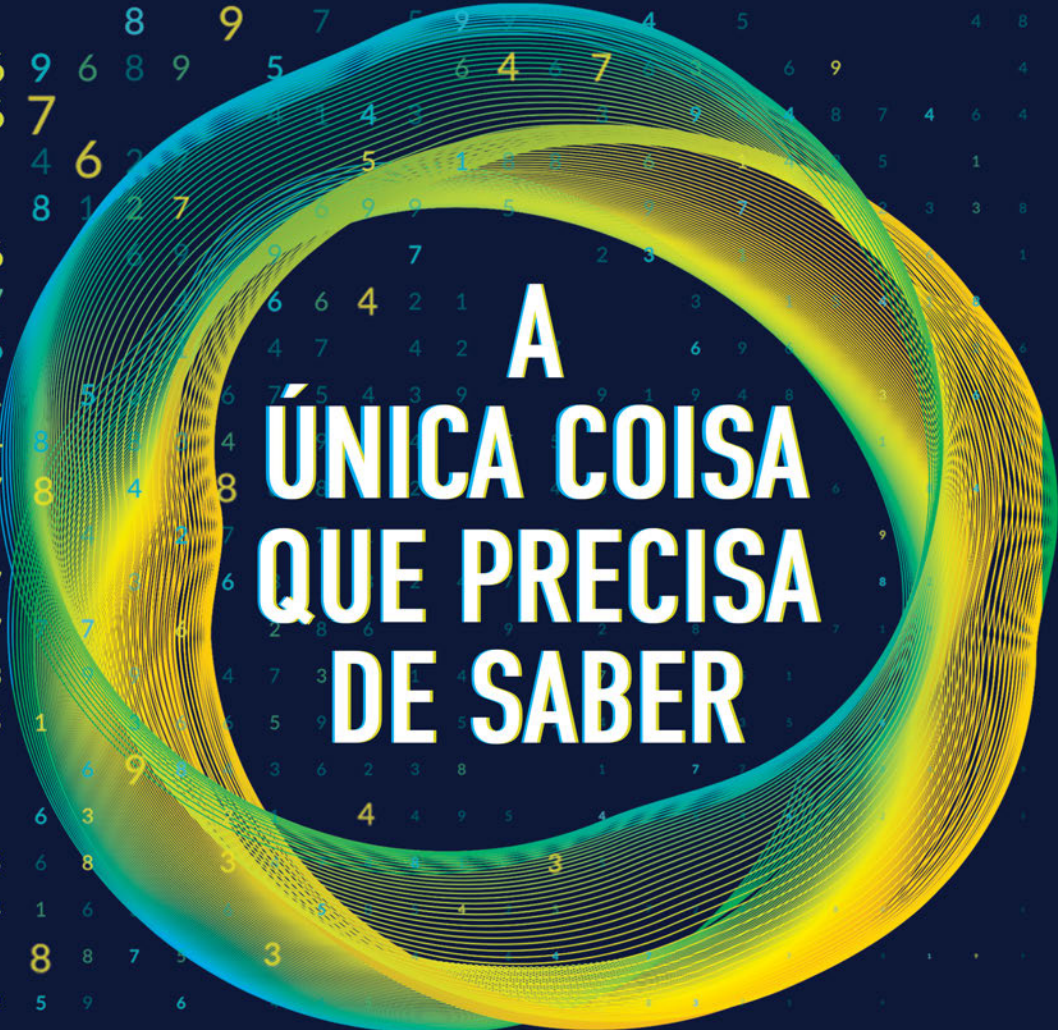


MARCUS CHOWN

AUTOR DE *O INFINITO NA PALMA DA SUA MÃO*



A  
ÚNICA COISA  
QUE PRECISA  
DE SABER

A MANEIRA SIMPLES de ENTENDER  
as COISAS MAIS IMPORTANTES na CIÊNCIA

Moçais

Para o Eric, que, durante os cortes de energia da década de 1970, na altura em que trabalhava para a Companhia de Eletricidade de Londres, desligava sempre a eletricidade de Fulham *após* o programa de televisão favorito da sua companheira, o *Doctor Who*; e para o Marc, o génio da informática de Nova Iorque.

### **Nota à edição portuguesa**

A nomenclatura dos números segue a escala longa, em que um bilião é um milhão de milhões. Ao estilo do texto original, em vez de trilião e quatrilhão são usados milhão de biliões e bilião de biliões, respetivamente.

# ÍNDICE

PREFÁCIO	11
<b>1 GRAVIDADE</b>	13
Todo o pedaço de matéria exerce uma força atrativa sobre todos os outros pedaços de matéria	
<b>2 ELETRICIDADE</b>	25
Ao explorar uma força 10 mil sextiliões de vezes mais forte do que a gravidade nós geramos energia para o mundo	
<b>3 AQUECIMENTO GLOBAL</b>	35
As moléculas como o dióxido de carbono absorvem calor irradiado pela superfície da Terra e retêm-no na atmosfera	
<b>4 PORQUE É O SOL QUENTE</b>	45
Ele contém uma grande quantidade de massa	
<b>5 A SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA</b>	55
Há muitas mais maneiras de as coisas serem desordenadas do que ordenadas, pelo que, se cada uma delas é igualmente provável, a ordem transformar-se-á gradualmente em desordem	

<b>6 TECTÓNICA DE PLACAS</b>	65
A crosta terrestre está fraturada como um pavimento irregular, em placas, as quais o magma ascendente faz com que se empurrem umas às outras	
<b>7 TEORIA QUÂNTICA</b>	75
As partículas podem comportar-se como ondas e as ondas podem comportar-se como partículas	
<b>8 ÁTOMOS</b>	89
Eles são o alfabeto da natureza e, ao ordená-los de maneiras diferentes, é possível criar uma rosa, uma galáxia ou um bebê recém-nascido	
<b>9 EVOLUÇÃO</b>	99
As características que permitem aos organismos competir com êxito por recursos alimentares escassos, e sobreviver e reproduzir-se, tornam-se mais comuns em cada nova geração	
<b>10 RELATIVIDADE ESPECIAL</b>	111
A luz é impossível de alcançar	
<b>11 O CÉREBRO</b>	119
As atividades principais dos cérebros são fazer alterações neles mesmos	
<b>12 RELATIVIDADE GERAL</b>	131
A gravidade é aceleração	
<b>13 EVOLUÇÃO HUMANA</b>	139
Três palavras caracterizam os humanos e os seus antepassados: migração, migração, migração	

<b>14 BURACOS NEGROS</b>	149
Uma massa suficientemente concentrada cria um poço sem fundo no espaço-tempo do qual nada, nem mesmo a luz, consegue escapar	
<b>15 O MODELO PADRÃO</b>	159
A complexidade do mundo resulta das permutações de apenas três elementos constitutivos fundamentais, unidos uns aos outros por três forças fundamentais	
<b>16 COMPUTADORES QUÂNTICOS</b>	169
Ou exploram cópias de si mesmos em universos paralelos ou se comportam como se o fizessem	
<b>17 ONDAS GRAVITACIONAIS</b>	179
São vibrações na pele do tambor do espaço-tempo — a voz do espaço	
<b>18 CAMPO DE HIGGS</b>	189
Os elementos constitutivos básicos da matéria não têm massas intrínsecas, mas adquirem-nas ao interagirem com o Higgs	
<b>19 ANTIMATÉRIA</b>	199
Um fóton tem carga zero, por isso, quando se transforma num elétron, a carga do elétron tem de ser anulada por uma partícula com carga oposta: uma antipartícula	
<b>20 NEUTRINOS</b>	209
Embora sejam fantasmas fugidios que quase não assombram o mundo físico, eles são a segunda partícula mais comum no Universo	

<b>21 O BIG BANG</b>	217
O Universo começou num estado quente e denso e, desde então, tem estado a expandir-se e a arrefecer	
AGRADECIMENTOS	227
GLOSSÁRIO	229
NOTAS	245
ÍNDICE REMISSIVO	255

# PREFÁCIO

«Eu sou o homem mais sábio de todos,  
porque há uma coisa que sei, que é que nada sei.»

SÓCRATES

«Eu nasci sem saber e tive apenas algum  
tempo para mudar isso aqui e ali.»

RICHARD FEYNMAN

Recentemente, pediram-me que desse uma palestra sobre computadores quânticos numa firma de advocacia. Avisado de que não poderia assumir que a minha audiência tivesse qualquer conhecimento científico, pensei: «Qual é a *única* coisa que é preciso saber para compreender os computadores quânticos — a *única* coisa a partir da qual tudo o resto se segue?» Ao preparar a minha apresentação, ocorreu-me que poderia fazer exatamente o mesmo para uma miríade de outros conceitos científicos e que, num mundo em que a maioria das pessoas tem falta de tempo, falar-lhes da *única* coisa que elas precisam de saber para entender um tópico, e mostrar como tudo o resto se segue como uma consequência lógica, poderia ser uma maneira nova



e divertida de comunicar imensas coisas profundas de uma forma compacta e digerível. A teoria da relatividade especial de Einstein é uma consequência do facto de um raio de luz ser impossível de alcançar. Do mesmo modo, grande parte da teoria quântica é uma consequência do facto extraordinário de os principais elementos constitutivos da matéria — os átomos e os seus constituintes — poderem comportar-se quer como partículas localizadas, quer como ondas que se propagam. O Modelo Padrão da Física de partículas — o ponto alto de 400 anos de Física — é um resultado da misteriosa obsessão da natureza em impor a simetria de *gauge* local (é certo que isto é uma coisa um pouco mais esotérica!). É claro que nem todos os temas são tão claros quanto estes, e, com temas complexos como a evolução humana e o cérebro, nem tudo se entende a partir de uma única coisa. Mas, com esta ressalva, dei o meu melhor para fornecer uma porta de entrada para 21 tópicos, do aquecimento global à partícula de Higgs, da eletricidade ao *Big Bang*, dos buracos negros à evolução por seleção natural. Espero que goste!

Marcus Chown

# 1

## GRAVIDADE

.....

Todo o pedaço de matéria exerce uma força atrativa  
sobre todos os outros pedaços de matéria.

.....

«Posso calcular o movimento dos corpos celestes,  
mas não a loucura das pessoas.»

ISAAC NEWTON

A gravidade é uma força de atração «universal», o que significa que ela atua entre os diferentes pedaços de matéria. Há uma força de gravidade, por exemplo, entre si e alguém que, na rua, passa por perto. E há uma força de gravidade entre si e as moedas no seu bolso. Todavia, não repara em nenhuma destas coisas porque a gravidade é uma força incrivelmente fraca. Provavelmente não é isso que parece. Afinal de contas, é difícil saltar mais de um metro para o ar antes de sermos puxados de volta para o solo. Não obstante, a gravidade é débil. Estique o seu braço e mantenha-o na horizontal. A força gravítica de toda a Terra — incontáveis

milhares de bilhões de toneladas — não consegue puxar o seu braço para baixo.

Apesar da sua fraqueza fundamental, a gravidade tem a propriedade de se tornar maior quanto mais matéria houver. Ao contrário da força eletromagnética da natureza, que pode ser atrativa ou repulsiva de tal modo que se anula em toda a matéria normal, a gravidade surge apenas sob uma forma, que é sempre atrativa (ver Capítulo 2 sobre eletricidade). Consequentemente, o efeito da gravidade é cumulativo: quanto mais matéria existir, mais atração gravitacional haverá. É por isto que a gravidade não desempenha um papel perceptível à escala das moedas no seu bolso ou das pessoas que passam por si na rua, mas é significativa para corpos de grande dimensão, como planetas, estrelas, galáxias e o Universo como um todo.

Na verdade, é possível deduzir o limiar de tamanho a partir do qual a gravidade se torna dominante. Consideremos um átomo, que consiste num núcleo carregado positivamente em volta do qual orbitam elétrons carregados negativamente (ver Capítulo 8 sobre átomos). É a repulsão entre os elétrons em órbita de um átomo e os do átomo seguinte que os mantém separados e também mantém a matéria rija. No átomo mais simples, o hidrogênio, que consiste num único próton orbitado por um elétron, a força gravítica entre eles é cerca de 10 mil sextiliões (ou  $10^{40}$ ) de vezes mais fraca do que a força eletromagnética. Consequentemente, quando um corpo contém mais de 10 mil sextiliões de átomos, a força da gravidade vence a força eletromagnética.

Para um corpo composto de rocha, 10 mil sextiliões de átomos correspondem a um diâmetro de cerca de 600 quilómetros e, para um corpo composto de gelo, que é mais fácil de comprimir, o diâmetro equivalente é de cerca de 400 quilómetros. Se a força da atração gravitacional for dominante, ela puxará toda a matéria para a forma mais compacta possível, que é uma esfera.

Assim, a previsão é a de que todos os corpos rochosos no sistema solar maiores do que cerca de 600 quilómetros de diâmetro serão esferas, enquanto todos os que são mais pequenos do que isto terão a forma de uma batata. Para um corpo gelado, o limiar correspondente é de cerca de 400 quilómetros. E claro que, ao olhar para o sistema solar esta previsão é, de facto, corroborada.

O modelo original para a força da gravidade foi, na verdade, o magnetismo. Em 1600, o cientista inglês William Gilbert realizou experiências com pedaços de magnetite magnetizados. Ele descobriu que quanto maior fosse a massa de tal «pedra-íman», maior a atração que exercia sobre uma peça de ferro. Ele também demonstrou que a atração é *mútua* — ou seja, a força de atração exercida por uma pedra-íman sobre uma peça de ferro é exatamente tão forte quanto a força de atração exercida pelo ferro sobre a pedra-íman. Com base nisto, Gilbert sugeriu que o magnetismo poderia ser a força que mantinha o sistema solar unido.

Robert Hooke, o maior rival de Isaac Newton, interessou-se muito pelas descobertas de Gilbert. No entanto, ele percebeu que a força que mantinha os planetas sob o domínio do Sol não poderia ser o magnetismo uma vez que os corpos, quando aquecidos, perdem o seu magnetismo, e o Sol é, claramente, muito quente. Ainda assim, Hooke viu o magnetismo como um *modelo* para a força que está a orquestrar o movimento dos corpos do sistema solar. Tal como o magnetismo, a gravidade estende-se a partir de uma massa através do espaço vazio e agarra outra massa. Tal como o magnetismo, quanto maior for a força, maiores as massas envolvidas. E, tal como o magnetismo, é uma força mútua.

As pistas para o comportamento detalhado da gravidade residem nas leis planetárias de Johannes Kepler. Entre 1609 e 1619, o matemático alemão debruçou-se sobre as precisas observações, a olho nu, de planetas feitas pelo astrónomo dinamarquês Tycho Brahe a partir do seu laboratório na ilha de Hven. Por fim, após

um esforço colossal, ele deduziu três leis que regem o comportamento dos planetas.

A segunda lei de Kepler do movimento planetário reconhece que um planeta viaja mais depressa quando está mais próximo do Sol e mais devagar quando está mais afastado. Mais precisamente, ela refere que uma linha imaginária que une um planeta ao Sol percorre áreas iguais em períodos iguais. Esta área é proporcional à velocidade do planeta vezes a sua distância do Sol, uma grandeza que na linguagem moderna é conhecida como o seu momento angular orbital. Newton percebeu que esta grandeza só é constante se a força num planeta for direcionada apenas em direção ao Sol, e também se não existir nenhum componente no caminho de um planeta.

Considere por um momento quão extraordinário é isto. Antes de Newton, quase toda a gente que alguma vez refletira sobre o movimento dos planetas imaginou uma força a empurrá-los efetivamente nas suas órbitas, proporcionada talvez por anjos a voar ao lado dos planetas e a impeli-los com os seus sopros ou a movê-los com o batimento das suas asas. Newton, no entanto, viu a mensagem na segunda lei de Kepler: não há nenhuma força a impulsionar os planetas nas suas órbitas. Em vez disso, eles estão em movimento unicamente devido à sua inércia: a tendência de um corpo em movimento para se manter em movimento. Isto foi algo que Newton englobou na sua primeira lei do movimento: «Um corpo continua em repouso ou move-se *a uma velocidade constante em linha reta*, a não ser que sobre ele atue uma força.» (Na Terra, há sempre uma força a atuar sobre qualquer corpo, como a fricção que abrandava uma bola de futebol que tenha sido pontapeada, mas na ausência dessa força, a bola continuaria numa linha reta para sempre.) Munido desta percepção, Newton foi capaz de determinar com precisão o que a força da gravidade, sempre dirigida em direção ao Sol, faz à trajetória de um planeta:

ela arrasta-o continuamente, afastando-o do seu percurso natural em linha reta. E ao fazê-lo, ela aprisiona-o numa órbita solar eterna.

Newton tinha agora de identificar o caráter exato da força da gravidade: de que maneira a sua força variava consoante a distância a um corpo maciço como o Sol. Ele foi capaz de fazer isto devido ao seu palpite de que a gravidade é universal — por outras palavras, de que a força que atua sobre um planeta é a mesma força que atua sobre uma maçã apartada de uma árvore. Tal proposta era radical e corajosa porque desafiava os ensinamentos da Igreja de que os céus não só eram feitos de uma essência diferente da essência da Terra como também obedeciam a leis diferentes. Mas isto permitiu a Newton comparar diretamente a força da gravidade da Terra a atuar sobre uma maçã em queda com a força da gravidade da Terra a atuar sobre a Lua. Sabendo a distância a que a maçã se encontrava do centro da Terra e a distância a que a Lua se encontrava do centro da Terra, ele podia então determinar o modo como a força da gravidade mudava com a distância.

À primeira vista, parece impossível comparar a força da gravidade da Terra numa maçã e na Lua porque a maçã está a cair e a Lua não está. No entanto, a genialidade de Newton permitiu-lhe reconhecer que as aparências são enganadoras e a Lua *está*, de facto, a cair.

Newton imaginou um canhão a disparar uma bala horizontalmente. À medida que voa pelo ar, ela é puxada para baixo pela gravidade e atinge o solo depois de viajar, digamos, 500 metros. Em seguida, ele imaginou um canhão maior que disparava uma bala ainda mais depressa, de modo que ela atingia o solo depois de viajar, digamos, 5 quilómetros. Por fim, ele imaginou um supercanhão que disparava uma bala a 18 mil quilómetros por hora. A esta velocidade enorme, a rapidez com que a bala cai na direção da Terra é a mesma com que a superfície da Terra se curva para longe dela. Assim, ela nunca atinge o solo! Na verdade, ela *cai*

*para sempre num círculo.* A Lua está a fazer exatamente isto. Ela está a cair na direção da Terra, tal como é certo uma maçã cair de uma árvore. A resposta surpreendente à pergunta «Porque é que a Lua e os satélites que orbitam a Terra não caem?» é, portanto, que *estão* a cair. Acontece apenas que eles nunca atingem o solo.

Newton estimou a aceleração da maçã ao cronometrar a sua queda e estimou a aceleração da Lua a partir de quanto ela caía em direção à Terra no mesmo período. Ele comparou as duas e, sabendo a distância quer da maçã quer da Lua ao centro da Terra, deduziu que a gravidade enfraquece de acordo com uma lei do inverso do quadrado da distância. Por outras palavras, se dois corpos maciços forem movidos para o dobro da distância entre eles, a força da gravidade entre eles é quatro vezes mais fraca; se eles triplicarem a sua separação, a gravidade passa a ser nove vezes mais fraca, e assim por diante.

No seu feito seguinte, Newton demonstrou que um planeta que experiencia uma lei da gravidade que varie com o inverso do quadrado da distância dos seus centros de massa orbita o Sol numa elipse. Fora Kepler a descobrir que os trajetos dos planetas em torno do Sol são elipses e não círculos como os gregos haviam acreditado. Ele tinha consagrado isto na sua primeira lei do movimento planetário: «Um planeta viaja numa elipse com o Sol num dos focos.»\* Newton concentrou-se em explicar a primeira lei de Kepler em agosto de 1684 quando Edmond Halley o visitou em Cambridge, esperando solucionar uma disputa entre os seus amigos Robert Hooke e Christopher Wren. Hooke afirmava, sem provas, que se a força da gravidade fosse dirigida ao Sol e obedecesse a uma lei da gravidade que variasse com o inverso do quadrado da distância, então o trajeto de um planeta seria uma elipse, como Kepler havia descoberto.<sup>1</sup> Newton disse a Halley que tinha

---

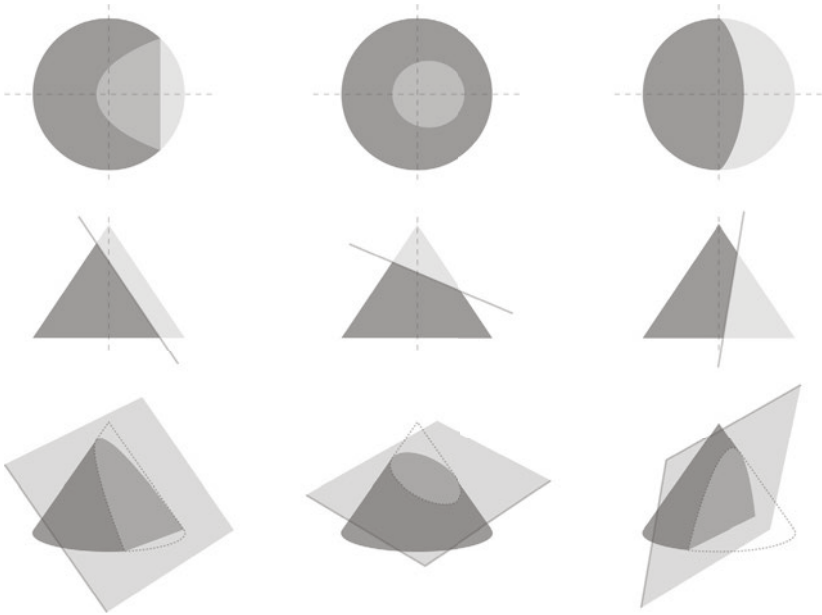
\* Os focos de uma elipse são dois pontos fixos no seu eixo maior. As suas localizações são tais que, para cada ponto da elipse, a soma das distâncias do ponto até aos focos é uma constante.

obtido uma prova de que o trajeto era efetivamente uma elipse. No entanto, apesar de procurar em toda a parte nos seus quartos no Trinity College, não conseguiu encontrar os cálculos que tinha feito. A visita de Halley não só o inspirou a refazer os cálculos como também o incentivou a embarcar num período de dois anos a passar para o papel décadas do seu trabalho não publicado sobre gravidade e movimento, naquilo que passou a ser uma das principais realizações da ciência: os *Principia*.

Newton, de facto, provou que os corpos sob a influência da lei da atração que varia com o inverso do quadrado da distância dos seus centros de massa movem-se, não numa elipse, mas, mais genericamente, numa secção cónica. Pense num cone assente na sua base e numa faca afiada a efetuar um corte limpo através dele. Se a faca cortar simplesmente através do cone de um lado ao outro, a secção transversal exposta é elíptica (e se o corte for paralelo à base, é um círculo, que é um caso especial de uma elipse). Se a faca cortar de cima para baixo através de um lado do cone e até à base, paralelamente ao outro lado do cone, a secção transversal exposta é uma parábola. E se a faca cortar de cima para baixo através de um lado do cone até base verticalmente, o resultado é uma hipérbole.

Os três tipos de trajeto correspondem a três situações físicas diferentes. Se um corpo tem velocidade — ou energia — insuficiente para escapar ao Sol, ele ficará preso para sempre numa órbita elíptica, como acontece com os planetas. No entanto, se tiver energia suficiente para escapar, ele seguirá uma hipérbole, voando em direção às estrelas. A parábola é o trajeto de um corpo que se situa no fio da navalha entre estar preso e não estar preso. Ele pode escapar da tirania gravitacional do Sol apenas ao colocar uma quantidade infinita de distância entre ele e o Sol, o que demoraria uma quantidade infinita de tempo.





Cortes cónicos: três maneiras de cortar através de um cone expõem uma parábola (esquerda), uma elipse (centro), e uma hipérbole (direita). Todas são trajetórias possíveis de um corpo sob a ação da gravidade do Sol.

Munido da sua lei da gravidade, Newton foi não só capaz de explicar o movimento da Lua em torno da Terra e o movimento dos planetas à volta do Sol, mas também as marés nos oceanos. Estas são causadas principalmente pela Lua e o Sol.

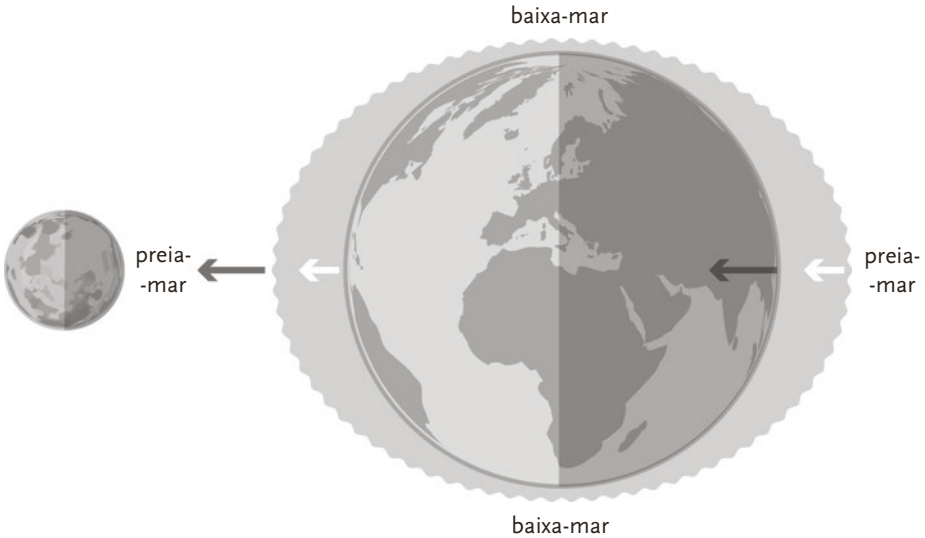
As marés são criadas não pela gravidade, mas por *diferenças* na gravidade. Tomemos a Lua como exemplo. Dado que a sua gravidade diminui com a distância, quando um oceano está voltado para a Lua, a água no leito marinho experiencia um puxar mais fraco do que a que se encontra à superfície. Esta diferença causa uma pequena protuberância ascendente no oceano. À medida que a Terra gira no seu eixo, a protuberância move-se pelo oceano, fazendo com que o nível do mar suba e desça no litoral. No entanto, isto explica apenas uma das duas marés diárias. A outra

é causada porque, no lado da Terra mais distante da Lua, a água no leito marinho, estando mais perto da Lua do que a água à superfície, experiencia uma força atrativa mais forte do que a água à superfície. A diferença estende a água à superfície para longe da água no leito marinho, criando uma segunda protuberância no oceano.

Na verdade, em qualquer local existem duas marés não a cada 24 horas, mas antes aproximadamente a cada 25 horas. Isto acontece porque a Lua não fica simplesmente suspensa e estática no céu por cima de um local no oceano enquanto a Terra gira sobre ela. Ao invés, ela circunda a Terra no sentido da rotação da Terra, demorando 27,3 dias a completar um circuito. Isto significa que um ponto no oceano mesmo por baixo da Lua não estará mesmo por baixo da Lua outra vez após 24 horas. Para o ponto no oceano estar mesmo por baixo da Lua outra vez, a Terra tem de rodar mais  $1/27,3$  de uma volta completa, o que demora  $1/27,3$  de 24 horas, ou cerca de 53 minutos. Desta forma, são experienciadas duas marés não a cada 24 horas, mas a cada 24 horas e 53 minutos.

As marés puxadas pela Lua têm o dobro do tamanho das puxadas pelo Sol, o que levou Newton a deduzir de forma correta que a Lua é duas vezes mais densa do que o Sol. Este é um resultado verdadeiramente notável. Ele é válido apenas devido a uma coincidência cósmica peculiar: neste momento particular que vivemos, a Lua e o Sol apresentam-se com o mesmo tamanho no céu.<sup>2</sup> A propósito, esta coincidência também significa que somos periodicamente presenteados com um eclipse total do Sol quando o disco do Sol é totalmente tapado pela Lua. Tal espetáculo, todavia, só tem sido visível apenas durante cerca de 5 por cento da história da Terra, desde que a Lua se está a afastar da Terra (ver Capítulo 6 sobre placas tectónicas). Atualmente, ela está a recuar cerca de quatro centímetros por ano, conforme determinado a partir do tempo de voo de impulsos de *laser* disparados da Terra que fazem

ricochete nos refletores de «canto cúbico» deixados pelos astronautas da missão *Apollo* na década de 1970.



Puxão de maré: há uma protuberância no oceano por baixo da Lua porque a sua força atrativa sobre a superfície é maior do que sobre o leito marinho. Há uma protuberância no lado mais distante da Terra pela razão oposta.

As marés ocorrem não só nos oceanos da Terra mas também nas suas rochas. Estas causam um efeito estranho observado pela primeira vez em cerca de 100 a. C. pelo filósofo grego Posidónio: a água num poço sobe na baixa-mar e desce na preia-mar. Em 1939 foi finalmente apresentada uma explicação.<sup>3</sup> Os poços são, obviamente, escavados em solo saturado de água. E quando a maré está cheia, o solo incha para cima, sugando água do poço como uma esponja. Quando a maré está baixa, o solo retrocede, espremendo a água para fora da esponja e de volta para o poço. A diferença exata no nível da água depende de várias variáveis, mas pode ser tão grande quanto cerca de um metro.

Outro fenômeno provocado por marés sólidas foi observado por físicos no CERN, o centro europeu para a física de partículas perto de Genebra, em 1992. O seu colisor de elétrons-positrões, ou LEP, era um enorme túnel subterrâneo em forma de anel que atravessava as rochas. Os físicos notaram que, duas vezes a cada 25 horas, havia um aumento na velocidade, ou energia, dos elétrons e positrões que voavam pela pista de corridas subterrânea. Durante algum tempo, eles ficaram profundamente baralhados, até que alguém percebeu que as marés estavam a fazer com que a rocha na qual o túnel estava escavado inchasse para cima e voltasse a recuar, expandindo e contraindo a largura do anel do LEP em cerca de um milímetro duas vezes a cada 25 horas.

Talvez o exemplo mais notável de marés sólidas, no entanto, seja em Io, a lua de Júpiter semelhante a uma *pizza*. O violento esticar e comprimir da lua por ação das marés provocado pelo planeta gigante Júpiter, mais as outras luas próximas, aqueceu o seu interior, liquefazendo-o e tornando esta lua o corpo mais vulcânico no sistema solar. Na verdade, comparativamente, ela gera mais calor do que o Sol!

A lei da gravidade de Newton possui, sem dúvida, enorme poder preditivo. No entanto, ela falha em certas circunstâncias porque, como Einstein percebeu em 1915, a fonte da gravidade não é, efetivamente, a massa, mas a energia (ver Capítulo 12 sobre relatividade geral). Massa-energia é certamente uma forma de energia, mas também existem outras, e elas também têm gravidade. Em particular, perto do Sol, onde a gravidade é mais forte do que em qualquer outro local do sistema solar, a energia armazenada no próprio campo gravitacional tem gravidade. Isto significa que a gravidade é ligeiramente mais forte do que o que Newton teria previsto e explica uma anomalia no movimento do planeta mais interior do sistema solar, Mercúrio. O planeta não orbita o Sol numa elipse padrão, mas numa elipse que altera continuamente

a sua orientação, ou precessão, delineando uma trajetória semelhante a uma roseta.

Assim como a lei da gravidade de Newton falha, a própria teoria da relatividade de Einstein — a teoria da relatividade geral — falha. Isto acontece no centro de um buraco negro e no *Big Bang*, onde ela prevê uma «singularidade» absurda e infinitamente densa (ver Capítulos 14 e 21 sobre buracos negros e o *Big Bang*). A expectativa é que uma teoria «quântica» da gravidade venha a resolver este problema (ver Capítulo 7 sobre teoria quântica). Atualmente, o único modelo que une uma teoria da gravidade — embora não necessariamente a relatividade geral — com a teoria quântica é a «teoria de cordas». Esta vê as partículas fundamentais não como partículas pontuais, mas como cordas vibrantes de massa-energia a viverem num espaço-tempo de dez dimensões. Tal teoria também permite a existência de objetos a... 2D, 3D, 4D, conhecidos como «branas». E estas podem ter um papel importante num dos enigmas da gravidade por resolver.

Muitos físicos acreditam que as quatro forças fundamentais da natureza são meramente facetas de uma única superforça. Mas é difícil imaginar uma fórmula única que descreva essa força, que implicaria que uma delas — a gravidade — fosse pelo menos 10 mil sextiliões de vezes mais fraca do que as outras. A teoria de cordas sugere uma maneira possível de abordar este enigma. Talvez o nosso Universo seja uma ilha tridimensional, ou «3-branas», a flutuar num espaço-tempo de dez dimensões. Se todas as forças estão presas às nossas 3-branas, mas apenas a gravidade vaza para a «massa» de dez dimensões, a sua força seria diluída, explicando de forma perfeita porque é tão incompreensivelmente débil.

6 4 9 8 6 8 8  
9 1 4 6 9 8 5 6 3

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9

**Da gravidade a buracos negros, das marés ao aquecimento global, este livro explica, de forma simples e acessível, a única coisa que precisa de saber para brilhar em qualquer conversa.**

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9

Num mundo em que a maioria das pessoas tem pouco tempo, dizer-lhes o necessário para compreender um tópico, e mostrar como tudo o mais segue uma consequência lógica, é a melhor forma de comunicar muitos temas profundos.

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9

Em 21 capítulos curtos e cativantes, Marcus Chown explica a única coisa que precisamos de saber para compreender algumas das mais importantes ideias científicas do nosso tempo. Repleto de factos surpreendentes, de história científica e das personalidades extraordinárias no centro das descobertas mais relevantes sobre o funcionamento do Universo, este é um guia acessível para todas as matérias complicadas que sempre desejou perceber.

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9

«Marcus Chown explica a relatividade especial e geral, as ondas de probabilidade, a gravidade e o *Big Bang* com humor e clareza, sempre em busca das imagens mais vívidas.»

*The Guardian*



Penguin  
Random House  
Grupo Editorial

[www.penguinlivros.pt](http://www.penguinlivros.pt)

penguinlivros

ISBN 9789897873621



9 789897 873621 >