

# A Controvérsia Tausk nos Fundamentos da Física Quântica

**Olival Freire Jr.**

*Mestrado em Ensino, História e Filosofia das Ciências [UFBA-UEFS]  
Inst. de Física, Universidade Federal da Bahia, 40210-340, Salvador, BA, Brasil  
freirejr@ufba.br*

**Oswaldo Pessoa Jr.**

*Depto. de Filosofia, FFLCH, Universidade de São Paulo  
Av. Prof. Luciano Gualberto, 315, 05508-900, São Paulo, SP, Brasil  
opessoa@ufba.br*

**Alexis De Greiff**

*Observatorio Astronómico, Universidad Nacional de Colombia*

## Introdução

Em 1966, o físico brasileiro Klaus Tausk se envolveu em uma acalorada controvérsia científica na Europa, a respeito dos fundamentos da física quântica, após a circulação de um “preprint” (versão preliminar de um artigo) de sua autoria, onde criticava asperamente um conhecido artigo dos físicos italianos Daneri, Loinger & Prosperi (1962). Vários físicos, como Rosenfeld, Bohm, Jauch e Bell, tomaram partido na discussão dos méritos da crítica de Tausk. De volta ao Brasil, Tausk teve dificuldade de concluir seu doutorado e não conseguiu publicar seus resultados originais. Este fracasso pode ser atribuído à tomada de posições de cientistas importantes na controvérsia, ao estilo pouco cuidadoso dos escritos de Tausk e ao pouco prestígio na época da área de fundamentos da física quântica, além das dificuldades decorrentes de se trabalhar num país periférico no cenário científico mundial.

## 1. Início da Carreira

Klaus Stefan Tausk nasceu em Graz, na Áustria, em 1927, e emigrou com a família em 1938 para São Paulo. cursou Física na Universidade de São Paulo no período 1947-51. Em seguida fez trabalho experimental em raios cósmicos, com o norte-americano Kurt Sitte.<sup>1</sup> Conheceu David Bohm, que trabalhou na USP em 1951-55, mas não tinha um conhecimento suficiente de mecânica quântica para ser influenciado pela “interpretação causal” do físico norte-americano. Após ficar alguns anos afastado da física, Tausk iniciou o mestrado em 1958, indo trabalhar em Hamburgo (1959-60) com Harry Lehman, em teoria quântica de campo. Lá conheceu Georg Süssmann, de Frankfurt, que realizava um relevante trabalho na teoria da medição em mecânica quântica.

De volta à USP, em 1962, leu um trabalho de Hitoshi Wakita (1960) sobre o problema da medição na mecânica quântica e ficou interessado no assunto. Encontrou então o artigo de Mauritius Renninger (1960) sobre medições de resultado nulo, que usaria na crítica que geraria a controvérsia estudada aqui. Renninger usou este experimento (que descrevemos no

---

<sup>1</sup> Sitte veio para o Brasil a convite de David Bohm, chegando no final de 1953. Para estas pesquisas, Tausk recebeu bolsas do Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq). Ver Andrade (2003).

Apêndice A3) para criticar a interpretação ortodoxa da teoria quântica<sup>2</sup>. Foi nesta época que Tausk também passou a questionar esta interpretação e a trabalhar no problema da medição.

Em 1962, Adriana Daneri, Angelo Loinger & Giovanni Maria Prosperi (DLP), do Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, seção de Milão, publicaram um artigo bastante influente nos fundamentos da física quântica, no periódico *Nuclear Physics*, editado por Leon Rosenfeld. Tausk leu e discordou do artigo<sup>3</sup>.

## 2. O Período em Trieste

Em 1965, Tausk escreveu para Abdus Salam, diretor do Centro Internacional de Física Teórica (ICTP), em Trieste, na Itália, e conseguiu uma bolsa. Foi apresentado como um aluno de doutorado por seu orientador, o renomado físico matemático brasileiro Mário Schönberg, catedrático da USP. O ICTP fora criado em junho de 1963, como uma divisão da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), com o apoio da UNESCO. O ICTP estava em uma posição delicada na época, pois fora criada em 1963 enfrentando a oposição da Índia, União Soviética, Estados Unidos e a maioria dos países desenvolvidos (De Greiff, 2002). O diretor da Agência de Energia Atômica era Sigvard Eklund, amigo de Rosenfeld.

Tausk passou um ano em Trieste, de meados de 1965 até o fim de setembro de 1966. Sua proposta de pesquisa versava sobre teoria quântica de campos, mas na prática ele acabou continuando seus estudos sobre o problema da medição (Fonda 1967). Foi neste período que escreveu seu artigo, intitulado “Relação da Medida com Ergodicidade, Sistemas Macroscópicos, Informação e Leis de Conservação” (Tausk 1966a), que criticava o artigo original de Daneri, Loinger & Prosperi (1962), assim como a interpretação ortodoxa (especialmente a versão de Heisenberg, 1958). Criticava também um novo “preprint” do grupo (Daneri *et al.*, 1966), posto em circulação em fevereiro de 1966. O artigo de Tausk foi escrito como uma dissertação de conclusão para a Escola Internacional Avançada de Física (IASP), uma subdivisão da ICTP, chefiada na época por Luciano Fonda (Amati *et al.* 1966). Circulou a partir de agosto de 1966.

Na condição de cientista trabalhando no Instituto, Tausk tinha o direito de ter seu trabalho datilografado e de fazer 50 cópias impressas, como documento interno do ICTP, sem passar por um “referee”. Tausk adicionou uma capa oficial do ICTP, o que não era um procedimento usual. Mais tarde pediu desculpas por seu procedimento, devido a sua “ignorância dos regulamentos, uma série de enganos e da ausência de parte dos funcionários do Centro naquele período [de férias]” (Tausk 1966b).

Distribuiu seu artigo para vários físicos, como Süßmann, Daniele Amati (físico argentino que estudara alguns anos na USP e trabalhava em Trieste), Jeffrey Bub (Universidade de Minnesota), e Jean-Pierre Vigié, de Paris, que Tausk conhecera em São Paulo quando o francês marxista veio trabalhar com Bohm, em 1954. Tausk reencontrara

---

<sup>2</sup> O termo “interpretação ortodoxa” engloba diversos pontos de vista diferentes a respeito dos fundamentos da teoria quântica. Os dois mais importantes são a “interpretação de Copenhague” (também conhecida como a da complementaridade), desenvolvida por Bohr e aceita por Pauli e Heisenberg, e a “interpretação de Princeton”, desenvolvida nas teorias da medição de von Neumann e Wigner, entre outros. Ver Jammer (1974), pp. 86-107, 197-211, 471-486. A expressão “interpretação de Princeton”, empregada por exemplo por Ballentine (1970, p. 360), não foi contudo usada por Jammer. Renninger dirigiu seu ataque à interpretação da complementaridade, mais especificamente à noção de que toda medição provoca um distúrbio incontrolável no objeto (Jammer, 1974, pp. 495-6).

<sup>3</sup> Esta e outras informações pessoais de Tausk foram obtidas em duas entrevistas informais, citadas como Tausk (1999).

Vigier em Trieste, e recebeu uma oferta pra trabalhar com Vigier e com Louis de Broglie, no Institut Henri Poincaré em Paris, sobre a teoria da medição na teoria quântica.

Tausk também enviou o artigo para Loinger, agora na Università degli Studi, Pavia, e o artigo chegou nas mãos de Rosenfeld, do Nordita (Nordisk Institut for Teoretisk Atomfysik), em Copenhague. Rosenfeld (1965) havia escrito um artigo defendendo explicitamente a teoria de DLP, e também fora criticado no artigo de Tausk. Ambos não só discordaram de Tausk, mas ficaram enfurecidos com o artigo.

Daneri, Loinger & Prosperi (1966, p. 127) haviam considerado seu trabalho “uma completação indispensável e um coroamento natural da estrutura básica da mecânica quântica dos dias de hoje”, e estavam convencidos que “progressos adicionais neste campo de pesquisa consistirão essencialmente de refinamentos” de sua abordagem. Tausk, por sua vez, foi contra a tese de DLP, e concluiu que “não foi estabelecida nenhuma conexão entre ergodicidade e redução de estado”, salientando a existência de uma classe de medições, as de resultado nulo, “para as quais as considerações de ergodicidade são obviamente irrelevantes”. “Afirmções recentes por parte destes autores e de L. Rosenfeld, que defendem que esta tentativa é de importância fundamental, são assim contraditas” (Tausk 1966a, resumo).

A teoria de DLP foi o resultado de uma série de investigações desenvolvidas desde fins dos anos 1950, por físicos teóricos italianos, como Loinger, Prosperi, Pietro Bocchieri e Antonio Scotti, de Pavia e Milão, versando sobre o teorema ergódico e suas aplicações na mecânica estatística e na mecânica quântica (Garuccio & Leone 2002). Em especial, a busca de uma solução realista para o problema da medição, em contraposição à solução proposta por Von Neumann, foi inspiração que decorreu diretamente da influência do físico teórico italiano Piero Caldirola. Este encarregou-se também de alargar a repercussão do artigo DLP, escrevendo artigos de divulgação científica sobre tal trabalho (Caldirola 1965). A teoria de DLP também suscitou um interesse mais geral.<sup>4</sup>

### 3. Os Ataques de Loinger e Rosenfeld

O primeiro a reagir publicamente ao preprint de Tausk foi Loinger. Em 9 de setembro de 1966, ele escreveu uma carta aberta a Gilberto Bernardini, Presidente da Società Italiana di Fisica (SIF), pedindo que ela fosse publicada no *Bollettino della S.I.F* (Loinger 1966b). Nesta carta, escrita em italiano, ele reclamou do número crescente de preprints sem valor que apareciam em diferentes instituições e que eram submetidos ao *Il Nuovo Cimento*, periódico oficial da SIF. Ele ofereceu então duas sugestões à Sociedade. Primeiro, o *Nuovo Cimento* deveria publicar o título, autor e instituição de todos os artigos recusados pelo periódico, como forma de pressionar as instituições a controlarem o número de artigos inúteis que seriam lançados. Segundo, a SIF deveria constituir um “antiprêmio” para o pior preprint escrito na Itália! E sua sugestão de preprint “que não deixaria escapar o antiprêmio” foi justamente o preprint de Tausk!

O ataque de Loinger não se dirigia apenas ao artigo crítico de Tausk, mas ao ICTP como um todo. Na mesma época, ele enviara uma carta aberta à revista italiana *L'Europeo* (Loinger 1966a), de grande circulação, questionando o apoio financeiro dado pelo governo italiano ao ICTP e criticando o rigor duvidoso dos trabalhos oriundos do Centro. A opinião de que o ICTP não exercia nenhum controle sobre seus preprints era consensual entre os físicos europeus e norte-americanos. De fato, esta falta de controle interno era proposital: Salam,

---

<sup>4</sup> Uma evidência do interesse continuado no trabalho DLP está no fato de que ele recebeu, até junho de 2003, mais de 140 citações em periódicos científicos indexados (Fonte: ISI - Web of Science).

diretor do ICTP, queria maximizar as oportunidades dos cientistas do Terceiro Mundo de publicarem (ver discussão em De Greiff 2001, cap. 6).

Em 20 de setembro, Rosenfeld escreveu para Salam, chamando atenção para o preprint de Tausk, que seria

um lixo tão incrível que mal pude crer o que meus olhos liam. [...] Suponho que o autor seja muito jovem e sem experiência; algo de bom que você poderia fazer-lhe, já que presumivelmente você o conhece melhor do que eu, seria lhe dizer que, antes de supor ingenuamente que as trivialidades que enchem seu artigo pudessem escapar a pessoas como Niels Bohr e Heisenberg, ele talvez pudesse refletir que poderia ser *ele* quem está errando o alvo. (Rosenfeld 1966a)

Uma semana depois, Salam respondeu a Rosenfeld: “Gostaria de lhe transmitir minhas desculpas mais sinceras pelo artigo do Sr. Tausk que chegou às suas mãos”. Ele explicou as regras para publicação de preprints no ICTP e como Tausk conseguiu colocar uma capa em seu documento interno.

Sr. Tausk é um pupilo especial de Mario Schönberg no Brasil. Eu ainda não tive a oportunidade de encontrá-lo. Ele deve nos deixar no final do mês para se juntar ao grupo de Vigier em Paris. Eu lhe pediria que considerasse este episódio como parte das velhas batalhas e de modo algum como uma expressão da opinião do Centro aqui. (Salam 1966)

Rosenfeld acalmou-se:

Já que, portanto, trata-se claramente de um caso de falta de providência sem intenção de maldade de sua parte, acho que não devemos ser muito severos com ele e encerrar o caso sem mais cerimônias. Estou feliz em saber (para o bem do Centro) que o artigo de Tausk não receberá mais publicidade por parte do Centro, mas não tenho ilusões sobre o que o grupo de Vigier fará com ele [o artigo]. Porém, esta é outra história. (Rosenfeld 1966b)

#### **4. As Defesas de Bohm, Jauch e do IASP**

Enquanto isso, Fonda (diretor do IASP) escreveu para dois reconhecidos especialistas nos fundamentos da mecânica quântica, pedindo suas opiniões. Em 26 de setembro, David Bohm, então já no Birkbeck College, University of London, escreveu uma breve carta manuscrita a Fonda (c.c. para Salam, Tausk e Paolo Budini, que havia sido o responsável, no cenário italiano, pela criação do ICTP) (Bohm 1966a): “Li o artigo do Dr. Tausk, e sinto que o que ele escreve está correto. Eu mesmo sugeriria que ele publicasse seu trabalho na forma de um curto artigo”. Uma semana depois, ele escreveu para Tausk uma carta datilografada de três páginas (Bohm 1966b), na qual esclarecia “a confusão entre o individual e o ensemble, que está contido no argumento de DLP” (ver Apêndice A5). Pode-se argumentar que a opinião de Bohm não teria muito peso para a maior parte dos cientistas interessados na questão, dada sua posição heterodoxa com relação aos fundamentos da mecânica quântica.

O outro especialista convidado a comentar o trabalho de Tausk foi Josef Maria Jauch, da Université de Genève, Suíça. Ele concordou que uma “crítica do artigo de Daneri et al. é certamente muito útil” (Jauch 1966b), e concordou com a conclusão de Tausk de que “nenhuma conexão entre propriedades ergódicas do aparelho de medida e a redução do estado

foi estabelecida por DLP” (Tausk 1966a, p. 22). Mesmo assim, Jauch considerou que faltou clareza em certas afirmações do artigo de Tausk e que alguns argumentos estavam mal construídos, e reclamou da falta de referências mais completas (dos artigos Wigner 1963 e Jauch 1964).

Concluindo, eu diria que a saída de um artigo nesta forma não seria autorizada em meu instituto. Por outro lado, uma crítica a Daneri et al. é necessária e poderia ter sido feita de maneira mais objetiva e digna em diferentes bases [...] (Jauch 1966b)

Tausk conversou com Salam, que lhe mostrou a carta de Rosenfeld. Tausk escreveu para Rosenfeld assumindo a responsabilidade por ter inadvertidamente quebrado as regras de publicação do ICTP. Mas prosseguiu:

Felizmente para minha reputação a sua opinião sobre meu trabalho não é universal entre aqueles que têm pensado seriamente no problema da medida. Prof. David Bohm acha que o que escrevi está correto, e ele sugeriu que eu o publicasse. Prof. Louis de Broglie me enviou um de seus livros com a inscrição “avec l’homage de l’auteur” em reconhecimento a este trabalho. Uma carta do Prof. G. Süßmann contém o seguinte: “Ihre Arbeit habe ich mit großem Interesse gelesen. Was Sie zu DPLI und zu Rosenfelds Kommentar sagen, leuchtet mir durchaus ein. [...]” (Tausk 1966b)<sup>5</sup>.

Tendo em vista as cartas dos dois especialistas, Amati, Budini & Fonda (1966), em nome do IASP, escreveram uma carta aberta (em italiano) à Società Italiana di Fisica, argumentando contra a instituição de um antiprêmio para o pior artigo, principalmente porque

ele poderia facilmente ser a causa e o efeito de questões pessoais. Por exemplo, o trabalho de Tausk, indicado por Loinger como merecedor do antiprêmio deste ano, contém uma crítica severa a um artigo do próprio Loinger, em co-autoria com Daneri e Prosperi.

Eles então se referiram ao artigo de Tausk, resumindo as opiniões de Bohm e Jauch. Loinger respondeu bravo à “estupefaciente carta aberta” de Amati, Budini e Fonda, mantendo sua posição original, e escrevendo que “se Bohm e Jauch realmente declararam, a propósito supracitada obra prima, o que Amati, Budini e Fonda afirmam, então eles perderam uma excelente oportunidade para ficarem quietos” (Loinger 1966c).

Em 17 de outubro, Fonda (1966) escreveu a seguinte carta para Tausk:

Recebi a resposta de Jauch e vejo que ele concorda com sua crítica ao artigo de Loinger. Concordei com o professor Budini que seu artigo receberá o apoio da Escola Avançada de Física; porém, neste caso gostaríamos que você levasse em consideração as sugestões e críticas do professor Jauch ao seu manuscrito. Quando você tiver revisto seu manuscrito, por favor envie-o para mim e eu o encaminharei para o periódico de sua preferência.

Tausk (1999) afirmou que nunca recebeu a carta de Jauch. Ele não reviu seu manuscrito nem o enviou de volta para o IASP. Afirmou que, posteriormente, teria submetido o artigo para o *American Journal of Physics*, mas ele teria sido recusado por dois árbitros.

---

<sup>5</sup> “Li seu artigo com muito interesse. O que você diz sobre DLP e o comentário de Rosenfeld parece-me inteiramente evidente [...]” (Süßmann 1966).

## 5. Desdobramentos Posteriores

Tausk não sabia que seu trabalho foi passado por Amati para John Stewart Bell, do Conseil Européen pour la Recherche de Nucléaire (CERN), em Genebra, que também recebeu as separatas de Loinger. Em 26 de outubro, Bell escreveu para Loinger:

Parece-me que a ergodicidade é relevante para mostrar a ausência aproximada de fenômenos de interferência com estados macroscópicos diferentes. Mas creio que ninguém duvidava disso, de forma que não consigo atribuir importância fundamental à discussão formal. Esta característica de sistemas grandes é para mim tão relevante para a questão de princípio como, por exemplo, a aparente irreversibilidade macroscópica para a questão da reversibilidade do hamiltoniano fundamental [...] Não posso aceitar todos os detalhes de Tausk como crítica justificada de seu trabalho. Mas acho que seus pontos principais estão corretos e sua posição geral sensata. (Bell 1966)

A isso, Loinger (1966d) respondeu asperamente:

Caro Prof. Bell, eu acho que você não entendeu a essência do problema da medida quântica. Atenciosamente, A. Loinger.

A ironia é que Bell, com seu trabalho publicado dois anos antes (Bell 1964), estava se tornando o maior nome dos fundamentos da física quântica.

Em novembro, Tausk recebeu uma resposta de Jeffrey Bub, físico sul-africano que fazia pós-doutorado em Minnesota. Bub havia recebido uma carta de Loinger contendo algumas críticas a seu trabalho conjunto com Bohm (Bohm & Bub 1966), e respondeu reproduzindo “muitas das idéias de seu argumento”. “Seu artigo esclareceu vários pontos que eu não havia entendido apropriadamente antes” (Bub 1966). A única citação do preprint de Tausk a aparecer na literatura seria na crítica que Bub (1968, p. 505) faria à teoria da medida de DLP: “certos aspectos da seguinte análise foram influenciados por um artigo crítico de K.S. Tausk” (ver mais sobre o artigo de Bub no Apêndice A5).

Em 1967, Jauch, Eugene Wigner & Mutsuo Yanase publicaram um artigo (enviado no final de novembro de 1966) criticando sistematicamente DLP. Eles mencionaram o problema envolvendo as medições de resultado nulo (pp. 149-50) sem citar Tausk, que foi (ao que tudo indica) quem deu origem à idéia, e que Jauch assimilou ao ler como assessor o preprint de Tausk. Jauch estava bastante consciente dos créditos de Tausk, tanto que comunicou a Wigner a existência do trabalho de Tausk:

Devo talvez mencionar que recentemente apareceu um relatório interno de Trieste (ICTP Internal Report 14/1966) escrito por K.S. Tausk, que critica o artigo de Daneri et al. de forma bastante severa. Este artigo contém alguns pontos interessantes que talvez devam ser discutidos em nosso artigo. (Jauch 1966a)

Wigner não comentou essa informação em correspondências ulteriores, mas estava bastante predisposto a incorporar no artigo conjunto com Jauch e Yanase referências que pudessem ampliar o leque de alianças críticas ao trabalho de Daneri, Loinger e Prosperi (Freire 2003b). Essa disputa entre Wigner, Jauch e Yanase, de um lado, e Daneri, Loinger e Prosperi, de outro, será comentada adiante. Nesse momento cabe observar que a primeira versão do artigo foi escrita pelo próprio Wigner, e que Jauch fez todas as modificações

ulteriores (Wigner 1966a, b, c, d; Jauch 1966a, c). Coube, portanto, a Jauch introduzir a referência ao trabalho de Tausk, que ele conhecia, e que Wigner e Yanase não conheciam. Jauch não o fez. De acordo com Tausk (1999), uma separata lhe foi enviada. Franco Selleri teceria posteriormente um comentário sobre esta falta de citação:

Este é mais um exemplo (eu próprio tive alguns) de como alguns físicos bem conhecidos estão dispostos a se apropriarem de contribuições vindas de autores quando eles julgam ser seguro fazê-lo. (Selleri 1972)

Por que o artigo de Tausk não foi nem mencionado no trabalho de Jauch *et al.*? Talvez por causa de uma vaga imagem depreciativa de Tausk que deve ter circulado na comunidade de físicos europeus, que o retrataria como um físico do terceiro mundo sem a devida qualificação, um polemista que criticava a ortodoxia sem compreendê-la, um simpatizante do grupo de Vigier.

## 6. A Volta ao Brasil

Após passar um tempo em Graz, Klaus retornou a São Paulo para terminar seu doutorado. Seu orientador, Mario Schönberg, estava muito bravo com ele, devido ao “escândalo” na Europa. Schönberg havia trabalhado em Bruxelas nos anos 50, período no qual manteve estreitas relações com Rosenfeld, tanto no terreno científico – física de raios cósmicos – quanto no político – no Comitê do Movimento pela Paz, pois ambos eram comunistas. Schönberg era também muito amigo de Caldirola, que conhecera em 1938, em Roma.<sup>6</sup> Schönberg talvez tenha recebido uma carta de Rosenfeld, ou de Salam, ou mesmo de Caldirola, e teria se sentido envergonhado do que seu aluno tinha feito.

Tausk trabalhou sem orientação e terminou sua tese, em português. Além do material contido em seu controvertido preprint, Tausk incluiu um capítulo em que ele mostrou (pela primeira vez, ao que parece; ver Apêndice A9) que a não-localidade em sistemas correlacionados não pode ser usado para transmitir sinais. Em alguma data de 1967, numa primeira discussão de seu trabalho com uma banca examinadora (equivalente a um exame de qualificação), que incluía os físicos Antônio de Toledo Piza e Yojiro Hama, seu trabalho foi severamente criticado por Schönberg. Tausk mencionou as cartas de apoio que tinha recebido, e, segundo nos conta Tausk, Schönberg retrucou dizendo que Süssmann não poderia ter dado tal apoio. Tausk leu a carta de Süssmann (1966) para a banca, e Schönberg teria criticado a tradução de Tausk. A banca concluiu que a tese não poderia ser defendida da maneira que estava, e certas partes teriam que ser reescritas (Tausk 1999).

A defesa da tese, que ocorreu alguns meses depois, foi mais uma experiência traumática para Tausk. Ele fez a defesa sem um orientador, já que Schönberg, segundo Tausk, se recusava a falar com ele. O importante físico teórico Jorge Swieca fez parte da banca. No entanto, ainda segundo Tausk, ele foi extremamente crítico ao seu trabalho, e a banca quase o reprovou.

Segundo Tausk (1999), o único físico brasileiro que leu e gostou de seu trabalho foi o renomado físico experimental Cesare Lattes, da Universidade Estadual de Campinas. Após sua defesa, Lattes lhe telefonou pedindo uma cópia da tese. Após lê-la durante a noite, Lattes

---

<sup>6</sup> Caldirola (1984) escreveu, em artigo dedicado aos 70 anos de Schönberg, que “the author never forgot the precious advices received from Mario at the beginning of his scientific career in 1938 at Roma University.” Para uma nota biográfica sobre Schönberg, ver Rocha Barros (1984).

o teria telefonado e expresso sua aprovação. Esta opinião, porém, provavelmente não teve muita influência sobre a opinião dos outros físicos brasileiros.

Alguns anos depois, em 1972, Franco Selleri, da Università di Bari, já então completamente dedicado ao tema dos fundamentos da teoria quântica, visitou a Universidade de São Paulo, a convite do físico teórico Henrique Fleming. Selleri escreveu uma avaliação da tese de Tausk. Seus comentários seguiram a tônica dos de Bohm e Jauch, mencionando alguns pontos mal compreendidos pelo autor, mas no geral apoiando suas posições. Ele destacou oito contribuições originais de Tausk e quatro pontos fracos.

Concluindo, a tese de Tausk foi uma leitura muito interessante e muitos físicos poderão sem dúvida tirar proveito dela, uma vez esclarecidas as ambigüidades filosóficas. Com mais autocritica Tausk provavelmente poderá contribuir de maneira significativa para a compreensão da estrutura do mundo físico. (Selleri 1972)

## 7. Tausk no Contexto da Disputa entre Wigner e Rosenfeld

A reação irada e intempestiva de Loinger e de Rosenfeld ao preprint de Tausk não pode ser plenamente compreendida sem uma referência ao contexto da disputa na qual estes físicos estavam envolvidos no momento em que o preprint de Tausk começou a circular. O programa da amplificação termodinâmica como solução para o problema da medição, que havia ganhado corpo ao longo dos anos 50 e início dos 60 (ver Apêndice A2), encontrou no trabalho de DLP, e no apoio de Rosenfeld a esse trabalho, suas expressões mais destacadas. Contudo, logo em seguida, este programa passou a ser desafiado, especialmente pela posição de Wigner (1963), que retomava a ênfase de von Neumann na descrição quântica dos aparelhos de medição (ver Apêndice A1), bem como pela defesa (Wigner 1961) de que a consciência humana teria um papel ineliminável na redução do “pacote de ondas”.

Foi como resposta a essa e outras críticas que Daneri *et al.* publicaram seu segundo artigo, em 1966, que elevou a temperatura da controvérsia, ao afirmarem que autores como Wigner, Abner Shimony, P.A. Moldauer, Yanase e Jauch não tinham dado “nenhuma contribuição substancial ao assunto [o problema da medição]” (Daneri *et al.* 1966, p. 120). Este artigo dos físicos italianos, citado e criticado no preprint de Tausk, deixou Wigner furioso. Este escreveu o seguinte para Jauch:

Acabei de ler o artigo de Daneri, Loinger e Prospero na edição de julho do *Nuovo Cimento*, e fiquei bastante irritado com ele. Inicialmente, porque não é uma boa coisa dizer de um conjunto de trabalhos que eles não fazem contribuições substanciais para um determinado assunto. Eu não preciso frisar que eu não estou preocupado comigo mesmo, mas com aquelas pessoas que são muito mais jovens que eu, e cujas futuras carreiras podem ser atingidas por tais afirmativas [...] Estou também entristecido pelo apoio de Rosenfeld a um artigo que, no final das contas, considera axiomático que sistemas macroscópicos só tenham estados que possam ser descritos pela mecânica clássica. Isto está, certamente, em conflito com a mecânica quântica, [...] (Wigner 1966).

Wigner estava preocupado com as carreiras de Yanase e Shimony, a quem orientara no doutorado. Articulou assim com Jauch a resposta encaminhada ao *Nuovo Cimento* ainda em dezembro do mesmo ano (Jauch, Wigner & Yanase 1967).



A percepção da intensidade da disputa pode ser evidenciada nas palavras de Otto Robert Frisch (1971, p. 14), físico experimental, em palestra de abertura, em 1968, de um colóquio sobre a teoria quântica:

Entendo que atualmente existe uma controvérsia, grosso modo, entre um grupo de pessoas que inclui Wigner como pessoa mais bem conhecida, e outro grupo centrado em Milão [DLP], e que esses dois têm visões diferentes sobre como ocorre essa redução [da função de onda, durante uma medição].

A dureza da disputa que colocava, de um lado, Wigner, e de outro, em apoio aos italianos, Rosenfeld, explica-se pelo caráter multifacetado da querela. Ela envolvia, além dos aspectos estritamente científicos, uma disputa pelo legado intelectual – no que diz respeito aos fundamentos e interpretação da teoria quântica – dos pais fundadores dessa teoria, com Wigner salientando o papel de von Neumann, e Rosenfeld o de Bohr. Esta era uma diferença de estilos científicos, com Wigner enfatizando uma abordagem axiomatizante e Rosenfeld uma abordagem mais fenomenológica. Havia também uma diferença acentuada no terreno político e ideológico, com um Wigner idealista, alinhado com a direita norte-americana e associado à corrida armamentista nos EUA, e com um Rosenfeld, marxista e associado aos movimentos pela paz e pelo desarmamento (Freire 2003b). Esta dimensão ideológica da controvérsia sobre a física quântica era moeda corrente entre os físicos da época (Freire 1997), e dela podemos encontrar uma referência significativa nas palavras do mesmo Frisch (1967), anteriormente citado, em uma carta escrita ao seu primo Hugo Tausk, coincidentemente, o pai de Klaus, em setembro de 1967:

[...]O trabalho de Klaus eu retomei mais algumas vezes, mas eu não sou teórico e não consegui acompanhar. As questões aí tratadas (no fundo sobre a realidade do mundo externo) são também para mim muito interessantes. O ensinamento ortodoxo de Copenhagen afirma que a Física não trata de coisas, mas de medições; isto cheira a idealismo e por isso é atacado pelos comunistas. Vice-versa, qualquer um que, aqui no Ocidente, duvida do ensinamento ortodoxo – mesmo por razões objetivas – é suspeito de comunismo. Tudo com a complicação e irracionalidade de uma guerra de religiões, completo com convertidos: o defensor mais veemente da ortodoxia é um comunista [Rosenfeld], e vários dos atacantes são totalmente burgueses.. [...] <sup>7</sup>

Tausk, com seu preprint distribuído em agosto de 1966, entrou no cenário dessa acirrada disputa alinhando-se, talvez sem ter plena consciência disso, aos críticos de Rosenfeld, Daneri, Loinger e Prosperi, como Wigner e Jauch.

Por outro lado, a intensidade da disputa entre Wigner e Rosenfeld parece ter contribuído fortemente para a aceitação, entre os físicos, dos problemas de fundamentos da teoria quântica como campo legítimo de pesquisa em física (ver Freire 2003b). Ironia da história da física, Tausk teria contribuído para legitimar um campo de pesquisa no qual não mais atuaria como um protagonista relevante.

---

<sup>7</sup> “[...]Die Arbeit von Klaus hab ich mir noch paarmal vorgenommen, aber ich bin kein Theoretiker und kann da gar nicht mit. Die darin behandelten Fragen (im Grunde nach der Realität der Aussenwelt) sind auch mir sehr interessant. Die orthodoxe Kopenhagenerlehre sagt, daß die Physik nicht von Dingen sondern von Messungen handelt; das schmeckt nach Idealismus und wird daher von den Kommunisten angegriffen. Vice versa wird jeder, der hier im Westen die orthodoxe Lehre anzweifelt – aus wie immer sachlichen Gründen –, des Kommunismus verdächtigt. Alles mit der Kompl[i]ziertheit und Unsinnigkeit eines Religionskrieges, komplett mit konvertiten: der glühendste Verfechter der Orthodoxie ist ein Kommunist, und mehrere der Angreifer sind völlig Bourgeois. [...]”

## 8. Conclusão

A carreira de Tausk nos fundamentos da física, que poderia ter sido promissora, acabou não se concretizando. Na Europa ele ficou com uma imagem negativa e no Brasil sua área de estudo não era considerada, à época, relevante (mesmo na Europa e em outros países desenvolvidos, a área de fundamentos da física só viria a ganhar respeito a partir de 1970, ver Freire 2003a). Não recebeu uma orientação adequada e não persistiu buscando revisar e publicar seu manuscrito de 1966, nem as idéias originais de sua tese. O estilo um tanto agressivo (pouco “digno”, nas palavras de Jauch citadas acima, na seção 4) do preprint contribuiu para esta sua imagem negativa, apontando para a importância de fatores psicológicos para a explicação de certos episódios científicos.

Tausk pediu uma outra bolsa ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) para trabalhar com Vigier, e ela lhe foi concedida<sup>8</sup>. Foi assim para Paris, em 1968, mas não conseguiu trabalhar devido às greves e aos movimentos políticos. De volta ao Brasil, Tausk teve uma carreira pouco expressiva, concentrando-se em suas aulas (ele criou o curso de Grupos e Tensores no IFUSP) e publicando muito pouco. Tornou-se uma figura levemente folclórica no Instituto de Física, mas seus traços de personalidade não lhe traziam muita simpatia.

Tausk pode ser considerado uma espécie de anti-herói na ciência moderna. Ele teve idéias corretas e originais, parte das quais foram incorporadas no crescente campo dos fundamentos da física, através de seu manuscrito que permaneceu inédito mas foi lido por físicos que jogaram papel relevante na área. No entanto, ele veio do terceiro mundo, começou tarde sua carreira, escolheu um campo que na época não tinha prestígio, não pôde se beneficiar de um orientador, escreveu algumas afirmações errôneas, não conseguiu publicar em periódicos respeitáveis e tinha uma personalidade pouco amável. Mesmo assim, o estudo de sua carreira revela muito sobre como os cientistas interagem, como vêem os membros de programas de pesquisa rivais, como as ideologias políticas acoplam-se às posições científicas e quais são as dificuldades de se fazer ciência na periferia.

*Controvérsias científicas* têm merecido um renovado interesse por parte da história e da filosofia da ciência ao longo da última década.<sup>9</sup> McMullin (1987, 53-60) enfatiza que uma controvérsia científica é muito mais um conflito social em uma situação histórica, envolvendo traços de personalidade e outras contingências históricas, do que um problema lógico envolvendo hipóteses e evidência.

Por essa razão, o papel desempenhado por Tausk na história da controvérsia sobre os fundamentos da teoria quântica só pode ser compreendido tendo em conta, como fizemos, as vicissitudes de sua participação. A frase usada por Salam (1966) – “considerar este episódio como parte das velhas batalhas” –, para descrever o incidente com o preprint de Tausk, evidencia esta dimensão social das controvérsias, por sugerir uma analogia entre controvérsias

---

<sup>8</sup> Processo CNPq nº 0208/67. Neste pedido de bolsa, Tausk incluiu como referências pessoais Mario Schönberg, José Goldenberg e Hans Joos. Ele anexou também a carta de Bub (1966) e a carta-convite de Vigier. Seu plano de trabalho visava o estudo de partículas elementares na linha desenvolvida à época por Vigier; em especial “analisar a possibilidade de unificar a simetria dinâmica externa das Partículas Elementares com sua simetria interna por meio da introdução do espaço de De Sitter”. O processo tem um parecer favorável do José Goldenberg, com uma referência positiva ao trabalho feito em Trieste: “Esse seu trabalho sobre a teoria da medida na mecânica quântica atraiu um interesse considerável e devido a ele foi convidado pelo Prof. Vigier a fazer um estágio em Paris”.

<sup>9</sup> Ver a edição especial da revista *Science in Context* 11 (2) (1998) dedicada ao tema, bem como a coletânea Engelhardt & Caplan (1987).

e arte militar. Podemos retomar essa analogia para lembrar que, como na guerra, controvérsias têm vencedores e vencidos, e que se podem perder batalhas mas, em um prazo maior, ganhar a guerra. A conduta dos indivíduos, como dos exércitos, pode alterar o resultado da guerra. Na controvérsia da teoria quântica, existiram aqueles que podemos denominar vencedores, como Niels Bohr. Houve também aqueles que perderam certas batalhas, como David Bohm e as variáveis escondidas no início dos anos 50, mas que perseveraram e ao final ganharam batalhas ou pelo menos deixaram suas marcas na história da controvérsia. Mas existem também perdedores que sucumbem em face das agruras da disputa: este parece ter sido o caso de Tausk.

## **Agradecimentos**

Gostaríamos de agradecer os comentários de Amélia Império Hamburger, Antônio Piza, Ernesto Hamburger (que traduziu do alemão), Henrique Fleming, José Jeremias Oliveira, Yojiro Hama e, especialmente, a colaboração de Klaus Tausk.

## **Apêndice: O “Preprint” de Tausk de 1966 e sua Tese de Doutorado<sup>10</sup>**

### **A1. O Debate entre Provas de Insolubilidade e Abordagem Termodinâmica**

A discussão entre Klaus Tausk e Angelo Loinger foi um episódio saliente de um longo debate nos fundamentos da mecânica quântica, envolvendo o chamado “problema da medição” (Jammer 1974, cap. 11).

De um lado, físicos como John von Neumann, Georg Süssmann, Eugene Wigner e Tausk, entre outros (da variante da interpretação ortodoxa conhecida como interpretação de Princeton<sup>2</sup>), descreviam o aparelho de medição de maneira exata (ou seja, sem aproximações) como sendo um sistema quântico, aplicavam a equação de Schrödinger (ou outro tipo de evolução “unitária”), e concluíam que tal descrição era insuficiente para dar conta de todos os aspectos do processo de medição. Este resultado formal veio a ser conhecido como a “prova de insolubilidade” do problema da medição. Ele foi derivado pela primeira vez por von Neumann (1932), justificando a introdução do seu “postulado da projeção”, que descrevia a mudança indeterminista do estado de um sistema que interage com um aparelho de medição. O postulado da projeção seria um princípio independente a ser adicionado aos cinco (ou seis, se incluirmos a indistinguibilidade) axiomas fundamentais da mecânica quântica não-relativística. A redução deste postulado aos outros axiomas é o que seria proibido pelas provas de insolubilidade, que seriam retomadas por Wigner (1963).

Do outro lado, físicos como Niels Bohr (no pós-Guerra), Pascual Jordan (no pós-Guerra), Günther Ludwig, Paul Feyerabend, H.S. Green, Loinger, Giovanni Maria Proserpi e Leon Rosenfeld, entre outros, defendiam que o processo de medição poderia ser adequadamente descrito por uma mecânica estatística de processos quânticos, constituindo neste sentido uma *abordagem termodinâmica*. Tratava-se de um desdobramento proposto por físicos identificados com a interpretação ortodoxa de Copenhague. Naturalmente, certas

---

<sup>10</sup> O corpo do artigo foi elaboração conjunta dos autores, enquanto o presente apêndice foi elaborado por O. Pessoa Jr., com sugestões dos outros autores.

aproximações (no limite de grandes números) teriam que ser introduzidas (como era usual na Mecânica Estatística Clássica). Alguns autores (como Jordan) reconheceram claramente as hipóteses estatísticas usadas, e defendiam a substituição do postulado da projeção por estas hipóteses estatísticas. Outros autores (como Daneri, Loinger & Prosperi – DLP) não consideravam que as aproximações envolvessem princípios físicos fundamentais, de forma que seus trabalhos apontavam para uma eliminação do axioma adicional (o postulado da projeção), reduzindo-o aos outros. Isso se opunha frontalmente ao resultado das provas de insolubilidade (válidos para sistemas “objeto + aparelho” isolados) e gerou o debate, a partir de 1957 (no Simpósio Colston: Körner 1957), que veio a ser conhecido como o “problema da medição”.

## A2. O Paradigma da Amplificação Termodinâmica

Após a 2ª Guerra Mundial, as interpretações idealistas que marcaram a década de 1930 deram lugar a uma abordagem “objetivista” ao problema da medição. Essa mudança aparece claramente em Bohr, que passou a ressaltar que uma medição poderia se completar sem a presença de um observador consciente, “baseada em registros obtidos por meio de dispositivos de amplificação apropriados com funcionamento irreversível” (Bohr 1955, p. 73). A idéia era de que a medição seria um processo termodinâmico objetivo, abrindo-se assim o problema de como descrever adequadamente este processo irreversível de amplificação de um evento microscópico em um registro macroscópico.

Já em 1942, o físico japonês Mitsuo Taketani enfatizara que no processo irreversível de medição o corte entre o comportamento quântico e o clássico se daria na amplificação (ver Taketani 1971, pp. 68-71). Em 1949, Jordan, que anteriormente havia defendido um idealismo bastante radical (“nós produzimos o resultado da medição”), passou a defender que uma medição seria um processo macrofísico real que faz com que duas ondas percam a “coerência”, e o observador consciente não seria necessário para que a redução ocorresse. A redução se daria com a formação de qualquer registro macroscópico, seguindo-se a um processo de avalanche, ou seja, de *amplificação*.

A idéia de que as *fases aleatórias* introduzidas pelo aparelho na função de onda do objeto seriam as responsáveis pela redução foi tratada por Bohm (1951, pp. 120-124, 600-602), que não entrou em detalhes sobre a origem física deste efeito. Bohm se inspirou em uma nota de rodapé escrita por Feynman, que por sua vez se inspirara em von Neumann. A nota de Feynman indica que esta explicação objetivista já era moeda corrente na comunidade de físicos. Bohm confirmou isto em carta escrita a Tausk:

Conforme entendi, DLP utilizam a ergodicidade do aparelho para mostrar que estes termos de interferência não serão efetivos. [...] Assim, até este ponto, eu diria que DLP deram um argumento válido. Mas, por outro lado, o argumento não é novo. Há 15 anos, eu mesmo o escrevi em meu livro *Quantum Theory*, cap. 22. Acho, porém, que minha apresentação do argumento é melhor que a de DLP, no sentido de ser mais clara. E, além disso, eu a escutei anteriormente de outros físicos, que nem pensavam em publicar este tipo de coisa. [Bohm 1966b, p. 1.]

A ênfase dada por Jordan para a amplificação como uma condição suficiente para a redução foi dada de modo independente por Ludwig (1953, pp. 486, 504-6), para quem o processo de medição envolve um acoplamento entre o objeto microscópico e um aparelho macroscópico em estado “metaestável” (como uma câmara de nuvem de Wilson), resultando

em um processo termodinâmico irreversível cujo estado final fixaria o resultado da medição. Ele apresentou uma versão do teorema ergódico que daria conta deste processo para medições de “1º tipo”, também chamadas de “repetíveis”.

Este *paradigma de amplificação termodinâmica* foi compartilhado por boa parte dos físicos preocupados com o processo de medição durante os anos 50. Dentro deste programa, considerava-se que o princípio da questão já estava resolvido, tendo-se reduzido o problema da medição ao problema da origem da irreversibilidade em Mecânica Estatística. Restaria apenas uma derivação quantitativa desta irreversibilidade, usando resultados clássicos da Mecânica Estatística, como o teorema ergódico ou o teorema-H.

Apesar do programa de amplificação termodinâmica ter sido hegemônico nos anos 50, ele não estava livre de críticas, que terminariam por minar sua aceitação dentro das comunidades científica e filosófica. O primeiro debate público sobre a questão ocorreu no Simpósio Colston, em Bristol, Inglaterra (Körner 1957, pp. 127-8, 140-7). Ali, Feyerabend defendeu o programa ante as críticas do físico Georg Süssman, que invocara a prova de insolubilidade de von Neumann, que proibia uma solução exata para o problema. Em defesa do programa, Feyerabend argumentava que as aproximações usadas na passagem de um estado puro para uma “mistura estatística” seriam justificadas, devido à indistinguibilidade entre os dois, *para o observador macroscópico*. Esta “justificativa da aproximação” é sempre necessária em modelos infinitos que descrevem sistemas de tamanho finito evoluindo em tempos finitos.

O auge do programa de amplificação termodinâmica foi a teoria de Daneri, Prosperi & Loinger (1962). Uma característica marcante desta abordagem é o tratamento do processo de medição como consistindo de *duas* etapas. A primeira medição envolveria o acoplamento do objeto quântico com o aparelho que se encontrava em um estado metaestável, resultando em uma ionização (em medidores como a câmara de nuvem de Wilson ou uma emulsão fotográfica), que corresponderia a um estado macroscópico “fora do equilíbrio”. Em seguida, uma segunda medição macroscópica levaria o sistema para o equilíbrio, sem porém alterar o valor (tipicamente do observável posição) obtido na primeira medição. Esta segunda etapa consistiria de um processo termodinâmico, envolvendo condições de ergodicidade fortes ou mesmo, como mostraram Daneri et al., as condições mais fracas definidas alguns anos antes por Leon van Hove. Ambas se aplicam de forma que o processo de retorno ao equilíbrio seja descrito matematicamente de maneira a garantir a perda de coerência dos estados macroscópicos *no limite de tempos infinitos*. A redução de estado do objeto microscópico não se daria durante a interação com o aparelho macroscópico, conforme salientaria também Leon Rosenfeld (1965, pp. 225, 230), mas estaria relacionada a um processo que ocorre no aparelho depois que a interação terminou, e que pode ser identificado ao processo de *amplificação*.

O artigo de DLP gerou bastante discussão. O físico italiano Edoardo Amaldi, por exemplo, discutiu com Loinger se certos aparelhos de medição, como contadores de cintilação e de Čerenkov, podiam ser considerados como macrossistemas em estados termodinamicamente meta-estáveis, conforme requerido por DLP para qualquer aparelho de medição. Amaldi convenceu-se da validade da argumentação de Loinger, mas manteve dúvidas quanto ao processo de medição, em geral (Amaldi 1965a, 1965b; Loinger 1965).

### **A3. Declínio do Programa Termodinâmico**

Durante os anos 60 o programa de amplificação termodinâmica acabou enfraquecendo. Isto aconteceu por dois motivos. Em primeiro lugar, novas versões da já mencionada “prova de insolubilidade” de von Neumann foram produzidas, iniciando-se com

Wigner (1963, pp. 333-5). A implicação dessas provas era que, para um sistema composto *isolado*, não há uma maneira *exata* de gerar um comportamento clássico no aparelho após sua interação com o sistema quântico microscópico. É verdade que o aparelho de medição é um sistema aberto, não isolado, como seria salientado por Zeh e por Baumann, a partir de 1970, de tal forma que as provas de insolubilidade não se aplicariam ao aparelho; por outro lado, surgiria a questão de se aplicar esta demonstração para o universo como um todo (ver discussão em Pessoa 1998).

A segunda razão para a queda do paradigma termodinâmico no tratamento da medição quântica foi um argumento qualitativo. Em 1960, Mauritius Renninger havia criticado a interpretação ortodoxa com base na existência de “experimentos de resultado nulo”. Imagine um experimento em que uma partícula quântica pudesse cair em um de dois detectores, colocados respectivamente nos caminhos *A* e *B*. Suponha agora que o detector do caminho *A* fosse removido. Se, após um certo tempo, o observador não tiver visto nenhum sinal no detector que foi mantido em *B* (supondo perfeitas eficiências de detecção), ele então concluiria que a partícula rumou pelo caminho *A*, o que equivaleria a um colapso. No entanto, *não* houve amplificação de sinal! Isto mostra claramente que a amplificação não é uma condição necessária para a redução de estado (apesar de ser, na prática, uma condição suficiente). Tal argumento foi lançado, no contexto do programa de amplificação termodinâmica, justamente por Klaus Tausk (1966, pp. 22-3), e divulgado por Jauch, Wigner & Yanase (1967, p. 150).

A posição de Jauch neste debate é interessante. Em um artigo bem conhecido na época, ele defendeu que o problema da completeza seria resolvido argumentando-se que o estado composto puro que evolui durante a medição seria indistinguível (para o observador macroscópico) da mistura final descrita após aplicação do postulado da projeção (Jauch 1964). Este é um argumento típico usado na abordagem termodinâmica. Em três anos, porém, Jauch parece ter mudado de posição, aceitando a primazia da prova de insolubilidade de Wigner.

Loinger (1968) defendeu sua teoria argumentando que ela não requeria que ocorresse uma amplificação, ao contrário do que se depreendia do mencionado artigo de Rosenfeld, que seguia toda a tradição do paradigma de amplificação termodinâmica. O que seu formalismo mostrava, argumentou Loinger, era apenas a existência de um acoplamento entre o detector e o objeto quântico, situação que viria a ser melhor esclarecida por Dicke (1981).

Mesmo com esta defesa de seu modelo, o trabalho de Loinger e Prosperi deixou de ter o impacto inicial que teve, apesar de outros autores desenvolverem a abordagem termodinâmica nos anos 80.

#### **A4. O Trabalho de Tausk**

O preprint de Klaus Tausk, “A Relação da Medida com Ergodicidade, Sistemas Macroscópicos, Informação e Leis de Conservação”, que desencadeou a controvérsia analisada no presente artigo, se inicia (seção 1) com o seguinte resumo:

Uma tentativa de relacionar o postulado da redução de estado com as propriedades ergódicas do aparelho de medida [DLP 1962] é analisada. Encontra-se que nenhuma conexão entre ergodicidade e redução de estado foi estabelecida.

Afirmções recentes dos mesmos autores [DLP 1966] e de L. Rosenfeld [1965], que defendem que esta tentativa é de fundamental importância, são assim contraditas. Uma classe de medidas para as quais considerações de ergodicidade são obviamente

irrelevantes é apontada. Alguns problemas relacionados, concernentes ao comportamento de corpos macroscópicos, são discutidos. A diferença essencial entre redução de estado e mudança descontínua de uma distribuição de probabilidade devido a nova informação é enfatizada. A incompatibilidade entre a redução de estado e algumas leis de conservação é apontada.

A última sentença do resumo se refere a uma aparente contradição que o próprio Tausk esclareceria posteriormente (ou seja, o autor errou ao achar que seria uma incompatibilidade), como veremos adiante, na seção A8.

## A5. O Argumento de que DLP tratam apenas do Caso Estatístico

Tausk inicia a seção 2 de seu preprint resumindo os postulados associados à medição na mecânica quântica. Argumenta [pp. 2-3] que o postulado da redução, que abrevia por “RP”, é equivalente ao algoritmo estatístico da teoria, a que ele refere como “(2.2)”, mais a regra para medições repetidas, “(2.3)”. O algoritmo estatístico (2.2) é a conhecida regra que fornece a probabilidade  $\text{prob}(b_i)$  de se obter o resultado  $b_i$  de uma medição, dado um certo estado  $|\psi\rangle$ . A regra para medições repetidas (2.3), válida para as chamadas medições do 1º tipo, fornece a probabilidade de se obterem os resultados  $a_i$  e  $b_j$  para duas medições diferentes subseqüentes no *mesmo* objeto quântico *individual*. Tausk, então, argumenta que RP pode ser derivado de (2.2) e (2.3). Além disso, afirma que “para derivar (2.3) é essencial usar RP” (p. 3), o que utilizará em um argumento posterior (ver nossa seção A6).

A seguir, o autor considera o caso de um *ensemble* de sistemas, para o qual se obtém uma versão estatística do postulado da projeção, que ele chama de postulado fraco da redução (“WRP”). Naturalmente, não se pode derivar RP a partir de WRP. Ora, acusa Tausk, o que Daneri, Loinger & Prosperi derivaram em sua demonstração foi a versão estatística WRP, não o postulado da projeção RP para o caso individual, que é a fonte do “problema da medição”:

A equivalência entre WRP e RP foi aparentemente pressuposta por DLP e Rosenfeld. [...] Ao contrário de RP, WRP não garante que duas medidas do mesmo observável feitas no mesmo sistema forneçam o mesmo resultado, se o sistema não se altera entre as medidas. (Tausk 1966, p. 4)

Ao nosso ver, este é o argumento mais forte de Tausk contra o trabalho dos italianos, que se baseia na *distinção entre as descrições individual e estatística* da teoria quântica. Esta distinção nem sempre era clara, havendo inclusive toda uma escola interpretativa da teoria quântica, conhecida como a “interpretação dos ensembles”, que negava que tal distinção tivesse sentido. No momento em que se passa para uma descrição em termos de “operadores de densidade” (como é feito, por exemplo, mais recentemente, na abordagem da decoerência, ver Pessoa 1998), recai-se no caso estatístico, e as esperanças de se “resolver” o problema da medição (para o caso individual) se esvaem.

Este argumento foi aceito por Bohm, em sua carta a Tausk:

Parece-me que DLP conseguem evitar perceber a dificuldade ao trocar tacitamente entre indivíduo e ensemble, toda vez que probabilidades são mencionadas. Portanto, eles não conseguem ver que a função de onda não é *puramente* uma característica de nosso conhecimento estatístico; ela também é necessária para descrever o sistema individual. [Bohm 1966b, p. 3].

Tal argumento não aparece claramente no artigo crítico de Jauch, Wigner & Yanase (1967), mas ali é dado um outro argumento que, fundamentalmente, se baseia na distinção entre os casos individual e estatístico. O argumento diz simplesmente que existe uma prova de insolubilidade do problema da medição, dada entre outros por Wigner (1963) (como vimos na seção A3), e que o resultado de Daneri, Loinger & Prosperi, se tomado de maneira exata para o sistema composto fechado (englobando objeto quântico e aparelho macroscópico), viola tal prova. Como tal prova se baseia na descrição *individual* do objeto quântico (mas não necessariamente do aparelho), podemos aproximar este argumento ao de Tausk, apesar de serem argumentos claramente diferentes. Tausk (1966, p. 18), por sinal, apresenta um argumento semelhante a este de Jauch *et al.*, ao salientar que o postulado da projeção é uma lei de evolução não-linear, e que portanto não pode ser substituído apenas por leis lineares, como Daneri *et al.* parecem querer defender.

Já o artigo crítico de Bub (1968) desenvolve esse argumento de Tausk (baseado na distinção entre individual e estatístico). Ele salienta que as condições de ergodicidade descrevem o relaxamento do sistema dentro dos “canais” que estão associados a diferentes autoestados do aparelho, mas tais condições não descrevem a atualização final de um dos autoestados. Para fazer isso, Daneri, Loinger & Prosperi lançaram mão do argumento da “justificativa da aproximação” (ver seção A2), o que significa que sua teoria não pode ser uma solução exata do problema da medição. O balanço geral que Bub nos dá é interessante: ele conclui que a confusão fundamental dos italianos é aceitar certos aspectos da interpretação de Copenhague no contexto de uma teoria da medição que é incompatível com o ponto de vista desta interpretação.

## A6. Argumento de Circularidade contra DLP

Tausk encerra o resumo do formalismo de medições da mecânica quântica (sua seção 2), que segue a apresentação de Daneri *et al.* (1962), considerando sistemas compostos por dois subsistemas interagentes, que na discussão sobre o problema da medição irão representar o objeto quântico e o aparelho. Para um sistema isolado, o cálculo quântico para a probabilidade de um certo resultado pode incluir termos de interferência (eq. 2.2a de Tausk). No entanto, se este sistema estiver acoplado (“emaranhado”, como se diz hoje em dia) a um outro sistema, os termos de interferência desaparecem (eq. 2.12).<sup>11</sup>

Tausk apresenta então, no início da seção 3 (final da p. 11), um argumento segundo o qual Daneri, Loinger & Prosperi teriam incorrido em *circularidade* ao descrever o processo de medição em duas etapas. Estes tinham por objetivo derivar o postulado da redução RP a partir dos outros postulados da Teoria Quântica. Ora, argumentou Tausk, ao tentarem fazer isso eles teriam se utilizado da regra para medições repetidas – que, como vimos, ele chamou de “(2.3)”, e cuja versão para sistemas compostos ele nomeou “(3.3)”. Mas Tausk já havia argumentado que a regra para medições repetidas pressupõe RP! Portanto, toda a proposta dos italianos se basearia em um argumento circular, falacioso.

Esta crítica imputando circularidade mereceria até ser examinada mais a fundo, mas os argumentos apresentados por Tausk não convencem. Ao nosso ver, ele faz uma leitura

---

<sup>11</sup> Tausk comete um deslize na metade da p. 8, porém sem maiores conseqüências. Ele iguala “a probabilidade do resultado  $b_i$ ” em um sistema isolado, quando primeiro se mede um observável  $A$  para depois medir  $B$  (eq. 2.3), à probabilidade em um subsistema correlacionado, quando se mede *apenas* um observável  $B \otimes I$ . Isto está incorreto, pois no segundo caso, para se obter sua eq. (2.11) (idêntica à eq. 2.3), é preciso medir também um observável  $I \otimes D$  apropriado no outro subsistema, como ele havia indicado claramente na página anterior.



distorcida de uma exposição introdutória de Daneri *et al.* (1962, pp. 300-3), que neste trecho apresentam uma análise consistente com a abordagem clássica de von Neumann (1932). É verdade que a exposição dos italianos, neste trecho, não é muito clara, mas Tausk (p. 11) é levado a concluir que o mero acoplamento (unitário) entre aparelho e objeto quântico (que chama “suposição III”) já constituiria uma medição para os italianos, o que não é o caso.

Confusões deste tipo explicam a falta de respeito que seu preprint gerou entre os físicos que o leram. Veja-se, por exemplo, a citação de Bell na nossa seção 5, em que escreve para Loinger que “não posso aceitar todos os detalhes de Tausk como crítica justificada de seu trabalho”. Ou então o seguinte trecho do parecer de Jauch:

Há, porém, muitos detalhes dos quais discordo, apesar de poucos deles serem relevantes para o argumento que ele [Tausk] deseja dar. [...] Minhas críticas principais referem-se aos comentários a respeito do postulado III, na pg. 10, e os comentários relacionados à SEMD [superposições de estados macroscopicamente distinguíveis] na pg. 15. [...] (Jauch 1966)

## **A7. Argumento de que a Hipótese Ergódica não desempenha papel algum**

O comentário de Jauch referente às superposições macroscópicas envolve a posição filosófica adotada por Tausk com relação ao problema da medição. Ele defende que é impossível haver superposições quânticas de corpos macroscópicos, e que isto é garantido pela validade do postulado da projeção (RP), uma lei de evolução não-linear. Ele defende que este processo deve ocorrer “antes que as diferenças microscópicas iniciais tenham evoluído para diferenças macroscópicas” (Tausk 1966, p. 18), ou seja, a redução ocorreria antes do processo de amplificação, e não durante, como se depreende do trabalho de Daneri *et al.* e de outros defensores do programa de amplificação termodinâmica. O único elogio que transparece em seu preprint ao artigo dos italianos (p. 18) é o reconhecimento de que eles também desejavam evitar a existência de superposições macroscópicas, ao contrário de correntes idealistas.

Uma outra crítica geral que Tausk faz ao trabalho de Daneri *et al.* é de que as condições de ergodicidade não desempenhariam papel algum, tendo “um papel puramente psicológico” (Tausk 1966, p. 20). Esta posição parece seguir de alguma espécie de incompreensão por parte de Tausk, manifestado numa passagem em que ele escreve:

Por razões que não afirmamos entender, DLP exprimem o desejo de encontrar uma equação do tipo (3.3) em que os termos de interferência [...] não estejam presentes. Isto é claro, é um problema trivial. [...] (Tausk 1966, p. 13.)

O que é trivial? O que é trivial é o desaparecimento dos termos de interferência quando o sistema objeto se acopla a um outro sistema, como o aparelho. Mas Daneri *et al.* (1962, p. 303) tinham consciência de que isto não bastava, pois se considerássemos o sistema composto como um todo, os termos de interferência reapareceriam. Assim, eles precisavam introduzir alguma condição especial nos estados do aparelho macroscópico, de forma a garantir uma redução efetiva de estado. E isso foi feito a partir da introdução da noção de um “observável macroscópico”, que seria incapaz de distinguir certos conjuntos de estados. Poder-se-ia criticar este recurso como sendo ad hoc, ou como sendo uma aproximação injustificada, ou como sendo a substituição de um princípio misterioso (RP) por outro

princípio igualmente misterioso (as condições de ergodicidade), mas não como sendo um procedimento desnecessário, meramente decorativo, como queria Tausk.

## **A8. Argumento do Experimento de Resultado Nulo**

Em nossa análise do preprint de Tausk, consideramos um argumento bom e dois ruins contra a teoria de Daneri *et al.* (1962). O argumento do experimento de resultado nulo, apresentado em sua seção 4, é marcante por sua simplicidade, e Tausk (1966) tem inegavelmente o mérito de ter sido o introdutor desta idéia no contexto da discussão do programa termodinâmico, apesar de Jauch *et al.* (1967) usarem-na sem citar a fonte. Já estudamos este argumento na seção A3, e nos limitaremos aqui a citar a versão de Tausk:

‘Medidas de resultado negativo’ deste tipo foram discutidas por Renninger. Sua característica essencial é que um aparelho que poderia ter respondido, de fato, não o fez. Parece evidente que aqui não há oportunidade para introduzir as propriedades ergódicas do aparelho de medida na descrição das medidas de resultado negativo. Mesmo assim, a redução de estado precisa ser assumida.

Para nós, este argumento mostra que todas as tentativas de concretizar o programa de DLPI pertencem ao reino do pensamento esperançoso [*wishful thinking*] ou, ocasionalmente, apenas do desejo. (Tausk 1966, p. 23.)

O final desta citação exemplifica o estilo pouco elegante de Tausk, o que certamente contribuiu para a recepção negativa de seu artigo.

O preprint de Tausk prossegue, na seção 5, com um aparente paradoxo (ver também Tausk 1967, p. 55). Um átomo que atravessa um imã de Stern-Gerlach tem momento linear nulo na direção perpendicular ao seu movimento, e paralelo ao eixo vertical ligando os imãs. Isto é verdade mesmo depois que o átomo passa pelo imã, mas no instante em que ele é detectado por um dos dois aparelhos de medição colocados ao longo do eixo vertical, o átomo passa a ter momento linear não-nulo nesta direção. Ora, isto aparentemente viola o princípio de conservação de momento linear, pois nenhuma reação dos detectores pode dar conta da alteração do momento da partícula. Posteriormente, em comunicações pessoais (Tausk 1999), ele reconheceria qual seria a solução deste problema, que envolve a transferência de momento angular para os imãs de Stern-Gerlach, localizados à distância.

Na sua seção 6, Tausk critica a posição segundo a qual o processo de redução envolve apenas um aumento na informação que temos a respeito do objeto quântico (a chamada visão “epistêmica” do estado quântico), defendida por Heisenberg, em 1958, em um trecho de seu livro *Física e Filosofia*. Tausk critica também uma passagem de Süßman (1958), em que este dá a entender que um autovalor seria “revelado” por uma medição, e não “criado”.

No final de seu artigo, Tausk (p. 32) exprime sua crença de que “somente quando tivermos encontrado um fundamento completamente novo para a mecânica quântica é que poderemos superar as dificuldades encontradas”.

## **A9. A Prova de Não-Transmissão de Sinais Superlumínicos**

A tese de doutorado escrita por Tausk no ano seguinte (1967) retoma a exposição do preprint e adiciona alguns estudos. Dentre estes encontra-se uma prova de que um ensemble de pares de partículas correlacionadas, I e II, preparados de maneira idêntica (ou seja,

descritos pela mesmo estado puro), não pode ser utilizado para transmitir informação de maneira instantânea. Tausk admite, porém, que a medição em I gera uma “influência” instantânea entre as partes separadas, associada à redução de estado. Mas o cálculo da matriz de densidade de II *após a medição* em I fornece a mesma expressão que o cálculo da matriz de densidade *reduzida* do sistema II, quando o sistema composto se encontra no estado puro *antes da medição*. Como a matriz de densidade engloba toda a informação relevante a respeito de medições possíveis em II, não é possível detectar diferenças entre o caso em que medições são feitas em I do caso em que nenhuma medição é feita.

Esta é talvez a primeira vez que algum físico se preocupou em demonstrar este teorema, que é, em última análise, bastante simples. Na literatura, este teorema de impossibilidade de sinais (“no-signalling theorem”) é atribuído a P. Eberhard (1978, pp. 416-7).

É curioso que, na continuação do texto, Tausk passa a analisar o trabalho de Einstein, Podolsky & Rosen (1935), e considera que eles não utilizam a mecânica quântica usual, com sua regra de redução instantânea. Isso é incorreto, pois Einstein *et al.* claramente *adotam* o postulado da redução em seu artigo, para só posteriormente introduzirem a hipótese da não-localidade e concluir que a mecânica quântica seria incompleta. Esta incompreensão de Tausk exemplifica bem as suas limitações, mas o fato de ter sido publicado em sua tese indica que a comunidade brasileira de físicos ainda não estava preparada para analisar e entender as sutilezas das discussões filosóficas próprias dos fundamentos da mecânica quântica. Vinte anos depois, esta situação começaria a mudar (depois da consolidação da área na Europa e América do Norte, após 1970), e o trabalho solitário e original de Klaus Tausk (apesar de conter alguns erros) merece ser revalorizado.

## Referências Bibliográficas

- Amaldi (1965a), carta para Loinger, 22 de junho. Amaldi Papers, Istituto di Física, Università di Roma “La Sapienza”, Box 118.
- Amaldi (1965b), carta para Loinger, 29 de julho. Amaldi Papers, Istituto di Física, Università di Roma “La Sapienza”, Box 118.
- Amati, D.; Budini, P. & Fonda, L. (1966), carta aberta ao Presidente da Società Italiana di Fisica, 11 de outubro, de Trieste, em italiano, 1 pg. datilografada. Niels Bohr Archive.
- Andrade, A.M.R. (2003), “Os raios cósmicos entre a ciência e as relações internacionais”, a aparecer.
- Ballentine, L.E. (1970), “The Statistical Interpretation of Quantum Mechanics”, *Reviews of Modern Physics* 42, 358-81.
- Bell (1964), “On the Einstein-Podolsky-Rosen Paradox”, *Physics* 1, 195-200. Reimpresso em Wheeler & Zurek 1983, *op. cit.*, pp. 403-8, e em Bell (1987), *Speakable and Unspeakeable in Quantum Mechanics*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 14-21.
- (1966), carta para Loinger, 26 de outubro, de Genebra, em inglês, 1 pg. datilografada. Niels Bohr Archive.
- Bohm, D. (1951), *Quantum Theory*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.

- (1966a), carta para Fonda, cc: Salam, Budini, Tausk, 26 de setembro, de Londres, em inglês, 1 pg. manuscrita. Arquivo pessoal de Tausk.
- (1966b), carta para K. Tausk, 1 de outubro, de Londres, em inglês, 3 pgs. datilografadas. Arquivo pessoal de Tausk.
- Bohr, N. (1955), “Unity of Knowledge”, in Leary, L.G. (org.). *The Unity of Knowledge*. New York: Doubleday, pp. 47 ff. Reimpresso em Bohr, N. (1958), *Atomic Physics and Human Knowledge*. New York: Wiley, pp. 67-82.
- Bub, J. (1966), carta para K. Tausk, 15 de novembro, de Minneapolis, em inglês, 1 pg. datilografada. Arquivo pessoal de Tausk.
- (1968), “The Daneri-Loinger-Prosperi Quantum Theory of Measurement”, *Il Nuovo Cimento* 57, 503-20.
- Caldirola, P. (1965), “Teoria della Misurazione e Teoreme Ergodici nella Meccanica Quantistica”, *Giornale di Física*, 6, 228- 37. Reimpresso no periódico *Scientia*.
- (1984), “A Geometrical Model of Point Electron”, *Revista Brasileira de Física*, Volume especial de julho dedicado aos “70 anos de Mário Schönberg,” pp. 228-60.
- Daneri, A.; Loinger, A. & Prosperi, G.M. (1962), “Quantum Theory of Measurement and Ergodicity Conditions”, *Nuclear Physics* 33, 297-319. Reimpresso em Wheeler & Zurek 1983, *op. cit.*, pp. 657-79.
- (1966), *Il Nuovo Cimento* 44 B, 119-28. Preprint IFUM-028/FT impresso em fevereiro deste ano.
- De Greiff, A. (2001), *The International Centre for Theoretical Physics, 1960-1979: Ideology and Practice in a United Nations Institution for Scientific Cooperation and Third World Development*. Doctoral dissertation, Imperial College, London.
- (2002), “The Tale of Two Peripheries: The Creation of the International Centre for Theoretical Physics in Trieste”, *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences* 33, 33-59.
- Dicke, R.H. (1981), “Interaction-Free Quantum Measurements: A Paradox?”, *American Journal of Physics* 49, 925-30.
- Eberhard, P. (1978), “Bell’s Theorem and the Different Concepts of Reality”, *Il Nuovo Cimento* 46 B, 392-419.
- Einstein, A; Podolsky, B. & Rosen, N. (1935), “Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality be Considered Complete?”, *Physical Review* 47, 777-80. Reproduzido in Wheeler & Zurek (1983), pp. 138-41. Tradução em: *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* 2 (1981) 90-96.
- Engelhart, T.H. & Caplan, A.L. (orgs.) (1987), *Scientific Controversy: Case Studies in the Revolution and Closure of Disputes in Science and Technology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Fonda, L. (1966), carta para Tausk, 17 de outubro, de Trieste, em inglês, 1 pg. datilografada. Arquivo pessoal de Tausk.

- (1967), relatório escrito para Salam, “Report on the Fellows of the Centre”, 10 de fevereiro, D.1713, International Advanced School of Physics.
- Freire Jr., O. (1997), “Quantum Controversy and Marxism”, *Historia Scientiarum* 7, 137-52.
- (2003a), “A Story Without an Ending: The Quantum Physics Controversy 1950-1970”, *Science & Education* 12, 573-86.
- (2003b), “O Debate sobre a Imagem da Ciência – A Propósito das Idéias e da Ação de E.P. Wigner”, in Santos, B.S. (org.), *Um Discurso sobre as Ciências: Revisitado*. Lisboa, a aparecer.
- Frisch, O.R. (1967), carta para Hugo Tausk, 16 de setembro, de Genebra, em alemão, 2 pgs. manuscritas. Arquivo pessoal de Tausk.
- (1971), “The Conceptual Problem of Quantum Theory from the Experimentalist’s Point of View”, in Bastin, T. (org.), *Quantum Theory and Beyond – Essays and Discussions arising from a Colloquium*. Londres: Cambridge University Press, pp. 13-21.
- Garuccio, A. & Leone, M. (2002), “La Fisica Teorica tra Milano e Pavia: 1945-1965”, in Giuliani, G. (org.), *Per una Storia della Fisica Italiana 1945 – 1965, I, Fisica della Matéria, Fisica Teorica, Insegnamento della Fisica*. Pavia: Università degli Studi di Pavia, pp. 35-80.
- Heisenberg, W. (1958), *Physics and Philosophy*. Londres: Allen & Unwin. Tradução para o português, *Física e Filosofia*. Brasília: Editora da Universidade de Brasília, 1ª edição, 1981.
- Jammer, M. (1974), *The Philosophy of Quantum Mechanics*. Nova Iorque: Wiley.
- Jauch, J.M. (1964), “The Problem of Measurement in Quantum Mechanics”, *Helvetica Physica Acta* 37, 293-316.
- (1966a), carta para Wigner, 16 de setembro, em inglês. Wigner Papers (Box 71 – Folder 3), Department of Rare Books and Special Collections, Princeton University Library.
- (1966b), carta para Fonda, 4 de outubro, de Genebra, em inglês, 2 pgs. datilografadas. Niels Bohr Archive.
- (1966a), carta para Wigner, 13 de outubro, em inglês. Wigner Papers (Box 71 – Folder 3), Department of Rare Books and Special Collections, Princeton University Library.
- Jauch, J.M.; Wigner, E.P. & Yanase, M.M. (1967), “Some Comments concerning Measurements in Quantum Mechanics”, *Il Nuovo Cimento* 48 B, 144-51. (Recebido em 1 de dezembro de 1966.)
- Körner, S. (org.) (1957), *Observation and Interpretation in the Philosophy of Physics*. Nova Iorque: Dover.
- Loinger, A. (1965), carta para Amaldi, 15 de julho. Amaldi Papers, Istituto di Física, Università di Roma “La Sapienza”, Box 118.
- (1966a), carta aberta, *L’Europeo*.

- (1966b), carta aberta ao Presidente da Società Italiana di Fisica, 9 de setembro, de Pavia, em italiano, 2 pgs. datilografadas. Arquivo pessoal de Tausk.
- (1966c), segunda carta aberta ao Presidente da Società Italiana di Fisica, 20 de outubro, de Pavia, em italiano, 2 pgs. datilografadas. Niels Bohr Archive.
- (1966d), carta para Bell, 31 de outubro, de Pavia, em inglês, 1 pg. datilografada. Niels Bohr Archive.
- (1968), “Comments on a Recent Paper Concerning Measurements in Quantum Mechanics”, *Nuclear Physics* 108, 245-9.
- Ludwig, G. (1953), “Der Messprozess”, *Zeitschrift für Physik* 135, 483-511.
- McMullin, E. (1987), “Scientific Controversy and its Termination”, in Engelhart & Caplan (1987), *op. cit.*, pp. 49-91.
- Pessoa Jr., O. (1992), “O Problema da Medição em Mecânica Quântica: Um Exame Atualizado”, *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* (série 3) 2, 177-217.
- (1998), “How can the Decoherence Approach Help to Solve the Measurement Problem?”, *Synthese* 113(3), 323-46.
- Renninger, M. (1960), “Messungen ohne Störung des Messobjekts”, *Zeitschrift für Physik* 158, 417-21.
- Rocha Barros, A.L. (1984), “Prefácio”, *Revista Brasileira de Física*, Volume especial de julho dedicado aos “70 anos de Mário Schönberg”.
- Rosenfeld, L. (1965), “The Measuring Process in Quantum Mechanics”, *Progress of Theoretical Physics, Supplementary Issue*, 222-31.
- (1966a), carta para Salam, 20 de setembro, de Copenhague, em inglês, 2 pgs. datilografadas. Arquivo pessoal de Tausk.
- (1966b), carta para Salam, 4 de outubro, de Copenhague, em inglês, 1 pg. datilografada. Niels Bohr Archive.
- Salam, A. (1966), carta para Rosenfeld, 26 de setembro, de Trieste, em inglês, 2 pg. datilografada. Niels Bohr Archive.
- Selleri, F. (1972), “Comments on the Thesis ‘A Medida na Mecânica Quântica’ by K.S. Tausk”, 2 pgs. Arquivo pessoal de Tausk.
- Süssmann, G. (1958), “Über den Meßvorgang”, *Abhandlungen der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Klasse, Neue Folge*, 88, 3-41, 1958.
- (1966), carta para K. Tausk, 16 de setembro, de Frankfurt, em alemão, 2 pgs. datilografadas. Arquivo pessoal de Tausk.
- Taketani, M. (1971), “Observation Problem of Quantum Mechanics”, *Progress in Theoretical Physics* 50, 65-72.

- Tausk, K.S. (1966a), “Relation of Measurement with Ergodicity, Macroscopic Systems, Information and Conservation Laws”, *ICTP Internal Report 14/1966*, International Centre for Theoretical Physics, Trieste, 34 pgs.
- (1966b), carta para Rosenfeld, 10 de outubro, de Graz, em inglês, 1 pg. datilografada. Niels Bohr Archive.
- (1967), *A Medida na Mecânica Quântica*, tese de doutorado, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo, 60 pgs.
- (1999), comunicação pessoal, na forma de uma entrevista informal dada por telefone a O. Pessoa Jr. Há também uma entrevista informal obtida pessoalmente em 1991.
- von Neumann, J. (1932), *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik*. Berlim: Springer. Tradução para o inglês: *Mathematical Foundations of Quantum Mechanics*. Princeton: Princeton University Press, 1955.
- Wakita, H. (1960), “Measurement in Quantum Mechanics”, *Progress in Theoretical Physics* 23, 32-40.
- Wheeler, J.A. & Zurek, W.H. (orgs.) (1983), *Quantum Theory and Measurement*. Princeton: Princeton University Press.
- Wigner, E.P. (1961), “Remarks on the Mind-Body Question”, in Good, I.J. (org.), *The Scientist Speculates*. Londres: Heinemann, pp. 284-302. Reimpresso em Wheeler & Zurek (1983), pp. 168-81.
- (1963), “The Problem of Measurement”, *American Journal of Physics* 31, 6-15. Reimpresso em Wheeler & Zurek (1983), pp. 324-341.
- (1966a), carta para Jauch, 6 de setembro, em inglês. Wigner Papers (Box 94 – Folder 7), Department of Rare Books and Special Collections, Princeton University Library.
- (1966b), carta para Jauch, 5 de outubro, em inglês. Wigner Papers (Box 71 – Folder 3), Department of Rare Books and Special Collections, Princeton University Library.
- (1966c), carta para Jauch, 25 de outubro, em inglês. Wigner Papers (Box 71 – Folder 3), Department of Rare Books and Special Collections, Princeton University Library.
- (1966a), carta para Jauch, 22 de novembro, em inglês. Wigner Papers (Box 71 – Folder 3), Department of Rare Books and Special Collections, Princeton University Library.