

POPPER, PROBABILIDADE E MECÂNICA QUÂNTICA

*Olival Freire Jr.**

RESUMO

Este trabalho analisa idéias e atividades de Karl Popper referentes à controvérsia sobre interpretações e fundamentos da mecânica quântica. Atenção especial será dedicada às relações entre Popper e o físico italiano Franco Selleri, ao longo da década de 1980. A interpretação proposta por Popper para os enunciados probabilísticos como propensões, bem como seu ponto de vista realista, contribuíram para estabelecer uma ponte entre suas investigações filosóficas e a pesquisa física em mecânica quântica, ainda que sua idéia sobre as propensões tenha tido uma pequena repercussão entre físicos, matemáticos e filósofos. Argumentaremos neste trabalho que a influência de Popper na física foi possível devido à legitimação, a partir de 1970, da controvérsia sobre os fundamentos da teoria quântica como uma genuína controvérsia científica com implicações filosóficas. Popper foi beneficiado por essa legitimação, mas ele também contribuiu para fazer aquela controvérsia chegar a um público mais amplo que aquele dos físicos envolvidos na própria controvérsia.

Palavras-chave: Popper, propensões, mecânica quântica, Selleri, ondas vazias.

POPPER, PROBABILITY AND QUANTUM MECHANICS

I intend to present in this paper Karl Popper's ideas and activities concerning the controversy about the interpretations and foundations of quantum mechanics. I will pay special attention to Popper's relationship with the Italian physicist Franco Selleri, during the 1980s. Popper's ideas of propensity and realism contributed to build a bridge between his philosophy and physical research in quantum mechanics, even if his idea of propensity has had a weak reception among physicists, mathematicians and philosophers. I will argue that Popper's contributions to physics were possible due to the legitimization in the 1970s of the controversy about the foundations of quantum mechanics, a process which permitted a trading zone between physics and philosophy. Popper was benefited by that process,

* Professor da Universidade Federal da Bahia. *E-mail:* freirejr@ufba.br.

but he also contributed to give to that controversy a larger audience than that of the physicists involved in that controversy.

Key words: Popper, propensities, quantum mechanics, Selleri, empty waves.

INTRODUÇÃO

Preocupações com a interpretação da teoria das probabilidades e com a interpretação da teoria quântica acompanharam quase toda a vida intelectual de Karl Popper (1902-1995), e muitas vezes ambas foram vistas como aspectos de uma mesma tomada de posição intelectual. De fato, como veremos, foram as exigências de interpretação da teoria quântica que levaram Popper à formulação da interpretação da probabilidade como *propensão*. Suas reflexões sobre esse tema foram consideradas, por ele mesmo, algumas das mais corajosas aplicações de suas concepções filosóficas a situações concretas no âmbito da ciência. Nosso objetivo nesse trabalho é apresentar a linha de reflexão, tanto sobre a probabilidade como sobre a teoria quântica, encetada por Popper, localizando-a, em suas transformações, não só no contexto do seu pensamento mas também no contexto filosófico, científico e social de seu tempo. O pensamento de Popper sobre a probabilidade e a mecânica quântica, bem como sua trajetória nesses problemas, estão bem documentados, pelo próprio filósofo, em *A Teoria dos Quanta e o Cisma na Física* (Popper, 1989), em *Autobiografia Intelectual* (Popper, 1977), além de *A Lógica da Pesquisa Científica* (Popper, 1974). Contudo, quando a autobiografia foi finalizada, em 1975, e quando ele redigiu, em 1982, o prefácio ao *Cisma na Física*, estava em curso um forte envolvimento seu com o campo da controvérsia sobre os fundamentos da teoria quântica, envolvendo não só considerações filosóficas mas também considerações científicas, teóricas e experimentais. Na mesma época, essa controvérsia sofria uma transformação, adquirindo, entre os físicos, a legitimidade de uma controvérsia científica, e não mais uma querela filosófica. Karl Popper desenvolveu, nos últimos 15 anos de sua vida, portanto como um octogenário, uma intensa atividade intelectual no âmbito da controvérsia dos quanta, em especial, com uma intensa colaboração com os críticos mais extremados da teoria quântica; um processo pouco conhecido fora dos meios especializados nesse campo da física, e, por isso, ausente da literatura histórica e filosófica relacionada tanto ao pensamento popperiano quanto à mecânica quântica. Por essa razão, a parte final do trabalho explorará essa colaboração, tendo como base a correspondência – entre 1983 e 1989 – entre Popper e o físico italiano Franco Selleri, além de artigos originais do período. Nessa parte,

seguindo uma sugestão de Joan Bromberg,¹ historiadora da ciência, examinaremos a colaboração entre Popper e físicos, como Selleri, como um caso de negociação de novas fronteiras entre disciplinas, no caso filosofia e física, buscando identificar os modos recíprocos de influências.

Como argumentaremos, Popper foi um protagonista relevante, no século XX, na controvérsia dos quanta, tendo contribuído para a legitimação dessa controvérsia como uma controvérsia genuinamente científica, de implicações filosóficas. Como filósofo realista, Popper contribuiu com seu prestígio filosófico para o reforço do campo dos que têm propugnado uma interpretação realista da teoria quântica. Por outro lado, essa própria legitimação criou o espaço intelectual e social que permitiu a Popper atuar nesse debate com mais desenvoltura e segurança. A principal contribuição intelectual especificamente popperiana para a controvérsia foi a recusa tanto da interpretação *frequentista* quanto da interpretação *subjetivista* como válidas, no âmbito das ciências físicas, para os enunciados probabilísticos. Recusando essas alternativas, Popper propôs a adoção, para esses enunciados, de uma interpretação em termos de *propensões*. Esta contribuição, mesmo tendo tido fortuna incerta, tanto no âmbito da teoria das probabilidades quanto no da teoria quântica, desempenhou um papel heurístico relevante, para a atividade de Popper, de interação e colaboração com físicos ativamente envolvidos na controvérsia.²

PRIMEIRA PARTE

Popper, a interpretação da probabilidade, e a interpretação da teoria quântica, *circa* 1935

Quando publicou o *Logik der Forschung*, em 1934, Popper defendia uma interpretação *frequentista* da probabilidade, isto é, que um enunciado probabilístico tem seu significado expresso na frequência com que ele é confirmado em uma série de eventos semelhantes. Ao defender sua posição, Popper explicitou que os enunciados probabilísticos não comportavam uma interpretação única, referindo-se à possibilidade da interpretação *subjetivista*,

¹ Carta de Joan Bromberg ao autor, 07/09/2003.

² Por um viés de competência profissional, mas também devido ao meu interesse como historiador da ciência, devo dizer, antecipadamente, que explorarei de maneira mais abrangente as investigações popperianas nas quais a interpretação da probabilidade serviu à interpretação da teoria quântica, assumindo a existência de lacunas importantes no que diz respeito às repercussões da sua interpretação das propensões no campo dos filósofos e cientistas que lidam com o campo dos fundamentos e das interpretações da teoria das probabilidades.

segundo a qual um enunciado probabilístico é uma medida da *insuficiência* do nosso *conhecimento* de uma dada situação, logo, uma medida da nossa *ignorância*; mas optou pela interpretação *freqüentista*, desenvolvida por R. von Mises, por considerá-la a única aceitável nas Ciências Físicas (Popper, 1977, pp. 106-112; 1974, pp. 160-165). O interesse de Popper no problema da probabilidade não derivava primariamente de um interesse em problemas da Física, mas sim da sua crítica à tese, de largo trânsito no âmbito do Círculo de Viena, de que a verificação de teorias científicas podia ser medida, ou evidenciada, pela sua probabilidade. Popper dependia dessa crítica para afirmar sua própria proposta de que o falseamento deveria substituir a verificação como critério de cientificidade. Popper estava consciente, contudo, que só o “desenvolvimento de um sistema axiomático para o cálculo de probabilidades [lhe permitiria] estabelecer a tese de que a corroboração não é uma probabilidade, no sentido do cálculo de probabilidades”. Na mesma época, interessado nos problemas de interpretação da Teoria Quântica, a qual mal acabara de ser formulada entre 1925 e 1927, e crítico das tendências positivistas influentes entre os físicos, Popper criticou Heisenberg pela defesa das relações que levam seu nome como relações que expressam limitações à medição de certas grandezas físicas. Para Popper, em *Logik der Forschung*, tais relações, bem como a interpretação estatística, sugerida por Max Born, da “função de onda”, expressavam uma dispersão estatística – *relações de espalhamento* – de um conjunto de dados experimentais, visão que era compatível com a interpretação *freqüentista* da probabilidade que defendeu no mesmo livro (Popper, 1977, p. 99 e p. 117). Tal interpretação, além de coerente com o conjunto do pensamento de Popper, era uma interpretação claramente objetivista, o que também lhe agradava. Contudo, ela deixava em aberto o problema de saber se as relações de Heisenberg tinham significado quando aplicadas a fenômenos singulares, problema esse que Popper só viria a reconhecer algumas décadas mais tarde, quando formulou a interpretação da probabilidade em termos de *propensões*.

Em meados da década de 1930, quando Popper assumiu um papel de relevo no cenário intelectual da filosofia de tradição anglo-saxã, em especial como um participante, crítico, do ambiente do positivismo lógico concentrado no Círculo de Viena, ele não foi, contudo, uma voz influente nos debates sobre a interpretação da teoria quântica. Popper reconhece isso, implicitamente, em sua autobiografia. Ele registra que ficou bastante desencorajado com certo erro técnico – sobre a mensurabilidade, na teoria quântica, de grandezas como posição e quantidade de movimento – que havia cometido,³ afirmando:

³ Para o erro assinalado, e as críticas, em especial carta de Einstein assinalando o erro, ver Popper (1974, pp. 260-270).

[...] no que diz respeito à Física Quântica, senti-me assaz desencorajado por vários anos. Não conseguia esquecer o erro do meu experimento conceptual. Hoje, todavia, embora ache natural lamentar qualquer engano, penso que atribuí demasiada importância a essa falha”, e que, por essa razão, “somente em 1948 ou 1949, depois de algumas discussões com Arthur March, físico, especialista em Mecânica Quântica [...], foi que me senti capaz de retornar ao tema, com novo alento.⁴

Popper registra também que, naquele contexto, foi profundamente influenciado pela personalidade de Bohr. Trata-se de fragmento um pouco longo, que tomo a liberdade de citar na sua inteireza:

Eu estava, pois, dominado pelo pessimismo quando Bohr me falou de suas discussões com Einstein [...]. Não me consolou a informação, transmitida por Bohr, de que Einstein errara tanto quanto eu; senti-me derrotado e não fui capaz de resistir ao tremendo impacto da personalidade de Bohr. (Naquela época, aliás, ninguém resistiria.) Retraí-me, mas ainda reuni forças para defender minha explanação da ‘redução do pacote de ondas’. [...] Bohr, inteiramente dominado pelo desejo de expor sua teoria da complementaridade, não tomou conhecimento de meus débeis esforços [...] Deixei as reuniões vivamente impressionado com a bondade, o brilho e o entusiasmo de Bohr; não duvidei de que ele estivesse certo e eu errado. Ainda assim, não consegui persuadir-me de que entendera a ‘complementaridade’ de Bohr, e passei a duvidar de que os demais a houvessem compreendido, embora alguns parecessem convencidos do contrário.⁵

Se, contudo, examinarmos aquele contexto com a perspectiva histórica permitida pelo recuo do tempo, concluiremos que as debilidades e o desencorajamento sentidos por Popper foram, também, a expressão de um determinado contexto intelectual e social. Dispomos, hoje, de muitos estudos históricos interessantes sobre o processo pelo qual a interpretação de Bohr adquiriu largo trânsito entre os físicos da época; mas, não é aqui o momento de um exame desses estudos, de modo que me limitar-me-ei a citar, como apoio, uma caracterização daquele contexto relatada pelo historiador da física Max Jammer, e que, pela sua natureza quase descritiva, poderia figurar como uma

⁴ Popper (1977, pp. 101-102).

⁵ Popper (1977, pp. 100-101).

espécie de identificação de um “fato histórico”.⁶ Jammer, em uma obra histórica de leitura obrigatória para o estudo da filosofia da teoria quântica, refere-se, para designar a “aceitação da interpretação da complementaridade”, ao termo “monocracia de Copenhague”, afirmando que

In the early 1950s the almost unchallenged monocracy of the Copenhagen school in the philosophy of quantum mechanics began to be disputed in the West. The previous lack of widespread criticism in this field was explained in some quarters as the result of a somewhat dictatorial imposition of what was called ‘the Copenhagen dogma’ or ‘orthodox view’ upon the younger generation of physicists.⁷

No contexto dos anos 30, portanto, o insucesso de Popper na crítica da Teoria Quântica foi partilhado por um bom número de físicos, entre os quais Albert Einstein, Erwin Schrödinger e Louis de Broglie. Popper não estava, podemos concluir, em má companhia.

A década de 1950, a renovação da contestação à monocracia de Copenhague, e a solução popperiana: descrição probabilística como propensão

Compreender o processo social e intelectual que levou à mudança do cenário da controvérsia sobre os fundamentos e a interpretação da teoria quântica é um desafio interessante, do ponto de vista da história da ciência, mas ainda não devidamente afrontado.⁸ No cenário ao qual Jammer pôde usar o epíteto de monocracia de Copenhague, esta controvérsia era considerada filosófica, sem implicações para a Física. Um lento processo, durante as décadas de 1950 e de 1960, levou a que, no início da década de 1970, tal controvérsia fosse considerada genuinamente científica, ainda que de implicações filosóficas. Popper foi um dos protagonistas dessa transformação, formulando, em 1957, a interpretação de enunciados probabilísticos como *propensões*. Nas décadas de 1970 e 1980, Popper participou ainda mais ativamente da controvérsia, como veremos adiante. Na década de 1990, esta controvérsia ainda sofreria outra

⁶ Uso livremente a idéia de “fato histórico”. Ela não é, contudo, isenta de problemas; toda a transformação da história no século XX apoiou-se na sua crítica. Para um apresentação do problema, ver Dumoulin (1993).

⁷ Jammer (1974, p. 250).

⁸ Sobre esse tema, desenvolvo o projeto de pesquisa intitulado “Da monocracia de Copenhague ao estabelecimento do dissenso – a controvérsia sobre a física quântica (1950-1970)”, com resultados parciais em Freire Jr. (2003a, 2003b).

transformação, introduzida pelas perspectivas de aplicação de certos resultados físicos, objetos da controvérsia em campos como a computação, de modo que hoje a expressão “informação quântica” é moeda corrente no *mainstream* da Física. Esta última transformação, ainda em curso, já não pôde contar com a presença de Popper.

Popper descreve em sua autobiografia que, em fins de 1940, na Inglaterra, pressentindo a retomada do interesse nos problemas de interpretação da teoria quântica, “aquilo que [ele] mais sentia falta, na época, era poder conversar longamente com um físico” (1977, p. 135). Ele relata, também, como vimos, quão foi útil, para ele, as discussões com o físico Arthur March, entre 1948 e 1949. Ele descreve, com certo detalhe, o impacto que lhe causou a visita aos Estados Unidos quando o volume *Einstein*, editado por P. A. Schilpp, nos marcos da série *The Library of Living Philosophers*, no qual os problemas da teoria quântica são largamente debatidos, acabara de ser publicado. Curiosamente, Popper não registra qual foi a influência sobre si mesmo do aparecimento da interpretação causal, formulada por David Bohm, então um jovem e talentoso físico norte-americano, que, perseguido pelo macartismo, trabalhou durante três anos na Universidade de São Paulo. Podemos conjecturar, e uma pesquisa histórica poderá elucidar, que Popper teria gostado do desafio à interpretação da complementaridade representado pela existência de uma formulação alternativa à teoria quântica usual, que levava, contudo, às mesmas previsões experimentais; mas, não teria simpatizado com a primazia, adotada por Bohm, de descrições determinísticas em detrimento de descrições probabilísticas. Popper descreve que ele amadureceu seu ponto de vista sobre a teoria quântica, e sobre a propensão, através de um processo que lhe era muito peculiar: o da apresentação e discussão de textos, em conferências, sem publicá-los. Em algum momento, contudo, em meados da década de 1950, ele escreveu, e decidiu publicar, um texto sintético expondo o que podemos hoje chamar de ‘a posição madura de Popper’ sobre tais problemas. O texto tinha como título *The propensity interpretation of the calculus of probability, and the quantum theory*, e foi encaminhado para apresentação no simpósio *Observation and Interpretation in the Philosophy of Physics – With Special Reference to Quantum Mechanics*, realizado na Universidade de Bristol. Popper não pôde comparecer,⁹ mas o texto foi lido, por Paul Feyerabend, debatido, e os comentários enviados a Popper. Ele escreveu uma resposta aos comentários, e todo esse material foi

⁹ Popper (1977, p. 158).

publicado no volume dos *proceedings* do simpósio.¹⁰ Pelo caráter sintético, pela concisão, pela prioridade cronológica, pelos debates suscitados e registrados, creio que esse texto ainda é a melhor apresentação da interpretação das *propensões*. Antes, porém, de apresentar o argumento desse texto, e algo dos debates que lhe seguiram, eu gostaria de citar um fragmento da autobiografia de Popper, no qual ele expressa claramente a ligação indissolúvel que havia adquirido para ele o problema da interpretação dos enunciados probabilísticos e o problema da interpretação da teoria quântica. Ele nos fala de uma “conjectura que se transformou em convicção”, afirmando que “todos os problemas da interpretação da mecânica quântica podem ser considerados como problemas relativos à interpretação do cálculo de probabilidades” (1977, p. 100).

Para melhor apresentar a interpretação popperiana dos enunciados probabilísticos como *propensões*, retomemos o quadro das possíveis interpretações para tais enunciados, quadro esse referido quando afirmamos que, na década de 1930, em seu *Logik der Forschung*, Popper havia defendido a interpretação *frequêntista* dos enunciados probabilísticos como a única compatível com a Física. Correndo o risco de uma simplificação excessiva, podemos afirmar que,¹¹ até os anos 50, a questão de qual significado, e mesmo se existe tal significado, atribuir à probabilidade de um evento singular permitia duas respostas. A título de exemplo: qual o significado da afirmativa de que no lançamento de um dado não-viciado nós temos 1/6 de probabilidade de obter o número 2?. A primeira resposta considerava sem sentido tal afirmação, atribuindo significado exclusivamente às frequências contadas em uma série de lançamentos. Para tal concepção, dita da *frequência relativa*, ou *frequêntista*, não existe sentido em falar de probabilidade de eventos singulares, mas sim falar exclusivamente da estatística de séries de eventos; para esta concepção, “a probabilidade no longo prazo é a frequência relativa”.¹² A segunda resposta, admitindo significado para a probabilidade de eventos singulares, atribuía tais significados ao nosso insuficiente conhecimento, à nossa ignorância, de todos os dados relevantes do problema, a exemplo do modo pelo qual o dado foi lançado, e pode ser intitulada de concepção *subjetivista* da probabilidade. Para esta última visão, a probabilidade “é uma medida da incompletude da nossa informação”.¹³ Façamos agora uma transposição destas duas respostas –

¹⁰ Ver Popper (1957). Os comentários ao texto de Popper foram de Braithwaite, Hutten, Bastin, Ayer, Mackay, David Bohm, Kneale, Darwin, Vigier, Gallie, Scriven e Pryce.

¹¹ Seguimos, em linhas gerais, a apresentação desta questão por Home & Whitaker (1992, pp. 227-42) e Popper (1957, pp. 65-67).

¹² Popper (1957, p. 66).

¹³ Idem.

interpretações para o contexto da teoria quântica, tomando como exemplo o problema de saber a probabilidade de localização de um elétron em uma tela, após passar por uma das fendas de um anteparo. Observamos que a análise de um fenômeno quântico singular, conforme a interpretação usual, a da complementaridade, é adequadamente descrita pela teoria quântica, a qual forneceria, no nosso exemplo, um enunciado probabilístico. Contudo, as duas interpretações da probabilidade apresentadas – tanto a *frequêntista*, quanto a *subjetivista* – abrem a possibilidade de obtermos um conhecimento mais exaustivo sobre este fenômeno que aquele implícito na teoria quântica em sua interpretação da complementaridade. Note-se que a interpretação *frequêntista* consideraria sem significado um enunciado para a localização de um único elétron, admitindo, pelo menos como possibilidade lógica, que outra teoria física descrevesse tal situação, enquanto a concepção *subjetivista* atribuiria a descrição probabilista de um evento singular à nossa insuficiência de conhecimento sobre este fenômeno. As duas interpretações da probabilidade abrem a possibilidade, portanto, de obtenção de um conhecimento mais exaustivo que aquele fornecido pela teoria quântica, o qual poderia ser pensado, então, no sentido da obtenção de variáveis, ainda desconhecidas, que, ao serem manipuladas, poderiam restaurar um determinismo de tipo clássico. Tal possibilidade é o que podemos denominar de um criptodeterminismo. Os fundadores da teoria quântica, defensores da interpretação da complementaridade, não admitiam tal possibilidade, mas também não dispunham de uma reflexão alternativa para tal questão.¹⁴ É sintomática a ausência, nos debates (anteriores à Segunda Guerra) sobre a interpretação da teoria quântica, de questões que digam respeito ao problema geral da interpretação das probabilidades. Nessa época, tanto partidários da complementaridade, como Max Born, quanto críticos desta interpretação, como Albert Einstein, referiam-se à *interpretação estatística* da função de onda, atribuindo significados físicos distintos a esta expressão; mas sem problematizar o uso comum da mesma terminologia.¹⁵

A solução apresentada por Popper para a interpretação do significado dos enunciados probabilísticos implica em responder afirmativamente à questão inicialmente formulada. Probabilidades para eventos singulares têm significado, mas expressam as propriedades do objeto físico (no exemplo, o dado) e das condições experimentais (no exemplo, o procedimento do lançamento) nas quais estamos atribuindo probabilidade ao evento. Popper refere-se então à

¹⁴ Com exceção de von Neumann, que a considerou explicitamente. Agradeço a O. Pessoa Jr. a observação sobre a posição de von Neumann.

¹⁵ Freire (1999, Cap. 1).

propensão, ou tendências, de que, em dado arranjo experimental, o objeto comporte-se de uma forma à qual possamos atribuir uma quantidade, ou seja, a probabilidade. Conforme suas palavras “[as probabilidades] caracterizam a disposição, ou a propensão, do arranjo experimental provocar certas frequências características quando o experimento é repetido muitas vezes”. Nesse sentido, Popper considerou “a probabilidade como uma propriedade mais característica do dispositivo experimental do que da seqüência” de eventos.¹⁶

Como o texto de Popper primou pela síntese e precisão, tomo a liberdade de transcrever, em tradução livre, as oito teses que ele sustentou:

1. A solução do problema de como interpretar a teoria das probabilidades é fundamental para a interpretação da teoria quântica, pois a teoria quântica é uma teoria probabilística.
2. A idéia de uma interpretação estatística é correta, mas carece de clareza.
3. Como uma consequência dessa falta de clareza, a interpretação usual da probabilidade em Física *oscila* entre dois extremos: uma interpretação estatística puramente *objetiva* e uma interpretação *subjetiva* em termos da incompletude de nosso conhecimento, ou da informação disponível.
4. Na interpretação ortodoxa de Copenhague da teoria quântica, encontramos a mesma oscilação entre uma interpretação objetiva e uma subjetiva: *a famosa intrusão do observador na Física*.
5. Como oposto a tudo isso, uma interpretação estatística revisada ou reformada é proposta. Ela é chamada *interpretação da probabilidade em termos de propensões*.
6. A interpretação da propensão é uma interpretação puramente objetiva. Ela elimina a oscilação entre uma interpretação objetiva e uma subjetiva, e a intrusão do sujeito na Física.
7. A idéia de propensões é ‘metafísica’, exatamente no mesmo sentido que forças ou campos de forças são metafísicos.
8. Ela é também ‘metafísica’ em outro sentido: no de fornecer um programa coerente para a pesquisa física.¹⁷

O interesse da proposta de Popper, para o problema da interpretação da teoria quântica, está em apresentar uma interpretação consistente para a descrição probabilista que não implica necessariamente a possibilidade de uma

¹⁶ Popper (1957, pp. 67-68).

¹⁷ Popper (1957, p. 65).

descrição mais completa dos fenômenos quânticos, por atribuir significado à probabilidade de eventos singulares. Popper pessoalmente considerava a descrição probabilista da mecânica quântica como irredutível a um quadro conceitual determinista, colocando-se assim em um campo intelectual distinto tanto daquele dos partidários da interpretação causal da teoria quântica, como David Bohm, Louis de Broglie e Jean-Pierre Vigié, quanto dos defensores da interpretação da complementaridade, em especial Heisenberg, o qual considerava responsável pela introdução de um elemento de subjetivismo na Física. Como veremos, esta distância entre Popper e estes críticos da mecânica quântica será bastante reduzida ulteriormente, ocorrendo quase uma identificação entre Popper e Vigié.

Esse mérito não isenta a interpretação da propensão, quando transposta para a interpretação da teoria quântica, de dificuldades. Nos debates ocorridos no simpósio de Bristol, a melhor expressão desse mérito, mas também das dificuldades, pôde ser encontrada na reação do físico David Bohm. Em 1957, momento do simpósio, David Bohm já havia flexibilizado bastante a defesa do primado das descrições deterministas.¹⁸ Bohm havia trabalhado na questão do significado das probabilidades na física – no Brasil, com o físico W. Schützer – e chegou a conclusões muito próximas da *propensão* popperiana.¹⁹ Bohm e Schützer consideraram insuficiente a interpretação denominada de *freqüência relativa* para a obtenção de uma *interpretação objetiva* adequada aos problemas estatísticos que surgem na física. Exemplificando com o lançamento de um dado, sustentaram que “... a probabilidade é propriedade objetiva do dado mais o processo pelo qual ele é lançado e que se manifesta aproximadamente como uma freqüência relativa em uma longa série de lançamentos”. É contra o pano de fundo destas reflexões que podemos compreender por que, durante a primeira apresentação pública da proposta de Popper, no simpósio de Bristol, Bohm a tenha acolhido com certa simpatia, declarando: “[...] penso que em alguns casos existem vantagens em [se] falar sobre propensões. [...] Neste sentido, parece ser uma contribuição distinguir entre propensão e freqüência relativa”,²⁰ embora tenha declarado também que “não pensava que ela [propensão] resolvesse qualquer problema da mecânica quântica”, e que a dualidade onda-partícula é tão difícil de ser tratada na interpretação da propensão quanto em qualquer

¹⁸ Ver Freire Jr. (1999, pp. 124-127).

¹⁹ Bohm & Schützer (1955, p. 1010).

²⁰ Körner (1957, p. 79).

outra. Popper expressaria, ulteriormente, sensibilidade para a dificuldade apresentada por David Bohm, como veremos na parte final desse trabalho.²¹

A recepção imediata da interpretação das *propensões* não foi, contudo, muito favorável. Em sua autobiografia, Popper expressou uma visão relativamente pessimista acerca de como a propensão foi recebida pelos físicos, afirmando: “Lembro que a teoria não foi bem recebida, o que não me surpreendeu nem me desanimou” (1977, p. 164). Uma fraca recepção entre matemáticos e físicos parece ter sido a fortuna da idéia das propensões.²² A interpretação popperiana tem sido assimilada ao que se denomina *interpretação estatística* da mecânica quântica, um ponto de vista desenvolvido, de modo sistemático, por L. E. Ballentine, a partir de 1970. Esta assimilação, entretanto, não preservou a especificidade da propensão popperiana, pelo menos na sua fase inicial.²³ Assim é que Ballentine (1970, p. 360) alinha Einstein, Popper e Blokhintsev entre os defensores da interpretação estatística, mas não nota que a *propensão*, ao atribuir significado ao enunciado probabilístico de um evento singular, guarda algum conflito com a recusa, por Einstein, Blokhintsev e pelo próprio Ballentine, da premissa de que o estado quântico seja a mais completa descrição possível de um sistema físico individual. Contudo, podemos supor que o tempo

²¹ Popper e Bohm se aproximaram ainda mais depois do simpósio de Bristol, mas esta aproximação foi sucedida por uma ruptura, fato, aliás, usual, nas relações intelectuais de Popper. David Peat (1996, p. 218) relata a proximidade, e o ulterior afastamento, entre os dois pensadores.

²² Entre as poucas análises centradas explicitamente no significado da propensão no âmbito da teoria quântica, cito Milne (1985), que considerou propensão como um mero sinônimo de probabilidade. O silêncio tem sido, muitas vezes, um modo de uma fraca recepção da proposta de Popper. Cito dois exemplos, nesse sentido. O verbete sobre cálculo de probabilidades, na Enciclopédia Britânica, escrito por D.O. Siegmund (1994), apresenta apenas a interpretação freqüentista e a subjetivista como interpretações possíveis para a probabilidade. Antonio Siqueira, Josué Mendes Filho e Jenner Barreto Bastos Filho (1997), físicos brasileiros, discutindo o “O que significa probabilidade?”, na Física, citando Jaynes, consideram apenas as duas possibilidades interpretativas, a objetiva, ou freqüentista, e a subjetiva, desconhecendo a possibilidade sugerida por Popper. Ou seja, a propensão popperiana não lhes pareceu relevante para a reflexão sobre tal tema. Os filósofos mais próximos de Popper, naturalmente, dedicaram maior atenção à idéia de propensão, mesmo com posições divergentes sobre seus significados. Ver, nesse último sentido, os ensaios de Donald Gillies, David Miller, Peter Clark e Michael Redhead, todos em O’Hear (1995).

²³ Ballentine, contudo, tardiamente reconheceu, concordando com essa especificidade. Em carta a Selleri, em 12/02/1987, Popper assinala que “I recently had a letter from Ballentine on my ‘Propensities Interpretation’, with which he agrees”.

contará a favor da preservação da especificidade do pensamento popperiano.²⁴ Se essa conjectura se confirmar, um papel importante nesse sentido terá sido desempenhado pelo abrangente estudo de revisão sobre a “ensemble interpretation” da mecânica quântica elaborado por Home e Whitaker (1992). Esses autores souberam identificar a especificidade do pensamento popperiano no seio da diversidade de interpretações tanto da probabilidade quanto da teoria quântica, além de revisar as principais críticas e apoios que a idéia de probabilidade como *propensões* tem recebido. Se considerarmos o fato de que a controvérsia sobre a interpretação da teoria quântica não está resolvida ou encerrada, a mera sobrevivência de uma dada possibilidade interpretativa já deve ser considerada como sinal de certo êxito. Adicionalmente, como veremos, a *propensão* popperiana parece ter sido útil a Popper, pelo menos em termos heurísticos, quando este adentrou, posteriormente, mais diretamente, o campo da física.

SEGUNDA PARTE

Karl Popper e a mudança no estatuto da controvérsia dos quanta

O lento processo de transformação do estatuto – entre os físicos – da controvérsia dos quanta sofreu uma aceleração a partir de 1970, levando a uma legitimação desta como uma controvérsia científica de implicações filosóficas. Três acontecimentos, no mesmo ano de 1970, cristalizaram, a nosso ver, essa transformação: a criação, por H. Margenau e W. Yourgrau, da revista *Foundations of Physics*; a realização da primeira “escola” destinada ao tema dos fundamentos da mecânica quântica, uma iniciativa da Sociedade Italiana de Física, que sob a presidência de Toraldo di Francia convidou Bernard d’Espagnat para dirigir o evento; e a abertura das páginas da revista *Physics Today*, tradicional órgão de divulgação dos físicos norte-americanos, para um debate sobre a interpretação dos “estados relativos”, formulada em 1957 por Hugh Everett e relançada no final da década de 1960 por Bryce DeWitt, com a denominação de interpretação dos “muitos mundos”. Ao longo da década de 1970, essa tendência à legitimação da controvérsia foi dramaticamente acelerada pela possibilidade de submeter ao crivo das experiências as Desigualdades de Bell. Estas desigualdades expressam uma reformulação do argumento favorável à incompletude da teoria quântica, antecipado por Einstein, Podolsky e Rosen em 1935. Popper dedicou boa parte da energia dos seus 70 e 80 anos à

²⁴ Claude Comte, físico francês, tem retomado e desenvolvido a propensão popperiana. Ver Comte (2004).

participação nessa controvérsia. Integrou o conselho editorial da revista *Foundations of Physics*, participou ativamente de conferências sobre o tema, e publicou, auxiliado por W.W. Bartley, III, o terceiro volume do “Pós-Escrito à Lógica de Descoberta Científica”, dedicado ao tema da mecânica quântica. Além disso, muito interessante para nossa análise, recuperado do trauma do primeiro experimento que havia proposto em 1934, atravessou a fronteira entre a Filosofia e a Física, uma fronteira que havia sido borrada pela legitimação da controvérsia dos quanta como uma controvérsia científica de implicações filosóficas, e voltou a propor experimentos que pudessem auxiliar no esclarecimento do tema. Sofreu muitas críticas por tais propostas, viu algumas de suas propostas serem transformadas em experimentos reais, e viu experimentos produzirem resultados que fortaleceram a teoria quântica, ao invés de enfraquecê-la. Dessa vez, contudo, não desencorajou, mesmo porque a crítica é o território natural da controvérsia. Parte dessa atividade está refletida no prefácio que escreveu, em 1982, para o terceiro volume do “Pós-Escrito”.²⁵ Sua atividade na década de 1980 foi ainda mais intensa, de modo que uma investigação histórica da atividade de Popper nas décadas de 1970 e 1980 parece ser tema de interesse tanto filosófico quanto histórico. Finalizaremos nossa exposição explorando, por meio de tentativa, essa tarefa, tomando como fontes primárias a correspondência entre Popper e o físico italiano Franco Selleri

Karl Popper e Franco Selleri, uma colaboração entre a Filosofia e a Física tendo o realismo como plataforma comum

Durante toda a década de 1980, Popper desenvolveu intensa atividade no campo da controvérsia sobre a interpretação dos quanta. Boa parte dessa atividade foi realizada em diálogo e colaboração com Franco Selleri, físico

²⁵ Não examinarei neste trabalho a aproximação entre Popper e Vigier, que foi anterior à aproximação entre Popper e Selleri. Este tema merece, entretanto, um estudo à parte, pelo seu interesse filosófico e histórico. Observo que no “Pós-Escrito” as idéias de Popper sobre a mecânica quântica são muito próximas das de Jean-Pierre Vigier. Esta proximidade foi possibilitada pelas mudanças tanto no pensamento de Popper quanto no de Vigier. O primeiro passou a apoiar modelos físicos alternativos à mecânica quântica, enquanto o segundo abandonou a ênfase na defesa do determinismo. Sabe-se, contudo, que o “Pós-escrito” reuniu textos que circulavam anteriormente entre os discípulos de Popper. Tais textos não poderiam, nos parece, remontar ao período, meados de década de 50, quando a posição de Popper ainda era distante da de Vigier e de Bohm, como as atas do colóquio de Bristol evidenciam. Datar e mapear as mudanças ocorridas no pensamento de Popper enquanto aqueles textos circulavam entre seus discípulos é um problema interessante tanto do ponto de vista histórico quanto epistemológico. Agradeço a Michel Paty observações sobre este aspecto.

que realizou uma conversão profissional, entre 1969 e 1970, de uma carreira bem-estabelecida em física de partículas para o emergente campo dos fundamentos da teoria quântica, no qual progressivamente adquiriu expressiva liderança. O exame da correspondência entre ambos,²⁶ além de livros e artigos do período, permite sistematizar uma espécie de agenda de suas interações. O tema de interesse comum, que permeou toda a interação, foi a defesa do realismo, tanto na física quântica quanto na Ciência e no pensamento social contemporâneo.²⁷ A melhor contribuição de Popper, nesse sentido, foi a publicação, em 1982, de *Quantum Theory and The Schism in Physics*. Afinal, ele emprestou o seu prestígio intelectual e filosófico à idéia de que a Física no século XX estava cindida quanto ao estatuto a ser atribuído ao realismo. Não deixa de ser significativo que a correspondência entre o físico e o filósofo tenha se iniciado em 1983, logo após a publicação do referido livro, com Selleri convidando Popper para ser um dos conferencistas de simpósio sobre a física das ondas quânticas, que promovia em Bari, Itália, onde Selleri trabalhava. Além de participar do simpósio, Popper proferiu palestra, em Bari, para o grande público, contribuindo, desse modo, para uma maior legitimidade intelectual e social das atividades do grupo liderado por Franco Selleri.²⁸ Outros temas recorrentes foram o exame de experimentos, e de possibilidades experimentais, capazes de esclarecer a existência das “ondas vazias”, e a aplicação da interpretação das propensões à teoria quântica. Popper comprometeu-se fortemente com a defesa das ondas vazias, como observaremos

²⁶ Nos arquivos pessoais de Franco Selleri, em Bari, Itália, existem 10 cartas de Popper para Selleri; 6 cartas de Ivan Slade (uma espécie de secretário e assistente de Popper) para Selleri; além de 8 cartas de Selleri para Popper.

²⁷ Para a defesa do realismo como parte da responsabilidade social do cientista, ver Selleri (1971, p. 398) e Popper (1989, p. 24).

²⁸ Selleri, desde o início, percebeu essa possibilidade, assinalando, na primeira carta, em 05/03/1983, que “as you can imagine there is great excitement for your arrival in our University and there are many requests of participation and of your talks. I would suggest that besides taking part in the workshop and talking about your ideas you accept to give a public speech on the role of science in the modern society, or anything else of your choice”. Selleri estava disposto a organizar a presença de Popper de modo a evitar quaisquer inconveniências políticas, afirmando: “We assure you that we will keep a good control of the whole thing and that no inconvenience of the type you had in Milan last January (at least according to the national press) would occur here”. A palestra proferida por Popper para o público não-especializado foi o seu trabalho “Evolutionary Epistemology”, conforme carta de Popper para Selleri, em 18/04/1984. O convite de Selleri para a ida de Popper à conferência foi o primeiro contato entre o físico e o filósofo, conforme carta de Selleri ao autor, em 02/02/2004. Tanto a conferência de Popper no encontro científico (1985a), quanto sua palestra para o grande público (1985b), estão publicadas nos *proceedings* do encontro (Tarozzi & van der Merwe, 1985).

adiante; Selleri, por sua vez, já no final da década, declarava estar convencido do papel das propensões no futuro da Física, mas sua adesão às propensões foi seguramente menor que aquela de Popper às ondas vazias. Curioso será notar que as visões partilhadas na Ciência e na Filosofia não eram extensivas ao campo da política. Popper, notório crítico do marxismo e defensor do liberalismo, e Selleri, ostensivo marxista, optaram por não incluir a política na agenda de suas conversações.

Para melhor entendermos, conceitualmente, o trânsito de Popper da Filosofia para a Física, e a sua defesa das ondas vazias, será interessante retomarmos dois fragmentos do registro do simpósio de 1957, em Bristol. Popper, quando aplicou sua idéia de propensão diretamente à mecânica quântica, afirmou:

In our interpretation, Schrödinger's ψ -function determines the propensities of the states of the electron. We therefore have no 'dualism' of particles and waves. *The electron is a particle, but its wave theory is a propensity theory which attributes weights to the electron's possible states.* The waves in configuration space are waves of weights, or waves of propensities. [grifos nossos]

Popper frisa ainda que as *propensões* na mecânica quântica são não só tão objetivas como os arranjos experimentais, mas fisicamente reais, no mesmo sentido que forças e campos de força; mas elas não se assemelham à onda-piloto proposta por Bohm e De Broglie, porque as propensões não são ondas em um espaço ordinário, como a onda-piloto, mas vetores em um espaço de possibilidades. Lembremos, também, que, em seus comentários ao texto de Popper, Bohm frisou que a dualidade onda-partícula era tão problemática para a interpretação das propensões como para qualquer outra interpretação.

A afirmação de David Bohm ressoou em Karl Popper, embora o tenha feito somente algum tempo depois. O caminho adotado por Popper parece, aos olhos de hoje, trivial, mas não o foi à época, inclusive porque implicava tanto uma transição da Filosofia para a Física quanto a escolha de uma teoria, ou modelo, rival à teoria quântica usual, o que não era um conseqüência necessária do argumento original de Popper sobre as *propensões*. Uma boa pergunta para entendermos o caminho trilhado por Popper seria perguntarmos: entre as interpretações físicas alternativas à interpretação da complementaridade, qual a melhor candidata a uma aproximação com a idéia de *propensão*? A resposta, para quem conhece um pouco o verdadeiro zoológico que é a diversidade de interpretações e formulações da teoria quântica, parece inequívoca. Trata-se da idéia de *dupla-solução*, formulada por Louis de Broglie entre 1924 e 1926, por ele abandonada em seguida, e retomada em 1952, com a colaboração de

Jean-Pierre Vigier, e desenvolvida ulteriormente por meio de tentativas por vários cientistas. A idéia é matematicamente simples e elegante. Modificando-se a equação de Schrödinger de modo a torná-la não-linear, podemos pensar em suas soluções como uma combinação de duas partes. Um “pacote” de onda que representa a partícula localizada no espaço-tempo, e outra parte que guia a partícula, cuja amplitude quadrada fornece as probabilidades de localização da partícula. A analogia possível é que esta segunda parte seria o correspondente à *propensão* popperiana.²⁹ Solução matematicamente simples e elegante, mas ainda hoje sem construção fisicamente satisfatória. Uma versão simplificada dessa idéia foi formulada, em 1927, por De Broglie, com o nome de *onda-piloto*, e desenvolvida, independentemente, por David Bohm, em 1952, na denominada interpretação causal, ou das variáveis escondidas. Independente dos detalhes desses desenvolvimentos técnicos, eles têm uma premissa realista comum sobre o que seja a realidade quântica, que implica a idéia de que, na descrição quântica (que descreve as amplitudes de probabilidades que resultam da equação de Schrödinger), tanto a partícula como o elétron e a onda têm existência objetiva e simultânea. A essa altura, podemos compreender, de modo qualitativo e não-técnico, a idéia das *ondas vazias*.³⁰ Se um elétron é lançado contra um anteparo com uma dupla fenda, com essa premissa o elétron passa por uma das fendas, mas a onda passa pelas duas fendas. Logo, na fenda pela qual o elétron não passou temos uma *onda vazia*, isto é, sem o elétron.

Selleri (1971) foi o primeiro a sugerir que as ondas vazias podiam ser submetidas a um teste experimental que fosse independente daqueles desenvolvimentos matemáticos. A sugestão de Selleri de que experimentos poderiam discernir as ondas vazias de outras interpretações da mecânica quântica não foi partilhada por todos os partidários de David Bohm e Louis de Broglie, mas foi o caminho seguido por Karl Popper.³¹ Ele reiterou, ao longo

²⁹ Esta analogia foi formalmente reconhecida por Popper (1985a, pp. 4-5). “I am a realist, and I believe in the reality of [...] propensity fields (De Broglie fields). (These remarks are conjectural, of course.) [...] I as a realist assert, with Louis de Broglie, that particles and waves are “complimentary” views of the *same* microphysical entities: these entities reveal themselves to us, or appear to our knowledge, or in some of our measurements, as particles and in other measurements as waves.”

³⁰ Selleri (1986, pp. 190-195) observa, corretamente ao nosso ver, que a idéia de uma onda fantasma [Gespensterfelder], isto é, “uma onda que não transporta nem energia nem quantidade de movimento, [mas que] pode manifestar sua presença modificando as probabilidades de transição dos sistemas instáveis”, freqüentou os espíritos de muitos dos pais fundadores da teoria quântica, como Einstein, Bohr, Kramers, Slater e Heisenberg.

³¹ Para uma apresentação técnica rigorosa das ondas vazias e do argumento de que elas não são discerníveis experimentalmente da teoria quântica usual, ver Holland (1993, especialmente

da década de 1980, sua crença na realidade das ondas vazias. Em 1984, em prefácio a livro de Selleri, ele formulou a questão como uma pergunta: “El problema central aqui es, pués, este: ¿existen las ondas vacías?; es también uno de los muchos problemas que se discuten en el libro de Selleri”.³² Em outros momentos, Popper expressou-a não como uma pergunta, mas como uma convicção: “As you may remember, I strongly believe in empty de Broglie waves”;³³ ou como um voto de confiança de que os experimentos favoreceriam sua existência: “I feel confident that it will decide in favour of empty waves”.³⁴

Antes mesmo da participação na conferência de Bari, e do encontro com Franco Selleri, Popper já havia aderido à abordagem das ondas vazias e havia se convertido em físico, propondo experimentos para decidir sobre as interpretações da mecânica quântica, em especial para contrastar empiricamente as ondas vazias com a mecânica quântica usual. Em 1981, ele foi um dos autores do artigo no qual os físicos Augusto Garuccio, que havia sido aluno de Selleri, e Jean-Pierre Vigié propunham uma modificação em um experimento óptico realizado por R. L. Pfleeger e L. Mandel, de modo a testar a existência das ondas de Louis de Broglie.³⁵ O experimento foi inicialmente considerado inviável por Leonard Mandel (1985), por depender de um efeito de amplificação não-permitido pela teoria quântica. A sugestão de levar a idéia das ondas vazias a um teste experimental, sustentada por Selleri inicialmente, e posteriormente por Popper, Garuccio e Vigié, entretanto, se revelou frutífera, pois versões modificadas dos primeiros experimentos foram enfim realizados, mas com resultados desfavoráveis à abordagem das ondas vazias.³⁶ Os experimentos, portanto, tanto durante a vida de Popper como hoje, ainda não decidiram a favor das ondas vazias.³⁷

pp. 371-373). Para uma apresentação dos dois argumentos e uma discussão dos experimentos sugeridos e de seus resultados, ver Home (1997, pp. 295-299).

³² Ver “Prefácio de K. R. Popper”, em Selleri (1986, pp. 9-10). O livro de Selleri teve uma edição original em alemão, em 1983. Selleri solicitou (carta datada 05/10/1984) a Popper um prefácio para a edição espanhola do livro. O mesmo prefácio foi preparado para a edição inglesa do livro, conforme cartas de Ivan Slade para Selleri, em 02/11/1984 e 15/01/1985.

³³ Carta de Popper para Selleri, 24/11/1986.

³⁴ Carta de Popper para Selleri, 12/02/1987.

³⁵ Para o artigo conjunto, ver Garuccio, Popper & Vigié (1981).

³⁶ Ver, por exemplo, Croca, Garuccio & Selleri (1988) e Wang, Zou, & Mandel (1991). Para uma análise dos resultados desses experimentos, ver Home (1997, pp. 295-299).

³⁷ A persistência de Popper na defesa das ondas vazias, bem como a sua não-aceitação da não-localidade, a despeito de resultados experimentais desfavoráveis, e o seu subsequente deslocamento para uma crítica da relatividade restrita sem extrair consequências físicas dessa tomada de posição parecem não estar em sintonia com o seu preceito metodológico da

Por ocasião da publicação de *O cisma na Física*, em 1982, ele retomou um experimento que havia proposto na década de 1930, uma variação do experimento proposto em 1935 por Einstein, Podolsky e Rosen, destinado a colocar em teste a interpretação da complementaridade. Não seria exagero, contudo, afirmar que foi na conferência de Bari, em 1983, que Popper encontrou o auditório mais adequado para debater a proposta de experimento que havia sugerido no ano anterior. A sua apresentação foi a questão central da palestra de Popper (1985a) na abertura do evento. De modo ultra-simplificado, o experimento proposto por Popper implicava em uma fonte (ele sugeriu um positrônio) que decaía emitindo dois fótons em direções opostas. Através da modificação das condições experimentais na passagem de um dos fótons, Popper esperava que o outro fóton, que não havia sido objeto de tais modificações, apresentasse uma relação entre posição e quantidade de movimento em dissonância com as relações de indeterminação de Heisenberg. Sinal dos tempos de uma controvérsia científica em pleno desenvolvimento, os físicos presentes apresentaram opiniões diversificadas sobre a proposta de Popper (1985a, pp. 26-32). Jean-Pierre Vigié opinou que os dois fótons estariam correlacionados e que o resultado do experimento seria exatamente aquele previsto pela teoria quântica, opinião apoiada por M. C. Robinson e criticada por Trevor Marshall. Marcello Cini não via por que haver correlação entre os dois fótons. Jules Six considerou o experimento inviável tecnicamente. Franco Selleri opinou que, *em princípio*, os obstáculos técnicos poderiam ser superados e solicitou a opinião dos físicos experimentais presentes, concordando com Popper que o experimento deveria levar a resultados conflitantes com as previsões da teoria quântica.³⁸ Helmut Rauch considerou impossível superar os obstáculos técnicos, enquanto Leonard Mandel concordou com a viabilidade

falseabilidade como critério de cientificidade, porque sugerem uma introdução desnecessária de justificativas *ad hoc*. Popper justificaria esse seu movimento com a idéia de “programas metafísicos de investigação” (Popper, 1989, pp. 44-52). A discussão dessa interessante questão, entretanto, foge ao escopo do nosso texto. Sou grato a Hugh Lacey por ter chamado minha atenção para essa questão.

³⁸ Ulteriormente, Selleri convenceu-se da inviabilidade prática do experimento tal qual havia sido proposto por Popper. Em carta a Popper, em 12/12/1984, Selleri esclarece que o experimento será inviável, em princípio, caso a emissão das duas partículas ocorra com a aniquilação da partícula emissora, e inviável, na prática, quando não ocorrer tal aniquilação, porque, nesse caso, teremos um problema de três corpos, no qual a distribuição de quantidade de movimento entre dois deles é muito variável. Essas idéias foram apresentadas em Bedford & Selleri (1985).

da modificação sugerida por Selleri.³⁹ Gino Tarozzi, por fim, enfatizou a relevância física e epistemológica do experimento proposto, por não depender de premissas que tornariam impossível a um *único* experimento falsear um princípio filosófico.

Nos anos que se seguiram à conferência de Bari, o experimento foi analisado por filósofos da ciência, mas não foi efetivamente implementado. Ao que parece, prevaleceu a dupla impressão de inviabilidade técnica e de não-discernimento entre a teoria quântica e outras teorias. Curiosamente, no início do século XXI, evidenciando o quão foi frutífero para a física o ato de Popper de atravessar a fronteira entre a filosofia e a física, o experimento de Popper motivou tanto a física experimental quanto a teórica. Nos Estados Unidos, na Universidade de Maryland, os físicos Yanhua Shih e Yoon-Ho Kim contornaram engenhosamente os obstáculos e realizaram o experimento.⁴⁰ A intuição de Popper sobre os resultados quantitativos estava certa, mas sua análise do próprio experimento não estava de acordo com a própria mecânica quântica. No caso concreto, as relações de Heisenberg não seriam aplicáveis a um dos dois fótons isoladamente – e os dois físicos lembram que na teoria quântica “Two-photon is not two photons” (Shih & Kim, 2000, 368). Em Israel, no Technion de Haifa, o físico teórico Asher Peres, de modo independente dos trabalhos experimentais de Shih e Kim, empreendeu uma análise teórico-quântica e conceitual do experimento e da argumentação de Popper. O trabalho de Peres é uma defesa do que ele considera ser o positivismo da complementaridade de Niels Bohr, mas, na parte de seu trabalho que transcende a defesa do ponto de vista filosófico de Bohr, ele mostra que não tem sentido a aplicação da relação de Heisenberg a uma das duas partículas, e que, ao contrário, ela seria aplicável ao sistema das duas partículas, na forma $\Delta(p_1+p_2)\Delta(q_1+q_2) \leq \dots$.⁴¹ Os trabalhos de Shih & Kim e de Peres devem ser objeto de análise

³⁹ Para a participação de L. Mandel em experimentos óptico-quânticos relacionados aos fundamentos da teoria quântica, ver Bromberg (2003). Nesse trabalho, Joan Bromberg analisa as trajetórias profissionais e intelectuais de Abner Shimony e de Leonard Mandel. Ela conjectura que uma das razões para Mandel, óptico quântico, ter se dedicado a experimentos referentes aos fundamentos da teoria quântica, na década de 1980 e 1990, foi justamente o fato de os seguidores da interpretação da “dupla-solução” terem sugerido uma variante de um de seus experimentos anteriores para teste das “ondas vazias”. O diálogo encetado estaria, então, na origem do convite para a participação de Mandel na conferência de Bari.

⁴⁰ Shih & Kim (2000). Agradeço a Joan Bromberg ter chamado a minha atenção para este trabalho.

⁴¹ Redhead (1995, p. 169) havia argumentado, em um sentido similar, que o efeito previsto por Popper não era uma previsão em concordância com o formalismo da mecânica quântica.

rigorosa, e cotejados entre si, o que não será feito no nosso trabalho. Cabe aqui, entretanto, frisar que a proposta de Popper colocou físicos, teóricos e experimentais em movimento, o que parece-nos evidenciar que a física foi, de algum modo, beneficiada pela participação de filósofos como Popper na controvérsia sobre a interpretação dos quanta.

Voltemos às interações entre Karl Popper e Franco Selleri, na década de 1980. A colaboração entre o físico e o filósofo não foi, entretanto, isenta de tensões. Sobre a questão da não-localidade presente na teoria quântica, questão crucial ainda hoje inclusive pelas possibilidades de aplicações que dela têm derivado, eles tiveram uma posição comum, mas em bases bastante diferentes. Selleri, desde sua entrada no campo dos fundamentos da teoria quântica, notabilizou-se como um crítico rigoroso dos experimentos em curso, de modo que ele tendia a recusar a não-localidade como um efeito físico por considerar que não havia suficiente e sólida evidência empírica a suportá-la. Popper também recusava a não-localidade, mas tentou fundar sua recusa em considerações sobre a probabilidade, sobre as probabilidades condicionais,⁴² argumento que, aparentemente, não soou como fisicamente significativo para Selleri. Contudo, é interessante observar que, desde o início dos anos 1980, Popper tinha plena consciência de que a recusa da não-localidade deveria levar a um questionamento da teoria da relatividade,⁴³ e sustentou explicitamente o retorno à idéia de um referencial inercial privilegiado (Popper, 1989, pp. 44-49). Só bem recentemente Selleri empreendeu o mesmo caminho. Como físico, entretanto, Selleri não poderia simplesmente afirmar uma convicção, e, por isso, atualmente, ele dedica parte de suas energias intelectuais ao desenvolvimento científico dessa possibilidade.⁴⁴

A colaboração entre o físico e o filósofo foi permitida pela excepcional circunstância criada com a legitimação da controvérsia dos quanta. Ela foi benéfica para os dois lados. Popper forneceu a Selleri argumentos consistentes e seu prestígio intelectual, para a cruzada comum em defesa do realismo. Selleri, e seus colaboradores físicos, ofereceram para Popper uma via de acesso ao debate entre físicos, com a possibilidade de proposição e análise de

⁴² Carta de Popper para Selleri, 30/11/1983.

⁴³ Os físicos e filósofos que reconhecem a não-localidade como um fato físico também discutiram, na mesma época, o problema da compatibilidade entre a relatividade restrita e a teoria quântica, mas chegaram à conclusão, diversa da de Popper, da compatibilidade entre as duas teorias físicas. Ver Paty (1986), e, para a evolução do pensamento de Abner Shimony, Bromberg (2003).

⁴⁴ Ver Selleri (2002, 2003).

experimentos, possibilidade que agradava a Popper e que tanto lhe tinha custado no passado.⁴⁵ Ambos se apoiaram mutuamente tanto na crítica à interpretação de Copenhague quanto na crítica ao dogmatismo, associado a esta interpretação, e que teria tido influência profunda entre os físicos, mesmo quando a controvérsia sobre os quanta passou a gozar de um estatuto mais prestigiado entre os físicos.⁴⁶ Foi colaboração e aliança frutífera, pois beneficiou os dois protagonistas que nela se envolveram.

Karl Popper e Franco Selleri desenvolveram um enorme apreço mútuo. Selleri foi, seguramente, o principal físico interlocutor de Popper.⁴⁷ Incidentalmente, a última carta – que temos registro – de Selleri para Popper finaliza com uma apreciação, talvez excessiva, do papel desempenhado por Popper na legitimação da controvérsia sobre a física dos quanta, e creio que eu não teria um modo melhor de encerrar este texto, senão citando-o na íntegra:

I recently studied for the first time in depth your idea of *propensities*. I find it fascinating because it is clearly the most general formulation of realism that I can think of. This is the real strong idea that we have in common and I am always very grateful for the great battle you fought and you fight against the idealistic conceptions of the Copenhagen school. You gave us some water in which we can now try to swim.⁴⁸

⁴⁵ Popper carregou, durante muito tempo, entre os físicos fundadores da teoria quântica, especialmente entre os adeptos da interpretação de Copenhague, a imagem de um filósofo que não entendia a Física. Evidência disso pode ser encontrada em carta do cientista Gustav Born, filho do físico Max Born, em 6 de novembro de 1980, ao físico John Archibald Wheeler, na qual ele lembra a Wheeler que seu pai não tinha uma opinião particularmente favorável às intervenções de Popper em física teórica. A carta está nos Wheeler Papers – Series II – Box Ber – Brec, Folder Born, Gustav, American Philosophical Society, Philadelphia. Sou grato à American Philosophical Society pela Slater Fellowship, que me permitiu consultar os Wheeler Papers.

⁴⁶ Selleri expressava, em 23/02/1987, para Popper, seu desânimo com as dificuldades encontradas para realizar experimentos em fundamentos da teoria quântica: “It is unbelievably difficult to convince an experimental group to do this experiment. They seem to be afraid of what the top physicists will say about them. Therefore they ask the old Copenhagen priests for permission, but the permission does not come.” Popper, em seu prefácio a Selleri (1986), falava da “lavagem cerebral” a que os físicos haviam sido submetidos.

⁴⁷ “I am writing mainly to tell you that if you have an opportunity to come to England, I should love to have (not one but) several meetings with you. [...] These are just one or two of the points. I should love to discuss with you, more than with any other physicist [...] living.” Carta de Popper para Selleri, 30/11/1983.

⁴⁸ Carta de Selleri para Popper, 28/11/1989. Outro elogio à contribuição de Popper para o esclarecimento dos fundamentos da teoria quântica, similar ao de Selleri, pode ser encontrado em Redhead (1995, p. 176): “He has done a great service to the philosophy of quantum

AGRADECIMENTOS

Sou grato a Hugh Lacey, Joan Bromberg, Michel Paty e Robinson Tenório por seus comentários a este texto. Sou grato à CAPES e FAPESB pelos auxílios que permitiram uma tomada de depoimento de Franco Selleri e consulta ao seu arquivo pessoal. Trabalho parcialmente financiado pelo CNPq.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALLENTINE, L. E. The Statistical Interpretation of Quantum Mechanics. In: *Review of Modern Physics*, 42(4), 358-381, 1970.
- BEDFORD, D. & SELLERI, F. On Popper's new EPR experiment. *Lettere al Nuovo Cimento*, 42(7), 325-328, 1985.
- BOHM, D. & SCHÜTZER, W. The General Statistical Problem in Physics and the Theory of Probability. In: *Nuovo Cimento*, suplemento ao Vol. II(4), 1004-1047, 1955.
- BOHM, D. Discussion. In: KÖRNER (1957, pp. 78-89).
- BROMBERG, J. L. *The Rise of 'Experimental Metaphysics' in Late Twentieth Century Physics*, unpublished draft. American Institute of Physics - Center for History of Physics: Archive for Quantum Optics, College Park, 2003.
- COMTE, C. Espaces et référentiels. In : LACHIEZE-REY, Marc (ed.). *L'espace entre mathématiques et philosophie*. Paris: EDP Sciences, 2004. [no prelo]
- CROCA, J.R., GARUCCIO, A. & SELLERI, F. On a possible way to detect de Broglie's waves. *Foundations of Physics Letters*, 1(2), 101-112, 1988.
- DAVID PEAT, F. *Infinite Potential – The Life and Times of David Bohm*. Helix Books & Addison-Wesley Pub Co, 1997.
- DUMOULIN, O. Fato histórico. In: BURGUIÈRE, A. (org). *Dicionário das ciências históricas*. Rio de Janeiro: Imago, 1993.
- FREIRE JR., O. *David Bohm e a controvérsia dos quanta*. Coleção CLE, Volume 27. Campinas: CLE-UNICAMP, 1999.
- . A Story Without An Ending: The Quantum Physics Controversy 1950-1970. *Science & Education*, 12 (5-6), 573-586, 2003a.
- . O debate sobre a imagem da ciência – a propósito das idéias e da ação de E.P. Wigner. In: SANTOS, Boaventura de Sousa. (Org.). *Conhecimento prudente para uma vida decente: um discurso sobre as ciências – revisitado*. Porto: Afrontamento, 481-506, 2003b.

mechanics by emphasising the distinction between state preparation and measurement and trying to get a clearer understanding of the true significance of the uncertainty principle, but above all by spearheading the resistance to the dogmatic tranquilising philosophy of the Copenhagenists. Because some detailed arguments are flawed, this does not mean that his overall influence has not been abundantly beneficial.”

- GARUCCIO, A., POPPER, K.R. & VIGIER, J-P. Possible Direct Physical Detection of De Broglie Waves. *Physics Letters*, 86A (8), 397-400, 1981.
- HOLLAND, P. R. *The Quantum Theory of Motion – An Account of the de Broglie-Bohm Causal Interpretation of Quantum Mechanics*. Cambridge: Cambridge University Press, 1993.
- HOME, D. *Conceptual Foundations of Quantum Physics – An Overview from Modern Perspectives*. New York: Plenum Press, 1997.
- HOME, D. & Whitaker, M.A.B. Ensemble Interpretations of Quantum Mechanics: A Modern Perspective. *Physics Report*, 210 (4), 223-317, 1992.
- JAMMER, M. *The Philosophy of Quantum Mechanics – The Interpretations of Quantum Mechanics in Historical Perspective*. New York: John Wiley & Sons, 1974.
- KÖRNER, S. (ed.) *Observation and Interpretation in the Philosophy of Physics – With Special Reference to Quantum Mechanics*. Proceedings of Ninth Symposium of the Colston Research Society held in the University of Bristol, April 1st – April 4th, 1957. New York: Dover, 1957.
- MANDEL, L. Quantum Effects in the Interference of Light. In: TAROZZI & VAN DER MERWE (1985), pp. 333-343).
- MILNE, P. A Note on Popper, Propensities, and the Two-Slit Experiment. *The British Journal for the Philosophy of Science*, 36(1), 66-70, 1985.
- O’HEAR, A. (ed). Karl Popper: Philosophy and Problems. *Royal Institute of Philosophy*, Supplement 39, Cambridge University Press, 1995.
- PATY, M. La non-séparabilité locale et l’objet de la théorie physique. *Fundamenta Scientiae*, 7, 47-87, 1986.
- PERES, A. Karl Popper and the Copenhagen Interpretation. *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 33(1), 23-34, 2002.
- POPPER, K. R. The propensity interpretation of the calculus of probability, and the quantum theory, & Discussion - Prof. Popper’s Reply. In: KÖRNER (1957, pp. 65-70; pp. 78-89). [1957]
- . *A Lógica da Pesquisa Científica*. 2^a. Ed., São Paulo: Editora Cultrix, 1974, [1959].
- . *Autobiografia intelectual*. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1977, [1974].
- . *A Teoria dos Quanta e o Cisma na Física – Pós-escrito à Lógica da Descoberta Científica, Volume III*. Lisboa: Publicações Dom Quixote, 1989 [1982].
- . Realism in Quantum Mechanics and a New Version of the EPR Experiment. In: TAROZZI & VAN DER MERWE (1985, pp. 3-32). [1985a]
- . Evolutionary Epistemology. In: TAROZZI & VAN DER MERWE (1985, pp. 395-413). [1985b]
- REDHEAD, M. Popper and the Quantum Theory. In: O’HEAR, A. (ed). Karl Popper: Philosophy and Problems. *Royal Institute of Philosophy*, Supplement 39, Cambridge University Press, 1995, pp. 163-176.
- SELLERI, F. Realism and the Wave-Function of Quantum Mechanics. In: D’ESPAGNAT, B. (ed.). *Foundations of Quantum Mechanics*, [Proceedings of the International School of Physics ‘Enrico Fermi’, Varenna, 29th June – 11th July, 1970]. New York: Academic Press, pp.398-406, 1971.

- . *El debate de la teoría cuántica*. Madrid: Alianza Editorial, 1986. Tradução francesa: *Le grand débat de la théorie quantique*. Paris: Flammarion, 1986. [1983]
- . Bell's spaceships and Special Relativity. In: BERGLMANN, R. A. & ZEILINGER, A. (eds.). *Quantum [Un]Speakables, From Bell to Quantum Information*. Berlin: Springer, pp. 413-428, 2002.
- . *Lezioni di relatività – da Einstein all'etere di Lorentz*. Bari: Progedit, 2003.
- SHIH, Y & KIM, Y-H. Quantum Entanglement: from Popper's experiment to quantum eraser. *Optics Communications*, 179, 357-369, 2000.
- SIEGMUND, D. O. Probability Theory. In: *The New Encyclopaedia Britannica*, Macropaedia, Vol. 26, p. 135, 15th edition, 1994, [1974].
- SIQUEIRA, A. F., MENDES FILHO, J. & BASTOS FILHO, J. B. O que significa probabilidade? In: SIQUEIRA, A. F. & BASTOS FILHO, J. B. (orgs.) *Reflexões sobre os Fundamentos da Física Moderna*. Maceió: EDUFAL, 91-105, 1997.
- TAROZZI, G. & VAN DER MERWE (eds). *Open Questions in Quantum Physics*. Dordrecht: D. Reidel Pub., 1985.
- WANG, L. J., ZOU, X. Y. & MANDEL, L. Experimental Test of the de Broglie Guided-Wave Theory for Photons. *Physical Review Letters*, 66(9), 1111-1114, 1991.

