



Delineando o problema da medição na mecânica quântica: o debate de Margenau e Wigner *versus* Putnam

Frederik MOREIRA DOS SANTOS & Osvaldo PESSOA JÚNIOR



RESUMO

Este artigo examina o debate filosófico que ocorreu no início da década de 1960 entre os físicos Henry Margenau e Eugene Wigner, de um lado, e o filósofo e matemático Hilary Putnam, de outro, a respeito dos fundamentos da mecânica quântica. Putnam argumentou que os postulados da teoria quântica são inconsistentes, ao que Margenau e Wigner retrucaram, introduzindo a consciência humana no debate. Procuramos entender os motivos que suscitaram o debate, dado que as posições dos autores não eram tão díspares. A discussão foi bastante acalorada, indicando que fatores não epistêmicos inflamaram a discussão. O debate marcou a ascensão do estilo de filosofia da física feita em departamentos de filosofia.

PALAVRAS-CHAVE • Margenau. Wigner. Putnam. Filosofia da física. Fundamentos da mecânica quântica. Problema da medição. Realismo. Consciência. Controvérsia científica. Fatores não-epistêmicos.

INTRODUÇÃO

As controvérsias científicas marcam os períodos de grande transformação das teorias científicas e, nessas ocasiões, é comum o cientista voltar-se para questões filosóficas (cf. Kuhn, 2001 [1962], p. 119). Porém, as controvérsias também podem perdurar no período de ciência normal, como é o caso da controvérsia relativa à interpretação da física quântica. Uma controvérsia científica pode ser definida como uma disputa pública persistente, envolvendo parcelas significativas da comunidade científica, sem fácil resolução, argumentos “epistêmicos”, considerados próprios da investigação científica, e também fatores não epistêmicos, como emoções, traços de personalidade, pressões institucionais, influências políticas, rivalidades nacionais, eventos fortuitos e até fraude (cf. McMullin, 1987). As controvérsias científicas podem envolver tanto o debate do estatuto ontológico de novos conceitos, quanto do estatuto epistemológico das explicações dadas pelas teorias envolvidas. Os debates levantados por controvérsias científicas fornecem um fator de aproximação entre o trabalho dos cientistas e dos

filósofos. O estudo de caso apresentado aqui é um exemplo de físicos que se voltam para a filosofia e um filósofo que se volta para a física.

Os debates em torno dos fundamentos da mecânica quântica constituem-se em uma perene controvérsia filosófica e científica, desde o surgimento da teoria em 1926 até os dias de hoje (cf. Freire Júnior, 2003, 2006, 2007). Nas primeiras décadas, tais debates se restringiam ao círculo de cientistas e matemáticos que participaram do estabelecimento das bases conceituais e formais da teoria, tais como Niels Bohr, Werner Heisenberg, Erwin Schrödinger, Albert Einstein, Wolfgang Pauli, Max Born e John von Neumann, entre outros. O resultado disso foi a consolidação da interpretação ortodoxa da teoria quântica, de cunho antirrealista, articulada especialmente por Bohr. Nos anos 30, alguns poucos filósofos buscaram esclarecer ou criticar essa interpretação, sem impacto significativo, como Hans Reichenbach, Karl Popper e Grete Hermann.

A partir da década de 1950, começaram a surgir novos desafios à interpretação ortodoxa, e alguns filósofos passam a envolver-se nos debates. Em 1952, David Bohm redescobriu a interpretação realista dualista formulada inicialmente por Louis de Broglie. No mesmo ano, Alfred Landé começou a desenvolver sua interpretação corpuscular e, em 1955, Friedrich Bopp lançou sua interpretação estocástica. Em 1957, Hugh Everett publicou sua concepção dos estados relativos (cf. Jammer, 1974, p. 278, 427, 454, 508).

Em abril de 1957, realizou-se em Bristol o Simpósio Colston, a primeira grande conferência reunindo cientistas e filósofos para debater algumas das novas interpretações e problemas conceituais da física quântica (Körner, 1957). Neste evento, que reuniu Bohm, Bopp, Michael Polanyi, Popper, Léon Rosenfeld, entre outros, discutiu-se extensamente o conceito de probabilidade, enquanto Paul Feyerabend e Georg Süssmann debateram o que passou a ser conhecido como o “problema da medição”. É em torno dessa questão que Margenau, Wigner e Putnam desentenderam-se a partir de 1961.

A discussão desse problema, na década de 1960, deixou clara uma ruptura dentro da interpretação ortodoxa da teoria quântica. De um lado, os herdeiros da chamada “interpretação de Copenhague”, formulada por Bohr, Heisenberg e Pauli em 1928, passaram a articular uma visão objetivista, defendendo a tese de que um tratamento termodinâmico do processo de medição poderia dar conta do colapso da onda quântica, sem a necessidade de introduzir o observador consciente, mas apenas levando em conta a irreversibilidade presente nos processos que ocorrem no aparelho de medição. Essa tradição tinha em Rosenfeld seu principal representante, mas incluía também físicos como o velho Bohr, Günther Ludwig, Angelo Loinger, Giovanni Prosperi, e filósofos como Paul Feyerabend.

Do outro lado, os herdeiros de von Neumann formavam o que veio a chamar-se “interpretação de Princeton”, de viés menos pragmático e mais matemático, que buscava soluções exatas para questões relacionadas ao processo de medição, geralmente reservando um papel essencial para a consciência humana. Além de Wigner, seu principal representante, esse grupo incluía Süssmann, Josef Jauch e os alunos de Wigner, como os japoneses Huzihiro Araki e Mutsuo Yanase. Esta divisão esquemática não esgota todas as correntes ortodoxas da época. Heisenberg, por exemplo, afastara-se da corrente objetivista, sem enquadrar-se na interpretação de Princeton, apesar de seus escritos da década de 1950 terem influenciado Wigner.

O próprio Putnam delinearía a distinção entre as interpretações de Copenhague e de Princeton da seguinte maneira:

De acordo com Bohr e Heisenberg, o observador deve tratar a si mesmo como um objeto *clássico*, isto é, tudo do lado do observador do “corte” (incluindo o aparelho de medição) é tratado como obedecendo as leis da física *clássica*. Margenau e Wigner não mencionam isso. O que eles dizem é que o observador deve incluir uma “consciência”. Assim, eles divergem da interpretação de Copenhague em uma direção *subjetivista* (Putnam, 1985a [1965], p. 81).

O debate que iremos estudar não constituiu por si só uma controvérsia, já que envolveu poucos cientistas, mas ele foi um dentre uma série de debates ocorridos de ambos os lados do Atlântico, cujo conjunto tem sido chamado de “controvérsia dos *quanta*”. De maneira análoga a uma guerra, que é constituída de batalhas localizadas, exploraremos uma pequena batalha que poderia ser tomada como fogo amigo.

1 OS PERSONAGENS DO DEBATE

Eugene Paul Wigner (1902-1995) nasceu na Hungria e estudou em Berlim, onde começou a trabalhar com teoria quântica em 1926. Publicou uma série de trabalhos importantes, sendo laureado com o prêmio Nobel de física de 1963, devido a suas contribuições para a teoria do núcleo atômico, usando métodos de aplicação da teoria de grupos, que ele próprio desenvolvera, para descrever as simetrias na mecânica quântica (cf. Mehra, 2001). Esse trabalho foi publicado no início da década de 1930, época em que emigrou para os Estados Unidos, sendo contratado definitivamente pela Universidade de Princeton em 1938.



Figura 1. Eugene Wigner em 1988, foto cedida pelo próprio Wigner para seu livro *The recollections of Eugene P. Wigner as told to Andrew Szanton*. New York: Plenum Press, 1992, p. 136.

Em torno de 1960, Wigner leu o livro de London e Bauer (cf. 1939), que apresenta uma interpretação da teoria quântica segundo a qual a consciência humana seria responsável pelo colapso da onda quântica. Essa abordagem era um desdobramento daquela explorada por von Neumann no início da década de 1930, e Wigner conhecia bem a concepção de seu colega húngaro. A leitura desse livro despertou seu interesse para as questões de fundamentos da mecânica quântica e do papel do observador. A partir de 1961, Wigner passou a publicar diversos artigos voltados para não especialistas nos quais

defendia que a consciência humana desempenharia um papel essencial na física quântica, e que a mente constituiria uma realidade ainda não alcançada pela física de seu tempo (cf. Santos, 2010b). Chamaremos a essa interpretação, herdada de London e Bauer e compartilhada por alguns poucos no início da década de 1960 (entre eles, Walter Heitler), de “interpretação mentalista” (ou “subjetivista”) da teoria quântica.

Henry Margenau (1901-1997) nasceu na Alemanha e estudou nos Estados Unidos, sendo contratado na Universidade de Yale em 1931. Trabalhou com espectroscopia e física nuclear, sendo chamado para resolver um problema de eletrônica em meios gasosos, utilizados em radares, no final da 2ª Guerra. Desde cedo interessou-se por filosofia da ciência e ensino de física. Desenvolveu uma abordagem à mecânica quântica que pode ser enquadrada na “interpretação dos coletivos (*ensembles*) estatísticos”, uma visão distinta da interpretação ortodoxa, de cunho mais realista. Salientou a importância do processo de preparação de um estado quântico, além de questionar diversos pontos da visão ortodoxa, como o postulado da projeção e a impossibilidade de medir simultaneamente observáveis conjugados (cf. Jammer, 1974, p. 226). Em sua interpretação, o estado quântico forneceria valores latentes ou propensões para a obtenção de diferentes resultados (cf. Suárez, 2007).

Figura 2. Henry Margenau em foto cedida por Liesel Margenau, fotografado por Phyllis Crowley, publicada no periódico *Foundations of Physics*, 22 (1992), p. 867.



Em 1939, Margenau passou uma temporada em Princeton, trabalhando próximo a Wigner e John Wheeler, e publicou alguns artigos com Wigner. Ele havia conhecido Wigner em 1932, em uma visita a Berlim (cf. Margenau, 1964). Em 1941, com a vinda de Ernst Cassirer para Yale, aprofundou-se no estudo da filosofia neokantiana (cf. Epstein, 1996). Assim, ao interagir novamente com Wigner no início dos anos 60, sua formação filosófica mais sólida auxiliou-o na revisão dos argumentos e incentivo das ideias de Wigner. Através do levantamento de algumas cartas trocadas entre os dois físicos, Freire Júnior (cf. 2007, p. 214) mostra que Margenau concordava com as críticas que Wigner direcionava à interpretação de Copenhague, agradecendo-o por tornar tais críticas ainda mais explícitas e claras. No entanto, Margenau manteve-se defensor da interpretação dos coletivos estatísticos, sem acompanhar Wigner no desenvolvimento de sua interpretação mentalista.

Mais tarde, no final da década de 1960, os dois unir-se-iam mais uma vez para fazer parte da equipe que seria responsável pela fundação de uma revista voltada a divulgar as pesquisas e as novas abordagens utilizadas nos fundamentos da física, a *Foundations of Physics* (cf. Freire Júnior, 2007, p. 214). Cristão convicto, Margenau se envolveu com a parapsicologia nos anos 1960, e alguns artigos próximos de um misticismo quântico apareciam no citado periódico.

Hilary Putnam (1926-) é um dos filósofos mais conhecidos da atualidade. Defendeu sua tese de doutorado em 1951, na Universidade da Califórnia em Los Angeles, sobre o conceito de probabilidade, orientado por Reichenbach. Indo para Princeton, trabalhou em lógica matemática e colaborou na demonstração da insolubilidade do décimo problema de Hilbert, o que lhe deu bastante prestígio e um contrato em Harvard, em 1965. Nesse período, Putnam contribuiu marcadamente para a ascensão do rea-



Figura 3. Hilary Putnam em foto cedida pelo próprio Putnam para a Wikipédia. Licença OTRS número 2006081310002761.

lismo científico na comunidade filosófica de língua inglesa, na derrocada da tradição do empirismo lógico. Só em 1976 ele abandonaria esse “realismo metafísico”, buscando um caminho do meio que não recaísse no relativismo e que denominou “realismo interno”, bastante próximo da epistemologia de Kant e também dos pragmatistas norte-americanos (cf. Ben-Menahem, 2005, p. 2-6).

Putnam interessou-se por mecânica quântica a partir de um estudo de lógica trivalente, inspirado em Reichenbach e publicado em 1957, onde propôs que o uso dessa lógica poderia simplificar a teoria quântica e evitar o problema da ação a distância. Isso levou a uma discussão com Feyerabend, próximo à interpretação de

Copenhague. Mais tarde, em 1968, Putnam suscitou um grande debate ao defender que a lógica não distributiva é a que descreve corretamente o mundo quântico, e que a escolha do melhor sistema lógico seria uma questão empírica (cf. Jammer, 1974, p. 373-5, 404-7; Maudlin, 2005).

2 OS FATORES NÃO EPISTÊMICOS DA DISCUSSÃO

Um das questões a ser analisada é porque Margenau, Wigner e Putnam entraram em um debate acalorado, dado que suas posições não eram assim tão diferentes, sendo todos críticos da interpretação de Copenhague. Para tentar responder a isso, é pertinente levar em os conta fatores não epistêmicos dessa discussão.

Um primeiro fator que pode ser citado envolve as diferentes visões políticas dos personagens. Wigner era um ativo defensor da direita norte-americana e apoiava grande parte da política externa do país. Em 1939, ele se uniu ao seu amigo Leo Szilard, tam-

bém proveniente da Hungria, com o fim de convencer Einstein a enviar uma carta ao presidente Roosevelt solicitando a abertura do programa nuclear americano (cf. Mehra, 2001). No final da década de 1950, pressionou o governo, juntamente com Wheeler e Oskar Morgenstern, a criar um imenso laboratório nacional dedicado à defesa militar do país, que acabou não saindo do papel (cf. Freire Júnior, 2007, p. 206).

No que tange ao credo religioso, Margenau e Wigner pertenciam à mesma linha religiosa cristã, a luterana, no entanto a relação de Wigner com a religião era bem mais nominal, chegando a um total afastamento com o passar dos anos (cf. Hargittai, 2008, p. 225-6; Wigner, 1992, p. 317-8).

A posição política de Putnam era diametralmente oposta. Filho de um ativista comunista de Chicago, era membro do Partido Trabalhista Progressista, uma dissidência maoísta do partido comunista nos EUA, e participaria ativamente dos protestos contra a guerra do Vietnã e a favor da reforma social (cf. Ben-Menahem, 2005, p. 2).

As preocupações com um mundo melhor, o desejo de fazer minha atividade filosófica uma parte daquela preocupação, e o envolvimento com o marxismo (...) levaram-me a um realismo metafísico cada vez mais forte, simplesmente porque essa posição parecia mais consistente com o “materialismo dialético” de Marx, conforme eu o interpretava (Putnam *apud* Mueller & Fine, 2005, p. 120).

Ele só se desiludiria com o comunismo em 1972, o que teve um impacto em sua visão filosófica.

Wigner considerava que o materialismo dialético estava comprometido com o determinismo laplaciano (cf. Wigner, 1995d [1983]), e que o materialismo em geral desconsiderava uma entidade do mundo natural que era central na perspectiva wigneriana: a consciência (cf. Wigner, 1995a [1961], p. 252-3). Enfim, Wigner claramente tinha antipatias por posições políticas de esquerda, e é plausível que tivesse desenvolvido uma antipatia pelo jovem matemático que atacava tanto a ortodoxia política quanto a ortodoxia estabelecida por von Neumann (a interpretação de Princeton). No período entre 1960 e 1964, Putnam e Wigner trabalhavam na mesma universidade e é bem possível que se conhecessem pessoalmente. Há indícios de que, em 1963, Wigner tenha assistido a uma palestra de Putnam em Princeton, pois em maio desse ano escreveu para seu aluno Abner Shimony (que completara seu doutorado com Wigner em 1961), pedindo que ele tentasse delicadamente mostrar um grave erro matemático proferido por Putnam (cf. Wigner, 1963). Shimony, por sinal, desempenhou um papel de intermediador no debate entre Wigner e Putnam.

Quando Putnam publicou seu pequeno artigo em 1961, Margenau não gostou do que leu nele:

Eu vi esse artigo e achei que era maluco (*crazy*). Alguns dias mais tarde, recebi uma carta de Wigner, dizendo: “olha. Você viu o artigo de Hilary Putnam?” Respondi: “sim.” Ele falou: “não podemos deixar isso correr. Você e eu precisamos escrever um artigo contrário, corrigindo-o”. Eu disse: “então está ótimo. Eu adoraria fazer isso.” (...) Ele praticamente escreveu o troço todo, e eu nego ter feito qualquer contribuição. E novamente escrevi os nomes na ordem: Wigner e Margenau. Quando recebi as provas, estava invertido. Aquele homem era muito maravilhoso, tão modesto (*self-effacing*), e mesmo assim nos ajudava tanto (Margenau, 1964).

A antipatia dos dois físicos pelo artigo de Putnam transparece já nas linhas iniciais do primeiro artigo de Margenau e Wigner (cf. 1962), em que eles argumentam ironicamente que uma “contradição tão óbvia” como a apontada por Putnam (cf. 1961) não passaria despercebida pelos físicos.

Os comentários do professor Putnam a respeito do artigo de David Sharp, afirmando ter descoberto graves inconsistências na estrutura conceitual da mecânica quântica, evidentemente não pretendiam ser literalmente entendidos. O autor certamente deu-se conta de que uma contradição tão óbvia como a que ele afirma ter encontrado, se real, não passaria despercebida de tantos físicos (Margenau & Wigner, 1962, p. 292).

Isso aponta para outro fator não epistêmico, que é a possibilidade de Margenau e Wigner terem desprezado as especulações do jovem filósofo e matemático, porque o viam como alguém externo da área da física, um *outsider*, que não acompanhou todos os nuances do debate transcorrido ao longo de décadas. De fato, as décadas de 1950 e 1960 marcam a ascensão de uma filosofia da física feita por filósofos, com boa formação em filosofia, lógica e matemática, preocupados em examinar os fundamentos lógicos e conceituais das teorias físicas, mas menos pragmáticos e intuitivos que os cientistas formados e trabalhando na física. Esses filósofos da física incluem Reichenbach, Popper, Norman Hanson, Feyerabend, Adolf Grünbaum, Henry Mehlberg, Shimony, Putnam, e toda uma geração que se formava nos anos 1960. Putnam retrucaria ao comentário inicial dos físicos com um tom irônico semelhante.

O “Comentários” de Margenau e Wigner sobre meus “Comentários de um artigo de David Sharp” é um documento estranho. Primeiro, esses autores dizem essencialmente que “se algo estivesse errado (com os fundamentos da mecânica quântica), nós certamente já teríamos ouvido falar”. Depois pronunciam vários comentários irrelevantes (*obiter dicta*) (Putnam, 1964, p. 1).

Nesse trecho transparece um tom levemente agressivo, confirmando que estavam presentes fatores não epistêmicos relacionados às emoções; o que não é de se estranhar, dado que estamos tratando de seres sociais.

3 ESQUEMA GERAL DA DISCUSSÃO

O ponto de partida da discussão foi um artigo publicado pelo físico David H. Sharp, em julho de 1961, no periódico *Philosophy of Science*, palco de toda a discussão subsequente. Sharp era ainda estudante e próximo a Putnam em Princeton, e resolveu mostrar que os problemas levantados por Einstein, Podolsky e Rosen (cf. 1981 [1935]), contra a completude da teoria quântica, eram inválidos. O artigo contém alguns equívocos, e sua crítica geral a EPR não se sustenta, como fica claro à luz dos desenvolvimentos posteriores relacionados com o trabalho de John Bell, mas Sharp teceu algumas considerações interessantes (cf. Jammer, 1974, p. 239-40).

Putnam utilizou o artigo de Sharp como ponto de partida de sua crítica ao formalismo das medições da mecânica quântica. A conclusão do artigo de Putnam é que só um esclarecimento desse formalismo poderá resolver definitivamente o paradoxo de EPR. Sharp criticou Einstein e seus colegas devido a algumas suposições feitas por eles quanto à natureza do processo de medição, que para Sharp seriam muito idealizadas. Putnam inspirou-se nessas críticas localizadas e propôs uma crítica mais generalizada: o próprio postulado da projeção seria inadequado.

Lembremos que a mecânica quântica baseia-se em dois conjuntos de leis, ou seja, seu formalismo descreve duas formas de evolução do sistema microfísico, em contextos diferentes.

(1) Em primeiro lugar, há as leis dinâmicas, que descrevem a evolução temporal de um sistema físico, e que se aplicam aos sistemas microscópicos “fechados” em relação ao seu ambiente externo. Um exemplo disso é a equação de Schrödinger, uma equação diferencial linear que tem papel similar à segunda lei de Newton na mecânica clássica.

(II) Em segundo lugar, há leis que descrevem o efeito de medições em sistemas quânticos, que geralmente provocam uma abrupta “redução de estado”, e que são expressas pelo chamado “postulado da projeção” (que diz que o estado final, após a medição, é um estado tal que uma repetição imediata da medição levaria ao mesmo resultado).

A física clássica contém apenas leis do tipo (I).

O ponto levantado por Putnam é que a coexistência das leis de tipo (I) e (II) levam a uma contradição fundamental na teoria quântica. Posteriormente, Wigner (cf. 1995b [1963]) atacaria o mesmo problema, mas extraindo uma conclusão um pouco diferente, ou seja, as leis de tipo (II) são irreduzíveis às de tipo (I). A proximidade das datas e a semelhança dos problemas analisados sugerem que o debate com Putnam influenciou Wigner em sua demonstração da chamada “prova de insolubilidade do problema da medição”, que é o importante resultado obtido em seu artigo de 1963.

Dois outros fatores do final da década de 1950 tornaram maduras as condições para o presente debate entre Putnam, Margenau e Wigner. O primeiro foi a disseminação do formalismo de operadores de densidade (cf. Fano, 1957), que deixou clara a diferença entre um estado quântico “puro” e uma “mistura estatística” de tais estados. O segundo foi o reconhecimento da existência do “problema da medição”, explorado no Simpósio Colston (cf. Körner, 1957), conforme mencionamos anteriormente.

A questão relacionada ao problema da medição era a de avaliar se seria plausível a solução proposta por Ludwig (cf. 1954, p. 122-65), de mostrar como termos de interferência tendem a zero no limite termodinâmico utilizado para descrever a ação de aparelhos macroscópicos. Esse tipo de solução já tinha sido sugerido, em linhas gerais, por Bohm (cf. 1951, p. 120-4, 600-2), quando propôs que fases aleatórias, introduzidas pelo aparelho na função de onda do objeto quântico, seriam as responsáveis pela redução de estado. Putnam percebeu claramente a limitação geral dessas abordagens, ao escrever:

isto é, pode-se mostrar rigorosamente que o efeito de uma “redução do pacote de onda” não pode ser obtido ou aproximado por nenhuma combinação de interações correspondendo a hamiltonianos fisicamente realizáveis. Bohm e Ludwig, de fato, consideram a transição para um “estado misto”, isto é, um estado livre de efeitos detectáveis de interferência. Mas o que eles não justificam e nem poderiam justificar é a “seleção”, ou seja, a transição de uma mistura (em suas teorias, uma “mistura” é apenas um tipo especial de estado *puro* e, portanto, também uma superposição de autoestados do observável medido) para um autoestado único do observável medido (Putnam, 1961, p. 235).

Fica claro que Putnam já utilizava o termo “mistura” ou “estado misto” em sua acepção moderna, e ele aponta para o uso ainda antiquado do termo em Bohm e Ludwig. O próprio Wigner, às vezes, usava o termo “mistura de estados” para situações de estados puros emaranhados (cf. Emch, 2002, p. 59-3).

Em 1963, Wigner demonstraria a primeira sentença da citação de Putnam, retomando uma antiga prova apresentada por von Neumann em 1932 (cf. Jammer, 1974, p. 476-7). Isso mostra que as visões de Wigner e Putnam eram, no final das contas, bastante próximas.

4 O ARGUMENTO INICIAL DE PUTNAM E SUA CRÍTICA

O que Putnam quis mostrar, com seu comentário de 1961, é que há “dificuldades conceituais sérias”, subjacentes à noção de medição na mecânica quântica. Para tanto, considerou duas suposições largamente aceitas da teoria, para argumentar que elas não podem ser aceitas conjuntamente.

- (1) Uma medição sobre o sistema S exige a interação de S com um sistema externo T , onde T pode ser tomado como o aparelho de medição.
- (2) (a) O universo inteiro pode ser tratado como um sistema quântico, de forma que um estado quântico puro pode ser atribuído a ele; (b) esse “universo” pode ser substituído por qualquer sistema fechado que inclua o aparelho de medição.

Para Putnam, a aceitação das hipóteses (1) e (2) permite inferir as seguintes proposições: (3) o universo nunca é submetido a uma medição, e, portanto, (4) o universo como um todo é um sistema cuja evolução temporal obedece a equação de Schrödinger em todo instante, ou seja, não há redução do pacote de ondas. Porém, se não há redução associada ao universo, como conciliar isso com a constatação de que ocorrem reduções de estado quando se realizam medições em sistemas quânticos? (cf. Pessoa Júnior, 2003, p. 60-1).

Putnam coloca o ponto em termos levemente diferentes, argumentando que um sistema fechado não pode ser um autoestado (do observável sendo medido) em dois tempos diferentes. Ou seja, se um elétron está inicialmente em uma posição bem definida, ou seja, em um autoestado de posição, expresso matematicamente por uma função delta de Dirac, a tendência da função de onda é dispersar-se e nunca retornar para o estado inicial. No entanto, pelo teorema de recorrência de Poincaré, se o universo for finito, em algum instante o sistema chegará tão perto quanto se queira do estado

inicial. Tendo em vista considerações desse tipo, Margenau e Wigner (1962, p. 293) estimaram que esse ponto de Putnam “é obscuro, e a conclusão é errônea”. Putnam (cf. 1964, p. 5) tentaria posteriormente explicar-se melhor, pois tenta tornar mais preciso o termo “universo” usado anteriormente, mas parece-nos que os físicos tinham razão quanto a este detalhe. Mesmo assim, o argumento geral de Putnam ainda é válido. À primeira vista, (1) e (2) implicam uma contradição com a experiência, ou seja, “são fisicamente incompatíveis”.

A crítica de Margenau e Wigner envolve a negação de partes dos enunciados (1) e (2). Com relação à tese (1), eles salientam que “toda medição é uma interação entre um objeto e um observador” (Margenau & Wigner, 1962, p. 292). E esse observador é entendido como um observador consciente, não uma mera máquina, e nisso eles seguem explicitamente von Neumann (cf. 1955 [1932]) e London e Bauer (cf. 1939). Notamos, então, uma diferença filosófica básica entre a atitude “mentalista” ou “subjetivista” de Wigner e a visão mais objetivista ou realista de Putnam. Putnam não atribui papel privilegiado para o observador consciente no processo de medição, ao contrário de Wigner. Por outro lado, Margenau tradicionalmente defendia uma posição mais realista (cf. Margenau, 1950) mas, na atual discussão, ele endossou a visão de Wigner.

Assim, Margenau e Wigner substituem (1) por um enunciado que inclua, em T , o observador consciente externo. Com relação ao enunciado (2), é preciso considerar os casos (a) e (b) em separado. No caso (a), considera-se o universo como um sistema quântico fechado, algo sugerido pela primeira vez, de maneira explícita, por Everett (cf. 1957). Margenau e Wigner rejeitam essa possibilidade, pelo simples fato de o observador estar dentro do universo, e pela suposição de que “a física de hoje em dia não é aplicável para a consciência” (Margenau & Wigner, 1962, 292). Em sua réplica, Putnam (1964, p. 2) iria esclarecer que não pretendia “embrenhar a mecânica quântica nos problemas da cosmologia”. Esse é um ponto bastante debatido no contexto da interpretação dos estados relativos de Everett (cf., por exemplo, Freire Júnior & Freitas, 2008). Nem Putnam, nem Margenau & Wigner, defendiam que o universo pudesse ser descrito em sua totalidade pela física quântica, mas ao passo que os físicos tinham um argumento de princípio (dentro da interpretação mentalista) para rejeitar esta tese, Putnam a adotou apenas para derivar um argumento por redução ao absurdo. Ao rejeitarem a tese (2a), os físicos buscavam justamente evitar esse argumento putnamiano.

No caso do enunciado (2b), Margenau e Wigner não o rejeitam, como no caso (2a), desde que o observador esteja fora do sistema fechado. Nesse caso, nada proíbe que o sistema seja descrito como uma superposição quântica, já que, na visão mentalista, ainda não houve uma medição propriamente dita (que requereria a consciência humana). No entanto, essa não é a alternativa relevante para o argumento de Putnam.

Apesar de este ter escrito a alternativa (2b), em uma versão objetivista, como um “sistema fechado que inclui o aparelho de medição” (Putnam, 1961, p. 235, nota 1), ao traduzi-la para a interpretação mentalista, devemos ler “um sistema fechado que inclui o aparelho de medição e o observador consciente”. Isso ficaria explícito na réplica de Putnam (1964, p. 3). Nesse caso, novamente, Margenau & Wigner não aceitariam que esse sistema composto fosse descritível por meio de um estado quântico puro (já que o observador consciente não é descritível pela física quântica).

Devemos mencionar, referente ao corte descritivo, que essa posição de Margenau e Wigner é consistente com as versões originais da interpretação de Copenhague, articuladas por Bohr, que salientavam que o aparelho de medição (pelo menos parte dele) deve ser descrito pela física clássica. Já a visão de von Neumann é próxima tanto da visão de Wigner quanto da de Putnam. A princípio von Neumann não via problema em descrever o observador humano como um sistema quântico, no entanto, ele segue na direção da reconciliação com Bohr ao concluir que um corte entre o objeto e o observador é sempre necessário, pois era a única maneira de resolver o “problema da medição”, problema que Putnam e Wigner estão redescobrimo justamente no presente debate.

Outra indicação de que Putnam e Wigner estão em lados próximos no debate a respeito do problema da medição é que ambos criticam as abordagens termodinâmicas. Putnam (cf. 1961, p. 235) faz isso explicitamente em seu artigo, criticando Bohm (cf. 1951) e Ludwig (cf. 1954). Nesse sentido, ele segue a posição de Sussmann, no debate ocorrido no Simpósio Colston, contra Feyerabend (cf. Körner, 1957). Wigner passaria a criticar essa abordagem a partir de seu trabalho de 1963, e explicitamente em 1967 (cf. Jauch, Wigner & Yanase, 1967), ao criticar Daneri, Prosperi & Loinger e também Rosenfeld.

Putnam e Wigner apontam ambos para a mesma direção: o formalismo quântico não tem aplicação universal. O primeiro faz isso problematizando as contradições que decorrem da suposição de (1) e (2), exigindo uma reformulação da teoria da medição quântica; enquanto o segundo resolve o problema com a proposta mentalista herdada de von Neumann, e London e Bauer. Eles discordam da proposta termodinâmica que, em essência, propõe que a teoria da medição é aproximadamente derivável da equação de Schrödinger (cf. Pessoa Júnior, 1992, p. 188-93). O cerne da discórdia será o estatuto de tais aproximações, consideradas justificadas em uma visão pragmática (de Feyerabend e Rosenfeld, por exemplo), e injustificadas em uma visão mais matemática e exata (de Putnam e Wigner).

5 A RÉPLICA DE PUTNAM

Pouco tempo após a publicação da crítica de Margenau e Wigner, Putnam enviou, em outubro de 1962, uma réplica mais longa e intrincada do que o primeiro artigo. Os editores da *Philosophy of Science* solicitaram então uma tréplica dos físicos, e os dois artigos foram publicados no mesmo fascículo da revista no início de 1964.

Putnam inicia sua réplica salientando que o sistema que envolve o objeto quântico e o aparelho de medição nunca está completamente fechado ou isolado em relação ao restante do universo. Assim, a aplicação da equação de Schrödinger para a interação entre o objeto e o aparelho é apenas uma aproximação. Esse ponto é correto, como ficaria mais claro a partir do trabalho de Hans Dieter Zeh de 1970, cujo valor seria percebido justamente por Wigner (cf. Freitas, 2010, p. 72). Enfim, o ponto de Putnam é que a teoria quântica não pode ser considerada uma teoria rigorosamente exata e livre de contradições. Além disso, argumenta Putnam (cf. 1964, p. 5), a suposição de que inicialmente o objeto quântico e o observador estão completamente separados é apenas uma aproximação, e não poderia ser sustentada, como fizeram London e Bauer.

Margenau e Wigner (1962, p. 293) concordaram em linhas gerais com esses comentários de Putnam: “a consistência global de todas as partes da mecânica quântica, especialmente quando essa teoria é forçada a fazer referência ao ‘universo inteiro’, nunca foi provada ou afirmada.” Em sua tréplica, retornam a essa questão, lembrando que Ernst Mach foi um grande defensor da tese de que nenhum sistema da física clássica é isolado do resto do universo. Ou seja:

não há sistemas verdadeiramente fechados. Este ponto não é motivo de disputa, e a afirmação é provavelmente verdadeira. O fato é que certas situações físicas podem ser descritas com excelente aproximação por meio de uma análise de sistemas fechados, tanto na física clássica quanto na teoria quântica (Margenau & Wigner, 1964, p. 8).

Na sequência de seu artigo, Putnam refina sua crítica ao postulado da projeção da mecânica quântica, mencionando a posição de Bohr de que o aparelho de medição deve ser tratado classicamente.

(...) pensa-se no sistema medido S como sendo obrigado a “saltar” para um autoestado de O , de forma que um sistema clássico M possa medir O de maneira puramente clássica. Isso não só é implausível, à primeira vista, mas inconsistente, já que S não pode, a rigor, ter estados próprios, conforme já foi apontado. O que é consistente, e o que também parece evitar toda dificuldade, é dizer que

a interação entre M e S causa o sistema total $M + S$ a ir para um autoestado de O . Em outras palavras, supor que: *uma medição de O causa que o universo inteiro vá para um autoestado de O* (Putnam, 1964, p. 3).

Há uma imprecisão na descrição que Putnam faz da descrição ortodoxa da redução de estado, pois, de acordo com von Neumann (cf. 1955 [1932], p. 442), não é o objeto quântico que salta para um autoestado, mas o sistema composto que envolve o objeto quântico e pelo menos parte do aparelho macroscópico que o faz.

Porém, essa imprecisão não afeta a nova conclusão de Putnam (que não foi salientada no artigo anterior) de que o postulado da projeção, que descreve as transições que ocorrem durante a medição, deveria ser aplicado para o universo como um todo ou, pelo menos, para o sistema fechado que envolve o objeto, o aparelho e o observador. Com isso, busca evitar a necessidade de introduzir um corte arbitrário entre o domínio quântico e o clássico. Reconhece que sua hipótese não *explica* a redução de estado, mas considera que a explicação wigneriana, envolvendo a consciência humana, traz elementos arbitrários e inadmissíveis.

Eventos *subjetivos* (as percepções de um “observador”) *causam* mudanças abruptas do estado *físico* (“redução do pacote de onda”). *Questões*: que evidência existe de que uma “consciência” seja *capaz* de alterar o estado de um sistema físico, a não ser que interaja com ele fisicamente (e nesse caso um mecanismo automático funcionaria igualmente bem)? Através de quais leis uma consciência causaria a ocorrência de “reduções do pacote de onda”? Em virtude de quais *propriedades* por ela possuídas a “consciência” conseguiria afetar a natureza dessa peculiar maneira? Nenhuma resposta a qualquer dessas perguntas está disponível (Putnam, 1964, p. 5).

6 BALANÇO DA DISPUTA

Steven French (cf. 2002, p. 473), em um interessante artigo no qual examina as influências da fenomenologia de Edmund Husserl sobre o artigo de London e Bauer (cf. 1939), aponta para o papel que Shimony (cf. 1963) e Putnam (cf. 1964) tiveram no enfraquecimento da concepção mentalista de que a consciência provoca a redução de estado. Como uma saraivada de socos no final de uma luta amarrada, os argumentos de Putnam contra a interpretação mentalista deixaram no público filosófico a impressão de vitória, mesmo que os juízes tenham votado por um empate técnico.

É verdade que a interpretação mentalista é de difícil sustentação, apesar de sua recente popularidade com a ascensão do espiritualismo quântico, por exemplo com Henry Stapp (cf. 2007). Nos anos 1960, ela tinha pouco defensores, de forma que os argumentos de Shimony e Putnam apenas explicitaram um sentimento comum nos meios científicos e filosóficos.

Novamente, a visão de Putnam traz elementos mais realistas e objetivistas do que a de Margenau e Wigner. Podemos dizer que ele tende a uma interpretação ondulatória realista, com colapsos abruptos envolvendo todo o universo, o que o aproximaria da já mencionada interpretação dos estados relativos de Everett (cf. 1957), sem admitir porém a possibilidade de superposições de observadores (como faz Everett). E sua visão é objetivista, por não admitir um papel destacado para o observador, como faz a interpretação mentalista de Wigner, London e Bauer.

O debate também marcou a oposição entre duas comunidades que se debruçavam sobre os problemas conceituais da física. De um lado, os físicos cuja geração mais velha presenciara os debates interpretativos das décadas de 1920 e 30, e que formava as novas gerações segundo os preceitos pragmáticos da ortodoxia. De outro, a nova geração dos filósofos da física, que examinava diretamente os fundamentos das teorias modernas com rigor lógico e filosófico, mesmo sem uma compreensão profunda das aplicações da teoria à experiência.

O debate entre Margenau e Wigner, por um lado, e Putnam, por outro, iniciou-se com a intolerância dos físicos com relação às afirmações de Putnam de que a teoria da medição da teoria quântica precisava ser revista. Sugerimos que fatores não epistêmicos incitaram os físicos, pois o próprio Wigner (cf. 1995a [1961]) passaria a explorar de maneira brilhante essa questão, formulando uma prova de insolubilidade do problema da medição. O final do debate, no entanto, foi marcado por uma forte crítica à interpretação mentalista de Wigner, que não procurou responder à crítica, a qual pode ter influenciado a mudança de sua visão nos anos 1970, quando passou a apoiar a abordagem da descoerência formulada por Zeh (cf. Santos, 2010a, p. 52-5).

Ambos os lados do debate reconheciam que “a ‘redução do pacote de onda’ entra na teoria quântica como um *deus ex machina*, sem qualquer relação com as outras leis dessa teoria” (Wigner, 1995c [1964], p. 36). É nesse sentido que eles se colocavam do mesmo lado do debate contra o programa de amplificação termodinâmica, representado por Ludwig, Rosenfeld, Loinger e Prosperi, que buscavam explicar o processo de redução a partir da equação de Schrödinger e de considerações estatísticas.

O debate com Margenau e Wigner parece ter contribuído para o interesse de Putnam nos fundamentos da mecânica quântica. Ele passou a estudar com mais detalhe a obra de John von Neumann, culminando em 1968 com a proposta de que a lógica quântica não distributiva adequar-se-ia melhor à descrição dos fenômenos quânticos

do que a lógica clássica, de modo que a escolha da melhor lógica seria uma questão empírica (cf. Putnam, 1985c [1968]). A nova concepção de Putnam era consistente com sua postura realista, sendo que ele não nutria simpatias pela interpretação realista de Louis de Broglie e David Bohm (cf. Putnam, 1985b [1965], p. 133-4).

O papel de Margenau no debate é curioso, pois ele não participou ativamente da redação dos artigos, que expunham visões contrárias às que ele apresentou em outros artigos. O próprio Putnam (cf. 1985a [1965], p. 82) nota essa discrepância, nutrimo mais simpatias pela proposta posterior de Margenau, ainda dentro da interpretação dos coletivos estatísticos, do que pela visão mentalista apresentada juntamente com Wigner.☉

AGRADECIMENTOS. Agradecemos ao professor Olival Freire Júnior (UFBa), que dedicadamente orientou Frederik Moreira dos Santos durante a realização de seu projeto de mestrado, do qual este artigo é um dos frutos. Tal resultado não seria possível sem o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa da Bahia, que deu suporte à pesquisa na forma de uma bolsa de mestrado durante o período de 2007 a 2009. Agradecemos também as relevantes sugestões dadas pelo professor Fábio H. de Alencar Freitas (UFBa) durante nossas discussões e na apreciação de alguns tópicos deste artigo.

Frederik MOREIRA DOS SANTOS

Professor substituto do Instituto de Física,

Universidade Federal da Bahia.

Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ensino,

Filosofia e História das Ciências,

Universidade Federal da Bahia, Brasil.

fredsantos@gmail.com

Oswaldo PESSOA JÚNIOR

Professor Doutor do Departamento de Filosofia,

Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas,

Universidade de São Paulo, Brasil.

opessoa@usp.br

ABSTRACT

This paper examines the philosophical debate that took place in the beginning of the 1960's between, on one side, the physicists Henry Margenau and Eugene Wigner, and on the other, the philosopher and mathematician Hilary Putnam, concerning the foundations of quantum mechanics. Putnam argued that the postulates of quantum theory are inconsistent, to which Margenau & Wigner answered, introducing human consciousness into the debate. We try to understand the reasons that led to the debate, given that the views of both sides were not so different. The discussion was heated, indicating that non-epistemic factors influenced the discussion. The debate marked the rise of the style of doing philosophy of physics in departments of philosophy.

KEYWORDS • Margenau. Wigner. Putnam. Philosophy of physics. Foundations of quantum mechanics. Measurement problem. Realism. Consciousness. Scientific controversy. Non-epistemic factors.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BEN-MENACHEM, Y. Introduction. In: ____ (Ed.). *Hilary Putnam*. Cambridge: Cambridge University Press, 2005. p. 1-16.
- BOHM, D. *Quantum theory*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1951.
- EINSTEIN, A.; PODOLSKY, B. & ROSEN, N. A descrição da realidade física fornecida pela mecânica quântica pode ser considerada completa? Tradução C. W. Abramo. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, 2, p. 90-6, 1981 [1935].
- EMCH, G. On Wigner's different usages of models. *Proceedings of the Wigner Centennial Conference*. Pécs, Hungria, p. 591-4, 2002.
- ENGELHARDT JÚNIOR, H. T. & CAPLAN, A. L. (Ed.). *Scientific controversies*. Cambridge: Cambridge University Press, 1987.
- EPSTEIN, E. (Ed.). Guide to the Henry Margenau papers. New Haven: Yale University Library, 1996.
- EVERETT, H. Relative state formulation of quantum mechanics. *Reviews of Modern Physics*, 29, 454-62, 1957.
- FANO, U. Description of states in quantum mechanics by density matrix and operator techniques. *Reviews of Modern Physics*, 29, p. 74-93, 1957.
- FREIRE JÚNIOR, O. A story without an ending: the quantum physics controversy 1950-1970. *Science & Education*, 12, p. 573-86, 2003.
- ____. Philosophy enters the optics laboratory: Bell's theorem and its first experimental tests (1965-1982). *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 37, p. 577-616, 2006.
- ____. Orthodoxy and heterodoxy in the research on the foundations of quantum physics: E.P. Wigner's case. In: SANTOS, B. S. (Ed.). *Cognitive justice in a global world: prudent knowledges for a decent life*. Lanham: Lexington Books, 2007. p. 203-24.
- FREIRE JÚNIOR, O. & FREITAS, F. A. A formulação dos "estados relativos" da teoria quântica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 30, p. 2307-1 a 15, 2008.
- FREIRE JÚNIOR, O.; PESSOA JÚNIOR, O. & BROMBERG, J. L. (Org.). *Teoria quântica: estudos históricos e implicações culturais*. Campinas Grande/São Paulo: EDUEPB/Livraria da Física, 2010.
- FREITAS, F. A. A descoerência emerge: os múltiplos caminhos de um novo fenômeno físico. In: FREIRE JÚNIOR, O.; PESSOA JÚNIOR, O. & BROMBERG, J. L. (Org.). *Teoria quântica: estudos históricos e implicações culturais*. Campinas Grande/São Paulo: EDUEPB/Livraria da Física, 2010. p. 67-80.
- FRENCH, S. A phenomenological solution to the measurement problem? Husserl and the foundations of quantum mechanics. *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 33, p. 467-91, 2002.

- HARGITAI, I. *The martians of science: Five physicists who changed the twentieth century*. Oxford: Oxford University Press, 2008.
- JAMMER, M. *The philosophy of quantum mechanics*. New York: Wiley, 1974.
- JAUCH, J. M.; WIGNER, E.P. & YANASE, M. M. Some comments concerning measurements in quantum mechanics. *Il Nuovo Cimento*, 48 B, p. 144-51, 1967.
- KÖRNER, S. *Observation and interpretation in the philosophy of physics*. New York: Dover, 1957.
- KUHN, T. S. *A estrutura das revoluções científicas*. São Paulo: Perspectiva, 2001 [1962].
- LONDON, F. & BAUER, E. *La théorie de l'observation en mécanique quantique*. Paris: Hermann, 1939.
- LUDWIG, G. *Die Grundlagen der Quantenmechanik*. Berlin: Springer, 1954.
- MAUDLIN, T. The tale of quantum logic. In: BEN-MENAHEM, Y. (Ed.). *Hilary Putnam*. Cambridge: Cambridge University Press, 2005. p. 156-87.
- MARGENAU, H. *The nature of physical reality*. New York: McGraw-Hill, 1950.
- _____. Oral history transcript: Dr. Henry Margenau. College Park: American Institute of Physics, 1964. Disponível em: <<http://www.aip.org/history/ohilist/4757.html>>. Acesso em: 4 jul. 2011.
- MARGENAU, H. & WIGNER, E. P. Discussion: comments on professor Putnam's comments. *Philosophy of Science*, 29, p. 292-3, 1962.
- _____. Discussion: reply to professor Putnam. *Philosophy of Science*, 31, p. 7-9, 1964.
- McMULLIN, E. Scientific controversy and its termination. In: ENGELHARDT JÚNIOR, H. T. & CAPLAN, A. L. (Ed.). *Scientific controversies*. Cambridge: Cambridge University Press, 1987. p. 49-91.
- MEHRA, J. Eugene Paul Wigner: Aspects of his life, work, and personality. *The golden age of theoretical physics*. Singapore: World Scientific, 2001. 2v.
- MUELLER, A. & FINE, A. Realism, beyond miracles. In: BEN-MENAHEM, Y. (Ed.). *Hilary Putnam*. Cambridge: Cambridge University Press, 2005. p. 83-124.
- PESSOA JÚNIOR, O. O problema da medição em mecânica quântica: um exame atualizado. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, série 3, 2, p. 177-217, 1992.
- _____. *Conceitos de física quântica*. São Paulo: Livraria da Física, 2003. v. 1.
- PUTNAM, H. Discussion: comments on the paper of David Sharp. *Philosophy of Science*, 28, p. 234-7, 1961.
- _____. Discussion: comments on comments on comments: a reply to Margenau and Wigner. *Philosophy of Science*, 31, p. 1-6, 1964.
- _____. *Mathematics, matter and method. Philosophical papers*. Cambridge: Cambridge University Press, 1985.
- _____. Philosophy of physics. In: _____. *Mathematics, matter and method. Philosophical Papers*. Cambridge: Cambridge University Press, 1985a [1965]. v. 1, p. 79-92.
- _____. A philosopher looks at quantum physics. In: _____. *Mathematics, matter and method. Philosophical papers*. Cambridge: Cambridge University Press, 1985b [1965]. v. 1, p. 130-58.
- _____. The logic of quantum mechanics. In: _____. *Mathematics, matter and method. Philosophical papers*. Cambridge: Cambridge University Press, 1985c [1968]. v. 1, p. 174-97.
- SANTOS, B. S. (Ed.). *Cognitive justice in a global world: prudent knowledges for a decent life*. Lanham: Lexington Books, 2007.
- SANTOS, F. M. dos. *Na fronteira entre a física e a filosofia: reflexões filosóficas de Eugene P. Wigner*. (Dissertação de mestrado em Filosofia). Salvador: Departamento de Filosofia, Universidade Federal da Bahia, 2010a.
- _____. Algumas singularidades do pensamento de Eugene P. Wigner. In: FREIRE JÚNIOR, O.; PESSOA JÚNIOR, O. & BROMBERG, J. L. (Org.). *Teoria quântica: estudos históricos e implicações culturais*. Campina Grande/São Paulo: EDUEPB/Livraria da Física, 2010b. p. 251-63.
- SHARP, D. H. The Einstein-Podolsky-Rosen paradox re-examined. *Philosophy of Science*, 28, p. 225-33, 1961.
- SHIMONY, A. Role of the observer in quantum theory. *American Journal of Physics*, 31, p. 755-77, 1963.

- STAPP, H. *Mindful universe*. New York: Springer, 2007.
- SUÁREZ, M. Quantum propensities. *Studies in the History and Philosophy of Modern Physics*, 38, p. 418-38, 2007.
- VON NEUMANN, J. *Mathematical foundations of quantum mechanics*. Princeton: Princeton University Press, 1955 [1932].
- WIGNER, E. P. Letter to Shimony, 24 may 1963. *Wigner Papers*, coll. W742, box 94/1. Department of Rare Books and Special Collections, Princeton University Library.
- _____. *The recollections of Eugene P. Wigner, as told to Andrew Szanton*. New York: Plenum, 1992.
- _____. *Philosophical reflections and syntheses*. New York: Springer, 1995.
- _____. Remarks on the mind-body question. In: _____. *Philosophical reflections and syntheses*. New York: Springer, 1995a [1961]. p. 247-60.
- _____. The problem of measurement. In: _____. *Philosophical reflections and syntheses*. New York: Springer, 1995b [1963]. p. 163-80.
- _____. Two kinds of reality. In: _____. *Philosophical reflections and syntheses*. New York: Springer, 1995c [1964]. p. 33-47.
- _____. The limitations of determinism. In: _____. *Philosophical reflections and syntheses*. New York: Springer, 1995d [1983]. p. 133-8.

