

Carlo Rovelli

A realidade não é
o que parece
A estrutura elementar das coisas

TRADUÇÃO
Silvana Cobucci Leite



Copyright © 2014 by Raffaello Cortina Editore

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

Título original

La realtà non è come ci appare: la struttura elementare delle cose

Capa

Estúdio Lógos/Julio Mariutti, Deborah Salles e Alice Vigianni

Preparação

Milena Vargas

Revisão técnica

Carlos Roberto Rabaça

Ph.D. em astronomia pela Universidade do Alabama, Estados Unidos

Professor da UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

Índice remissivo

Probo Poletti

Revisão

Ana Maria Barbosa, Nana Rodrigues

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

Rovelli, Carlo

A realidade não é o que parece: a estrutura elementar das coisas / Carlo Rovelli; tradução Silvana Cobucci Leite. – 1ª ed. – Rio de Janeiro: Objetiva, 2017.

Título original: La realtà non è come ci appare: la struttura elementare delle cose.

ISBN 978-85-470-0025-7

1. Cosmologia 2. Física – Filosofia 3. Gravidade quântica 4. Teoria quântica I. Título.

17-00835

CDD-530.12

Índice para catálogo sistemático:

1. Teoria quântica : Física 530.12

[2017]

Todos os direitos desta edição reservados à

EDITORA SCHWARCZ S.A.

Praça Floriano, 19, sala 3001

20031-050 – Rio de Janeiro – RJ

Telefone: (21) 2199-7824

www.companhiadasletras.com.br

Sumário

| | |
|--|---|
| <i>Introdução: Caminhando na praia</i> | 9 |
|--|---|

PRIMEIRA PARTE

RAÍZES

| | |
|---|----|
| 1. Grãos | 19 |
| Existe um limite para a divisibilidade? | 27 |
| A natureza das coisas | 35 |
| 2. Os clássicos..... | 43 |
| Isaac e a pequena lua..... | 43 |
| Michael: os campos e a luz..... | 54 |

SEGUNDA PARTE

O INÍCIO DA REVOLUÇÃO

| | |
|------------------------------|----|
| 3. Albert..... | 69 |
| O presente estendido..... | 71 |
| A mais bela das teorias..... | 79 |
| Matemática ou física? | 91 |
| O cosmos..... | 93 |

| | |
|--|-----|
| 4. Os quanta..... | 109 |
| Outra vez Albert..... | 110 |
| Niels, Werner e Paul..... | 114 |
| Campos e partículas são a mesma coisa..... | 125 |
| Quanta 1: a informação é finita..... | 128 |
| Quanta 2: indeterminismo..... | 130 |
| Quanta 3: a realidade é relação..... | 132 |
| Mas realmente é compreensível?..... | 134 |

TERCEIRA PARTE

ESPAÇO QUÂNTICO E TEMPO RELACIONAL

| | |
|--|-----|
| 5. O espaço-tempo é quântico..... | 143 |
| Matvei..... | 146 |
| John..... | 150 |
| Os primeiros passos dos loops..... | 154 |
| 6. Quanta de espaço..... | 157 |
| Espectros de volume e de área..... | 159 |
| Átomos de espaço..... | 165 |
| Redes de spins..... | 167 |
| 7. O tempo não existe..... | 171 |
| O tempo não é aquilo que pensamos..... | 172 |
| O pulso e o candelabro..... | 174 |
| Sushi de espaço-tempo..... | 178 |
| Espumas de spins..... | 181 |
| Do que é feito o mundo?..... | 187 |

QUARTA PARTE

ALÉM DO ESPAÇO E DO TEMPO

| | |
|--------------------------|-----|
| 8. Além do big bang..... | 197 |
| O mestre..... | 197 |
| Cosmologia quântica..... | 202 |

| | |
|---|-----|
| 9. Confirmações empíricas? | 206 |
| Sinais da natureza | 209 |
| Uma janela para a gravidade quântica..... | 213 |
| 10. O calor dos buracos negros | 218 |
| 11. O fim do infinito..... | 227 |
| 12. Informação | 234 |
| Tempo térmico | 245 |
| Realidade e informação..... | 249 |
| 13. O mistério | 254 |
| | |
| <i>Notas</i> | 263 |
| <i>Bibliografia comentada</i> | 279 |
| <i>Índice remissivo</i> | 285 |

Introdução

Caminhando na praia

Somos obcecados por nós mesmos. Estudamos *nossa* história, *nossa* psicologia, *nossa* filosofia, *nossa* literatura, *nossos* deuses. Grande parte de nosso saber é uma volta contínua do homem em torno de si mesmo, como se nós fôssemos a coisa mais importante do Universo. Acho que gosto de física porque ela abre uma janela e olha para longe. Traz a sensação de ar puro entrando em casa.

O que vemos além da janela nos encanta. Aprendemos muito sobre o Universo. No decorrer dos séculos, reconhecemos muitos dos nossos erros. Acreditávamos que a Terra era plana. Que estava fixa no centro do mundo. E que o Universo era pequeno e permaneceria sempre igual. Acreditávamos que os homens eram uma espécie à parte, sem parentesco com os outros animais. Aprendemos que existem quarks, buracos negros, partículas de luz, ondas de espaço e extraordinárias arquiteturas moleculares em cada célula de nosso corpo. A humanidade é como uma criança que cresce e descobre, admirada, que o mundo não é apenas o seu quarto e o seu playground, mas é amplo, e existem milhares de coisas a explorar e ideias a conhecer, diferentes

daquelas com as quais está acostumada. O Universo é multiforme e ilimitado, e continuamos a descobrir novos aspectos dele. Quanto mais aprendemos sobre o mundo, mais nos espantamos com sua variedade, beleza e simplicidade.

Mas, quanto mais descobrimos, também nos damos conta de que aquilo que não sabemos é muito mais do que aquilo que já compreendemos. Quanto mais potentes são os nossos telescópios, mais vemos céus estranhos e inesperados. Quanto mais olhamos os detalhes minúsculos da matéria, mais descobrimos estruturas profundas. Hoje vemos quase até o big bang, a grande explosão que há 14 bilhões de anos deu origem a todas as galáxias do céu; mas já começamos a vislumbrar que há alguma coisa além do big bang. Aprendemos que o espaço se encurva, e começamos a perceber que esse mesmo espaço é entrelaçado com grãos quânticos que vibram.

Nosso conhecimento sobre a gramática elementar do mundo continua a aumentar. Se tentarmos reunir tudo o que aprendemos sobre o mundo físico no decorrer do século XX, os indícios apontam para algo profundamente diferente das ideias que nos ensinaram na escola sobre matéria e energia, espaço e tempo. Emerge uma estrutura elementar do mundo em que não existe o tempo e não existe o espaço, gerada por um pulular de eventos quânticos. Campos quânticos desenham espaço, tempo, matéria e luz, trocando informações entre um evento e outro. A realidade é uma rede de eventos granulares; a dinâmica que os liga é probabilística; entre um evento e outro, espaço, tempo, matéria e energia estão dispersos numa nuvem de probabilidades.

Esse mundo novo e estranho emerge hoje lentamente do estudo do principal problema aberto na física fundamental: a *gravidade quântica*. O problema de tornar coerente aquilo que compreendemos do mundo pelas duas grandes descobertas da física do século XX, relatividade geral e teoria dos quanta.

Este livro dedica-se à *gravidade quântica* e ao estranho mundo que tal pesquisa nos está descortinando. Narra ao vivo a pesquisa em andamento: o que estamos aprendendo, o que sabemos e o que atualmente temos a impressão de começar a entender sobre a natureza elementar das coisas. Parte das origens, distantes, de algumas ideias-chave que hoje nos permitem organizar nossos pensamentos sobre o mundo. Descreve as duas grandes descobertas do século XX, a teoria da relatividade geral de Einstein e a mecânica quântica, procurando focalizar o centro do seu conteúdo físico. Mostra a imagem do mundo que hoje surge da pesquisa em gravidade quântica, considerando as últimas indicações que a natureza nos forneceu, como as confirmações do modelo cosmológico padrão obtidas com o satélite Planck (2013) e o fracasso da observação das partículas supersimétricas, esperada por muitos, no CERN (2013). Discute as consequências dessas ideias: a estrutura granular do espaço, o desaparecimento do tempo em pequeníssima escala, a física do big bang, a origem do calor dos buracos negros, até aquilo que vislumbramos sobre o papel da informação na base da física.

No famoso mito narrado por Platão no Livro VII da *República*, os homens estão acorrentados no fundo de uma caverna escura e veem diante de si apenas sombras, projetadas na parede atrás deles por um fogo. Pensam que aquela é a realidade. Um deles se liberta, sai e descobre a luz do sol e a vastidão do mundo. No início, a luz o deixa aturdido, o confunde: seus olhos não estão acostumados. Mas ele consegue olhar e volta feliz à caverna para contar aos companheiros aquilo que viu. Eles não conseguem acreditar. Todos nós estamos no fundo de uma caverna, presos à corrente da nossa ignorância, dos nossos preconceitos, e nossos frágeis sentidos nos mostram sombras. Procurar ver mais longe muitas vezes nos confunde: não estamos acostumados. Mas ten-

tamos. A ciência é isso. O pensamento científico explora e re-desenha o mundo, oferece-nos imagens dele que pouco a pouco ficam melhores, ensina-nos a pensá-lo de maneira mais eficaz. A ciência é uma exploração contínua das formas de pensamento. Sua força é a capacidade visionária de derrubar ideias preconcebidas, desvelar novos territórios do real e construir imagens novas e melhores do mundo. Esta aventura apoia-se em todo o conhecimento acumulado, mas sua alma é a mudança. Olhar mais longe. O mundo é ilimitado e iridescente; queremos sair para vê-lo. Estamos imersos em seu mistério e em sua beleza, e além da colina existem territórios ainda inexplorados. A incerteza em que estamos mergulhados, nossa precariedade, suspensão sobre o abismo da imensidão daquilo que não sabemos, não torna a vida sem sentido: ao contrário, a torna preciosa.

Escrevi este livro para contar aquela que, para mim, é a maravilha dessa aventura. Eu o escrevi pensando num leitor que nada conhece de física, mas tem curiosidade em saber o que compreendemos e o que não compreendemos hoje da trama elementar do mundo, e onde estamos pesquisando. E para tentar transmitir a beleza arrebatadora do panorama sobre a realidade visível a partir dessa perspectiva.

Também o escrevi pensando nos colegas, companheiros de viagem dispersos por todo o mundo ou nos jovens apaixonados por ciência que querem seguir esse caminho. Procurei traçar o panorama geral sobre a estrutura do mundo físico visto sob a dupla luz da relatividade e dos quanta, da forma como acredito que possa estar unido. Não é apenas um livro de divulgação; é também um livro para articular um ponto de vista coerente, num campo de pesquisa em que a abstração técnica da linguagem às vezes ameaça deixar pouco clara a visão de conjunto. A ciência é constituída de experimentos, hipóteses, equações,

cálculos e longas discussões, mas estes são apenas instrumentos, como os instrumentos dos músicos. No final, o que conta na música é a música, e o que conta na ciência é a compreensão do mundo que ela consegue oferecer. Para compreender o significado da descoberta de que a Terra gira em torno do Sol, não adianta mergulhar nos complicados cálculos de Copérnico; para compreender a importância da descoberta de que todos os seres vivos no nosso planeta têm os mesmos antepassados, não é preciso seguir as complexas argumentações do livro de Darwin. A ciência é ler o mundo de um ponto de vista que pouco a pouco se torna mais amplo.

Neste livro, falo do estado atual da pesquisa dessa nova imagem do mundo, da forma como o compreendo hoje, procurando focalizar seus pontos mais importantes e suas ligações lógicas. Como alguém que responde à pergunta de um colega e amigo: “Mas como você acha que as coisas são, de verdade?”, caminhando na praia numa longa noite de verão.

Primeira Parte

Raízes

Este livro começa em Mileto, 26 séculos atrás. Por que iniciar um livro sobre a gravidade quântica falando de eventos, pessoas e ideias tão antigas? Não quero chatear o leitor que tem pressa em chegar aos quanta de espaço, mas é mais fácil compreender as ideias partindo das raízes que as fizeram nascer, e uma parte importante das ideias que mais tarde se mostraram eficazes para compreender o mundo remonta a mais de vinte séculos. Se retomamos brevemente o nascimento delas, podemos compreendê-las melhor, e os passos seguintes se tornam simples e naturais.

Mas não é só isso. Alguns problemas propostos na época permanecem centrais para a compreensão do mundo. Algumas das ideias mais recentes sobre a estrutura do espaço fazem referência a conceitos e questões introduzidas então. Falando das ideias antigas, começo por colocar na mesa algumas questões fundamentais que serão essenciais para compreender as bases da gravidade quântica. Desse modo, ao apresentar a gravidade quântica, poderemos distinguir a parte das ideias que remonta à origem do pensamento científico, embora muitas vezes não nos seja familiar, daquelas que, ao contrário, são seus aspectos radicalmente novos. Como

veremos, a ligação entre os problemas postos pelo pensamento de alguns cientistas antigos e as soluções encontradas por Einstein e pela gravidade quântica é muito estreita.

1. Grãos

De acordo com a tradição, no ano 450 antes da nossa era, um homem embarcou em um navio para uma viagem de Mileto a Abdera (figura 1.1). Foi uma viagem fundamental na história do conhecimento.

Provavelmente, o homem fugia de conflitos políticos em Mileto, onde estava em curso uma violenta retomada do poder por parte da aristocracia. Mileto era uma cidade grega rica e próspera, talvez a principal cidade do mundo grego antes do século áureo de Atenas e Esparta. Era um centro comercial muito ativo e dominava uma rede de quase uma centena de colônias e escalas comerciais que se estendiam do mar Negro ao Egito. Chegavam a Mileto caravanas da Mesopotâmia e navios provenientes de meio Mediterrâneo, e lá as ideias circulavam.

Durante o século precedente, ocorreu em Mileto uma revolução no pensamento que foi fundamental para a humanidade. Um grupo de pensadores recriou a maneira de fazer perguntas sobre o mundo e de buscar respostas. O maior deles foi Anaximandro.

Desde sempre, ou pelo menos desde quando a humanidade passou a deixar textos escritos que chegaram até nós, os homens