

Kant quântico

Oswaldo Pessoa Jr.*

1. Introdução

Para Immanuel Kant (1724-1804), toda experiência possível de um sujeito cognoscente se apresentaria sob certas formas, a priori. As impressões sensoriais, que constituem a faculdade da intuição, seriam ordenadas sob as formas puras da sensibilidade, que seriam o espaço e o tempo. Em outras palavras, seria impossível que houvesse experiência (de um sujeito cognoscente qualquer), sem que esta experiência se ordenasse no espaço e no tempo.

Esta tese é uma das proposições centrais da epistemologia kantiana. Em alguns trechos de sua obra, o prussiano considerava que o espaço seria uniforme e indeterminado (sem métrica pré-determi-

* Mestrado de Ensino, Filosofia e História das Ciências (UFBA/UEFS)
Peço perdão ao leitor, por ter combinado uma leitura primária de Kant com um relato denso de aspectos da filosofia da física quântica. Este trabalho é um desenvolvimento da seção 9 de PESSOA (2001), artigo este que pode servir de introdução ao presente texto. Agradeço o estímulo e comentários críticos de João Carlos Salles, Olival Freire Jr., Benedito Pepe e Roberto Ponczek.

In: Pires da Silva, J.C.S. (org.)
Filosofia e consciência social.
Salvador: Quarteto, 2004,
pp. 309-23.

nada). Mas na época de Kant, as geometrias não-euclidianas não haviam sido propostas ainda (Johann Lambert, amigo de Kant, publicaria, em 1786, um dos primeiros estudos nesta direção). Assim, é compreensível que ele tenha caído na tentação de concluir que toda experiência possível é ordenada espacialmente de acordo com a geometria euclidiana (ver Torretti, 1999, p. 117-8). Com a formulação da teoria da relatividade geral, tornou-se claro que a questão da métrica do espaço-tempo é empírica, e não deve ser parte necessária da forma pura da sensibilidade.

Uma segunda tese central do apriorismo kantiano é de que qualquer experiência pressupõe um conjunto de categorias do entendimento, sem as quais não poderia haver conhecimento. Dentre estas categorias, encontrar-se-ia a causalidade: "o princípio da relação causal na sucessão dos fenômenos vale antes de todos os objetos da experiência [...], pois ele mesmo é o fundamento da possibilidade de uma tal experiência" (Kant, [1781] 1980, § 247). Como entender e explicar o mundo sem a categoria da causalidade?

Mas, com o surgimento da Mecânica Quântica, em 1926, a maioria dos físicos passou a defender que a natureza seria intrinsecamente probabilista, estocástica. Em outras palavras, alguns eventos ocorreriam sem serem determinados por outros, sem uma "razão suficiente" para acontecer. Isto violaria a tese kantiana de que a causalidade é uma categoria pura do entendimento? Da mesma maneira que há diferentes possibilidades de métricas espaciais, não haveria diferentes tipos de causalidades? Com efeito, podemos conceber um mundo com determinismo estrito, e outro com determinismo apenas estatístico.

No entanto, em 1934, a filósofa e matemática alemã Grete Hermann (1901-84) se propôs a examinar os fundamentos da Teoria Quântica, esforçando-se por mostrar que os argumentos de que esta teoria é indeterminista seriam incorretos. Ela havia sido discípula do filósofo Leonard Nelson (1882-1927), de Göttingen. Este, por sua vez, era um "neo-friesiano", ou seja, um continuador da abordagem psicologista ao kantismo, desenvolvida por Jakob Fries (1773-1843) (ver Bréhier, 1977, II.3,

p. 208-9). Nelson valorizava o rigor matemático e era próximo ao matemático David Hilbert.

Dois anos antes de Hermann ir para Leipzig, John von Neumann, discípulo de Hilbert, havia publicado uma prova, segundo a qual qualquer teoria determinista seria inconsistente com a Mecânica Quântica. Devido a suas convicções filosóficas, Hermann dirigiu suas armas na direção certa, criticando sensatamente a prova de von Neumann, apesar de não conseguir esclarecer completamente as limitações desta demonstração (isto seria feito por Bohm, 1952, e por Bell, 1966).

Para poder fazer este estudo, Hermann passou um ano em Leipzig, onde um brilhante grupo de físicos se reunia em torno de Werner Heisenberg (1901-76), contemplado em 1932 com o prêmio Nobel de Física. De seu grupo participava o jovem Carl von Weizsäcker (1912-), que se interessou muito pela questão levantada pela filósofa. Dessas discussões resultou um artigo de Hermann (1935) e outro de von Weizsäcker (1941). Paralelamente, Ernst Cassirer (1874-1945) examinava as mesmas questões, publicando suas conclusões em 1936.

Partiremos da descrição que Heisenberg ofereceu em sua autobiografia intelectual, *A Parte e o Todo* ([1969] 1996, cap. 10), e preenchemos vários detalhes a partir do excelente estudo crítico do trabalho de Hermann, oferecido por Lena Soler (1996). Nosso estudo das teses de Hermann segue Soler e Jammer (1974), ao passo que a concepção de von Weizsäcker é apresentada em uma esquecida tradução para o português, feita durante a 2ª Guerra Mundial. Procuramos esclarecer a questão a partir do ponto de vista privilegiado que temos hoje em dia, com relação aos fundamentos da Teoria Quântica, mas já adiantamos que o problema permanece sem uma solução consensual.

2. Categoria da causalidade e indeterminismo quântico

Heisenberg ([1969] 1996, cap. 10) descreveu as discussões do grupo de Leipzig sobre a relação entre mecânica quântica e filosofia kantiana de maneira muito clara, apesar de os detalhes

não serem confiáveis, já que se referiam a acontecimentos ocorridos 35 anos antes. Segundo sua reconstrução do diálogo, Hermann argumentava a favor da tese de que a causalidade seria uma categoria a priori do entendimento.

“De certa maneira, a lei causal é um instrumento mental com que tentamos incorporar a matéria-prima de nossas impressões sensoriais à experiência. Só na medida em que conseguimos fazê-lo é que estamos de posse de um objeto para a ciência natural. Sendo assim, como pode a mecânica quântica tentar afrouxar a lei causal e, apesar disso, ter a esperança de continuar a ser um ramo da ciência?” (Heisenberg, 1996, p. 140.)

A resposta de Heisenberg foi a resposta padrão contra interpretações exclusivamente corpusculares da teoria quântica. Um núcleo radioativo de um átomo emite um elétron energético com uma certa probabilidade, dentro de um certo intervalo de tempo. Contudo, antes de este elétron ser detectado, é preciso admitir que há uma *superposição* de emissões em instantes diferentes (é como se ele fosse emitido em vários instantes diferentes). A razão disto é que é possível montar um experimento em que estas super-posições provoquem um fenômeno de interferência. Apesar de um tal experimento com superposições temporais só ter sido realizado na década de 80 (o experimento de Francon, ver Pessoa, 1995), a teoria quântica já deixava claro que é isso que acontece. O exemplo de Heisenberg, porém, é conceitualmente mais difícil de entender do que outros mais simples, envolvendo superposições espaciais, como o experimento das duas fendas (para um elétron único) ou o interferômetro de Mach-Zehnder (para uma explicação didática do assunto deste parágrafo, ver Pessoa, 2003, cap. III).

O argumento de Heisenberg, porém, não pára aí. É verdade que – segundo as interpretações que consideram que a teoria quântica é completa – um átomo radioativo não emite um elétron em um instante bem definido *antes de ser observado*. Contudo, depois que este elétron é detectado, o instante em que ocorreu a emissão torna-se bem definido – desde que aceitemos um procedimento conhecido como “retrodição”. Qual foi a causa de esta emissão ter ocorrido em um certo instante e não em

outro? A resposta de Heisenberg (1996, p. 141) foi de que este evento não foi determinado por nada: “estamos convencidos, por muitas razões, de que esta causa não existe”. No entanto, estas razões aludidas por Heisenberg não são só de natureza experimental ou exigidas pelo formalismo da teoria quântica, como as do parágrafo anterior, mas envolvem uma hipótese adicional, a de que teorias de variáveis ocultas deterministas (em que toda grandeza tem valor bem definido e todo processo é regulado por uma lei causal, ou seja, por uma lei determinista) são inconsistentes com a relação Teoria Quântica.

É esta hipótese adicional que Hermann põe em xeque na continuação do debate: “O fato de não se haver descoberto uma causa para um certo efeito não significa que essa causa não exista”. Este argumento é correto, naturalmente, mas Heisenberg tinha ao seu lado a crença, difundida na época, da impossibilidade de variáveis ocultas. Esta crença fora fortalecida pela prova que von Neumann apresentou em 1932, e que Hermann iria atacar, mas Heisenberg não faz menção a esta prova.

Ele apresenta o seguinte argumento: “Se descobríssemos novos determinantes, a partir dos quais pudéssemos dizer que o elétron foi originalmente emitido numa direção claramente definida [ou num instante bem definido], nenhum fenômeno de interferência poderia ocorrer” (Heisenberg, 1996, p. 141-2). Ora, hoje sabemos que este argumento está errado! David Bohm, em 1952, mostrou que é possível construir uma teoria de variáveis ocultas determinista consistente com a mecânica quântica, e que dá conta dos fenômenos de interferência (sua idéia foi associar ao elétron uma onda e um corpúsculo). Heisenberg deveria saber disso em 1969, pois conhecia bem a teoria de Bohm, que ele criticara na década de 1950. No entanto, certamente, em 1934, ele e Hermann não tinham conhecimento disso. (Se a palavra “descobríssemos” fosse substituída por “medíssemos”, então a sentença de Heisenberg seria verdadeira.)

Nesta altura da reconstrução oferecida por Heisenberg, von Weizsäcker entra em cena e a discussão toma outro rumo. Mas a conclusão que podemos tirar, com o conhecimento atual, é que Hermann tinha razão: *é possível, no caso da teoria quântica de*

partículas não-relativísticas, manter a categoria da causalidade para explicar os fenômenos atômicos.

No entanto, esta é uma vitória de Pirro. A tese kantiana é muito mais forte do que isso. Ela exige que seja impossível conceber a experiência sem a categoria a priori da causalidade. Ora, se esta exigência envolve um determinismo estrito, conforme sugerido por Hermann (e também por von Weizsäcker e Cassirer), então ela é contrariada pela existência de interpretações não-deterministas da teoria quântica, como a da complementaridade, defendida por Heisenberg, von Weizsäcker e Niels Bohr. Parece-nos, assim, que o foco da discussão levantada por Hermann está mal colocado.

Por que a existência da categoria da causalidade implicaria que a causalidade observada no mundo seguisse sempre o determinismo estrito? Se temos o "hábito" de ver relações causais sempre que observarmos uma correlação entre eventos sucessivos e contíguos (usando a terminologia de Hume), pode muito bem acontecer que esta correlação, para um certo tipo de evento, às vezes aconteça, às vezes, não. Não é preciso descer até o mundo quântico para experienciar isso.

O nosso ponto aqui é que o "determinismo estatístico", ou seja, uma relação causal entre dois eventos, que ocorre com uma frequência relativa menor do que 1, poderia ser subsumida na categoria a priori da causalidade, sem afetar o núcleo duro do kantismo. Nesse sentido, a consistência das idéias nucleares de Kant em comparação com as idéias da Física Moderna nunca teria sido posta em xeque, nem com a descoberta das geometrias não-euclidianas, nem com a de uma física possivelmente estocástica. Para que esta coexistência pacífica seja mantida, basta ignorar algumas teses exageradas de um filósofo imerso em um mundo onde a ciência estava ainda em sua adolescência. (Esse, de fato, é o projeto de alguns neo-kantianos, como Cassirer, 1936.)

3. Determinismo sem Determinação

Voltemos para Leipzig, 1934 (antes da teoria determinista de variáveis ocultas de Bohm), onde o grupo de físicos e filósofos jul-

gava que uma teoria física estocástica (como a maioria considerava a física quântica) era uma ameaça à epistemologia kantiana.

Enquanto a filósofa Grete Hermann utilizava sua perspectiva kantiana para analisar a situação epistemológica da física quântica (como resumiremos na seção 5), o físico com inclinações filosóficas, Carl von Weizsäcker, também procurava conciliar a "filosofia crítica" de Kant com a nova física. Sua conclusão essencial era que a categoria da causalidade, no sentido do determinismo estrito, não é afetada pela física quântica. O afetado seria a noção de "objeto".

A causalidade é vista pelo físico como uma conexão funcional entre estados em tempos diferentes: "Se o estado dum sistema fechado for completamente conhecido num certo instante, poder-se-á, em princípio, calcular sempre o estado desse mesmo sistema em qualquer outro instante anterior ou posterior" (von Weizsäcker, 1944, p. 121). Este é um juízo condicional. Ora, ele argumenta, a situação na física quântica é que o antecedente desta proposição condicional *nunca* ocorre. Nunca se conhecem com exatidão os valores de todas as grandezas mensuráveis de um sistema atômico. Assim, a lei causal permanece verdadeira na mecânica quântica, assim como na física clássica. A diferença é que nesta última é possível determinar o estado de maneira completa, ao passo que na microfísica tal determinação é impossível.

A razão pela qual não seria possível determinar o estado microscópico completo de um sistema atômico, segundo von Weizsäcker, é a validade do princípio da complementaridade, formulado por Bohr em 1928. Este princípio engloba três afirmações diferentes (uma das quais equivale ao princípio de incerteza), mas, no sentido invocado por von Weizsäcker, ele afirma que qualquer observação de uma entidade microscópica exhibe ou um aspecto corpuscular, ou um aspecto ondulatório, mas nunca ambos ao mesmo tempo. Por aspecto "ondulatório" entende-se uma medição na qual aparecem padrões de interferência; por "corpuscular", entende-se a possibilidade de se inferir a trajetória passada do quantum detectado (para um exame das sutilezas envolvidas, ver Pessoa, 2000, e Pessoa, 2003, cap. III).

É curioso que o enunciado do princípio da causalidade, oferecido por von Weizsäcker, aplica-se bem a *estados quânticos*, entendidos como a função de onda ψ . Em outras palavras, dado um sistema fechado caracterizado por um estado ψ , e considerando-se as interações relevantes deste sistema consigo mesmo e com campos externos (o que define o hamiltoniano do sistema fechado ou, na ausência de interações com campos externos, do sistema isolado), a teoria quântica consegue calcular o estado $\psi(t)$ com exatidão em qualquer instante futuro. No entanto, esta aceção de “estado” é diferente do sentido usado na física clássica; na quântica, o conhecimento do estado $\psi(t)$ não permite que se saiba com certeza o resultado de medições no instante t .

Em suma, podemos resumir a proposta de von Weizsäcker como sendo um “determinismo sem determinação”, ou seja, a evolução do estado quântico seria determinista, mas seria impossível determinar o estado quântico de maneira completa, em um dado instante.

Neste ponto, vale a pena elaborar um pouco a diferença que existe entre causalidade e determinismo. Torretti (1999, p. 128-34) salienta que relação de causa e efeito não se baseia necessariamente em uma lei, ao passo que o determinismo na física está associado à existência de uma lei de movimento, que possui uma única solução, dadas condições iniciais bem determinadas. Segundo o chileno, a categoria kantiana estaria mais próxima da concepção do senso comum do que do determinismo da física. De fato, a noção ordinária de causa envolve de maneira implícita uma idéia de intervenção: se eu apertar o botão, o elevador desce; caso contrário, ele não desce. Como aponta Torretti, num universo laplaceano que evolui deterministicamente, não se pode dizer que o estado num instante t_0 “causa” o estado no instante t_1 , já que neste universo não há lugar para intervenções. No entanto, o conceito de “causa” também carrega, implicitamente, uma noção de necessidade de ocorrência do efeito (ou de um aumento de probabilidade de que isso ocorra). Num universo “quase-laplaceano”, em que “interventores” podem decidir apertar botões ou não, a noção ordinária de causa e efeito é recuperada com a garantia adicional de necessidade (em ca-

sas simples em que não haja outros interventores). Ou seja, a discussão sobre o determinismo é relevante para a discussão sobre causalidade. O ponto que quero defender, neste artigo, é que mesmo em um universo em que não valha o determinismo, faria sentido postular uma categoria de causalidade, que se aplicaria a correlações estatísticas entre certos eventos (não a todas as correlações, naturalmente, pois dois eventos podem estar correlacionados por meio de uma causa comum).

4. A Quebra da Objetividade

Ao salientar que uma entidade quântica não pode ser conhecida de maneira completa, von Weizsäcker defende o que podemos chamar de “interpretação numenal da complementaridade”, uma visão defendida por diversos autores (como Wheeler, ver Pessoa 2001, p. 168-70), mas não, explicitamente, por Bohr. Uma entidade microscópica seria algo incompreensível, em toda sua totalidade, para o entendimento humano; este só pode compreender esta entidade sob uma certa perspectiva, que é ora corpuscular, ora ondulatória.

Utilizo o termo “numenal”, porque esta visão se aproxima do conceito kantiano de “coisa-em-si” (sinônimo de “númeno”), que estaria “por trás” dos fenômenos e completamente fora de nosso alcance cognitivo. A interpretação de Bohr é *positivista* (ou pragmática), pois considera que é sem sentido falar no númeno. Já a interpretação numenal tem um elemento de *realismo*, pois atribui realidade à coisa-em-si, mesmo que sua existência só possa ser postulada teoricamente pelo sujeito cognoscente.

Para von Weizsäcker (1944, p. 123), a marca distintiva da física quântica não é a quebra do princípio de causalidade, mas é a perda do que chama de *objetividade*, ou seja, a possibilidade de “construir e arquitetar, com os diversos fragmentos da nossa intuição e as diferentes séries causais, o modelo de uma Natureza existindo em si mesma”. A mecânica quântica violaria o princípio (da física clássica) de que “o não-percebido deve ter as mesmas qualidades que o percebido” (p. 116). Só podemos conceber uma realidade enquanto ela é observada de uma cer-

ta perspectiva, e não existindo em si mesma. Isso não implica necessariamente um idealismo radical, que afirmaria que, sem observadores, não existiria o mundo. Mas reforça a postura kantiana de que não faz sentido conceber um objeto independente de um sujeito cognoscente.

Vale destacar que von Weizsäcker segue Heisenberg e von Neumann, ao aplicar explicitamente o nexo causal *entre* o objeto e o sujeito (com a mediação do aparelho de medição), na chamada "cadeia de observação" (ver Pessoa, 2001, p. 163-5). Isso vai contra a atitude de Kant, que só admite a causalidade entre objetos fenomênicos (por se tratar de uma categoria do entendimento), e nunca da coisa-em-si para o sujeito, ou do objeto de percepção para o sujeito.

Uma novidade introduzida por von Weizsäcker é o papel da *vontade* na epistemologia quântica. O sujeito pode escolher se vai observar um aspecto ondulatório ou corpuscular, então, neste sentido, sua vontade tem um papel na determinação do fenômeno. Este resultado aparentemente trivial torna-se mais paradoxal, quando se consideram "experimentos de escolha demorada" (Pessoa, 2001, p. 168-70; Pessoa 2003, cap. III), em que a escolha de se o fenômeno é ondulatório ou corpuscular se dá bem depois de a interação ter cessado.

É importante salientar a proximidade entre a concepção de Kant sobre os limites do conhecimento e a de Bohr, à qual von Weizsäcker é simpático. Para Bohr, nós estamos presos à linguagem da física clássica: primeiro, porque só podemos observar diretamente corpos macroscópicos; e segundo, porque seria só por meio desta linguagem que o cientista pode comunicar seus resultados para outros. Assim, a linguagem clássica seria uma pré-condição para a ciência, assim como as categorias do entendimento seriam uma pré-condição para todo conhecimento (científico ou não) (Soler, 1996, p. 170-3, detém-se nesta comparação). Entende-se, assim, porque von Weizsäcker (1944, p. 154) afirma que "a física quântica não nega o caráter apriorístico da física clássica, antes o pressupõe".

Von Weizsäcker e geralmente Heisenberg (por exemplo, 1996, p. 145) utilizam o termo "objetivo" como sinônimo de real, de

coisa-em-si, o que não parece muito apropriado. Considero preferível a sugestão feita em Heisenberg ([1958] 1981, cap. VIII, p. 78), onde é feita uma distinção entre "objetivo" e "real". O estado $\psi(t)$ de um átomo seria "objetivo", pois ele é invariante ante mudanças no observável sendo medido. No entanto, não se poderia dizer que este átomo seja "real", pois ele nunca seria observado diretamente, figurando apenas como um termo teórico na teoria quântica. Hoje em dia, tal discussão voltou à ordem do dia, devido ao desenvolvimento de técnicas de visualização de átomos.

5. A Concepção de Grete Hermann

O trabalho de Grete Hermann nos fundamentos da teoria quântica é notável por dois pontos. Em primeiro lugar, foi a primeira a apontar uma das falhas da prova de von Neumann de impossibilidade de teorias de variáveis ocultas deterministas. Em segundo lugar, antecipou-se a Bohr na elaboração de uma interpretação relacionista para a teoria quântica (Jammer, 1974, p. 208).

Von Neumann definira algumas propriedades que uma teoria de variáveis ocultas deveria ter, e depois demonstrou que tal classe de teorias era inconsistente com a mecânica quântica. No entanto, como Bell (1966) deixou claro, é possível construir teorias deterministas que violem um dos postulados exigidos por von Neumann (a aditividade dos valores médios), e que mesmo assim são consistentes com a mecânica quântica. Ou seja, o matemático húngaro restringiu demais a classe de teorias de variáveis ocultas possíveis. Hermann suspeitou do uso deste postulado, e acusou von Neumann de petição de princípio. Esta acusação não é precisa (Jammer, 1974, p. 275), mas foi um primeiro passo na direção correta. (Bohm, 1952, identificou um outro motivo pelo qual a prova de von Neumann não afetava sua interpretação, que é o fato desta ser "contextual", ou seja, as variáveis ocultas do aparelho de medição também entram na descrição.)

Não elaborarei o segundo ponto mencionado acima, mas é interessante que para chegar à sua interpretação relacionista, Hermann tenha concluído que a física quântica não admite uma interpretação em termos de variáveis ocultas adicionais. Isto é

curioso, porque o princípio de causalidade pode ser salvo por tais teorias de variáveis ocultas (como a de Bohm), e Hermann esforçou-se tanto por mostrar a falha no teorema de von Neumann. Mas, mesmo assim, concluiu que o princípio de causalidade já está satisfeito na teoria quântica, mesmo sem variáveis adicionais. O ponto de Hermann é que, uma vez encerrada uma medição, é possível traçar, no passado, os elos causais que levaram ao resultado observado. Esta possibilidade é conhecida como "retrodição" (já mencionamos isso na seção 2; ver Pessoa 2003, seção XI.5). Para o futuro, porém, tal procedimento não funciona, o que explica a imprevisibilidade da física atômica. É assim, então, que Hermann ([1935] 1996, p. 99-103) vê o princípio de causalidade satisfeito na teoria quântica: após uma escolha (no sentido que vimos com von Weizsäcker, seu mentor) de qual aspecto (ondulatório ou corpuscular) desejamos medir, ou seja, depois de sermos forçados a dar uma descrição *relativa* a uma montagem experimental, temos uma descrição causal completa. Isso mostra, segundo ela, que causalidade (determinismo) não implica previsibilidade. (O leitor interessado pode examinar o experimento de escolha demorada que von Weizsäcker concebeu em 1931, e que Hermann usou como base para seu estudo; ver Pessoa 2003, seção XII.5.)

Para finalizar, vale a pena comparar a abordagem de Hermann com a do neo-kantiano Ernst Cassirer. Conforme salienta Soler (1996, p. 147-8), o que movia a primeira era um desejo de "salvar" as idéias de Kant das ameaças impostas pela teoria quântica. Já Cassirer sentia-se totalmente livre, para abandonar quaisquer teses kantianas em face das novidades da física moderna, em prol do projeto de determinar quais seriam os aspectos apriorísticos da ciência moderna.

A análise feita em Cassirer (1936) é mais geral do que a de Hermann, cobrindo as físicas clássica, relativística e quântica, mas ele não consegue aprofundar-se tanto na física quântica como Hermann, von Weizsäcker ou Heisenberg. Ele chega à mesma conclusão que von Weizsäcker, de que a lei causal é um juízo condicional, que é mantido na mecânica quântica; o que se perde é a possibilidade de determinar com exatidão o ante-

cedente do juízo (Cassirer [1936] 1956, p. 124). Citando Heisenberg, adota a tese positivista de que a física quântica renuncia à descrição "objetiva" da realidade, independente de qualquer observador (p. 129).

6. Conclusão

Neste estudo preliminar, examinamos alguns autores que pretenderam avaliar o impacto da física quântica nas teses de Kant. Se o filósofo de Königsberg vivesse na época atual, como teria ele desenvolvido sua *Crítica da Razão Pura*? Qual é o conteúdo apriorístico da física contemporânea? Parece razoável supor que Kant manteria a idéia de que o tempo e o espaço são formas puras da sensibilidade e de que a causalidade é uma das categorias apriorísticas do entendimento. No entanto, essas formas e categorias teriam que ser entendidas de maneira mais geral. Menos controversa seria a tese de que a forma do espaço deveria vir destituída de métrica. Mais controversa seria a modificação na categoria de causalidade. Não me parece muito digno o recurso de von Weizsäcker e Cassirer à violação do antecedente no juízo condicional da lei causal. Um caminho mais apropriado parece ser a generalização da categoria para incluir nexos causais estatísticos. Por fim, após os avanços na teoria da evolução biológica e da ciência cognitiva, talvez um Kant pós-moderno levasse em conta o que a própria ciência nos diz a respeito do desenvolvimento do aparelho cognitivo humano, para formular uma epistemologia naturalizada, que não abandonasse o núcleo duro do seu idealismo transcendental.

Referências

BELL, J.S. (1966), "On the Problem of Hidden Variables in Quantum Mechanics", *Reviews of Modern Physics* 38, 447-75. Tradução em português: "Sobre o Problema das Variáveis Ocultas em Mecânica Quântica", *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* (série 3) 2(2) (1992) 243-257.

BOHM, D. (1952), "A Suggested Interpretation of the Quantum Theory in terms of 'Hidden' Variables, I and II", *Physical Review* 85, 166-93. Tradução para o português a sair em Pessoa Jr., O. (org.) (2003), *Fundamentos da Física* 3. São Paulo: Livraria da Física.

BRÉHIER, É. ([1932] 1977), *História da Filosofia*. Trad. E. Sucupira Fª. São Paulo: Mestre Jou. Original: *Histoire de la Philosophie*, PUF, Paris, 1932.

CASSIRER, E. ([1936] 1956), *Determinism and Indeterminism in Modern Physics*. Trad. O.T. Benfey. New Haven: Yale University Press. Orig. alemão 1936.

HEISENBERG, W. ([1958] 1981) *Física e Filosofia*, Editora da UnB, Brasília. Original: *Physics and Philosophy*, Allen & Unwin, Londres, 1958.

_____. ([1969] 1996), *A Parte e o Todo*. Trad. V. Ribeiro. Rio de Janeiro: Contraponto. Original: *Der Teil und das Ganze*, Munique: Piper, 1969. Outras traduções: *Physics and Beyond*, Nova Iorque: Harper, 1971. *Diálogos sobre a Física Atômica*, Lisboa: Verbo, 1975.

HERMANN, G. ([1935] 1996), *Les Fondements Philosophiques de la Mécanique Quantique*. P. 61-123 deste volume organizado por L. Soler. Trad. A. Schnell. Paris: Vrin. Original: "Die naturphilosophischen Grundlagen der Quantenmechanik", *Abhandlungen der Fries'shen Schule, Neue Folge*, 6 (1935) 69-152.

JAMMER, M. (1974), *The Philosophy of Quantum Mechanics*. Nova Iorque: Wiley.

KANT, I. ([1781] 1980), *Crítica da Razão Pura*. Trad. V. Rohden & U.B. Moosburger. São Paulo: Abril Cultural. Trad. da 2 ed. do original alemão *Kritik der reinen Vernunft*, 1787.

PESSOA JR., O. (1995), "Uma Incerta História do Observável Tempo na Mecânica Quântica", in Évora, F.R.R. (org.): *Espaço e Tempo* (Anais do VIII Colóquio de História da Ciência), *Coleção CLE* 15. Campinas: CLE-Unicamp, p. 207-246. 14

_____. (2000), "Complementing the Principle of Complementarity", *Physics Essays* 13, 50-67.

_____. (2001), "O Sujeito na Física Quântica", in Oliveira, E.C. (org.), *Epistemologia, Lógica e Filosofia da Linguagem – Ensaios de Filosofia Contemporânea*, Núcleo de Estudos Filosóficos – UEFS, Feira de Santana, p. 157-96.

_____. (2003), *Conceitos da Física Quântica*. Ed. Livraria da Física, São Paulo.

SOLER, L. (1996), "Présentation" e "Postface", in Hermann, G. (1996), op. cit., p. 13-60, 125-73.

TORRETTI, R. (1999), *The Philosophy of Physics*. Cambridge: Cambridge University Press.

VON WEIZSÄCKER, C.F.F. ([1941] 1944), "A Mecânica Quântica e a Filosofia de Kant", in *Para uma Concepção Física do Universo*. Trad. L.C. Moncada. Lisboa: Atlântida, p. 113-71. Original em alemão publicado em *Die Tatwelt* 17, 66-98 (1941).