

STEVEN WEINBERG

Para explicar o mundo

A descoberta da ciência moderna

Tradução

Denise Bottmann

PRÊMIO  NOBEL
COMPANHIA DAS LETRAS

Copyright © 2015 by Steven Weinberg
Copyright das imagens © 2015 by Ron Carboni
Todos os direitos reservados, inclusive o direito de reprodução total ou parcial em qualquer meio.

Grafia atualizada segundo o Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa de 1990, que entrou em vigor no Brasil em 2009.

Título original

To Explain the World: The Discovery of Modern Science

Capa

Claudia Espínola de Carvalho

Preparação

Sílvia Massimini Felix

Índice remissivo

Luciano Marchiori

Revisão

Huendel Viana

Carmen T. S. Costa

Tradução das notas técnicas

Luís Augusto Sbardellini

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Weinberg, Steven, 1933-

Para explicar o mundo : a descoberta da ciência moderna /
Steven Weinberg ; tradução Denise Bottmann — 1ª ed. — São Paulo :
Companhia das Letras, 2015.

Título original: To Explain the World: The Discovery of
Modern Science

Bibliografia

ISBN 978-85-359-2625-5

1. Ciência antiga 2. Ciência — Grécia — História 3. Ciência —
História 4. Ciência medieval I. Título.

15-05810

CDD-509

Índice para catálogo sistemático:

1. Ciência : História

509

[2015]

Todos os direitos desta edição reservados à

EDITORA SCHWARCZ S.A.

Rua Bandeira Paulista, 702, cj. 32

04532-002 — São Paulo — SP

Telefone: (11) 3707-3500

Fax: (11) 3707-3501

www.companhiadasletras.com.br

www.blogdacompanhia.com.br

A Louise, Elizabeth e Gabrielle

*Nessas três horas que aqui estivemos
A passear, de duas sombras dispusemos
Como companhia, por nós mesmos produzidas;
Mas agora, que com o sol a pino estamos,
Essas sombras pisamos;
E a bela clareza todas as coisas são reduzidas.*

John Donne, “Uma preleção sobre a sombra”

Sumário

<i>Prefácio</i>	11
---------------------------	----

PARTE I: A FÍSICA GREGA

1. Matéria e poesia	23
2. Música e matemática	37
3. Movimento e filosofia	45
4. A física e a tecnologia helenísticas	55
5. A ciência e a religião antigas	70

PARTE II: A ASTRONOMIA GREGA

6. Os usos da astronomia	85
7. Medindo o Sol, a Lua e a Terra	94
8. O problema dos planetas	110

PARTE III: A IDADE MÉDIA

9. Os árabes	141
10. A Europa medieval	165

PARTE IV: A REVOLUÇÃO CIENTÍFICA

11. O sistema solar solucionado	193
12. Começam os experimentos.	241
13. A reconsideração do método	255
14. A síntese newtoniana.	271
15. Epílogo: A grande redução	319
 <i>Agradecimentos</i>	 335
<i>Notas técnicas</i>	336
<i>Notas</i>	445
<i>Referências bibliográficas</i>	461
<i>Índice remissivo</i>	471

Prefácio

Sou físico, não historiador, mas ao longo dos anos passei a sentir um fascínio sempre maior pela história da ciência. É uma narrativa extraordinária, uma das mais interessantes na história humana. E é também uma narrativa pela qual cientistas como eu têm um interesse pessoal. A pesquisa atual é auxiliada e iluminada pelo conhecimento de seu passado, e para alguns cientistas o conhecimento da história da ciência ajuda a motivar o trabalho no presente. Temos esperança de que nossa pesquisa possa vir a integrar, um mínimo que seja, a grandiosa tradição histórica da ciência natural.

Mesmo já tendo abordado a história em alguns de meus textos anteriores, tratava-se sobretudo da história moderna da física e da astronomia, por volta do final do século XIX até o presente. Aprendemos muitas coisas novas nesse período, mas os padrões e objetivos da ciência física não sofreram mudanças materiais. Se, de alguma maneira, os físicos de 1900 viessem a conhecer o modelo-padrão atual da cosmologia ou da física das partículas elementares, iriam se surpreender com muitas coisas, mas a ideia

de buscar princípios impessoais formulados em termos matemáticos e validados por vias experimentais, para explicar uma ampla variedade de fenômenos, iria lhes parecer muito familiar.

Algum tempo atrás, decidi que precisava me aprofundar, aprender mais sobre uma época anterior na história da ciência, quando os objetivos e critérios da física e da astronomia ainda não haviam adquirido sua forma atual. Como é natural para um acadêmico, quando quero aprender alguma coisa, ofereço-me para dar um curso sobre o tema. Na última década, dei alguns cursos sobre a história da física e da astronomia para a graduação na Universidade do Texas, para estudantes sem nenhuma base especial em ciência, matemática ou história. Este livro nasceu das notas de aulas para tais cursos.

Mas, tal como ele se desenvolveu, talvez eu tenha conseguido apresentar algo que ultrapassa uma narrativa simples, algo que pode até interessar a alguns historiadores: é a perspectiva de um cientista moderno sobre a ciência do passado. Aproveitei a oportunidade para expor minhas concepções sobre a natureza da ciência física e sua constante trama de relações com a religião, a tecnologia, a filosofia, a matemática e a estética.

Antes da história houve a ciência, em certo sentido. A todo momento, a natureza nos apresenta uma série de fenômenos intrigantes: fogos, temporais, pragas, o movimento planetário, a luz, marés etc. A observação do mundo levou a generalizações muito úteis: o fogo é quente, o trovão anuncia chuva, as marés atingem sua maior altura durante a lua cheia ou a lua nova, e assim por diante. Essas generalizações se tornaram parte do senso comum da humanidade. Mas, aqui e ali, algumas pessoas não se contentaram com uma mera coleção de dados e queriam mais. Queriam explicar o mundo.

Não é apenas que nossos predecessores não conheciam o que conhecemos — o mais importante é que não tinham nada que se

pareça com nossas ideias sobre a natureza: o que conhecer e como aprender a respeito dela. Várias vezes, enquanto preparava as aulas para o curso, fiquei impressionado com a diferença entre o trabalho da ciência nos séculos passados e a ciência em nossa época. Como diz uma frase muito citada de um romance de L. P. Hartley, “o passado é um país estrangeiro; lá, fazem as coisas de outra maneira”. Espero que, neste livro, eu tenha conseguido transmitir ao leitor não apenas uma ideia do que aconteceu na história das ciências exatas, mas também uma noção da dificuldade do processo.

Assim, este livro não se limita a expor como viemos a conhecer várias coisas sobre o mundo. Este, sem dúvida, é um objetivo de qualquer história da ciência. Meu enfoque aqui é um pouco diferente: consiste em mostrar como aprendemos a aprender a respeito do mundo.

Não ignoro que a palavra “explicar” no título do livro levanta problemas para os filósofos da ciência. Eles têm apontado a dificuldade de traçar uma distinção nítida entre explicação e descrição. (Terei algo a dizer a respeito no capítulo 8.) Mas esta é uma obra de história da ciência, e não tanto de filosofia da ciência. Por *explicação*, entendo algo reconhecidamente impreciso, tal como se entende no cotidiano, quando tentamos explicar por que um cavalo ganhou uma corrida ou por que um avião caiu.

A palavra “descoberta”, no subtítulo, também é problemática. Eu tinha pensado em usar o subtítulo *A invenção da ciência moderna*. Afinal, a ciência dificilmente poderia existir sem seres humanos que a pratiquem. Mas escolhi “descoberta” em vez de “invenção”, para sugerir que a ciência é desse jeito nem tanto por causa de várias criações históricas adventícias, mas sim pela maneira como a natureza é. Com todas as suas imperfeições, a ciência moderna é uma técnica que guarda com a natureza uma concórdia suficiente para funcionar — é uma prática que nos permite

aprender coisas confiáveis sobre o mundo. Nesse sentido, é uma técnica que estava à espera de ser descoberta.

Assim, pode-se falar da descoberta da ciência tal como um historiador fala sobre a descoberta da agricultura. Com todas as suas variedades e imperfeições, a agricultura é como é porque suas práticas guardam uma concordância com as realidades da biologia que é suficiente para funcionar — ela nos permite o cultivo de alimentos.

Com esse subtítulo, também quis me distanciar dos poucos construtivistas sociais remanescentes: aqueles sociólogos, filósofos e historiadores que tentam explicar não só o processo, mas inclusive os resultados da ciência como produto de um determinado meio cultural.

Entre os ramos da ciência, este livro se concentrará na física e na astronomia. Foi na física, sobretudo aplicada à astronomia, que a ciência assumiu pela primeira vez uma forma moderna. Claro que há limites ao grau em que ciências como a biologia, cujos princípios tanto dependem de acidentes históricos, podem ou devem adotar o modelo da física. Apesar disso, o desenvolvimento da biologia científica e da química nos séculos XIX e XX seguiu, em certa medida, o modelo da revolução da física no século XVII.

A ciência agora é internacional, talvez a faceta mais internacional de nossa civilização, mas a descoberta da ciência moderna se concentrou naquilo que pode ser, em termos vagos, chamado de Ocidente. A ciência moderna aprendeu seus métodos com a pesquisa feita na Europa durante a revolução científica, a qual, por sua vez, derivou do trabalho feito na Europa e em países árabes durante a Idade Média e, em última instância, da ciência inicial dos gregos. O Ocidente absorveu um grande volume de conhecimento científico de outros lugares — a geometria do Egito, os dados astronômicos da Babilônia, as técnicas aritméticas da Babilônia e da Índia, a bússola magnética da China etc. —, mas, até

onde sei, não importou os *métodos* da ciência moderna. Assim, este livro dará ênfase ao Ocidente (incluído o islã medieval) daquela mesma maneira que Oswald Spengler e Arnold Toynbee tanto deploraram: não terei muito a dizer sobre a ciência fora do Ocidente e não terei nada a dizer sobre o progresso sem dúvida interessante, mas totalmente isolado, na América pré-colombiana.

Ao narrar esta crônica, vou me acercar daquela área perigosa que os historiadores contemporâneos têm o máximo cuidado em evitar, qual seja, a de julgar o passado pelos critérios do presente. Esta é uma história irreverente: não me nego a criticar os métodos e realizações do passado a partir de um ponto de vista moderno. Tive até algum prazer em expor alguns erros de grandes heróis científicos que não vejo mencionados pelos historiadores.

Um historiador que dedica anos de estudo às obras de alguns grandes homens do passado pode exagerar os feitos de seus heróis. Tenho percebido isso sobretudo em obras sobre Platão, Aristóteles, Avicena, Grosseteste e Descartes. Mas aqui não tenho intenção de acusar nenhum filósofo natural do passado de burrice. Pelo contrário, mostrando como esses indivíduos de grande inteligência estavam longe de nossa atual concepção científica, quero mostrar como a descoberta da ciência moderna foi difícil, como suas práticas e critérios nada têm de óbvios. Isso também serve para alertar que talvez a ciência ainda não esteja em sua forma final. Em vários pontos neste livro, sugiro que, por maior que tenha sido o progresso realizado nos métodos científicos, podemos estar repetindo hoje alguns erros do passado.

Alguns historiadores da ciência, ao estudar a ciência do passado, tomam como regra não se referir ao conhecimento científico presente. Eu, pelo contrário, farei questão de usar o conhecimento presente para esclarecer a ciência do passado. Por exemplo, poderia ser um exercício intelectual interessante tentar entender como os astrônomos helenísticos Apolônio e Hiparco desenvolveram a

teoria de que os planetas giram em volta da Terra em órbitas epicíclicas fechadas usando apenas os dados de que dispunham, mas, como grande parte desses dados se perdeu, seria algo impossível. Todavia, sabemos que a Terra e os planetas já giravam em torno do Sol em órbitas elípticas, tal como fazem hoje, e sabendo disso poderemos entender como os dados disponíveis aos astrônomos antigos podem ter sugerido a eles a teoria dos epiciclos. De toda maneira, como hoje alguém, lendo sobre a astronomia da Antiguidade, pode esquecer nosso conhecimento atual do que realmente acontece no sistema solar?

Para os leitores que quiserem entender em mais detalhes como o trabalho dos cientistas do passado se encaixa com o que realmente existe na natureza, encontra-se um conjunto de “notas técnicas” ao final do volume. Não é necessário lê-las para acompanhar o texto principal do livro, mas alguns leitores talvez aprendam uma coisinha ou outra de física e astronomia, tal como eu mesmo aprendi ao prepará-las.

A ciência de agora não é como era em seus primórdios. Seus resultados são impessoais. A inspiração e o juízo estético são importantes no desenvolvimento das teorias científicas, mas a verificação dessas teorias se baseia em testes experimentais imparciais de suas previsões. Embora se utilize a matemática na formulação de teorias físicas e na representação de suas consequências, a ciência não é um ramo da matemática e as teorias científicas não podem ser deduzidas por um raciocínio exclusivamente matemático. A ciência e a tecnologia se beneficiam uma da outra, mas, em seu nível mais fundamental, não se faz ciência por razões de ordem prática. Embora a ciência não tenha nada a dizer sobre a existência de Deus ou da vida após a morte, seu objetivo é encontrar explicações de fenômenos naturais que são puramente naturalistas. A ciência é cumulativa; cada nova teoria incorpora teorias anteriores

bem-sucedidas a título de aproximações e até explica por que tais aproximações funcionam, quando funcionam.

Nada disso era óbvio para os cientistas da Antiguidade ou da Idade Média, e só veio a ser aprendido com grande dificuldade na revolução científica dos séculos XVI e XVII. A ciência moderna não foi de maneira nenhuma um objetivo de partida. Então, como chegamos à revolução científica e, depois dela, ao ponto em que estamos agora? É isso que devemos tentar entender ao examinarmos a descoberta da ciência moderna.

PARTE I
A FÍSICA GREGA

Antes ou durante o florescimento da ciência grega, os babilônios, chineses, egípcios, indianos e outros povos deram contribuições importantes à tecnologia, à matemática e à astronomia. Mesmo assim, foi da Grécia que a Europa extraiu seu modelo e inspiração, e foi na Europa que a ciência moderna começou, de modo que os gregos tiveram um papel especial na descoberta da ciência.

Pode-se discutir horas a fio por que foram os gregos que realizaram tantas coisas. Pode ser significativo que a ciência grega tenha começado quando os gregos viviam em pequenas cidades-estados independentes, muitas delas de regime democrático. Mas, como veremos, as realizações científicas mais impressionantes dos gregos aconteceram depois que esses pequenos Estados foram absorvidos por grandes potências: o reino helenístico do Egito e, depois, o Império Romano. Os gregos, nos tempos helenísticos e romanos, deram contribuições à ciência e à matemática que só vieram a ser efetivamente superadas com a revolução científica dos séculos XVI e XVII na Europa.

Esta parte de minha exposição da ciência grega aborda a física, deixando a astronomia grega para ser tratada na parte II. Dividi esta primeira parte em cinco capítulos, que tratam em ordem mais ou menos cronológica dos cinco modos de pensamento com os quais a ciência teve de se compatibilizar. O tema das relações entre a ciência e esses cinco vizinhos intelectuais ressurgirá ao longo de todo o livro.

1. Matéria e poesia

Em primeiro lugar, o cenário. No século VI a.C., já fazia algum tempo que a costa ocidental da atual Turquia estava povoada por gregos, falando, em sua maioria, o dialeto jônico. A cidade jônica mais rica e poderosa era Mileto, fundada num porto natural onde o rio Meandro deságua no mar Egeu. Lá, em Mileto, mais de um século antes da época de Sócrates, os gregos começaram a especular sobre a substância fundamental que forma o mundo.

A primeira vez que ouvi falar dos milésios foi na época da graduação em Cornell, quando eu cursava as matérias de história e filosofia da ciência. Nas aulas, os milésios eram chamados de “físicos”. Ao mesmo tempo, eu também estava frequentando cursos de física, inclusive a teoria atômica moderna da matéria. Parecia-me haver pouquíssima coisa em comum entre a física milésia e a física moderna. Não tanto porque os milésios estivessem errados sobre a natureza da matéria, mas porque eu não conseguia entender como eles haviam chegado a suas conclusões. Os registros históricos sobre o pensamento grego antes de Platão são fragmentários, mas para mim estava muito claro que os milé-

sios e todos os demais estudiosos gregos da natureza dos períodos arcaico e clássico (por volta de 600 a.C. a 300 a.C.) raciocinavam de uma maneira que não tinha nada a ver com o raciocínio dos cientistas atuais.

O primeiro milésio de que se tem alguma notícia é Tales, que viveu cerca de dois séculos antes da época de Platão. Ele teria previsto um eclipse solar, o qual sabemos que de fato ocorreu em 585 a.C. e foi visível em Mileto. Mesmo com o benefício dos registros babilônios dos eclipses, é improvável que Tales pudesse ter feito essa previsão, porque qualquer eclipse solar é visível apenas numa região geográfica limitada, mas o fato de lhe terem atribuído essa previsão mostra que Tales talvez tenha vivido no começo do século VI a.C. Não sabemos se ele chegou a pôr no papel alguma de suas ideias, mas nenhum texto escrito por Tales sobreviveu, nem mesmo como citação de autores posteriores. Ele é uma figura lendária, convencionalmente arrolado na época de Platão entre os “sete sábios” da Grécia (tal como seu contemporâneo Sólon, que teria criado a constituição ateniense). Por exemplo, considerava-se que Tales teria demonstrado ou trazido do Egito um famoso teorema de geometria. (Veja nota técnica 1.) O que importa aqui é que Tales teria sustentado a noção de que toda matéria é composta de uma única substância fundamental. Segundo a *Metafísica* de Aristóteles, “entre os primeiros filósofos, a maioria pensava que os princípios que eram da natureza da matéria eram os princípios únicos de todas as coisas. [...] Tales, o fundador dessa escola filosófica, diz que o princípio é a água”.¹ Muito mais tarde, Diógenes Laércio (fl. 230 a.C.), biógrafo dos filósofos gregos, escreveu que “sua doutrina era que a água é a substância primária universal, e que o mundo é animado e repleto de divindades”.²

O que Tales entendia por “substância primária universal”? Que toda matéria é composta de água? Se for isso, não temos como saber de que maneira Tales chegou a essa conclusão; mas, se

a pessoa está convencida de que toda matéria é composta de uma única substância comum, a água não é um mau candidato. A água ocorre não só em estado líquido, mas se converte com facilidade em sólido quando se congela ou em vapor quando ferve. A água, é claro, também é essencial à vida. Mas não sabemos se Tales pensava que as rochas, por exemplo, de fato se formam a partir da água comum ou, apenas, se há algo profundo que a rocha e outros sólidos compartilham com a água congelada.

Tales tinha um discípulo ou associado, Anaximandro, que chegou a outra conclusão. Ele também pensava que existe uma única substância fundamental, mas não a associou a nenhum material comum. Anaximandro a identificou como uma substância misteriosa a que chamou de ilimitado ou infinito. Temos uma descrição de suas ideias a esse respeito, apresentada por Simplicio, um neoplatônico que viveu cerca de mil anos depois. Simplicio inclui algo que parece ser uma citação direta de Anaximandro, indicada abaixo em itálico:

Entre os que dizem que [o princípio] é uno e em movimento e ilimitado, Anaximandro, filho de Praxíades, um milésio que se tornou discípulo e sucessor de Tales, dizia que o ilimitado é ao mesmo tempo princípio e elemento das coisas existentes. Ele diz que não é a água, nem qualquer outro dos chamados elementos, mas alguma natureza ilimitada, da qual nascem os céus e os mundos neles existentes; e as coisas das quais surgem outras coisas que existem são também aquelas em que resulta sua destruição, de acordo com o que deve ser. *Pois elas se oferecem mútua justiça e reparação por sua ofensa de acordo com a ordenação do tempo* — assim falando delas em termos mais propriamente poéticos. E é claro que, tendo observado a transformação dos quatro elementos uns nos outros, Anaximandro não considerou adequado tomar algum deles como material fundamental, mas sim outra coisa à parte deles.³

Um pouco mais tarde, outro milésio, Anaxímenes, voltou à ideia de que tudo é feito de uma só substância comum, mas, para Anaxímenes, essa substância não era a água e sim o ar. Ele escreveu um livro, do qual apenas uma frase inteira sobreviveu: “A alma, sendo nosso ar, nos controla, e a respiração e o ar abrangem o mundo inteiro”.⁴

Com Anaxímenes, encerram-se as contribuições dos milésios. Mileto e as outras cidades jônicas da Ásia Menor foram submetidas ao crescente Império Persa por volta de 550 a.C. Mileto iniciou uma revolta em 499 a.C. e foi devastada pelos persas. Reviveu mais tarde como importante cidade grega, mas nunca voltou a ser um centro da ciência grega.

O interesse pela natureza da matéria prosseguiu fora de Mileto entre os gregos jônicos. Existe uma indicação de que Xenófanes, nascido por volta de 570 a.C. em Cólofon, na Jônia, e migrado para o sul da Itália, designou a terra como a substância fundamental. Num de seus poemas encontra-se o verso: “Pois todas as coisas vêm da terra, e em terra todas as coisas terminam”.⁵ Mas talvez essa fosse apenas sua versão daquele sentimento fúnebre bastante conhecido: “cinzas às cinzas, pó ao pó”. Reencontraremos Xenófanes em outro contexto, quando chegarmos à religião no capítulo 5.

Em Éfeso, não distante de Mileto, por volta de 500 a.C., Heráclito ensinou que a substância fundamental é o fogo. Ele escreveu um livro, do qual sobreviveram apenas alguns fragmentos. Um desses fragmentos nos diz que “este *kosmos** ordenado, que é o

* Como assinala Gregory Vlastos, em *O universo de Platão* (Seattle: University of Washington Press, 1975), Homero usava uma forma adverbial da palavra “kosmos” no sentido de “socialmente decoroso” e “moralmente respeitável”. Esse uso sobrevive no inglês na palavra “cosmético”. Seu uso em Heráclito reflete a concepção helênica de que o mundo é em grande medida o que deveria ser. A palavra também aparece em inglês nos cognatos “cosmos” e “cosmologia”. (N. A.)

mesmo para todos, não foi criado por nenhum dos deuses nem pela humanidade, mas sempre foi, é e será o Fogo eterno, que se acende com medida e se apaga com medida”.⁶ Em outra passagem, Heráclito ressaltou as transformações incessantes na natureza, pois, para ele, era mais natural tomar como elemento fundamental o fogo sempre variável, um agente de transformação, em vez da terra, do ar ou da água, elementos mais estáveis.

A noção clássica de que toda matéria é composta não de um, mas de quatro elementos — água, ar, terra e fogo — provavelmente se deve a Empédocles. Ele viveu em Agragas, na Sicília, a atual Agrigento, no começo do século v a.C., e é o primeiro e praticamente o único grego nessa fase inicial da história a ser de linhagem dórica e não jônica. Ele escreveu dois poemas em hexâmetros, dos quais restaram muitos fragmentos. Em *Sobre a natureza*, temos: “como da mistura de Água, Terra, Éter e Sol [Fogo] nasceram as formas e cores das coisas mortais...”,⁷ e também “fogo, água, terra e a altura interminável do ar, e a amaldiçoada Discórdia distante deles, equilibrados de todas as maneiras, e o Amor entre eles, iguais em altura e amplitude”.⁸

É possível que Empédocles e Anaximandro usassem termos como “amor” e “discórdia”, ou “justiça” e “injustiça”, apenas como metáforas para a ordem e a desordem, mais ou menos como Einstein às vezes usava “Deus” como metáfora das leis fundamentais desconhecidas da natureza. Mas não devemos impor uma interpretação moderna às palavras dos pré-socráticos. A meu ver, a intrusão de emoções humanas como o amor e a discórdia de Empédocles, ou de valores como a justiça e a reparação de Anaximandro, em especulações sobre a natureza da matéria é, sobretudo, um indicador da grande distância entre o pensamento dos pré-socráticos e o espírito da física moderna.

Esses pré-socráticos, de Tales a Empédocles, pareciam pensar os elementos como substâncias homogêneas, uniformes e indife-

renciadas. Uma visão diferente, mais próxima do entendimento moderno, foi apresentada um pouco mais tarde em Abdera, uma cidade na costa da Trácia fundada por refugiados da revolta das cidades jônicas contra a Pérsia, iniciada em 499 a.C. O primeiro filósofo abderense conhecido é Leucipo, do qual sobreviveu apenas uma frase, sugerindo uma concepção de mundo determinista: “Nada acontece em vão, mas tudo por uma razão e por necessidade”.⁹ Sobre Demócrito, sucessor de Leucipo, conhece-se muito mais. Ele nasceu em Mileto e viajou pela Babilônia, pelo Egito e por Atenas antes de se estabelecer em Abdera, no final do século v a.C. Demócrito escreveu livros sobre ética, ciência natural, matemática e música, dos quais restam muitos fragmentos. Um desses fragmentos expõe a noção de que toda matéria consiste de minúsculas partículas indivisíveis chamadas átomos (da palavra grega para “incortáveis”), movendo-se no espaço vazio: “O doce existe por convenção, o amargo por convenção; os átomos e o Vácuo [sozinho] existem na realidade”.¹⁰

Como os cientistas modernos, esses primeiros gregos queriam olhar sob a superfície aparente do mundo, procurando conhecer um nível mais profundo da realidade. A matéria do mundo não se mostra à primeira vista como sendo feita de água, de ar, de terra ou de fogo, ou dos quatro elementos juntos, ou mesmo de átomos.

A aceitação do esoterismo foi levada ao extremo no sul da Itália por Parmênides de Eleia (a Vélia romana), muito admirado por Platão. No começo do século v a.C., Parmênides pensou, contra Heráclito, que a aparente mudança e variedade na natureza é uma ilusão. Suas ideias foram defendidas por seu discípulo Zenão de Eleia, que não deve ser confundido com outros, como Zenão, o Estoico. Em seu livro *Ataques*, Zenão apresentava uma série de paradoxos para mostrar a impossibilidade do movimento. Por exemplo, para percorrer uma pista de corrida completa, é necessá-

rio cobrir primeiro metade da distância, depois metade da distância restante e assim por diante, de modo que é impossível percorrer todo o caminho. Pelo mesmo raciocínio, até onde podemos deduzir dos fragmentos remanescentes, para Zenão era impossível percorrer *qualquer* distância, e assim qualquer movimento é impossível.

O raciocínio de Zenão, claro, estava errado. Como Aristóteles¹¹ apontou mais tarde, não existe nenhuma razão para não podermos dar um número infinito de passos num tempo finito, visto que o tempo necessário para cada passo sucessivo decresce com rapidez suficiente. É verdade que uma série infinita como $\frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \dots$ tem uma soma infinita, mas a série infinita $\frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \dots$ tem uma soma perfeitamente finita, nesse caso igual a 1.

O mais surpreendente não é que Parmênides e Zenão estivessem errados, mas que nem se incomodassem em explicar por qual razão, se o movimento é impossível, as coisas aparentam se mover. De fato, nenhum dos primeiros gregos, de Tales a Platão, nem em Mileto, Abdera, Eleia ou Atenas, jamais se deu ao trabalho de explicar em detalhe como suas teorias sobre a realidade última explicavam as aparências das coisas.

Não era apenas preguiça intelectual. Havia uma tendência de esnobismo intelectual entre os primeiros gregos que os levava a considerar o entendimento das aparências como algo sem valor. Esse é apenas um exemplo de uma atitude que prejudicou grande parte da história da ciência. Em várias épocas, considerou-se que órbitas circulares são mais perfeitas que órbitas elípticas, que o ouro é mais nobre que o chumbo e que o homem é superior a seus colegas símios.

Estaremos agora cometendo erros semelhantes, deixando passar oportunidades de um avanço científico por ignorarmos fenômenos que não parecem dignos de nossa atenção? Não é possível saber com certeza, mas creio que não. Claro que não pode-

mos explorar tudo, mas escolhemos problemas que a nosso juízo, correto ou incorreto, oferecem a melhor perspectiva para o entendimento científico. Biólogos interessados em cromossomos ou células nervosas estudam animais como moscas-das-frutas e lulas, e não nobres águias e leões. Às vezes, os físicos de partículas elementares são acusados de um interesse esnobe por fenômenos nos níveis mais altos de energia, mas é apenas em altas energias que podemos criar e estudar partículas hipotéticas de grande massa, como as partículas de matéria escura que os astrônomos nos dizem compor cinco sextos da matéria do universo. Em todo caso, damos grande atenção a fenômenos de baixas energias, como as intrigantes massas de neutrinos, cerca de um milionésimo da massa do elétron.

Ao comentar os preconceitos dos pré-socráticos, não estou dizendo que o raciocínio *a priori* não tem lugar na ciência. Hoje, por exemplo, esperamos descobrir que nossas leis físicas mais profundas satisfazem aos princípios da simetria, os quais formulam que as leis físicas não mudam quando alteramos nosso ponto de vista de certas maneiras determinadas. Assim como o princípio da imutabilidade de Parmênides, alguns desses princípios de simetria não são logo evidentes nos fenômenos físicos — diz-se que foram espontaneamente rompidos. Isto é, as equações de nossas teorias têm certas simplicidades — por exemplo, tratar certas espécies de partículas da mesma maneira —, mas essas simplicidades não estão presentes nas soluções das equações, que regem os fenômenos efetivos. Mesmo assim, ao contrário do compromisso de Parmênides com a imutabilidade, a presunção *a priori* em favor dos princípios de simetria nasceu de muitos anos de experimentação buscando princípios físicos que descrevem o mundo real, e tanto as simetrias rompidas quanto as não rompidas são validadas por experimentos que confirmam suas consequências. Elas não envolvem juízos de valor como os que aplicamos aos assuntos humanos.

Com Sócrates, no final do século v a.C., e Platão, cerca de quarenta anos depois, o centro do palco da vida intelectual grega se transferiu para Atenas, uma das poucas cidades de gregos jônicos no território grego. Quase tudo o que sabemos de Sócrates provém de suas aparições nos diálogos de Platão, bem como de uma aparição na peça *As nuvens*, de Aristófanes, como personagem cômico. Sócrates, ao que parece, não deixou nenhuma de suas ideias por escrito, mas, até onde sabemos, ele não se interessava muito por ciência natural. No diálogo *Fédon*, de Platão, Sócrates comenta como ficou decepcionado ao ler um livro de Anaxágoras (há mais sobre Anaxágoras no capítulo 7), pois ele descrevia a Terra, o Sol, a Lua e as estrelas em termos puramente físicos, sem consideração pelo bem.¹²

Platão, ao contrário de seu herói Sócrates, era um aristocrata ateniense. Foi o primeiro filósofo grego do qual restaram muitos textos quase ilesos. Platão, como Sócrates, estava mais interessado nos assuntos humanos do que na natureza da matéria. Tinha esperança de seguir uma carreira política que lhe permitisse pôr em prática suas ideias utópicas e antidemocráticas. Em 367 a.C., Platão aceitou um convite de Dionísio II para ir a Siracusa e ajudar a reformar seu governo, mas, felizmente para Siracusa, isso não resultou em nada.

Num de seus diálogos, o *Timeu*, Platão juntou a ideia dos quatro elementos e a noção abderense dos átomos. Os quatro elementos de Empédocles consistiam, para Platão, em partículas no formato de quatro dos cinco corpos sólidos que a matemática conhecia como poliedros regulares, corpos com faces que são polígonos iguais, com todos os lados iguais, juntando-se em vértices iguais. (Veja nota técnica 2.) Por exemplo, um dos poliedros regulares é o cubo, cujas faces são quadrados iguais, três quadrados se juntando em cada vértice. Platão considerou que os átomos da terra teriam a forma de cubos. Os outros poliedros regulares são o

tetraedro (uma pirâmide com quatro faces triangulares), o octaedro de oito lados, o icosaedro de vinte lados e o dodecaedro de doze lados. Platão supôs que os átomos do fogo, do ar e da água teriam, respectivamente, as formas do tetraedro, do octaedro e do icosaedro. Com isso, o dodecaedro ficava de fora. Platão o tomou como representando o *kosmos*. Mais tarde, Aristóteles introduziu um quinto elemento, o éter ou *quintessência*, que preencheria o espaço acima da órbita lunar.

Tem sido comum apresentar essas especulações iniciais sobre a natureza da matéria para indicar que elas prefiguram certos traços da ciência moderna. Demócrito é objeto de especial admiração; uma das principais universidades na Grécia moderna se chama Universidade Demócrito. De fato, o esforço de identificar os constituintes fundamentais da matéria prosseguiu durante milênios, embora com mudanças, de tempos em tempos, na lista dos elementos. No começo da era moderna, os alquimistas haviam identificado três supostos elementos: mercúrio, sal e enxofre. A ideia moderna dos elementos químicos data da revolução química instigada por Priestley, Lavoisier, Dalton e outros no final do século XVIII, e hoje incorpora 92 elementos que ocorrem na natureza, do hidrogênio ao urânio (incluindo o mercúrio e o enxofre, mas não o sal), além de uma lista crescente de elementos criados de maneira artificial, mais pesados que o urânio. Em condições normais, um elemento químico puro consiste em átomos do mesmo tipo, e os elementos se diferenciam uns dos outros pelo tipo de átomo de que são compostos. Hoje, olhamos além dos elementos químicos para as partículas elementares que compõem os átomos, mas, de uma maneira ou outra, continuamos a busca dos constituintes fundamentais da natureza que foi iniciada em Mileto.

Apesar disso, penso que não se deve exagerar a ênfase nos aspectos modernos da ciência grega arcaica ou clássica. Há um elemento importante da ciência moderna que está praticamente

ausente de todos os pensadores que mencionei, de Tales a Platão: nenhum deles tentou verificar, nem sequer justificar (à exceção, talvez, de Zenão), suas especulações. Ao lermos seus escritos, sentimos uma vontade constante de perguntar: “Como você sabe?”. Isso também se aplica a Demócrito, tal como aos demais. Não vemos em nenhum dos fragmentos dos livros de Demócrito qualquer esforço em mostrar que a matéria é de fato composta de átomos.

As ideias de Platão sobre os cinco elementos dão um bom exemplo de sua displicência quanto à justificação. No *Timeu*, ele começa não pelos poliedros regulares, mas pelos triângulos, que propõe juntar para formar as faces dos poliedros. Que tipo de triângulos? Platão propõe que deve ser o triângulo retângulo isósceles, com ângulos de 45° , 45° e 90° , e o triângulo retângulo com ângulos de 30° , 60° e 90° . As faces quadradas dos átomos cúbicos da terra podem ser formadas com dois triângulos retângulos isósceles e as faces triangulares dos átomos tetraédricos, octaédricos e icosaédricos do fogo, do ar e da água podem ser formadas, cada uma delas, com dois dos outros triângulos retângulos. (O dodecaedro, que misteriosamente representa o cosmo, não pode ser construído dessa maneira.) Para explicar essa escolha, Platão diz no *Timeu*:

Se alguém puder nos mostrar uma melhor escolha de triângulos para a construção dos quatro corpos, sua crítica será bem-vinda; mas, de nossa parte, propomos passar sobre todo o resto [...]. Seria longo demais expor a razão, mas, se alguém puder produzir uma prova de que não é assim, receberemos bem seu resultado.¹³

Posso imaginar qual seria a reação hoje em dia, se eu defendesse uma nova conjectura sobre a matéria num artigo de física, dizendo que seria demorado demais expor meu raciocínio e desafiando meus colegas a provarem que ele não é verdadeiro.

Aristóteles chamou os filósofos gregos anteriores de *fisiólogos*, às vezes traduzido como “físicos”,¹⁴ mas o termo é enganador. A palavra “fisiólogos” significa apenas estudiosos da natureza (*physis*), mas os primeiros gregos não tinham quase nada em comum com os físicos de hoje. Suas teorias não tinham nada a que se agarrar. Empédocles podia especular sobre os elementos e Demócrito sobre os átomos, mas suas especulações não levaram a nenhuma informação nova sobre a natureza, e com certeza a nada que permitisse testar suas teorias.

Parece-me que, para entender esses primeiros gregos, é melhor vê-los não como físicos ou cientistas, ou nem sequer como filósofos, mas sim como poetas.

Cabe esclarecer o que quero dizer com isso. Existe uma acepção estrita da poesia como linguagem que utiliza recursos verbais como métrica, rima ou aliteração. Mesmo nessa acepção estrita, Xenófanes, Parmênides e Empédocles escreviam em poesia. Depois das invasões dóricas e o surgimento da civilização micênica no século XII a.C., na Idade do Bronze, passou a predominar entre os gregos um maciço analfabetismo. Sem a escrita, a poesia é quase a única forma de comunicar e transmitir algo às gerações posteriores, pois é possível lembrá-la de uma maneira que não ocorre com a prosa. A alfabetização reviveu entre os gregos por volta de 700 a.C., mas o novo alfabeto tomado de empréstimo aos fenícios foi usado inicialmente por Homero e Hesíodo para escrever poesia, parte dela consistindo na poesia da idade das trevas grega transmitida pela memória ao longo das gerações. A prosa veio depois.

Mesmo os primeiros filósofos gregos que escreveram em prosa — como Anaximandro, Heráclito e Demócrito — adotavam um estilo poético. Cícero comentou que Demócrito era mais poético do que muitos poetas. Platão, quando jovem, queria ser poeta e, embora escrevesse em prosa e fosse hostil à poesia em *República*, seu estilo literário sempre foi muito admirado.

Aqui penso em poesia numa acepção mais ampla: a linguagem escolhida sobretudo pelos efeitos estéticos, e não para tentar enunciar com clareza o que se acredita ser verdade. Quando Dylan Thomas escreve que “a força que pelo verde fundir impele a flor impele meus anos de verdor”, não tomamos a frase como uma declaração séria sobre a unificação das forças da botânica e da zoologia, e não procuramos uma justificação; tomamos (pelo menos eu) como uma manifestação de tristeza pela velhice e pela morte.

Às vezes, parece claro que Platão não pretendia ser tomado ao pé da letra. Um exemplo citado acima é o argumento bastante frágil para sua escolha dos dois triângulos como base de toda matéria. Como exemplo ainda mais claro, Platão introduziu no *Tímeu* a história de Atlântida, que teria florescido milênios antes de sua época. Platão não pode ter pretendido realmente conhecer alguma coisa sobre o que acontecera milhares de anos antes.

Não estou dizendo, de forma alguma, que os primeiros gregos decidiram escrever de forma poética para se furtar à necessidade de validar suas teorias. Não sentiam essa necessidade. Hoje testamos nossas especulações sobre a natureza utilizando teorias propostas para extrair conclusões mais ou menos precisas, que podem ser testadas pela observação. Isso não acontecia entre os primeiros gregos, nem entre muitos sucessores seus, por uma razão muito simples: *eles nunca tinham visto alguém fazer isso*.

Aqui e ali existem alguns sinais de que, mesmo quando queriam de fato ser levados a sério, os primeiros gregos tinham dúvidas sobre suas próprias teorias e sentiam que um conhecimento confiável era inalcançável. Apresentei um exemplo em meu tratado de 1972 sobre a relatividade geral. Na epígrafe de um capítulo sobre especulação cosmológica, citei algumas linhas de Xenófanes: “E quanto à verdade certa, nenhum homem a viu, nem nunca existirá um homem que conheça os deuses e as coisas que mencio-

no. Pois, se ele consegue dizer por completo o que é inteiramente verdade, ele próprio, porém, não está ciente disso, e a opinião está fixada pelo destino em todas as coisas”.¹⁵ Na mesma linha, Demócrito observou em *Sobre as formas*: “Na realidade, não conhecemos nada solidamente” e “Tem-se mostrado de muitas maneiras que, na verdade, não sabemos como cada coisa é ou não é”.¹⁶

Permanece um elemento poético na física moderna. Não escrevemos em poesia; grande parte dos textos dos físicos mal chega ao nível da prosa. Mas buscamos beleza em nossas teorias e utilizamos juízos estéticos como guia em nossa pesquisa. Alguns de nós cremos que isso funciona porque fomos treinados por séculos de êxitos e fracassos na pesquisa física para antecipar certos aspectos das leis da natureza, e por meio dessa experiência viemos a sentir que essas características das leis da natureza são belas.¹⁷ Mas não tomamos a beleza de uma teoria como prova convincente de sua verdade.

Por exemplo, a teoria das cordas, que descreve as diversas espécies de partículas elementares como vários modos de vibração de cordas minúsculas, tem grande beleza. Parece ter um mínimo de consistência matemática, de modo que sua estrutura não é arbitrária, mas estabelecida em larga medida pela exigência de consistência matemática. Assim, ela tem a beleza de uma forma de arte rígida, um soneto ou uma sonata. Infelizmente, a teoria das cordas ainda não levou a nenhuma previsão que possa ser testada de modo experimental e, em decorrência disso, os teóricos (pelo menos em nossa maioria) ainda estão em dúvida se a teoria das cordas se aplica de fato ao mundo real. É dessa insistência na verificação que mais sentimos falta em todos os estudiosos poéticos da natureza, de Tales a Platão.