

AS RAÍZES DA COMPLEMENTARIDADE

Sejam quais forem os fatores mais preeminentes que contribuíram para a formulação da complementaridade na concepção do físico dinamarquês Niels Bohr (1885 a 1962) – suas pesquisas na física, suas reflexões sobre psicologia ou leituras de problemas filosóficos, ou a controvérsia entre escolas rivais de biologia, ou ainda as exigências complementares de amor e justiça no relacionamento inter-humano do dia-a-dia – era o papel universal da idéia da complementaridade, uma cosmovisão unificada, que Bohr, tentou enfatizar ao longo de sua vida. Gerald Holton, autor de vários trabalhos sobre História da Ciência, nos apresenta um capítulo fascinante sobre uma das encruzilhadas do pensamento moderno

GERALD HOLTON

Tradução: Dinorah de Oliveira Mendes

Como, 1927

Cada época é formada por certas concepções características, que lhe dão sua modernidade própria e inconfundível. A renovação da física quântica, em meados da década de 1920, introduziu à consideração pública exatamente uma concepção, desse tipo, que marcou um momento decisivo a partir do qual nossa visão do cenário intelectual, na ciência e em outros campos, será para sempre qualitativamente diferente das anteriores. Foi em setembro de 1927, em Como, Itália, durante o Congresso Internacional de Física realizado em comemoração ao centenário da morte de Alessandro Volta, que Niels Bohr, pela primeira vez, apresentou ao público sua formulação da complementaridade⁽¹⁾. A maioria dos ovinos de Bohr eram físicos de várias partes do mundo, homens como Max Born, Louis de Broglie, A. H. Compton, Peter Debye, Enrico Fermi, James Franck, Werner Heisenberg, Max Von Laue, H. A. Lorentz, Robert Millikan, John von Neumann, Wolfgang Pauli, Max Planck, Arnold Sommerfeld, Otto Stern, Eugene Wigner e Pieter Zeeman.



GERALD HOLTON nasceu em 1922 e é professor de Física da Universidade de Harvard (EUA). Foi editor da American Academy of Arts and Sciences e, entre outras obras publicadas, constam *Introduction to Concepts and Theories in Physical Science* e *Science and the Modern Mind*.

Era em verdade uma reunião de cúpula. Somente Einstein estava sintomaticamente ausente.

Na apresentação de sua conferência, Bohr disse que iria utilizar “apenas considerações simples, sem entrar em detalhes de caráter técnico ou matemático”. De fato, o ensaio continha poucas e simples equações. E seu pro-

pósito era mais metodológico, e, pelo menos nas afirmações iniciais, ainda não confessara o caráter ambicioso de sua proposição. Bohr salientou apenas que gostaria de “descrever um certo ponto de vista geral... que espero ajudará a harmonizar as opiniões claramente conflitantes de vários cientistas”.

Ele se referia a uma diferença profunda e persistente entre a descrição clássica e a descrição quântica dos fenômenos físicos. Para revisá-la, damos quatro exemplos breves da dicotomia:

1. Na física clássica, por exemplo, na descrição do movimento dos planetas ou das bolas do bilhar ou de outros objetos suficientemente grandes para serem diretamente visíveis, o “estado do sistema” (pelo menos em princípio) pode ser observado, descrito e definido com pequena interferência arbitrária no comportamento do objeto por parte do observador, e com pequena incerteza arbitrária. Na descrição quântica, por outro lado, o “estado do sistema” não pode ser observado sem uma influência significativa sobre este estado, como por exemplo quando é feita uma tentativa de direcionar a órbita de um

elétron dentro de um átomo, ou determinar a direção da propagação de fótons. A razão de tal situação é simples: os átomos, tanto no sistema a ser observado quanto no instrumento utilizado para fazer a observação, nunca são arbitrariamente precisos em suas reações; a troca de energia da qual depende sua reação não é feita em pequena quantidade como gostaríamos, mas segundo o "postulado quântico" (a lei fundamental da física quântica de Planck), só pode se realizar descontinuamente, em movimentos discretos de dimensão finita.

2. Segue-se que, em casos onde a descrição clássica é adequada, um sistema pode ser considerado fechado, apesar de estar sendo observado, visto que o fluxo de energia para dentro e para fora do sistema (por exemplo, o reflexo da luz nas bolas em movimento) é insignificante comparado com as trocas de energia no sistema durante a interação das partes do mesmo. Por outro lado, nos sistemas que requerem descrição quântica, não se pode negar a interação entre o "sistema em observação", às vezes displicentemente chamado de "objeto", e a operação ou equipamentos usados para fazer a observação (às vezes displicentemente chamados de "sujeitos"). O caso mais conhecido deste tipo é ilustrado pelo microscópio de raio-gama de Heisenberg, onde o movimento de um elétron é "observado" emitindo raios-gama, resultando no desvio da trajetória original do próprio elétron.

3. Nos sistemas "clássicos", para os quais a mecânica clássica é adequada, temos as correntes de causalidade convencional e a coordenação normal espaço-tempo, e ambas podem existir ao mesmo tempo. No sistema quântico, por outro lado, não há correntes de causalidade convencional; se deixado por si mesmo, um sistema como um átomo ou seu núcleo radioativo realiza mudanças (como a emissão de um fóton do átomo ou uma partícula de seu



Niels Henrik David Bohr (1885-1962)

núcleo) de uma maneira intrinsecamente probabilística. Entretanto, se submetemos o "objeto" a observações de espaço-tempo, ele não mais realizará sua própria seqüência de causalidade probabilisticamente. Ambas as descrições mutuamente exclusivas de manifestações do sistema quântico devem ser consideradas igualmente relevantes ou "verdadeiras", apesar de não poderem ser exibidas de uma só vez ao mesmo tempo.

4. Finalmente, podemos nos referir à própria ilustração de Bohr no ensaio de 1927 a respeito "da questão muito discutida sobre a natureza da luz... Sua propagação no espaço e tempo é adequadamente expressa pela teoria eletromagnética. Especialmente os fenômenos de interferência no vácuo e as propriedades óticas nos meios materiais são totalmente governados pelo princípio da superposição teórica da onda. Não obstante, a conservação de energia e movimentos realizados durante a interação entre radiação e matéria, como evidente nos efeitos fotoelétricos e de Compton, encontram sua expressão adequada exatamente à luz da idéia quântica difundida por

Einstein".⁽²⁾ Havia um certo mal-estar em relação ao paradoxo das partículas de ondas, tendo-se que usar em contextos diferentes duas teorias da luz tão antitéticas quanto a teoria clássica de ondas e a teoria quântica (de fótons).

Einstein expressou isto em abril de 1924 ao escrever: "Agora temos duas teorias da luz, ambas indispensáveis, porém, admitamos, sem nenhuma conexão lógica entre si, apesar de vinte anos de enorme esforço dos físicos teóricos."⁽³⁾

A questão levantada pelo abismo existente entre a descrição clássica e a descrição quântica era a seguinte: Poderia alguém esperar que, como acontecera freqüentemente outrora na física, uma das duas posições antitéticas seria de alguma forma subordinada ou dissolvida na outra (algo como Galileu e Newton mostraram não ser a física celeste diferente da física terrestre). A continuidade essencial subjacente à descrição clássica, onde coordenadas como espaço, tempo, energia e movimentos podem, em princípio, ser considerados infinitamente divisíveis, permaneceria inflexivelmente antitética em relação à descontinuidade e distinção essenciais dos processos atômicos?

Considerando a situação em 1927, em termos de tese, naquela época estava claro que a física tinha herdado teses opostas do período "clássico" (antes de 1900) e do período quântico (após 1900). Uma tese importante do período anterior era a continuidade, embora existisse lado a lado com a visão atomística da matéria. Uma tese importante do período mais recente foi a descontinuidade, embora existisse lado a lado com a teoria da onda de propagação eletromagnética e das teorias mais recentes associadas com De Broglie e Erwin Schrödinger.

Também na física antiga, a causalidade clássica era aceita, enquanto na física moderna o conceito de indeterminação, descrição estatística e distri-

buição probabilística como um aspecto inerente de descrição natural começavam a ser aceitos. Na física antiga, a possibilidade de uma nítida separação entre sujeito e objeto não era em geral um desafio; na física moderna foi verificado que a ligação sujeito-objeto poderia ser separada somente de uma maneira arbitrária. Na opinião de Bohr, um “fenômeno” é a descrição daquilo que deve ser observado e do equipamento usado para obter a observação.

A proposta de Bohr, de 1927, era, em sua essência, a de que devíamos tentar não acomodar as dicotomias, mas descobrir a complementaridade das representações dos eventos nessas duas linguagens tão diferentes. O desmembramento das representações é meramente um sinal de fato de que, na linguagem normal, a nós disponível, para comunicarmos os resultados dos nossos experimentos, só é possível expressar a unidade da natureza através de um modelo complementar de descrição.⁽⁴⁾ As representações aparentemente paradoxais e contraditórias não devem desviar nossa atenção da unidade essencial. O aforismo favorito de Bohr era: “Somente a plenitude conduz à evidência” de Schiller. Diferente da situação nos períodos anteriores, a clareza não está na simplificação e redução a um único modelo diretamente compreensível, mas na superposição exaustiva de diferentes descrições que incorporam noções visivelmente contraditórias.

Resumindo sua conferência em Como, Bohr enfatizou, em 1949, que a necessidade de expressar os relatórios de alguém fundamentalmente em linguagem normal (clássica) condena qualquer tentativa de impor uma clara separação entre um “objeto” atômico e o equipamento experimental:

O novo progresso da física atômica foi comentado sob vários aspectos no Congresso Internacional de Física, realizado em setembro de 1927, em Como, em comemoração a Volta. Numa palestra naquela



Max Born (1882-1970)

ocasião, defendi um ponto de vista convenientemente denominado “complementaridade”, adequado para abarcar os aspectos característicos da individualidade dos fenômenos quânticos, e ao mesmo tempo esclarecer aspectos peculiares do problema observáveis neste campo de experiência. Por esta razão, é decisivo reconhecer que, embora os fenômenos transcendam em muito à abrangência da explicação da física clássica, a representação de toda evidência deve ser expressa em termos clássicos. O argumento é simplesmente que, pela palavra “experimento” referimo-nos a uma situação onde podemos dizer aos outros o que aprendemos e que, por isso, a explicação dos preparativos experimentais e dos resultados das observações devem ser expressas em linguagem não ambígua com aplicação adaptável à terminologia da física clássica.

Este ponto crucial, que se tornaria o tema principal das discussões apresentadas a seguir, implica a impossibilidade de qualquer separação radical entre o comportamento de objetos atômicos e a interação com os instrumentos de medida que servem para definir as condições sob as quais aparecem os fenômenos. De fato, a individualidade dos efeitos quânticos típicos encontra sua expressão adequada nas circunstâncias de que qualquer tentativa para subdividir os fenômenos exigirá uma mudança nos preparativos experimentais, in-

troduzindo novas possibilidades de interação entre objetos e instrumentos de medição que, em princípio, não podem ser controlados. Conseqüentemente, a evidência obtida sob diferentes condições experimentais não pode ser compreendida dentro de um único quadro, mas deve ser considerada como *complementária* no sentido de que somente a totalidade dos fenômenos mostrará as possíveis informações acerca dos objetos.⁽⁵⁾

O que Bohr estava mostrando, em 1927, era a descoberta curiosa de que no domínio atômico, a única maneira pela qual o observador (incluindo seu equipamento) podia não ser envolvido era se ele não observasse nada. Tão logo monta seu equipamento de observação, o sistema que escolheu para a observação e os instrumentos de medida para realizar o trabalho formam um todo inseparável. Por isso, os resultados dependem em grande parte do equipamento. Na conhecida ilustração envolvendo um raio de luz, se o instrumento de medição contém dois minúsculos orifícios através dos quais passa a luz, o resultado da observação indicará que está envolvido o fenômeno da onda; mas se o “mesmo” raio de luz é usado quando o instrumento de medição contém uma coleção de defletores, então os resultados da observação indicarão que um fluxo de partículas está envolvido. (Além do mais, exatamente os mesmos dois tipos de observação são combinados quando, em vez do raio de luz, se usa um feixe de “partículas” como os átomos ou elétrons ou outras partículas subatômicas.) Não se pode realizar um experimento que simultaneamente mostre aspectos da partícula e da ondulação da matéria atômica. Um determinado experimento sempre mostrará somente uma visão ou representação de objetos em nível atômico.

O estudo da natureza é um estudo de artefatos que aparecem durante um compromisso entre o cientista e o mundo onde se encontra. E estes

mesmos artefatos são vistos através das lentes da teoria. Portanto, condições experimentais diferentes resultam em diferentes visões da “natureza”. Chamar a luz de um fenômeno ondulatório ou um fenômeno de corpúsculos é impossível; tanto num quanto noutro, muitas coisas ficam de fora. Chamar a luz ao mesmo tempo de fenômeno ondulatório e fenômeno de corpúsculos é simplificar o assunto. Nosso conhecimento da luz está contido em várias afirmações que são visivelmente contraditórias, feitas sobre bases de variados experimentos, em condições diversas, e interpretados à luz de um complexo de teorias. Quando você pergunta: “O que é luz?” a resposta é: o observador, suas variadas peças e tipos de equipamento, seus experimentos, suas teorias e modelos de interpretação, e tudo o mais que encha uma sala que, de outra forma, estaria vazia quando se faz com que a lâmpada se mantenha acesa. Tudo isso, junto, é luz.

Nenhuma objeção parece ter sido levantada contra o trabalho apresentado por Niels Bohr no encontro de Como. Por outro lado, nessa primeira conferência, a importância do novo ponto de vista não foi imediatamente apreciada. Aparentemente, o comentário típico que se ouvia após a conferência de Bohr era “isto não induzirá nenhum de nós a mudar sua própria opinião sobre a mecânica quântica”.⁽⁶⁾ Um grupo notável de físicos, embora uma minoria no campo, continuava não convencido e até mesmo hostil ao ponto de vista da complementaridade. O principal dentre eles era Einstein, que ouviu a primeira e longa exposição um mês após o encontro de Como, em outubro de 1927, no Congresso de Solvay em Bruxelas. Einstein refutou até mesmo as interpretações anteriores de Göttingen-Copenhague sobre a física atômica que eram baseadas na tese da descontinuidade e causalidade não-clássicas. Ele havia escrito a Paul Ehrenfest (28 de agosto de 1926),



Louis de Broglie (1892)

“Postei-me ante a mecânica quântica com admiração e desconfiança”, e para Bohr (4 de dezembro de 1926) Einstein dissera: “A mecânica quântica exige séria atenção. Mas uma voz interior me diz que este não é o verdadeiro Jacó. A teoria conclui muito, mas não nos coloca mais próximos dos segredos da Teoria Antiga. De qualquer forma, estou convencido de que Ele não joga dados.”⁽⁷⁾

Quase um quarto de século depois, Einstein ainda estava em oposição e acrescentou duas objeções ao princípio da complementaridade: “para mim parece ser um erro permitir que uma descrição teórica esteja diretamente dependente de atos de afirmações empíricas, como parece ser a intenção (por exemplo) do princípio da complementaridade de Bohr, cuja formulação, embora inteligente, fui incapaz de alcançar, apesar do muito esforço despendido para isto.”⁽⁸⁾

O próprio Bohr sabia desde o princípio que o ponto de vista da complementaridade era mais um programa que um trabalho acabado; isto é, ele devia ser expandido e aprofundado através de muito trabalho subsequente. Era para ele “incentivo dos mais

valiosos... reexaminar os vários aspectos da situação como a descrição de fenômenos atômicos”, e um “estímulo bem-vindo verificar mais detalhadamente o papel desempenhado pelos instrumentos de medição.”⁽⁹⁾ Entretanto, como veremos, no correr dos anos, Bohr foi dando ao princípio da complementaridade maior importância, estendendo-o para além do contexto original no qual fora anunciado. Para demonstrar seu posterior e profundo compromisso com sua concepção, e para mostrar sua compreensão da antiguidade de algumas de suas raízes, citemos aqui somente um fato anedótico. Quando Bohr foi agraciado com a Ordem Dinamarquesa do Elefante em 1947, ele tinha que supervisionar o desenho de um brasão a ser colocado na igreja do Castelo de Frederiksborg, em Hillerød. O emblema (ver Figura) representa a idéia da complementaridade: acima da insígnia central, a legenda diz *CONTRARIA SUNT COMPLEMENTA*, e ao centro Bohr colocou o símbolo de Yin and Yang.

LUX VERSUS LUMEN

Como chegou a se desenvolver o ponto de vista de Bohr sobre complementaridade – tão distante da tradição científica mais antiga sobre a separação mínima entre o observador e o observado? Encontrar as diversas raízes e condições preparatórias desta concepção transformadora – aquelas da teoria física e as da tradição filosófica – parece-me ser um problema interessante que está longe de uma solução não ambígua. Todavia, já existem alguns resultados práticos de pesquisas realizadas, relevantes para um melhor entendimento da interação entre as tradições científicas e humanistas.

A primeira direção a ser olhada é o desenvolvimento das remotas idéias concernentes à natureza da luz. Esta tese moderna já fazia parte das formu-

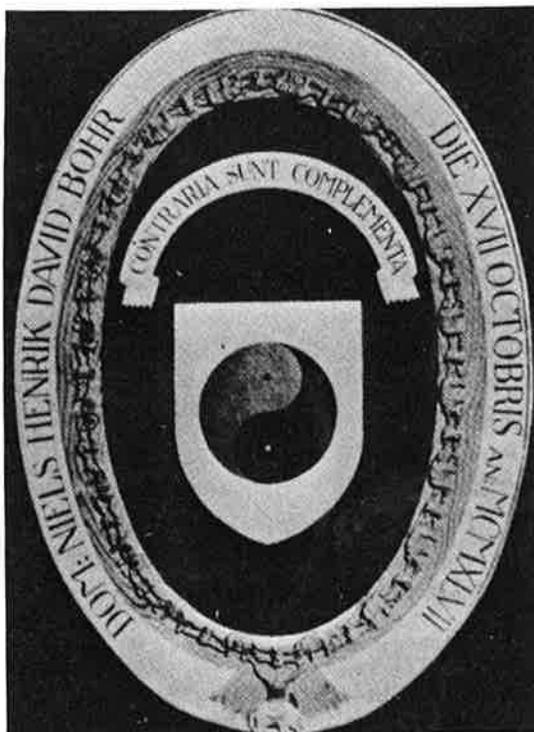
lações que começaram na Antiguidade, o que não deveria surpreender-nos; sabemos através de outros estudos que apesar de toda mudança e progresso da ciência, as teses fundamentais importantes são relativamente poucas. De uma maneira ou de outra elas têm sido o suporte principal da imaginação.

Uma das idéias antigas favoritas relacionadas à natureza da luz, originada na escola pitagórica, postula que os raios de luz são emitidos pelos olhos para explorar o mundo. Euclides falou dos olhos como se eles emitissem raios luminosos visíveis cujos terminais perscrutam o objeto, quase como a bengala de uma pessoa cega tateando em volta de si. Uma concepção de certa forma mais refinada deste tipo geral é encontrada em Ptolomeu no século II d.C., no *Almagesto*, e assim transmitida a outras épocas.

Há nessas teorias da emissão da luz uma interação íntima e clara entre o observador e o observado. Isto é também verdade para a tradição da emanção em outra forma menos materialista.⁽¹⁰⁾ Aqui, os objetos se imprimem sobre nossa visão devido a uma força de contato similar ao toque – ação à distância sendo regulada na física clássica – e este toque alcança nossas almas pela ação dos *eidola* ou imagens ou sombras que os corpos emitem.

Platão sustentava que os olhos enquanto abertos emitem uma luz do seu interior. Para os olhos perceberem, entretanto, deve haver fora deles uma “outra luz relacionada”, a do sol ou alguma outra fonte que permita aos raios saírem dos objetos. Mais uma vez é claramente tentado um acoplamento entre o mundo externo e o mundo interno.

Houve imensos problemas com as teorias da emissão. Como por exemplo, pode a pupila do olho, somente com alguns milímetros de largura, receber a imagem emitida por uma enorme montanha? Entretanto, a teoria da emanção foi o ponto de partida para o desenvolvimento da óptica, no século



Brazão escolhido por Niels Bohr quando foi agraciado com a Ordem do Elefante da Dinamarca. O emblema representa a idéia da complementaridade. Reproduzido de S. Rozental, ed., *Niels Bohr: His life and Work as Seen by His Friends and Colleagues* (N.Y.: John Wiley & Sons, Inc., 1967).

XVII. Aqui encontramos a idéia moderna de que existe um número infinito de raios emitidos de cada ponto de um objeto iluminado em todas as direções. Mas o observador agora se põe fora do palco, e pode ou não ser o recipiente de alguns desses feixes luminosos. Esses feixes não são mais a *lux* dos antigos – sendo *lux* a palavra para luz quando encarada como um fenômeno subjetivo – mas a *lumen*, um tipo de fluxo de “objetos” luminosos.

O período moderno começou efetivamente com Kepler, que em seu trabalho escrito sobre Witelo, em 1604, e depois na “Dióptrica”, em 1611, descreveu como a luz é refletida por uma esfera, por exemplo, numa garrafa esférica cheia de água; ele aplicou suas descobertas à pupila do olho. Aí estava a nova idéia básica da ótica da visão: o globo ocular, e o cristalino à sua frente focalizam o feixe de raios que entram pela pupila, e na focalização o sensorio é estimulado de alguma forma – o que simplesmente não é discutido como parte da ótica. Na “Dióptrica”, Kepler mostrou pela primeira vez como as

lentes funcionam realmente. Interessante é que a maioria das imagens que podem ser construídas diagramaticamente pela ótica dos raios, não podem, na verdade, ser vistas por um olho onde se coloca um instrumento. Foram-se os *eidola* e as imagens mentais, o “reconhecimento da alma pela alma na discussão da ótica neoplatônica – mas foram-se também a paridade íntima do observador e o observado”. A *lumen* venceu a *lux*.

Vemos como a ciência ótica tornou-se “moderna”: quebrando-se a cadeia que era evidente por si mesma para os antigos, desengajando as concepções daquilo que continua por um lado “lá fora, objetivamente falando” e o que por outro lado o olho faz com a luz. Em determinado momento alguém teve que fazer o que Kepler, na preparação para Newton, finalmente fez, isto é, interessar-se por feixes de raios de luz saindo juntos sobre uma tela do lado de fora do olho – ou, o que é para a física da luz exatamente a mesma coisa, sobre a retina ou tela atrás do olho – e parar de pensar nas impressões sensoriais pro-

duzidas ao mesmo tempo neste foco. Como a influente obra de Müller, *Lehrbuch der Physik* (Tratado de Física) – dizia em 1926, exatamente um ano antes da formulação de Bohr sobre a idéia da complementaridade, a primeira tarefa da ótica física “é a nítida separação entre o raio de luz objetivo e a impressão sensorial da luz. O assunto da discussão da ótica física é o raio de luz, enquanto os processos internos entre olho e cérebro” – diz o *Lehrbuch*, repudiando o assunto – “estão no domínio da fisiologia, e talvez também da psicologia”.

Vemos aqui uma tentativa em precisar a mesma separação de qualidades primárias e secundárias, entre os aspectos numérico e afetivo da natureza, que, como tora repellido três séculos antes, era a chave com que Galileu e outros da época conseguiram ir da mecânica antiga à mecânica moderna. Lembramos que foi Galileu quem fez pelos corpúsculos (como pedras caindo), o que Kepler fez pela luz – isto é, remover a linguagem da volição e da teleologia, fortificando a noção de leis causais “impessoais” do movimento. A ciência newtoniana da luz não tem lugar prioritário para o observador em sua impressão sensorial. Desta maneira, as propriedades básicas importantes da luz podiam ser descobertas: a velocidade finita da propagação, a existência de raios luminosos fora do alcance da sensibilidade do olho, a analogia entre os raios de luz e outras radiações como raios-X e assim por diante.

A separação entre *lux* e *lumen*, entre sujeito e objeto, observador e observado, e a destruição da física antecedente e holista foi um processo doloroso e longo. A razão por que ela foi finalmente vitoriosa é aquela pela qual o mesmo processo atuou em todas as outras partes da ciência: uma vez feita a separação, seguiu-se um enriquecimento deslumbrante de nosso mundo material e intelectual. Até 1927, um leitor de textos de física era levado a sentir que a teoria moderna da luz, da

teoria eletromagnética ao desenho de instrumentos óticos, devotava sua atenção totalmente à *lumen*, sendo um campo tão “desantropomorfizado” como todas as outras partes das ciências físicas desenvolvidas.

Mas a semente de uma nova abordagem sobre a luz estava presente, desde os primórdios do desenvolvimento histórico que delineamos, nas noções de senso comum pré-científicas em que todos nós fomos iniciados – e no significado operacional de alguns dos conceitos óticos mais importantes. Assim voltamos a uma segunda linha principal de idéias que leva ao ponto de vista da complementaridade.

SIGNIFICADOS OPERACIONAIS

Uma das mais antigas e mais elementares construções da ótica é a seguinte: a luz se desloca em qualquer meio homogêneo em linhas retas. Mas consideremos por um momento por que acreditamos que esta afirmativa é verdadeira.

Podemos verificá-lo mais diretamente de maneira experimental colocando um anteparo ou outro material, como pó de giz, em diferentes partes do mesmo feixe luminoso. Se examinarmos de perto, observaremos que tal método destrói o feixe de luz que desejávamos examinar. A inserção do instrumento interfere no fenômeno.

Esta situação é típica no âmbito atômico. Não há problemas análogos quando alguém deseja testar, digamos, a primeira lei de Newton sobre o movimento para objetos físicos comuns, por exemplo, a observação de uma bola rolando sobre uma mesa plana. Podemos verificar que um objeto material em ambiente natural se deslocará em linhas retas sem que sua rota se interrompa drasticamente. Os pequenos efeitos provocados pelo instrumento podem ser removidos por cálculo. O fato de o observador e o “objeto” compartilharem pelo menos

uma porção indivisível desses efeitos é aqui sem importância, isto é, uma pequena parte do fenômeno pode ser feita arbitrariamente. Baseados em observações passadas podemos antecipar com certeza os caminhos que o objeto tomará no futuro. As descrições de espaço-tempo e a causalidade clássica aplicam-se sem dificuldade. Não para os raios de luz e outras partículas no âmbito atômico, que quanto mais seguramente determinamos o seu passado, menos seguramente seguiremos seus movimentos subseqüentes; os efeitos da interação perturbadora com os instrumentos não podem ser eliminados através de cálculos, mas são intrinsecamente probabilísticos. De fato, devido ao princípio da incerteza, não é mesmo possível definir exatamente o estado inicial do sistema no sentido exigido pela visão clássica da causalidade.

Se não desejamos interceptar todo o feixe de luz, podemos tentar descobrir se ele se desloca em linha reta através de outro método: colocando-se algumas fendas à distância uma da outra, mas todas ao longo do mesmo eixo, podendo verificar então se a luz penetra nesse colimador. Mas aí surgem dois problemas: primeiro, como saberemos se as fendas são de fato feitas em linha reta? Podemos verificar isto com uma régua – mas sabemos que a régua é reta porque podemos olhar sobre ela em toda a sua extensão e não ver curvas ou saliências. Obviamente, este processo de ver, ou qualquer outro processo igualmente eficiente, conta com o uso de um raio de luz para ver ao longo da régua. E isso, naturalmente, é um raciocínio circular, onde se presume, durante a preparação do instrumento, o que o experimento deve provar.

O paradoxo não é inevitável; existem outros métodos, embora mais difíceis, para alinhar as fendas sem utilizar a luz. Mas novamente, deparamos com um problema. Quanto mais corretamente desejamos definir a linha ao longo da qual a luz vai passar, conseqüentemen-

te, quanto mais estreitas fazemos as fendas, mais convencidos ficamos de que a energia do raio de luz é espalhada dentro da “sombra”, formando, como antes, uma curva ao penetrar na fenda. Este é fenômeno da difração, que é muito fácil demonstrar com um equipamento bem simples: deixando-se a luz de uma vela passar através do estreito espaço entre dois dedos colocados bem juntos do olho.

Estamos tratando aqui de um instrumental conjugado entre o observador (equipamento) e a entidade a ser observada. Tão logo tentamos dar um significado operacional à frase “a luz se desloca em qualquer meio homogêneo em linhas retas”, vemos quão pobre é tal afirmação.

Como resultado, um físico provavelmente preferirá outra afirmativa, mais geral, mas que possa reduzir a anterior ao seu limite. É o Princípio do Tempo Mínimo de Fermat, derivado de uma afirmação que data de cerca de 1650. Entre quaisquer dois pontos, a luz seguirá ao longo daquele trajeto cujo tempo gasto no percurso é menor do que o tempo que gastaria em qualquer outro trajeto. Esta concepção explica por que o raio de luz parece seguir em linha reta em um meio homogêneo, e também como um raio de luz é refletido ou refratado nas interfaces de dois meios. Mas a afirmação abriga a idéia curiosa de que a luz “explora” o meio para encontrar o menor trajeto, como se ela fizesse o reconhecimento ao redor do instrumento. Temos aqui um tipo de conjugação instrumental dos mais íntimos. A dúvida que surge é se as propriedades que atribuímos à luz são, até certo ponto, as mesmas quando utilizamos caixas através das quais a luz tem que encontrar uma saída.

Isto se torna óbvio e irrefutável, quando observamos um outro experimento bem conhecido. Quando a luz é enviada através de fendas duplas, um padrão de interferência característico da geometria resultante do instrumen-



Werner von Heisenberg (1901-1976)

tal é obtida numa tela. Se uma das fendas é bloqueada, um outro padrão de referência é provocado. Tudo isso pode ser facilmente compreensível com construções elementares a partir da teoria clássica da luz. Entretanto, se um raio de luz muito tênue for usado, no experimento das fendas duplas, é improvável que mais de um fóton se desloque através do instrumental e um fato interessante será observado: mesmo que não se possa deixar de usar a linguagem clássica e pensar que um único fóton terá que passar através de uma ou de outra fenda em um dado momento, observar-se-á que, enquanto as duas fendas são mantidas abertas, o padrão de interferência acumulado em todo o curso, observado sobre uma chapa fotográfica colocado na tela, tem exatamente as mesmas características do experimento anterior, quando o raio de luz era tão forte, que, em determinado momento, alguns fótons passavam através de uma das fendas e alguns através da outra. É igualmente interessante se se fecha uma das fendas onde um raio bem fraco de fótons é enviado, o padrão de interferência acumulado num período de tempo

muda para um padrão característico de luz forte passando sobre uma única fenda. O fato de que para um raio de luz fraco o padrão de interferência depende do número de fendas existentes – mesmo que não haja um modo evidente no qual um único fóton possa “saber” se a outra fenda está aberta – é uma indicação de que as observações experimentais de luz reproduzem as características da caixa e suas fendas tanto quanto da própria luz. Em resumo, os experimentos são feitos sobre a entidade luz + caixa. Portanto, aqui, na verificação operacional das leis da propagação da luz, está um segundo caminho que leva à idéia da complementaridade.

DA CORRESPONDÊNCIA À COMPLEMENTARIDADE

Embora uma influência importante em Bohr tenham sido, naturalmente, as conquistas e as falhas da física em sua própria obra de aproximadamente 1912, à 1925, o modelo Bohr sobre o átomo de hidrogênio datado de 1912-1913 é hoje normalmente mais lembrado pela magnífica capacidade de prever as frequências da emissão do espectro. Para chegar a isto, Bohr tentou reconhecer as duas noções aparentemente antitéticas sobre a luz, ambas bem-sucedidas – a teoria eletromagnética de Maxwell, segundo a qual a luz se propaga como um distúrbio ondulatório caracterizado pela continuidade, e, por outro lado, a teoria de Einstein, segundo a qual a energia da luz é caracterizada pela distinção e descontinuidade. Como Einstein colocou em seu trabalho de 1905, apresentando um ponto de vista “heurístico” com relação à interação de luz e matéria: “A energia da luz propagada em raios de um determinado ponto não é difundida continuamente em volumes progressivamente grandes, mas consta de um número finito de quanta de energia localizados em pontos espaciais que se movem sem-

interrupção, e podem ser absorvidos ou emitidos somente em blocos”.

Até 1912, a evidência indiscutível da extravagante teoria de Einstein ainda não fora obtida, mas alguns experimentos sobre o efeito fotoelétrico, inclusive aqueles com raio-X, começavam a torná-la possível.⁽¹¹⁾ De fato, até o experimento de Millikan, publicado em 1916, e o experimento de A. H. Compton de 1922, a teoria quântica da luz foi vista em todo mundo como sendo inevitável.

Por isso, repetimos, quão corajoso foi o trabalho de Niels Bohr em 1912-1913. Vamos recordar seu modelo de átomo de hidrogênio em sua forma inicial, embora depois ele tenha sido aperfeiçoado e se tornado mais complexo. O átomo de hidrogênio de Bohr tinha o núcleo no centro (comprovado por Ernest Rutherford, em cujo laboratório, em Manchester, Bohr foi um dos convidados) e a órbita do elétron a uma distância fixa ao redor do núcleo. Quando uma amostra é aquecida, ou os átomos são de alguma forma excitados através de recebimento de energia extra, o elétron do átomo excitado não ficará na órbita normal interna, ou estado fundamental, mas se deslocará para uma órbita mais distante. Em algum ponto o elétron vai saltar da órbita de fora a uma das possíveis órbitas internas, e ao fazer isto, interrompe a diferença de energia entre estas órbitas, ou estados estacionários, na forma de fóton de energia $h\nu$. Isto corresponde à emissão da luz à frequência observada ν ou ao comprimento da onda correspondente $\lambda = c/\nu$ (onde c é a velocidade da luz). As várias frequências observadas emitidas de uma amostra de átomo de hidrogênio excitados foram por isso interpretadas como correspondentes à transição permitida entre estados estacionários.

O sucesso do modelo explicando todas as conhecidas linhas espectrais de hidrogênio, predizendo outras séries que eram também encontradas, e dan-

do um sólido apoio à explicação das propriedades químicas, não podia esconder a descoberta, muito clara para o próprio Niels Bohr, de que o modelo possuía vários e graves problemas. Primeiro, ele usa duas concepções claramente conflitantes: a concepção clássica de um elétron identificável movendo-se numa órbita identificável como um sistema planetário em miniatura, e a concepção quântica de que tal elétron está em estado estacionário e não continuamente despendendo energia enquanto circulando na órbita (como deveria fazer segundo a teoria de Maxwell, amplamente testada em cargas circulando em estruturas de grande tamanho). O postulado de Bohr de que o elétron não perderia energia pela radiação enquanto numa órbita, mas somente em transição de uma para outra órbita, foi necessário para “salvar” o átomo de um colapso gradual com a emissão de uma linha espectral de frequência continuamente em mudança. Também, ao contrário de todas as idéias prévias, a frequência do fóton emitido não era igual à frequência do elétron orbitante do modelo, no seu estado estacionário inicial e final.

Mais tarde, examinando a situação da época, por volta de 1912, Merle A. Tuve observou que o átomo de Bohr era “completamente irracional e absurdo do ponto de vista da mecânica newtoniana clássica e da eletrodinâmica de Maxwell... Vários formalismos matemáticos foram elaborados, que simplesmente “descreviam” os estados e as transições atômicas, mas a mesma abstenção arbitrária de processos detalhados, por exemplo, de descrições do processo real de transição eram inerentes a todas as formulações”.⁽¹²⁾

Niels Bohr esforçou-se para enfatizar esses conflitos desde o começo. Na verdade, a explicação das linhas espectrais, que foram as descobertas mais amplamente saudadas, mais ou menos, constituíram-se numa segunda reflexão de seu próprio trabalho. Seu interesse

era precisamente examinar a área de conflito entre as concepções da eletrodinâmica comum e a mecânica clássica por um lado, e a física quântica por outro. Como mostrou Jammer: “Bohr não somente reconheceu a profunda falha no esquema conceptual de sua teoria, mas estava convencido de que o progresso da teoria quântica não poderia ser alcançado, a menos que a antítese entre as concepções teóricas quânticas e as clássicas fosse confrontada com uma análise teórica. Por isso, tentou pesquisar as raízes desta antítese o mais profundamente que pôde. Foi nessa busca por fundamentos que introduziu a concepção revolucionária de estados “estacionários”, “indicando assim que eles formam um tipo de lugar de espera entre os quais ocorre a emissão da energia correspondente a várias linhas espectrais”, como Bohr colocou no discurso de 20 de dezembro de 1913, falando à Sociedade Física de Copenhague⁽¹³⁾”. Ao final de seu discurso, disse Bohr: “Espero ter-me expressado suficientemente claro para que os senhores apreciem a extensão em que estas considerações entram em choque com o admirável e coerente conjunto de concepções que tem sido corretamente chamado de teoria clássica da eletrodinâmica. Por outro lado, ao enfatizar esse conflito, tentei trazer aos senhores a impressão de que há a possibilidade de descobrir no decorrer dos tempos, uma certa coerência nas novas idéias”.

Esta estratégia metodológica de enfatizar o conflito conceptual, como uma preparação necessária para sua resolução culminou quatorze anos depois, ao ser anunciado o princípio da complementaridade. Nesse ínterim, Bohr formulou uma proposta que veio a ser um meio caminho moderadamente bem-sucedido em direção à reconciliação entre a mecânica clássica e a quântica, na concepção que, a partir de 1918, tornou-se conhecida como o princípio da correspondência.

Na essência, Bohr ainda esperava por uma conciliação entre as oposições, reforçando uma área em que se sobrepujam, especialmente em casos extremos onde a teoria quântica e a mecânica clássica faziam concessões uma à outra. Por exemplo, os estados estacionários vizinhos permitidos no modelo de Bohr aproximam-se bastante para órbitas muito extensas do elétron do átomo de hidrogênio. É facilmente mostrado que a transição entre tais órbitas, segundo as noções quânticas, produz uma radiação de exatamente a mesma frequência esperada do ponto de vista clássico para uma partícula carregada orbitando como parte de uma corrente numa antena circular – e, mais, a frequência de radiação seria igual à frequência da revolução na órbita. Portanto, para “átomos” suficientemente grandes e circuitos suficientemente pequenos, em relação ao tamanho normal de experimentos elétricos comuns, uma coincidência, ou correspondência de predições é obtida a partir das duas teorias.

Desta maneira, a física clássica se torna o caso limítrofe da física quântica mais complexa: nossos experimentos mais comuns em escala maior falham ao exibir seu caráter essencialmente quântico, porque as transições envolvidas se realizam entre estados caracterizados por números quânticos elevados. Nesta situação, o quantum de ação relativo às energias envolvidas no sistema é efetivamente zero, em vez de ter um valor finito, e a distinção de eventos individuais é anulada, devido ao grande número de eventos, em um *continuum* experimentado.

O princípio da correspondência chegou a se desenvolver nas mãos de Bohr e seus colaboradores em uma ferramenta sofisticada. A grande esperança que estava por trás do trabalho foi explicada por Bohr numa carta a A. A. Michelson, em 7 de fevereiro de 1924:

“Talvez seja do seu interesse saber que parece possível a um defensor da realidade



John von Neumann (1903-1957)

essencial da teoria quântica dar uma ajuda que se pode harmonizar com a realidade essencial da concepção da teoria da ondulação, talvez mais intimamente do que as opiniões que expressei durante nossa conversa. De fato, baseando-se no princípio da correspondência parece possível conectar os processos descontínuos que ocorrem nos átomos com o caráter contínuo no campo da radiação de certa maneira mais adequada do que o que até agora fora percebido... Espero enviar-lhe logo, um trabalho sobre esses problemas escrito em cooperação com os Drs. Kramer e Slater”⁽¹⁴⁾.

Mas logo após a publicação do trabalho de Bohr, Kramers e Slater em 1927, foram iniciados experimentos por W. Bothe e H. Giger, e por A. H. Compton e A. W. Simon – com resultados inegavelmente discordantes. Evidenciou-se que o princípio da correspondência fora um curativo útil sobre a ferida, mas não foi uma solução definitiva.

Mesmo antes dessa descoberta, os problemas mais importantes inerentes ao átomo de Bohr incluíam o seguinte: a questão das concepções antitéticas da ondulação (implícitas na frequência ou extensão da ondulação da luz emitida) e das partículas (implícita na idéia então

corrente do elétron) não ficou de forma alguma resolvida, ao contrário, persistiu imutável no modelo do átomo; e assim aconteceu com o conflito entre as concepções antitéticas da causalidade clássica por um lado (como no suposto movimento dos elétrons em suas órbitas) e dos aspectos probabilísticos, do outro (como para as transições entre órbitas); e mesmo a concepção da “identidade” do átomo teve que ser revisada, pois não era mais, mesmo em princípio, observável e explorável como entidade separada sem interferir com seu estado. Cada tipo diferente de experimento produz sua própria mudança de estado, de modo que, diferentes experimentos produzem diferentes “identidades”.

Tais questões permanecem como o centro da discussão entre os físicos mais preocupados. Schrödinger e De Broglie, por exemplo, esperavam tratar do contraste gritante entre as teses da continuidade e da descontinuidade, através do fornecimento de uma explicação mecânico-ondulatória para fenômenos que previamente se supunha exigirem uma linguagem de quantização. Como escreveu Schrödinger em seu primeiro trabalho sobre o assunto⁽¹⁶⁾:

“É desnecessário indicar quão mais gratificante seria conceber uma transição quântica como mudança de energia de um modo vibratório a outro, do que considerá-la como um salto de elétrons. A variação de modos vibratórios pode ser tratada num processo contínuo em espaço e tempo, e duraria enquanto o processo de emissão persistir”. Assim, a descrição espaço-tempo e causalidade clássica seriam preservadas.

A recepção que tiveram os excelentes trabalhos de Schrödinger foi interessante. Heisenberg obtivera essencialmente os mesmos resultados de uma maneira bem diferente, através de sua mecânica matricial; como observou Jammer, “era uma abordagem *algébrica* que, procedente da distinção observada das linhas espectrais, enfatizava o ele-

mento da *descontinuidade*; apesar de ter dispensado a descrição clássica em espaço e tempo, foi principalmente a teoria cuja concepção básica era o *corpúsculo*. O trabalho de Schrödinger, ao contrário, foi baseado no recurso familiar das equações diferenciais, semelhante à mecânica clássica dos fluidos e de uma representação facilmente visível e sugestiva; era uma abordagem *analítica* que, procedendo de uma generalização das leis clássicas do movimento, reforçou o elemento da *continuidade*⁽¹⁷⁾. “Aqueles que em seu desejo pela continuidade odiavam renunciar à máxima clássica *natura non facit saltus* aclamaram Schrödinger como o mensageiro de uma nova aurora. De fato, em poucos meses, a teoria de Schrödinger cativou o mundo da física, pois parecia prometer a “realização daquele desejo irreprimível e por longo tempo malogrado” nas palavras de K. K. Darrow, em *The Bell System Technical Journal*, 6 (1927)... Planck declarou: “Estou lendo-a com a sensação de uma criança que monta um quebra-cabeças”, e Sommerfeld ficou exultante⁽¹⁸⁾. Assim, naturalmente, estava Einstein que, em princípios de 1920, escrevera a Bohr, “Eu não acredito que alguém vai resolver os quanta abandonando o *continuum*”.

Estamos, sim, tratando aqui de um tipo de comprometimento intelectual, ou um “desejo irreprimível”, que caracteriza uma verdadeira ligação com a tese. Raramente houve uma luta mais óbvia entre diferentes teses que competiam em fidelidade, ou um conflito entre os critérios estéticos da escolha científica, diante do mesmo conjunto de dados experimentais. E nada é mais revelador sobre a motivação verdadeira e apaixonada dos cientistas do que suas reações aos seus respectivos construtos antitéticos. Numa carta a Pauli, Heisenberg escreveu: “Quanto mais pondero sobre a parte física da teoria de Schrödinger, mais detestável ela me parece” [*desto abscheulicher*]. Schrödinger, por sua vez, publicou sua reação à teoria de

Heisenberg livremente: “Senti-me desencorajado [*abgeschreckt*] para não dizer repugnado [*abgestossen*]”⁽¹⁹⁾.

Diferentes aspectos de análise e conflito de teses foram assuntos de artigos precedentes⁽²⁰⁾. Nesses estudos mostrei vários outros pares de tema – antitema, que podem ser representados por $(\theta, \bar{\theta})$. O que Bohr fez em 1927, logo após os debates entre Heisenberg e Schrödinger, foi desenvolver um ponto de vista que lhe permitiria aceitar ambos os membros $(\theta, \bar{\theta})$ do par como representações válidas da natureza, aceitando a dualidade da continuidade-descontinuidade (ou partícula ondulatória) como um fato irreduzível, em vez de tentar dissolver um membro do par no outro, como ele essencialmente tentara fazer no desenvolvimento do ponto de vista do princípio da correspondência. Segundo, Bohr viu que o par $(\theta, \bar{\theta})$, envolvendo atomismo descontínuo por um lado e continuidade por outro estava relacionado a outras dicotomias (θ, θ) que obstinadamente refutara em favor da ligação ou absorção mútua (por exemplo, a separação sujeito-objeto *versus* ligação sujeito-objeto; causalidade clássica *versus* causalidade probabilística). A consequência que Bohr esboçou a partir destes reconhecimentos foi de um tipo raro na história do pensamento: ele introduziu explicitamente um novo tema, ou pelo menos identificou um tema que ainda não tinha sido conscientemente parte da física contemporânea. Bohr pediu especificamente que os físicos aceitassem ambos θ e $\bar{\theta}$, embora ambos não seriam encontrados no mesmo plano de foco num dado momento. Nem tampouco devem θ e $\bar{\theta}$ ser transformados em alguma nova entidade. Em vez disso, os dois existem na forma tanto de θ quanto de $\bar{\theta}$; a escolha depende da questão experimental ou teórica pela qual alguém se decide. Vemos de imediato por que nenhuma das partes envolvidas, tanto as identificadas com θ quanto as identificadas com $\bar{\theta}$, aceitaria, sem mais nem menos, uma nova tese

que atribuísse uma verdade básica à existência de um paradoxo que os outros tentavam remover.

POUL MARTIN MØLLER E WILLIAM JAMES

Uma outra raiz da concepção da complementaridade pode ser discernida no trabalho de Niels Bohr quando lemos e relemos cuidadosamente suas próprias declarações do ponto de vista da complementaridade. Pois é em princípio curioso e inegavelmente significativo que, desde o início de 1927, Niels Bohr citava experiências da vida diária para tornar evidente a dificuldade em distinguir entre objeto e sujeito, e, como Oskar Klein escreveu num ensaio retrospectivo, para “facilitar o entendimento da nova situação em física, onde sua visão pareceu muito radical ou misteriosa para muitos físicos”⁽²¹⁾. Neste contexto, segundo Klein, Bohr escolheu um exemplo especial, simples e vívido: o uso que alguém pode fazer de uma bengala ao tentar encontrar seu caminho numa sala escura. O homem, a bengala e a sala formam uma entidade. A linha divisória entre sujeito e objeto não é fixada. Por exemplo, a linha divisória está no extremo da bengala quando esta é segurada firmemente. Mas quando é segurada folgadoamente, a bengala parece ser um objeto que está sendo explorado pela mão. O exemplo lembra nitidamente a situação descrita na teoria clássica da emissão da luz na qual, nós, primeiro, observamos o problema da ligação entre o observador e o observado.

Ao estudar os escritos de Bohr, descobrimos passo a passo que o uso que fazia de exemplos aparentemente “estranhos”, ou analogias, eram mais do que meras ferramentas pedagógicas. Em seu pronunciamento de setembro de 1927, a sentença de encerramento foi: “Eu espero, todavia, que a idéia da complementaridade seja adequada pa-

ra caracterizar a situação, que mostra uma analogia profunda relativamente à dificuldade geral para a formação do pensamento humano, sobre a distinção entre sujeito e objeto”. Declarações semelhantes e gradativamente mais confiantes continuaram a caracterizar as discussões posteriores de Bohr sobre a complementaridade. Assim, em seu ensaio sobre “Física Quântica e Filosofia” (1958), o ensaio mais importante da segunda coleção de ensaios de Bohr sob o título “Ensaio Sobre Física Atômica e Conhecimento Humano de 1958-1962”⁽²²⁾, Bohr concluiu: “É significativo que..., em outros campos do conhecimento, sejamos confrontados com situações que nos lembram a situação da física quântica. Assim, a integridade de organismos vivos, as características de indivíduos conscientes e culturas humanas apresentam aspectos de totalidade, o que implica um modo de complementaridade típico de descrição... Não estamos tratando de analogias mais ou menos vagas, mas de exemplos claros de relações lógicas que, em contextos diversos, são encontrados em campos mais extensos”. Será importante para nossa análise tentar discernir claramente o que Bohr quer dizer em tais passagens.

Algum esclarecimento é fornecido através de uma história que Niels Bohr adorava contar para ilustrar e tornar mais compreensível o ponto de vista da complementaridade. Léon Rosenfeld, antigo companheiro de Niels Bohr que também se preocupava com as origens da complementaridade, relatou quão seriamente Bohr se desincumbia da tarefa de contar repetidas vezes a história: “Todo aquele que chegara a ter um contato mais de perto com Bohr no Instituto, tão logo se mostrasse suficientemente fluente em língua dinamarquesa, era familiarizado com o pequeno livro: era parte de sua iniciação”⁽²³⁾.

O “pequeno livro” que Bohr usou era um trabalho do século dezenove do poeta e filósofo Poul Martin Møller. Nesta simples história, “As Aventuras de



Wolfgang Pauli (1900-1958)

um Estudante Dinamarquês”, Bohr encontrou o que ele chamou de um “conto sugestivo e vívido da interação entre os vários aspectos de nossa posição”. Um estudante tenta explicar por que não consegue usar a oportunidade para encontrar um trabalho prático, e relata as dificuldades que experimenta com seu próprio processo de pensamento:

“Minhas indagações infinitas me impedem de conseguir qualquer coisa. Além do mais, começo a pensar acerca dos meus próprios pensamentos, sobre a situação na qual me encontro. Até mesmo penso que penso isso, e me divido em seqüências retrogressivas infinitas de “egos” que consideram cada um separadamente. Eu não sei em qual “ego” parar, qual o verdadeiro “eu”, e no momento em que paro em um, existe um outro “eu” que pára junto dele. Eu me torno confuso e me sinto tonto, como se estivesse olhando para baixo de um abismo sem fim, e minhas reflexões resultam finalmente em uma terrível dor de cabeça”.

Mais adiante, o estudante afirma:

“A mente não pode prosseguir, sem se mover ao longo de uma certa linha; mas antes de seguir esta linha, a mente já deve tê-la pensado. Portanto, a gente já pensou cada pensamento antes que seja pensado. Assim, todo pensamento, que parece o trabalho de um minuto, pressupõe uma eternidade. Isto poderia levar-me à loucura. Como pôdia então surgir qualquer pensamento, já que deve ter existido antes de ser produzido?... O reconhecimento da impossibilidade de pensar contém em si uma impossibilidade, cujo reconhecimento implica novamente uma contradição inexplicável”⁽²⁴⁾.

Bohr usou a situação narrada não como uma analogia distante e vaga; mas como um desses casos que, “em diferentes contextos, são encontrados em campos mais extensos”. Além disso, a história parece apropriada por outras duas razões. Bohr acha que as condições de análise e síntese de experiências psicológicas “têm sido sempre um importante problema em filosofia. É evidente que palavras como pensamentos e sentimentos, referindo-se a experiências mutuamente exclusivas, têm sido usadas numa maneira complementar típica desde a própria origem da linguagem”⁽²⁵⁾. Também, a colocação humana na história do estudante dinamarquês, e o fato de ela apresentar uma situação em palavras e não em símbolos científicos, não nos deve levar a pensar que por essa razão seja qualitativamente diferente da informação fornecida no discurso científico. Pelo contrário: Bohr disse, defendendo o princípio da complementaridade, “O objetivo de nossa argumentação é enfatizar que toda experiência, seja na ciência, na filosofia, ou na arte, que possa ser útil à humanidade, deve ser passível de comunicação por meio da expressão humana, e é baseados nisto que devemos abordar a questão da unidade de conhecimento”⁽²⁶⁾. Devemos voltar a essa importante afirmação no presente trabalho.

Agora, confessemos que à primeira vista é curioso, e pelo menos para um

físico profissional, um tanto chocante, chegar à conclusão de que o pai do princípio da complementaridade, nestas passagens e em outras, frequentemente vai muito além dentro dos padrões da profissão científica, ao elucidar e desenvolver o que ele considerava ser muito importante do ponto de vista da complementaridade. Na busca das raízes do princípio da complementaridade, deveríamos apresentar mais desembaraçadamente os três caminhos até agora mostrados, especialmente através da história do conceito da luz, da definição operacional do comportamento da luz, e através do próprio trabalho de Bohr em física. Mas ao seguir este novo caminho, temos a impressão de estarmos nos distanciando cada vez mais da ciência.

Imagino que muitos alunos e companheiros de Bohr ouviram as suas afirmações com uma polida tolerância, talvez concordando que podia haver um certo benefício pedagógico, mas não uma chave para a “unidade de conhecimento”. Para o cientista típico, o estudante da história de Møller que fica tonto quando tenta pensar sobre seus próprios pensamentos, porque “pensamento” preciso e “pensamento sobre pensamento” são complementares entre si e ao mesmo tempo mutuamente exclusivos, este parece de certa forma ser um problema diferente daquele do experimentador que não pode mostrar simultaneamente as características da onda e as características da partícula de um raio de luz. Similarmente a postura do estudante como observador introspectivo sobre seus próprios processos de pensamento parece ter afinal de contas somente uma tênue conexão com o uso do laboratório macroscópico sobre eventos quânticos submicroscópicos em estudo.

Por isso foi surpreendente e revelador quando recentemente se encontrou, quase por acidente, uma das raízes do moderno ponto de vista da complementaridade na própria expe-

riência de Niels Bohr, que era exatamente esse contexto mais amplo e por assim dizer humanístico, apresentado nas citações anteriores. A descoberta de que falo apareceu de uma maneira surpreendente. Há alguns anos atrás, a Sociedade Americana de Física e a Sociedade Americana de Filosofia engajaram-se num projeto conjunto para reunir fontes para o estudo em alto nível da história da mecânica quântica. Este projeto, sob a direção geral de Thomas S. Kuhn, durou vários anos, e uma de suas funções era obter entrevistas com os maiores cientistas sobre as origens de suas contribuições para a física quântica. Várias entrevistas foram concedidas por Niels Bohr, e a quinta entrevista foi dirigida em 17 de novembro de 1962, por Kuhn e Aage Petersen. No decorrer da entrevista, Petersen, que foi assistente de Niels Bohr durante longo tempo, levantou a questão da relevância do estudo da filosofia sobre as primeiras idéias de Bohr. A seguinte conversa ocorreu, de acordo com a transcrição:

AaP: Como você considera a história da filosofia? Que tipo de contribuição você acha que deram pessoas como Spinoza, Hume, e Kant?

NB: Isto é difícil de responder, mas eu achei que todas estas questões foram tratadas de uma maneira irrelevante [em meus estudos].

AaP: Berkeley também?

NB: Não, eu sei quais os pontos de vista que Berkeley defendeu. Vi um pouco nos escritos de Høffding, mas não era aquilo que alguém gostaria.

TSK: Você leu as obras de algum desses filósofos?

NB: Li algumas, mas esse era um interesse por... [e aqui Bohr repentinamente parou e exclamou] – oh, a coisa toda está voltando [para mim]! Eu era amigo íntimo de Rubin [um estudante e amigo, mais tarde psicólogo], e por isso eu li realmente o trabalho de William James. William James é realmente ma-

ravilhoso na maneira como ele deixa isso claro – creio que li o livro, ou um parágrafo, chamado... Não, como era chamado? Chamava-se “Fluxo de Pensamentos”, onde ele, da maneira mais clara, mostra que é impossível analisar coisas em termos de – não sei como chamar isso, não-átomos. Quero dizer simplesmente, se você tem algumas coisas... elas são tão interligadas que se você tentar separá-las umas das outras, não terão nada a ver com a situação real. Creio que devemos entrar, realmente, nestas coisas, e eu sei alguma coisa sobre William James. Isto está surgindo pela primeira vez agora. A razão é porque eu falava às pessoas sobre outras coisas, e então Rubin aconselhou-me a ler alguma coisa de William James, e sei que ele era extraordinário.

TSK: Quando foi que você leu William James?

NB: Deve ter sido um pouco mais tarde, não sei. Tinha tanto que fazer, deve ter sido na época que eu estava trabalhando com tensão superficial [1905], ou foi um pouco depois; Não sei.

TSK: Mas seria antes de Manchester [1912]?

NB: Oh, sim, foi muitos anos antes.⁽²⁷⁾

Niels Bohr estava claramente interessado em pesquisar o assunto mais a fundo – “devemos realmente entrar nestas coisas”. Mas infelizmente, no dia seguinte, faleceu repentinamente.

Existem indicações suficientes que permitem especulações plausíveis sobre este assunto. K.T. Meyer-Abich relata em seu interessante livro *Korrespondenz, Individualität und Komplementarität* (Wiesbaden, 1965) que, entre os cientistas alemães, era lembrado que Bohr costumava citar William James e somente alguns filósofos ocidentais. Além disso, o próprio Niels Bohr, num artigo em 1929,⁽²⁸⁾ fez longas excursões na psicologia para usar analogias que, na opinião de Meyer-Abich, podiam

estar diretamente relacionadas no capítulo sobre o “Fluxo de Pensamentos” no livro de James, *Princípios de Psicologia* (1890). Por outro lado, têm sido levantadas dúvidas acerca da época. Rosenfeld⁽²⁹⁾ acreditava firmemente que o trabalho de William James não era conhecido por Niels Bohr até por volta de 1932. Ele recorda que, por volta de 1932, Bohr mostrou a Rosenfeld uma cópia dos *Princípios de Psicologia* de James. Rosenfeld acredita que poucos dias antes Bohr tinha tido uma conversa com Rubin, psicólogo e ex-aluno de Bohr. Rubin pode ter enviado o livro a Bohr após a conversa. Bohr demonstrou grande interesse pelo livro, e mostrou a Rosenfeld as passagens sobre o “fluxo da consciência”. Nos dias que se seguiram, Bohr compartilhou o mesmo entusiasmo com vários visitantes, e Rosenfeld guardou a impressão definitiva de que este era o primeiro contato de Bohr com a obra de William James. Na opinião de Rosenfeld, mais relevante que a especulação referente a uma influência anterior de James foi uma observação feita por Bohr: após discutir suas “primeiras meditações filosóficas e seu trabalho pioneiro de 1912-1913”, ele me disse (Rosenfeld) em incomum e solene tom de voz, “e vocês não devem se esquecer que eu estava completamente só trabalhando nestas idéias, não tinha nenhuma ajuda de ninguém”.⁽³⁰⁾

Tendo em vista as notáveis analogias ou similitudes entre as idéias de James e de Bohr, a serem mostradas a seguir, pode-se escolher entre acreditar na opinião de Meyer-Abich e Jammer, de que Bohr leu James suficientemente cedo para ser diretamente influenciado por ele, ou acreditar segundo Rosenfeld, que Bohr chegara independentemente a pensamentos análogos (talvez trazendo-os através de outras forças como aquelas já citadas por nós, forças adicionais como a contemplação dos conceitos de função multiforme e superfícies de Riemann).⁽³¹⁾ De certa

forma, a segunda alternativa é mais interessante, apesar de mais difícil, pois indica que pode ser aí o lugar onde atacar a persistente e velha questão por que e por quais mecanismos a mesma tese consegue preeminência em diferentes campos quase na mesma época. Independentemente do ponto de vista que se escolher neste momento, ao ler o capítulo sobre o “fluxo de pensamento” de William James à luz da observação de Bohr em sua entrevista de novembro de 1962, surge uma surpresa para o físico familiarizado com a física atômica.⁽³²⁾

Primeiro James insiste que o pensamento só pode existir em associação com um “possuidor” específico do pensamento. Pensamento e pensante, sujeito e objeto estão fortemente articulados. A objetivação do pensamento em si é impossível. Conseqüentemente, alguém não pode negar as circunstâncias sob as quais o pensamento se torna o sujeito da contemplação. “Nossa reação mental a todas as coisas apresentadas é realmente uma resultante de nossa experiência do mundo até aquela data. De um ano para outro vemos as coisas com novas luzes... as jovens que traziam uma aura eterna – hoje mal distinguimos sua existência; os quadros – tão vazios; o mesmo acontece com os livros; o que havia tão misteriosamente significativo em Goethe?” Podemos aqui imaginar a simpática resposta de Bohr, que escreveu: “para fins de descrição e compreensão harmoniosa, é necessário em quase todos os campos do conhecimento prestar atenção às circunstâncias sob as quais a evidência é obtida”.

Existe outro sentido no qual a consciência não pode ser concretizada e atomizada. James escreveu: “A consciência não parece por si mesma partida em pedacinhos; ela flui. Vamos chamá-la de fluxo de pensamento, fluxo de consciência, ou fluxo de vida subjetiva”. Então, aí existe o aspecto da descontinuidade: “as mudanças, de um

momento para outro, dá qualidade da consciência”. Se usarmos o vocabulário da teoria quântica, James propõe aqui uma seqüência de mudanças individuais entre estados estacionários, com certos períodos de descanso nesses estados – uma metáfora que traz à mente a noção de Bohr, de 1912-1913, do comportamento do elétron no átomo de hidrogênio. Citando James: “Como a vida de um pássaro, [o pensamento] parece ser feito de uma alternância de vôos e pousos. O ritmo da linguagem expressa isto, onde cada pensamento é expresso numa sentença e cada sentença fechada por um período... Vamos chamar os lugares de descanso as “partes substantivas”, e os lugares de vôo as “partes transitivas” do fluxo do pensamento”.

Mas aqui entra uma dificuldade; de fato, a mesma que atormenta o estudante na história do Møller. A dificuldade é, nas palavras de James, “introspectivamente, ver nas partes transitivas o que elas realmente são. Se elas não são senão vôos para conclusões, interrompendo-as para examiná-las antes de uma conclusão ser alcançada é realmente aniquilá-las. Entretanto, se alguém espera até que a consciência esteja novamente no estado estacionário, então o momento se acaba. Diz James: “Deixe alguém cortar um pensamento ao meio e dê uma olhada no seu pedaço, e ele verá quão difícil é a observação introspectiva do trato transitivo... Ou se o nosso propósito é rápido o suficiente e nós o prendemos, ele cessa imediatamente de ser ele próprio... a tentativa de análise introspectiva nesses casos é de fato como... tentar acender a luz suficientemente rápido para ver como é o escuro”. Deixando os pensamentos fluírem e fazendo deles o sujeito da análise introspectiva são, como sempre foram, duas situações mutuamente exclusivas e experimentais.

E é deste ponto que alguém pode tentar interpretar alguns dos novos

aspectos do trabalho de Bohr de 1927 sobre a complementaridade, se foi influenciado pela leitura de James, ou através do pensamento independente em linhas paralelas – e assim entender melhor a passagem final do trabalho de Bohr: “Espero, todavia, que a idéia da complementaridade seja adequada para caracterizar a situação, que apresenta uma profunda analogia na dificuldade geral da formação de idéias humanas, inerentes na distinção entre sujeito e objeto”.⁽³³⁾

Neste ponto, alguém poderia perguntar de onde o próprio termo “Complementaridade”, que Bohr introduziu na física em 1927, pode ter vindo. Existem vários campos de onde o termo pode ter sido adaptado, incluindo a geometria ou a topologia. Mas tanto Meyer-Abich quanto Jammer indicam uma possibilidade mais provocativa, ou seja, o capítulo sobre “As relações da Mente com Outras Coisas”, do livro de William James *Princípios de Psicologia* (1890), o capítulo anterior ao “Fluxo do Pensamento”. No subcapítulo “Inconsciência nos Histéricos”, James relata casos de anestesia histérica (perda da percepção natural da visão, audição, tato, etc.), e observa que P. Janet e A. Binet “mostraram que durante o período de anestesia, e coexistindo com ela, a sensibilidade das partes anestesiadas está também presente, na forma de consciência secundária, inteiramente separada da consciência primária ou normal, mas suscetível de ser “tocada” e comprovada de várias e estranhas maneiras”.⁽³⁴⁾

O método principal de “tocar” era o método da “distração”. Se Janet se colocava atrás de pacientes histéricos que estavam “mergulhados em conversação com uma terceira pessoa, e lhes dirigia em cochicho pedindo-lhe que levantassem a mão ou executassem outros movimentos simples (incluindo escrever respostas a perguntas cochichadas) eles obedeciam à ordem dada, embora sua inteligência para falar fosse

totalmente inconsciente ao receber a ordem. Se for interrogado neste estado, o histérico responderá perfeita e normalmente, quando, por exemplo, sua sensibilidade ao toque foi testada em regiões da pele do corpo que tinham sido antes anestesiadas ao serem examinadas através de sua consciência normal.

Além disso, alguns histéricos podem apresentar certas sensações somente em uma ou outra consciência, mas não em ambas ao mesmo tempo. Aqui James cita uma famosa experiência numa passagem impressionante:

M. Janet demonstrou isto maravilhosamente através do sujeito Lucie. O experimento que se segue servirá de exemplo de descanso: Quando ela estava em transe, ele cobriu o colo dela com cartões, cada um com um número. E disse então a ela que, ao acordar ela não poderia ver nenhum cartão cujo número fosse múltiplo de três. Esta é a chamada “sugestão pós-hipnótica”, comum, agora bem conhecida, e para a qual Lucie era um sujeito bem adaptado. Assim, quando ela acordou e foi perguntada sobre os papéis em seu colo, ela contou que só via aqueles cartões que não continham números múltiplos de três. Para os cartões 12, 18, 9, etc., ela era cega. Mas quando o subconsciente foi interrogado pelo método usual de absorção do superego em outra experiência, sua mão escreveu que os únicos cartões no colo de Lucie eram 12, 18, 9 etc., e ao ser solicitada que apanhasse todos os cartões que lá estavam, apanhou esses e deixou os outros. Similarmente quando a visão de certas coisas foi sugerida ao subconsciente e Lucie, a Lucie normal de repente ficava parcial ou totalmente cega. “O que aconteceu? Eu não consigo ver!” O personagem normal de repente começou a chorar no meio de sua conversa, quando M. Janet sussurrou ao personagem secundário para fazer uso dos seus olhos.⁽³⁶⁾

James dá estes e outros exemplos para apoiar a conclusão em que define o conceito da complementaridade na pesquisa psicológica.

Por isso deve ser admitido, que *em algumas pessoas, pelo menos, a consciência total pode ser dividida em partes que coexistem, mas mutuamente se ignoram umas às outras*, e estancam os objetos de conhecimento entre elas. Mais impressionante ainda é que elas são *complementárias*. Pode-se dar um objeto a uma das consciências, e removê-lo de uma ou das outras consciências. Executando certas reservas comuns de informações, como o comando de linguagem, etc., o que o superego sabe o *id* ignora, e vice-versa.⁽³⁷⁾

A analogia com o conceito da complementaridade de Bohr na física é notável, independentemente da questão da conexão genética entre esses dois usos da mesma palavra.

CHRISTIAN BOHR E HARALD HØFFDING

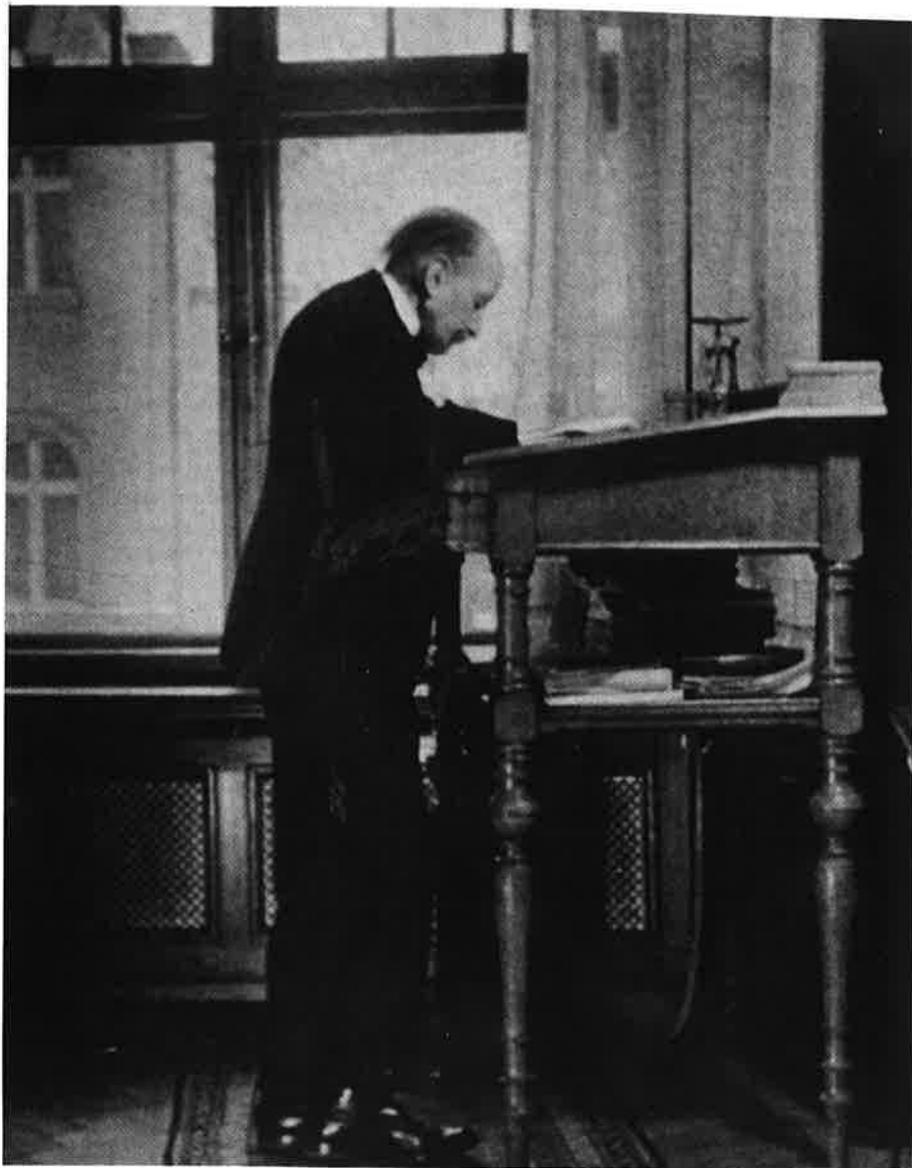
A afinidade de Bohr com idéias análogas àquelas de William James foi precedida por uma preparação filosófica e pessoal que começou na sua infância. No seu ensaio “Vislumbres de Niels Bohr como Cientista e Pensador”, de Oskar Klein, um dos primeiros colaboradores de Bohr, mostra um quadro revelador do jovem Bohr.

Niels e seu irmão Harald, brilhante matemático, gostavam de dar exemplos da maneira inocentemente crédula – e ao mesmo tempo resoluto –, como uma criança aceitava o que via e ouvia. Eles também falavam da intuição geométrica que desenvolveram muito cedo... Quanto ao primeiro aspecto, consistia, por exemplo, em acreditar literalmente naquilo que aprendia nas lições de religião na escola. Por um longo tempo isto fez o menino sensível e infeliz pela falta de fé de seus pais. Mais tarde, quando jovem, começou a duvidar, e o

fez também com pertinácia incomum, e a partir daí desenvolveu uma profunda tendência filosófica, o que parece ter caracterizado os primeiros filósofos naturais gregos.⁽³⁸⁾

Christian Bohr, pai de Niels Bohr, era professor de fisiologia na Universidade de Copenhague. Seu trabalho o envolveu em um dos importantes debates filosóficos da última parte do século XIX, as diferenças entre o mérito relativo das teorias "vitalísticas" e as concepções mecânicas dos processos de vida. De várias maneiras, os interesses de Christian Bohr moldaram as idéias e as preocupações de seu filho. Sabemos que, quando jovem, Niels Bohr recebeu permissão para trabalhar no laboratório de seu pai e encontrar-se com os intelectuais interessados em filosofia com quem Christian Bohr mantinha contato íntimo, como Harald Høffding, professor de filosofia na Universidade de Copenhague. Høffding visitava freqüentemente a casa de Bohr, e Niels Bohr provou a profunda influência recebida desde a infância, obtendo permissão para assistir aos encontros de um clube informal, formado por seu pai, Høffding, o físico Christian Christiansen, e o filólogo Hans Thomsen. Høffding, por sua vez, descreveu Christian Bohr como um cientista que reconhecia a "estreita aplicação dos métodos físicos e químicos de fisiologia" no laboratório, mas que, fora do laboratório, "era um forte admirador de Goethe. Quando falava de situações práticas de aspectos da vida, gostava de fazê-lo de maneira dialética".⁽³⁹⁾

Podemos entender melhor as implicações desta descrição através de Oskar Klein, que lembra uma impressão que Niels Bohr lhe deu: "Ele mencionou a idéia de seu pai de que a teleologia, quando desejamos descrever o comportamento de seres vivos, pode ser um ponto de vista ao mesmo nível que o da causalidade. Esta idéia iria mais tarde desempenhar um papel essencial na tentativa de Bohr de esclarecer a relação



Max Planck (1858-1947)

entre a maneira de descrever a natureza do biólogo e do físico".⁽⁴⁰⁾

Niels Bohr entrou na universidade em 1903, e logo se matriculou no curso de História da Filosofia e Lógica com Høffding. Ele também pertencia a um clube de estudantes, onde as questões levantadas nas exposições de Høffding sobre filosofia eram discutidas. (Outro membro desse clube era Rubin). Enquanto Bohr, como mostrou sua última entrevista, não sentia grande

atração pelos sistemas filosóficos (como os de "Spinoza, Hume e Kant"), há pouca dúvida sobre a duradoura impressão que Høffding exercera sobre Bohr — talvez em sua grande parte devido ao forte interesse de Høffding na aplicabilidade à filosofia do trabalho que chamou "*philosophierende Naturforscher*", de Copérnico a Newton e de Maxwell a Mach. Por exemplo, os dois últimos são discutidos detalhadamente na obra *Moderne Philosophen* de Høffding

que apareceu em 1904 em dinamarquês (em 1905 em alemão) como sucessor da sua monumental *História da Filosofia Moderna*.

Parece ter havido também uma simpatia pessoal entre o mais velho e o mais jovem. Enquanto ainda aluno de Høffding, Bohr apontou alguns erros na exposição de Høffding, e este, por sua vez, permitiu a Bohr ajudá-lo a corrigir as provas tipográficas de passagem controvertida. Uma calorosa amizade se desenvolveu mais tarde, e que era francamente reconhecida por ambas as partes, como por exemplo, no reconhecimento de Niels Bohr da influência de Harald Høffding sobre ele, por ocasião dos oitenta e cinco anos do filósofo,⁽⁴¹⁾ e nas cartas de Høffding e Emile Meyerson em 1926 e 1928.⁽⁴²⁾ A primeira dessas cartas é datada de 13 de dezembro de 1926, pouco antes da viagem de férias de Bohr à Noruega, em princípios de 1927, durante a qual, segundo Heisenberg e outros, as idéias de Bohr sobre a complementaridade foram desenvolvidas na forma em que as anunciou em 1927. Uma outra carta foi escrita meio ano depois da apresentação do princípio da complementaridade em Como. Nela, Høffding escreveu a Meyerson (13 de março de 1928): “Bohr declarou que encontrou em meus livros idéias que ajudaram os cientistas na “compreensão” de seus trabalhos, e portanto foram de real ajuda. Esta é uma grande satisfação para mim, que sinto freqüentemente a insuficiência da minha preparação específica em ciências naturais”.⁽⁴³⁾

Entre todos os filósofos e cientistas discutidos por Høffding, é improvável que qualquer estudante de Høffding, interessado, não se tivesse deparado com algum aspecto da obra de William James. A exemplo de James, Høffding era admirador de G.T. Fechner (o pai da psicofísica), e devotou seu primeiro livro à psicologia (edição em dinamarquês, 1882). Na época em que Bohr fazia seu curso de filosofia, Høffding

aproveitou a ocasião do encontro de St. Louis, em 1904, para visitar James nos Estados Unidos. James, por sua vez, forneceu um elogioso prefácio para a tradução inglesa (1905) de *Problemas de Filosofia* de Høffding – um livro que mais tarde seu autor disse ter-se originado de suas aulas na universidade em 1902.⁽⁴⁴⁾ E no mesmo ano da visita de Høffding a James, o filósofo dinamarquês expressou em seu *Moderne Philosophen* sua admiração pela obra de James, a quem dedica o último capítulo, com os seguintes comentários: “James pertence ao grupo dos mais ilustres pensadores contemporâneos... Sua obra mais importante é *The Principles of Psychology*.”

KIERKEGAARD

Na vida de Høffding, uma influência prematura e decisiva foi a obra de Kierkegaard, como confessou espontaneamente.⁽⁴⁵⁾ Høffding informou que numa crise na juventude, na qual esteve próximo ao “desespero”, encontrou conforto e novas forças nas obras de Kierkegaard, e menciona especialmente a obra de Kierkegaard agora conhecida como *Estágios no Caminho da Vida*. Høffding tornou-se conhecido como um dos ilustres expoentes seguidores de Kierkegaard; de fato, a segunda mais importante obra de Høffding publicada foi o livro *Kierkegaard als Philosoph* (Kierkegaard como Filósofo).⁽⁴⁶⁾

Não se sabe se Niels Bohr apreendeu um pouco de seu interesse por Kierkegaard enquanto aluno de Høffding, mas o fato de seu interesse prematuro por ele é bem documentado. Assim é lembrado que, em 1909, Niels enviou a seu irmão Harald, como presente de aniversário, um livro de Kierkegaard, *Estágios no Caminho da Vida*, com uma carta dizendo: “É a única coisa que tenho para mandar; mas não acredito que seja muito fácil encontrar algo melhor. De qualquer forma, tive

imensa felicidade ao lê-lo, e ainda penso que foi uma das mais encantadoras coisas que já tenho lido”.⁽⁴⁷⁾ Acrescentou então que não concorda plenamente com todas as idéias de Kierkegaard. Pode-se bem imaginar que Niels Bohr podia gostar da experiência estética e da paixão moral, sem ter que concordar também com a atitude anticientífica na maior parte da obra.

As observações de Bohr sobre Kierkegaard levam-nos ao último dos vários caminhos possíveis que prepararam a concepção da complementaridade. Ao mesmo tempo em que este não é o local adequado para um exame desses elementos nas obras de Kierkegaard, acerca dos quais elementos análogos foram observados no trabalho de Bohr,⁽⁴⁸⁾ será de interesse lembrarmos de um ou dois aspectos mais importantes que caracterizaram a obra tanto de Kierkegaard quanto de seu mais eminente intérprete na Dinamarca, Høffding.

O existencialismo de Kierkegaard estava fundamentado no Romantismo Alemão, apoiando a situação individual e momentânea da vida, na qual ele próprio se encontrava, contra a racionalidade e abstração objetiva promovida pelo Iluminismo do século XVIII. A negação do subjetivo, argumenta Kierkegaard, leva a autocontradições, pois mesmo as proposições mais abstratas permanecem como sendo criação de seres humanos. Numa reação a Hegel e a alguns aspectos de Kant, Kierkegaard escreveu sobre ciência em seu jornal: “Ocupemo-nos com as plantas, com os animais e com as estrelas, mas ocupar-se com o espírito humano dessa forma é blasfêmia, que somente enfraquece o amor ético e religioso”. A verdade não pode ser encontrada sem incorporar o subjetivo, particularmente nos estágios essencialmente irracionais e descontínuos de identificação intelectual que levam ao conhecimento da verdade. Como escreve J. Passmore, “cada passo impor-

tante em direção à verdade é uma decisão livre. Nosso progresso, segundo Kierkegaard, do ponto de vista científico ao estético e daí novamente do científico ao ético e do ético ao religioso, não pode ser racionalizado num passo ordenado e formalmente justificável, de premissas a conclusões: Cada caso é um salto para uma maneira totalmente nova de ver as coisas”.⁽⁴⁹⁾

O que talvez seja do nosso maior interesse é a acentuação do papel de descontinuidade na obra de Kierkegaard. Aqui vale a pena citar o trecho sobre Kierkegaard na principal obra do próprio Høffding, *Uma História da Filosofia Moderna*:

A principal idéia [de Kierkegaard] era que possíveis e diferentes concepções de vida são tão profundamente opostas umas às outras que devemos fazer uma escolha entre elas, daí suas palavras-chave *ou isto ou aquilo*, além disso, é uma escolha que cada pessoa deve fazer por si mesma, daí a razão de sua segunda palavra-chave, *o indivíduo*. Ele mesmo chamou seu pensamento de “dialética qualitativa”, que significava externar sua oposição à doutrina ensinada pela especulação romântica de desenvolvimento contínuo por meio de transformações internas necessárias. Kierkegaard considerava esta doutrina como pura fantasia – pela qual ele próprio se sentia atraído.⁽⁵⁰⁾

É essencial observarmos que um aspecto principal da “dialética qualitativa” de Kierkegaard é uma aceitação da tese ou antítese, *sem* passar a outro estágio, no qual a tensão é resolvida numa síntese. Por isso ele traçou uma linha entre pensamento e realidade que não permitia o seu desaparecimento. Høffding escreve: “Mesmo se o pensamento deve atingir a coerência, não quer dizer que esta coerência deva ser preservada na prática da vida... Tais importantes diferenças e oposições existem lado a lado pois não existe pensamento que possa unir todas elas numa “unidade mais elevada”.⁽⁵¹⁾ “Kier-



Soren Kierkegaard (1813-1855)

kegaard chegou a considerar mais e mais a capacidade de unir grandes contrastes e suportar o sofrimento que esta união envolve enquanto critério de sublimação e valor de uma concepção de vida.”⁽⁵²⁾

A ênfase de Kierkegaard sobre a descontinuidade entre incompatíveis, sobre o “salto” em vez de transição gradual, sobre a inclusão do indivíduo, e sobre a dicotomia inerente, foi tão “não-clássica” na filosofia, quanto os elementos da doutrina de Copenhague – saltos quânticos, causalidade probabilística, descrição condicionada pelo observador, e dualidade – eram tidos na física.

Porém seria tão absurdo quanto desnecessário tentar demonstrar que as concepções de Kierkegaard foram, diretamente e em detalhes, traduzidas por Bohr em seu contexto filosófico e teológico até o contexto físico. Obviamente, isto não ocorreu. Tudo que se pode fazer é permitir a si mesmo a

experiência, sem preconceitos, de ler Høffding e Kierkegaard com os olhos de uma pessoa numa situação igual à de Niels Bohr. Este se debatia, primeiro com sua obra de 1912-1913 sobre modelos atômicos, e novamente em 1927, para “descobrir uma certa coerência nas novas idéias” enquanto ponderava sobre as exigências conflitivas paradoxais e insolúveis da física clássica e da física quântica, que foram quase o desespero da maior parte dos físicos da época. É com esta disposição de espírito que se pode apreciar melhor, por exemplo, a discussão de Høffding sobre a concepção indeterminista do “salto” de Kierkegaard:

Na ética de Kierkegaard, a dialética qualitativa aparece parcialmente em sua concepção de escolha, na decisão do querer, e parcialmente em sua doutrina de estágios. Ele nega enfaticamente a existência de qualquer analogia entre desenvolvimento espiritual e desenvolvimento orgânico. Nenhum desenvolvimento gradual acontece dentro da esfera espiritual, como podia explicar a transição da deliberação à decisão, ou de uma concepção de vida (ou “estágio”) à outra. A continuidade seria quebrada em cada transição. Como em relação à escolha, a psicologia é capaz somente de apontar possibilidades e aproximações, motivos e preparações. A própria escolha vem com um arranco, com um salto, no qual alguma coisa bem nova (uma nova qualidade) é apresentada. Somente no mundo das possibilidades há continuidade; no mundo real, uma decisão sempre vem através da quebra da continuidade.

Mas, pergunta-se, não poderia este arranco ou este salto ser objeto de observação psicológica? A resposta de Kierkegaard não é clara. Ele explica que o salto acontece entre dois momentos, entre dois estados, um dos quais é o último estado no mundo das possibilidades, o outro o primeiro estado no mundo da realidade. Parece ser esta a razão por que o salto em si não pode ser

observado. Então dever-se-ia concluir que ele acontece inconscientemente – e a possibilidade da continuidade inconsciente a sustentar a antítese consciente não é excluída”.⁽⁵³⁾

É neste ponto que as obras de Høffding e Kierkegaard se sobrepõem mais evidentemente aos ensinamentos de William James. De fato, existem dois períodos específicos onde as concepções superpostas de Kierkegaard, de Høffding e James podem plausivelmente ter influenciado Bohr no sentido de fornecer preparo ou apoio favorável: uma entrou na obra de Bohr durante o primeiro período, desde 1912, através do ponto de vista da correspondência (isto é, na analogia entre as transições não-clássicas de Bohr sobre o elétron entre estados estacionários por um lado, e os “saltos” de Kierkegaard ou os vãos transitórios e “partes transitivas”, por outro lado). A outra concepção superposta veio aproximadamente no período de 1926, quando o ponto de vista da complementaridade de Bohr estava sendo desenvolvido; e aqui já apontamos as possíveis fontes ou antecedentes para as analogias de Bohr em passagens tais como na conclusão de seu discurso de setembro de 1927 (“a idéia da complementaridade é adequada para caracterizar a situação, que apresenta uma profunda analogia à dificuldade geral na formação de idéias humanas, inerente à distinção entre sujeito e objeto”), bem como num trabalho de 1929 (“estritamente falando, a análise consciente de qualquer conceito se põe numa relação de exclusão para sua aplicação imediata”; “A necessidade de recorrer a um modo complementar ou recíproco de descrição é-nos familiar talvez a partir dos problemas psicológicos”; “Em especial, o evidente contraste entre o fluxo contínuo e progressivo do pensamento associativo e a preservação da unidade da personalidade exhibe uma analogia sugestiva com a relação entre a descrição ondulatória dos movimentos dos

corpúsculos materiais, governados pelo princípio de superposição, e sua individualidade indestrutível”).⁽⁵⁴⁾

Um traço característico de Bohr não deve passar despercebido nesta discussão, pois sem ele a predisposição necessária para alcançar o ponto de vista da complementaridade seria prejudicada. Refiro-me ao conhecido estilo dialético de Bohr de pensar e de trabalhar. Um daqueles que trabalharam com ele por mais tempo, León Rosenfeld, atesta que o início da reflexão de Bohr era essencialmente dialético, mais que reflexivo... Ele necessitava do estímulo de alguma forma de diálogo para iniciar seu pensamento”.⁽⁵⁵⁾ Rosenfeld também recorda um conhecido aforismo de Bohr: “Toda sentença que eu falo deve ser considerada não como uma afirmação, mas como uma pergunta”. Um hábito de Bohr era o de freqüentemente fazer um trabalho durante um ditado, andando para cima e para baixo na sala e argüindo a si mesmo e a um colega físico que ele persuadia a ser seu caixa de ressonância, transcritor e crítico – a quem provavelmente deixaria exausto no fim do trabalho. Como Einstein, Heisenberg, Schrödinger, e muitos outros, tiveram que experimentar, parecia que Bohr procurava se agarrar com a maior energia sobre uma contradição, aquecendo-o ao extremo, antes que pudesse tirar o metal puro da disputa. O método de discussão de Bohr e o próprio princípio da complementaridade davam-lhe habilidade para explorar o choque entre posições antitéticas. Demos atrás somente a primeira linha de um dístico de Schiller, mencionado por ter sido um dos dizeres favoritos de Bohr: Depois da linha “Somente a plenitude conduz evidência” segue-se “E a verdade está no abismo”:

*Nur die Fülle führt zur Klarheit.
Und in Abgrund wohnt die Wahrheit.*

Histórias sobre Niels Bohr formam legiões, mas nenhuma é mais ilustrativa

do que aquela contada por seu filho Hans referente à definição fundamentalmente dialética da verdade. Hans conta que uma das máximas favoritas do seu pai era a distinção entre dois tipos de verdade: por um lado trivialidades, onde as oposições são obviamente absurdas, por outro lado, verdades profundas, reconhecidas pelo fato de que o oposto delas também constitui uma verdade profunda.⁽⁵⁶⁾ Na mesma linha, existe uma história segundo a qual Bohr tinha-se impressionado como um exemplo ou uma analogia do conceito da complementaridade nas exigências mutuamente exclusivas de justiça e de amor. Jerome S. Bruner atenciosamente deu-me a informação, em primeira mão, de uma conversa sobre este ponto, quando ele conseguiu encontrar-se com Bohr em 1943, ou princípios de 1944, pela primeira vez. “A conversa voltou-se inteiramente para a complementaridade entre afeto e pensamento, e entre percepção e reflexão. Bohr me disse que ele tinha se tornado consciente das profundezas psicológicas do conceito da complementaridade, quando um de seus filhos fizera algo indesculpável para o que se viu incapaz de uma punição adequada: “Você é incapaz de conhecer alguém simultaneamente à luz do amor e à luz da justiça!” Creio que estas foram quase exatamente as palavras que usou. Ele também... falava sobre a maneira em que a introspecção como ato dissipa a própria emoção que se tem a descrevê-la.”⁽⁵⁷⁾

A COMPLEMENTARIDADE ALÉM DA FÍSICA

Podemos agora perguntar: qual era a real ambição de Bohr na concepção da complementaridade? Certamente estava bem além do tratamento dos paradoxos da física da década de 20. Não só algumas raízes do princípio da complementaridade estavam fora da física, mas também estava fora da física seu

intencionado raio de aplicação. Lembremo-nos da declaração de Bohr: “A integridade dos organismos vivos, e as características dos indivíduos conscientes e a maior parte das culturas humanas apresentam aspectos de unidade, o que implica um modo tipicamente complementar de descrição... nós não estamos nos ocupando com analogias mais ou menos vagas, mas com exemplos de relações lógicas que, em contextos diferentes, são encontrados em campos mais vastos”.⁽⁵⁸⁾ O princípio da complementaridade é o tratamento de uma tese no sentido que previamente desenvolvi⁽⁵⁹⁾ – uma dentre o relativamente pequeno fundo comum de teses, onde a imaginação recorre para todos os campos do saber. Quando devotamos atenção a uma tese particular em física ou em outras ciências, seja complementaridade, atomismo ou continuidade, não devemos nos esquecer de que cada afirmação especial desta tese é um aspecto de uma concepção geral que, no trabalho de um físico ou biólogo ou outro cientista, é exemplificado simplesmente de uma forma específica. Assim um tema geral, θ , tomaria a forma específica em física que pode ser simbolizada por θ_γ , em investigação psicológica por θ_ψ , no folclore por θ , etc. A tese geral da descontinuidade ou distinção, portanto, aparece em física como o θ_ψ do atomismo, enquanto em estudos psicológicos aparece como o tema θ_γ da identidade individualizada. Alguém pode expressar um determinado θ como a soma de suas exemplificações específicas, como simbolizados (sem força de precisão) pela expressão:

$$\theta = \sum_{n=a}^n \theta_n$$



Erwin Schrödinger (1887-1961)

A partir deste ponto de vista descobrimos que o propósito do princípio da complementaridade de Bohr era nada menos que uma tentativa para fazer dele a pedra fundamental de uma nova epistemologia. Quando “em perspectiva filosófica geral... confrontamos situações que nos lembram a situação da física quântica”,⁽⁶⁰⁾ não é que essas situações sejam de certa forma pálidas reflexões ou “vagas analogias” de um princípio que é fundamentado na física quântica; mas, a situação em física quântica é somente uma reflexão de um princípio totalmente difundido. Sejam quais forem os fatores mais preeminentes que contribuíram para a formulação do ponto de vista da complementaridade na física, de Bohr – se sua pesquisa em física ou reflexões sobre psicologia, ou leitura de problemas filosóficos, ou a controvérsia entre escolas rivais de biologia, ou as exigências complementares de amor e justiça nos relacionamentos do dia-a-dia – era o significado universal do papel da complementaridade que Bohr queria enfatizar.

Além disso, esta universidade explica como foi possível a Bohr avançar

em seu trabalho em física a partir de considerações de situações de complementaridade em outros campos. Como León Rosenfeld perfeitamente lembra: “Como sua idéia do papel da complementaridade em física se aprofundou no curso desses anos de criatividade, ele foi capaz de apontar situações que em psicologia e em biologia também apresentam aspectos complementares; e as considerações de tais analogias em referência epistemológica, por sua vez, esclareceram problemas físicos não-familiares”.⁽⁶¹⁾

“Bohr devotou grande parte de trabalho intenso para explorar as possibilidades de aplicação da complementaridade em outros domínios do conhecimento; ele não deu menos importância a esta tarefa do que a investigações puramente físicas, e não colheu menos satisfação na sua realização.”⁽⁶²⁾

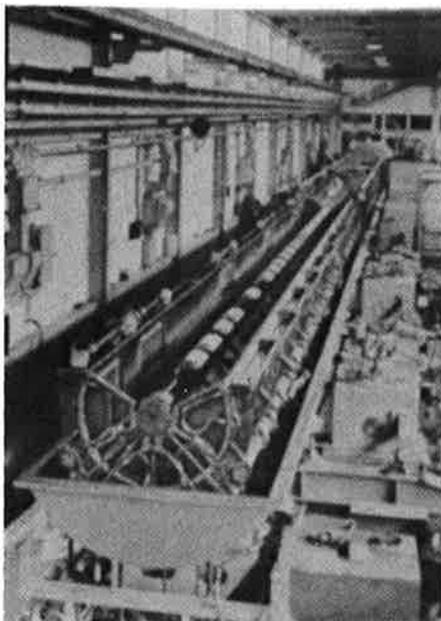
Durante os últimos trinta anos de sua vida, Bohr teve muitas oportunidades de considerar a aplicação do conceito de complementaridade em campos fora da física. Informa Rosenfeld que a primeira importante oportunidade desta natureza aconteceu quando Bohr foi convidado para participar de um congresso de biologia em Copenhague, em 1932.⁽⁶³⁾ Iniciando pela idéia da complementaridade usada para entender os aspectos duais da luz, Bohr prosseguiu até apontar a aplicação das relações de complementaridade em biologia. Vale a pena citar aqui o comentário detalhado de Rosenfeld sobre a conferência:

Foi um desafio especial para ele: ficara profundamente impressionado com as opiniões de seu pai sobre o assunto, e estava visivelmente feliz ao poder agora tomá-las e dar-lhes uma formulação mais adequada. Seu pai, envolvido no trabalho de reação contra o materialismo mecanicista, no princípio do século, defendida rigorosamente o ponto de vista teleológico no estudo da filosofia: sem o conheci-

mento prévio da função de um órgão, argumentava ele, não há esperança de se decifrar a estrutura dos processos fisiológicos dos quais é a semente. Ao mesmo tempo, enfatizava ele, com toda a autoridade de uma vida devotada à análise dos aspectos físicos e químicos de tais processos, a igualmente imperiosa necessidade de se levar esta análise ao limite extremo que os meios técnicos da investigação nos permitirem alcançar...

Tais reflexões chegaram tão perto quanto se podia esperar, na época, para estabelecer uma relação de complementaridade entre o lado físico-químico dos processos vitais, governados pelo tipo de causalidade que costumam considerar como verdadeiramente científico, e o aspecto propriamente funcional desses processos, dominados por causalidades teleológicas ou finalísticas. No passado, dois pontos de vista, sob formas variadas, sempre foram postos em acentuada oposição um ao outro, sendo a opinião geral que uma delas deveria prevalecer à exclusão da outra, que não havia espaço para ambas na ciência da vida. Niels Bohr podia agora indicar que esta última crença era somente o resultado de uma concepção de lógica que os físicos reconheceram como muito limitada, e que a estrutura mais aberta da complementaridade parecia particularmente adaptada para acomodar os dois pontos de vista, e fazer o possível, sem nenhuma contradição, para aproveitar a ambos, muito no espírito das idéias de seu pai. Assim, pois, um longo período de conflito estéril seria eliminado e substituído por uma utilização completa de todos os recursos da análise científica. (64)

Não é necessário ser tentado de imaginar Bohr numa luta hamletiana para impor as idéias de seu pai; mas é necessário não permanecer insensível ao fechamento do círculo. Pois certamente um dos caminhos que levam à complementaridade fora aberto en-



Rutherford Laboratory

quanto Niels Bohr estava no laboratório de seu pai e no clube com os colegas.

Nos anos que se seguiram ao congresso de 1932, Bohr levou seu ponto de vista perante um público ainda maior; somando às suas contribuições escritas e faladas a de cientistas físicos, apresentou-se em encontros como o Segundo Congresso Internacional para a Unidade da Ciência, em Copenhague (junho de 1936), numa discussão sobre "Causalidade e Complementaridade"; o Congresso Internacional para Física e Biologia, em outubro de 1937 sobre "Biologia e Física Atômica"; o Congresso Internacional para Antropologia e Etnologia, Copenhague, 1938, sobre "Filosofia Natural e Culturas Humanas"; e em vários outros encontros da mesma natureza. (65)

Em cada uma dessas conferências, Bohr oferecia um novo conjunto de ilustrações do tema comum. Assim em seu discurso perante os antropólogos, em 1938, às vésperas da II Guerra Mundial, Bohr enfatizou os aspectos

complementares das sociedades humanas. Ele retomou também o problema apresentado pelo estudante da história de Moller. Como escreve Rosenfeld:

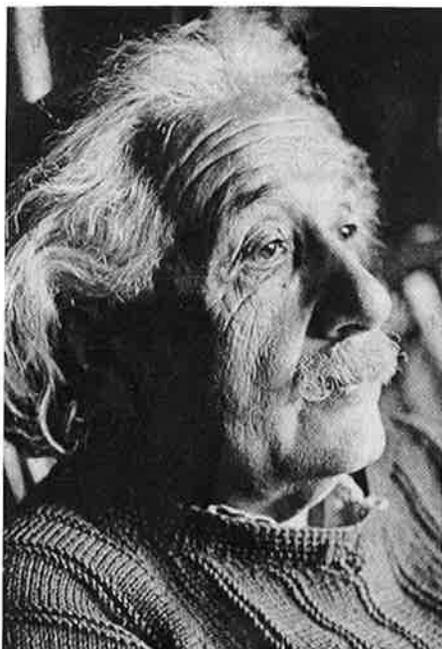
Ele podia agora olhar para a dualidade de aspectos da experiência física com todo o domínio que tinha adquirido sobre a natureza das relações de complementaridade, e mostrar que esta dualidade correspondia a diferentes maneiras de traçar uma separação entre o processo físico que fora escolhido como o objeto de observação e o sujeito observador: traçar tal separação é precisamente o que queremos dizer, quando falamos em fixar nossa atenção sobre um aspecto definido do processo; segundo o modo como traçamos a linha, podemos experimentar emoção como parte do nosso sentimento subjetivo, ou analisá-la como parte do processo observado. A descoberta de que estas duas situações são complementares resolve o enigma dos egos do estudante observando cada um, e é de fato a única salvação para suas vertigens. (66)

Falando perante o congresso da Fondation Européenne de la Culture em Copenhague, em 2 de outubro de 1960, num discurso intitulado "A Unidade do Conhecimento Humano", Bohr retornou à necessidade de buscar, dentro da grande diversidade de desenvolvimentos culturais, "aqueles aspectos que em todas as civilizações têm suas raízes na situação humana comum." Ele desenvolveu estas idéias no contexto sociológico e político, particularmente desde que se tornara progressivamente mais preocupado em ajudar a "promover o entendimento mútuo entre as nações com diferentes antecedentes culturais". (67) Profundamente preocupado com os perigos da Guerra Fria, Bohr passou boa parte de seus últimos anos dedicado a questões políticas e sociais, incluindo trabalhos sobre projetos para uso pacífico da energia nuclear e para controle de

armas. Nestes e noutros artigos sobre o tema, pode-se notar a insatisfação de Bohr com seu próprio grau de entendimento; os problemas trazidos pelos antagonismos nacionais não pareciam ser totalmente compreensíveis nos mesmos termos que lhe pareceram suceder na física e na psicologia. Como confessou ao final de sua conferência perante a Academia Americana de Arte e Ciências, em 1957, “O fato de as culturas humanas, desenvolvidas sob diferentes condições de vida, exibirem tais contrastes com respeito às tradições e padrões sociais estabelecidos, permite-nos, em certo sentido, considerar estas culturas complementares. Entretanto, estamos aqui tratando não de aspectos definidos e mutuamente exclusivos, como aqueles que encontramos na descrição objetiva de problemas gerais da física e da psicologia, mas das diferenças em atitude que podem ser apreciadas ou aperfeiçoadas através da expansão das relações entre os povos.”⁽⁶⁸⁾

Bohr retornou ao mesmo tema repetidas vezes. Por exemplo, no ensaio citado anteriormente, sobre “A Unidade do Conhecimento Humano”, Bohr reexaminou a condição de que mesmo os princípios mais abstratos da física quântica, por exemplo, devem ser capazes de ser levados ao público em linguagem clássica. “O objetivo de nossa argumentação” escreveu Bohr, “é salientar que toda experiência, seja em ciência, filosofia ou arte deve ser de ajuda ao homem, deve ser capaz de ser comunicada através de meios humanos de expressão, e é sobre estas bases que devemos abordar a questão da unidade de conhecimento.”⁽⁶⁹⁾

A última frase, usada no título do ensaio, de repente deu-nos a perspectiva de que as múltiplas e bem-sucedidas ambições de Bohr o colocaram na tradição representada por outro “cientista-filósofo”, que pertenceu à geração anterior a Bohr – um autor que Bohr, ao lado de outros, leu em sua



Albert Einstein (1879-1955)

juventude e cujas opiniões Høffding havia descrito de uma maneira simpática em seu livro *Filósofos Modernos* e em *Problemas de Filosofia: Trata-se de Ernst Mach*.

Bohr parece ter traçado para si a mesma tarefa grande e interdisciplinar – em sua convincente e inovadora influência sobre a física e sobre a epistemologia, em seu profundo interesse pelas ciências muito além da própria física, até mesmo em suas observações ativas e liberais sobre questões político-sociais. E como físico, fisiologista, psicólogo, Ernst Mach quis também encontrar um ponto de vista principal, a partir da qual a pesquisa em qualquer campo pudesse ter prosseguimento mais significativamente. Este ponto de vista, Mach pensou ter encontrado recorrendo àquilo que é dado antes de toda pesquisa científica, isto é, o mundo das sensações. Sobre estas bases, Mach se estabeleceu como o patriarca do movimento da Unidade da Ciência. Niels Bohr, por sua vez, começou do profundo reexame do problema de sensação e particularmente da intera-

ção objeto-sujeito; também encontrou (no ponto de vista de complementaridade) a nova plataforma de onde avaliar e resolver os problemas básicos nos vários campos, seja na física, psicologia, fisiologia ou filosofia.

As realizações de Bohr, a partir de 1927, para alcançar tal ponto de vista principal não foram um desenvolvimento accidental. Ao contrário, foi a realização de uma antiga ambição. Um biógrafo de Bohr recorda que “como jovem estudante, entusiasmado com as idéias que Høffding estava abrindo para ele, Bohr sonhava com “grandes inter-relacionamentos” entre todas as áreas do conhecimento... mas a física o atraiu irresistivelmente”⁽⁷⁰⁾. No final, a tentativa de Bohr de entender a unidade de conhecimento (tópico sobre o qual ele escreveu aproximadamente vinte e quatro trabalhos) baseado na complementaridade pôde ser vista como a realização do desejo de descobrir as “grandes inter-relações entre todas as áreas do conhecimento”.

O objetivo de Bohr tem uma nobreza que se deve admirar. Mas enquanto seu ponto de vista é aceito por uma grande maioria na própria física, não seria correto dizer que era amplamente entendido e usado em outros campos; menos ainda empolgara a filosofia da mesma maneira que a opinião de Mach durante a geração de cientistas anterior à teoria da relatividade e da mecânica quântica. Mesmo aqueles que em seu trabalho profissional em física experimentaram o sucesso do ponto de vista da complementaridade, em princípio, acharam difícil ou desagradável transferir a outras áreas do pensamento e da ação, como uma atitude de tese fundamental, o hábito de aceitar dualidades básicas, sem constranger sua dissolução ou redução mútua. De fato, tendemos a ser antes de tudo “reducionistas”, talvez em parte porque nossos primeiros heróis intelectuais tenham sido homens da tradição de Mach e Freud, e não Kierkegaard e James.

Talvez, também se trate apenas de uma questão de tempo – mais tempo seja necessário para assimilar uma nova tese suficientemente ampla para escolher entre o meramente tentador e as aplicações sólidas; e aprender a perceber o tipo de grandeza na abrangência da nova concepção, que Robert Oppenheimer delineou assim:

Uma compreensão da natureza complementar da vida consciente e sua interpretação física parece-me ser elemento permanente do entendimento humano e uma formulação própria de concepções históricas chamadas paralelismo psicofísico. Pois dentro da vida consciente, e nas suas relações com a descrição do mundo físico, existem

muitos exemplos. Há a relação entre os lados cognitivo e afetivo de nossa vida, entre conhecimento e análise, emoção ou sentimento. Existe a relação entre o estético e o heróico, entre o sentimento e aquele precursor e definidor de ação, o compromisso ético; há a relação clássica entre a análise do íntimo de alguém, a determinação dos motivos e propósitos de alguém e a liberdade de escolha, a liberdade de decisão e ação, que são complementares umas às outras...

Ter sensação de medo, ou humor, emocionar-se pela beleza, assumir um compromisso ou uma determinação de entender alguma verdade – estes são modos complementares do espírito hu-

mano. Todos são parte da vida espiritual do homem. Nenhum pode substituir o outro, e quando um é chamado, os outros permanecem inativos...

A riqueza e variedade da própria física, a imensa riqueza e variedade das ciências naturais como um todo, a mais íntima e ainda desconhecida maior riqueza da vida espiritual humana têm uma harmonia maior, acrescida por aspectos complementares, não-compatíveis de imediato, e reciprocamente irreduzíveis. Constituem os elementos da tristeza e do esplendor do homem, sua fragilidade e poder, sua morte, seu desaparecimento e seus feitos imortais⁽⁷¹⁾.

Traduzido da Revista Daedalus, vol. 99, Winter, 1970.

NOTAS

1. Após trabalhá-lo, Bohr publicou sua conferência em 1928 sob o título "O Postulado Quântico e o Recente Desenvolvimento da Teoria Atômica". Esta conferência foi publicada em vários lugares, por exemplo, na coleção de Niels Bohr, como um dos quatro ensaios do "Atomtheorie und Naturbeschreibung" (Berlin: Springer, 1931), também publicada como "Atomic Theory and the Description of Nature" (Cambridge, Eng: University Press: New York: McMillan, 1934).

2. Bohr, "The Quantum Postulate", in "Atomic Theory and The Description of Nature", p. 55.

3. A. Einstein, "Das Comptonsche Experiment", Berliner Tageblatt (20 de abril, 1924), Suplemento, p. 1, citado por M. J. Klein, "A Twentieth-Century Challenge to Energy Conservation", a sair.

4. Bohr (in "The Quantum Postulate", "Atomic Theory and the Description of Nature", pp. 54-55) apresentou a necessidade de se formular uma "teoria da complementaridade" na seguinte sentença: "A própria natureza da teoria quântica portanto força-nos a considerar a coordenação espaço-tempo e a tese da causalidade, a união das quais caracteriza a teoria clássica, como completar mas com aspectos exclusivos na descrição, simbolizando a idealização da observação e da definição respectivamente. Max Jammer, cujo livro "The Conceptual Development of Quantum Mechanics" (New York: McGraw-Hill, 1966, p. 351) ao que vamos nos referir frequentemente, acrescenta: "A afirmação, na qual o termo "Complementaridade" aparece pela primeira vez e onde a descrição espaço-tempo é referida como complementar à descrição causal, contém a essência do que mais tarde se tornou conhecido como "a interpretação de Copenhague" da mecânica quântica."

O princípio da variabilidade de Heisenberg, formulado em princípios de 1927, deu uma

primeira indicação das relações de complementaridade entre os conceitos físicos, embora em sentido restrito. O princípio da variabilidade conta-nos que se tentamos localizar uma partícula no espaço (ou tempo), devemos, durante o processo de medição, dar à partícula o impulso (ou energia) dentro de uma série de valores que cresce à medida que diminuimos o tamanho espaço-tempo sobre o que desejamos focalizar nossa atenção. Posição e impulso não são concepções mutuamente exclusivas pois ambos são necessários para especificar o estado do sistema e ambos podem ser medidos no mesmo experimento. Mas são complementares no sentido restrito de que não podem os dois ao mesmo tempo ser verificados arbitrariamente com elevada precisão; isto é, quanto maior for a precisão obtida em uma medição, menor será possível obtê-la na outra. Ao contrário, os aspectos de onda e partículas da matéria são complementares e mutuamente exclusivas; uma entidade atômica não pode exibir as propriedades de onda e das partículas simultaneamente. Por esta razão é que os livros de texto dizem que a afirmação de Bohr em Como, sobre a complementaridade, transcendeu o princípio da variabilidade.

5. Niels Bohr, "Discussion with Einstein on Epistemological Problems in Atomic Physics", in P. Schilpp, ed. "Albert Einstein: Philosopher-Scientist" (Evanston, Ill.: The Library of Living Philosophers, 1949), pp. 209-210; em itálico no original.

6. Jammer, "Conceptual Development of Quantum Mechanics", p. 354.

7. Traduzido do mesmo, p. 358.

8. A. Einstein, "Reply to Criticisms", in Schilpp, ed., "Albert Einstein", p. 674.

9. Bohr, "Discussion with Einstein", in Schilpp, ed., "Albert Einstein", p. 218.

10. Sobre alguns aspectos da história inicial das teorias da luz, ver o interessante livro do Vasco Ronchi, "Optics, The Science of Vision" (New York, 1957), ou em *Lehrbuch der Physik*, de Johann Müller (Braunschweig: F. Vieweg und Sohn, 1926). Foram para mim fontes de intensas consultas.

11. Por exemplo, ver W. H. Bragg, *Philosophical Magazine*, 20 (1910), 358-416.

12. Merle A. Tuve, in Caryl P. Haskins, ed., "The Search for Understanding" (Washington, D.C.: Carnegie Institution, 1967), p. 46.

13. Jammer, "Conceptual Development of Quantum Mechanics", p. 87.

14. Citado com permissão de Niels Bohr através de uma carta da Biblioteca da Sociedade Filosófica Americana, Filadélfia. Agradeço a Dorothy Goodhue Livingston por ter enviado esta carta à minha atenção.

15. N. Bohr, H.A. Kramers, e J.C. Slater, "The Quantum Theory of Radiation", *Philosophical Magazine*, 47 (1924), 785. A revisão alemã encontra-se na *Zeitschrift für Physik*, 24 (1924), 69.

16. E. Schrödinger "Quantisierung als Eigenwertproblem", *Annalen der Physik*, 79 (1926), 375.

17. Jammer, "Conceptual Development of Quantum Mechanics", pp. 271-272, em itálico no original.

18. *Ibid.*, p. 271.

19. Como citado *ibid.*, p. 272.

20. Ver "On the Thematic Analysis of Science: The Case of Poincaré and Relativity", *Mélanges Alexandre Koyré* (Paris: Hermann, 1964), II, 257-268; "The Thematic Imagination in Science", in Gerald Holton, ed., *Science and culture* (Boston: Houghton Mifflin, 1965), pp. 88-108, "Science and New Styles of Thought", *The Graduate Journal*, 7 Spring, 1967), 399-421.

21. Oskar Klein, "Glimpses of Niels Bohr as Scientist and Thinker", in S. Rozental, ed., *Niels Bohr: His life and Work as Seen by His Friends and Colleagues* (New York: John Wiley, 1967), p. 93.

22. Niels Bohr, *Essays 1958-1962 on Atomic Physics and Human Knowledge* (New York: John Wiley, 1963), p. 7, em itálico.
23. L. Rosenfeld, "Niels Bohr in the Thirties", in Rozental, ed., *Niels Bohr*, p. 121.
24. Citado no ensaio de Bohr, "The Unity of Human Knowledge", 1960, in *Essays 1958-1962*, e em L. Rosenfeld, "Niels Bohr's Contribution to Epistemology", *Physics Today*, 16 (1963), 63. Neste artigo e em outros, Rosenfeld insistiu sobre a importância desta história para Bohr; além disso Rosenfeld crê que a luta do estudante com seus vários egos foi "a única lição em pensamento dialético que Bohr recebeu a o único elo entre sua reflexão altamente original e a tradição filosófica". (p. 48).
25. Bohr, "A Unidade do Conhecimento Humano", in *Essays 1958-1962*, p. 12.
26. *Ibid.*, p. 14.
27. A permissão concedida pelos administradores da obra de Niels Bohr e pela Sociedade Filosófica Americana para reproduzir esta parte da entrevista, penhoradamente agradeço.
28. Bohr, "The Quantum of Action and the Description of Nature", in *Atomic Theory and The Description of Nature*.
29. Carta ao Autor, 28 de fevereiro de 1968.
30. *Ibid.* Numa entrevista feita com Werner Heisenberg por T.S.Kuhn para um projeto da História da Física Quântica, em 11 de fevereiro de 1963, Heisenberg informou que James era um dos filósofos favoritos de Bohr; o capítulo sobre "fluxo de pensamento" parece ter causado uma profunda impressão em Bohr. Heisenberg colocou estas discussões entre 1926 e 1929, mais provavelmente por volta de 1927. Quando se comentou sobre as dúvidas quanto ao tempo certo, Heisenberg respondeu que ele não podia "garantir" que essas discussões com Bohr não tivessem sido após 1932.
31. Rosenfeld, "Niels Bohr's Contribution to Epistemology", p. 49. Ver também L. Rosenfeld, *Niels Bohr* (Amsterdam: North-Holland Publishing Co., 1945, 1961), pp. 12-13.
32. Seguimos aqui a sequência dada em Meyer-Abich, *Korrespondenz*, pp. 133 e segs.
33. Bohr, "The Quantum Postulate", in *Atomic Theory and the Description of Nature*, p. 91.
34. Willian James, *Principles of Psychology* (New York: Dover, 1950), I, 203; em itálico no original em todas as passagens citadas.
35. *Ibid.*, p. 204.
36. *Ibid.*, pp. 206-207.
37. *Ibid.*, p. 206.
38. Em Rozental, ed., *Niels Bohr*, p. 74. Pode-se notar aqui a grande semelhança da experiência de Bohr com aquela registrada nas observações autobiográficas de Einstein - a mesma aceitação religiosa inicial em contraste com a opinião dos pais, seguida de uma perda ou rejeição "do paraíso religioso da juventude", como Einstein o chamou.
39. Como citado em Rozental, ed., *Niels Bohr*, p. 13.
40. Klein, "Glimpses of Niels Bohr", *ibid.*, p. 76.
41. Ver Jammer, *Conceptual Development of Quantum Mechanics*, p. 349.
42. *Ibid.*, pp. 347-349.
43. Ruth Moore, em seu livro Niels Bohr (Nova York: Knopf, 1966), p. 432, recorda que numa parede da casa de Bohr em Carlsberg, "havia fotografias dos mais íntimos de Bohr, reverentemente agrupados": o pai e a mãe de Bohr, seu irmão Harald, seu avô Adler, e o "professor de Bohr, Høffding. Se existe alguma dúvida da influência de Høffding sobre a vida de Bohr, ela é dirimida nesta fotografia".
44. H. Høffding, in R. Schmidt, ed., *Die Philosophie der Gegenwart in Selbstdarstellungen* (Leipzig: Felix M., 1923), p. 86.
45. Por exemplo, *ibid.*, p. 75.
46. Edição dinamarquesa, 1892; edição alemã, 1896.
47. In Rozental, ed., *Niels Bohr*, p. 27. Ver também o relato de J. Rud Nielsen, "Memories of Niels Bohr", *Physics Today*, 16 (1963), pp. 27-28. Referindo-se a uma visita de Bohr em 1933, Nielsen escreveu: "Sabendo do interesse de Bohr por Kierkegaard, mencionei a ele as traduções feitas pelo Prof. Hollander da Universidade do Texas, e Bohr começou a falar sobre Kierkegaard."
48. Um tratamento preliminar sobre o assunto é apresentado no capítulo "The Philosophical Background of Non-classical Interpretations", in Jammer, *Conceptual Development of Quantum Mechanics*, pp. 166-180.
49. J. Passmore, *A Hundred Years of Philosophy* (New York: Basic Books, 1966) p. 480.
50. H. Høffding, *A History of Modern Philosophy* (New York: Dover, 1955), II, 286. O trabalho foi originalmente publicado em 1893 e intencionou cobrir o assunto até 1880. A tradução inglesa foi publicada em 1900. Høffding explorou também o papel da descontinuidade em outros contextos, por exemplo, in *Modern Philosophen* (1904), onde ele compara minuciosamente o *Kontinuitätsphilosophie* mais antigo como em Taine, Fouillée, Wundt, Ardigò) com o mais recente *Diskontinuitätsphilosophie* (por exemplo, Renouvier, "der Nestor der Philosophie der Gegenwart", e Boutroux).
51. *Ibid.*, p. 287
52. *Ibid.*, p. 288.
53. *Ibid.*, pp. 287-288.
54. Bohr, "The Quantum of Action", in *Atomic Theory and the Description of Nature*, pp. 96, 99.
55. Rosenfeld, "Niels Bohr in the Thirties", in Rozental, ed., *Niels Bohr*, p. 117.
56. Hans Bohr, "My Father", in Rozental, ed., *Niels Bohr*, p. 328.
57. Jerome S. Brunner, em comunicação particular ao autor, em 25 de dezembro de 1967. Bruner fez um comentário que se tornará relevante para nós: "Conheci Bohr durante anos e depois passei várias horas com ele quando ele estava no Instituto de Estudos Avançados de Princeton, e quando veio visitar-me. Ele tinha uma extraordinária sensibilidade para problemas psicológicos: Numa ocasião repetiu a famosa declaração de Mach de que basicamente nossa duas únicas ciências são: a que trata das sensações externas, a física, e a que trata das internas, a psicologia. Ele não fez a citação aceitando-a integralmente, mas queria dizer que havia nela um pouco de verdade".
58. Bohr, "Quantum Physics and Philosophy", in *Essays 1958-1962*, p. 7.
59. Ver nota 20, e G. Holton, "Stil und Verwirklichung in der Physik", *Eranos Jahrbuch*, 33 (Zurich: Rhein-Verlag, 1965), particularmente pp. 333 e segs.
60. Bohr, "Quantum Physics and Philosophy", in *Essays 1958-1962*, p. 7.
61. Rosenfeld, "Niels Bohr in the Thirties", in Rozental, ed., *Niels Bohr*, p. 116.
62. *Ibid.*, p. 120.
63. Niels Bohr, "Light and Life", conferência no Segundo Congresso Internacional sobre Terapia da Luz, Copenhague, agosto de 1932, *Nature*, 131 (1933), pp. 421-423, 457-459.
64. Rosenfeld, "Niels Bohr in the Thirties", in Rozental, ed., *Niels Bohr*, pp. 132-133.
65. Para uma bibliografia parcial dos escritos de Bohr, ver Meyer-Abich, *Korrespondenz*, pp. 191-199.
66. Rosenfeld, "Niels Bohr in the Thirties", in Rozental, ed., *Niels Bohr*, pp. 135-136. Um sumário prático das idéias de Bohr referentes à aplicação da complementaridade à física, biologia, psicologia, e antropologia social, é apresentada in Niels Bohr, "On Atoms and Human Knowledge" *Daedalus* (Spring, 1958), pp. 164-175.
67. Bohr, "The Unity of Human Knowledge" in *Essays 1958-1962*, pp. 14-15.
68. Bohr, "On Atoms and Human Knowledge", *Ibid.*, pp. 174-175.
69. Bohr, "The Unity of Human Knowledge", *Ibid.*, p. 14.
70. Moore, *Niels Bohr*, pp. 406-407. Há muitas indicações da grande esperança que Bohr nutria sobre suas concepções. Em sua discussão de 1933, J. Rud Nielsen ("Memories of Niels Bohr" p. 27) informa: "Bohr falava muito sobre seus planos para futuras publicações, 'creio que cheguei a um certo estágio de conclusão em meu trabalho', disse ele, 'acredito que minhas conclusões têm uma larga aplicação também fora da física... Gostaria de escrever um livro que pudesse ser usado como texto. Mostraria que é possível alcançar todos os resultados importantes com muito pouca matemática. De fato, desta maneira obter-se-ia maior claridade em alguns pontos." Esse livro, a que Bohr se referia como um testamento, nunca foi escrito". Da mesma forma Rosenfeld ("Niels Bohr's Contributions to Epistemology", p. 54.) escreve: "Bohr tinha grandes esperanças sobre o futuro papel da complementaridade: ele as sustentava com um otimismo inabalável, nunca desencorajado pela pouca reação que obtinha de nossa era pouco filosófica... Bohr declarou com imensa esperança que gostaria de ver o dia em que a complementaridade fosse ensinada nas escolas e se tornasse parte da educação geral."
71. J. Robert Oppenheimer, *Science and the Common Understanding* (New York: Simon and Schuster, 1953), pp. 80-82.
- Observação:* Uma amostra anterior deste ensaio foi apresentado em *Tagung of Eranos* (agosto de 1968). Este trabalho foi enriquecido com as discussões de estudantes em meu seminário, especialmente com Bernard Lo e Kellogg Steele, e com Dr. Arthur Miller.