

A gênese do Princípio da Incerteza: uma análise histórico - epistemológica da correspondência Heisenberg-Pauli (1927)⁺*

Marcos Antonio Barros¹

Universidade Estadual da Paraíba

Campina Grande – PB

Jenner Barretto Bastos Filho¹

Universidade Federal de Alagoas

Maceió – AL

Pablo Francisco Honorato Sampaio¹

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba

Patos – PB

Resumo

Este artigo investiga a gênese histórico-epistemológica do Princípio da Incerteza a partir da análise da correspondência científica entre Werner Heisenberg e Wolfgang Pauli, com ênfase na longa carta de 23 de fevereiro de 1927, imediatamente anterior à publicação do artigo em que o princípio foi formalmente apresentado. Em contraste com narrativas retrospectivas que tratam a incerteza como consequência direta do formalismo matemático da Mecânica Quântica, o estudo evidencia um processo gradual de elaboração conceitual, ancorado em reflexões operacionais sobre a medição, a redefinição do significado físico das grandezas clássicas e o papel da observação. A análise comentada da carta revela um estágio intermediário, no qual as relações de imprecisão aparecem como heurísticas vinculadas às condições de mensurabilidade, antes de sua estabilização discursiva como princípio geral no artigo publicado em 1927. A comparação entre a correspondência privada e o texto público permite identificar continuidades conceituais, deslocamentos epistemológicos e estratégias retóricas associadas à

⁺ The Genesis of the Uncertainty Principle: A Historical-Epistemological Analysis of the Werner Heisenberg-Wolfgang Pauli Correspondence (1927)

^{*} Recebido: 5 de março de 2026.

Aceito: 8 de maio de 2026.

Publicado: 31 de agosto de 2026.

¹ E-mails: marcos_fis@hotmail.com; jenner@fis.ufal.br; pablo.sampaio@ifpb.edu.br

consolidação do princípio. Sustenta-se que a construção do Princípio da Incerteza pode ser melhor compreendida enquanto resultado de um processo coletivo e argumentativo, envolvendo intercâmbio epistolar, debates institucionais e controvérsias públicas, como as discussões da Conferência de Solvay de 1927. Ao enfatizar o papel das fontes primárias, o artigo contribui para uma compreensão historicamente informada da Mecânica Quântica e para a revisão crítica de interpretações excessivamente formalistas de seus fundamentos.

Palavras-chave: *Princípio da Incerteza; Mecânica Quântica; História e Filosofia da Ciência; Correspondência Científica; Medição e Observação.*

Abstract

This article investigates the historical–epistemological genesis of the Uncertainty Principle through an analysis of the scientific correspondence between Werner Heisenberg and Wolfgang Pauli, with particular emphasis on the long letter dated 23 February 1927, written immediately prior to the publication of the paper in which the principle was formally introduced. In contrast to retrospective narratives that treat uncertainty as a direct consequence of the mathematical formalism of Quantum Mechanics, the study demonstrates that the principle emerged from a gradual process of conceptual elaboration grounded in operational reflections on measurement, the redefinition of the physical meaning of classical quantities, and the role of observation. A close, commented reading of the letter reveals an intermediate stage in which relations of indeterminacy appear as heuristics tied to conditions of measurability, before being discursively stabilized as a general principle in the published article of 1927. The comparison between private correspondence and public exposition makes it possible to identify conceptual continuities, epistemological shifts, and rhetorical strategies associated with the consolidation of the principle. It is argued that the construction of the Uncertainty Principle is best understood as the outcome of a collective and argumentative process, shaped by epistolary exchange, institutional debate, and public controversy, including the discussions at the 1927 Solvay Conference. By foregrounding primary sources, the article contributes to a historically informed understanding of Quantum Mechanics and to a critical reassessment of excessively formalist interpretations of its foundations.

Keywords: *Uncertainty Principle; Quantum Mechanics; History and Philosophy of Science; Scientific Correspondence; Measurement and Observation.*

I. Introdução

A formulação do chamado Princípio da Incerteza^{2,3} ocupa posição central na história conceitual da Mecânica Quântica e figura entre os marcos mais discutidos da física do século XX. Desde sua publicação, em 1927, o princípio tem sido amplamente apresentado, tanto em manuais quanto em parte da literatura técnica e filosófica, como consequência direta do formalismo matemático da teoria, em particular das relações de comutação entre operadores canônicos. Nessa reconstrução retrospectiva, a desigualdade expressa pelo produto das dispersões de posição e de momento é frequentemente interpretada como um limite físico ou ontológico intrínseco aos sistemas microscópicos. Embora matematicamente consistente, essa narrativa tende a obscurecer o processo histórico efetivo de elaboração do conceito. Uma construção gradual, argumentativa e situada acaba sendo apresentada como se fosse dedução atemporal.

Desde os estudos clássicos em História e Filosofia da Ciência (HFC), reconhece-se que esse tipo de reconstrução retrospectiva simplifica excessivamente a dinâmica real de desenvolvimento da Mecânica Quântica. A teoria não se consolidou como um sistema conceitual fechado de maneira súbita, mas emergiu em um período marcado por ambiguidades semânticas, debates sobre o estatuto das grandezas físicas e tensões entre programas teóricos concorrentes. Nesse contexto, categorias clássicas como posição, momento e órbita foram progressivamente problematizadas, redefinidas ou mesmo abandonadas, à medida que se tornava necessário conferir significado físico às novas estruturas matemáticas.

Nas últimas décadas, a historiografia da física tem enfatizado o papel das práticas discursivas, do diálogo científico e das controvérsias internas na construção da Mecânica Quântica. Essa perspectiva desloca o foco da formalização matemática isolada para processos coletivos de negociação conceitual, nos quais cartas, seminários e debates informais

² Um primeiro ponto concerne à categoria conceitual de *incerteza* uma vez que esta seria meramente um atributo do sujeito e não dos objetos físicos em relação aos quais a teoria física diz respeito. A denotação de *indeterminação* também padeceria desse mesmo problema. Assim, a notação de *Princípio da Dispersão* seria, na ótica de intérpretes realistas, uma escolha mais adequada que as notações, respectivamente, de *Princípio da Incerteza* ou ainda de *Princípio da Indeterminação*.

³ Outro ponto correlato ao do argumento da nota de rodapé precedente consiste em afirmar que a questão não se reduz simplesmente a uma escolha nominalista ou, em outras palavras, de adoções meramente denotativas. Há de fato uma questão de diferenças radicais de concepções epistemológicas subjacentes a cada uma dessas notações. Sendo a Mecânica Quântica uma teoria física objetiva como outra qualquer, então as projeções antropomórficas, como a *incerteza*, dirigidas aos objetos quânticos (elétrons, fótons, mésons, píons, ...) seriam ilegítimas em determinadas leituras realistas. Nenhuma propriedade da Mecânica Quântica depende de peculiaridades dos sujeitos que a estudam.

desempenham papel decisivo. Assim, o Princípio da Incerteza pode ser compreendido não apenas como resultado técnico, mas como resposta a problemas concretos de definição operacional de grandezas físicas, condições de observação e alcance das categorias clássicas no domínio quântico. Às vésperas do centenário do artigo de 1927, em que Werner Heisenberg apresentou formalmente o Princípio da Incerteza, torna-se oportuno revisitar criticamente seu processo histórico de elaboração. Datas comemorativas desse tipo têm estimulado, na historiografia contemporânea da ciência, não apenas balanços celebratórios, mas reavaliações conceituais ancoradas em fontes primárias e abordagens histórico-epistemológicas mais refinadas.

Nesse contexto, a correspondência científica imediatamente anterior à publicação do artigo de 1927 adquire relevância especial. Entre as fontes primárias disponíveis, destaca-se a longa carta enviada por Heisenberg a Wolfgang Pauli em 23 de fevereiro de 1927⁴, poucas semanas antes do artigo *Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik* ("Sobre o conteúdo intuitivo da cinemática e Mecânica Quântica"). Nesse documento, Heisenberg expõe reflexões ainda não sistematizadas sobre a definição operacional de posição e velocidade, crítica à noção clássica de órbita eletrônica, o papel perturbador da medição e a emergência de relações de imprecisão entre grandezas conjugadas. Diferentemente do texto publicado, essas ideias aparecem em linguagem heurística e exploratória, evidenciando um estágio prévio de consolidação conceitual.

A motivação para a presente investigação também se vincula a práticas de formação e pesquisa em HFC, desenvolvidas no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática da Universidade Estadual da Paraíba, na qual a leitura e análise de fontes primárias têm sido utilizadas como estratégia para aprofundar a compreensão epistemológica de conceitos fundamentais e de seus processos históricos de construção. Foi nesse ambiente que emergiu a proposta de analisar sistematicamente a carta de fevereiro de 1927, inicialmente concebida como complemento de um capítulo de tese em desenvolvimento e, posteriormente, ampliada como investigação historiográfica autônoma.

Do ponto de vista historiográfico, estudos clássicos e contemporâneos têm chamado atenção para a necessidade de compreender o Princípio da Incerteza a partir de seu processo efetivo de elaboração e não apenas de sua formulação final estabilizada. Análises pioneiras destacaram o papel das relações de mensurabilidade e da redefinição do significado físico das grandezas na gênese do Princípio da Incerteza (Jammer, 1974; Pais, 1982), enquanto abordagens mais recentes enfatizam o caráter dialógico, argumentativo e coletivo da construção conceitual da Mecânica Quântica, com atenção à correspondência científica e às controvérsias internas no período de 1925-1927 (Beller, 1999; Camilleri, 2009; Cassidy, 2020).

⁴ A carta manuscrita de Werner Heisenberg a Wolfgang Pauli, datada de 23 de fevereiro de 1927, foi originalmente redigida em alemão. A versão em português, utilizada neste artigo, resulta de tradução realizada por Luan Florêncio dos Santos Félix, a quem registramos nossos agradecimentos. O documento integra o conjunto de correspondências preservadas nos arquivos históricos do CERN (registros 84566, 84567 e 84541).

Na literatura nacional, encontram-se estudos em HFC e em Ensino de Física que reiteram a importância de abordagens histórico-epistemológicas, baseadas em fontes primárias, para evitar reconstruções retrospectivas simplificadoras e promover uma compreensão crítica dos fundamentos da Física Moderna (Martins, 2006; Peduzzi, 2011; Videira, 2013; Monteiro; Nardi, 2017). Além disso, investigações sobre os fundamentos da Mecânica Quântica e suas interpretações (Freire Jr.; Pessoa Jr., 2011; Ostermann; Ricci, 2004; Pessoa Jr., 2006) têm igualmente enfatizado a análise das condições de significação física dos conceitos quânticos, reforçando a necessidade de evitar leituras anacrônicas e contribuindo para situar a presente investigação em diálogo com a produção nacional na área. É nesse horizonte que se insere o presente estudo.

O objetivo deste artigo é reconstruir a gênese histórico-epistemológica do Princípio da Incerteza a partir da correspondência entre Heisenberg e Pauli, evidenciando seu caráter inicialmente operacional, argumentativo e provisório, bem como o processo de consolidação conceitual que culmina no artigo publicado em 1927. Para isso, o texto desenvolve quatro movimentos analíticos articulados: (i) situa a carta de fevereiro de 1927 no contexto intelectual da Mecânica Quântica entre 1925 e 1927; (ii) examina seus principais núcleos conceituais, com ênfase nas definições operacionais de grandezas físicas, na crítica às categorias clássicas e no papel da medição; (iii) analisa a reformulação e a normalização desses argumentos no artigo publicado e, por fim, (iv) discute implicações histórico-epistemológicas dessa gênese para a compreensão do princípio, especialmente à luz de seu centenário. Ao adotar essa abordagem, o artigo busca contribuir para uma compreensão historicamente informada da Mecânica Quântica, ressaltando o caráter processual, argumentativo e coletivo da construção de um de seus princípios fundamentais, bem como o papel de fontes primárias na revisão crítica de narrativas retrospectivas consolidadas. Convém explicitar que esta análise não pretende oferecer reconstrução exaustiva do debate interpretativo da Mecânica Quântica no período de 1925-1927, mas concentra-se na dinâmica conceitual visível na transição entre a correspondência privada e o artigo publicado.

II. O cenário histórico-intelectual da Mecânica Quântica entre 1925 e 1927

A historiografia costuma tratar 1925-1927 como um intervalo decisivo de consolidação da Mecânica Quântica. Nesse intervalo, a teoria passou de formulações parciais a um formalismo matemático relativamente estável, ainda que conceitualmente problemático. A introdução da mecânica matricial por Heisenberg em 1925, seguida pelas reformulações de Born, Jordan e Dirac, estabeleceu uma estrutura algébrica baseada na não comutatividade entre grandezas canônicas (Mehra; Rechenberg, 2000; Pais, 1982). O significado físico dessas estruturas, porém, permanecia amplamente indeterminado.

Em paralelo, a mecânica ondulatória de Schrödinger (1926) reacendeu expectativas de recuperar noções clássicas, como trajetória e órbita eletrônica. Como documentado por Pais (1982), Mehra e Rechenberg (2000), a coexistência de formalismos matematicamente

equivalentes, mas conceitualmente distintos, intensificou debates interpretativos sobre o estatuto dos observáveis e o papel da medição. Em outras palavras, a equivalência formal não resolveu os problemas conceituais, mas os tornou mais urgentes, ao exigir a explicitação do “conteúdo físico” comum às duas formulações.

Nesse contexto, o Instituto de Física Teórica de Copenhague, dirigido por Niels Bohr, tornou-se espaço particularmente relevante para a discussão dos fundamentos da teoria. Mais do que centro de produção técnica, o instituto funcionava como ambiente de crítica conceitual sistemática, no qual questões epistemológicas eram tratadas como parte integrante da atividade teórica (Cassidy, 1992; Beller, 1999). Jovens físicos eram estimulados a confrontar limites das categorias clássicas e a explorar consequências conceituais do formalismo quântico.

A correspondência científica funcionou, na prática, como espaço de elaboração intermediária. Como mostram Mehra e Rechenberg (2000) e Cassidy (2020), cartas trocadas entre Heisenberg, Pauli, Bohr e outros interlocutores constituíam instâncias privilegiadas de elaboração provisórias, de modo que argumentos provisórios eram formulados, criticados e reformulados antes de sua exposição pública. Nesse sentido, Pauli ocupava posição singular, exercendo crítica técnica e conceitual rigorosa, que pressionava os interlocutores a esclarecer o significado físico de suas proposições.

Entre 1926 e o início de 1927, uma questão particularmente debatida dizia respeito à possibilidade de atribuir valores simultâneos e bem definidos a grandezas conjugadas, como posição e momento. Embora o formalismo já incorporasse relações de não comutatividade, seu alcance físico permanecia objeto de disputa. Segundo Mehra e Rechenberg (2000), a preocupação central não era apenas a consistência matemática, mas a interpretação de procedimentos experimentais disponíveis e das perturbações introduzidas pelo ato de medir. É nesse cenário que se insere a carta enviada por Heisenberg a Pauli em 23 de fevereiro de 1927. O documento deve ser compreendido como parte de um processo mais amplo de clarificação conceitual, no qual Heisenberg buscava articular, em termos operacionais, implicações físicas associadas às relações de comutação. Como observa Pais (1982), ideias, que posteriormente seriam apresentadas como “Princípio da Incerteza”, aparecem inicialmente como argumentos qualitativos baseados em resolução experimental, perturbação e estatística dos resultados, antes de serem estabilizadas em formulação mais sistemática.

Historiograficamente, esse conjunto de interações (correspondência privada, seminários em Copenhague e debates em Solvay) reforça a interpretação de que o Princípio da Incerteza não emergiu como resultado isolado, mas como produto de um processo coletivo de construção conceitual. Como argumenta Beller (1999), a Mecânica Quântica se desenvolveu por meio de um “diálogo quântico”, no qual argumentos físicos, escolhas linguísticas e compromissos epistemológicos foram progressivamente negociados.

Embora a presente análise tenha como eixo central a carta de 23 de fevereiro de 1927, essa fonte é aqui compreendida como parte de um circuito mais amplo de produção e circulação de ideias, que inclui outras correspondências, seminários em Copenhague e debates públicos

posteriores. Nesse sentido, a carta não é tomada como evidência isolada, mas como ponto de entrada privilegiado para a reconstrução de um processo coletivo de elaboração conceitual, amplamente documentado na historiografia (Mehra; Rechenberg, 2000, v. 6; Cassidy, 2020).

Esse processo de elaboração conceitual encontra um momento de explicitação pública, particularmente significativo na Quinta Conferência de Solvay, realizada em outubro de 1927. Embora a carta de fevereiro preceda o encontro, muitos dos problemas ali discutidos, a exemplo da impossibilidade de atribuir simultaneamente valores bem definidos a grandezas conjugadas, o papel constitutivo da medição e o estatuto das descrições físicas reaparecem de forma central nos debates entre Niels Bohr e Albert Einstein. Como enfatiza Kragh (1999, p. 206-215), essas discussões não apenas consolidam tensões já presentes no período de 1925-1927, mas também revelam que a interpretação da Mecânica Quântica emergiu como resultado de um processo coletivo de negociação conceitual. Nesse mesmo sentido, a análise detalhada das atas da Conferência de Solvay de 1927, realizada por Bacciagaluppi e Valentini (2009), mostra que os debates estiveram longe de um consenso imediato, sendo marcados por desacordos explícitos quanto ao papel da medição, ao estatuto das grandezas físicas e à própria completude da teoria.

Nessa direção, Bohr defenderia posteriormente “the impossibility of any sharp separation between the behavior of atomic objects and the interaction with the measuring instruments”, isto é, “a impossibilidade de qualquer separação nítida entre o comportamento dos objetos atômicos e a interação com os instrumentos de medida” (Bohr, 1983, p. 210). Do mesmo modo, sustentaria que “evidences obtained under different experimental conditions cannot be comprehended within a single picture, but must be regarded as complementary”, ou seja, que “evidências obtidas sob diferentes condições experimentais não podem ser compreendidas em um único quadro, devendo antes ser consideradas complementares” (Bohr, 1983, p. 213). A correspondência entre Heisenberg e Pauli pode, assim, ser compreendida como parte do pano de fundo intelectual que alimentou essas discussões.

III. Análise histórico-epistemológica comentada da carta de Heisenberg a Pauli (23 de fevereiro de 1927)

Metodologicamente, a carta analisada não é aqui tratada como acesso transparente ou imediato ao pensamento de Heisenberg, mas como um artefato histórico situado, produzido em um contexto específico de interlocução científica. Como toda correspondência, o documento está atravessado por estratégias retóricas, expectativas de recepção e pelo papel crítico desempenhado por seu destinatário, no caso, Wolfgang Pauli. Nesse sentido, a análise da carta exige considerar não apenas seu conteúdo conceitual, mas também sua função no interior de um processo comunicativo mais amplo, no qual argumentos são testados, ajustados e reformulados antes de sua apresentação pública.

A carta enviada por Heisenberg a Pauli em 23 de fevereiro de 1927 constitui documento privilegiado para reconstruir a gênese do Princípio da Incerteza. Diferentemente do artigo publicado semanas depois, o texto epistolar não apresenta o princípio como formulação

acabada, mas como sequência de reflexões em torno de problemas conceituais concretos a exemplo de definição de grandezas físicas, papel da medição, crítica às categorias clássicas e interpretação estatística da Mecânica Quântica. Nesta seção, a carta é analisada de acordo com seus principais núcleos argumentativos, de modo a evidenciar o caráter histórico-epistemológico da emergência do princípio.

III.1 Definição operacional de posição e o papel da medição

Logo no início da carta, Heisenberg reformula a pergunta “o que é a posição do elétron?” em “como se define a posição do elétron?”⁵, deslocando o problema do plano ontológico para o plano operacional. A posição torna-se indissociável de um procedimento experimental concreto, exemplificado pelo uso de um microscópio com determinada resolução. A precisão da medida é relacionada ao comprimento de onda da radiação empregada, enquanto a perturbação introduzida no sistema é associada ao efeito Compton. Esse deslocamento parece ser decisivo para a formulação inicial do que viria a ser denominado Princípio da Incerteza. A incerteza não surge aqui como limite abstrato “da natureza”, mas como consequência das condições físicas de observação e da interação inevitável entre sistema e aparato de medida⁶. A relação de comutação entre posição e momento aparece, na carta, como expressão formal dessa limitação operacional e não como ponto de partida do argumento.

III.2 Crítica à noção clássica de órbita eletrônica

Um aspecto contundente da carta é a rejeição explícita da noção de órbita eletrônica bem definida, inclusive em estados estacionários como o estado fundamental do hidrogênio. Heisenberg afirma que falar da “órbita 1S” não é apenas empiricamente problemático, mas conceitualmente destituído de sentido, pois qualquer tentativa de determinar a posição do elétron com precisão suficiente levaria à destruição do próprio estado atômico⁷.

Essa passagem indica uma ruptura semântica com a Física Clássica. Não se trata apenas de reconhecer limitações experimentais, mas de negar a legitimidade conceitual de certas categorias quando transplantadas ao domínio quântico⁸. Desse modo, a órbita

⁵ “die Position des Elektrons ist nur durch das Experiment definiert, das sie bestimmt” (“a posição do elétron é definida apenas pelo experimento que a determina”).

⁶ Jammer destaca que, nas formulações iniciais de Heisenberg, a incerteza emerge de uma análise das condições de mensurabilidade, e não de uma tese ontológica forte sobre a realidade microscópica. Trata-se de um operacionalismo metodológico voltado a esclarecer o significado físico dos símbolos matemáticos da teoria (Jammer, *The Philosophy of Quantum Mechanics*, cap. 4).

⁷ “hat keinen klaren physikalischen Sinn” (“não possui sentido físico claro”).

⁸ Beller interpreta esse tipo de afirmação como parte de um processo no qual a linguagem clássica é progressivamente desestabilizada. A rejeição do “sentido” da órbita decorre de uma mudança nos critérios de significação física, negociada no diálogo entre Heisenberg, Pauli e Bohr (Beller, *Quantum Dialogue*, cap. 6).

deixa de ser elemento constitutivo da descrição e é substituída por funções de probabilidade, cuja interpretação é explicitamente estatística.

III.3 Estatística, fases e o papel do experimento

Ao discutir estados estacionários, Heisenberg introduz distinção crucial entre duas maneiras de compreender o caráter estatístico da Mecânica Quântica. De um lado, com Jordan, reconhece que leis naturais assumem forma estatística; de outro, em consonância com Dirac, sustenta que a estatística é introduzida primordialmente pelos experimentos, em virtude da impossibilidade de controlar ou conhecer as fases envolvidas.

Nesse sentido, a implicação epistemológica é clara, mostrando que a estatística não é apresentada como traço ontológico fundamental, mas como consequência das condições de preparação e observação⁹. O desconhecimento das fases, ligado à impossibilidade de medi-las sem destruir o estado, fundamenta o caráter probabilístico das previsões.

III.4 Generalização das relações de imprecisão e emergência do princípio

Na parte central da carta, Heisenberg generaliza as considerações para pares arbitrários de grandezas canônicas, formulando relação qualitativa entre erros médios associados a grandezas conjugadas. Embora apareçam expressões que antecipam $\Delta p \cdot \Delta q \approx h$, a argumentação permanece ancorada em considerações físicas e experimentais. Importa notar que, nesse estágio, o que seria denominado “Princípio da Incerteza” ainda não assume a forma de desigualdade rigorosa, nem a de princípio geral explicitamente formulado. Trata-se, antes, de uma regularidade empírico-conceitual, extraída da análise das condições de medição e formulada em termos de ordens de grandeza¹⁰.

III.5 Observação, pacotes de onda e a construção da “órbita”

Na transição do micro para o macro, Heisenberg critica a tentativa de Schrödinger de recuperar órbitas clássicas por pacotes de onda estáveis. Em oposição, ele propõe que a noção de órbita emerge como resultado de uma sequência de observações, onde cada uma das quais redefine o estado do sistema dentro de certos limites de imprecisão. Essa concepção antecipa elementos centrais da interpretação de Copenhague, em particular a ideia de que a observação desempenha papel constitutivo na definição dos fenômenos físicos. No entanto, na

⁹ Jammer observa que essa concepção distingue a posição inicial de Heisenberg de leituras ontológicas mais fortes do indeterminismo quântico, que se consolidariam posteriormente. Na carta, a ênfase recai sobre limites epistêmicos ligados à prática experimental (Jammer, *op. cit.*).

¹⁰ Camilleri (2009) enfatiza que a formalização posterior envolve mudança de estatuto: de heurística operacional para princípio estrutural. A carta de fevereiro de 1927 documenta esse estágio intermediário, no qual o princípio ainda está em construção (Camilleri, “Heisenberg and the Interpretation of Quantum Mechanics”, *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*).

carta, essa ideia ainda é apresentada de forma pragmática e operacional, sem o aparato filosófico mais elaborado que caracterizaria formulações posteriores.

É importante, contudo, explicitar que a concepção de observação mobilizada por Heisenberg, neste momento, não coincide plenamente com a noção de complementaridade posteriormente formulada por Niels Bohr. Na carta de fevereiro de 1927, a observação aparece predominantemente associada à perturbação física do sistema provocada pelo ato de medir, como evidenciado pelo papel do efeito Compton e pela discussão em torno do microscópio de raios gama. Trata-se, portanto, de uma abordagem de caráter essencialmente operacional, centrada nas limitações impostas pelos procedimentos experimentais. Em contraste, a complementaridade proposta por Bohr desloca o foco da perturbação para as condições de possibilidade da descrição dos fenômenos, enfatizando a necessidade de utilizar arranjos experimentais, mutuamente exclusivos, para dar conta da totalidade dos aspectos observáveis. Como destacado na literatura historiográfica, essas posições não são equivalentes, nem autorizam a leitura de uma “interpretação de Copenhague” homogênea e já plenamente consolidada naquele momento (Beller, 1999; Camilleri, 2009; Howard, 2004). Nesse sentido, a carta analisada permite identificar um momento anterior à consolidação dessa articulação conceitual¹¹.

III.6 Estados, medições sucessivas e linearidade da teoria

Nos trechos finais, Heisenberg discute medições sucessivas e a redefinição do estado quântico após cada observação. Ao afirmar que, após uma medida, a descrição do sistema deve ser substituída por nova solução da equação de onda compatível com o resultado, antecipa, mesmo que sem axiomatização, a ideia de projeção do estado. A justificativa, baseada na linearidade das equações quânticas, revela a preocupação em preservar a coerência formal da teoria, ao mesmo tempo em que se reconhece o papel ativo do experimento na seleção das soluções fisicamente relevantes¹².

¹¹ Beller (1999), Howard (2004) e Camilleri (2009) destacam que, nesse período, Heisenberg desenvolve uma concepção de observação centrada na perturbação física associada ao ato de medir, que não coincide plenamente com a noção de complementaridade posteriormente formulada por Bohr. Embora ambas compartilhem a rejeição de descrições clássicas completas do sistema quântico, diferem quanto ao estatuto epistemológico atribuído à observação, sendo a abordagem de Heisenberg mais diretamente vinculada a procedimentos experimentais, enquanto a de Bohr enfatiza as condições de possibilidade da descrição dos fenômenos.

¹² Jammer destaca que esse raciocínio constitui precursor do “postulado da redução do pacote de ondas”, explicitado em trabalhos posteriores (Jammer, *op. cit.*).

III.7 Considerações finais da carta e caráter provisório¹³

A carta encerra-se com uma observação reveladora, na qual Heisenberg reconhece que suas reflexões podem parecer antigas, vagas ou insuficientemente fundamentadas¹⁴. Essa autocrítica reforça o caráter exploratório do texto, contrastando com o tom mais sistemático do artigo publicado semanas depois. A partir da perspectiva histórico-epistemológica, esse contraste mostra a passagem de um discurso de trabalho, aberto à crítica e à revisão, para uma exposição pública, já estabilizada¹⁵.

Nesse contexto, o papel de Wolfgang Pauli não se limita ao de interlocutor passivo, mas deve ser compreendido como parte ativa do processo de elaboração conceitual. Sua atuação crítica, amplamente reconhecida na historiografia, contribuiu para tensionar, refinar e testar as formulações de Heisenberg, reforçando o caráter dialógico da gênese do princípio.

IV. Carta e artigo de 1927: continuidades, reformulações e consolidação do Princípio da Incerteza

A publicação, em março de 1927, do artigo *Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik*¹⁶ marca a estabilização discursiva do Princípio da Incerteza no corpus da Mecânica Quântica. Em comparação com a carta enviada a Pauli poucas semanas antes, o artigo apresenta estrutura argumentativa mais sistemática, vocabulário selecionado e estratégia retórica orientada à exposição pública e à defesa conceitual do

¹³ Após discussões e várias controvérsias, em determinadas leituras realistas, como a de Bunge (1987), argumenta-se que conceber o Princípio de Heisenberg como um princípio geral e característico do formalismo matemático da Mecânica Quântica é muito mais aceitável que concebê-lo à luz de uma heurística operacional, decerto válida no curso da discussão histórica, mas não sustentável para a atribuição de validade enquanto princípio geral. A esse propósito convém citarmos Bunge. “Os adeptos da escola de Copenhague propõem não somente uma, mas várias interpretações das desigualdades de Heisenberg, o que está a indicar a imprecisão com que formulam seus princípios. Os mais populares são: (a) as dispersões são erros de medida e (b) as dispersões são incertezas (nas mentes de alguns sujeitos) referentes à posição e ao impulso do objeto quântico. Tais interpretações, porém, são ilegítimas, uma vez que as premissas das quais se deduz o teorema de Heisenberg não se referem ao observador ou aos seus meios de observação. O teorema é completamente geral: vale para um micro objeto material qualquer, seja ele livre, seja sujeito à medição. Além disso, o teorema não pode referir-se a nenhum estado mental do observador, uma vez que a Mecânica Quântica não se ocupa de físicos, mas daquilo que os físicos estudam” (Bunge, 1987, p. 97).

¹⁴ “vielleicht alt oder nicht genügend begründet” (“talvez antigas ou não suficientemente fundamentadas”).

¹⁵ Há fortes indícios de que Pauli respondeu a essa carta antes da publicação do artigo. Em um cartão-postal datado de 02/03/1927, Heisenberg registra que está “respondendo a algumas perguntas de Pauli”. Poucos dias depois, em 09/03/1927, envia-lhe o manuscrito do artigo, observando que o texto era, no essencial, idêntico ao conteúdo da carta anterior. Esse encadeamento sugere que questões levantadas por Pauli integraram a elaboração final do princípio, embora a resposta não esteja preservada ou publicada de forma acessível. Cf. *Wissenschaftlicher Briefwechsel mit Bohr, Einstein, Heisenberg u. a.*; Mehra & Rechenberg, 2000.

¹⁶ “Sobre o conteúdo intuitivo da cinemática e Mecânica Quântica” - *Revista “Zeitschrift für Physik”*; v. 43, p. 172-198, 1927.

princípio. A análise comparativa permite identificar continuidades e deslocamentos no estatuto epistemológico atribuído à incerteza.

IV. 1 Continuidade conceitual: medição, perturbação e observabilidade

Observa-se continuidade inequívoca no núcleo do argumento, ou seja, em ambos os textos, o ponto de partida é a redefinição do significado físico das grandezas clássicas por procedimentos concretos de medição. Posição e momento deixam de ser propriedades simultaneamente atribuíveis ao sistema e passam a ser definidos operacionalmente, em função das condições de observação.

O experimento mental do microscópio, já esboçado na carta por meio da discussão sobre resolução óptica e efeito Compton, reaparece no artigo de forma mais organizada e assume papel central. A perturbação introduzida pelo ato de medir permanece como elemento fundamental para compreender limitações na atribuição simultânea de valores precisos a grandezas conjugadas. Assim, o artigo não introduz nova ideia decisiva, mas reorganiza e depura argumentos já presentes na correspondência. Historicamente, essa continuidade reforça que o princípio não surge abruptamente no texto publicado, mas resulta de elaboração prévia em que a carta desempenha papel decisivo.

IV. 2 Da heurística operacional à formulação de um princípio geral

Apesar da continuidade, a comparação entre os dois textos sugere uma mudança relevante no estatuto epistemológico atribuído à incerteza. Na carta, as relações de imprecisão aparecem como resultados heurísticos, expressos em erros médios, ordens de grandeza e exemplos variados; o texto assume caráter exploratório. No artigo, essas considerações são reorganizadas de modo a sustentar a formulação de um princípio geral, no qual a relação entre incertezas de posição e momento é apresentada como expressão necessária das condições de observabilidade na descrição quântica. Ainda que a dedução matemática rigorosa da desigualdade não seja o foco, a argumentação confere à incerteza caráter estrutural e não apenas operacional.

Essa transição, da heurística experimental à formulação de um princípio geral, corresponde a um passo importante de consolidação conceitual. A partir daí, uma limitação associada a práticas de medição passa a ser apresentada como traço constitutivo da descrição quântica, independentemente de detalhes experimentais específicos.

IV. 3 Reorganização retórica e seleção de exemplos

Outro aspecto da transformação diz respeito à reorganização retórica. A carta mobiliza múltiplos exemplos e linhas de raciocínio: microscopia, efeito Compton, estados estacionários, pacotes de onda, fluorescência de ressonância, experimentos do tipo Stern-Gerlach, entre outros. Essa diversidade expressa o caráter exploratório do texto. Por outro lado, no artigo, a

pluralidade é reduzida. Heisenberg seleciona poucos exemplos paradigmáticos, em especial o microscópio de raios gama, e os desenvolve com maior unidade. A supressão de exemplos secundários e a concentração em um cenário privilegiado reforçam a força persuasiva do texto e favorecem sua recepção. Historiograficamente, essa seleção integra um processo de alinhamento discursivo em que alguns argumentos são elevados à condição de exemplares, enquanto outros são relegados.

IV.4 Estatuto da estatística: do limite epistêmico ao traço estrutural

Uma diferença importante refere-se ao tratamento da estatística. Na carta, Heisenberg enfatiza que o caráter estatístico decorre da impossibilidade prática e conceitual de conhecer certas grandezas (como as fases), haja vista as limitações experimentais. A estatística aparece, assim, como consequência de restrições epistêmicas associadas à prática. No artigo, embora a dimensão operacional permaneça, o caráter estatístico passa a ser apresentado de forma mais geral, como expressão das condições de observabilidade no domínio quântico. O deslocamento é sutil, mas significativo; a estatística deixa de ser apenas efeito colateral da prática e passa a figurar como componente estrutural da descrição. Esse movimento contribuiu para leituras posteriores que enfatizam indeterminismo ontológico, ainda que tal leitura não esteja explicitamente formulada por Heisenberg nesse momento.

IV.5 Do diálogo privado à exposição pública

A diferença de tom entre os textos é igualmente reveladora. A carta é marcada por hesitações, autocríticas e convites à “crítica impiedosa” de Pauli, assumindo um diálogo em andamento. No artigo, esse caráter dialógico é substituído por exposição mais assertiva; ambiguidades são suprimidas em favor de apresentação estável e autoritativa. Reconhecer essa passagem é crucial para evitar leituras anacrônicas que projetam sobre a carta o estatuto conceitual que o princípio só adquire plenamente após sua publicação e recepção.

IV.6 Síntese comparativa

A Tabela 1 sintetiza diferenças e continuidades identificadas.

Tabela 1 – Carta a Pauli (fev. 1927) e artigo de 1927: comparação conceitual.

Aspecto	Carta	Artigo Publicado
<i>Estatuto do argumento</i>	Heurístico e exploratório	Sistemático e estabilizado
<i>Papel da medição</i>	Central, com múltiplos exemplos	Central, com exemplos selecionados
<i>Formulação da incerteza</i>	Relações qualitativas de erro	Princípio geral

<i>Estatística</i>	Consequência epistêmica	Traço estrutural
<i>Tom discursivo</i>	Dialógico e provisório	Assertivo e público

Fonte: Elaboração dos autores, a partir de fontes primárias.

IV.7 Implicações histórico-epistemológicas

A análise comparativa indica que o Princípio da Incerteza não deve ser entendido como consequência imediata de uma estrutura matemática abstrata, mas como produto de construção conceitual progressiva. A carta de fevereiro de 1927 documenta estágio crucial, no qual argumentos operacionais, reflexões epistemológicas e experimentos mentais são mobilizados para conferir sentido físico ao formalismo. O artigo, por sua vez, estabiliza esse processo, convertendo uma heurística operacional em princípio geral. Reconhecer essa transição contribui para uma compreensão historicamente mais informada da Mecânica Quântica e ilumina debates epistemológicos sobre a gênese e a consolidação de princípios científicos.

V. Discussão epistemológica: a gênese do Princípio da Incerteza como processo histórico

A interpretação, aqui desenvolvida, que enfatiza o caráter operacional e epistêmico da gênese do Princípio da Incerteza, não é a única presente na historiografia. Parte da literatura tem interpretado o princípio em termos mais próximos de um indeterminismo ontológico, associado a uma ruptura mais radical com a Física Clássica. Por outro lado, autores como Beller (1999) e Camilleri (2009) destacam o caráter discursivo e argumentativo do processo, enquanto análises de cunho filosófico problematizam o alcance do chamado “operacionalismo” heisenberguiano. A presente abordagem se alinha a essa segunda vertente, ao privilegiar a reconstrução histórica dos argumentos em seu contexto de produção, sem pressupor uma leitura ontológica forte do princípio em sua formulação inicial.

A análise da carta de Heisenberg a Pauli, cotejada com o artigo de 1927, permite avançar em compreensão historicamente mais refinada do Princípio da Incerteza. Em contraste com narrativas retrospectivas que o apresentam como consequência direta do formalismo, o exame de fontes primárias evidencia um processo de elaboração conceitual, ancorado em reflexões operacionais sobre medição e em questionamentos sobre o significado físico de categorias clássicas.

Epistemologicamente, a carta registra um estágio, no qual a incerteza ainda não tem estatuto de princípio geral, mas emerge como regularidade vinculada às condições concretas de observação. As limitações na atribuição simultânea de valores precisos a variáveis conjugadas são compreendidas como consequências dessas condições e não como propriedades ontológicas imediatamente atribuíveis aos sistemas microscópicos. Nesse sentido, a incerteza

aparece inicialmente como limite epistêmico-operacional, ligado à prática experimental e à interação inevitável entre sistema e aparato.

A centralidade das questões discutidas na carta de fevereiro de 1927 e o artigo publicado em março tornam-se ainda mais evidentes, quando consideradas à luz dos debates epistemológicos antes¹⁷ e durante a Conferência de Solvay. Como evidenciado nas análises contemporâneas das atas da Conferência de Solvay (Bacciagaluppi; Valentini, 2009), os debates entre Bohr e Einstein não apenas ilustram divergências epistemológicas profundas, mas também revelam que a interpretação da Mecânica Quântica permaneceu aberta e em disputa, contrariando narrativas posteriores que sugerem uma estabilização rápida e consensual.

Esses debates evidenciam que problemas como a definição de grandezas físicas, o papel da medição e os limites da descrição clássica não eram apenas questões técnicas, mas desafios epistemológicos fundamentais. Como argumenta Bohr (1983), a impossibilidade de uma descrição simultânea completa em termos clássicos exige uma reformulação das condições de inteligibilidade da teoria. Nesse sentido, a carta analisada neste artigo pode ser interpretada como um momento anterior à explicitação plena dessas questões, no qual tais problemas ainda aparecem formulados em termos predominantemente operacionais, mas já apontam para as tensões epistemológicas que seriam tematizadas de forma mais sistemática nos debates de Solvay.

A passagem da carta ao artigo evidencia deslocamento epistemológico, pois no texto publicado, argumentos operacionais são reorganizados e elevados ao estatuto de princípio geral, aplicável independentemente de detalhes experimentais. Esse ajustamento discursivo favorece a interpretação da incerteza como traço estrutural da teoria e abre caminho para leituras posteriores de viés ontológico. A análise histórica sugere, contudo, cautela, uma vez que essa interpretação não é obrigatória e nem totalmente corroborada pelas formulações originais de Heisenberg.

O episódio analisado permite identificar dinâmica recorrente na História da Ciência, no qual princípios frequentemente se originam como heurísticas locais, vinculadas a problemas concretos, e adquirem estatuto mais abstrato por processos de reformulação conceitual, seleção retórica e validação comunitária. A correspondência privada, os seminários em Copenhague e os debates públicos, culminando em Solvay (1927), compõem esse processo de estabilização.

A partir da perspectiva historiográfica, a análise reforça abordagens que concebem a ciência como prática argumentativa e coletiva, na qual conceitos são negociados, testados e

¹⁷ No livro dedicado a W. Pauli (Theoretical Physics in the twentieth century: A memorial volume to Wolfgang Pauli), editado por M. Fierz e V. F. Weisskopf (1960 – primeira edição), na página 40, encontramos o relato descrito por Heisenberg, dando conta de uma reunião (Pauli, Heisenberg e Bohr), em junho de 1927, cujo objetivo era conciliar as opiniões divergentes entre eles, em especial a insatisfação de Bohr com a inconsistência entre a complementaridade e o Princípio da Incerteza descrito no artigo.

reformulados em contextos institucionais específicos. Desse modo, a carta de fevereiro de 1927 evidencia que a construção do Princípio da Incerteza não pode ser adequadamente compreendida sem considerar o papel do diálogo crítico, a exemplo da interação entre Heisenberg e Pauli, e a centralidade de preocupações epistemológicas no desenvolvimento da Mecânica Quântica. Além disso, o estudo recomenda cautela frente a leituras anacrônicas que projetam sobre textos iniciais significados consolidados apenas posteriormente. Reconhecer o caráter provisório e situado dessas formulações contribui para compreensão mais precisa tanto da história da Mecânica Quântica quanto da natureza de princípios científicos.

Do ponto de vista do Ensino de Física, os resultados desta análise sugerem a relevância de abordagens que integrem a HFC à discussão de conceitos fundamentais da Mecânica Quântica. Em particular, a reconstrução da gênese do Princípio da Incerteza, a partir de fontes primárias, permite problematizar interpretações simplificadas e promover uma compreensão mais crítica dos limites das descrições clássicas. Sequências didáticas que explorem documentos históricos, a exemplo da carta aqui analisada, podem favorecer o desenvolvimento da argumentação científica, a reflexão sobre a Natureza da Ciência e a compreensão do papel da experimentação e da linguagem na construção do conhecimento físico.

VI. Considerações finais

À luz do centenário do artigo de 1927, este trabalho propôs uma reconstrução histórico-epistemológica da gênese do Princípio da Incerteza a partir da análise comentada da correspondência entre Heisenberg e Pauli. Ao tomar como fonte central a carta de fevereiro de 1927 e cotejá-la com o artigo publicado semanas depois, buscou-se evidenciar que o princípio não emergiu como dedução imediata do formalismo matemático, mas como resultado de elaboração conceitual progressiva, ancorada em reflexões operacionais sobre medição, observabilidade e alcance de categorias clássicas.

A análise situou a carta no contexto intelectual da Mecânica Quântica entre 1925 e 1927, marcado por tensões entre programas teóricos e debates sobre o significado físico de grandezas fundamentais. Nesse cenário, mostrou-se que as reflexões de Heisenberg assumem, inicialmente, caráter heurístico, no qual relações de imprecisão aparecem associadas a condições de observação e a limitações da prática experimental. O exame dos núcleos conceituais evidenciou a centralidade de definições operacionais, a crítica à noção de órbita eletrônica e o papel constitutivo da medição na descrição quântica. Esses elementos, ainda formulados de modo exploratório na carta, são reorganizados no artigo de 1927, no qual a incerteza adquire estatuto de princípio geral. Essa transformação não corresponde à ruptura conceitual, mas a processo de seleção, depuração e formalização discursiva.

A identificação de um intercâmbio epistolar efetivo entre Werner Heisenberg e Wolfgang Pauli, nos dias imediatamente anteriores à publicação do artigo de 1927, reforça o caráter dialógico e coletivo dessa gênese. Ainda que a resposta de Pauli não esteja preservada,

os indícios documentais disponíveis sugerem que suas questões e objeções integraram o processo final de elaboração conceitual do Princípio da Incerteza, confirmando o papel da correspondência científica como espaço intermediário de construção do conhecimento. Esse diálogo privado articula-se, poucos meses depois, às discussões públicas da Quinta Conferência de Solvay, nas quais o princípio recém-formulado foi submetido a intenso escrutínio conceitual. Os debates severos entre Albert Einstein e Niels Bohr, em torno do estatuto da incerteza, da completude da teoria e do papel da observação, evidenciam que a consolidação do Princípio da Incerteza não resultou de um consenso imediato, mas de um processo prolongado de argumentação, crítica e negociação conceitual. Considerados em conjunto, o intercâmbio epistolar, os seminários em Copenhague e os debates de Solvay ilustram, de forma exemplar, a dinâmica histórica, por meio da qual conceitos fundamentais da Física Moderna emergem, são testados publicamente e se estabilizam no interior da comunidade científica.

A partir da perspectiva histórico-epistemológica, este estudo ajuda a tornar mais precisa a compreensão do Princípio da Incerteza, ao substituir leituras retrospectivas excessivamente formalistas por uma abordagem que enfatiza seu caráter processual, argumentativo e situado.

A Mecânica Quântica é, certamente e muito justamente, uma teoria que foi construída coletivamente e se revela extraordinariamente bem-sucedida, no que concerne à descrição da realidade física ao nível microscópico. No entanto, mesmo o seu retumbante sucesso não deixou de causar incômodo a cientistas e filósofos realistas pelo exagerado caráter instrumental, mediante o qual seus resultados foram e ainda são habitualmente interpretados em vários círculos de estudiosos. Para dar um único e emblemático exemplo de explicitação dessa situação, Bell escreveu um vibrante e provocativo artigo, publicado em 1990, para um congresso em Erice, Itália de 4 a 12 de agosto de 1989, com o expressivo título *Against measurement (Contra a medição)*, no qual expõe uma lista variada de palavras/conceitos que são veiculados por excelentes livros de Mecânica Quântica, avaliando como o pior¹⁸ deles o termo *measurement*. Essa situação de ambiguidade argumentada por Bell em relação a uma teoria que, à época, já tinha mais de 60 anos formulada, parece ainda persistir às vésperas de completar um século de idade.

Nesse sentido, a análise aqui proposta não apenas contribui para a historiografia da Mecânica Quântica, mas também oferece subsídios para uma abordagem epistemologicamente mais rigorosa no ensino de seus fundamentos. E para reforçar essa recomendação de que assuntos complexos e eternamente recorrentes se constituam em

¹⁸ “Here are some words which, however legitimate and necessary in application, have no place in a *formulation* with any pretension to physical precision: *system, apparatus, environment, microscope, macroscopic, reversible, irreversible, observable, information, measurement*. [...] On this list of bad words from good books, the worst of all is ‘measurement’.” (BELL, 1990, p. 34). “Aqui estão algumas palavras as quais, no entanto legítimas e necessárias para aplicação, não tem lugar em uma formulação com alguma pretensão de precisão física: *sistema, aparato, ambiente, microscópico, macroscópico, reversível, irreversível, observável, informação, medida* [...] sobre esta lista de palavras ruins encontradas em bons livros, a pior de todas é ‘medida’”. (tradução nossa).

desafios para uma educação científica aberta para novas perspectivas, Bell no final de seu artigo cita Max Weber como um exercício de uma Utopia necessária¹⁹, sendo essa uma das mais importantes funções da educação e, em especial, da educação científica.

Referências

BACCIAGALUPPI, G.; VALENTINI, A. **Quantum Theory at the Crossroads**: reconsidering the 1927 Solvay Conference. Cambridge: Cambridge University Press, 2009.

BELL, J. S. Against Measurement, **Physics World**, p. 33-40, 1992.

BELLER, Mara. **Quantum dialogue**: the making of a revolution. Chicago: University of Chicago Press, 1999.

BOHR, N. Discussion with Einstein on epistemological problems in atomic physics. *In*: WHEELER, J. A.; ZUREK, W. H. (Org.). **Quantum Theory and Measurement**. Princeton: Princeton University Press, 1983. p. 200-241.3

BUNGE, M. **Epistemologia**: curso de atualização. Tradução: Claudio Navarra. 2. ed. São Paulo: T. A Queiroz, 1987.

CAMILLERI, K. Heisenberg and the interpretation of quantum mechanics: the physicist as philosopher. **Studies in History and Philosophy of Modern Physics**, Oxford, v. 40, n. 3, p. 290-302, 2009.

CASSIDY, D. C. Beyond uncertainty: Werner Heisenberg and the dynamics of scientific change. **Physics in Perspective**, Basel, v. 22, n. 1, p. 1-29, 2020.

CASSIDY, D. C. **Uncertainty**: the life and science of Werner Heisenberg. New York: W. H. Freeman, 1992.

FREIRE JR., O.; PESSOA JR., O. (Orgs.). **Teoria quântica**: estudos históricos e implicações culturais. Campina Grande: EDUEPB, 2011.

¹⁹ “...All historic experience confirms that men might not achieve the possible if they had not, time and time again, reached out for the impossible” (Max Weber apud Bell, 1990, p. 40). “...Todas as experiências históricas confirmam que os homens talvez não alcançassem o possível se não tivessem, repetidas vezes, almejado o impossível” (tradução nossa).

HOWARD, D. Who invented the “Copenhagen interpretation”? A study in mythology. **Philosophy of Science**, v. 71, n. 5, p. 669-682, 2004.

JAMMER, M. **The philosophy of quantum mechanics**: the interpretations of quantum mechanics in historical perspective. New York: John Wiley & Sons, 1974.

KRAGH, H. **Quantum Generations**: A History of Physics in the Twentieth Century. Princeton: Princeton University Press, 1999.

MARTINS, R. A. **Introdução à história e filosofia da ciência**. São Paulo: Livraria da Física, 2006.

MEHRA, J.; RECHENBERG, H. **The historical development of quantum theory**. v. 6. The completion of quantum mechanics 1926-1941. New York: Springer, 2000.

MONTEIRO, M. A.; NARDI, R. História e filosofia da ciência no ensino de física moderna. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 39, n. 1, e1403, 2017.

OSTERMANN, F; RICCI, T. Interpretações da Mecânica Quântica no ensino de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 26, n. 1, p. 15-24, 2004.

PAIS, A. **Inward bound**: of matter and forces in the physical world. Oxford: Oxford University Press, 1982.

PEDUZZI, L. O. Q. Sobre a utilização didática da História da Ciência. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 28, n. 3, p. 426-443, 2011.

PESSOA JR., O. **Conceitos de física quântica**. 2. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2006.

VIDEIRA, A. A. P. História e filosofia da ciência: campos interdisciplinares. **Scientiae Studia**, São Paulo, v. 11, n. 2, p. 351-368, 2013.



Direito autoral e licença de uso: Este artigo está licenciado sob uma [Licença Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).