«Uma introdução brilhante ao lado mais interessante da ciência.»
Popular Science

O PRINCÍPIO E O FIM DE TUDO

Do Big Bang ao Fim do Universo

PAUL PARSONS

vogais

Dedicado à memória do
Professor Stephen W. Hawking
(1942–2018)

Notas à edição portuguesa

1. 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 quatrilião são usados milhão de biliões e bilião de biliões, respetivamente.
2. As notas de rodapé foram acrescentadas ao texto original.

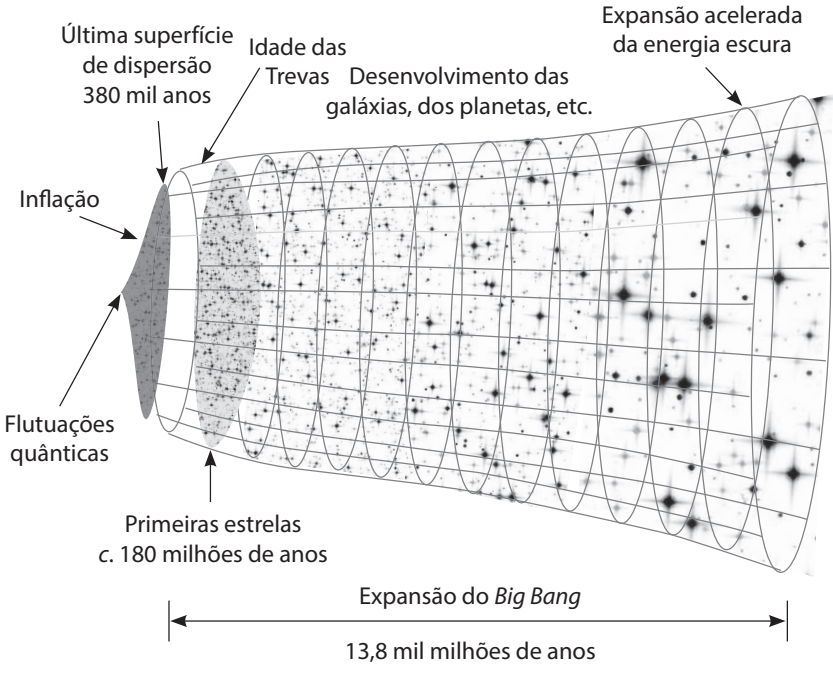
Índice

Cronologia 9
Introdução 13

1: O nosso lugar no Universo 25
2: A teoria dentro da teoria 49
3: O cosmo em expansão 77
4: Duas teorias rivais 101
5: A maior parte do nosso universo está ausente 121
6: Um interlúdio quântico 143
7: Em direção à escuridão 163
8: Um *Big Bang* ainda maior 183
9: O nascimento das galáxias 203
10: Saído do nada 219
11: Mundos em paralelo 231
12: Tempo de colapso 255
13: A longa e escura eternidade 275
14: Em direção ao desconhecido 291

Agradecimentos 311
Índice remissivo 313

CRONOLOGIA



Tempo = 0: *Big Bang*

O Universo começa a existir num estado de densidade e temperatura infinitas. Onde apenas uma fração de segundo antes nada existia, agora a massa, a energia, o espaço e o tempo começam a existir espontaneamente. Ninguém sabe o que provocou o *Big Bang*, nem o que existiu antes dele.

Tempo = 10 milionésimos de bilionésimo de bilionésimo de bilionésimo de segundo: *Era de Planck*

A temperatura ainda é de 100 milhões de biliões de biliões de graus Celsius. O espaço e o tempo existem enquanto entidades vagas e indissociáveis, governadas pelas leis da física quântica.

Tempo = 100 milionésimos de bilionésimo de bilionésimo de segundo: *Inflação*

O Universo sofre um rápido surto de crescimento cósmico, aumentando de tamanho a uma velocidade exponencial, resolvendo vários problemas cosmológicos e criando as sementes que, posteriormente, irão dar origem às estruturas em grande escala existentes no Universo como, por exemplo, as galáxias e os aglomerados* de estrelas.

Tempo = um milionésimo de segundo: *Era dos quarks*

O Universo é um oceano de *quarks*, as minúsculas partículas que compõem os protões e os neutrões.

Tempo = 1 segundo: *Era dos hadrões*

À medida que a temperatura desce abaixo de 1 bilião de graus Celsius, os *quarks* condensam-se, transformando-se em protões e neutrões (conhecidos coletivamente pelo nome de hadrões), os elementos fundamentais básicos dos átomos.

Tempo = 10 a 1000 segundos: *Síntese dos núcleos atómicos leves*

A temperatura desce para mil milhões de graus Celsius, permitindo que os protões e os neutrões se mantenham unidos e comecem a formar os elementos químicos leves — o hidrogénio, o hélio e uma pequena quantidade de lítio.

---

* Também chamados, com menor frequência, enxames.

Tempo < 380 mil anos: *Era da radiação*

Embora nesta altura já existam núcleos atómicos, o Universo continua inundado de radiação intensamente quente que destrói quaisquer átomos que tentem formar-se.

Tempo = 380 mil anos: *Recombinação*

A temperatura desce para aproximadamente 3700 graus Celsius, permitindo finalmente a recombinação dos eletrões com os protões de maneira a criar os primeiros átomos. O Universo é agora dominado pela matéria e não pela radiação.

Tempo = 380 mil a 180 milhões de anos: *Idade das Trevas*

Embora o Universo seja dominado pela matéria, nenhuma dessa matéria formou estrelas ou galáxias ou qualquer outro elemento luminoso.

Tempo = 180 milhões a mil milhões de anos: *Madrugada cósmica*

As primeiras estrelas começam a brilhar — este acontecimento tem o nome de madrugada cósmica e põe fim à idade das trevas do Universo.

Tempo = mil milhões a 10 mil milhões de anos: *Formação de estruturas*

As galáxias, os aglomerados e os superaglomerados começam a tomar forma a partir de aproximadamente mil milhões de anos após o *Big Bang*. As galáxias agrupam-se em aglomerados, e os aglomerados agrupam-se em superaglomerados.

Tempo = 9,2 mil milhões de anos: *Nascimento do Sistema Solar*

Uma nuvem de hidrogénio, de hélio e de alguns elementos mais pesados que circulam em volta da galáxia Via Láctea começa a colapsar sob a sua própria gravidade. O núcleo desta nuvem transforma-se numa estrela jovem e quente, enquanto à sua volta se condensa um disco de matéria que depois se fragmenta numa mistura de corpos rochosos, gasosos e gelados. É o nascimento do nosso sistema solar.

Tempo = 13,8 mil milhões de anos: *Presente*

Atualmente, o Universo está na era estelífera — a era das estrelas. Os astrónomos preveem que a era estelífera dure até que o Universo tenha 100 biliões de anos, sendo que depois cessará a formação de novas estrelas. Por essa altura, o Sol já terá morrido há muito tempo.

Tempo > 100 biliões de anos: *Futuro distante*

Depois dos 100 biliões de anos, o comportamento do Universo é, em grande medida, uma incógnita. No entanto, existem várias teorias sobre como o Universo poderá continuar a evoluir — e como, em última análise, chegará ao fim.

Introdução

Um dia, há quase 14 mil milhões de anos, aconteceu uma coisa notável.

O nosso universo nasceu.

A matéria e a energia que compõem tudo o que pode observar em seu redor no mundo presente — este livro, o ar que respira, as matérias biológicas existentes no seu corpo, a luz do sol e as estrelas longínquas; tudo — tudo nasceu desse único instante de criação. Hoje, esta matéria encontra-se espalhada por um universo verdadeiramente vasto. Não sabemos exatamente quão grande é esse universo, mas o bocadinho que conseguimos observar tem uma extensão de aproximadamente 92 mil milhões de anos-luz (um ano-luz é a distância que a luz consegue percorrer no espaço de um ano; mil milhões é 1000 000 000). A luz emitida pelo objeto mais distante que conseguimos observar (um grupo de estrelas muito distante que tem o nome de galáxia) começou a sua viagem pelo espaço há aproximadamente 13,4 mil milhões de anos — muitos milhares de milhões de anos antes de os nossos próprios sol e sistema solar se terem formado.

Se levantar os olhos para o céu numa noite límpida, poderá perguntar-se de onde surgiu tudo isto, como é que toda a matéria do Universo se organizou em galáxias cheias de estrelas, onde termina a vastidão do espaço e até quando, no futuro, o nosso universo poderá continuar a existir.

São perguntas que exasperaram os nossos maiores pensadores desde os primórdios da História de que há registo. E, no entanto, agora já temos muitas das respostas, um facto que é quase tão espantoso quanto as próprias respostas.

Durante milénios, as nossas crenças em relação ao Universo baseavam-se na religião e na noção de um criador — e ai de quem se atrevesse a desafiar isso propondo alternativas mais científicas. As primeiras perspetivas laicas do Universo também não eram perfeitas. Por exemplo, os filósofos gregos da Antiguidade posicionavam a Terra no centro do Universo, com o Sol, os planetas e as estrelas longínquas a girar à sua volta. Com a invenção do telescópio, no século XVII, as observações do céu noturno — as provas que permitem testar as teorias do Universo — começaram a acumular-se. E, desse modo, a cosmologia — o estudo do Universo em geral — tornou-se numa ciência quantitativa.

As medições do espaço exterior com telescópios começaram a restringir o leque de teorias cosmológicas admissíveis — porque qualquer teoria que não fosse compatível com as observações podia ser descartada imediatamente. Em particular, na década de 1920, os astrónomos descobriram que o espaço se está a expandir. Isto viria a contribuir para reduzir o número de teorias viáveis a apenas duas. Uma delas afirmava que o Universo teve um princípio definido num estado superaquecido e superdenso; enquanto a outra afirmava que este existia desde sempre. O debate entre estas duas teorias concorrentes manteve-se aceso durante décadas, tendo-se resolvido finalmente na década de 1960, quando as observações comprovaram que, no passado, o Universo era realmente mais quente e mais denso.

Isto significava que o cosmo não existe desde sempre, tendo sido criado durante um acontecimento ancestral e tumultuoso — que ficou conhecido pelo nome de *Big Bang*.

Subitamente, onde antes nada existia (absolutamente nada — não só não existia matéria e energia, como também não existia

espaço e nem sequer tempo tal como o conhecemos), o Universo explodiu violentamente e passou a existir. Georges Lemaître, cosmólogo e padre católico belga, que viria a ter uma importância decisiva para o desenvolvimento da teoria do *Big Bang*, referiu-se mais tarde ao mesmo, de forma bastante poética, como sendo «um dia sem ontem», porque foi o princípio do próprio tempo.

O *Big Bang* começou como uma bola de fogo escaldante e densa — um emaranhado de matéria, energia, espaço e tempo. O como e a razão de ter surgido quando surgiu são algo que ninguém sabe. Muitos físicos acreditam que a resposta reside nas complexas leis da física quântica, que moldam o mundo microscópico das partículas subatómicas e a teia de interações que ocorrem entre as mesmas. Neste regime, sabe-se que as partículas nascem e morrem, surgindo do universo quântico para desaparecerem novamente pouco tempo depois. Dado que o nosso universo era tão minúsculo e compacto durante o *Big Bang*, aparenta ter sido governado, até certo ponto, pelas leis da física quântica, o que torna plausível supor que surgiu de uma maneira muito semelhante.

E o que aconteceu depois? A maior parte das partículas quânticas assim criadas, do nada, limita-se a desaparecer pouco tempo depois. E quanto maior é a quantidade de matéria ou de energia que se pede emprestada ao banco quântico, mais depressa a dívida tem de ser paga — ou seja, as partículas maiores desaparecem rapidamente e as partículas mais pequenas continuam a existir durante algum tempo. No entanto, atualmente o Universo tem milhares de milhões de anos e é enorme — e não mostra sinais de vir a desaparecer para já. Inacreditavelmente, o motivo para que isso aconteça é que, apesar do seu aspeto imponente, a massa total do Universo é, na verdade, zero. Isto deve-se ao facto de os campos gravitacionais transportarem energia. Na verdade, a energia gravitacional é negativa, e em alguns modelos cosmológicos é exatamente igual e oposta ao conteúdo do Universo — pelo que ambos se

anulam mutuamente. Se for esse o caso, então o nosso crédito junto do banco quântico é muito bom, e o Universo é livre de existir durante muito tempo.

O turbilhão caótico inicial do *Big Bang* deu origem às próprias leis da física, que governam a maneira como diferentes formas de massa e de energia interagem umas com as outras. Isto pode parecer surpreendente, mas é absolutamente verdade. Mais ainda, o processo é essencialmente aleatório — se o processo fosse executado novamente, o mais provável seria depararmo-nos com a criação de um conjunto diferente de leis. Como iremos ver mais adiante, é bem possível que existam universos paralelos nos quais prevaleçam outras leis da física. Estas leis reuniram as matérias-primas do cosmo, transformando-as nos primeiros elementos químicos, os elementos fundamentais de tudo o que observa atualmente no mundo que o rodeia. Minúsculas partículas subatómicas fundiram-se umas com as outras pela ação de poderosas forças quânticas, formando os primeiros núcleos atómicos de hidrogénio, o elemento químico mais simples. E depois estes últimos também se fundiram, dando origem ao elemento seguinte, o hélio.

À medida que o espaço se ia expandindo e arrefecendo, os átomos e as moléculas de matéria agruparam-se por ação da gravidade, formando as galáxias, as estrelas e, posteriormente, os planetas que compõem o majestático céu noturno que os astrónomos admiram atualmente através dos seus telescópios. Na verdade, as primeiras galáxias surgiram a partir de sementes espalhadas no calor do *Big Bang*, quando o Universo, ao nascer, se expandiu para fora a uma velocidade extraordinária. Minúsculas variações na densidade da matéria, provocadas pelo aparecimento e desaparecimento da realidade dessas mesmas partículas quânticas, foram ampliadas para o tamanho de galáxias pela rápida expansão. E a gravidade fez o resto, atraindo mais matéria que levou a que, passado pouco tempo, estas pequenas bolotas cósmicas se transformassem em gigantescas galáxias.

As galáxias são uma visão espetacular; são ilhas cósmicas, cada uma delas com centenas de milhares de milhões de estrelas, a rodopiar na escuridão vazia do espaço. No entanto, a verdade é que aquilo que conseguimos ver das galáxias é apenas a ponta de um icebergue cósmico. Comparativamente a toda a matéria brilhante e luminosa que conseguimos ver atualmente através de um telescópio, há aproximadamente cinco vezes mais matéria invisível — ou *matéria escura*, para usar o termo correto. Sabemos que esta última existe porque o modo como as galáxias se movimentam não corresponde simplesmente à gravidade da sua matéria luminosa (ou seja, as partes que conseguimos ver — estrelas e nuvens de gás incandescentes). No entanto, até à data, ninguém sabe o que é a matéria escura.

Normalmente, as galáxias têm um diâmetro de dezenas a centenas de milhares de anos-luz, em que um ano-luz é simplesmente a distância que a luz pode percorrer num intervalo de um ano — o equivalente a pouco menos de 9 500 000 000 000 quilómetros. As galáxias são animais sociais, agregando-se em grupos que têm a designação de aglomerados, sendo que, regra geral, cada um deles é composto por cerca de cem a mil galáxias e que podem ter uma extensão de até algumas dezenas de milhões de anos-luz. E os aglomerados também não gostam de viver sozinhos; em vez disso, agregam-se em grupos formados por até dez aglomerados que têm o nome de superaglomerados, os quais são enormes e podem ter uma extensão de até milhares de milhões de anos-luz.

No entanto, ainda assim isso é coisa pouca, quando comparado com o tamanho do Universo mais vasto. O nosso universo observável (definido como o mais longe que conseguimos observar no espaço através dos telescópios mais potentes, de um lado ao outro do céu noturno) continuou a expandir-se desde os primeiros momentos após a sua criação. O que começou por ser vida mais pequena do que a mais minúscula das partículas subatómicas é agora inimaginavelmente vasto e tem centenas de milhares de

milhões de galáxias, sendo as mais remotas destas tão longínquas que a luz que emitem demorou milhares de milhões de anos a chegar até nós, o que significa que as vemos como eram no passado sombrio e distante — enquanto outras galáxias estão tão distantes que a luz que emitem ainda nem sequer chegou até nós. O Universo observável tem uma extraordinária extensão de 92 mil milhões de anos-luz. E está a ficar maior de dia para dia, à medida que regiões cada vez mais distantes do espaço se tornam visíveis quando a sua luz difusa atinge a Terra pela primeira vez. Esta capacidade de vislumbrar a história cósmica proporcionou aos cosmólogos — os cientistas que estudam o comportamento do Universo em geral — informações essenciais sobre a forma como as temperaturas abrasadoras e as pressões esmagadoras do *Big Bang* evoluíram até se transformarem no Universo comparativamente temperado e pacífico que observamos e em que vivemos atualmente.

Além disso, também nos mostrou que o nosso universo não se está a comportar exatamente como deveria, tendo em conta aquilo que sabemos sobre a gravidade. A capacidade de olhar para trás no tempo cósmico significa que os astrónomos podem mapear a forma como o índice de expansão do Universo evoluiu. Em finais da década de 1990, os astrónomos mapearam algumas das mais distantes e, consequentemente, antigas galáxias do Universo, tendo descoberto que a expansão cósmica estava a acelerar. Isto constituiu um choque tremendo. Se atirarmos uma bola ao ar, esta torna a descer devido à gravidade da Terra. Da mesma maneira, os físicos contavam que a gravidade do Universo estivesse a puxar o espaço para trás sobre si mesmo — e não a fazer com que se afastasse velozmente a um ritmo cada vez mais acelerado. Não tardou a tornar-se evidente que o motivo desta aparente anomalia era que nem mesmo a matéria escura é a substância preponderante que enche o Universo — existe lá fora algo muito maior, que tem o nome de *energia escura*, e cuja gravidade é repulsiva. Na verdade,

Albert Einstein, o físico alemão e pai da teoria da relatividade, foi o primeiro a sugerir a existência da energia escura, embora lhe tenha dado um nome diferente. Dado que isso sucedeu antes de os astrónomos terem descoberto que o Universo se está a expandir, Einstein acreditava que o Universo devia ser estático e imutável e, consequentemente, introduziu uma força repulsiva na sua *teoria da relatividade geral* (essencialmente, tratava-se de uma teoria da gravidade, mas falaremos sobre isso mais adiante) de maneira a contrariar a gravidade atrativa do Universo ao longo de distâncias muito grandes e a mantê-lo estático. No entanto, quando em finais da década de 1920 os astrónomos constataram que o Universo está efetivamente a expandir-se, Einstein foi obrigado a descartar esta ideia como sendo ridícula.

O facto de sermos capazes de compreender a origem e a evolução do Universo, e o nosso lugar dentro dele, é um tributo ao poder do intelecto humano. O método científico — ou seja, a formulação de teorias bem estruturadas, para depois testar as mesmas comparando-as às observações — levou a que os cosmólogos compreendessem a história do Universo desde os primeiros instantes que se sucederam ao momento da criação.

Sabemos agora que o Universo tem aproximadamente 13,8 mil milhões (13 800 000 000) de anos. Os leitores mais atentos poderão estar a perguntar-se, se o Universo tem 13,8 mil milhões de anos, então como é que a parte do mesmo que conseguimos ver — o Universo observável — pode ter um diâmetro de 92 mil milhões de anos-luz? Por outras palavras, como é que podemos ver a luz de objetos que estão a uma distância de 46 mil milhões de anos-luz, quando esta só teve 13,8 mil milhões de anos para chegar à Terra? Fiquem descansados, porque iremos voltar a este assunto mais adiante!

Independentemente de como se analise a questão, 13,8 mil milhões de anos equivale realmente a ser-se muito antigo. Comparativamente, o Sol e o Sistema Solar formaram-se há aproximadamente

4,6 mil milhões de anos, a vida na Terra surgiu há quatro mil milhões de anos, os primeiros organismos multicelulares do nosso planeta surgiram há 1,7 mil milhões de anos e os animais modernos têm apenas 550 milhões de anos, enquanto os primeiros seres humanos modernos (a espécie *Homo sapiens*) só surgiu no planeta há 200 mil anos — ou seja, há apenas 0,0002 mil milhões de anos, ou aproximadamente um centésimo de milésimo da idade do Universo. Dito de outro modo, se a história do Universo pudesse ser condensada num ano, com o *Big Bang* a ocorrer imediatamente depois da meia-noite no dia 1 de janeiro, e o dia de hoje a corresponder à meia-noite de 31 de dezembro, então os seres humanos teriam surgido aproximadamente oito minutos antes do fim do ano. E a totalidade da ciência moderna aconteceu nos últimos 1,4 segundos. Todas as escalas de tempo com que estamos familiarizados em virtude da experiência do dia a dia são totalmente eclipsadas quando comparadas com a idade colossal do nosso cosmo.

Além disso, também sabemos quanta matéria existe no nosso universo (mesmo que não entendamos plenamente qual é a sua composição exata). E, com exceção dos primeiríssimos momentos após o nascimento do Universo, sabemos de que maneira as leis da física atuam dentro do mesmo. Embora, como iremos ver mais adiante, a física do próprio *Big Bang* — o que o provocou e até o que poderá ter acontecido antes — seja extremamente especulativa. Sabemos igualmente que o nosso planeta, a Terra, orbita em volta de uma estrela comum numa galáxia comum num canto muito comum do cosmo.

Excetuando o seu erro a respeito da energia escura, Albert Einstein lançou muitas das bases da cosmologia moderna. A sua obra-prima sobre a gravidade, a teoria da relatividade geral, é a estrutura que está na base do tema. Einstein é um de numerosos pioneiros a quem temos a agradecer pelo conhecimento que hoje temos do Universo. A teoria da relatividade surgiu nos inícios do século xx,

a partir de ideias concebidas por Isaac Newton 250 anos antes. Em 1927, Georges Lemaître baseou-se na relatividade geral para criar os primeiros modelos matemáticos do Universo. Posteriormente, cientistas visionários, como o Professor Stephen Hawking, pegaram nesses mesmos modelos e levaram-nos aos seus extremos de maneira a chegar a novas conclusões arrojadas — explicando em pormenor, por exemplo, como é que o Universo pode ter surgido do nada e de que modo a expansão rápida do Universo primordial lançou as sementes para a formação de galáxias.

Temos igualmente uma dívida de reconhecimento para com os grandes astrónomos, as pessoas que recolheram dados que permitiam testar as teorias mais loucas elaboradas pelos cosmólogos. Entre eles, contam-se Charles Messier, que elaborou o primeiro catálogo de corpos existentes fora da nossa própria galáxia, a Via Láctea; Edwin Hubble e o seu assistente, Milton Humason, que descobriram a expansão do Universo; e Arno Penzias e Robert Wilson, os dois radioastrónomos que detetaram pela primeira vez a *radiação cósmica de fundo em micro-ondas* — o eco das fogueiras incandescentes do *Big Bang*, que ainda hoje ecoa pelo espaço e que continua a ser um dos principais pilares que permitem justificar a teoria do *Big Bang* em detrimento de teorias concorrentes. Nas décadas mais recentes, o contributo de astrónomos individuais tem sido, em geral, substituído pelo contributo de colaborações internacionais de monta, que muitas vezes recorrem a múltiplos telescópios ou até a naves espaciais especialmente construídas para o efeito com vista a recolher grandes volumes de dados de elevada qualidade. Foi assim que, em última instância, se descobriu a energia escura, e foi também assim que os pormenores encerrados na estrutura da radiação cósmica de fundo em micro-ondas foram desvendados e utilizados para aperfeiçoar a nossa imagem moderna do cosmo.

Inevitavelmente, os estudos relativos à história do Universo levaram a especulações acerca do seu futuro. E, a acreditar nas

melhores teorias dos cosmólogos, o Universo não irá existir eternamente, pelo menos não tal como o conhecemos.

Existem duas teorias principais para o derradeiro destino do Universo. A primeira sugere que a gravidade irá abrandar lentamente até parar, e depois irá inverter a expansão cósmica, conduzindo a uma antítese catastrófica do *Big Bang*, a que se dá o nome de *Big Crunch* ou *Grande Colapso*. Para que isso aconteça, a gravidade atrativa do Universo tem de ser suficientemente poderosa para ultrapassar não só a expansão do espaço como também a repulsão gerada pela energia escura. Se o Universo terminar num *Big Crunch*, toda a matéria será obliterada e o Universo irá, inegavelmente, arder até à extinção em lugar de se desvanecer.

Em contrapartida, a outra teoria postula que o Universo vai desaparecer muito mais suavemente. Neste cenário, que tem o nome de *Morte Térmica*, o Universo não tem gravidade suficiente para travar a sua expansão, pelo que o espaço continua a expandir-se eternamente. Inicialmente, isso pode parecer uma boa notícia. No entanto, com o passar do tempo, as estrelas acabam por ficar sem combustível e morrer. A expansão cósmica que nos salvou do caos de um *Big Crunch* estica tanto o espaço que as outras galáxias regridem a uma velocidade superior à velocidade da luz, acabando por desaparecer de vista. O céu noturno está agora profundamente escuro e vazio. A matéria que ainda resta é gradualmente sugada para dentro de buracos negros nos quais se degrada até se transformar em nada, e o Universo desaparece num marasmo escuro como breu.

Há variações destas teorias. Por exemplo, alguns cosmólogos interrogaram-se sobre se o Universo poderia recuperar de um *Big Crunch* e entrar numa nova fase de expansão — ou até se isso já terá acontecido e aquilo que vemos atualmente no céu é apenas o mais recente de um ciclo eterno de expansão e contração. Do mesmo modo, alguns interrogaram-se se uma morte térmica poderia ser mais extrema do que o previsto. Na verdade, se a

energia escura assumisse uma forma conhecida por *energia fantasma,* então o índice de expansão do Universo num futuro distante poderia ser tão rápido que destruiria estrelas e planetas, acabando por também destruir os átomos e as moléculas, e até o tecido do próprio espaço. Outros físicos interrogam-se sobre se o nosso universo poderia ser apenas um de muitos — uma multiplicidade de universos paralelos, cada um deles semelhante ao nosso mas com diferenças subtis. Isso pode não constituir grande consolo quando o nosso universo estiver a desaparecer, mas, se o *multiverso* realmente existir, então pelo menos alguns aspetos da realidade que conhecemos permanecerão.

Este livro é a história da teoria do *Big Bang* do nosso universo, do princípio até ao fim. É possível que já esteja familiarizado com alguns dos elementos da narrativa. Como a ideia de que o Universo teve um princípio. Ou que o espaço se está a expandir. Ou que habitamos uma galáxia de estrelas com o nome de Via Láctea, que é uma espécie de universo insular — um de muitos num vasto oceano cósmico. Mas para compreender realmente o que aconteceu nesses primeiros momentos primordiais — e porquê — é essencial ter uma visão abrangente. Cada parte da história está tão inextricavelmente ligada que temos de percorrer a distância total da viagem até agora para compreender tanto o nosso presente quanto o nosso futuro provável. Irá ler sobre a possibilidade de o espaço e o tempo terem não quatro mas sim 26 dimensões. E sobre a possibilidade de o *Big Bang* ter sido provocado por uma enorme colisão entre o nosso universo e outro universo. E também sobre o facto de pormenores do nosso passado cósmico, e pistas essenciais para o seu futuro, estarem neste preciso momento a ser arrastados pelo espaço como ondas no próprio tecido do espaço e do tempo.

Pelo caminho, verá cenários espetaculares, debater-se-á com mistérios desconcertantes e ouvirá histórias incríveis sobre deduções científicas feitas por algumas das mentes humanas mais brilhantes que alguma vez existiram.

Vamos embarcar numa das viagens mais incríveis que possa imaginar, para descobrir a história do Universo desde o princípio dos tempos até à sua morte derradeira, muitos milhares de milhões de anos no futuro — literalmente, o princípio e o fim de tudo.

CAPÍTULO 1

O nosso lugar no Universo

«Somos uma impossibilidade num universo impossível.»

Ray Bradbury

Antes do surgimento da ciência enquanto ferramenta para explicar o mundo, as teorias cosmológicas iniciais eram impulsionadas sobretudo por ideias religiosas. Há cerca de 3200 anos, o povo da Mesopotâmia, que habitava na região que é agora o Iraque, o Kuwait e a Arábia Saudita, acreditava que o deus Marduk dividira ao meio o corpo da mãe primordial, Tiamat — uma metade formara a Terra e a outra o céu.

Os antigos chineses acreditavam que o nosso universo começara como uma nuvem amorfa e caótica que, ao longo de dezenas de milhares de anos, se transformara lentamente num ovo cósmico, do qual saíra Pangu, o primeiro ser vivo. Pangu moldara a Terra e o céu e passara os 18 mil anos seguintes a separá-los. Depois disso, Pangu morreu e os seus restos mortais foram integrados no Universo — o seu olho esquerdo transformou-se no Sol, o seu olho direito na Lua e os seus cabelos nas estrelas.

Algumas cosmologias religiosas fazem eco de ideias científicas mais modernas. Os budistas, por exemplo, acreditam que o Universo é eterno, que não tem princípio nem fim — o que evoca a teoria da criação contínua da matéria, uma ideia que foi uma concorrente séria do modelo do *Big Bang* até à década de 1960. Embora os

hindus advoguem uma cosmologia cíclica, semelhante às teorias modernas em que o Universo passa por fases alternadas de expansão e de contração, talvez o budismo seja a única das religiões em que a imagem do Universo não conta com um criador omnipotente.

Muitas das primeiras religiões, em especial no Egito, na Roma Antiga e na América do Norte, idolatravam o Sol. Na Grã-Bretanha, os historiadores acreditam que o monumento megalítico de Stonehenge poderá ter servido como um observatório astronómico primitivo, a partir do qual os devotos pagãos podiam calcular as datas dos solstícios de inverno e de verão.

À medida que o nosso entendimento do mundo natural se desenvolveu durante o Renascimento, a ciência também começou a desafiar muitas ideias religiosas, o que muitas vezes dificultou a relação entre a ciência e a religião. Alguns cientistas foram perseguidos devido às suas ideias. Outros foram mais astutos — as suas obras só foram publicadas depois de morrerem. Alguns expressavam abertamente as suas crenças religiosas. O físico britânico Isaac Newton, por exemplo, defendia veementemente opiniões religiosas que teriam contado a seu favor, sendo suficientemente astuto para não falar publicamente sobre as suas opiniões mais radicais.

Trata-se de uma aliança ténue que se mantém até aos nossos dias, com alguns ateus da linha dura a insistirem que a religião prejudica a ciência, enquanto outros acreditam que ambas podem coexistir. Talvez a disputa principal seja entre os defensores da evolução através da seleção natural (a teoria de Charles Darwin relativa à forma como as espécies evoluem e se adaptam ao seu meio ambiente) e aqueles que acreditam no criacionismo (o nome moderno dado à ideia de que o céu e a Terra foram criados por um ser supremo). O criacionismo é um ponto de vista defendido por alguns seguidores do cristianismo, do islamismo e do judaísmo, entre outros. Por exemplo, no livro do Génesis, que faz parte da Bíblia, diz-se que Deus criou o Universo e tudo o que existe em seis dias. Os criacionistas desafiam todas as provas em contrário

— os chamados criacionistas da Terra jovem, por exemplo, acreditam que a existência do Universo tem apenas dez mil anos, apesar de haver provas inequívocas (de rochas, amostras de gelo e até das árvores mais antigas que existem) de que a Terra, por si só, é muito mais antiga do que isso — antes de se recorrer às evidências astronómicas, que, como já vimos e como iremos debater em maior profundidade mais adiante, sugerem que o Universo nasceu muitos milhares de milhões de anos antes.

E é essa a principal diferença entre ciência e religião. As asserções religiosas são adotadas com base na fé, enquanto as teorias científicas têm obrigatoriamente de ser comprovadas por meio de provas inequívocas. Na ciência, os factos são essenciais — quer se trate de simples relatos das nossas experiências do dia a dia, de provas recolhidas por geólogos, de observações de galáxias distantes feitas por astrónomos ou de dados experimentais retirados do próprio tecido da realidade por um acelerador de partículas no valor de vários milhares de milhões de dólares. As teorias científicas são tentativas de explicar o mundo de uma maneira lógica e sistemática, fundamentalmente de uma maneira que faça previsões rigorosas que possam ser testadas por comparação com factos — sejam estas observações existentes, observações futuras ou observações relativamente às quais se pode criar uma experiência e levá-la a cabo. Por vezes, os factos podem ser incómodos ou inesperados, e podem igualmente desafiar as nossas ideias preconcebidas. No que respeita à ciência, isso é uma dificuldade. Se os factos contradisserem a teoria, então a teoria é descartada e os cientistas regressam aos seus quadros de ardósia — ou, como será mais provável, aos seus cadernos e computadores.

A rejeição de uma teoria não é algo de desastroso. Na verdade, é algo positivo. É assim que a ciência avança realmente. É assim que sabemos, por exemplo, que a Terra é esférica e não plana, que o nosso planeta orbita em volta do Sol e não o contrário, bem como, sem margem para dúvidas, que a Terra não tem apenas dez

mil anos (as melhores estimativas de que dispomos atualmente afirmam que a idade da Terra é aproximadamente 4 543 mil milhões de anos). Chegar à conclusão que prova que uma teoria está errada é uma das coisas mais importantes que um cientista pode fazer — e também uma das mais dolorosas, quando a teoria que está a refutar é a sua própria teoria.

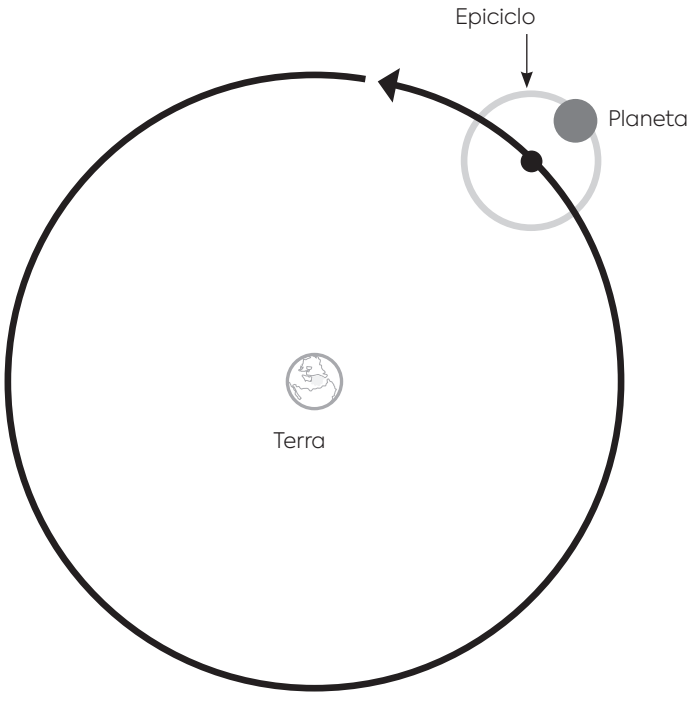
O primeiro cientista de que temos conhecimento foi o filósofo grego Tales de Mileto, que viveu entre os séculos VI e VII a. C. Tales foi a primeira pessoa, pelo menos de que há registo na História, a rejeitar a ideia de que o céu e a Terra foram criados por deuses misteriosos e insondáveis. Em vez disso, tentou estabelecer uma ligação entre os efeitos e as suas causas observáveis no mundo real. Entre as suas descobertas, contam-se as técnicas geométricas para calcular as dimensões das pirâmides e para fazer a triangulação das posições de navios. Além disso, também fez a previsão correta de um eclipse solar no ano 585 a. C., e consta que utilizava os seus conhecimentos científicos para fazer previsões meteorológicas.

Apesar dos talentos pioneiros de Tales, a visão cosmológica prevalecente na Grécia Antiga era a das esferas celestes, que sustentava que a Lua, os planetas e o Sol estavam, cada um deles, numa esfera pertencente a um conjunto de esferas agrupadas e concêntricas centradas na Terra. A rotação singular de cada uma das esferas em redor da Terra determinava o movimento observado do corpo celeste que lhe estava associado. A esfera mais periférica continha as estrelas longínquas e o seu movimento de rotação explicava a ascensão e o ocaso das estrelas no céu noturno.

Sabemos agora que esta teoria não poderia ser mais errada. As observações modernas mostram que o Sol está no centro do nosso sistema solar e que a Terra e outros planetas orbitam em seu redor. A nossa lua gira em torno da Terra, enquanto as estrelas distantes se movimentam independentemente do Sol e do seu séquito de mundos.

Ilustração da teoria grega das esferas celestes, retirada da obra *Cosmographia,* de 1539, da autoria do astrónomo alemão Peter Apian.

Curiosamente, os gregos dispunham de evidências que provavam que os corpos celestes não se comportavam exatamente como ditava a teoria das esferas. As diferentes velocidades orbitais dos planetas implicam que, quando vistos da Terra, alguns podem parecer aumentar ou diminuir de velocidade e, por vezes, até deslocar-se para trás nas suas órbitas. Este movimento para trás, ou movimento *no sentido inverso,* contraria a opinião grega de que seguiam um percurso circular uniforme em redor da Terra. Houve um astrónomo grego, Aristarco de Samos, que estabeleceu a ligação e que sugeriu que os planetas giram em torno do Sol e não o contrário. Embora a obra original de Aristarco se tenha perdido, a sua teoria é indicada por Arquimedes na obra *Psammites*.



Ptolomeu tentou explicar o movimento dos planetas no sentido inverso no contexto da teoria das esferas celestes introduzindo «epiciclos» nas suas órbitas em redor da Terra.

Lamentavelmente, a teoria de Aristarco caiu no esquecimento, tendo o movimento dos planetas no sentido inverso sido incorretamente interpretado. O filósofo grego Ptolomeu esforçou-se por explicar o mesmo no contexto da teoria das esferas celestes, supondo que os planetas não ocupavam pontos fixos nas respetivas esferas e que, em vez disso, descreviam pequenas órbitas — designadas por *epiciclos* — em redor das mesmas. Quando o epiciclo arrastava o planeta na mesma direção da rotação da sua esfera, o planeta parecia mover-se mais depressa, e, quando se movia na direção oposta, parecia abrandar ou mover-se em sentido inverso.

Na melhor das hipóteses, a ideia dos epiciclos constituiu apenas um remendo numa teoria já de si incorreta, mas foi suficiente para

garantir que o modelo das esferas celestes continuava a ser aplicado, o que aconteceu até ao início do Renascimento. Foi nessa altura, no início do século XVI, que o astrónomo polaco Nicolau Copérnico se apercebeu de que os movimentos observados dos planetas podiam ser explicados muito mais naturalmente se estes orbitassem em redor do Sol e não da Terra. Esta teoria heliocêntrica constituiu um ponto de viragem ao nível da astronomia e, na verdade, da ciência em geral.

Acredita-se que Copérnico terá partilhado os esboços iniciais da sua teoria com pessoas que lhe eram próximas, em 1514 ou por volta desse ano. Esta teoria tornar-se-ia no pilar fundamental da sua obra *De revolutionibus orbium coelestium* (*As revoluções dos orbes celestes*), que Copérnico concluiu no início da década de 1530 — embora, por temer ser alvo de perseguição por parte da Igreja Católica por desafiar o dogma vigente, apenas se tenha atrevido a publicá-la em 1543, o ano da sua morte.

Embora tenha sido um passo gigantesco na direção certa, a teoria heliocêntrica de Copérnico continuava a pressupor que o Sol estava no centro de todo o Universo. Em 1576, o astrónomo e matemático britânico Thomas Digges fez a arrojada sugestão de que o Universo é infinito, e que as estrelas são objetos muito semelhantes ao nosso sol, estando uniformemente distribuídas pelo Universo. O que levou o astrónomo a repensar a natureza das estrelas foi uma *supernova* — uma explosão violenta que marca a morte de uma estrela de grande densidade — que observou em 1572. Este acontecimento contradizia manifestamente a opinião grega relativa às esferas, que sustentava que as estrelas distantes são fixas e imutáveis.

A sugestão de Digges de que as estrelas se situavam a distâncias variáveis da Terra foi depois confirmada no início do século XVII pelo pensador italiano Galileu Galilei. Ao longo de toda a sua vida, Galileu contribuiu de maneira seminal para a matemática, a física, a engenharia e a astronomia. Em 1609, teve conhecimento da

invenção do telescópio refrator, criado no ano anterior por um grupo de fabricantes de lentes holandeses — tratava-se de um dispositivo que utilizava um par de lentes de vidro para ampliar a imagem de um objeto distante. Intrigado, e apercebendo-se imediatamente dos potenciais benefícios para a astronomia, Galileu dedicou-se a construir a sua própria versão do aparelho. O seu primeiro telescópio tinha um fator de ampliação de apenas 3x, mas foi o suficiente para transformar a sua opinião sobre o céu, já para não falar do entendimento humano do mesmo.

Apenas meio século depois de Digges ter sugerido pela primeira vez que as estrelas estão distribuídas pelo espaço, Galileu descobriu que conseguia ver mais estrelas quando espreitava pelo telescópio do que quando olhava diretamente para o céu. Embora algumas das novas estrelas que conseguiu observar fossem, como é natural, intrinsecamente mais ténues, a sua enorme quantidade significava que algumas deviam parecer mais ténues por estarem mais distantes. Por outras palavras, as estrelas não estão todas à mesma distância da Terra, como postulava a teoria das esferas celestes.

Mas Galileu ainda não tinha terminado. No ano seguinte virou o telescópio para o planeta Vénus e constatou que este tinha fases muito semelhantes às fases da Lua (lua cheia, lua nova, quarto-crescente e por aí adiante). As diferentes fases da Lua são provocadas pelo facto de ser iluminada pelo Sol a partir de diferentes direções enquanto está a descrever a sua órbita de um mês em redor da Terra. Na teoria das esferas celestes, o planeta Vénus tem de estar sempre posicionado entre a Terra e o Sol — e isso significa que apenas devemos conseguir vê-lo nas fases nova e crescente. No entanto, Galileu observou que Vénus passava por todas as fases, o que sustentava a ideia de que ambos os planetas giram em torno do Sol.

Galileu apresentou estas conclusões na obra *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* (*Diálogo sobre os dois maiores sistemas do mundo*), publicada em 1632. Neste texto, e nas conversas que mantinha, mostrava-se bastante aberto em relação à sua crença na

teoria heliocêntrica de Copérnico — e isso acabaria, em última análise, por ser a sua ruína (e por confirmar que a decisão tomada anteriormente por Copérnico, de não publicar a sua teoria enquanto fosse vivo, fora a mais acertada). Em 1633, Galileu foi julgado por heresia pelo Tribunal do Santo Ofício, tendo sido considerado culpado. A publicação das suas obras foi posteriormente proibida e Galileu passou os últimos anos da sua vida em prisão domiciliária. Segundo consta, apenas foi poupado aos horrores da tortura e a uma morte tenebrosa porque os seus feitos científicos lhe tinham granjeado aliados que ocupavam posições de poder. Galileu morreu de causas naturais em 1642.

No entanto, as suas ideias perduraram. Em 1750, o astrónomo inglês Thomas Wright desenvolveu outra das conclusões de Galileu — a de que a Via Láctea, a faixa de luz pálida e difusa que é visível no céu numa noite escura e límpida, é, na verdade, um vasto aglomerado de estrelas. Na obra *An Original Theory or New Hypothesis of the Universe* (*Uma Teoria Original ou Nova Hipótese do Universo*), Wright sugeriu que a Via Láctea é um disco de estrelas e que o nosso sol e sistema solar estão posicionados no interior desse disco. Em lugar de estarem espalhadas profusamente por todo o espaço, como Digges havia sugerido, Wright imaginava que as estrelas estavam agrupadas numa multiplicidade de ilhas cósmicas, cada uma delas semelhante à Via Láctea — e às quais se viria depois a dar o nome de *galáxias*. Afirmou que aquilo que vemos na Via Láctea é o limite da nossa própria galáxia, quando observada a partir do interior.

Por esta altura, a posição da Igreja contra a teoria heliocêntrica tinha começado a esmorecer, e a verdadeira natureza do Sistema Solar enquanto um conjunto de planetas que giravam em torno do Sol estava a começar a ganhar aceitação. Em 1755, o filósofo alemão Immanuel Kant sugeriu que o disco da nossa galáxia, assim identificado por Wright, poderia estar a girar — com as estrelas mantidas em órbita em torno da galáxia pela força da gravidade, tal

como mantém os planetas nas suas órbitas em torno do Sol. Na verdade, a lei da gravidade de Newton (ver Capítulo 2) exige que as estrelas orbitem — caso contrário, limitar-se-iam a cair radialmente para o interior, em direção ao centro da galáxia.

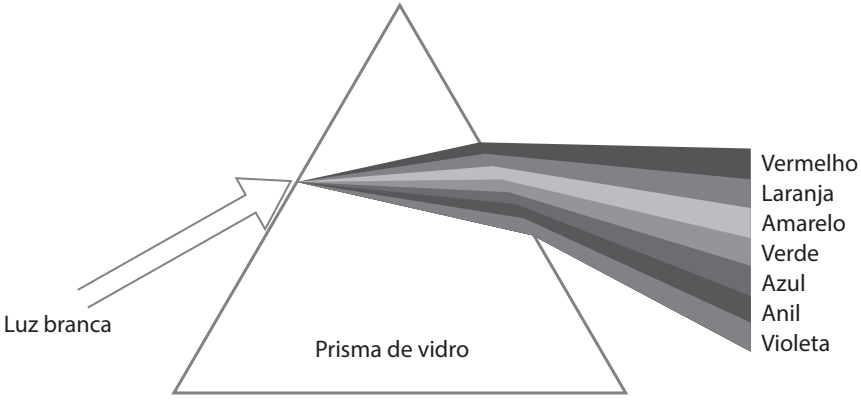
As provas de que existem realmente corpos celestes fora da Via Láctea foram descobertas por astrónomos que estudavam os cometas. Os cometas são pedaços de gelo e impurezas, que agora se sabe serem resquícios da formação do Sol e dos planetas, que vagueiam pelos limites exteriores do Sistema Solar. Pode parecer estranho que uma família de objetos que vive à nossa porta cósmica possa ter levado a uma viragem na compreensão do Universo em geral. No entanto, quando um cometa passa perto do Sol, a sua superfície vaporiza-se numa nuvem de vapor e de outros gases que reflete a luz solar, criando uma mancha brilhante e difusa no céu noturno. Os caçadores de cometas esquadrinham o céu em busca destas manchas de luz reveladoras — cujo brilho é muito diferente do brilho das estrelas. Dado que os cometas fazem parte do Sistema Solar e orbitam em torno do Sol exatamente como os planetas, as suas posições mudam significativamente com o passar do tempo e à medida que vão avançando nas suas órbitas. Além disso, as órbitas dos cometas transportam-nos para mais perto do Sol, pelo que o calor aumenta a quantidade de gás que fervilha na sua superfície, fazendo com que se ilumine.

Pelo menos, é isso que é suposto fazerem. Em finais do século XVIII, alguns astrónomos começaram a descobrir objetos ténues e difusos que se assemelhavam a cometas, mas que pareciam estar imóveis e ter um brilho constante. Estes objetos desconcertantes ficaram conhecidos pelo nome de *nebulosas* — de *nebula*, a palavra latina que significa «nuvem». O caçador de cometas francês Charles Messier elaborou, em conjunto com o seu assistente Pierre Méchain, a primeira lista sistemática destas nebulosas. A primeira edição do chamado Catálogo de Messier foi publicada em 1774, e continha 103 objetos de Messier, designados pelos seus

caraterísticos números «M». Presentemente, a lista conta com 110 objetos e, entre os astrónomos amadores, é considerado um feito significativo conseguir vê-los todos durante uma única noite de observação (uma proeza conhecida pelo nome de «Maratona de Messier»). No entanto, em finais do século XVIII, o mistério mantinha-se: o que eram exatamente estes objetos?

Foram precisos quase 50 anos para responder a essa pergunta, tendo sido necessária uma nova área da ciência experimental chamada espetroscopia — a divisão da luz branca no seu espetro de cores e a medição do brilho de cada cor — para o fazer. Quando olhamos para um arco-íris, cada cor é composta por luz com uma gama específica de comprimentos de onda. Por exemplo, a luz vermelha tem um comprimento de onda de aproximadamente 700 milionésimos de milímetro, enquanto a luz violeta, que está no outro extremo do arco-íris, tem um comprimento de onda muito mais curto, de aproximadamente 400 milionésimos de milímetro. A luz é dividida num espetro por meio da refração — um processo em que o percurso de um feixe de luz que passa entre dois meios diferentes (o ar e as gotas de chuva, no caso do arco-íris) é curvado num valor que depende do seu comprimento de onda. Os comprimentos de onda curtos (por ex., violeta) são os que mais curvam, enquanto os comprimentos de onda longos (por ex., vermelho) são os que menos curvam, o que faz com que um feixe paralelo de luz branca se desdobre nas cores que o constituem.

O grande físico Isaac Newton (sobre quem ficará a saber mais no próximo capítulo) demonstrou, na década de 1670, que um feixe de luz branca pode ser decomposto no seu espetro por meio de refração através de um prisma de vidro (ver diagrama seguinte). O químico inglês William Hyde Wollaston melhorou a configuração experimental de Newton, utilizando uma lente para focar o espetro numa tela de grandes dimensões. Quando, em 1802, Wollaston fez esta experiência com a luz solar, constatou que as cores resultantes não tinham a mesma intensidade de brilho,



Forma como a luz branca que passa através de um prisma é dispersada no seu espetro de cores do arco-íris pelo processo de refração.

sendo pontuadas por faixas escuras — essencialmente, tratavam-se de comprimentos de onda em falta no espetro da luz. O físico bávaro Joseph von Fraunhofer estudou estas faixas mais a fundo e identificou e catalogou quase 600 faixas — as quais ainda hoje são conhecidas como *linhas de Fraunhofer*.

No entanto, foi apenas na década de 1860 que a verdadeira natureza destas faixas foi finalmente desvendada pelos químicos alemães Robert Bunsen e Gustav Kirchhoff. Ao estudarem a luz produzida pelas chamas enquanto queimavam vários elementos e compostos químicos, repararam que cada uma das substâncias produzia um padrão diferente de faixas nos espetros — algumas escuras e também algumas claras. O que inferiram foi que substâncias específicas absorvem e tornam a emitir luz em determinados comprimentos de onda caraterísticos. Consequentemente, se olhar para o espetro de uma chama e depois queimar uma substância que se sabe que absorve a um comprimento de onda *x* e que emite a um comprimento de onda *y*, irá ver o espetro observado ficar com uma faixa escura no comprimento de onda *x* e com uma faixa clara no comprimento de onda *y*.

A HISTÓRIA DO UNIVERSO: DO NADA AO SEU NASCIMENTO E ATÉ AO SEU DESTINO FINAL.

Há 13,8 mil milhões de anos, algo de incrível aconteceu. Matéria, energia, espaço e tempo de repente começaram a existir num evento cataclísmico que passou a ser conhecido como *Big Bang*. Foi o nascimento do nosso universo. O que começou a vida com o tamanho mais pequeno do que a menor partícula subatómica é hoje de uma imensa vastidão, anfitrião de biliões de galáxias. A formulação da teoria do *Big Bang* é uma história que combina alguns dos conceitos mais vastos na física com observações do cosmos.

Da constatação de que somos um planeta a orbitar uma estrela numa de muitas galáxias, passando pela descoberta de que o nosso universo se está a expandir, até às teorias revolucionárias de Einstein, cada nova descoberta aprofunda a nossa compreensão das origens do universo, formando-se uma imagem mais clara de como tudo irá acabar. O fim virá numa explosão ou será aos poucos? Será mesmo o fim, ou um novo princípio, à medida que o universo se prepara para uma nova fase de expansão? E foi o nosso *Big Bang* apenas um de muitos num multiverso de universos paralelos?

Escrito num tom envolvente, o livro de Paul Parsons leva-nos numa viagem desde o princípio dos tempos, onde se incluem as observações astronómicas mais recentes e descobertas teóricas, até ao fim do universo tal como o conhecemos.

v o g a i s
com todas as letras
20|20 editora

ISBN 978-989-668-805-9
9 789896 688059
Ciências