

Nota do Editor

Nascido em 1915, em Berlim, Max Jammer estudou física, filosofia e história da ciência nas universidades de Viena e Hebraica de Jerusalém. Na década de 1950 trabalhou nos Estados Unidos, em Harvard, Boston e Princeton. É professor emérito de física e foi reitor da Universidade de Bar-Ilan, em Israel, onde vive. É autor de muitos livros, traduzidos para muitas línguas, entre os quais o famoso *The Philosophy of Quantum Mechanics*, citado e admirado por Paul Dirac e Werner Heisenberg. Dele, no ano 2000, a Contraponto publicou *Einstein e a religião*. Entre os prêmios que recebeu destaca-se o prestigioso Monograph Prize of the American Academy of Arts and Sciences.

Conceitos de espaço: a história das teorias do espaço na física abre uma série de quatro livros que já se tornou clássica. Nos próximos meses, apresentaremos as edições brasileiras de *Conceitos de força*, *Conceitos de massa* e *Conceitos de simultaneidade*, que completam a série.

Este livro teve numerosas edições desde o lançamento, em 1954, com o célebre prefácio de Albert Einstein. Ao longo do tempo, foi sucessivamente atualizado e aumentado pelo Autor, até ganhar forma definitiva em 1993, na edição que agora entregamos ao público leitor de língua portuguesa. Como se verá, é um texto de espantosa erudição, que, para rastrear a evolução dos conceitos de espaço, combina história da ciência e da filosofia, teologia, filologia, física e matemática.

Na edição original, em inglês, o autor faz citações em latim, alemão e francês. Para facilitar a leitura, optamos por traduzi-las para o português, mantendo os textos originais em notas colocadas no fim de cada capítulo.

O Editor

Introdução

O espaço, especialmente na filosofia moderna, é objeto de vasta bibliografia metafísica e epistemológica. De Descartes a Alexander e Whitehead, quase todos os filósofos fizeram de suas teorias do espaço uma das pedras angulares de seus sistemas. A teoria da relatividade resultou em um enorme aumento da literatura sobre o espaço e o tempo. Sob a influência do positivismo lógico, as implicações físicas das recentes teorias do espaço foram reconhecidas, ao passo que as obras dos séculos XVIII e XIX ficaram quase completamente confinadas a considerações puramente metafísicas ou psicológicas.

Por mais surpreendente que possa parecer, até hoje não se publicou nenhuma pesquisa histórica do conceito de espaço sob o ponto de vista da física. À luz de nossas ideias modernas sobre o espaço físico, um tratado desse tipo interessa não apenas aos historiadores da ciência e da filosofia, mas também a todos os que participam da grande aventura do progresso intelectual da humanidade.

O objetivo deste trabalho é mostrar o desenvolvimento do conceito de espaço à luz da história da física. Por um lado, explicaremos as mais importantes concepções do espaço na história do pensamento científico e investigaremos sua influência nas respectivas teorias da mecânica e da física; por outro, mostraremos como pesquisas experimentais e observacionais — juntamente com especulações teológicas — afetaram as bases metafísicas da ciência natural no que concerne ao espaço. A teoria do espaço absoluto, tal como finalmente cristalizada na mecânica newtoniana, será apresentada ao lado da crítica que recebeu dos primeiros relativistas modernos, Leibniz e Huygens. Nosso estudo terminará mostrando o processo que

terminou por eliminar o conceito de espaço absoluto do arcabouço conceitual da física moderna.

A concepção newtoniana do espaço absoluto baseou-se em uma síntese de dois elementos heterogêneos. De um lado, o espaço foi emancipado do esquema escolástico da substância e do acidente,* um esquema finalmente abandonado pelos filósofos naturais italianos do Renascimento. De outro, certas ideias, que parecem remontar ao judaísmo palestino do século I d.C., identificavam o espaço com um atributo de Deus. Elas foram adotadas pela filosofia mística judaica e, com a disseminação dos ensinamentos cabalísticos na Europa Ocidental, encontraram um solo particularmente fértil na Inglaterra seiscentista. Sob a influência de Henry More, um entusiástico estudioso da cabala, Newton julgou necessário e conveniente incluir essas ideias teológicas em sua teoria do espaço. Duas elaborações intelectuais mais ou menos independentes, que remontavam à Antiguidade, se uniram na teoria newtoniana do espaço absoluto.

Por conseguinte, nosso tratado sobre o desenvolvimento histórico do conceito de espaço físico¹ não é uma narrativa contínua, mas interrompida para propiciar o rastreamento da influência teológica. Por isso o primeiro capítulo expõe o conceito de espaço desde a mais remota Antiguidade até o fim da ciência helenística; o segundo versa sobre as influências teológicas até a época de Henry More; o terceiro retoma o tema do capítulo 1; o quarto discorre exclusivamente sobre o conceito newtoniano de espaço e sobre a crítica de Leibniz e Huygens a ele; e o quinto mostra o desenvolvimento do conceito de espaço depois de Newton e sua eliminação na física moderna. Na

* No pensamento escolástico, chamava-se acidente o aspecto casual ou fortuito de algo, aquilo que é irrelevante para compreender o que nele é essencial. A cor azul de um tecido, por exemplo, seria um “acidente”, já que não altera a natureza essencial do tecido. [N.R.]

exposição do assunto, tomamos grande cuidado com a documentação exata do material.

No que concerne à física pré-newtoniana e newtoniana, podemos restringir nossa discussão ao conceito de espaço, pois espaço e tempo eram entidades completamente heterogêneas e não interdependentes,* embora ligadas pelo conceito de movimento.² Em termos históricos e psicológicos, é preferível a discussão do espaço à do tempo, já que, muito provavelmente, a categoria de espaço precedeu a de tempo como objeto da consciência. A linguagem comprova essa suposição: as qualificações do tempo, como “curto” ou “longo”, são extraídas do vocabulário dos conceitos espaciais. Dizemos “a partir daí” [*thereafter*], e não “a partir de então” [*thenafter*], como seria mais lógico; “sempre” significa “em todos os tempos”; chegamos a falar em “espaço” ou “intervalo” de tempo; “antes” significa, etimologicamente, “defronte a”, “ante”. Nesse aspecto, as línguas semíticas são especialmente instrutivas, como Ignaz Goldziher assinalou.³ A palavra hebraica correspondente a “antes” é *lifney*, que tem o significado original de “em face de”, “na frente de”; muitas outras palavras, como *Kedem* e *aharey*, mostram claramente uma tendência que vai das qualificações espaciais para as temporais. Essa tendência, aliás, já pode ser reconhecida na antiga expressão *danna*, suméria, que originalmente era uma medida de comprimento e depois passou a significar uma certa fração do dia (uma unidade de tempo).⁴ A psicologia moderna, sem dúvida, confere mais concretude ao conceito de espaço que ao de tempo. Se nos lembrarmos de que o papel do tempo como variável fundamental dos processos físicos só foi claramente compreendido no fim da Idade Média, poderemos justificar nossa concentração no conceito de espaço, pelo menos no que concerne às primeiras teorias do espaço.

* Na transformação galileana da mecânica clássica, $t' = t$, ou seja, a variável temporal transformada independe da variável espacial. [N.A.]

Desde a profunda análise leibniziana dos conceitos de espaço e tempo, considerou-se com frequência que a ideia de tempo precedia a de espaço na construção de sistemas filosóficos. Considerava-se que a direção do fluxo do tempo era determinada pelas relações de causalidade que ligavam os fenômenos. O espaço, portanto, era apenas a ordem dos dados coexistentes: “*Spatium est ordo coexistendi*”, disse Leibniz em sua *Initia rerum metaphysica*, uma análise surpreendentemente moderna dos nossos conceitos de espaço e tempo.

De modo comparável, alguns modernos filósofos da ciência, na tentativa de estabelecer dedutivamente a estrutura do espaço-tempo, basearam suas investigações na ideia de ordem temporal e dela procuraram derivar as propriedades topológicas do espaço. O profundo estudo feito por Carnap em 1925,⁵ sobre a dependência das propriedades espaciais em relação às temporais, por exemplo, baseou-se exclusivamente nas duas relações seguintes: (1) a coincidência espaço-temporal e (2) a ordem temporal entre os “pontos de mundo” (no sentido de Minkowski). Em seu estudo sistemático do espaço e do tempo, Reichenbach afirmou, de modo similar, que as mensurações do espaço são redutíveis a mensurações do tempo. Declarou explicitamente: “O tempo é [...] logicamente anterior ao espaço.”⁶ Markoff⁷ fez outra tentativa de derivar de relações puramente temporais a métrica espacial de Minkowski, pressupondo uma estrutura discreta do tempo e um axioma *ad hoc*, o *Viereckaxiom*, cuja função é distender o tempo em espaço. A teoria axiomática do espaço-tempo de Robb⁸ e o famoso sistema cosmológico de Milne⁹ afirmam que a estrutura métrica do espaço-tempo só pode ser estabelecida com base no uso de sinais luminosos e na relação de sucessão temporal. Hoje, um dos proponentes mais eloquentes dessa visão é provavelmente Sygne, que proclama sem hesitar: “Euclides nos pôs no caminho errado, de modo que colocamos o espaço em primeiro

lugar e o tempo em segundo — um segundo lugar realmente muito precário.”¹⁰ Por fim, também na recém-publicada teoria do espaço e do tempo de Basri¹¹ — a despeito da ordem em que esses conceitos aparecem no título de seu livro —, o tempo antecede o espaço na ordem de construção dos fundamentos da física teórica.

Essas tentativas de derivar a espacialidade, ou extensão, da temporalidade pura, concebida como uma ordem unidimensional de sucessão, estão sujeitas a duas objeções sérias: (1) o uso de sinais luminosos e da sucessão temporal, sem a hipótese da existência de bastões rígidos ou de relógios materiais (portanto, de objetos espacialmente extensos), é insuficiente para medir intervalos espaciais, argumento já assinalado por Whyte^{*12} em 1954; (2) a própria admissão de uma multiplicidade de “linhas de mundo” pressupõe, ainda que apenas em uma forma rudimentar, algum tipo de espacialidade. Somente quando o tempo pode ser encarado não como um contínuo unidimensional de instantes, tal como concebido à maneira clássica, mas como dotado de uma certa extensão transversal, conforme sugerido por Čapek¹³ — que, nesse contexto, seguiu a filosofia bergsoniana do vir-a-ser entendido e a ideia de Whitehead sobre o avanço criativo da natureza —, é que parece possível derivar a espacialidade da temporalidade. Mas essas e outras concepções

* L. L. Whyte escreveu: “Um físico que use apenas sinais luminosos não pode diferenciar os sistemas inerciais dos que estão sujeitos a transformações arbitrárias de semelhança. O sistema de pontos de massa ‘em repouso’, passíveis de ser identificados dessa maneira, pode expandir-se e/ou contrair-se arbitrariamente em relação a um bastão medidor, e essas transformações supérfluas só podem ser eliminadas pelo uso de um bastão ou de um relógio.” Em última análise, a razão dessa objeção está no fato de que as equações de Maxwell, como mostraram H. Bateman e E. Cunningham em 1910, são invariantes no grupo conforme de transformações do espaço quadridimensional de Minkowski, grupo que também inclui, além das translações, rotações e reflexões, inversões referentes às hipersféricas desse espaço, e, portanto, transformações que fazem os quadros de referência inerciais passarem a quadros de referência não inerciais. [N.A.]

metafísicas similares ainda não foram absorvidas pela ciência: a geometria, no sentido de uma ciência do espaço, ainda não foi logicamente subordinada à cronometria, a ciência do tempo e sua mensuração. Por último, ao menos no que concerne às concepções clássicas do espaço, podemos considerar o conceito de espaço, seguramente, como uma ideia elementar e primária.

Notas

1. Para uma definição exata desse conceito, ver R. Carnap, “Der Raum. Ein Beitrag zur Wissenschaftslehre”, *Kantstudien*, Ergänzungsheft n. 56 (1922).
2. Como foi assinalado por C. A. Brandis em sua *Griechisch-römische Philosophie* (Berlim, 1835), v. 1, p. 413 e 415, Zenão de Eleia parece ter sido o primeiro a enfatizar essa ligação entre o espaço e o tempo. Cf. Locke, *Essay Concerning Human Understanding* (Londres, 1785), v. 1, p. 149, 156: “Para medir o movimento, é tão necessário considerar o espaço quanto o tempo [...]. Eles são usados para denotar a posição dos Seres reais finitos com respeito uns aos outros, nos oceanos uniformes da Duração e do Espaço.”
3. Ignaz Goldziher, *Mythology among the Hebrews* (Londres, 1877).
4. O. Neugebauer, “Untersuchungen zur Geschichte der antiken Astronomie, III”, *Quellen und Studien zur Geschichte der Mathematik* (Berlim: Springer, 1938), parte B, v. 4, p. 193.
5. R. Carnap, “Über die Abhängigkeit der Eigenschaften des Raumes von denen der Zeit”, *Kantstudien* 30, p. 331-345 (1925).
6. H. Reichenbach, *The Philosophy of Space and Time* (Nova York: Dover Publications, 1958), p. 169.
7. A. Markoff, “Über die Ableitbarkeit der Weltmetrik aus der ‘Früher Als’ Beziehung”, *Physikalische Zeitschrift der Sowjetunion* I, p. 397-406 (1932).
8. A. A. Robb, *A Theory of Time and Space* (Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press, 1913, 1914, 1936).
9. E. Milne, *Kinematic Relativity* (Londres: Oxford University Press, 1948).
10. J. L. Synge, “A plea for chronometry”, *The New Scientist* (19 de fevereiro de 1959), p. 410-412.

11. S. Basri, *A Deductive Theory of Space and Time* (Amsterdã: North-Holland Publishing Company, 1966).
12. L. L. Whyte, “Light signal kinematics”, *The British Journal for the Philosophy of Science*, 4, p. 160-161 (1954).
13. M. Čapek, *The Philosophical Impact of Contemporary Physics* (Princeton: D. Van Nostrand Company, 1961).