

Algumas considerações sobre as reflexões filosóficas de Heisenberg sobre a física de partículas elementares

Antonio Augusto Passos Videira¹

Bruno Nobre²

Recibido: 21 de enero de 2022

Aceptado: 8 de agosto de 2022

Resumo: Neste artigo, apresentamos uma descrição da filosofia das partículas elementares elaborada por Heisenberg. Além de descrevermos as suas teses sobre a natureza das chamadas partículas elementares, procuraremos, também, compreender os motivos do físico alemão para enviar para o *Festschrift* do 70.º aniversário de Heidegger um texto complicado sob o ponto de vista científico e sem relação direta com a filosofia do autor de *Ser e Tempo*. A nossa hipótese é que Heisenberg pretendeu realizar um duplo movimento. Ao mesmo tempo em que se posicionava a favor do estreitamento das relações entre ciência e filosofia, Heisenberg negava-se a aceitar alguns dos posicionamentos negativos de Heidegger em relação à ciência, a qual, segundo ele, estaria dominada pela *Gestell*.

Palavras-chave: Werner Heisenberg; filosofia da ciência; atomismo; Martin Heidegger.

Title: Some considerations on Heisenberg's philosophical reflections on elementary particle physics

Abstract: In this article, we present a description of the philosophy of elementary particles developed by Werner Heisenberg. In addition to describing his theses on the nature of the so-called elementary particles, we will also try to understand the German physicist's motives for sending to Heidegger's 70th birthday *Festschrift* a complicated text from the scientific point of view and with no direct relationship to the philosophy of the author of *Sein und Zeit*. Our hypothesis is that Heisenberg intended to perform a double movement. While positioning himself in favour of closer relations between science and philosophy, Heisenberg refused to accept some of Heidegger's negative positions in relation to science, which, according to the latter, was already dominated by the *Gestell*.

Key words: Werner Heisenberg; philosophy of science; atomism; Martin Heidegger.

1. Introdução: a relação entre Heisenberg e Heidegger

Não é inusual que cientistas participem de volumes comemorativos de filósofos, ainda mais quando estes últimos mostram um interesse autêntico pela ciência. Foi este o caso com Martin Heidegger, homenageado, em 1949, quando completou 60 anos, com um volume intitulado *Martin Heideggers Einfluss auf die Wissenschaften* (A influência de Martin

¹ Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Brasil.

² Faculdade de Filosofia e Ciências Sociais, Universidade Católica Portuguesa. Braga, Portugal.

✉ aavideira@gmail.com |  0000-0003-4369-9221

✉ bruno.nobresj@gmail.com |  0000-0002-1400-5270

Passos Videira, A. A., & Nobre, B. Algumas considerações sobre as reflexões filosóficas de Heisenberg sobre a física de partículas elementares. *Epistemología e Historia de la Ciencia*, 6(2), 42–57. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/afjor/article/view/36486>



Heidegger sobre as ciências), no qual encontramos contribuições de cientistas naturais e médicos (Weizsäcker, 1949). Nesse livro, a física fez-se representar por Weizsäcker com um breve texto, de apenas três páginas, intitulado “*Beziehungen der theoretischen Physik zu Denken Heideggers*” (“Relações da física teórica com o pensamento de Heidegger”). Apesar de conhecer pessoalmente Heidegger, Heisenberg não está entre os autores do volume publicado em 1949. Num volume similar publicado dez anos mais tarde, encontramos um contributo do físico alemão, um texto, intitulado “*Grundlegende Voraussetzungen in der Physik der Elementarteilchen*” (“Pressupostos fundamentais na física de partículas elementares”), com sete páginas, mas denso e complexo, na medida em que contém referências a questões muito técnicas da física de partículas dificilmente acessíveis aos filósofos (Heisenberg, 1959/1984a). A complexidade do artigo é tal que faz sentido perguntar: teria o homenageado sido capaz de compreender o seu conteúdo? Por que razão terá Heisenberg enviado para o volume comemorativo do 70.º aniversário de Heidegger um artigo técnico, ainda que sem equações matemáticas, mas com um amplo uso de conceitos físicos e matemáticos? Ao compararmos o conteúdo deste artigo com outros escritos da mesma altura sobre o tema das partículas elementares, fica-se com a impressão de que Heisenberg procurou explicitar sua própria posição com relação a problemas que também interessavam ao filósofo alemão, mesmo se os dois assumiam posições distintas no que diz respeito à relação entre ciência e filosofia.

Antes de prosseguirmos, vale a pena mencionar algumas informações, ainda que breves e incompletas, sobre as relações entre os dois. A historiografia ignora as circunstâncias em que Heidegger e Heisenberg se conheceram (Carson, 2011). Até onde é possível verificar, o filósofo e o físico alemães encontraram-se apenas duas vezes ao longo de suas vidas. Uma em 1935, um encontro privado e reunindo poucas pessoas, e outra em 1953, por ocasião de uma conferência. Mesmo a troca de cartas entre ambos parece ter sido esporádica. Contudo, a correspondência de Heidegger com terceiros sugere que o filósofo alemão gostaria de ter tido mais encontros com Heisenberg do que realmente teve (Carson, 2010). Apesar dos poucos encontros que tiveram, há comentadores de Heisenberg, como Heelan, que afirmam que eles se respeitavam e se estimavam (Heelan, 2016).

Em muitos aspectos, as visões de mundo de Heisenberg e de Heidegger eram semelhantes. Ambos eram profundamente vinculados à pátria e à cultura alemãs, nenhum dos dois foi embora da Alemanha durante o regime nazista e a Segunda Guerra Mundial; ambos eram críticos do pragmatismo, podendo ser considerados como pensadores conservadores. Além desses aspectos, os dois tinham amigos e conhecidos em comum. O exemplo porventura mais significativo dessas amizades em comum foi Jünger. A menção a Jünger justifica-se, ao menos, pelo seguinte episódio. Os três foram convidados, poucos anos após o fim da Segunda Guerra Mundial, para participar no projeto editorial de uma revista, destinada a servir como contraponto à influência cultural norte-americana, a qual seria inevitável no período do pós-guerra (Schöning, 2014).

Não obstante, Heisenberg e Heidegger mantiveram diferenças notáveis, tanto na sua atitude pública como no que concerne ao conteúdo do seu pensamento. A mais conhecida das diferenças entre os dois autores no que diz respeito ao posicionamento público consiste no fato de Heisenberg nunca ter pertencido ao partido nacional-socialista ou qualquer outra organização nazista, ao contrário de Heidegger, que foi reitor da Universidade de Freiburg em 1934. No âmbito do pensamento, vale a pena repetir que

Heisenberg não nutria, ao contrário do seu conterrâneo, uma atitude de desconfiança em relação à ciência.

A literatura, que discute as relações entre o físico e o filósofo, sugere que o mais importante defensor da existência de uma proximidade filosófica entre Heisenberg e Heidegger foi Weizsäcker.³ Num texto póstumo escrito para homenagear o físico e o filósofo alemães, Weizsäcker afirma que o diálogo entre ambos, que poderia ser natural, tendo em vista que ambos tinham uma mesma preocupação fundamental – a essência comunitária (*Wesengemeinschaft*) da verdade e beleza – nunca chegou realmente a acontecer.

Entre os comentadores de Heisenberg há uma, em especial, que se preocupou em compreender as relações entre os pensamentos de Heidegger e Heisenberg; trata-se da historiadora da ciência norte-americana Carson, autora de uma tese de doutorado e de um livro, além de vários artigos, dedicados à análise do papel público desempenhado pelo físico alemão entre o final da Segunda Guerra Mundial e a sua morte (Pöggeler, 1993). Num artigo, publicado poucos anos atrás, Carson afirma o seguinte.

Em um ponto crítico, vemos os dois homens compartilhando um conjunto de preocupações: com causalidade e objetividade, com previsão e controle, com a possibilidade e os limites da ciência. Ambos marcaram sua distância com relação à ciência do século XIX. No entanto, eles divergiram em sua reação: onde Heidegger resistiu à modernidade, Heisenberg permaneceu dentro do seu enquadramento (Carson, 2011, pp. 526-527).

Ao contrário de Heidegger, Heisenberg acreditava que também a ciência, e não apenas a filosofia, poderia dar um contributo importante no sentido de evitar que a humanidade mergulhasse em tempos ainda mais sombrios do que aqueles vividos durante o período do Nazismo. Heisenberg defendia não o abandono da ciência, mas sim a recuperação dos seus laços com a filosofia.

No entanto, a principal diferença entre Heidegger e Heisenberg é onde eles procuraram por redenção, e o ponto de estudar o seu encontro compensa finalmente. Heidegger buscou a salvação completamente fora da ciência, [buscou] em uma filosofia que pensa à sua maneira. Heisenberg acreditava que a ciência tinha recursos dentro de si para enfrentar a crise, mesmo que a autolimitação fosse parte de sua resposta. A mecânica quântica pode estabelecer limites para a objetividade, mas isto, segundo Heisenberg, ainda era ciência. Criticar concepções clássicas de ciência, mesmo substituindo-as dentro de limites, poderia abrir as portas para uma compreensão mais diferenciada do projeto científico em geral (Carson, 2011, p. 411).

Neste artigo, oferecemos uma resposta para a questão, formulada acima, sobre as razões que terão levado o físico alemão a contribuir com um artigo tão complexo para o volume comemorativo do 60.º aniversário de Heidegger. Elaboramos uma resposta com base em artigos e cartas do próprio autor. Quando necessário, recorreremos à literatura secundária. Na nossa tentativa de formular uma hipótese explicativa das opções de Heisenberg, será necessário determinar os motivos que o levaram a escrever sobre partículas elementares, uma área complexa da física, seja devido à linguagem matemática que obrigatoriamente deve ser usada, seja pelo custo elevado do instrumental necessário

³ Heisenberg e Weizsäcker foram próximos por décadas. A sua aproximação começou ainda na década de 1920 quando Weizsäcker era adolescente e alimentava pretensões de estudar filosofia, no que foi demovido por Heisenberg (Cassidy, 2015; Weizsäcker, 1983).

para a realização das experiências com as quais são obtidos os dados empíricos para a formulação de modelos acerca da estrutura e do comportamento da matéria.

2. Heisenberg e uma perspectiva filosófica sobre a física das partículas elementares

Na altura em que enviou a sua contribuição para o *Festschrift* de Heidegger, Heisenberg tinha finalizado um modelo, mais conhecido como *Weltformel* (fórmula universal, em tradução livre), com o qual procurava determinar as bases de uma descrição unificada para as partículas elementares (Rechenberg, 1992; Blum, 2019). A conferência pública em que anunciou a sua proposta foi amplamente coberta pela imprensa da época.

As teses de Heisenberg foram muito mal-recebidas pelos seus próprios colegas físicos, até mesmo por Pauli, que tinha participado em algumas etapas do desenvolvimento da *Weltformel*. Pouco tempo depois da conferência de Heisenberg, Pauli dirigiu duras críticas ao seu colega, além de renunciar publicamente à sua colaboração nesse projeto (Blum, 2019). Nem mesmo o abandono do seu mais importante interlocutor científico desde o início da década de 1920, quando ainda era um estudante na Universidade de Munique, fez com que Heisenberg abandonasse a busca por uma teoria unificada capaz de descrever o conjunto das partículas subatômicas. Apesar de os seus esforços não terem sido bem-sucedidos, Heisenberg manteve-se sempre fiel às suas (Cassidy, 2015; Cushing, 1986). Como afirma Abraham Pais, em *Inward Bound*, Heisenberg nunca vacilou na crença de que as suas ideias estavam corretas (Pais, 1986).

A trajetória de Heisenberg em direção à *Weltformel* ou, como ele a preferia chamar, uma *einheitliche Theorie der Elementarteilchen* (uma teoria unificada das partículas elementares), teve início em 1950. Este ano representa o começo da componente científica desta teoria unificada das partículas elementares, a qual deveria, também, incluir uma componente filosófica. Para Heisenberg, a procura de uma teoria unificada das partículas elementares não poderia prescindir de fundamentos filosóficos, que o físico alemão procurou estabelecer em diálogo, sobretudo, com a filosofia da Grécia clássica. A publicação das suas reflexões sobre os fundamentos filosóficos da física de partículas elementares aconteceria anos depois da publicação das suas ideias científicas.

Quando analisada de forma global, a busca de Heisenberg por uma teoria unificada capaz de descrever o comportamento (i.e. a dinâmica) das partículas elementares pode ser encarada como uma das muitas tentativas que os físicos teóricos realizaram ao longo do século passado para contornar um grave problema que acometia os seus modelos, a saber: o aparecimento de infinitos que aparecem no cálculo de algumas grandezas físicas usando a teoria quântica de campos. Na medida em que não possuem correspondência com as observações empíricas, o aparecimento destes infinitos é especialmente problemático, uma vez que inviabiliza os modelos propostos. Em outras palavras, os infinitos não são permitidos nas teorias e modelos da física, uma vez que as medições de grandezas físicas, realizadas com os instrumentos como réguas e relógios, sempre dão resultados finitos.

Poucos anos após o final da Segunda Guerra Mundial, em 1949, três físicos – Feynman, Schwinger e Tomonaga – conseguiram formular uma técnica, chamada renormalização, que eliminava (ou cancelava) os infinitos que apareciam na

eletrodinâmica quântica.⁴ Essa técnica mostrou-se capaz de contornar algumas das dificuldades que impediam o avanço da teoria quântica de campos. Havia, no entanto, um preço a pagar: não havia mecanismo físico que explicasse a renormalização. Esta última não correspondia a nenhum fenômeno na natureza, sendo, assim, um ‘mero’ artifício – ainda que muito útil – de cálculo. Em suma, não se sabia como interpretar fisicamente a renormalização.

Heisenberg percebeu que a renormalização constituía um resultado importante, posto que permitia ultrapassar o impasse em que se encontrava a física de altas energias (outro nome dado à física de partículas elementares). Não obstante, Heisenberg, juntamente com outros físicos, sobretudo europeus, considerava que a renormalização era uma solução artificial, necessariamente incompleta. Para o criador das relações de incerteza, seria fundamental encontrar uma solução, construída a partir de princípios físicos claros e explícitos. A teoria unificada não-linear das partículas elementares (a sua *Weltformel*), proposta por Heisenberg no final da década de 1950, constitui uma proposta de solução para o problema dos infinitos nas interações altamente energéticas.⁵

Apesar de o aparecimento de infinitos no cálculo de grandezas físicas constituir um dos mais graves obstáculos à formulação de teorias no âmbito da física de altas energias, a filosofia das partículas de Heisenberg não contém uma análise explícita do conceito de infinito. Podemos especular que Heisenberg parecia não acreditar que uma análise conceitual da noção de infinito pudesse fornecer *insights* relevantes para a construção da dinâmica responsável pela ordenação do mundo subatômico.

Em março de 1976, dois meses após a morte de Heisenberg, a revista norte-americana *Physics Today* publicou um artigo de sua autoria intitulado “The Nature of Elementary Particles” (“A natureza das partículas elementares”), que pode ser entendido como uma síntese de todos os outros (muitos) trabalhos que Heisenberg publicou ao longo de 30 anos sobre este tema (Heisenberg, 1976).

O título deixa patente o conteúdo do artigo. Como em ocasiões anteriores, o físico alemão expõe as suas ideias sobre a natureza daqueles que seriam, supostamente, os constituintes fundamentais da matéria. O artigo não apresenta nenhuma novidade face ao que Heisenberg havia afirmado até então. Todas as ideias aqui expostas já tinham sido descritas noutros textos, o que o levou os organizadores das suas obras completas, ao justificarem a inclusão de dois textos até então inéditos no prefácio ao 2.º volume da série C, *Allgemeinverständliche Schriften* (*Escritos para o entendimento geral*, tradução livre), a afirmar o seguinte:

O primeiro artigo [“Fundamental Problems of Theoretical Physics”] é um relatório que Heisenberg escreveu para a UNESCO em setembro de 1959; gostaríamos de notar que o autor comentou sobre esse tema várias vezes já na década de 1930. (Ver Nos 5 e 17 do Volume C1.) O segundo texto reproduz o conteúdo de uma palestra realizada em novembro de 1967 perante a Academia Saxônica de Ciências de Leipzig, na qual –de maneira semelhante a quarenta anos antes da mecânica quântica (ver a No. 2 no volume C1)– as conclusões

⁴ Redhead oferece a seguinte explicação da renormalização como técnica para lidar com os infinitos: “A técnica de renormalização para lidar com aqueles infinitos consiste em reconhecer a possibilidade de absorver as quantidades infinitas como contribuições para a massa e para a carga do elétron, [sendo] os valores resultantes ‘renormalizados’ igualados aos [valores] experimentais da massa e da carga” (Redhead, 1980, p. 287). A este respeito, veja-se, também: Cao (2019).

⁵ Uma interessante e consistente descrição do caminho percorrido por Heisenberg em direção à sua teoria não linear das partículas elementares encontra-se em Blum (2019). Veja-se, também, Cao (2019, p. 93).

filosóficas são extraídas dos resultados da física de partículas elementares.⁶
(Blum, Dürr, & Rechenberg, 1984, p. 410)

Apesar de ser correto afirmar que Heisenberg defendeu por muito tempo as mesmas ideias, parece-nos que, no caso em questão, a filosofia das partículas elementares, a afirmação de Blum, Dürr e Rechenberg não reflete adequadamente a evolução que podemos seguir nas ideias de Heisenberg em relação à natureza das partículas elementares.⁷

Quando analisada criteriosamente, a produção bibliográfica de Heisenberg indica que foi por volta de meados dos anos 1930 que ele começou a suspeitar que o programa atomista deixaria de ser tão fecundo como até então, sobretudo ao longo do século XIX e até à formulação da lei de Planck, em 1900. A possibilidade de os choques entre as partículas constituintes dos raios cósmicos poderem produzir várias partículas diferentes – a produção em cascata de partículas – fez com que começasse a duvidar, na segunda metade dos anos 1930, da filosofia atomista (Heisenberg, 1943).

Em um texto escrito a pedido de colegas norte-americanos, Heisenberg defende que o objetivo perseguido pelos físicos, os quais, àquela época estavam dedicados à descrição dos comportamentos subatômicos, era equivocado, ou seja, já não fazia mais sentido perguntar quais seriam os constituintes últimos da matéria. Como está afirmado na abertura do artigo para a *Physics Today*: “Como o número de partículas não é conservado nas interações de altas energias, pode não ter sentido perguntar acerca das partes constituintes das partículas elementares” (Heisenberg, 1976, p. 32). Neste sentido, o verdadeiro objetivo em física de partículas deveria ser formular a dinâmica que rege o comportamento das partículas elementares.

Ao priorizar a dinâmica, Heisenberg, em linha com o que vinha fazendo ao menos desde meados da década de 1960, coloca-se contra uma abordagem estritamente fenomenológica, uma vez que esta, só por si, não obstante ser útil nos estágios iniciais da pesquisa relativa à estrutura da matéria, não permite a formulação das leis dinâmicas que descrevem o seu comportamento.⁸ Para encontrar tais leis, seria necessário adotar pressupostos filosóficos adequados. O resumo do artigo da *Physics Today* cumpre a sua função, sintetizando corretamente o essencial do texto que se segue. Nesse resumo,

⁶ O original em alemão é o seguinte: “Beim ersten Aufsatz [“Fundamental Problems of Theoretical Physics”] handelt es sich um ein Gutachten, das Heisenberg im September 1959 für die UNESCO schrieb; wir möchten anmerken, dass der Autor schon in den dreißiger Jahren mehrfach zu diesem Thema Stellung nahm. (Siehe die Nummern 5 und 17 von Band CI.). Der zweite Text gibt den Inhalt eines im November 1967 vor der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig gehaltenen Vortrag wieder, in dem –in ähnlicher Weise wie vierzig Jahre früher aus der Quantenmechanik (siehe die Nr. 2 im Band CI)– die philosophischen Folgerungen aus den Ergebnissen der Elementarteilchenphysik gezogen werden” (Blum, Dürr, & Rechenberg, 1984, p. 410, tradução nossa).

⁷ “Dieses Programm [Die Atomistik] konnte jetzt in einem gewissen Sinne vollständig durchgeführt werden” (Heisenberg, 1934, p. 16).

⁸ Na passagem acima, “teoria” deve ser compreendida como fenomenologia. Em física, fenomenologia significa as tentativas de extrair consequências, mas preferencialmente quantitativas da observação do comportamento das chamadas partículas elementares. Na página do Grupo de Partículas Elementares da Universidade de Princeton, encontramos a seguinte definição de fenomenologia: “A fenomenologia da física de partículas é o campo da física teórica que ressalta as consequências observáveis das partículas fundamentais da natureza e as suas interações” (Princeton, 2019). Em suma, os físicos recorrem à fenomenologia para extrair observações, ou previsões, quantitativas de colisões entre partículas. Essas observações, conhecidas empiricamente, que não são derivadas de leis fundamentais; ainda hoje, não se sabe como explicar por que as massas das partículas têm os valores que têm. A fenomenologia para os físicos é, antes de tudo, uma prática descritiva.

Heisenberg sugere, em tom cauteloso, que a teoria não pode dar respostas à questão o que é uma partícula elementar.

A pergunta “O que é uma partícula elementar?” deve encontrar sua resposta principalmente na experiência, embora também deva ser confrontada com considerações filosóficas. Começarei, portanto, fazendo um breve levantamento dos importantes resultados experimentais dos últimos cinquenta anos. Este levantamento mostrará que um estudo crítico imparcial desses resultados já dá uma resposta à pergunta; [a] teoria, como veremos, não pode acrescentar muito a esta resposta. (Heisenberg, 1976, p. 32)

Se as hipóteses, em física, devem passar pelo crivo da experiência por que razão seria, então, importante recorrer a considerações filosóficas no caso do problema relativo à estrutura e identidade de uma partícula elementar? De que modo poderia a filosofia ser útil à ciência? Heisenberg responde as estas perguntas no parágrafo seguinte.

Em seguida, tratarei dos problemas filosóficos que surgem em conexão com o conceito de partícula elementar. Pode-se objetar que nesta questão deveríamos nos concentrar na física e não na filosofia. Mas, esta separação não é tão simples. Na verdade, acredito que certos desenvolvimentos errôneos na teoria das partículas –e temo que tais desenvolvimentos existam– são causados por uma concepção errônea de alguns físicos de que é possível evitar completamente os argumentos filosóficos. Começando com uma filosofia pobre, eles colocam as questões erradas. É apenas um pequeno exagero dizer que a boa física às vezes tem sido estragada por má filosofia. (Heisenberg, 1976, p. 32)

Heisenberg não nos oferece muitos detalhes sobre a suposta relação entre má filosofia e má ciência. Sabemos, por ele mesmo, que uma má filosofia conduz a questões equivocadas, a falsos problemas e, por conseguinte, a falsos objetivos para a ciência. Mas talvez possamos ir mais longe: parece não ser incorreto afirmar que Heisenberg censura os físicos que pensam poder dispensar completamente a filosofia. Para o físico alemão, a filosofia seria necessária à ciência, mesmo que a relação entre ambas seja reconhecidamente complexa. Ainda assim, Heisenberg não hesita em defender que os cientistas e os filósofos devem dialogar frequentemente, mesmo que haja o perigo de surgirem novos equívocos.

É evidente que a passagem da ciência para a filosofia deu origem a muitos mal-entendidos. Mas eu não creio que seja útil tentar separar absolutamente os dois campos e dizer: aqui é o homem de ciência que é competente, ali o filósofo. Pelo contrário, creio que é útil deixar o homem de ciência falar de filosofia, e o filósofo às vezes de ciência, mesmo sob o risco de criar novos mal-entendidos. O resultado pode ser tão útil que vale a pena correr esse risco. (Heisenberg, 1976, p. 32)

Em alguns textos dedicados à exposição da sua filosofia geral das partículas elementares, Heisenberg defendeu que os resultados científicos não seriam, por si só, capazes de confirmar ou refutar posições filosóficas (Heisenberg et al., 1962). Ainda assim, tal como podemos constatar no artigo da *Physics Today*, o físico alemão sustentou repetidas vezes que os resultados experimentais mais recentes em física de partículas refutavam o atomismo de Demócrito, incorporado pela física e química do século XIX. Para ele, os resultados empíricos da física de partículas poderiam ser mais facilmente entendidos à luz da filosofia da natureza de Platão, exposta, sobretudo, no diálogo intitulado *Timeu* (Platão, trad. 1963).

Se quisermos comparar os resultados da física de partículas atual com qualquer uma das filosofias antigas, a filosofia de Platão parece ser a mais adequada: as partículas da física moderna são representações de grupos de simetria e, deste modo, assemelham-se aos corpos simétricos. da filosofia de Platão. (Heisenberg, 1976, p. 38)

Ao recorrer a Platão, Heisenberg procurava distanciar-se do atomismo de filósofos como Demócrito e Leucipo: a noção de simetria deveria substituir a noção de átomo. Aceitar Platão implicava a recusa do atomismo e também do materialismo, ainda que as duas perspectivas não sejam exatamente coincidentes. Parece-nos que não é um exagero afirmar que a filosofia das partículas elementares de Heisenberg foi construída a partir da recusa do átomo como constituinte fundamental da matéria, na medida em que esta não se torna inteligível pelo recurso à noção de composição (ou constituído por). A sua posição era motivada pelos próprios desenvolvimentos da física de partículas que, ao longo das últimas décadas, havia acumulado evidências pelo menos aparentemente incompatíveis com o atomismo, a saber: i) a predição feita por M. P. Dirac e comprovada alguns anos mais tarde por Carl Anderson e P. M. S. Blackett, da existência da anti partícula do elétron, o pósitron; ii) a descoberta da radioatividade artificial, que mostrou não só que os núcleos atômicos podem ser transmutados noutros núcleos, mas também que a energia pode ser transmutada em matéria e vice-versa (Heisenberg, 1976, p. 32). Estes dois resultados levaram Heisenberg a concluir que já não eram viáveis os pressupostos filosóficos inspirados no atomismo de Leucipo e Demócrito e que tinham servido de fundamento metafísico a grande parte da física moderna.

Na sua tentativa de encontrar uma alternativa ao atomismo, segundo o qual a matéria é constituída por unidades indivisíveis e imutáveis chamadas átomos, Heisenberg observa que a própria história da filosofia oferece alternativas que merecem ser consideradas. A primeira alternativa discutida pelo físico alemão é a concepção aristotélica de matéria. Para Aristóteles, e seus sucessores medievais, a cada tipo de matéria corresponde à existência de unidades de dimensão mínima –uma divisão suplementar resultaria numa mudança das qualidades da substância–, sendo que estas partículas de dimensão mínima podem ser continuamente transformadas, tal como as próprias substâncias (Heisenberg, 1976). A segunda alternativa, claramente mais distante do atomismo de Demócrito, é proposta por Platão: a tentativa de dividir uma e outra vez a matéria resulta em formas matemáticas, mais concretamente triângulos (Heisenberg, 1976). A síntese da concepção platónica de matéria elaborada por Heisenberg pode ser identificada na citação abaixo.

Platão identifica as menores partículas dos elementos com os sólidos regulares da geometria. Já que, como Empédocles, assume os quatro elementos terra, água, ar e fogo, ele pode conceber as menores partículas do elemento terra como um cubo, e as menores partículas do elemento água como um icosaedro; da mesma forma, as partículas elementares do fogo são representadas como tetraedros, as do ar como entidades do elemento [octaedro]. Em contraste com Demócrito, no entanto, essas partes menores não são imutáveis e indestrutíveis em Platão.⁹ (Heisenberg, 1959/1984a, p. 237)

⁹ “Plato identifiziert die kleinsten Teilchen der Elemente mit den regulären Körpern der Geometrie. Da er, ähnlich, wie Empedokles, die vier Elemente Erde, Wasser, Luft und Feuer annimmt, kann er die kleinsten Teilchen des Elements Erde als Würfel, die kleinsten Teilchen des Elements Wasser als Ikosaeder

De acordo com o próprio Heisenberg, é possível encontrar um argumento estritamente filosófico em favor da alternativa platônica. A concepção platônica de matéria oferece uma solução para a antinomia, analisada por Kant: é difícil imaginar que a matéria possa ser dividida uma e outra vez, mas é igualmente difícil imaginar que esta divisão tenha que chegar ao seu termo (Heisenberg, 1959/1984a). Esse aparente paradoxo é causado pelo pressuposto equivocado de que a nossa intuição e os nossos conceitos podem ser aplicados, sem mais, ao domínio do muito pequeno (Heisenberg, 1976).

Contudo, o argumento decisivo em favor da alternativa platônica baseia-se na própria física de partículas que parece pôr em causa, como já vimos, a própria noção de constituinte fundamental da matéria. Para o físico alemão, noções como dividir e consiste em perdem o seu significado quando entramos no domínio da física de partículas, conduzindo a questões equivocadas. “Perguntas erradas e imagens erradas infiltram-se automaticamente na física de partículas e levam a desenvolvimentos, que não se encaixam na real situação da natureza” (Heisenberg, 1976, p. 38). O argumento de Heisenberg não se restringe, porém, à observação de que os supostos constituintes fundamentais da matéria podem, afinal, transformar-se uns nos outros e também em energia. Os resultados mais recentes da física de partículas parecem sugerir que na base das partículas à data conhecidas estão determinados grupos de simetria. Heisenberg vê neste resultado um paralelismo com a concepção platônica de matéria, o que o leva a concluir que a filosofia de Platão é, das filosofias da antiguidade, a mais adequada para servir de base a uma filosofia das partículas elementares (Heisenberg, 1976).

Não obstante fazer uma clara opção por Platão, Heisenberg utiliza, também, alguns aspectos centrais da metafísica aristotélica, nomeadamente a chamada teoria hilemórfica. Com base no fato, comprovado experimentalmente, de que a energia pode ser transformada em partículas elementares de diferentes tipos, Heisenberg sugere que todas as partículas elementares são, na verdade, compostas de uma mesma substância, à qual os físicos dão o nome *energia*. Essa substância fundamental é o que subjaz a todas as partículas elementares descritas pela fenomenologia e que podem transformar-se umas nas outras, da mesma maneira que, na metafísica aristotélica, é a matéria o princípio metafísico que garante a continuidade em qualquer transformação substancial. Importa referir, por último, que as diferentes formas que a substância energia pode assumir são determinadas por determinados grupos de simetria. Sem querer forçar o pensamento de Heisenberg, poderíamos dizer que os correspondentes na sua filosofia das partículas elementares aos princípios matéria e forma de Aristóteles são a energia e a simetria. Heisenberg formula, portanto, a sua própria teoria hilemórfica, que ele mesmo sintetiza do seguinte modo.

A matéria é criada pelo fato de que a energia substancial assume a forma da partícula elementar. Segundo o nosso conhecimento atual, existem várias dessas formas, agora conhecemos cerca de 25 tipos diferentes de partículas elementares, e temos boas razões para supor que todas essas formas são expressões de certas estruturas matemáticas fundamentais, ou seja, conseqüências de uma lei básica que permite expressar em linguagem matemática que as partículas elementares seguem de maneira semelhante como uma solução, tal como os diferentes estados de energia do átomo de

auffassen; in ähnlicher Weise, werden die Elementarteilchen des Feuers als Tetraeder, die der Luft als Okschaften des Elements. Im Gegensatz zu Demokrit sind aber diese kleinsten Teile bei Plato nicht unveränderlich und unzerstörbar” (Heisenberg, 1959/1984a, p. 237, tradução nossa).

hidrogênio são obtidos como uma solução da equação diferencial de Schrödinger. As partículas elementares são, portanto, as formas básicas em que a energia da substância deve ir para se tornar matéria, e essas formas básicas devem ser determinadas de alguma forma por uma lei natural, por uma lei básica que pode ser expressa em linguagem matemática.¹⁰

Estamos agora em condições, parece-nos, de identificar os aspectos centrais da filosofia das partículas elementares de Heisenberg, ou se quisermos, os pressupostos filosóficos que devem guiar os físicos de partículas na sua investigação. A procura dos constituintes fundamentais da matéria é, para o físico alemão, uma tarefa fundamentalmente equivocada porque contaminada com pressupostos metafísicos devidores, em última análise, do atomismo subjacente a grande parte da física moderna. A questão fundamental não diz respeito, para Heisenberg, aos constituintes fundamentais da matéria, mas à dinâmica, ou seja, às simetrias que subjazem às partículas elementares descritas pela fenomenologia. Esta é a razão, aliás, pela qual Heisenberg se mostraria reticente em relação à hipótese dos quarks, que é atualmente aceita pela maioria dos físicos. A este respeito, o físico alemão pergunta-se se não encontraremos, por detrás da hipótese dos quarks, a velha ideia segundo a qual partículas simples e compostas podem ser distinguidas (Heisenberg, 1976). Contrariando esta hipótese, Heisenberg defende que não existem partículas mais fundamentais que outras: as partículas elementares são, todas elas, como que estados estacionários de uma mesma equação fundamental que expressa a dinâmica e que se está ainda por descobrir.¹¹ Nas palavras do próprio Heisenberg.

As partículas elementares da física moderna, tal como os corpos regulares da filosofia platônica, são determinadas por requisitos de simetria matemática, [elas] não são eternas e imutáveis e, portanto, dificilmente são o que se poderia chamar de reais. Em vez disso, elas são simples representações daquela estrutura matemática básica a que se chega quando se continua a dividir a matéria. Para a ciência natural moderna não é a coisa material que está no início, mas a forma, a simetria matemática (Heisenberg, 1959/1984a, p. 248).¹²

A opção do físico alemão por Platão significava, também, a reafirmação da sua crença na capacidade de a razão humana propor e construir soluções para os problemas que vê na

¹⁰ O original desta passagem é: “Die Materie entsteht dadurch, dass der Stoff Energie sich in die Form des Elementarteilchens begibt. Nach unserer heutigen Kenntnis gibt es verschiedene solche Formen, wir kennen jetzt etwa 25 verschiedene Sorten von Elementarteilchen, und wir haben gute Gründe für die Annahme, dass alle diese Formen Ausprägungen gewisser grundlegender mathematischer Strukturen sind, also Folgen eines in mathematischer Sprache ausdrückbaren Grundgesetzes, aus dem die Elementarteilchen in ähnlicher Weise als Lösung folgen, wie etwa die verschiedenen Energiezustände des Wasserstoffatoms als Lösung der Schrödingerschen Differentialgleichung gewonnen werden. Die Elementarteilchen sind also die Grundformen, in die der Stoff Energie sich begeben muss, um Materie zu werden, und diese Grundformen müssen in irgendeiner Weise durch ein Naturgesetz, durch ein in mathematischer Sprache ausdrückbares Grundgesetz bestimmt sein” (Heisenberg, 1959/1984a, pp. 245-246, tradução nossa).

¹¹ É interessante notar a semelhança entre a proposta de Heisenberg e a teoria de cordas. A este respeito, veja-se: Bleuler (1990, pp. 1051-1058).

¹² O original desta passagem é: “Die Elementarteilchen der modernen Physik sind, ähnlich wie jene regulären Körper der Platonischen Philosophie, durch mathematische Symmetrieforderungen bestimmt, sie sind nicht ewig und unveränderlich, und sie sind daher kaum das, was man im eigentlichen Sinn als wirklich bezeichnen könnte. Vielmehr sind sie einfache Darstellungen jener mathematischen Grundstruktur, zu denen man kommt, wenn man die Materie immer weiter zu teilen bilden. Für die moderne Naturwissenschaft steht also am Anfang nicht das materielle Ding, sondern die Form, die mathematische Symmetrie” (Heisenberg, 1959/1984a, p. 248).

natureza.¹³ Ao menos enquanto estrutura biológica com competência para a produção de conhecimento sobre a natureza, os seres humanos não tinham por que duvidar da possibilidade de entender o funcionamento da natureza subatômica, onde não parecia haver lugar para o infinito. Tal entendimento emergiria um dia, sustentava Heisenberg, do crescente conjunto de dados experimentais, os quais seriam cada vez mais precisos, sobre o comportamento das diferentes partículas elementares.

3. O artigo de 1959 no volume comemorativo do 70º aniversário de Heidegger

Consideremos, agora, a contribuição enviada por Heisenberg para o *Festschrift* em homenagem a Heidegger e que também versava sobre partículas elementares (Heisenberg, 1959/1984b). Em termos gerais, tal contribuição pode ser considerada como uma versão filosófica das suas principais ideias da teoria unificada das partículas elementares. Vejamos as principais teses do texto de 1959, respeitando a ordem dada pelo seu autor.

Uma vez mais, devemos começar pelo título, escolhido por Heisenberg: “Requisitos básicos da física de partículas”. Tal título chama a nossa atenção, uma vez que poderia ser associado um texto puramente científico. Além do título, a sua estrutura também é curiosa. Ela faz-nos pensar num texto escrito de acordo com a organização presente nos *Elementos* de Euclides, ou seja, um texto que obedece a uma ordem rígida e que não deve ser modificada, sob pena de perder a sua inteligibilidade.

Logo de início, no seu primeiro parágrafo, o texto afirma uma tese central, seja para Heisenberg, seja para Heidegger. Talvez aqui esteja o único momento em que os dois concordariam completamente. Heisenberg afirma o seguinte:

No centro do interesse teórico da física nuclear dos nossos tempos estão as partículas. Dado que estas constituem as últimas estruturas básicas da matéria, não é de admirar que toda e qualquer tentativa de formulação das leis da natureza, que determinam estas estruturas básicas, terá necessariamente que partir de pressupostos muito genéricos, acerca dos quais é difícil decidir se eles contêm afirmações sobre o comportamento empírico do mundo, sobre formas do nosso pensamento, ou sobre a linguagem com a qual tentamos apreender o mundo. *Tratar-se-ia, portanto, daqueles pressupostos básicos que pertencem desde sempre às temáticas fundamentais da reflexão filosófica.*¹⁴ (Heisenberg, 1959/1984b, p. 249, itálicos nossos)

¹³ Como não poderia deixar de ser, Heisenberg, em suas reflexões filosóficas, também se ocupou com o pensamento de Kant. Consciente de que este último ocupava um lugar máximo no panteão da filosofia, principalmente entre os seus próprios conterrâneos, Heisenberg foi sempre muito cauteloso na apresentação de suas conclusões a respeito da filosofia kantiana. Ainda assim, Heisenberg não se furtou a posicionar-se diante de alguns temas clássicos de Kant. A título de exemplo, lembramos dois deles: a existência de *a priori* nas ciências naturais e as implicações da teoria quântica para o conceito de causalidade. Assumindo explicitamente a possibilidade de sermos *algo* imprecisos, nós arriscamos afirmar que para o físico alemão, Kant era *realmente* importante por ter chamado a atenção com a sua filosofia crítica que os nossos conceitos dizem respeito à nossa relação com a natureza e não à própria natureza. Esta última tese era uma mais caras a Heisenberg.

¹⁴ “In der Atomphysik unserer Zeit stehen die Elementarteilchen im Mittelpunkt des theoretischen Interesses. Da es sich bei ihnen um die letzten grundlegenden Strukturen der Materie handelt, ist es nicht weiter verwunderlich, wenn der Versuch einer Formulierung der Naturgesetze, die diese Grundstrukturen bestimmen, nur noch von sehr allgemeinen Voraussetzungen ausgehen kann, von denen schwer zu entscheiden ist, ob sie Aussagen über das empirische Verhalten der Welt, über Formen unseres Denkens oder über die Sprache enthalten, mit der wir die Welt zu ergreifen suchen. Es wird sich also um jene

A filosofia poderia ser útil à física, contribuindo para que esta última encontrasse os seus rumos, na medida em que os pressupostos científicos mais fundamentais também pertencem à sua esfera de interesse. Encontramos aqui a mesma ideia expressa na carta a Pauli de 1950 e também no parágrafo inicial do último artigo de Heisenberg sobre o tema, publicado na *Physics Today*. A filosofia seria tão relevante como, por exemplo, os aceleradores de partículas, os quais, aliás, poderiam ser considerados como concretizações da *Gestell*, isto é, da técnica. Em seguida, Heisenberg apresenta uma ideia que deve ser vista, e aqui nos repetimos, como o cerne da sua filosofia das partículas elementares, a saber:

Como resultado mais importante destes múltiplos esforços verificou-se que as partículas elementares, contrariamente ao que se pensava antigamente, não são os elementos da matéria imutáveis e indestrutíveis mas, através de colisões, elas podem ser transformadas mutuamente, produzidas ou aniquiladas. Por isso, as partículas devem ser concebidas como elementos da matéria que surgem e desaparecem constantemente, como formas nas quais a energia primordial tem de entrar para se tornar matéria. As partículas da física contemporânea estão mais próximas dos corpos regulares da filosofia platônica do que dos átomos de Demócrito. E, se nos for possível fazer comparações com a filosofia grega antiga, poderemos dizer que a energia primordial pode ser equiparada ao fogo de Heráclito.¹⁵ (Heisenberg, 1959/1984b, p. 250).

Reafirmada a primazia de Platão frente a Demócrito e Leucipo, Heisenberg descreve, em termos sucintos, os requisitos, ou pressupostos, necessários para a formulação, ou ainda construção, de uma teoria unificada das partículas elementares. São eles os seguintes:

- 1º) A formulação de uma tal lei [i.e. teoria] implica a ideia segundo a qual é necessário diferenciar de algum modo o “algo” do “nada”, ou o “ser” do “não-ser”.
- 2º) Este Algo é diferenciado e que apenas existe no espaço e no tempo, de modo a que se possa conceber uma ordem quadridimensional.
- 3º) Quais são as simetrias do Algo, ou seja, da Matéria gerada pelo operador elementar.
- 4º) Consiste na observação de que existem leis da natureza, ou seja, na observação de que o estado futuro ou passado do mundo está inevitavelmente ligado ao presente.
- 5º) Consiste na observação de que existem interdependências, ou seja, na observação de que os estados do Algo, da Matéria, não se deixam sobrepor.
- 6º) O pressuposto da causalidade.

grundlegenden Voraussetzungen handeln, die schon von jeher zu den wichtigsten Gegenständen philosophischen Nachdenkens gehört haben” (Heisenberg, 1959/1984b, p. 249, tradução de Wolfgang Lindt e Andreas Lindt).

¹⁵ Esta citação no original é: “Als wichtigstes Ergebnis dieser vielfältigen Bemühungen hat sich herausgestellt, dass die Elementarteilchen nicht unwandelbare und unzerstörbare kleinste Bausteine der Materie sind, wie man früher lange geglaubt hatte, dass sie vielmehr bei Zusammenstößen ineinander umgewandelt, erzeugt oder vernichtet werden önnen. Sie müssen daher als verschiedene, immer wieder neu entstehende und vergehende Grund formen der Materie aufgefasst werden, als Formen, in die der Grundstoff Energie sich begeben muss, um damit zur Materie zu werden. Die Elementarteilchen der heutigen Physik stehen in dieser Weise den regulären Körpern der Philosophie Platos näher als den Atomen des Demokrit. Den zu ihrer Bildung benötigten Grundstoff Energie kann man, wenn man Vergleiche mit der antiken Philosophie überhaupt heranziehen will, am ehesten dem Grundstoff Feuer in der Philosophie des Heraklit gleichsetzen” (Heisenberg, 1959/1984b, p. 250, tradução de Wolfgang Lindt e Andreas Lindt).

Após a apresentação dos seis requisitos, Heisenberg inclui duas breves observações, feitas a modo de advertência. A primeira observação expressa o seu reconhecimento de que as suas ideias não devem ser encaradas como uma interpretação literal da filosofia da natureza de Platão. A segunda reforça o papel da experiência como a derradeira instância para avaliação das afirmações feitas pela ciência, sendo a experiência o diferencial com relação à filosofia natural de épocas anteriores.

Depois desta breve exposição do conteúdo do artigo, procuramos agora entender por que razão Heisenberg enviou este texto e não outro. Tal como Carson sugere, acreditamos que Heisenberg usou o convite que lhe foi dirigido para marcar, de forma academicamente rigorosa, as suas diferenças em relação a Heidegger.

Heisenberg, apesar de todo o respeito que nutria pela filosofia, não estava disposto a aceitar que esta última fosse a única responsável pelos destinos da ciência, o que significaria uma regressão a um tempo anterior à chamada revolução científica moderna. Além dessa razão, Heisenberg queria também mostrar que os físicos, a partir de sua própria prática, e desde que se instruissem em filosofia, poderiam produzir, autonomamente, teses e reflexões filosóficas úteis para a sua ciência.

No final do artigo dedicado a Heidegger, ao mencionar o papel da experiência, Heisenberg afirma que a física deve ser a principal protagonista do seu próprio desenvolvimento, o que contribui para matizar o papel que ele mesmo tinha atribuído à filosofia.

Só a experiência, isto é, muitos ensaios sobre as partículas ligados a uma cuidadosa análise matemática das consequências da equação fundamental proposta, poderá decidir se os seis pressupostos são ou não suficientes para a fundamentação da Física contemporânea das partículas e especialmente se eles são ou não verdadeiros. Assim, nas suas maiores subtilezas, a experiência aparece aqui como última instância do julgamento dos princípios fundamentais da filosofia da natureza. Este dado comprova que existe uma diferença entre a nossa ciência contemporânea e a doutrina da natureza de épocas passadas.¹⁶ (Heisenberg, 1959/1984b, p. 255).

Não é difícil imaginar a razão por detrás desta matização: perante os filósofos, Heisenberg defende o papel da física; perante os físicos, ele defende a importância da filosofia. Noutros termos, Heisenberg reconhece que a física requer pressupostos filosóficos, mas, ao mesmo tempo, ele acredita que as hipóteses elaboradas pelos filósofos não são suficientes, como se pode perceber nas críticas que dirige às mais variadas perspectivas filosóficas, tais como o positivismo lógico, o idealismo transcendental, o materialismo dialético e, finalmente, à filosofia do segundo Heidegger, a qual permitia concluir que a ciência empobreceria a vida humana, o que estava em contradição com a visão do físico alemão sobre a ciência.

De forma mais prosaica, talvez pudéssemos avançar a hipótese de que Heisenberg era consciente das suas limitações como filósofo. Ao mesmo tempo, talvez quisesse mostrar a Heidegger as suas limitações como físico. Ou seja, se quisesse dialogar com os

¹⁶ O original desta passagem é: “Ob sie zur Begründung der heutigen Physik der Elementarteilchen ausreichen und insbesondere, ob sie wahr sind, kann in unserer Zeit nur durch die Erfahrung, d. h. durch die Ausführung von vielen Versuchen über die Elementarteilchen zusammen mit einer sorgfältigen mathematischen Analyse der Konsequenzen der vorgeschlagenen Grundgleichung entschieden werden. Dass hier die Erfahrung in ihren feinsten Einzelheiten als letzte Instanz bei der Beurteilung naturphilosophischer Grundsätze erscheint, unterscheidet unsere heutige Wissenschaft von der Naturlehre früherer Epochen” (Heisenberg, 1959/1984b, p. 250, tradução de Wolfgang Lindt e Andreas Lindt).

cientistas, Heidegger teria de o fazer de forma franca e com suficiente conhecimento das sutilezas técnicas da física contemporânea.

3. Conclusão

O caráter aparentemente fugaz da interação entre o grande físico Heisenberg e Heidegger, um dos maiores filósofos do séc. XX, não deve ser encarada como evidência de que o encontro do físico alemão com a filosofia foi fortuito. Na verdade, além de possuir uma cultura filosófica acima da média quando comparado aos seus colegas das ciências naturais, Heisenberg nutria a ambição de construir uma filosofia das partículas elementares, que servisse de orientação à investigação dos físicos que trabalhavam nessa área. Esta é, porventura, uma das conclusões mais importantes do presente artigo. De fato, para Heisenberg, a física assenta em pressupostos filosóficos que são, em certa medida, exteriores à própria ciência, mas que ajudam os físicos a formular questões e a encontrar um rumo na sua pesquisa. O físico alemão tinha suficiente cultura filosófica para perceber, com lucidez, que existem alternativas ao atomismo e ao materialismo subjacentes a grande parte da física moderna. Inspirado em alguns dos maiores filósofos da história do pensamento grego da época clássica, em particular Platão, mas também Aristóteles, o físico alemão foi persistente e também consistente na sua tentativa de fundar novos alicerces metafísicos para a física de partículas elementares. Algumas das intuições de Heisenberg parecem não ter sido confirmadas pela evolução ulterior da física de partículas. Não obstante, o seu tenaz esforço no sentido de questionar a metafísica dominante – o atomismo – tacitamente assumida pela maioria dos físicos, propondo simultaneamente uma metafísica alternativa, devedora sobretudo de Platão, deve ser tido como um exemplo notável da possível interação entre filosofia e ciência. Do que acabamos de dizer, talvez se pudesse concluir que apenas a ciência é influenciada pela filosofia. Não parece ser esta, no entanto, a posição de Heisenberg. Para o físico alemão, a filosofia guia os físicos nas suas pesquisas científicas – não há física de qualidade sem boa filosofia –, mas a física também dá indicações preciosas sobre a «viabilidade» das diferentes metafísicas. Dito de outro modo a filosofia guia a ciência, mas a ciência também guia a filosofia.

Agradecimentos

Agradecemos o árbitro pelas valiosas sugestões. Antonio Augusto Passos Videira agradece os financiamentos do Programa Prociência (UERJ) CNPq (nº 306612/2018-6) e a bolsa de pós-doutorado, concedida pelo Programa CAPES Print, bem como a hospitalidade da Universidade Católica Portuguesa (Braga), local em que aconteceu a redação deste artigo.

Referências

- Bleuler, K. (1990). Werner Heisenberg's Ideas on Particle Physics in the Light of Recent Achievements. *Zeitschrift für Naturforschung*, 45a, 1051-1058.
- Blum, A. (2019). *Heisenberg's 1958 Weltformel and the Roots of Post-Empirical Physics*. Springer Verlag.
- Blum, A., Dürr, H-P., & Reichenberg, H. (Eds.). (1984). *Physik und Erkenntnis 1956-1968 Werner Heisenberg, Gesammelte Werke, Abteilung C; Allgemeinverständliche Schriften* (Band II). Piper.
- Cao, T. Y. (2019). *Conceptual Developments of 20th Century Field Theories*. Cambridge University Press.

- Carson, C. (2010). Science as instrumental reason: Heidegger, Habermas, Heisenberg. *Continental Philosophical Review*, 42, 483-509. doi: 10.1007/s11007-009-9124-y.
- Carson, C. (2011). Modern or antimodern science? Weimar Culture, Natural science, and the Heidegger-Heisenberg Exchange. Em: C. Carson, A. Kojevnikov, & H. Trischler (Eds.), *Weimar Culture and Quantum Mechanics: Selected papers by Paul Forman and Contemporary Perspectives on the Forman Thesis* (pp. 523-542). Imperial College Press.
- Cassidy, D. (2015). Werner Heisenberg and Carl Friedrich Freiherr von Weizsäcker: A Fifty-Year Friendship. *Physics in Perspective*, 17, 33-54.
- Cushing, J. (1986). The Importance of Heisenberg's S-Matrix Program for the Theoretical High-Energy Physics of the 1950's. *Centaurus*, 29(2), 110-149.
- Heelan, P. (2016). *The observable: Heisenberg's Philosophy of Quantum Mechanics*. Peter Lang Publishing, Inc.
- Heisenberg, W. (1934). Atomtheorie und Naturerkenntnis. *Universitätsbund Göttingen: Mitteilungen*, 16(1), 9-20.
- Heisenberg, W. (Ed.). (1943). *Kosmische Strahlung: Vorträge gehalten im Max Planck-Institut, Berlin-Dahlem*. Springer.
- Heisenberg, W. (1950). Quantentheorie der Elementarteilchen. *Zeitschrift für Naturforschung*, 5a, 251-259.
- Heisenberg, W. (1971). Die Bedeutung des Schönen in der exakten Naturwissenschaft. *Physikalische Blätter*, 27(3), 97-107.
- Heisenberg, W. (1976). The Nature of Elementary Particle Physics. *Physic Today*, 29(3), 32-39.
- Heisenberg, W. (1984a). Die Plancksche Entdeckung und die philosophischen Probleme der Atomphysik Em: W. Blum, W.; H-P. Dürr, & H. Rechenberg (Eds.), *Physik und Erkenntnis 1956-1968 Werner Heisenberg, Gesammelte Werke, Abteilung C; Allgemeinverständliche Schriften* (Band II, pp. 235-248). (Trabalho original publicado em 1959)
- Heisenberg, W. (1984b). Grundlegende Voraussetzungen in der Physik der Elementarteilchen. Em: W. Blum, W.; H-P. Dürr, & H. Rechenberg (Eds.), *Physik und Erkenntnis 1956-1968 Werner Heisenberg, Gesammelte Werke, Abteilung C; Allgemeinverständliche Schriften* (Band II, pp. 249-255). Piper. (Trabalho original publicado em 1959)
- Heisenberg, W.; Born, M.; Schrödinger, E., & Auger, P. (1962). *On Modern Physics*. Collier Books.
- Pais, A. (1986). *Inward Bound: Of Matter and Forces in the Physical World*. Clarendon Press & Oxford University Press.
- Platão. (1963). *Timaeus* (J. Burnet, Transl.). Oxford University Press.
- Pöggeler, O. (1993). The Hermeneutics of the Technological World: The Heidegger-Heisenberg Dispute. *International Journal of Philosophical Studies*. 1(1), 21-48. DOI: 10.1080/09672559308570760.

- Princeton (2019). *Particle Phenomenology*. Obtido em: <https://phy.princeton.edu/research/particle-phenomenology>. Consultado em 22/11/2019.
- Rechenberg, H. (1992). Heisenberg and Pauli. Their Program of a Unified Quantum Field Theory of Elementary Particles (1927-1958). *MPI-Ph/92-.58*, July. <https://lib-extopc.kek.jp/preprints/PDF/1992/9210/9210564.pdf>
- Redhead, M.L.G. (1980). Some Philosophical Aspects of Particle Physics. *Studies in History and Philosophy of Science*. 11(4), 279-304.
- Schöning, M. (Ed.). (2014). *Ernts Jünger Handbuch: Leben-Werk-Wirkung*. J. B. Metzler.
- Weizsäcker, C. F. v. (1983). *Heisenberg und Heidegger über das Schöne und die Kunst IN Wahrnehmung der Neuzeit*. Carl Hanser Verlag.
- Weizsäcker, C. F. v. (1949). Beziehungen der theoretischen Physik zu Denken Heideggers. Em: C. Astrada. *Martin Heideggers Einfluss auf die Wissenschaften* (pp. 172-174). A. Francke AG Verlag.