi construído pelo observador, e temos que nos lembrar que aquilo que observamos não é a Natureza em si mas, sim, a Natureza exposta ao nosso método de questionar. Nosso trabalho científico, em física, consiste em fazer perguntas sobre a Natureza, usando a linguagem que possuímos e tentando conseguir as respostas por via experimental, com os meios de que dispomos. Dessa maneira, a teoria quântica nos faz lembrar, como se expressou Bohr, de uma sabedoria muito antiga segundo a qual — na procura da harmonia da vida — jamais deveremos esquecer que, no drama da existência, somos ao mesmo tempo atores e espectadores. É inteligível que, em nosso relacionamento científico com a Natureza, nossa própria atividade torne-se muito importante ao termos que lidar com partes da Natureza, onde só poderemos penetrar fazendo uso das mais elaboradas ferramentas.