

Primeiro lugar na lista de mais vendidos
do *The New York Times* e da *Amazon*

**NEIL
DE GRASSE
TYSON**

ASTROFÍSICA
para
APRESSADOS



DADOS DE COPYRIGHT

Sobre a obra:

A presente obra é disponibilizada pela equipe [Le Livros](#) e seus diversos parceiros, com o objetivo de oferecer conteúdo para uso parcial em pesquisas e estudos acadêmicos, bem como o simples teste da qualidade da obra, com o fim exclusivo de compra futura.

É expressamente proibida e totalmente repudiável a venda, aluguel, ou quaisquer uso comercial do presente conteúdo

Sobre nós:

O [Le Livros](#) e seus parceiros disponibilizam conteúdo de domínio público e propriedade intelectual de forma totalmente gratuita, por acreditar que o conhecimento e a educação devem ser acessíveis e livres a toda e qualquer pessoa. Você pode encontrar mais obras em nosso site: [LeLivros.site](#) ou em qualquer um dos sites parceiros apresentados [neste link](#).

"Quando o mundo estiver unido na busca do conhecimento, e não mais lutando por dinheiro e poder, então nossa sociedade poderá enfim evoluir a um novo nível."



ASTROFÍSICA
para
APRESSADOS

**NEIL
DE GRASSE
TYSON**

ASTROFÍSICA
para
APRESSADOS

Tradução
Alexandre Martins

 Planeta

Copyright © Neil deGrasse Tyson, 2017
Copyright © Editora Planeta do Brasil, 2017
Todos os direitos reservados.
Título original: *Astrophysics for people in a hurry*

Preparação: Luiz Pereira
Revisão: Juliana Rodrigues e Elisa Martins
Revisão técnica: Cassio Barbosa
Diagramação: Futura
Capa: Pete Garceau
Imagem de capa: iStockphoto
Adaptação para eBook: Hondana

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Angélica Ilacqua CRB-8/7057

T899a

Tyson, Neil Degrasse
Astrofísica para apressados / Neil Degrasse Tyson; tradução
Alexandre Martins. – 1. ed. – São Paulo: Planeta, 2017.

Tradução de: *Astrophysics for people in a hurry*
ISBN 978-85-422-1099-6

1. Astrofísica. I. Martins, Alexandre. II. Título.

17-43481

CDD: 523
CDU: 52

2017
Todos os direitos desta edição reservados à
EDITORA PLANETA DO BRASIL LTDA.
Rua Padre João Manuel, 100 – 21^º andar
Edifício Horsa II – Cerqueira César

01411-000 — São Paulo — SP
www.planetadelivros.com.br
atendimento@editoraplaneta.com.br

*Para todos aqueles ocupados demais para
ler livros grossos, e que ainda assim
buscam um canal para o cosmos*

SUMÁRIO

PREFÁCIO

- 1** A maior história já contada
- 2** Na Terra como no céu
- 3** Faça-se a luz
- 4** Entre as galáxias
- 5** Matéria escura
- 6** Energia escura
- 7** O cosmos na tabela
- 8** Sobre ser redondo
- 9** Luz invisível
- 10** Entre os planetas
- 11** Exoplaneta Terra
- 12** Reflexões sobre a perspectiva cósmica

AGRADECIMENTOS

ÍNDICE REMISSIVO

SOBRE O AUTOR

PREFÁCIO

Nos últimos anos, não se passa mais de uma semana sem que a notícia de uma descoberta cósmica chegue às manchetes. Embora aqueles que controlam a mídia possam ter desenvolvido um interesse pelo universo, esse aumento da cobertura provavelmente deriva de um verdadeiro aumento do apetite popular pela ciência. São abundantes os sinais, desde bem-sucedidos programas de televisão inspirados ou baseados na ciência, ao sucesso de filmes de ficção científica estrelados por atores famosos e levados às telas por produtores e diretores festejados. E, ultimamente, lançamentos de filmes biográficos sobre importantes cientistas se tornaram um gênero próprio. Também há ao redor do mundo grande interesse por festivais de ciência, convenções de ficção científica e documentários científicos para a televisão.

O filme mais lucrativo de todos os tempos é o de um famoso diretor que ambientou sua história em um planeta que orbita uma estrela distante. É estrelado por uma atriz famosa que interpreta uma astrobióloga. Embora a maioria dos campos da ciência tenha crescido recentemente, o campo da astrofísica constantemente está no topo. Acho que sei o motivo. Em um momento ou outro, todos nós olhamos para o céu noturno e imaginamos: o que tudo isso significa? Como tudo isso funciona? E qual é o meu lugar no universo?

Se você é ocupado demais para absorver o cosmos por intermédio de aulas, livros acadêmicos ou documentários, mas mesmo assim busca uma rápida, porém significativa, introdução ao campo, ofereço-lhe *Astrofísica para apressados*. Com este pequeno livro você ganhará uma fluência básica em

todas as principais ideias e descobertas que conduzem nossa moderna compreensão do universo. Caso eu tenha sucesso, você ficará culturalmente familiarizado com minha área de especialização e sedento por mais.

O universo não tem obrigação de fazer sentido para
você.

NDT

A maior história já contada

*O mundo persistiu por um longo ano, tendo sido em
dado momento colocado no devido movimento.
A partir disso tudo se segue.*

LUCRÉCIO, c. 50 a.C.

No começo, há quase 14 bilhões de anos, todo o espaço, toda a matéria e toda a energia do universo conhecido estavam contidos em um volume menor que 1 trilionésimo do tamanho do ponto final que encerra esta frase.

As condições eram muito quentes, as forças básicas da natureza que coletivamente descrevem o universo eram unificadas. Embora ainda não se saiba como ele passou a existir, esse cosmos que era menor que um ponto só poderia se expandir. Rapidamente. Naquilo que hoje chamamos de Big Bang.

A teoria geral da relatividade de Einstein, apresentada em 1916, nos dá a compreensão moderna da gravidade, na qual a presença de matéria e energia curva o tecido do espaço e do tempo que as envolve. Nos anos 1920, a mecânica quântica seria descoberta, fornecendo nosso relato moderno de tudo que é pequeno: moléculas, átomos e partículas subatômicas. Mas essas duas compreensões da natureza são formalmente incompatíveis uma com a outra, o que lançou os físicos em

uma corrida para fundir a teoria do pequeno com a do grande em uma única teoria coerente de gravitação quântica. Embora ainda não tenhamos alcançado a linha de chegada, sabemos exatamente onde estão os obstáculos mais altos. Um deles está na “era de Planck” do começo do universo. É o intervalo de tempo entre $t = 0$ e $t = 10^{-43}$ segundos (um décimo de milionésimo de trilionésimo de trilionésimo de trilionésimo de segundo) depois do começo, e antes que o universo crescesse para 10^{-35} metros (um centésimo de bilionésimo de trilionésimo de trilionésimo de metro) de diâmetro. O físico alemão Max Planck, em nome de quem essas quantidades inimaginavelmente pequenas são batizadas, introduziu a ideia de energia quantizada em 1900, e é, em geral, considerado o pai da mecânica quântica.

O choque entre gravidade e mecânica quântica não representa nenhum problema prático para o universo contemporâneo. Os astrofísicos aplicam os princípios e as ferramentas da relatividade geral e da mecânica quântica a tipos muito diferentes de problemas. Mas no princípio, durante a era Planck, o grande era pequeno, e desconfiamos que deve ter havido uma espécie de casamento forçado entre os dois. Infelizmente, os votos feitos durante essa cerimônia continuam a nos escapar, então nenhuma lei (conhecida) da física descreve com alguma confiança o comportamento do universo durante aquele período.

Ainda assim, esperamos que ao final da era Planck a gravidade tenha se libertado das outras forças da natureza ainda unificadas, conquistando uma identidade independente belamente descrita por nossas atuais teorias. À medida que o universo envelhecia para além de 10^{-35} segundos, ele continuou a se expandir, diluindo todas as concentrações de energia, e o que restou das forças unificadas se dividiu entre forças “eletrofracas” e forças “nucleares fortes”. Posteriormente, a força eletrofraca se dividiu em forças eletromagnéticas e “nucleares fracas”, desnudando as quatro

forças distintas que passamos a conhecer e amar: com a força fraca controlando o decaimento radioativo, a força nuclear forte unindo o núcleo atômico, a força eletromagnética unindo as moléculas e a gravidade unindo matéria condensada.

*

Um trilionésimo de segundo se passou desde o começo.

*

Ao mesmo tempo, a interação de matéria na forma de partículas subatômicas e energia na forma de fótons (condutores sem massa de energia luminosa que são tanto ondas quanto partículas) era incessante. O universo era suficientemente quente para que esses fótons espontaneamente convertessem sua energia em pares de partículas de matéria e antimatéria, que imediatamente depois se aniquilavam, devolvendo sua energia aos fótons. Sim, a antimatéria é real. E nós descobrimos isso, não os autores de ficção científica. Essas metamorfoses são inteiramente previstas pela mais famosa equação de Einstein: $E = mc^2$, que é uma receita de mão dupla de quanta matéria sua energia vale, e quanta energia vale a sua matéria. O c^2 é a velocidade da luz ao quadrado – um número enorme que, quando multiplicado pela massa, nos lembra quanta energia você de fato consegue nesse exercício.

Pouco antes, durante e depois que as forças nucleares fortes e as eletrofracas se separaram, o universo era uma sopa agitada de quarks, léptons e seus irmãos de antimatéria, juntamente com bósons, as partículas que permitem suas

interações. Nenhuma dessas famílias de partículas é considerada divisível em algo menor ou mais básico, embora cada uma tenha diversas variedades. O fóton comum é membro da família do bóson. Os léptons mais conhecidos por um não físico são o elétron e talvez o neutrino; e os quarks mais conhecidos são... Bem, não há quarks conhecidos. Cada uma de suas seis subespécies recebeu um nome abstrato que não tem qualquer verdadeiro objetivo filológico, filosófico ou pedagógico, a não ser distinguir um dos outros: acima (*up*) e abaixo (*down*), estranho (*strange*) e charme (*charmed*), e cume (*top*) e base (*bottom*).

Os bósons, por falar nisso, são batizados em homenagem ao cientista indiano Satyendra Nath Bose. A palavra “lépton” deriva do grego *leptos*, que significa “fino” ou “estreito”. “Quark”, contudo, tem uma origem literária e muito mais criativa. O físico Murray Gell-Mann, que em 1964 sugeriu a existência dos quarks como componentes internos de nêutrons e prótons, e que na época acreditava que a família quark tinha apenas três membros, tomou o nome de uma frase tipicamente incompreensível no *Finnegans Wake*, de James Joyce: “*Three quarks for Muster Mark!*”. Uma coisa os quarks têm a seu favor: todos os seus nomes são simples – algo que químicos, biólogos e, especialmente, geólogos parecem incapazes de conseguir ao nomear suas próprias coisas.

Quarks são feras imprevisíveis. Diferentemente dos prótons, com carga elétrica de +1, e dos elétrons, com carga elétrica de -1, os quarks têm cargas fracionadas na forma de terços. E você nunca flagra um quark sozinho; ele sempre estará agarrando outros quarks próximos. Na verdade, a força que mantém dois (ou mais) deles juntos se torna mais poderosa quanto mais você os afasta – como se estivessem ligados por alguma espécie de elástico subnuclear. Se você separar os quarks o suficiente o elástico se rompe, e a energia acumulada invoca $E = mc^2$ para criar um novo quark em cada

extremidade, devolvendo você ao começo.

Durante a era quark-lépton, o universo era suficientemente denso para que a separação média entre quarks não ligados rivalizasse com a separação entre quarks ligados. Nessas condições, a ligação entre quarks adjacentes não podia ser estabelecida sem incerteza, e eles se moviam livremente, a despeito de estarem coletivamente ligados uns aos outros. A descoberta desse estado da matéria, uma espécie de caldeirão de quarks, foi descrita pela primeira vez em 2002 por uma equipe de físicos do Laboratório Nacional de Brookhaven, em Long Island, Nova York.

Fortes evidências teóricas sugerem que um acontecimento bem no princípio do universo, talvez durante uma das divisões de forças, dotou o universo de uma marcante assimetria, na qual partículas de matéria superavam por pouco as partículas de antimatéria: de 1 bilhão e uma para 1 bilhão. Essa pequena diferença na população dificilmente seria notada por alguém em meio à contínua criação, aniquilação e recriação de quarks e antiquarks, elétrons e antielétrons (mais conhecidos como pósitrons), e neutrinos e antineutrinos. Aquela partícula ímpar tinha muitas oportunidades de encontrar alguém a aniquilar, assim como todas as outras.

Mas não por muito tempo. À medida que o cosmos continuava a se expandir e resfriar, se tornando maior do que o tamanho de nosso sistema solar, a temperatura baixou rapidamente para menos de 1 trilhão Kelvin.

*

Um milionésimo de segundo se passou desde o começo.

*

Esse universo morno já não era quente ou denso o suficiente para cozinhar quarks, então todos eles escolheram parceiros de dança, criando uma nova família permanente de partículas pesadas chamada de hádrons (da palavra grega *hadros*, que significa “espesso”). Essa transição de quark a hádron logo resultou no surgimento de prótons e nêutrons, além de outras partículas pesadas menos conhecidas, todas compostas de diversas combinações de espécies de quark. Na Suíça (de volta à Terra), a cooperação europeia de física de partículas^[1] usa um grande acelerador para provocar a colisão de feixes de hádrons em uma tentativa de recriar exatamente essas condições. A maior máquina do mundo é sensatamente chamada de Grande Colisor de Hádrons.

A leve assimetria entre matéria e antimatéria que afetava a sopa de quarks-léptons foi transferida para os hádrons, mas com consequências extraordinárias.

À medida que o universo continuou a esfriar, o volume de energia disponível para a criação espontânea de partículas básicas baixou. Durante a era do hádron, fótons ambientes já não podiam invocar $E = mc^2$ para fabricar pares de quark-antiquark. Não apenas isso, os fótons que emergiram de todas as aniquilações remanescentes perderam energia para o universo em constante expansão, ficando abaixo do limite necessário para criar pares hádron-anti-hádron. Para cada bilhão de aniquilações – deixando em seu rastro 1 bilhão de fótons –, um único hádron sobrevivia. Esses solitários acabariam ficando com toda a diversão: funcionando como a fonte fundamental de matéria para criar galáxias, estrelas, planetas e petúnias.

Sem o desequilíbrio de 1 bilhão e um para 1 bilhão entre matéria e antimatéria, toda a massa no universo teria se autoaniquilado, deixando um cosmos feito de fótons e mais nada – o cenário radical de *faça-se a luz*.

Agora, um segundo de tempo se passou.

*

O universo cresceu para até alguns anos-luz de diâmetro,^[2] aproximadamente a distância do Sol às suas estrelas vizinhas mais próximas. A 1 bilhão de graus, ainda está bastante quente – e ainda permitindo cozinhar elétrons, que, juntamente com seus correspondentes pósitrons, continuam a entrar e sair da existência. Mas no universo sempre em expansão e sempre resfriando, seus dias (na verdade, segundos) estão contados. O que era verdade para os quarks e verdade para os hádrons, se tornou verdade para os elétrons: no final, apenas 1 elétron em 1 bilhão sobrevive. O restante se aniquila com os pósitrons, seus parceiros de antimatéria, em um mar de fótons.

Neste instante, um elétron para cada próton foi “congelado” na existência. À medida que o cosmos continua a esfriar – baixando de 100 milhões de graus –, os prótons se fundem com prótons, bem como com nêutrons, formando núcleos atômicos e fazendo eclodir um universo em que 90% desses núcleos são hidrogênio e 10% são hélio, juntamente com volumes residuais de deutério (hidrogênio “pesado”), trítio (hidrogênio ainda mais pesado) e lítio.

*

Agora, dois minutos se passaram desde o começo.

*

Durante outros 380 mil anos não aconteceria muito à nossa sopa de partículas. Durante todos esses milênios a temperatura permanece suficientemente quente para que os elétrons corram livremente entre os fótons, jogando-os de um lado para o outro enquanto interagem uns com os outros.

Mas essa liberdade chega a um final abrupto quando a temperatura do universo desce abaixo de 3 mil Kelvin (aproximadamente metade da temperatura na superfície do Sol), e todos os elétrons livres se combinam com núcleos. O casamento deixa para trás um banho onipresente de luz visível, gravando para sempre no céu um registro de onde toda a matéria estava naquele momento e completando a formação de partículas e átomos no universo primordial.

*

No primeiro bilhão de anos, o universo continuou a se expandir e resfriar à medida que matéria gravitava nas enormes concentrações que chamamos de galáxias. Quase 100 bilhões delas se formaram, cada uma contendo centenas de bilhões de estrelas que passam por fusão termonuclear em seus núcleos. As estrelas com mais de aproximadamente 10 vezes a massa do Sol conseguem pressão e temperatura suficientes em seus núcleos para fabricar dezenas de elementos mais pesados que o hidrogênio, incluindo aqueles que compõem planetas e qualquer vida que possa existir neles.

Esses elementos seriam incrivelmente inúteis caso permanecessem onde foram formados. Mas estrelas de grande massa por sorte explodem, espalhando suas entranhas quimicamente enriquecidas por toda a galáxia. Após 9 bilhões de anos de tal enriquecimento, em uma parte banal do universo (a periferia do Superaglomerado de Virgem), em uma galáxia banal (a Via Láctea), em uma região banal (o

Braço de Órion), uma estrela banal (o Sol) nasceu.

A nuvem de gás a partir da qual o Sol se formou continha um suprimento suficiente de elementos pesados para se aglutinar e gerar um conjunto complexo de objetos orbitantes que incluía vários planetas rochosos e gasosos, centenas de milhares de asteroides e bilhões de cometas. Nas primeiras centenas de milhões de anos, grandes quantidades de detrito espalhado por órbitas irregulares se juntariam a corpos maiores. Isso ocorreu na forma de impactos de alta velocidade e grande energia que derreteram as superfícies dos planetas rochosos, impedindo a formação de moléculas complexas.

À medida que restava cada vez menos matéria aglutinante no sistema solar, as superfícies dos planetas começaram a resfriar. Aquele que chamamos de Terra se formou em uma espécie de zona Cachinhos Dourados ao redor do Sol, na qual os oceanos permaneciam em grande medida em forma líquida. Caso a Terra estivesse muito mais perto do Sol os oceanos teriam evaporado. Caso a Terra estivesse muito mais distante, os oceanos teriam congelado. Em qualquer um dos casos, a vida como a conhecemos não teria evoluído.

Nos oceanos líquidos quimicamente ricos, por um mecanismo que ainda não foi descoberto, moléculas orgânicas fizeram a transição para vida capaz de se reproduzir. Nessa sopa primordial eram predominantes as bactérias anaeróbicas simples – vida que floresce em ambientes carentes de oxigênio, mas libera oxigênio quimicamente poderoso como um dos subprodutos. Esses organismos unicelulares iniciais não intencionalmente transformaram a atmosfera rica em dióxido de carbono da Terra em uma com oxigênio suficiente para permitir que organismos aeróbicos surgissem e dominassem os oceanos e a terra. Esses mesmos átomos de oxigênio, normalmente encontrados em pares (O_2), também se combinaram para formar ozônio (O_3) na atmosfera superior, o que funciona como um escudo que protege a superfície da Terra da maioria dos fótons ultravioletas do Sol,

que são hostis às moléculas.

Devemos a impressionante diversidade da vida na Terra e, supomos, em outros lugares do universo, à abundância cósmica de carbono e às inúmeras moléculas simples e complexas que o contêm. Não há dúvida quanto a isso: há mais variedades de moléculas baseadas em carbono do que todos os outros tipos de moléculas combinados.

Mas a vida é frágil. Eventuais encontros da Terra com grandes cometas e asteroides à deriva, antes um acontecimento comum, intermitentemente arrasam o nosso ecossistema. Há apenas 65 milhões de anos (menos de 2% do passado da Terra), um asteroide de 10 trilhões de toneladas atingiu o que é hoje a península de Yucatán e eliminou mais de 70% da flora e da fauna da Terra – incluindo todos os famosos e enormes dinossauros. Extinção. Essa catástrofe ecológica permitiu que nossos ancestrais mamíferos ocupassem nichos recém-abertos, em vez de continuar a servir como aperitivos para o T. Rex. Um ramo de cérebros grandes desses mamíferos, que chamamos de primatas, evoluiu para um gênero e uma espécie (*Homo sapiens*) com inteligência suficiente para inventar métodos e ferramentas da ciência – e deduzir a origem e a evolução do universo.

*

O que aconteceu antes de tudo isso? O que aconteceu antes do começo?

Os astrofísicos não fazem ideia. Ou melhor, nossas ideias mais criativas têm pouca ou nenhuma base na ciência empírica. Como reação, alguns religiosos afirmam, com um tom de superioridade moral, que algo deve ter dado início a tudo: uma força superior a todas as outras, uma fonte da qual tudo brota. Um agente primordial. Na mente dessas pessoas, essa coisa é, claro, Deus.

Mas e se o universo sempre tivesse existido ali, em um estado ou condição que ainda não identificamos – um multiverso, por exemplo, que continuamente dê à luz universos? Ou e se o universo simplesmente brotou do nada? Ou e se tudo o que sabemos e amamos fosse apenas uma simulação de computador criada para a diversão de uma espécie alienígena superinteligente?

Essas ideias filosoficamente divertidas em geral não satisfazem ninguém. Ainda assim, elas nos lembram que a ignorância é o estado mental natural para um cientista de pesquisa. Pessoas que acreditam não ignorar nada não procuraram ou não se depararam com a fronteira entre o que é sabido e o que não é no universo.

O que nós sabemos, e o que podemos afirmar sem hesitação, é que o universo teve um começo. O universo continua a evoluir. E, sim, todos os átomos em nosso corpo podem ser rastreados até o Big Bang e às fornalhas termonucleares dentro de estrelas de grande massa que explodiram há mais de 5 bilhões de anos.

Somos apenas poeira de estrelas trazida à vida, depois dotada pelo universo do poder de se compreender – e nós apenas começamos.

Na Terra como no céu

Até sir Isaac Newton escrever a lei da gravitação universal, ninguém tinha nenhum motivo para supor que as leis da física aqui eram as mesmas em todo o resto do universo. A Terra tinha coisas terrenas acontecendo, e os céus tinham coisas celestiais acontecendo. De acordo com os ensinamentos cristãos da época, Deus controlava os céus, os tornando incompreensíveis à nossa fraca mente mortal. Quando Newton superou essa barreira filosófica tornando todo movimento compreensível e previsível, alguns teólogos o criticaram por não deixar mais nada a cargo do Criador. Newton tinha compreendido que a força da gravidade que puxa maçãs maduras de seus pomares também guia objetos arremessados ao longo de suas trajetórias curvas e comanda a Lua em sua órbita ao redor da Terra. A lei da gravidade de Newton também guia planetas, asteroides e cometas em suas órbitas ao redor do Sol e mantém centenas de bilhões de estrelas em órbita dentro da nossa galáxia, a Via Láctea.

Essa universalidade das leis da física impulsiona a descoberta científica mais que tudo. E a gravidade era apenas o começo. Imagine a empolgação entre os astrônomos do século XIX quando prismas de laboratório, que fragmentam um fecho de luz em um espectro de cores, foram voltados para o Sol pela primeira vez. Espectros não são apenas bonitos, eles contêm muita informação sobre o objeto que emite luz, incluindo temperatura e composição. Elementos químicos se revelam por seus padrões únicos de luz ou faixas

escuras que cruzam o espectro. Para o encanto e o assombro das pessoas, as assinaturas químicas do Sol eram idênticas àsquelas de laboratório. Não sendo mais ferramenta exclusiva dos químicos, o prisma revelou que por mais diferente que o Sol seja da Terra em tamanho, massa, temperatura, localização e aparência, ambos contêm as mesmas coisas: hidrogênio, carbono, oxigênio, nitrogênio, cálcio, ferro e assim por diante. Porém ainda mais importante que nossa lista de compras de ingredientes partilhados foi o reconhecimento de que as leis da física que determinavam a formação dessas assinaturas espectrais no Sol eram as mesmas leis em ação na Terra, a 150 milhões de quilômetros de distância.

Esse conceito de universalidade era tão fértil que foi aplicado com sucesso no sentido inverso. Análises posteriores do espectro do Sol revelaram a assinatura de um elemento que não tinha correspondente na Terra. Sendo do Sol, a nova substância recebeu um nome derivado da palavra grega *helios* (“o Sol”) e só depois foi descoberta em laboratório. Desse modo, o hélio se tornou o primeiro e único elemento da Tabela Periódica dos químicos a ser descoberto em outro lugar que não a Terra.

Certo, as leis da física operam no sistema solar, mas operam por toda a galáxia? Por todo o universo? Pelo próprio tempo? Passo a passo, as leis foram testadas. Estrelas próximas também revelaram substâncias químicas familiares. Estrelas binárias distantes, unidas em uma órbita mútua, pareciam saber tudo sobre as leis da gravidade de Newton. Pela mesma razão, também galáxias binárias.

E, assim como nos sedimentos estratificados de um geólogo, que servem como uma linha do tempo para acontecimentos terrestres, quanto mais longe olhamos no espaço, mais atrás no tempo vemos. Espectros dos objetos mais distantes no universo revelam as mesmas assinaturas químicas que vemos mais perto no espaço e no tempo.

Verdade que elementos pesados eram menos abundantes então – eles são fabricados basicamente em gerações posteriores de estrelas explodindo –, mas as leis que descrevem os processos atômicos e moleculares que criaram essas assinaturas espectrais permanecem intactas. Particularmente uma quantidade conhecida como constante de estrutura fina, que controla a digital básica de todos os elementos, precisava ter permanecido imutável por bilhões de anos.

Claro que nem todas as coisas e todos os fenômenos no cosmos têm equivalentes na Terra. Você provavelmente nunca caminhou por uma nuvem reluzente de plasma de milhões de graus, e aposto que nunca cumprimentou um buraco negro na rua. O que importa é a universalidade das leis da física que os descrevem. Quando a análise espectral foi aplicada à luz emitida por uma nebulosa interestelar, foi encontrada uma assinatura que, mais uma vez, não tinha equivalente na Terra. Na época a Tabela Periódica dos Elementos não tinha um lugar óbvio em que um novo elemento se encaixasse. Em resposta os astrofísicos inventaram o nome “nebulium” para garantir o lugar até que conseguissem descobrir o que estava acontecendo. Acaba que, no espaço, nebulosas gasosas são tão rarefeitas que átomos passam longos períodos sem colidir. Nessas condições, os elétrons podem fazer coisas dentro dos átomos que nunca antes haviam sido vistas nos laboratórios terrestres. O nebulium era simplesmente a assinatura de oxigênio comum fazendo coisas extraordinárias.

Essa universalidade das leis da física nos diz que se pousarmos em outro planeta com uma civilização alienígena vibrante, eles estarão seguindo as mesmas leis que nós descobrimos e testamos aqui na Terra – mesmo que os alienígenas tenham diferentes crenças sociais e políticas. Ademais, se você quisesse conversar com os alienígenas, pode estar certo de que não falam inglês, francês ou mesmo mandarim. Nem saberia se apertar as mãos deles – se de fato

aquele apêndice esticado é uma mão – seria considerado um ato de guerra ou de paz. Sua maior esperança é encontrar um modo de se comunicar usando a linguagem da ciência.

Uma tentativa assim foi feita nos anos 1970 com as *Pioneer 10* e *11* e as *Voyager 1* e *2*. Todas as quatro naves espaciais foram dotadas de energia suficiente, depois de ajudas gravitacionais dos planetas gigantes, para escapar totalmente do sistema solar.

A *Pioneer* levava uma placa dourada gravada que mostrava, em pictogramas científicos, a disposição de nosso sistema solar, nossa localização na galáxia Via Láctea e a estrutura do átomo do hidrogênio. A *Voyager* foi ainda mais longe e também incluiu um disco sonoro de ouro contendo diversos sons da mãe Terra, incluindo a batida do coração humano, “canções” de baleias e uma seleção musical de todo o mundo, incluindo as obras de Beethoven e Chuck Berry. Embora isso humanizasse a mensagem, não fica claro se ouvidos alienígenas teriam alguma noção do que estavam escutando — supondo que, para começar, tivessem ouvidos. Minha paródia preferida desse gesto foi um esquete no programa *Saturday Night Live*, da NBC, pouco depois do lançamento da *Voyager*, no qual era mostrada uma resposta por escrito dos alienígenas que recuperaram a espaçonave. O bilhete pedia simplesmente: “Mandem mais Chuck Berry”.

A ciência floresce não apenas na universalidade das leis físicas, mas também na existência e persistência de constantes físicas. A constante da gravitação, conhecida pela maioria dos cientistas como a “G maiúsculo”, complementa a equação da gravidade de Newton com o grau de quão poderosa será a força. Essa quantidade foi implicitamente testada em busca de variações ao longo das eras. Se você fizer as contas, irá determinar que a luminosidade de uma estrela é extremamente dependente constante da gravitação. Em outras palavras, se a G tivesse sido, mesmo que ligeiramente, diferente no passado, então a geração de energia do Sol teria

sido muito mais variável do que qualquer coisa indicada pelos registros biológicos, climáticos ou geológicos.

Tal é a uniformidade do nosso universo.

*

Entre todas as constantes, a velocidade da luz é a mais famosa. Não importa quão rápido você vá, nunca conseguirá ultrapassar um raio de luz. Por que não? Nenhuma experiência já realizada revelou um objeto de qualquer forma atingindo a velocidade da luz. Leis da física bem testadas preveem e afirmam isso. Eu sei que declarações assim soam intolerantes. Algumas das declarações mais obtusas do passado baseadas em ciência subestimaram a engenhosidade de inventores e engenheiros. “Nunca iremos voar.” “Voar nunca será comercialmente factível.” “Nunca iremos dividir o átomo.” “Nunca quebraremos a barreira do som.” “Nunca chegaremos à Lua.” O que elas têm em comum é que nenhuma lei estabelecida da física era uma barreira.

A alegação “Nunca iremos ultrapassar um raio de luz” é uma previsão qualitativamente diferente. Ela deriva de princípios físicos básicos testados ao longo do tempo. Sinais de trânsito para viajantes interestelares do futuro poderiam alertar:

Velocidade da luz:
Não é apenas uma boa ideia.
É a lei.

Diferentemente de ser apanhado em excesso de velocidade nas estradas da Terra, a coisa boa sobre as leis da física é que elas não dependem de órgãos policiais para serem cumpridas, embora eu uma vez tenha tido uma camiseta *geek* que proclamava: “OBEDEÇA À GRAVIDADE”.

Todas as medições sugerem que as constantes fundamentais conhecidas e as leis físicas que dizem respeito a elas não dependem de tempo nem de localização. São verdadeiramente constantes e universais.

*

Muitos fenômenos naturais apresentam múltiplas leis físicas em ação ao mesmo tempo. Esse fato com frequência dificulta a análise e, na maioria dos casos, demanda computação de alto desempenho para calcular o que está acontecendo e registrar os parâmetros importantes. Quando o cometa Shoemaker-Levy 9 mergulhou na atmosfera rica em gás de Júpiter em julho de 1994, e depois explodiu, o modelo computacional mais preciso combinava as leis da mecânica dos fluidos, termodinâmica, cinética e gravitação. O clima e as condições do tempo são outros grandes exemplos de fenômenos complicados (e de difícil previsão). Mas as leis básicas que os governam continuam válidas. A Grande Mancha Vermelha de Júpiter, um furioso anticiclone que permanece forte há pelo menos 350 anos, é determinada por processos físicos idênticos aos que geram tempestades na Terra e em outros pontos do sistema solar.

Outra classe de verdades universais são as leis da conservação, em que a totalidade de uma quantidade aferida permanece imutável *não importando o que aconteça*. As três mais importantes são a conservação de massa e energia, a conservação de momento linear e angular e a conservação da carga elétrica. Essas leis são válidas na Terra e em todos os

lugares onde procuramos – desde o campo da física de partículas até a estrutura em grande escala do universo.

A despeito de toda essa vanglória, nem tudo é perfeito no paraíso. Acontece que não conseguimos ver, tocar ou provar a fonte de 85% da gravidade que medimos no universo. Essa misteriosa *matéria escura*, que permanece não detectada a não ser por sua atração gravitacional sobre a matéria que vemos, pode ser composta de partículas exóticas que ainda não descobrimos ou identificamos. Uma pequena minoria de astrofísicos, contudo, não está convencida e sugeriu que não existe matéria escura – você precisa apenas modificar a lei da gravidade de Newton. Simplesmente acrescente alguns componentes às equações e tudo ficará bem.

Talvez um dia descubramos que a gravidade de Newton de fato precisa de ajustes. Nenhum problema com isso. Já aconteceu antes. A teoria geral da relatividade de Einstein, de 1916, ampliou os princípios da gravidade de Newton de modo a também se aplicar a objetos de massa extremamente grande. A lei da gravidade de Newton desmorona nesse âmbito ampliado, que ele desconhecia. A lição aqui é que nossa confiança segue a gama de condições nas quais a lei foi testada e comprovada. Quanto mais ampla essa gama, mais sólida e poderosa a lei se torna ao descrever o cosmos. Para a gravidade doméstica comum, a lei de Newton funciona muito bem. Ela nos levou à Lua e nos trouxe de volta à Terra em segurança em 1969. Para buracos negros e a estrutura em grande escala do universo, nós precisamos da relatividade geral. E se você incluir massa reduzida e velocidade reduzida nas equações de Einstein, elas literalmente (ou melhor, matematicamente) se tornam as equações de Newton – todas essas boas razões para ter confiança em nossa compreensão de tudo o que alegamos compreender.

*

Para o cientista, a universalidade das leis da física torna o cosmos um lugar maravilhosamente simples. Em comparação, a natureza humana – domínio do psicólogo – é infinitamente mais intimidante. Nos Estados Unidos, comitês de ensino local votam nos assuntos a serem ensinados na sala de aula. Em alguns casos, os votos são dados seguindo os caprichos de ondas culturais, políticas ou religiosas. Ao redor do mundo, diferentes sistemas de crença levam a diferenças políticas que nem sempre são resolvidas pacificamente. O poder e a beleza das leis da física são que elas se aplicam a todos os lugares, quer você acredite nelas ou não.

Em outras palavras, depois das leis da física, tudo mais é opinião.

Não que os cientistas não discutam. Nós discutimos. Muito. Mas quando o fazemos, normalmente expressamos opiniões sobre a interpretação de dados insuficientes ou desleixados bem no limite do nosso conhecimento. Sempre que e quando uma lei da física pode ser invocada na discussão, o debate certamente é breve. Não, a sua ideia de uma máquina de movimento perpétuo nunca irá funcionar; ela viola as bem testadas leis da termodinâmica. Não, você não pode construir uma máquina do tempo que lhe permita voltar e matar sua mãe antes do seu nascimento – isso viola as leis da causalidade. E sem violar as leis do momento você não pode espontaneamente levitar e pairar acima do chão, esteja você ou não sentado em posição de lótus.^[3]

O conhecimento das leis da física pode, em certos casos, lhe dar confiança para enfrentar pessoas ranzinhas. Alguns anos atrás, eu estava tomando um chocolate quente para encerrar o dia em uma loja de doces em Pasadena, Califórnia. Pedi com chantili, claro. Quando chegou à mesa eu não vi sinal daquilo. Disse ao garçom que meu chocolate não tinha chantili, e ele afirmou que eu não conseguia ver por ter afundado. Mas chantili tem baixa densidade, e flutua em todos os líquidos que os seres humanos consomem. Então

ofereci ao garçom duas possíveis explicações: ou alguém se esquecera de colocar o chantili em meu chocolate quente ou as leis universais da física eram diferentes no restaurante dele. Não convencido, ele desafiadoramente trouxe uma porção de chantili para demonstrar a sua alegação. Após balançar uma ou duas vezes, o chantili subiu para o alto, flutuando em segurança.

Que prova melhor você precisa da universalidade das leis da física?

Faça-se a luz

De depois do Big Bang o principal objetivo do cosmos foi expansão, sempre diluindo a concentração de energia que enchia o espaço. A cada momento o universo ficava um pouco maior, um pouco mais frio e um pouco mais escuro. Enquanto isso, matéria e energia coabitavam uma espécie de sopa opaca, na qual elétrons livres continuavam a espalhar fótons para todos os lados.

Durante 380 mil anos as coisas continuaram assim.

Nesse período inicial, os fótons não iam longe antes de encontrar um elétron. Na época, se sua missão fosse ver do outro lado do universo, não conseguiria. Qualquer fóton que encontrasse teria lançado um elétron diante do seu nariz nano e picossegundos antes.^[4] Como essa é a maior distância que a informação consegue viajar antes de chegar aos seus olhos, o universo inteiro estava simplesmente se tornando uma névoa opaca e brilhante em todas as direções em que você olhava. O Sol e todas as outras estrelas também se comportavam assim.

À medida que a temperatura cai, partículas se movem cada vez mais lentamente. E então, quando a temperatura do universo pela primeira vez caiu abaixo de incandescentes 3 mil Kelvin, os elétrons desaceleraram o suficiente para ser capturados por prótons de passagem, assim dando ao mundo átomos maduros. Isso permitiu que fótons anteriormente assediados fossem libertados e viajassem pelo universo por caminhos desimpedidos.

Essa “radiação cósmica de fundo” é a encarnação da luz

restante de um universo primordial ofuscante e causticante, e a ele pode ser atribuída uma temperatura, com base em qual parte do espectro os fótons dominantes representam. À medida que o cosmos continuou a esfriar, os fótons que tinham nascido na parte visível do espectro perderam energia para o universo em expansão e acabaram descendo posições no espectro, se metamorfoseando em fótons infravermelhos. Embora os fótons da luz visível tenham se tornado cada vez mais fracos, nunca deixaram de ser fótons.

O que vem a seguir no espectro? Hoje o universo se expandiu em um fator de 1 mil desde o momento em que os fótons foram liberados, então a radiação cósmica de fundo, por sua vez, esfriou em um fator de 1 mil. Todos os fótons de luz visível daquela época se tornaram 1/1.000 menos energéticos. Eles agora são micro-ondas, de onde retiramos o apelido moderno “radiação cósmica de fundo em micro-ondas”, ou CMB na sigla em inglês. Se continuar assim, daqui a 50 bilhões de anos os astrofísicos estarão escrevendo sobre a radiação cósmica de fundo de ondas de rádio.

Quando algo brilha por ser aquecido, emite luz em todo o espectro, mas sempre tem um pico em algum ponto. No caso das lâmpadas domésticas que ainda usam filamentos de metal incandescentes, a luz tem seu pico no infravermelho, que é o maior responsável isolado por sua ineficácia como fonte de luz visível. Nossos sentidos só detectam infravermelho na forma de calor sobre a pele. A revolução do LED na tecnologia avançada de iluminação cria pura luz visível sem desperdiçar potência em áreas invisíveis do espectro. Por isso você pode ter na embalagem frases aparentemente absurdas como “LED de 7 watts substitui incandescente de 60 watts”.

Sendo o remanescente de algo que um dia brilhou, a CMB possui o perfil que esperamos de um objeto radiante, mas que esfria: tem seu pico em uma área do espectro, mas também irradia em outras áreas do espectro. Neste caso, além de ter seu pico em micro-ondas, a CMB também libera algumas

ondas de rádio e um número cada vez menor de fótons de alta energia.

Em meados do século XX, o subcampo da cosmologia – não confundir com cosmetologia – não tinha muitas informações. E onde as informações são esparsas, há uma abundância de ideias concorrentes inteligentes e esperançosas. A existência da CMB foi prevista pelo físico americano de origem russa George Gamow e outros colegas nos anos 1940. A base dessas ideias foi a obra de 1927 do físico e sacerdote belga Georges Lemaître, em geral reconhecido como o “pai” da cosmologia do Big Bang. Mas foram os físicos americanos Ralph Alpher e Robert Herman que, em 1948, estimaram pela primeira vez qual deveria ser a temperatura da radiação cósmica de fundo. Eles basearam seus cálculos em três pilares: 1) A teoria geral da relatividade de Einstein, de 1916; 2) A descoberta por Edwin Hubble, em 1929, de que o universo está em expansão; e 3) A física atômica desenvolvida em laboratório antes e durante o Projeto Manhattan que construiu as bombas atômicas da Segunda Guerra Mundial.

Herman e Alpher calcularam e propuseram uma temperatura de 5 Kelvin para o universo. Bem, isso é totalmente errado. A temperatura medida com precisão dessas micro-ondas é de 2,725 Kelvin, às vezes grafada apenas como 2,7 Kelvin, e se você for numericamente preguiçoso ninguém o culpará por arredondar a temperatura do universo para 3 Kelvin.

Vamos parar por um momento. Herman e Alpher usaram física atômica recém-colhida em um laboratório e a aplicaram a condições hipotéticas do universo primordial. A partir disso, extrapolaram bilhões de anos à frente, calculando qual deveria ser a temperatura do universo hoje. O simples fato de que suas previsões tenham chegado perto da resposta certa é um triunfo assombroso para a compreensão humana. Eles poderiam ter errado por um fator de 10, ou de 100, ou poderiam mesmo ter previsto algo que nem sequer estava lá.

Ao comentar esse feito, o astrofísico americano J. Richard Gott observou: “Prever que existia a radiação de fundo e então obter a temperatura certa dentro de um fator de 2 foi como prever que um disco voador de 15 metros de diâmetro pousaria no gramado da Casa Branca, mas em vez disso aparecesse um disco voador de 8 metros de diâmetro.

*

A primeira observação da radiação cósmica de fundo em micro-ondas foi feita inadvertidamente em 1964 pelos físicos americanos Arno Penzias e Robert Wilson, do Bell Telephone Laboratories, a divisão de pesquisa da AT&T. Nos anos 1960, todos sabiam sobre as micro-ondas, mas quase ninguém tinha a tecnologia para detectá-las. O Bell Labs, pioneiro no setor de telecomunicações, desenvolveu uma enorme antena em forma de tuba unicamente com esse propósito.

Mas, para começar, se você vai enviar ou receber um sinal, não quer que muitas fontes o contaminem. Penzias e Wilson buscavam medir a interferência de fundo em micro-ondas em seu receptor, para permitir comunicação limpa e livre de ruídos nessa faixa do espectro. Eles não eram cosmólogos. Eram tecnofeiticeiros ajustando um receptor de micro-ondas e ignorando as previsões de Gamow, Herman e Alpher.

O que Penzias e Wilson decididamente não estavam procurando era a radiação cósmica de fundo em microondas; estavam simplesmente tentando abrir um novo canal de comunicação para a AT&T.

Penzias e Wilson fizeram sua experiência e eliminaram de seus dados todas as fontes conhecidas de interferência terrestre e cósmica que conseguiram identificar, mas uma parte do sinal não sumiu, e eles simplesmente não conseguiam descobrir como eliminá-lo. Finalmente olharam dentro da parabólica e encontraram ninhos de pombos. Então

imaginaram que uma substância dielétrica branca (cocô de pombo) pudesse ser a responsável pelo sinal, pois eles o localizavam independentemente da direção para qual o detector apontasse. Após eliminar a substância dielétrica, a interferência diminuiu um pouco, mas permaneceu um sinal residual. O estudo que eles publicaram em 1965 foi inteiramente sobre esse “excesso de temperatura de antena” que não podia ser atribuído a nada.^[5]

Enquanto isso, uma equipe de físicos em Princeton, liderada por Robert Dicke, estava construindo um detector específico para encontrar a radiação de fundo. Mas eles não tinham os recursos do Bell Labs, então seu trabalho foi um pouco mais lento. E no momento em que Dicke e seus colegas tomaram conhecimento do trabalho de Penzias e Wilson, a equipe de Princeton soube exatamente o que era o excesso de calor observado na antena. Tudo se encaixava: especialmente a própria temperatura e o fato de que o sinal vinha de todas as direções no céu.

Em 1978, Penzias e Wilson receberam o Prêmio Nobel por sua descoberta. E, em 2006, os astrofísicos americanos John C. Mather e George F. Smoot dividiriam o Prêmio Nobel por observar a *CMB* em uma ampla gama do espectro, levando a cosmologia de um jardim de infância de ideias espertas, mas não testadas, para o âmbito de uma ciência experimental de precisão.

*

Como a luz leva tempo para nos alcançar de lugares distantes do universo, se olharmos fundo no espaço na verdade vemos eras atrás no tempo. Então, se os inteligentes habitantes de uma galáxia muito distante fossem medir a temperatura da radiação cósmica de fundo no momento capturado por nosso olhar, receberiam uma leitura superior a 2,7 graus, porque

estão vivendo em um universo mais jovem, menor e mais quente que o nosso.

E de fato você realmente pode testar essa hipótese. A molécula de cianogênio CN (que já foi usado em assassinos condenados como o componente ativo do gás administrado pelos carrascos) fica agitada com a exposição a micro-ondas. Se as micro-ondas forem mais quentes que aquelas em nossa radiação de fundo, agitam as moléculas um pouco mais. No modelo do Big Bang, o cianogênio em galáxias distantes e mais jovens é banhado em um ruído de fundo cósmico mais quente que o cianogênio em nossa própria galáxia, a Via Láctea. E isso é exatamente o que observamos.

Não é possível inventar esse tipo de coisa.

Por que isso deveria ser interessante? O universo era opaco até 380 mil anos depois do Big Bang, então você não poderia ter testemunhado matéria ganhando forma mesmo se estivesse sentado no meio da primeira fileira. Não poderia ter visto os aglomerados de galáxias e os vazios onde começavam a se formar. Antes que qualquer um pudesse ver algo que merecesse ser visto, os fótons tinham de viajar pelo universo, desimpedidos, como mensageiros dessa informação.

O ponto em que cada fóton começou sua jornada através do cosmos é onde ele se chocou com o último elétron que estaria no seu caminho – o “ponto de última deflexão”. À medida que cada vez mais fótons escapavam sem choque, eles criaram uma “superfície” em expansão de última deflexão, com cerca de 120 mil anos de profundidade. Essa superfície é onde todos os átomos do universo nasceram: um elétron se junta a um núcleo atômico, e um pequeno pulso de energia na forma de um fóton dispara para o selvagem além vermelho.

Nessa época, algumas regiões do universo já haviam começado a se agrupar pela atração gravitacional de suas partes. Fótons que desviaram em elétrons pela última vez nessas regiões desenvolveram um perfil diferente, levemente mais frio do que aqueles que desviaram nos elétrons menos

sociáveis no meio do nada. Onde a matéria se acumulara, a força da gravidade aumentou, permitindo que cada vez mais matéria se reunisse. Essas regiões semearam a formação de superaglomerados de galáxias, enquanto outras regiões foram deixadas relativamente vazias.

Quando você mapeia detalhadamente a radiação cósmica de fundo em micro-ondas, descobre que ela não é completamente suave. Há pontos que são ligeiramente mais quentes e ligeiramente mais frios do que a média. Estudando essas variações de temperatura na CMB – ou seja, estudando padrões na superfície do último desvio –, podemos inferir quais eram a estrutura e o conteúdo da matéria no universo primordial. Para descobrir como surgiram galáxias, aglomerados e superaglomerados nós usamos nossa melhor ferramenta, a CMB – uma poderosa cápsula do tempo que permite aos astrofísicos reconstruir a história cósmica em sentido inverso. Estudar seus padrões é como realizar uma espécie de frenologia cósmica à medida que analisamos os calombos no crânio do universo criança.

Quando balizada por outras observações do universo contemporâneo e distante, a CMB lhe permite decodificar todo tipo de propriedades cósmicas fundamentais. Compare a distribuição de tamanhos e temperaturas das áreas quentes e frias e você pode inferir a intensidade da força da gravidade na época e com que rapidez a matéria se acumulou, lhe permitindo então deduzir quanta matéria comum, quanta matéria escura e quanta energia escura há no universo. A partir disso, então é, objetivo dizer se o universo irá ou não se expandir para sempre.

*

A matéria comum é aquilo de que todos somos feitos. Ela tem gravidade e interage com a luz. A matéria escura é uma

substância misteriosa que tem gravidade, mas que não interage com a luz de nenhuma forma conhecida. A energia escura é uma pressão misteriosa no vácuo do espaço que atua na direção oposta da gravidade, forçando o universo a se expandir mais rápido do que de faria.

O que o nosso exame frenológico diz é que entendemos como o universo se comportou, mas que a maior parte do universo é feita de coisas sobre as quais não temos ideia. Independentemente de nossas profundas áreas de ignorância, hoje, como nunca antes, a cosmologia tem uma âncora, porque a CMB revela o portal pelo qual todos nós passamos. É um ponto onde uma física interessante aconteceu, e onde aprendemos sobre o universo antes e depois de sua luz ser libertada.

A simples descoberta da radiação cósmica de fundo em micro-ondas transformou a cosmologia em algo mais que mitologia. Mas foi o mapa preciso e detalhado da radiação cósmica de fundo em micro-ondas que transformou a cosmologia em uma ciência moderna. Os cosmólogos têm egos muito grandes. Como não ter quando seu trabalho é deduzir o que fez o universo existir? Sem informações suas explicações eram apenas hipóteses. Agora, cada nova observação, cada porção de informação é uma espada de dois gumes: permite à cosmologia florescer sobre o mesmo tipo de base de que todo o resto da ciência desfruta, mas também limita teorias que as pessoas conceberam quando não havia informações suficientes para dizer se eram certas ou erradas.

Nenhuma ciência chega à maturidade sem isso.

Entre as galáxias

Na grande contabilidade de componentes cósmicos, são as galáxias as que mais aparecem. As últimas estimativas mostram que o universo observável pode conter 100 bilhões delas. Brilhantes, bonitas e cheias de estrelas, as galáxias decoram os vazios escuros do espaço como as cidades em um país à noite. Mas exatamente quão vazio é o vazio do espaço? (Quão desocupado é o interior entre as cidades?) Só porque as estrelas estão na sua frente e só porque elas podem querer nos fazer crer que nada mais importa, o universo, ainda assim, pode conter coisas difíceis de detectar entre as galáxias. Talvez essas coisas sejam mais interessantes, ou mais importantes para a evolução do universo do que as próprias galáxias.

Nossa própria galáxia espiral, a Via Láctea, é assim chamada por sua aparência de leite derramado ao longo do céu noturno da Terra a olho nu. De fato, a própria palavra “galáxia” deriva do grego *galaksias*, “leitoso”. Nossas duas galáxias vizinhas mais próximas, a uma distância de 600 mil anos-luz, são pequenas e irregulares. O diário de bordo de Fernão de Magalhães identificou esses objetos cósmicos durante sua famosa viagem ao redor do mundo em 1519. Em homenagem a ele nós as chamamos a Grande e a Pequena Nuvem de Magalhães, e elas são vistas principalmente do hemisfério sul como um par de manchas em forma de nuvem no céu, estacionadas além das estrelas. A galáxia maior que a nossa mais próxima fica a 2 milhões de anos-luz, além das

estrelas que formam a constelação de Andrômeda. Essa galáxia em espiral, historicamente apelidada de Grande Nebulosa de Andrômeda, é de certo modo uma gêmea maior e mais luminosa da Via Láctea. Repare que o nome de cada sistema não faz referência à existência de estrelas: Via Láctea, Nuvens de Magalhães, Nebulosa de Andrômeda. Todas as três foram batizadas antes que os telescópios fossem inventados, de modo que ainda não era possível confirmar sua composição estelar.

*

Como será detalhado no capítulo 9, sem o benefício de telescópios operando em muitas faixas de luz ainda poderíamos declarar que o espaço entre as galáxias estava vazio. Ajudados por detectores modernos, e teorias modernas, investigamos nosso interior cósmico e revelamos diversas coisas difíceis de detectar: galáxias anãs, estrelas desgarradas, estrelas desgarradas que explodem, gás a milhões de graus que emite raios X, matéria escura, galáxias azuis fracas, nuvens de gás onipresentes, impressionantes partículas carregadas de alta energia e a misteriosa energia quântica do vácuo. Com uma lista assim, pode-se dizer que toda a diversão no universo acontece mais entre as galáxias do que dentro delas.

Em qualquer volume de espaço pesquisado de forma confiável, as galáxias anãs superam as grandes galáxias em mais de dez para uma. O primeiro ensaio que escrevi sobre o universo, no começo dos anos 1980, era intitulado *The galaxy and the seven dwarfs* [*A galáxia e os sete anões*], em referência à pequena família próxima da Via Láctea. Desde então a contabilidade das galáxias anãs locais chega às dezenas. Enquanto as grandes galáxias contêm centenas de bilhões de estrelas, as galáxias anãs podem ter até mesmo 1 milhão, o

que as torna 100 mil vezes mais difíceis de detectar. Não espanta que ainda estejam sendo descobertas debaixo dos nossos narizes.

Imagens de galáxias anãs que já não fabricam estrelas costumam parecer pequenas manchas tediosas. Todas essas anãs que não formam estrelas têm formas irregulares e, muito francamente, possuem aparência lamentável. Galáxias anãs têm três coisas que dificultam sua detecção. Elas são pequenas, e assim facilmente passadas para trás quando sedutoras galáxias espirais competem pela sua atenção. Elas são fracas, portanto ignoradas em muitas pesquisas de galáxias que eliminam abaixo de um grau de brilho pré-determinado. E elas têm uma baixa densidade de estrelas em seu interior, de modo que criam pouco contraste acima do brilho da luz circundante da atmosfera noturna terrestre e de outras fontes. Tudo isso é verdade. Mas como as anãs superam em muito as galáxias “normais”, talvez nossa definição do que seja normal precise de uma revisão.

Você encontrará a maioria das galáxias anãs (conhecidas) nas proximidades de galáxias maiores, orbitando-as como satélites. As duas Nuvens de Magalhães são parte da família anã da Via Láctea. Mas a vida das galáxias satélites pode ser difícil. A maioria dos modelos computadorizados de suas órbitas mostra uma decadência lenta que no final resulta nas infelizes anãs sendo destroçadas e depois devoradas pela galáxia principal. A Via Láctea cometeu pelo menos um ato de canibalismo no último bilhão de anos, quando consumiu uma galáxia anã cujos restos esfarrapados podem ser vistos como um riacho de estrelas orbitando o centro galáctico, além das estrelas da constelação de Sagitário. O sistema é chamado de Anã Elíptica de Sagitário, mas provavelmente deveria se chamar Almoço.

No ambiente de alta densidade dos aglomerados, duas ou mais galáxias grandes rotineiramente colidem e deixam para trás uma confusão gigantesca: estruturas espirais distorcidas

além da possibilidade de reconhecimento, surtos recém-introduzidos de regiões de formação de estrelas criados pela colisão violenta de nuvens de gás, e centenas de milhões de estrelas espalhadas aqui e ali, tendo acabado de escapar da gravidade das duas galáxias. Algumas estrelas se reagrupam para formar conjuntos que poderiam ser chamados de galáxias anãs. Outras estrelas permanecem à deriva. Cerca de 10% de todas as grandes galáxias mostram evidências de um grande encontro gravitacional com outra grande galáxia – e essa taxa pode ser cinco vezes maior entre galáxias em aglomerados.

Com toda essa violência, quanto detrito galáctico permeia o espaço intergaláctico, especialmente nos aglomerados? Ninguém tem certeza. A avaliação é difícil, porque estrelas isoladas são fracas demais para serem detectadas individualmente. Precisamos confiar na detecção de um leve brilho produzido pela luz de todas as estrelas combinadas. De fato, observações de aglomerados detectam apenas um brilho assim entre as galáxias, sugerindo que pode haver tantas estrelas sem-teto quanto há estrelas dentro das próprias galáxias.

Pondo fogo no debate, nós encontramos (sem procurar por elas) mais de uma dúzia de supernovas que explodiram muito além do que supomos ser suas galáxias “hospedeiras”. Em galáxias comuns, a cada estrela que explode desse modo, entre 100 mil e 1 milhão não explodem, de modo que supernovas isoladas podem revelar populações inteiras de estrelas não detectadas. Supernovas são estrelas que se fizeram em pedaços e, nesse processo, aumentaram temporariamente (ao longo de várias semanas) sua luminosidade 1 bilhão de vezes, tornando-se visíveis por todo o universo. Embora uma dúzia de supernovas sem-teto seja um número relativamente pequeno, muitas mais podem ser descobertas, já que a maioria das buscas sistemáticas por supernovas monitora galáxias conhecidas, e não espaço vazio.

*

Os aglomerados são mais do que as galáxias que os compõem e suas estrelas desgarradas. Medições feitas com telescópios sensíveis a raios X revelam um gás que enche o espaço dentro do aglomerado a dezenas de milhões de graus. O gás é tão quente que brilha com força na faixa de raios X do espectro. O próprio movimento de galáxias ricas em gás através desse meio acaba por privá-las de seu próprio gás, obrigando-as a abrir mão de sua capacidade de criar novas estrelas. Isso poderia explicar. Mas quando você calcula a massa total presente nesse gás aquecido, na maioria dos aglomerados ela excede a massa de todas as galáxias no aglomerado em até 10 vezes. Pior ainda, eles são superados pela matéria escura, que contém mais 10 vezes a massa de todo o resto. Em outras palavras, se os telescópios observassem massa em vez de luz, nossas queridas galáxias em aglomerados pareceriam pontos insignificantes em meio a uma gigante bolha esférica de forças gravitacionais.

No resto do espaço, fora dos aglomerados, há uma população de galáxias que vicejou há muito tempo. Como já foi observado, olhar o cosmos é análogo a um geólogo estudar estratos sedimentares, nos quais a história da formação rochosa é exposta claramente. Distâncias cósmicas são tão vastas que o tempo de viagem para que a luz chegue até nós pode ser de milhões, ou mesmo bilhões de anos. Quando o universo tinha a metade de sua atual idade, uma espécie de galáxias de tamanho intermediário, muito azul e muito fraca, prosperou. Nós as vemos. Elas nos saúdam de muito tempo atrás, representando galáxias muito distantes. Seu azul vem do brilho de estrelas recémformadas, de vida curta, grande massa, alta temperatura e grande luminosidade. As galáxias são fracas não apenas por estarem distantes, mas porque a população de estrelas luminosas dentro delas era pequena. Como os dinossauros, que surgiram e sumiram, deixando as

aves como seu único descendente moderno, as galáxias azuis fracas não existem mais, contudo, presumivelmente, têm um equivalente no universo de hoje. Será que todas as suas estrelas se esgotaram? Elas se tornaram cadáveres invisíveis espalhados por todo o universo? Elas se transformaram nas conhecidas galáxias anãs de hoje? Ou foram todas devoradas por galáxias maiores? Não sabemos, mas seu lugar na cronologia da história cósmica é certo.

Com tanta coisa entre as grandes galáxias, poderíamos esperar que parte disso obscurecesse nossa visão do que há além. Isso poderia ser um problema para a maioria dos objetos distantes do universo, como os quasares. Quasares são núcleos superluminosos de galáxias cuja luz geralmente viaja bilhões de anos pelo espaço antes de chegar aos nossos telescópios. Sendo fontes de luz extremamente distantes, elas são as cobaias ideais para detectar interferência causada por lixo.

Certamente, quando você separa a luz do quasar nas cores que a compõem, revelando um espectro, ela está tomada pela presença absorvente de nuvens de gás intervenientes. Todo quasar conhecido, não importa em que ponto do céu se encontre, mostra características de dezenas de nuvens de hidrogênio isoladas espalhadas por tempo e espaço. Esse tipo único de objeto intergaláctico foi identificado pela primeira vez nos anos 1980 e continua a ser uma área ativa da pesquisa astrofísica. De onde eles vêm? Quanta massa contêm?

Todo quasar conhecido revela esses traços de hidrogênio, então concluímos que as nuvens de hidrogênio estão em toda parte do universo. E, como esperado, quanto mais distante o quasar, mais nuvens estão presentes no espectro. Algumas das nuvens de hidrogênio (menos de 1%) são simplesmente consequência de nossa linha de visão cruzando o gás contido em uma galáxia espiral ou irregular comum. Você poderia, claro, esperar que pelo menos alguns quasares estivessem atrás da luz de galáxias comuns distantes demais para ser

detectadas. Mas o resto dos absorventes é inconfundivelmente um tipo de objeto cósmico.

Enquanto isso, a luz do quasar normalmente passa por regiões do espaço que contêm fontes de gravidade monstruosas, o que causa estragos na imagem do quasar. Com frequência são difíceis de detectar porque podem ser compostas de matéria comum simplesmente escura demais e distante, ou podem ser zonas de matéria escura, como a que ocupa os centros e as regiões periféricas de aglomerados de galáxias. Em qualquer dos casos, onde há massa há gravidade. E onde há gravidade há espaço curvado, de acordo com a teoria geral da relatividade de Einstein. E onde o espaço se curva pode imitar a curvatura de uma lente comum de vidro e alterar as trajetórias da luz que passa por ela. De fato, quasares distantes e galáxias inteiras foram “distorcidos” por objetos que por acaso estão na linha de visão dos telescópios da Terra. Dependendo da massa da própria lente e da geometria da linha de visão, a distorção pode ampliar, deformar ou mesmo dividir a fonte de luz de fundo em múltiplas imagens, assim como espelhos de um parque de diversões.

Um dos objetos (conhecidos) mais distantes no universo não é um quasar, mas uma galáxia comum, cuja luz fraca foi significativamente ampliada pela interferência de uma lente gravitacional. A partir de agora poderemos precisar nos valer desses telescópios “intergalácticos” para ver onde (e quando) telescópios comuns não conseguem alcançar, e assim revelar os futuros detentores do recorde de distância cósmica.

*

Ninguém desgosta do espaço intergaláctico, mas pode ser perigoso para sua saúde ir até lá. Vamos ignorar o fato de que você congelaria até a morte enquanto seu corpo quente

Matéria escura

Gravidade, a mais conhecida das forças da natureza, nos oferece simultaneamente o melhor e menos compreendido fenômeno da natureza. Foi necessária a mente da pessoa mais brilhante e influente do milênio, Isaac Newton, para compreender que a misteriosa “ação à distância” da gravidade é fruto dos efeitos naturais de todo tipo de matéria, e que a força de atração entre dois objetos quaisquer pode ser descrita por uma simples equação algébrica. Foi necessária a mente da pessoa mais brilhante e influente do século passado, Albert Einstein, para demonstrar que podemos descrever a ação à distância da gravidade com mais precisão como uma dobra no tecido do espaço-tempo, produzida por qualquer combinação de matéria e energia. Einstein demonstrou que a teoria de Newton exige alguma modificação para descrever a gravidade com precisão – para prever, por exemplo, quantos raios de luz se curvarão ao passar por um objeto enorme. Embora as equações de Einstein sejam mais elegantes que as de Newton, elas abrigam belamente a matéria que passamos a conhecer e amar. Matéria que podemos ver, tocar, sentir, cheirar e ocasionalmente provar.

Não sabemos quem é o próximo na sequência de gênios, mas já estamos esperando há quase 1 século por alguém que nos diga por que o grosso de toda força gravitacional que medimos no universo – cerca de 85% dela – deriva de substâncias que de outro modo não interagem com “nossa” matéria ou energia. Ou talvez o excesso de gravidade não

venha absolutamente de matéria e energia, mas emane de alguma outra coisa conceitual. De qualquer modo, estamos basicamente perdidos. Não estamos mais perto de uma resposta hoje do que estávamos quando esse problema de “massa perdida” foi analisado profundamente pela primeira vez, em 1937, pelo astrofísico suíço-americano Fritz Zwicky. Ele lecionou por mais de quarenta anos no Instituto de Tecnologia da Califórnia, combinando seus amplos conhecimentos do cosmos com uma capacidade de expressão empolgante e uma impressionante capacidade de antagonizar seus colegas.

Zwicky estudou o movimento isolado de galáxias em um gigantesco aglomerado delas localizado bem além das estrelas locais da Via Láctea que delineiam a constelação Coma Berenices (“cabeleira de Berenice”, uma rainha egípcia da antiguidade). O aglomerado de Coma, como o chamamos, é um conjunto isolado e muito populoso de galáxias a cerca de 300 milhões de anos-luz da Terra. Suas milhares de galáxias orbitam o centro do aglomerado, se movendo em todas as direções como abelhas deixando uma colmeia. Usando os movimentos de algumas dezenas de galáxias como indicadores do campo gravitacional que une todo o aglomerado, Zwicky descobriu que a velocidade média tinha um valor incrivelmente alto. Como forças gravitacionais maiores induzem velocidades maiores nos objetos que atraem, Zwicky deduziu uma massa enorme para o aglomerado Coma. Para ter uma noção dessa estimativa, você pode somar as massas de cada galáxia que você vê. E, embora Coma esteja entre os maiores e mais massivos aglomerados do universo, não contém galáxias visíveis em número suficiente para justificar as velocidades medidas Zwicky.

Quão ruim é a situação? Nossas leis da gravidade falharam? Elas certamente funcionam dentro do sistema solar. Newton demonstrou que você pode deduzir a velocidade única que um planeta precisa ter para sustentar uma órbita estável a

qualquer distância do Sol, para não descer na direção do Sol ou subir para uma órbita mais distante. De fato, se conseguíssemos acelerar a velocidade orbital da Terra para mais que a raiz quadrada de dois (1,4142...) multiplicada pelo valor atual, nosso planeta atingiria “velocidade de fuga” e deixaria completamente o sistema solar. Podemos aplicar o mesmo raciocínio a sistemas muito maiores, como nossa própria galáxia, a Via Láctea, na qual estrelas se movem em órbitas que reagem à gravidade de todas as outras estrelas; ou aglomerados de galáxias, onde uma galáxia igualmente sente a gravidade de todas as outras. Nesse espírito, em meio a uma página de fórmulas em seu caderno, Einstein escreveu um verso (mais melodioso no alemão original) em homenagem a Isaac Newton:

*Olhe para as estrelas para nos ensinar
Como os pensamentos do mestre podem nos alcançar
Cada um segue a matemática de Newton
Silenciosamente pelo seu caminho.*^[6]

Quando estudamos o aglomerado de Coma, como Zwicky fez nos anos 1930, descobrimos que as galáxias que o compõem estão todas se movendo mais rapidamente do que a velocidade de fuga do aglomerado. Ele deveria estar se desfazendo rapidamente, mal deixando vestígios de sua existência de colmeia depois de apenas 200 milhões de anos. Mas o aglomerado tem mais de 10 bilhões de anos, sendo quase tão velho quanto o próprio universo. Assim nasceu o que continua a ser o mais antigo mistério não solucionado da astrofísica.

*

Ao longo das décadas que se seguiram ao trabalho de Zwicky,

outros aglomerados de galáxias apresentaram o mesmo problema, de modo que Coma não pode ser acusado de ser peculiar. Então, o que ou a quem devemos culpar? Newton? Eu não faria isso. Pelo menos não ainda. A formidável gravidade dos aglomerados de galáxias ainda não é suficientemente alta para arrasar totalmente com a teoria geral da relatividade de Einstein, que tinha apenas 20 anos quando Zwicky fez a sua pesquisa. Talvez a “massa faltante” necessária para unir as galáxias do aglomerado de Coma exista, mas em uma forma desconhecida e invisível. Hoje usamos o apelido “matéria escura”, que não afirma que algo está faltando, ainda assim insinua que algum novo tipo de matéria deve existir, esperando para ser descoberto.

Assim que os astrofísicos passaram a aceitar a matéria escura em aglomerados de galáxias como algo misterioso, o problema mostrou sua face invisível mais uma vez. Em 1976, a falecida Vera Rubin, astrofísica do Instituto Carnegie de Washington, descobriu uma anomalia de massa semelhante nas próprias galáxias em espiral. Estudando a velocidade na qual estrelas orbitam os centros de suas galáxias, Rubin primeiramente encontrou aquilo que esperava: no disco visível de cada galáxia, as estrelas mais distantes do centro se movem a uma velocidade maior do que as estrelas mais internas. As estrelas mais distantes têm mais matéria (estrelas e gás) entre elas e o centro da galáxia, permitindo-lhes maiores velocidades orbitais. Além do disco orbital, contudo, ainda é possível encontrar algumas nuvens de gás isoladas e algumas poucas estrelas brilhantes. Usando esses objetos para rastrear o campo gravitacional externo das partes mais luminosas da galáxia, onde não há mais matéria visível se somando ao total, Rubin descobriu que suas velocidades orbitais, que deveriam estar diminuindo com o aumento da distância ali fora em Terra Nenhuma, na verdade permaneciam altas.

Esses volumes de espaço em grande parte vazios – as

distantes regiões rurais de cada galáxia – contêm matéria visível em volume baixo demais para explicar as velocidades orbitais anormalmente altas dos objetos. Rubin raciocinou corretamente que alguma forma de matéria escura precisava estar nessas regiões distantes, bem além do limite visível de cada espiral galáctica. Graças ao trabalho de Rubin, hoje nós chamamos essas zonas misteriosas de “halos de matéria escura”.

Esse problema do halo existe bem embaixo dos nossos narizes, na Via Láctea. De uma galáxia a outra, e de aglomerado a aglomerado, a discrepância entre a massa calculada de objetos visíveis e a massa estimada dos objetos a partir da gravidade total varia de um pequeno fator até (em certos casos) um fator de centenas. No universo como um todo a discrepância média é um fator de 6: matéria cósmica escura tem aproximadamente 6 vezes a gravidade total de toda a matéria visível.

Outras pesquisas revelaram que a matéria escura não pode consistir de matéria comum que por acaso é menos luminosa, ou não luminosa. Essa conclusão se baseia em duas linhas de raciocínio. Primeiramente, podemos eliminar com quase certeza todos os candidatos conhecidos plausíveis, como suspeitos em um reconhecimento na polícia. A matéria escura poderia existir em buracos negros? Não, achamos que teríamos detectado esses buracos negros pelos seus efeitos gravitacionais sobre estrelas próximas. Poderiam ser nuvens escuras? Não, elas absorveriam ou interagiriam de algum modo com a luz das estrelas atrás delas, algo que a legítima matéria escura não faz. Poderiam ser planetas solitários, asteroides ou cometas interestelares (ou intergalácticos), todos os quais não produzem luz própria? Difícil acreditar que o universo fabricaria 6 vezes mais massa em planetas que em estrelas. Isso significaria 6 mil júpiteres para cada estrela na galáxia, ou pior ainda, 2 milhões de Terras. Em nosso próprio sistema solar, por exemplo, tudo que não é o Sol corresponde

a menos de 1/5 de 1% da massa do Sol.

Mais evidências diretas da natureza estranha da matéria escura surgem na forma do volume relativo de hidrogênio e hélio no universo. Juntos, esses números oferecem uma impressão digital cósmica deixada pelo universo primordial. Aproximadamente, a fusão nuclear durante os primeiros minutos depois do Big Bang deixou para trás 1 núcleo de hélio para cada 10 núcleos de hidrogênio (que são, eles mesmos, simples prótons). Cálculos mostram que se a maioria da matéria escura tivesse se envolvido na fusão nuclear, haveria no universo muito mais hélio em relação a hidrogênio. A partir disso concluímos que a maior parte da matéria escura – e, portanto, a maior parte da massa no universo – não participou da fusão nuclear, o que a desqualifica como matéria “comum”, cuja essência é disposição de participar das forças atômicas e nucleares que moldam a matéria como a conhecemos. Observações detalhadas da radiação cósmica de fundo em microondas, que permitem um teste distinto dessa conclusão, confirmam o resultado. Matéria escura e fusão nuclear não se misturam.

Assim, da melhor forma que podemos entender, a matéria escura não é simplesmente uma matéria que por acaso é escura. É algo totalmente diferente. A matéria escura exerce gravidade de acordo com as mesmas regras seguidas pela matéria comum, porém faz pouco mais que nos permita detectá-la. Claro que ficamos desamparados nessa análise pelo fato de, para começar, não sabermos o que é a matéria escura. Se toda massa tem gravidade, toda gravidade tem massa? Não sabemos. Talvez não haja nada de errado com a matéria, e seja a gravidade que não entendemos.

*

A discrepância entre matéria escura e comum varia

significativamente de um ambiente astrofísico para outro, porém se torna mais pronunciada em grandes entidades como galáxias e aglomerados de galáxias. Para os objetos menores, como luas e planetas, não há discrepância. A gravidade na superfície da Terra, por exemplo, pode ser totalmente explicada pelas coisas sob nossos pés. Se você está acima do peso na Terra, não culpe a matéria escura. A matéria escura também não tem responsabilidade pela órbita da Lua ao redor da Terra, nem pelos movimentos dos planetas em torno do Sol – mas, como já vimos, precisamos dela para explicar os movimentos das estrelas ao redor do centro da galáxia.

Será que um tipo diferente de física gravitacional opera em escala galáctica? Provavelmente não. É mais provável que a matéria escura consista de matéria cuja natureza ainda precisamos adivinhar, e que se reúna de forma mais difusa que a matéria comum. Do contrário, detectaríamos a gravidade de porções concentradas de matéria escura espalhadas pelo universo – cometas de matéria escura, planetas de matéria escura, galáxias de matéria escura. Pelo que podemos dizer, não é assim que as coisas funcionam.

O que sabemos é que a matéria que aprendemos a amar no universo – aquilo que faz estrelas, planetas e vida – é apenas uma leve cobertura no bolo cósmico, boias modestas flutuando em um vasto oceano cósmico de algo que não se parece com nada.

*

Durante o primeiro meio milhão de anos depois do Big Bang, apenas um piscar de olhos nos 14 bilhões de anos de história cósmica, a matéria no universo já havia começado a se reunir nas bolhas que se tornariam aglomerados e superaglomerados de galáxias. Mas o cosmos iria dobrar de tamanho durante os 500 mil anos seguintes, e continuaria a crescer depois disso.

Havia dois efeitos opostos competindo no universo: a gravidade quer fazer com que as coisas se unam, mas a expansão quer diluir isso. Se você fizer as contas, irá deduzir rapidamente que a gravidade da matéria comum não poderia vencer essa batalha sozinha. Ela precisava da ajuda da matéria escura, sem a qual estaríamos vivendo – na verdade, não vivendo – em um universo sem estruturas: aglomerados, galáxias, planetas, nem de pessoas.

De quanta gravidade da matéria escura ela precisava? Seis vezes mais do que aquela fornecida pela própria matéria comum. Exatamente o volume que medimos no universo. Essa análise não nos diz o que a matéria escura é, apenas que os efeitos da matéria escura são reais e que, por mais que você tente, não pode dar esse crédito à matéria comum.

Então a matéria escura é ao mesmo tempo nossa amiga e nossa inimiga. Não temos ideia do que ela é. É meio irritante. Mas precisamos desesperadamente dela em nossos cálculos para conseguir uma descrição precisa do universo. Os cientistas geralmente ficam desconfortáveis sempre que precisamos basear nossos cálculos em conceitos que não compreendemos, mas faremos isso se precisarmos. E a matéria escura não é nossa primeira vez. No século XIX, por exemplo, os cientistas mediram a energia emitida pelo nosso Sol e demonstraram seu efeito em nossas estações e no clima, muito antes que alguém soubesse que a fusão termonuclear era responsável por essa energia. Na época, entre as melhores ideias estava a sugestão retrospectivamente risível de que o Sol era um pedaço de carvão em brasa. Também no século XIX observamos estrelas, conseguimos seus espectros e as classificamos muito antes da introdução, no século XX, da física quântica, que nos dá a compreensão de como e por que esses espectros são como são.

Céticos convictos podem comparar a matéria escura de agora com o hipotético e hoje finado “éter” sugerido no século XIX como o meio sem peso e transparente que

permeava o vácuo espacial pelo qual a luz se movia. Até que uma experiência famosa, em 1887, em Cleveland, realizada por Albert Michelson e Edward Morley, da Case Western Reserve University, demonstrasse o contrário, os cientistas afirmavam que o éter tinha de existir, embora nenhum fragmento de evidência sustentasse essa suposição. Acreditava-se que, como uma onda, a luz precisa de um meio pelo qual propagar a sua energia, assim como o som exige ar ou alguma outra substância para transmitir suas ondas. Mas a luz fica muito feliz de viajar pelo vácuo do espaço sem qualquer meio que a carregue. Diferentemente das ondas sonoras, que consistem de vibrações do ar, as ondas luminosas se revelaram pacotes de energia autopropagados, não demandando qualquer ajuda.

A ignorância sobre a matéria escura difere fundamentalmente da ignorância sobre o éter. O éter preenchia uma lacuna em nossa compreensão incompleta, ao passo que a existência da matéria escura deriva não de uma mera suposição, mas dos efeitos observados de sua gravidade sobre a matéria visível. Não estamos inventando a matéria escura do nada, em vez disso, deduzimos sua existência a partir de observações. A matéria escura é tão real quanto os muitos exoplanetas descobertos em órbita de estrelas que não o Sol, descobertos apenas por intermédio de sua influência gravitacional sobre as estrelas anfitriãs, e não de medições diretas de sua luz.

O pior que pode acontecer é descobrirmos que a matéria escura não consiste absolutamente de matéria, mas de outra coisa. Será que poderíamos estar vendo os efeitos de forças de outra dimensão? Estamos sentindo a gravidade comum de matéria comum cruzando a membrana de um universo fantasma adjacente ao nosso? Em caso positivo, este poderia ser apenas um em um número infinito de universos que compõem o multiverso. Soa exótico e inacreditável. Porém será mais maluco do que as primeiras sugestões de que a

Terra orbita o Sol? Que o Sol é uma das 100 bilhões de estrelas na Via Láctea? Ou que a Via Láctea é apenas uma das 100 bilhões de galáxias no universo?

Mesmo que qualquer um desses relatos fantásticos se revele verdadeiro, nada disso mudaria a invocação bem-sucedida da gravidade da matéria escura nas equações que usamos para compreender a formação e evolução do universo.

Outros céticos convictos podem declarar querer “ver para crer” – uma postura de vida que funciona bem em muitas empreitadas, incluindo engenharia mecânica, pesca e talvez namoro. Mas isso não gera boa ciência. A ciência não diz respeito apenas a ver, mas a medir, preferencialmente com algo que *não* seus próprios olhos, que estão inextricavelmente unidos à sua bagagem cerebral. Essa bagagem, com maior frequência, é uma bolsa de ideias preconcebidas, noções pós-concebidas e tendenciosidade explícita.

*

Tendo resistido às tentativas de detecção diretamente na Terra durante $\frac{3}{4}$ de século, a matéria escura permanece em ação. Físicos de partículas estão confiantes de que a matéria escura consiste em uma classe fantasmagórica de partículas não descobertas que interagem com a matéria via gravidade, mas afora isso interagem com matéria ou luz apenas fracamente, ou não interagem. Se você gosta de apostar em física, essa é uma boa opção. Os maiores aceleradores de partículas do mundo estão tentando produzir partículas de matéria escura em meio ao detrito de colisões de partículas. E laboratórios especialmente projetados enterrados fundo no subterrâneo tentam detectar partículas de matéria escura passivamente, para o caso de elas chegarem do espaço. Uma localização subterrânea protege naturalmente o local de

partículas cósmicas conhecidas que poderiam enganar os detectores como sendo matéria escura falsa.

Embora tudo isso possa ser muito barulho por nada, a ideia de uma partícula de matéria escura esquiva tem bons precedentes. Neutrinos, por exemplo, foram previstos e finalmente descobertos, embora interajam de modo extremamente fraco com a matéria comum. O fluxo copioso de neutrinos vindos do Sol – dois neutrinos para cada núcleo de hélio fundido a partir do hidrogênio no núcleo termonuclear do Sol – deixa o Sol sem ser perturbado por ele, viaja pelo vácuo espacial quase à velocidade da luz, depois passa pela Terra como se ela não existisse. A conta: noite e dia, 15 bilhões de neutrinos do Sol passam por cada centímetro quadrado de seu corpo a cada segundo, sem nenhum sinal de interação com os átomos do seu corpo. A despeito dessa esquivez, os neutrinos ainda assim podem ser detidos em circunstâncias especiais. E se você consegue deter uma partícula, você a detectou.

Partículas de matéria escura podem se revelar por interações similarmente raras ou, de modo ainda mais impressionante, podem se manifestar por formas que não a força nuclear forte, força nuclear fraca e eletromagnetismo. Essas três, mais a gravidade, completam o quarteto fantástico de forças do universo, intermediando todas as interações entre e em meio a todas as partículas conhecidas. Então as escolhas são claras. Ou as partículas de matéria escura precisam esperar que descubramos e controlemos uma nova força ou classe de forças por intermédio da qual suas partículas interagem, ou as partículas de matéria escura interagem segundo forças normais, mas com impressionante fraqueza.

Portanto, os efeitos da matéria escura são reais. Simplesmente não sabemos o que ela é. A matéria escura parece não interagir pela força nuclear forte, então não pode produzir núcleos. Não foi identificada interagindo pela força

nuclear fraca, algo que mesmo os esquivos neutrinos fazem. Não parece interagir com a força eletromagnética, então não produz moléculas e não se concentra em densas bolas de matéria escura. Nem absorve, emite, reflete ou deflete luz. Como sabemos desde o começo, a matéria escura de fato exerce gravidade, à qual a matéria comum reage. Mas é só. Após tantos anos, não a encontramos fazendo mais nada.

Por hora, precisamos ficar contentes de levar a matéria escura conosco como uma amiga estranha e invisível, invocando-a de tempos em tempos quando o universo cobra isso de nós.

Energia escura

Como se você já não tivesse muito com que se preocupar, em recentes décadas descobriu-se que o universo exerce uma pressão misteriosa que vem do vácuo espacial e age em oposição à gravidade cósmica. Não apenas isso, mas essa “gravidade negativa” acabará vencendo o cabo de guerra, já que força a expansão cósmica a acelerar exponencialmente rumo ao futuro.

Para as ideias mais perturbadoras da física do século XX, simplesmente culpe Einstein.

Albert Einstein quase nunca colocou os pés no laboratório; ele não testou fenômenos nem usou equipamento sofisticado. Foi um teórico que aperfeiçoou o “experimento mental”, no qual você reflete sobre a natureza usando sua imaginação ao inventar uma situação ou um modelo e então formula as consequências de algum princípio físico. Na Alemanha antes da Segunda Guerra Mundial, a física baseada em laboratório superava em muito a física teórica na mente da maioria dos cientistas arianos. Os físicos judeus eram todos relegados à caixa de areia dos teóricos inferiores e deixados por conta própria. E que caixa de areia seria essa!

Como foi o caso de Einstein, se o modelo de um físico pretende representar todo o universo, então manipular o modelo deveria equivaler a manipular o próprio universo. Observadores e experimentadores podem então sair e procurar os fenômenos previstos por aquele modelo. Se o modelo for falho, ou se os teóricos cometerem um erro em

seus cálculos, os observadores descobrirão uma inconsistência entre as previsões do modelo e o modo como as coisas acontecem no universo real. Para o teórico, essa é a primeira pista de que ele deve retornar à famosa prancheta, seja ajustando o antigo modelo ou criando um novo.

Um dos modelos teóricos mais poderosos e abrangentes já concebidos, e já apresentado nestas páginas, é a teoria geral da relatividade de Einstein – mas você pode chamá-la de RG depois que a conhece melhor. Publicada em 1916, a RG apresenta os detalhes matemáticos relevantes de como tudo no universo se move sob a influência da gravidade. A intervalos de alguns anos, cientistas de laboratório concebem experiências cada vez mais precisas para testar a teoria, só para ampliar o alcance da sua precisão. Um exemplo moderno desse impressionante conhecimento da natureza que Einstein nos legou se deu em 2016, quando ondas gravitacionais foram descobertas por um observatório especialmente projetado e ajustado unicamente com esse objetivo.^[7] Essas ondas, previstas por Einstein, se movem à velocidade da luz pelo tecido do espaço-tempo, geradas por graves perturbações gravitacionais, como a colisão de dois buracos negros.

E foi exatamente isso o que se observou. As ondas gravitacionais da primeira detecção foram geradas pela colisão de buracos negros em uma galáxia a 1,3 bilhão de anos-luz de distância, em uma época em que a Terra fervilhava com simples organismos unicelulares. Enquanto as ondulações se moviam pelo espaço em todas as direções, a Terra, após outros 800 milhões de anos, desenvolveria vida complexa, incluindo flores, dinossauros e criaturas voadoras, bem como um ramo dos vertebrados chamado de mamíferos. Entre os mamíferos, um sub-ramo desenvolveria lobos frontais e pensamento complexo para acompanhar. Nós os chamamos de primatas. Um único ramo desses primatas sofreria uma modificação genética que permitiria a fala, e esse ramo – *Homo sapiens* – inventaria a agricultura, a

civilização, a filosofia, a arte e a ciência. Tudo nos últimos 10 mil anos. Finalmente, um de seus cientistas do século XX inventaria a relatividade a partir de sua cabeça e preveria a existência de ondas gravitacionais. Um século depois, tecnologia capaz de ver essas ondas finalmente acompanharia a previsão, apenas dias antes que aquela onda gravitacional, que estivera viajando por 1,3 bilhão de anos, banhasse a Terra e fosse detectada.

Sim, Einstein foi incrível.

*

Quando sugeridos pela primeira vez, a maioria dos modelos científicos está apenas pela metade, deixando espaços para que parâmetros sejam ajustados para melhor se encaixar no universo conhecido. No universo “heliocêntrico” baseado no Sol, concebido pelo matemático do século XVI Nicolau Copérnico, os planetas orbitavam em círculos perfeitos. A parte de orbitar o Sol estava correta, e foi um grande avanço em relação ao universo “geocêntrico” baseado na Terra, mas a parte do círculo perfeito se revelou um pouco equivocada – todos os planetas orbitam o Sol em círculos achatados chamados elipses, e até mesmo essa forma é apenas uma aproximação de uma trajetória mais complexa. A ideia básica de Copérnico estava correta, e isso era o que mais importava. Ela simplesmente precisava de alguns ajustes para se tornar mais acurada.

Mas no caso da relatividade de Einstein, os princípios fundamentais da teoria exigem que tudo aconteça exatamente como previsto. Com efeito, Einstein construiu o que de fora parece um castelo de cartas, com apenas dois ou três postulados simples sustentando toda a estrutura. De fato, ao tomar conhecimento de um livro de 1931 intitulado *One hundred authors against Einstein*^[8], ele respondeu dizendo que

se estivesse errado, apenas um deles bastaria.

Naquele momento foram lançadas as sementes de um dos maiores fracassos da história da ciência. As novas equações de gravidade de Einstein incluíam um termo que ele chamou de “constante cosmológica” e que representou com a letra grega maiúscula lambda: Λ . Um termo matematicamente permitido, mas opcional, a constante cosmológica lhe autorizou representar um universo estático.

Na época, a ideia de que nosso universo pudesse fazer alguma coisa além de simplesmente existir estava além da imaginação de qualquer um. Então o único papel de Λ era se opor à gravidade no modelo de Einstein, mantendo o universo equilibrado, resistindo à tendência natural da gravidade de atrair o universo inteiro para uma massa gigantesca. Desse modo, Einstein inventou um universo que não se expande nem se contrai, coerente com as expectativas de todos na época.

O físico russo Alexander Friedmann depois demonstraria matematicamente que o universo de Einstein, embora equilibrado, estava em um estado de instabilidade. Como uma bola parada no alto de um morro, esperando a menor provocação para descer rolando em uma direção ou outra, ou como um lápis equilibrado em sua ponta afiada, o universo de Einstein estava precariamente equilibrado entre um estado de expansão e colapso total. Mais ainda, a teoria de Einstein era nova, e só porque você dá a alguma coisa um nome, isso não a torna real – Einstein sabia que o Λ , como uma força da natureza de gravidade negativa, não tinha equivalente conhecido no universo físico.

*

A teoria geral da relatividade de Einstein divergia radicalmente de todo o raciocínio anterior sobre atração

gravitacional. Em vez de aceitar a visão de sir Isaac Newton da gravidade como uma perturbadora ação à distância (uma conclusão que deixou o próprio Newton desconfortável), a RG vê a gravidade como a reação de uma massa à curvatura local do espaço e do tempo causada por alguma outra massa ou um campo de energia. Essas distorções guiam as massas em movimento ao longo de uma geodesia em linha reta,^[9] embora nos pareça as trajetórias curvas que chamamos de órbitas. O físico teórico americano do século XX John Archibald Wheeler foi quem melhor definiu, resumindo o conceito de Einstein como: “A matéria diz ao espaço como se curvar; o espaço diz à matéria como se mover”.^[10]

No final das contas, a relatividade geral descrevia dois tipos de gravidade. Um é o tipo comum, como a atração entre a Terra e uma bola lançada no ar, ou entre o Sol e os planetas. Ela também previa outra variedade – uma misteriosa pressão antiatmosférica associada ao vácuo do próprio espaço-tempo. Lambda preservou o que Einstein e todos os outros físicos de sua época presumiam fortemente ser verdadeiro: o *status quo* de um universo estático – um universo estático instável. Invocar uma condição de instabilidade como o estado natural de um sistema físico viola a crença científica. Você não pode afirmar que o universo inteiro é uma situação especial que por acaso está equilibrada para todo sempre. Nada já visto, medido ou imaginado se comportou desse modo na história da ciência, o que é um poderoso precedente.

Treze anos depois, em 1929, o astrofísico americano Edwin P. Hubble descobriu que o universo não é estático. Ele encontrou e reuniu evidências convincentes de que quanto mais distante uma galáxia, mais rápido ela se afasta da Via Láctea. Em outras palavras, o universo está se expandindo. Então, constrangido pela constante cosmológica, que não correspondia a nenhuma força conhecida da natureza, e pela oportunidade perdida de prever ele mesmo o universo em expansão, Einstein descartou totalmente lambda, chamando

de “a maior burrada” de sua vida. Ao arrancar λ da equação ele supôs que seu valor era zero, como neste exemplo: supondo que $A = B + C$. Se depois você souber que $A = 10$ e $B = 10$, então A continua sendo igual a B mais C , exceto que nesse caso C é igual a 0 e desnecessário para a equação.

Mas esse não foi o fim da história. Ao longo das décadas, teóricos retiraram λ da cripta, imaginando como ficariam suas ideias em um universo que tivesse uma constante cosmológica. Sessenta e nove anos depois, em 1988, a ciência exumou λ uma última vez. No começo daquele ano, foram feitos anúncios impressionantes por duas equipes concorrentes de astrofísicos: uma liderada por Saul Perlmutter, do Laboratório Nacional de Lawrence Berkeley, em Berkeley, Califórnia, e outra por Brian Schmidt, dos observatórios de Mount Stromlo e Siding Spring, em Camberra, na Austrália, e Adam Riess, da Johns Hopkins University, em Baltimore, Maryland. Dezenas das mais distantes supernovas já observadas pareciam perceptivelmente menos brilhantes do que se esperava considerando o comportamento bem documentado desse tipo de estrela explodida. A solução para isso exigia que ambas supernovas distantes se comportassem diferentemente de suas irmãs mais próximas, ou que estivessem pelo menos 15% mais distantes do que os modelos cosmológicos válidos as colocavam. A única coisa que justifica “naturalmente” essa aceleração é o λ de Einstein, a constante cosmológica. Quando os astrofísicos tiraram a poeira e a recolocaram nas equações originais de Einstein para a relatividade geral, o estado conhecido do universo correspondeu ao estado das equações de Einstein.

*

As supernovas usadas nos estudos de Perlmutter e Schmidt

valem seu peso em núcleos fusíveis. Dentro de certos limites, todas essas estrelas explodem da mesma forma, queimando o mesmo volume de combustível, liberando o mesmo volume gigantesco de energia no mesmo período de tempo, assim produzindo o mesmo pico de luminosidade. Desse modo, elas servem como uma espécie de parâmetro, ou vela padrão, para calcular distâncias cósmicas até as galáxias nas quais explodem, até os cantos mais distantes do universo.

Velas padrão simplificam enormemente os cálculos: como todas as supernovas têm a mesma potência, as mais fracas estão mais distantes e as mais brilhantes estão próximas. Após medir seu brilho (uma tarefa simples), você pode dizer exatamente quão longe elas estão de você e umas das outras. Se as luminosidades das supernovas fossem todas diferentes você não poderia usar apenas o brilho para saber a distância de uma em comparação a outras. Uma mais fraca poderia ser uma lâmpada de mais watts mais distante ou uma de menos watts próxima.

Tudo bem. Mas há um segundo modo de medir a distância das galáxias: sua velocidade de recessão da nossa Via Láctea – recessão que é parte essencial da expansão cósmica em geral. Como Hubble foi o primeiro a demonstrar, o universo em expansão faz com que objetos distantes se afastem de nós mais rapidamente que aqueles próximos. Então, medindo a velocidade de recessão de uma galáxia (outra tarefa simples), é possível deduzir a distância de uma galáxia.

Se esses dois métodos bastante testados dão distâncias diferentes para o mesmo objeto, algo deve estar errado. Ou as supernovas são velas padrão ruins, ou nosso modelo para a taxa de expansão cósmica segundo medido pelas velocidades das galáxias está errado.

Bem, algo *estava* errado. Acontece que as supernovas eram velas padrão esplêndidas, resistindo ao escrutínio cuidadoso de muitos investigadores céticos, então os astrofísicos ficaram com um universo que se expandira mais rapidamente

do que tínhamos pensado, colocando galáxias mais longe do que sua velocidade de recessão de outro modo indicara. E não havia uma forma fácil de explicar a expansão extra sem apelar para λ , a constante cosmológica de Einstein.

Ali estava a primeira evidência direta de que uma força repulsiva permeava o universo, se opondo à gravidade, que é como e por que a constante cosmológica se levantou de entre os mortos. λ de repente adquiriu uma realidade física que precisava de um nome, então “energia escura” assumiu local de destaque no drama cósmico, adequadamente expressando o mistério e nossa ignorância coletiva de sua causa. Perlmutter, Schmidt e Riess justificadamente dividiram o Prêmio Nobel de física de 2011 por essa descoberta.

As medições mais precisas até agora apontam a energia escura como a coisa de maior destaque no pedaço, atualmente responsável por 68% de toda massa-energia no universo; a matéria escura corresponde a 27%, com a matéria comum correspondendo a meros 5%.

*

A forma de nosso universo tetradimensional é determinada pela relação entre o volume de matéria e energia que existe no cosmos e a taxa segundo a qual o cosmos se expande. Uma medida matemática conveniente disso é Ω , outra letra maiúscula grega com mão firme sobre o cosmos.

Se pegar a densidade matéria-energia do universo e a dividir pela densidade matéria-energia necessária para simplesmente deter a expansão (conhecida como densidade “crítica”), obtém-se Ω .

Como tanto massa quanto energia fazem o espaçotempo se torcer, ou curvar, Ω nos dá a forma do cosmos. Se Ω é menor que um, a massa-energia real fica abaixo do valor crítico, e o universo se expande para sempre em todas as

direções por todo o tempo, tomando a forma de uma sela, na qual linhas inicialmente paralelas divergem. Se Ω for igual a um, o universo se expande para sempre, mas pouco. Nesse caso a forma é lisa, preservando todas as regras geométricas que aprendemos no colégio sobre linhas paralelas. Se Ω for superior a um, as linhas paralelas convergem e o universo curva-se sobre si mesmo, acabando por retornar à bola de fogo da qual saiu.

Em nenhum momento desde que Hubble descobriu o universo em expansão nenhuma equipe de observadores mediu de modo confiável Ω perto de um. Somando toda a massa e toda a energia que seus telescópios conseguem ver, e mesmo extrapolando além desses limites, incluindo matéria escura, os valores mais altos das melhores observações chegaram a cerca de $\Omega = 0,3$. No que diz respeito aos observadores, o universo estava aberto para negócios, montando uma sela de uma só mão rumo ao futuro.

Enquanto isso, a partir de 1979, o físico americano Alan H. Guth, do Instituto de Tecnologia de Massachusetts, e outros fizeram um ajuste na teoria do Big Bang que solucionou alguns dos persistentes problemas de ter um universo tão homogeneamente cheio de matéria e energia como é o nosso. Um subproduto fundamental dessa atualização no Big Bang foi que isso leva Ω para 1. Não para $1/2$. Não para 2. Não para 1 milhão. Para 1.

Nenhum teórico no mundo teve problemas com esse requisito, porque ele ajudou a fazer com que o Big Bang desse conta das propriedades globais do universo conhecido. Houve, porém, outro pequeno problema: a atualização previu 3 vezes mais massa-energia do que os observadores conseguiram encontrar. Não dissuadidos, os teóricos disseram que os observadores simplesmente não estavam procurando direito.

No final das contas, a matéria visível sozinha era responsável por não mais de 5% da densidade crítica. E quanto à misteriosa matéria escura? Eles também

adicionaram isso. Ninguém sabia o que era, e ainda não sabemos, mas certamente contribuiu para o total. Com isso nós ficamos com 5 ou 6 vezes mais matéria escura do que matéria visível. Mas isso ainda era muito pouco. Os observadores ficaram perdidos, e os teóricos responderam: “Continuem procurando”.

Os dois grupos estavam certos de que o outro estava errado – até a descoberta da energia escura. Esse único componente, quando adicionado a matéria comum, energia comum e matéria escura, elevou a densidade massa-energia do universo até o nível crítico. Simultaneamente satisfazendo observadores e teóricos.

Pela primeira vez teóricos e observadores chegaram a um acordo. Ambos, cada um a seu modo, estavam certos. Ω é igual a um, assim como os teóricos exigiam do universo, embora não se pudesse conseguir isso somando toda a matéria – escura ou não – como eles ingenuamente tinham suposto. Não há mais matéria no cosmos hoje do que foi estimado pelos observadores.

Ninguém havia previsto a presença dominadora da energia escura cósmica, assim como ninguém a imaginara como a grande solução para as divergências.

*

Então, o que é a coisa? Ninguém sabe. O mais perto que alguém já chegou foi supor que a energia escura é um efeito quântico – em que o vácuo espacial, em vez de estar vazio, na verdade ferve de partículas e suas equivalentes em antimatéria. Elas existem e deixam de existir em pares, e não duram o suficiente para ser medidas. Sua existência transitória é expressa em seu apelido: partículas virtuais. O impressionante legado da física quântica – a ciência do pequeno – exige que prestemos grande atenção nessa ideia.

Cada par de partículas virtuais exerce um pouco de pressão para o exterior quando brevemente abre caminho para o espaço.

Infelizmente, quando você estima o volume de “pressão de vácuo” repulsiva que surge da vida breve das partículas virtuais, o resultado é mais de 10^{120} vezes maior que o valor experimentalmente determinado para a constante cosmológica. Esse é um fator absurdamente grande, levando ao maior desacordo entre a teoria e a observação na história da ciência.

Sim, não temos noção. Mas não é uma falta de noção abjeta. A energia escura não está à deriva, carente de alguma teoria que a sustente. A energia escura está em um dos portos mais seguros que podemos imaginar: as equações da relatividade geral de Einstein. É a constante cosmológica. É λ . O que quer que seja a energia escura, já sabemos como medi-la e como calcular seus efeitos no passado, no presente e no futuro do cosmos.

Sem dúvida, a maior burrada de Einstein foi ter declarado que λ era a sua maior burrada.

*

E a caçada continua. Agora que sabemos que a energia escura é real, equipes de astrofísicos deram início a programas ambiciosos para medir distâncias e o crescimento da estrutura do universo usando telescópios baseados em terra e no espaço. Essas observações irão testar a influência detalhada da energia escura no histórico de expansão do universo, e certamente manterão os teóricos ocupados. Eles precisam desesperadamente se penitenciar por quão constrangedores se revelaram seus cálculos da energia escura.

Nós precisamos de uma alternativa à RG? O casamento entre a rg e a mecânica quântica precisa de uma reforma? Ou

há uma teoria da energia escura esperando para ser descoberta por uma pessoa inteligente que ainda não nasceu?

Uma característica marcante de Λ e do universo em aceleração é que a força repulsiva surge do vácuo, não de algo material. À medida que o vácuo aumenta, a densidade da matéria e da energia (familiar) no universo diminui, e maior se torna a influência relativa de Λ no estado das coisas no universo. Com maior pressão repulsiva vem mais vácuo, e com mais vácuo, maior pressão repulsiva, forçando uma aceleração interminável e exponencial da expansão cósmica.

Como consequência, qualquer coisa não ligada gravitacionalmente à vizinhança da galáxia Via Láctea irá se afastar a uma velocidade crescente, como parte da expansão acelerada do tecido do espaço-tempo. Galáxias distantes hoje visíveis no céu noturno acabarão desaparecendo além de um horizonte inalcançável, afastando-se de nós mais rápido que a velocidade da luz. Um feito possível não porque estejam se movendo pelo espaço a tal velocidade, mas porque o próprio tecido do universo as leva com ele a tal velocidade. Nenhuma lei da física impede isso.

Em cerca de 1 trilhão de anos, alguém vivo em nossa própria galáxia poderá não saber nada sobre outras galáxias. Nosso universo observável será composto apenas de um sistema de estrelas próximas e de vida longa na Via Láctea. E além dessa noite estrelada se estenderá um vazio interminável – escuridão face ao profundo.

A energia escura, uma propriedade fundamental do cosmos, irá, no fim, abalar a capacidade das futuras gerações de compreender o universo com o qual estarão lidando. A não ser que astrofísicos contemporâneos por toda a galáxia mantenham registros impressionantes e enterrem uma assombrosa cápsula do tempo de 1 trilhão de anos, os cientistas pós-apocalípticos não saberão nada sobre galáxias – a principal forma de organização da matéria no cosmos – e, portanto, terão acesso negado a páginas fundamentais do

drama cósmico que é o nosso universo.

Daí meu pesadelo recorrente: será que nós também estamos perdendo algumas peças básicas do universo que antes existiam? Quais partes de nosso livro de história cósmica foram marcadas como “acesso negado”? O que permanece ausente de nossas teorias e equações que deveria estar lá, fazendo com que busquemos respostas que talvez nunca vamos encontrar?

O cosmos na tabela

Perguntas triviais algumas vezes demandam conhecimento profundo e amplo do cosmos para que sejam respondidas. Na aula de química do colégio perguntei ao meu professor de onde vinham os elementos da Tabela Periódica. Ele respondeu: da crosta terrestre. Eu aceito isso. Certamente é de onde os laboratórios os conseguem. Mas como a crosta terrestre os obteve? A resposta tem de ser astronômica. Mas nesse caso, você realmente precisa conhecer a origem e a evolução do universo para responder à pergunta?

Sim, precisa.

Apenas três dos elementos que ocorrem naturalmente foram criados no Big Bang. O resto foi forjado em fornalhas de alta temperatura e nos restos explosivos de estrelas moribundas, permitindo que gerações subsequentes de sistemas estelares incorporassem essa melhoria, formando planetas e, no nosso caso, pessoas.

Para muitos, a Tabela Periódica dos Elementos Químicos é uma bizarrice esquecida – um gráfico com quadrados de misteriosas letras crípticas cheios visto pela última vez em uma aula de química do colégio. Como primeira organizadora do comportamento químico de todos os elementos conhecidos e ainda a serem descobertos do universo, a tabela deveria ser um ícone cultural, um símbolo dos feitos da ciência como uma aventura humana internacional realizada em laboratórios, nos aceleradores de partículas e na própria fronteira do cosmos.

Mas de tempos em tempos nem mesmo um cientista consegue evitar pensar na Tabela Periódica como um zoológico de animais extraordinários concebido pelo dr. Seuss. Quem mais poderia acreditar que o sódio é um metal venenoso reativo que você pode cortar com uma faca de manteiga, enquanto cloro puro é um gás malcheiroso e mortal, mas quando somados eles produzem cloreto de sódio, um composto inofensivo e biologicamente essencial mais conhecido como sal de cozinha? Ou que tal hidrogênio e oxigênio? Um é um gás explosivo, e o outro produz combustão explosiva, mas os dois combinados produzem água líquida, que extingue incêndios.

Em meio a essas confabulações químicas encontramos elementos significativos para o cosmos, permitindo-me oferecer a Tabela Periódica como vista pelas lentes de um astrofísico.

*

Com apenas um próton em seu núcleo, o hidrogênio é o elemento mais leve e simples, criado em sua totalidade durante o Big Bang. Dos 94 elementos que ocorrem naturalmente, o hidrogênio é responsável por mais de $\frac{2}{3}$ de todos os átomos no corpo humano, e mais de 90% dos átomos no cosmos, em todas as escalas, até o sistema solar. Hidrogênio no núcleo do enorme planeta Júpiter está sob tal pressão que se comporta mais como um metal condutivo que como um gás, criando o mais forte campo magnético entre os planetas. O químico inglês Henry Cavendish descobriu o hidrogênio em 1766 durante suas experiências com H_2O (*hidro-gen*, em grego, significa “formação de água”), porém ele é mais conhecido entre os astrofísicos como o primeiro a calcular a massa da Terra após ter medido um valor preciso para a constante gravitacional na famosa equação da

gravidade de Newton.

A cada segundo de cada dia 4,5 bilhões de toneladas de núcleos de hidrogênio em alta velocidade se transformam em energia ao se chocar para criar hélio no núcleo de 15 milhões de graus do Sol.

*

Hélio é amplamente reconhecido como um gás comum de baixa densidade que, quando inalado, aumenta temporariamente a frequência vibratória de sua traqueia e laringe, fazendo com que você soe como o Mickey Mouse. O hélio é o segundo elemento mais simples e abundante do universo. Embora em um distante segundo lugar em abundância atrás do hidrogênio, ele supera em 4 para 1 todos os outros elementos do universo combinados. Um dos pilares da cosmologia do Big Bang é a previsão de que em todas as regiões do cosmos não menos de 10% de todos os átomos são de hélio, criado nesse percentual na bem misturada bola de fogo primeva que foi o nascimento do nosso universo. Como a fusão termonuclear do hidrogênio nas estrelas gera hélio, algumas regiões do cosmos podem facilmente acumular mais do que sua parcela de 10% de hélio, mas, como previsto, ninguém nunca encontrou uma região da galáxia com menos.

Cerca de trinta anos antes de ser descoberto e isolado na Terra, astrônomos detectaram hélio no espectro da coroa do Sol durante o eclipse total de 1868. Como já foi observado, o nome hélio adequadamente deriva de Helios, o deus-sol grego. E com a leveza de 92% de hidrogênio no ar, mas sem suas características explosivas, o hélio é o gás preferido para os gigantes balões em forma de personagens dos desfiles do Dia de Ação de Graças da Macy's, fazendo da loja de departamentos a segunda maior consumidora do elemento nos Estados Unidos, atrás apenas das forças armadas.

*

Lítio é o terceiro elemento mais simples no universo, com 3 prótons em seu núcleo. Como o hidrogênio e o hélio, o lítio foi criado no Big Bang, mas, diferentemente do hélio, que pode ser produzido em núcleos de estrelas, o lítio é destruído por toda reação nuclear conhecida. Outra previsão da cosmologia do Big Bang é que podemos esperar que não mais de 1% dos átomos em qualquer região do universo seja de lítio. Ninguém ainda encontrou uma galáxia com mais lítio do que esse limite determinado pelo Big Bang. A combinação do limite superior do hélio e do limite inferior do lítio nos dá um poderoso parâmetro duplo para testar a cosmologia do Big Bang.

*

O elemento carbono pode ser encontrado em mais tipos de moléculas do que a soma de todos os outros tipos combinados. Considerando a abundância de carbono no cosmos – forjado nos núcleos das estrelas, empurrado para a superfície e liberado generosamente na galáxia –, não há melhor elemento no qual basear a química e a diversidade da vida. Superando o carbono por pouco na tabela de abundância, o oxigênio também é comum, forjado e liberado nos restos de estrelas explodidas. Tanto o oxigênio quanto o carbono são os principais ingredientes da vida como a conhecemos.

Mas e quanto à vida como não a conhecemos? E quanto à vida baseada no elemento silício? Silício está logo abaixo do carbono na Tabela Periódica, o que significa que, a princípio, pode criar a mesma gama de moléculas que o carbono cria. No final das contas nós esperamos que o carbono vença por ser 10 vezes mais abundante no cosmos que o silício. Mas isso não detém os escritores de ficção científica, que mantêm os

exobiólogos em alerta, imaginando como seriam as primeiras formas de vida verdadeiramente alienígenas, baseadas em silício.

Além de ser um ingrediente ativo no sal de cozinha, no momento o sódio é o gás brilhante mais comum na iluminação pública dos Estados Unidos. As lâmpadas de sódio “queimam” com mais brilho e por mais tempo que as lâmpadas incandescentes, embora logo possam ser substituídas pelas de led, que são ainda mais brilhantes na mesma potência, e mais baratas. São duas as variedades mais comuns de lâmpadas de sódio: as de alta pressão, que são branco-amareladas, e as mais raras de baixa pressão, alaranjadas. No final das contas, embora toda poluição luminosa seja ruim para a astrofísica, as lâmpadas de sódio de baixa pressão são menos ruins porque essa contaminação pode ser facilmente subtraída dos dados de telescópios. Em um exemplo de cooperação, toda a cidade de Tucson, no Arizona, o município de grande porte mais perto do Observatório Nacional de Kitt Peak, fez um acordo com os astrofísicos locais e trocou toda a iluminação pública para lâmpadas de sódio de baixa pressão.

*

O alumínio ocupa quase 10% da crosta da Terra, mas ainda assim era desconhecido dos antigos, e pouco comum para nossos bisavós. O elemento não foi isolado e identificado antes de 1827, e não começou a ser usado normalmente nas residências antes do final dos anos 1960, quando latas de estanho e papel de estanho deram lugar a latas de alumínio e, claro, papel-alumínio (aposto que seus avós ainda chamam de papel de estanho). Alumínio polido é um refletor quase perfeito da luz visível e o revestimento preferido hoje para quase todos os espelhos de telescópios.

O titânio é 1,7 vez mais denso que o alumínio, porém mais de duas vezes mais forte. Então o titânio, nono elemento mais abundante na crosta da Terra, se tornou um queridinho moderno para muitas aplicações, como componentes de aeronaves militares e próteses que exigem um metal leve e forte.

Na maioria dos lugares cósmicos, o número de átomos de oxigênio supera o de carbono. Depois que todos os átomos de carbono se unem aos átomos de oxigênio disponíveis (formando monóxido ou dióxido de carbono), o oxigênio restante se liga a outras coisas, como titânio. O espectro das estrelas vermelhas está cheio de características que remetem ao óxido de titânio, que não é desconhecido das estrelas na Terra: safiras-estrela e rubis-estrela devem seu asterismo radiante a impurezas de óxido de titânio em sua estrutura cristalina. Ademais, a tinta branca usada em cúpulas de telescópios tem óxido de titânio, que é altamente refletivo na área infravermelha do espectro, reduzindo grandemente o calor da luz do sol acumulado no ar ao redor do telescópio. Ao anoitecer, com a cúpula aberta, a temperatura do ar perto do telescópio rapidamente se torna igual à temperatura do ar noturno, permitindo que a luz de estrelas e outros objetos cósmicos fique nítida e clara. E, embora não tenha sido batizado em homenagem a um objeto cósmico, titânio deriva dos titãs da mitologia grega; Titã é a maior lua de Saturno.

*

Por vários parâmetros, o ferro é o elemento mais importante no universo. Estrelas enormes produzem elementos em seus núcleos, em sequência de hélio para carbono, oxigênio e nitrogênio, e assim por diante, avançando pela Tabela Periódica até o ferro. Com 26 prótons e pelo menos o mesmo número de nêutrons em seu núcleo, o ferro tem a bizarra

distinção de apresentar a menor energia total por partícula nuclear entre todos os elementos. Isso significa algo muito simples: se você dividir átomos de ferro por fissão, eles irão absorver energia. E se você combinar átomos de ferro por fusão, eles também irão absorver energia. As estrelas, contudo, estão no negócio de gerar energia. Quando estrelas de grande massa produzem e acumulam ferro em seus núcleos elas estão se aproximando da morte. Sem uma fonte de energia fértil, a estrela desaba sob seu próprio peso e instantaneamente retorna em uma estupenda explosão de supernova, brilhando mais que 1 bilhão de sóis por mais de uma semana.

*

O metal macio gálio tem um ponto de fusão tão baixo que, como manteiga de cacau, se liquefaz ao entrar em contato com sua mão. Deixando de lado esse truque, o gálio não é interessante para os astrofísicos, a não ser como um dos ingredientes das experiências com cloreto de gálio para detectar os esquivos neutrinos do Sol. Um enorme (100 toneladas) reservatório subterrâneo de cloreto de gálio líquido é monitorado em busca de colisões de neutrinos com núcleos de gálio, o transformando em germânio. O encontro produz uma centelha de luz de raios X que é registrada sempre que um núcleo é golpeado. O antigo problema dos neutrinos solares, com menos deles sendo detectados do que previa a teoria solar, foi resolvido usando “telescópios” como esses.

*

Todas as formas do elemento tecnécio são radioativas. Não

surpreende que não seja encontrado na Terra exceto em aceleradores de partículas, onde o criamos por encomenda. O tecnécio traz essa distinção no nome, que deriva do grego *tekhnetós*, que significa “artificial”. Por razões ainda não compreendidas plenamente, o tecnécio existe na atmosfera de um subgrupo específico de estrelas vermelhas. Isso sozinho não deveria ser motivo de preocupação, a não ser porque o tecnécio tem uma meia-vida de apenas 2 milhões de anos, que é muito, muito mais curta que a idade e a expectativa de vida das estrelas onde ele é encontrado. Em outras palavras, a estrela não pode ter nascido com isso, pois caso tivesse, não restaria mais nada agora. Também não há mecanismo conhecido de criar tecnécio no núcleo de uma estrela e de arrastá-lo para a superfície onde é observado, o que levou a teorias exóticas que ainda não são consenso na comunidade astrofísica.

*

Juntamente com ósmio e platina, o irídio é um dos 3 elementos mais pesados (mais densos) da Tabela – 56 litros dele pesam tanto quanto um carro de luxo, o que faz do irídio um dos melhores pesos de papel do mundo, capaz de desafiar todos os ventiladores comerciais conhecidos. O irídio é também a evidência concreta mais famosa do mundo. Uma fina camada dele pode ser encontrada por todo mundo no famoso limite Cretáceo-Paleogeno (K-Pg)^[11] nos estratos geológicos, datando de 65 milhões de anos atrás. Não coincidentemente, foi quando todas as espécies terrestres maiores que uma maleta foram extintas, incluindo os lendários dinossauros. O irídio é raro na superfície da Terra, mas relativamente comum em asteroides metálicos de 9 quilômetros, que, ao colidir com a Terra, são vaporizados no impacto, espalhando seus átomos sobre a superfície do

planeta. Então, qualquer que seja sua teoria preferida sobre a extinção dos dinossauros, um asteroide assassino do tamanho do Monte Everest vindo do espaço sideral deveria estar no topo da lista.

*

Não sei como Albert teria se sentido com isso, mas um elemento desconhecido foi encontrado no detrito do primeiro teste de bomba de hidrogênio no atol Eniwetok, no Pacífico Sul, em 1º de novembro de 1952, e batizado de einstênio em sua homenagem. Deveria ter sido batizado de armagedônio.

Enquanto isso, 10 elementos na Tabela Periódica receberam nomes com base em objetos que orbitam o Sol:

Fósforo vem da palavra grega *phosphóros*, “aquele que dá a luz”, e era o antigo nome do planeta Vênus, que aparece antes do nascer do sol no céu da alvorada.

Selênio vem de *selene*, palavra grega para a Lua, assim chamado porque em jazidas está sempre associado ao elemento telúrio, do latim *tellus*, o nome da Terra.

Em 1º de janeiro de 1801, o astrônomo italiano Giuseppe Piazzi descobriu um novo planeta orbitando o Sol na lacuna suspeitamente grande entre Marte e Júpiter. Seguindo a tradição de batizar planetas com nomes de deuses romanos, o objeto foi chamado de Ceres, a deusa da colheita. Ceres é, claro, a raiz da palavra “cereal”. Na época, a comunidade científica ficou suficientemente entusiasmada para que o primeiro elemento a ser descoberto depois disso ganhasse o nome cério. Dois anos depois foi descoberto outro planeta orbitando o Sol na mesma lacuna de Ceres. Este foi chamado de Palas, em homenagem à deusa romana da sabedoria, e como o cério, o primeiro elemento descoberto a seguir ganhou o nome de paládio. A festa de batizado terminaria algumas décadas depois. Após mais dezenas desses planetas terem sido

descobertos dividindo a mesma zona orbital, uma análise mais atenta revelou que os objetos eram muito, muito menores do que o menor dos planetas conhecidos. Havia sido descoberto um novo lote no sistema solar, habitado por pequenos pedaços irregulares de pedra e metal. Ceres e Palas não eram planetas; são asteroides e moram no cinturão de asteroides, que agora sabe-se que contém centenas de milhares de objetos – um pouco mais que o número de elementos na Tabela Periódica.

O metal mercúrio, líquido e fluido à temperatura ambiente, e o planeta Mercúrio, mais rápido de todos os planetas do sistema solar, são batizados em homenagem ao acelerado Deus mensageiro romano de mesmo nome.

Tório é batizado em nome de Thor, o corpulento Deus escandinavo que lança raios e corresponde ao lançador de raios Júpiter da mitologia romana. E, por Jove, imagens feitas pelo telescópio espacial Hubble das regiões polares de Júpiter revelam grandes descargas elétricas no fundo de suas turbulentas camadas de nuvens.

Infelizmente, Saturno, meu planeta preferido,^[12] não tem nenhum elemento batizado em sua homenagem, mas Urano, Netuno e Plutão têm representantes famosos. O elemento urânio foi descoberto em 1789 e batizado em homenagem ao planeta descoberto por William Herschel apenas oito anos antes. Todos os isótopos de urânio são instáveis, se transformando espontaneamente em elementos mais leves, um processo acompanhado da liberação de energia. A primeira bomba atômica já usada em guerra tinha urânio como seu ingrediente ativo e foi jogada pelos Estados Unidos, incinerando a cidade japonesa de Hiroshima, em 6 de agosto de 1945. Com 92 prótons apertados em seu núcleo, o urânio é amplamente descrito como o “maior” elemento que ocorre naturalmente, embora vestígios de elementos maiores possam ser encontrados onde minério de urânio é extraído.

Se Urano mereceu ter um elemento em sua homenagem,

da mesma forma Netuno. Diferentemente do urânio, porém, que foi descoberto pouco depois do planeta, o netúnio foi descoberto em 1940 no ciclotron de Berkeley, 97 anos depois do astrônomo alemão John Galle ter encontrado Netuno no ponto do céu previsto pelo matemático francês Joseph Le Verrier após estudar o estranho comportamento orbital de Urano. Como Netuno vem logo depois de Urano no sistema solar, também o netúnio vem logo depois do urânio na Tabela Periódica dos Elementos.

O ciclotron de Berkeley descobriu (ou fabricou) muitos elementos não encontrados na natureza, incluindo o plutônio, que vem logo depois do netúnio na tabela e foi batizado em homenagem a Plutão, que Clyde Tombaugh descobriu no Observatório Lowell, no Arizona, em 1930. Assim como no caso da descoberta de Ceres, 129 anos antes, a empolgação prevaleceu. Plutão foi o primeiro planeta descoberto por um americano e, na ausência de informações melhores, foi considerado um objeto de tamanho e massa comparáveis à Terra, se não Urano ou Netuno. À medida que nossas tentativas de medir o tamanho de Plutão se tornaram cada vez mais refinadas, Plutão passou a encolher. Nosso conhecimento das dimensões de Plutão só estabilizou no final dos anos 1980. Agora sabemos que o frio e gelado Plutão é de longe o menor dos 9, com a pequena distinção de ser menor que as 6 maiores luas do sistema solar. E assim como os asteroides, centenas de outros objetos foram posteriormente descobertos no sistema solar exterior com órbitas similares à de Plutão, indicando o fim do mandato de Plutão como planeta e a revelação de um até então não documentado reservatório de pequenos corpos gelados chamado cinturão de cometas de Kuiper, ao qual Plutão pertence. Nesse sentido, poderia-se argumentar que Ceres, Pallas e Plutão penetraram na Tabela Periódica sob falsas alegações.

O instável plutônio com enriquecimento bélico foi o ingrediente ativo da bomba atômica que os Estados Unidos

explodiram sobre a cidade japonesa de Nagasaki apenas três dias depois de Hiroshima, acabando rapidamente com a Segunda Guerra Mundial. Pequenas quantidades de plutônio radioativo sem enriquecimento bélico podem ser usadas para alimentar geradores termoelétricos de radioisótopos (sensatamente abreviados como gtrs) em naves espaciais que viajam para o sistema solar exterior, onde a intensidade da luz do Sol caiu para abaixo do nível necessário para painéis solares. Quatrocentas e cinquenta gramas de plutônio geram 10 milhões de quilowatts-hora de energia térmica, suficiente para alimentar uma lâmpada incandescente durante 11 mil anos, ou um ser humano pelo mesmo tempo, se nós consumíssemos combustível nuclear em vez de comida de supermercado.

*

Assim termina nossa viagem cósmica pela Tabela Periódica dos Elementos Químicos, até o limite do sistema solar e além. Por razões que ainda não entendo, muitas pessoas não gostam de elementos químicos, o que poderia explicar o movimento interminável para afastá-las dos alimentos. Talvez nomes químicos sesquipedais simplesmente soem perigosos. Mas nesse caso, deveríamos culpar os químicos, e não as próprias substâncias. Pessoalmente fico muito à vontade com substâncias químicas, em qualquer lugar do universo. Minhas estrelas preferidas, assim como meus melhores amigos, são inteiramente feitas delas.

Sobre ser redondo

Além de cristais e rochas quebradas, não há muito mais no cosmos que surja naturalmente com ângulos agudos. Embora muitos objetos tenham formas peculiares, a lista de coisas redondas é praticamente interminável e varia de simples bolhas de sabão até todo o universo observável. De todas as formas, as esferas são favorecidas pela ação de simples leis da física. Essa tendência é tão prevalente que com frequência supomos que algo é esférico em uma experiência mental apenas para coletar informações básicas, mesmo quando sabemos que o objeto decididamente não é esférico. Resumindo, se você não entende o caso esférico, então não pode alegar compreender a física básica do objeto.

Na natureza, as esferas são criadas por forças, como tensão superficial, que querem tornar os objetos menores em todas as direções. A tensão superficial do líquido que produz uma bolha de sabão aperta o ar em todas as direções. Momentos após ser formada, envolverá o volume de ar usando a menor área superficial possível. Isso gera a bolha mais forte possível, porque o filme ensaboado não terá de ser mais fino do que o absolutamente necessário. Usando cálculos de principiantes você consegue demonstrar que a única forma que tem a menor área superficial para um volume contido é uma esfera perfeita. De fato, bilhões de dólares poderiam ser economizados anualmente em material de embalagem se todas as caixas e todos os pacotes de comida no supermercado fossem esféricos. Por exemplo, o conteúdo de uma caixa

supergrande de cereal matinal caberia facilmente em uma embalagem esférica com raio de 11,5 centímetros. Mas as questões práticas prevalecem – ninguém quer perseguir comida embalada pelo corredor depois de rolar para fora da prateleira.

Na Terra, uma forma de fazer rolamentos é torneando ou derramando metal derretido em volumes predeterminados no alto de uma vara comprida. O material normalmente irá ondular até se acomodar na forma de uma esfera, mas precisará de tempo suficiente para endurecer antes de chegar ao fundo. Em estações espaciais orbitais, onde nada tem peso, você espreme suavemente um volume preciso de metal derretido e tem todo o tempo necessário – as contas ficam flutuando ali enquanto esfriam, até endurecer como esferas perfeitas, com a tensão superficial fazendo todo o trabalho para você.

*

No caso de grandes objetos cósmicos, a energia e a gravidade conspiram para transformar objetos em esferas. A gravidade é a força que serve para derrubar material em todas as direções, mas nem sempre a gravidade vence – as ligações químicas de objetos sólidos são fortes. O Himalaia cresceu contra a força da gravidade terrestre por causa da resistência da rocha da crosta. Mas antes que você se anime com as grandiosas montanhas da Terra, deve saber que a distância entre as fossas submarinas mais profundas e as montanhas mais altas é de cerca de 19 mil metros, mas o diâmetro da Terra é de quase 13 mil quilômetros. Então, ao contrário do que parece para pequenos humanos engatinhando sobre sua superfície, a Terra, como objeto cósmico, é impressionantemente lisa. Se você tivesse um dedo gigantesco e o arrastasse sobre a superfície da Terra (com oceanos e tudo mais) ela pareceria

lisa como uma bola de sinuca. Globos caros que apresentam as áreas elevadas das massas de terra da Terra para indicar cordilheiras são grosseiros exageros da realidade. É por isso que, apesar das montanhas e dos vales terrestres, além de ser ligeiramente achatada de um polo ao outro, quando vista do espaço a Terra é indistinguível de uma esfera perfeita.

As montanhas da Terra também são insignificantes quando comparadas a algumas outras montanhas no sistema solar. A maior de Marte, o Monte Olimpo, tem 19,8 mil metros de altura e quase 480 quilômetros de largura na base. Isso faz o Monte McKinley, no Alasca, parecer um túnel de toupeira. A receita cósmica para construir montanhas é simples: quanto mais fraca a gravidade na superfície de um objeto, mais altas suas montanhas chegam. O Monte Everest é o mais alto que uma montanha na Terra consegue chegar antes que as camadas inferiores de rocha sucumbam à sua própria maleabilidade sob o peso da montanha.

Se um objeto sólido tem uma gravidade superficial suficientemente baixa, as ligações químicas em suas rochas resistirão à força de seu próprio peso. Quando isso acontece, quase qualquer forma é possível. Duas famosas não esferas celestiais são Fobos e Deimos, as luas em forma de batata de Marte. Em Fobos, a maior delas, com 21 quilômetros de comprimento, uma pessoa de 68 quilos pesaria apenas 113 gramas.

No espaço, a tensão superficial sempre obriga um pequeno volume de líquido a formar uma esfera. Sempre que você vê um pequeno objeto sólido que é suspeitamente esférico, pode supor que foi formado quando derretido. Se o volume tiver massa muito alta, então ele poderia ser composto de quase qualquer coisa, e a gravidade garantirá que forme uma esfera.

Grandes e enormes volumes de gás na galáxia podem se juntar para formar esferas gasosas quase perfeitas chamadas estrelas. Mas se uma estrela está orbitando perto demais de outro objeto cuja gravidade é significativa, a forma esférica

pode ser distorcida quando seu material é arrancado. Por “perto demais” quero dizer perto do lóbulo de Roche do objeto – batizado em nome do matemático de meados do século XIX Édouard Roche, que fez estudos detalhados de campos gravitacionais na vizinhança de estrelas duplas. O lóbulo de Roche é um teórico envelope duplo bulboso em forma de haltere que cerca quaisquer dois objetos em órbita um do outro. Se o material gasoso de um objeto deixa seu próprio envelope, o material então cai na direção do segundo objeto. Isso é comum entre estrelas binárias quando uma delas incha para se tornar uma gigante vermelha e preenche demasiadamente seu lóbulo de Roche. A gigante vermelha fica distorcida em uma forma claramente não esférica que lembra uma gota de chocolate Hershey’s. Ademais, de tempos em tempos uma das duas estrelas é um buraco negro, cuja localização se torna visível pelos danos à sua companheira binária. O gás espiralando, após ter passado do gigante pelo seu lóbulo de Roche, aquece até temperaturas extremas e brilha antes de desaparecer de vista dentro do próprio buraco negro.

*

As estrelas da Via Láctea traçam um grande círculo achatado. Com uma relação entre diâmetro e espessura de mil para um, nossa galáxia é mais achatada que a panqueca mais achatada já feita. De fato, a proporção é mais bem representada por um crepe ou uma tortilla. Não, o disco da Via Láctea não é uma esfera, mas provavelmente começou como uma. Podemos entender a pouca espessura supondo que a galáxia um dia foi uma grande bola esférica de gás em condensação girando lentamente. Durante a condensação a bola gira cada vez mais rápido, assim como patinadores artísticos fazem quando recolhem os braços para aumentar a rotação. A galáxia se

achatou naturalmente de um polo ao outro, ao mesmo tempo em que as crescentes forças centrífugas no meio impediam a concentração no plano intermediário. Sim, se o mascote de massa da empresa Pillsbury fosse um patinador artístico, giros rápidos seriam uma atividade de risco.

Qualquer estrela que tenha se formado dentro da nuvem da Via Láctea antes da concentração manteve grandes órbitas descendentes. O gás remanescente, que se liga facilmente a si mesmo, como uma colisão em pleno ar de dois marshmallows quentes, ficou preso no plano intermediário e é responsável por todas as gerações posteriores de estrelas, incluindo o Sol. A atual Via Láctea, que não está se contraindo nem se expandindo, é um sistema gravitacionalmente maduro onde se pode pensar nas estrelas orbitando acima e abaixo do disco como os restos esqueléticos da nuvem de gás esférica original.

Esse achatamento geral dos objetos que giram é o motivo pelo qual o diâmetro da Terra de um polo a outro é menor que seu diâmetro no equador. Não muito: 0,3 de 1% – cerca de 42 quilômetros. Mas a Terra é pequena, basicamente sólida, e não gira tão rápido. Em 24 horas por dia a Terra carrega qualquer coisa no seu equador a apenas 1.600 quilômetros por hora. Considere o enorme planeta gasoso Saturno de rotação acelerada. Completando um dia em apenas 10 horas e meia, seu equador gira a 35 mil quilômetros por hora, e sua distância de um polo a outro é 10% mais achatada do que no meio, uma diferença perceptível mesmo através de um pequeno telescópio amador. Esferas achatadas em geral são chamadas de esferoides oblato, enquanto esferas alongadas de um polo a outro são chamadas de prolato. Na vida cotidiana, hambúrgueres e cachorrosquentes são exemplos excelentes (ainda que um pouco radicais) de cada uma das formas. Não sei vocês, mas o planeta Saturno surge em minha mente a cada mordida que dou em um hambúrguer.

*

Nós usamos o efeito das forças centrífugas sobre a matéria para ter uma visão da taxa de rotação de objetos cósmicos extremos. Considere os pulsares. Com alguns girando a mais de 1.000 revoluções por segundo, sabemos que eles não podem ser feitos de ingredientes domésticos, ou se fariam em pedaços. De fato, se um pulsar girasse um pouco mais rápido, digamos 4.500 revoluções por segundo, seu equador estaria se movendo à velocidade da luz, o que lhe diz que esse material é diferente de qualquer outro. Para conceber um pulsar, imagine a massa do Sol enfiada em uma bola do tamanho de Manhattan. Se isso for difícil, talvez seja mais fácil imaginar 100 milhões de elefantes em um tubo de batom. Para conseguir essa densidade você tem de comprimir todo o espaço vazio de que os átomos desfrutam ao redor de seus núcleos e entre seus elétrons em órbita. Fazer isso irá esmagar quase todos os elétrons (carga negativa) nos prótons (carga positiva), criando uma bola de nêutrons (carga neutra) com uma gravidade superficial absurdamente alta. Nessas condições, a cordilheira de uma estrela de nêutrons não precisa ser mais alta que a espessura de uma folha de papel para que você gaste mais energia para subi-la do que um escalador na Terra aplicaria para subir um pico de 5 mil quilômetros. Resumindo, onde a gravidade é alta os lugares altos tendem a desabar, enchendo os lugares baixos – um fenômeno que soa quase bíblico, preparando o caminho para o Senhor: “Todos os vales serão levantados, todos os montes e colinas serão aplanados; os terrenos acidentados se tornarão planos; as escarpas, serão niveladas” (Isaías 40:4). Essa é a receita para uma esfera, se um dia houve uma. Por todas essas razões, esperamos que os pulsares sejam as esferas de forma mais perfeita no universo.

*

Para ricos aglomerados de galáxias, a forma geral pode oferecer profundas visões astrofísicas. Alguns são esfarrapados. Outros esticados em filamentos finos. E outros formam vastos lençóis. Nenhum deles se acomodou em uma forma gravitacional estável – esférica. Alguns são tão extensos que os 14 bilhões de anos do universo são tempo insuficiente para que as galáxias que os compõem cruzem uma vez o aglomerado. Concluimos que o aglomerado nasceu desse modo porque os encontros gravitacionais mútuos entre e dentro das galáxias tiveram tempo insuficiente para influenciar a forma do aglomerado. Mas outros sistemas, como o belo aglomerado de galáxias de Coma, que vimos no capítulo sobre matéria escura, nos dizem imediatamente que a gravidade moldou o aglomerado em uma esfera. Como consequência, você provavelmente poderá encontrar uma galáxia se movendo tanto em uma direção quanto em outra. Sempre que isso for verdade, o aglomerado não pode estar girando muito rápido; do contrário, veríamos algum achatamento, assim como em nossa própria Via Láctea.

O aglomerado de Coma, novamente como a Via Láctea, também é gravitacionalmente maduro. Na linguagem comum da astrofísica, tais sistemas são considerados “relaxados”, o que significa muita coisa, incluindo o fato fortuito de que a velocidade média das galáxias no aglomerado serve como um excelente indicador da massa total, seja ou não a massa total do sistema fornecida pelos objetos usados para conseguir a velocidade média. É por essas razões que sistemas gravitacionalmente relaxados são excelentes detectores de matéria “escura” não luminosa. Deixe-me fazer uma afirmação ainda mais grave: não fosse pelos sistemas relaxados, a onipresença da matéria escura poderia ter permanecido sem ser descoberta até hoje.

*

A esfera para acabar com todas as esferas – a maior e mais perfeita de todas elas – é todo o universo observável. Em toda direção que olhamos as galáxias se afastam de nós a velocidades proporcionais à sua distância. Como vimos nos primeiros capítulos, esta é a famosa assinatura de um universo em expansão, descoberta por Edwin Hubble, em 1929. Quando você combina a relatividade de Einstein, a velocidade da luz, o universo em expansão e a diluição espacial de massa e energia como consequência dessa expansão, há uma distância em toda direção a partir de nós em que a velocidade de recessão de uma galáxia é igual à velocidade da luz. A essa distância e além, a luz de todos os objetos luminosos perde toda sua energia antes de chegar a nós. O universo além desse “limite” esférico é, portanto, considerado invisível e, pelo que sabemos, impossível de identificar.

Há uma variação da ideia sempre popular do multiverso na qual os múltiplos universos que o compõem não são totalmente separados, mas isolados, bolsões de espaço que não interagem dentro de um tecido contínuo de espaço-tempo – como vários navios no mar, longe o suficiente uns dos outros para que seus horizontes circulares não se cruzem. No que diz respeito a qualquer navio (sem outras informações), ele é o único no oceano, embora todos partilhem o mesmo corpo de água.

*

Esferas de fato são ferramentas teóricas férteis que nos ajudam a ter uma visão de todo tipo de problema astrofísico. Mas não se deve ser um fanático por esferas. Lembro-me da piada meio séria sobre como aumentar a produção de leite em uma fazenda. Um especialista em criação de animais diria: “Considere o papel da dieta da vaca...”. Um engenheiro diria:

“Considere o projeto das máquinas ordenhadeiras...”. Mas é o astrofísico quem diz: “Considere uma vaca esférica...”.

Luz invisível

*E, portanto, como a um estranho dê as boas-vindas.
Há mais coisas no céu e na terra, Horácio,
Do que é sonhado em sua filosofia*

Hamlet, Ato i, Cena 5

Antes de 1800 a palavra “luz” se referia apenas a luz visível. Mas, no começo daquele ano, o astrônomo inglês William Herschel notou um aquecimento que só poderia ter sido causado por uma forma de luz invisível ao olho humano. Já um observador experiente, Herschel tinha descoberto o planeta Urano em 1781 e estava então explorando a relação entre luz do sol, cor e calor. Ele começou colocando um prisma no caminho de um raio de sol. Nada de novo. Sir Isaac Newton tinha feito o mesmo nos anos 1600, o que o levou a batizar as 7 cores do espectro visível: vermelho, laranja, amarelo, verde, azul, anil e violeta (VLAVAAV). Mas Herschel era curioso o bastante para querer saber qual poderia ser a temperatura de cada cor. Então colocou termômetros em diferentes áreas do arco-íris e demonstrou, como suspeitava, que cores diferentes tinham temperaturas diferentes.^[13]

Experimentos bem conduzidos exigem um “controle” – uma medição na qual você não espera nenhum efeito e serve como uma espécie de teste de idiotices para o que você está

medindo. Por exemplo, se você fica imaginando que efeito a cerveja tem numa flor como a tulipa, então também tenha uma segunda planta, idêntica à primeira, mas dê a ela apenas água. Se as duas plantas morrerem – se você matar ambas – então não poderá culpar o álcool. Esse é o valor de uma amostra de controle. Herschel sabia disso e colocou um termômetro fora do espectro, adjacente ao vermelho, esperando que não registrasse nada além da temperatura ambiente durante a experiência. Mas não foi o que aconteceu. A temperatura de seu termômetro de controle subiu ainda mais que no vermelho.

Herschel escreveu:

Concluo que o vermelho ainda não chega ao calor máximo; que este talvez fique até mesmo um pouco além da refração visível. Nesse caso, calor radiante poderá, pelo menos em parte, se não principalmente, consistir, se me permitem a expressão, de luz invisível; ou seja, de raios vindos do Sol que têm tal momento que são inadequados para a visão.^[14]

Ca*#te!

Herschel inadvertidamente descobrira a luz “infra” vermelha (IV), uma nova parte do espectro localizada logo “abaixo” do vermelho, revelada no primeiro de seus quatro ensaios sobre o tema.

A revelação de Herschel foi o equivalente astronômico da descoberta por Antonie van Leeuwenhoek de “muitos animálculos bem pequenos vivos, se movendo belamente”^[15] na menor gota de água de um lago. Leeuwenhoek descobrira organismos unicelulares – um universo biológico. Herschel descobriu uma nova faixa de luz. Ambos se escondendo à vista de todos.

Outros pesquisadores partiram do ponto ao qual Herschel chegara. Em 1801, o físico e farmacêutico alemão Johann Wilhelm Ritter descobriu mais uma faixa de luz invisível. Mas

em vez de um termômetro, Ritter colocou uma pequena pilha de cloreto de prata sensível à luz em cada cor visível, bem como na área escura junto ao final violeta do espectro. Como era de se esperar, a pilha na área não iluminada escureceu mais que a pilha na área violeta. O que há além do violeta? “Ultra” violeta, mais conhecido hoje como uv.

Cobrindo todo o espectro eletromagnético, em ordem de baixa energia e baixa frequência para alta energia e alta frequência, temos: ondas de rádio, micro-ondas, infravermelho, vlavaav, ultravioleta, raios X e raios gama. A civilização moderna explorou habilmente cada uma dessas faixas em inúmeras aplicações domésticas e industriais, tornando-as familiares a todos nós.

*

Depois da descoberta de UV e iv, a observação do céu não mudou da noite para o dia. O primeiro telescópio projetado para detectar áreas invisíveis do espectro não seria construído antes de 130 anos. Isso bem depois de ondas de rádio, raio X e raios gama terem sido descobertos, e bem depois de o físico alemão Heinrich Hertz ter demonstrado que a única diferença verdadeira entre os vários tipos de luz é a frequência das ondas em cada faixa. De fato, Hertz merece o crédito pela existência de algo como um espectro eletromagnético. Em sua homenagem, a unidade de frequência – em ondas por segundo – de qualquer coisa que vibra, incluindo o som, foi devidamente chamada de hertz.

Misteriosamente, os astrofísicos demoraram para estabelecer a ligação entre as recém-descobertas faixas de luz invisível e a ideia de construir um telescópio que pudesse ver essas faixas de fontes cósmicas. Atrasos na tecnologia de detecção foram importantes. Mas a arrogância certamente tem uma parcela de culpa: como o universo poderia nos

enviar luz que nossos maravilhosos olhos não conseguem ver? Durante mais de três séculos – de Galileu até Edwin Hubble – construir um telescópio significava apenas uma coisa: criar um instrumento para captar luz visível, aumentando nossa visão dada pela biologia.

Um telescópio é apenas uma ferramenta para ampliar nossos sentidos fracos, nos permitindo conhecer melhor lugares distantes. Quanto maior o telescópio, mais escuros os objetos que ele revela; quanto mais perfeitamente moldados seus espelhos, mais nítida a imagem; quanto mais sensíveis os detectores, mais eficientes as observações. Porém, em todos os casos, toda informação que um telescópio dá ao astrofísico chega à Terra em um feixe de luz.

Acontecimentos celestiais, contudo, não se limitam ao que é conveniente para a retina humana. Na verdade, eles tipicamente emitem volumes variáveis de luz simultaneamente em múltiplas faixas. Então, sem telescópios e seus detectores sintonizados em todo o espectro, os astrofísicos permaneceriam abençoadamente ignorantes de algumas coisas perturbadoras no universo.

Pegue uma estrela que explode – uma supernova. É um acontecimento cosmicamente comum e de grande energia que gera quantidades prodigiosas de raios X. Às vezes jorros de raios gama e clarões de ultravioleta acompanham as explosões, e nunca falta luz visível. Muito tempo depois que os gases explosivos esfriam, as ondas de choque se dissipam e a luz visível se apaga, a supernova “remanescente” continua brilhando no infravermelho, enquanto pulsa em ondas de rádio. É de onde vêm os pulsares, os mais confiáveis marcadores do tempo no universo.

A maioria das explosões estelares acontece em galáxias distantes, mas se uma estrela explodisse na Via Láctea, suas dores de morte seriam brilhantes o suficiente para que todos vissem, mesmo sem um telescópio. Mas ninguém na Terra viu os raios X ou gama invisíveis das últimas duas últimas

supernovas espetaculares em nossa galáxia – uma em 1572 e outra em 1604 –, e ainda assim sua assombrosa luz visível foi amplamente registrada.

A gama de comprimentos de onda (ou frequências) que compõe cada faixa de luz influencia fortemente o projeto do equipamento usado para detectá-la. Por isso nenhuma combinação única de telescópio e detector pode simultaneamente ver todas as características de tais explosões. Mas o modo de contornar esse problema é simples: reunir todas as observações do seu objeto, talvez feitas por colegas, em múltiplas faixas de luz. Depois atribuir cores visíveis a faixas invisíveis de interesse, criando uma imagem multi espectral. É exatamente o que Geordi, da série de televisão *Jornada nas Estrelas: a nova geração*, faz. Com esse poder de visão você não perde nada.

Só depois de identificar a faixa de seus afetos astrofísicos você pode começar a pensar no tamanho do seu espelho, os materiais de que irá precisar para fazê-lo, a forma e a superfície que precisa ter e o tipo de detector de que irá necessitar. Os comprimentos de onda do raio X, por exemplo, são extremamente curtos. Então, se você os está acumulando, seu espelho precisa ser muito liso, para que imperfeições na superfície não as distorçam. Mas se você estiver coletando ondas de rádio compridas seu espelho pode ser feito de tela de galinheiro dobrada com as mãos, porque as irregularidades no arame seriam muito menores que o comprimento de onda que você busca. Claro, você também quer muitos detalhes – alta resolução –, então seu espelho deve ser o maior que puder conseguir. No final, seu telescópio precisa ser muito, muito mais largo do que o comprimento de onda da luz que você busca detectar. E em nada essa necessidade é mais evidente quanto na construção de um radiotelescópio.

*

Radiotelescópios, os primeiros telescópios de luz não visível já construídos, são uma impressionante subespécie de observatório. O engenheiro americano Karl G. Jansky construiu o primeiro bem-sucedido entre 1929 e 1930. Ele se parecia um pouco com um sistema móvel de irrigação em uma fazenda sem fazendeiro. Feito de uma série de altas estruturas metálicas retangulares fixadas com apoios de madeira e um piso, ele girava no lugar como um carrossel com rodas feitas de peças sobressalentes de um Ford Modelo T. Jansky sintonizara o equipamento de 30 metros de comprimento em um comprimento de onda de aproximadamente 15 metros, correspondendo a uma frequência de 20,5 megahertz.^[16] O objetivo de Jansky, trabalhando para seu empregador, o Bell Telephone Laboratories, era estudar quaisquer chiados de fontes de rádio na Terra que pudessem contaminar comunicações por rádio terrestres. Isso lembra muito a tarefa que o Bell Labs deu a Penzias e Wilson, 35 anos depois, de encontrar um ruído de micro-ondas em seu receptor, como vimos no capítulo 3, e que levou à descoberta da radiação cósmica em micro-ondas.

Tendo passado 2 anos cuidadosamente rastreando e ajustando o chiado de estática registrado em sua antena improvisada, Jansky descobriu que ondas de rádio emanam não apenas de tempestades locais e outras fontes terrestres conhecidas, mas também do centro da galáxia da Via Láctea. Aquela região do céu deslizava pelo campo de visão do telescópio a cada 23 horas e 56 minutos: exatamente o período de rotação da Terra no espaço e, portanto, exatamente o tempo necessário para recolocar o centro da galáxia no mesmo ângulo e elevação no céu. Karl Jansky publicou seus resultados sob o título “Perturbações elétricas aparentemente de origem extraterrestre”.^[17]

Com essa observação nasceu a radioastronomia – mas sem o próprio Jansky. O Bell Labs lhe deu outra tarefa, o impedindo de usar os frutos de sua própria descoberta

fundamental. Mas, alguns anos depois, um americano cheio de iniciativa chamado Grote Reber, de Wheaton, Illinois, construiu no próprio quintal um radiotelescópio de 9 metros de largura com prato metálico. Em 1938, não estando a serviço de ninguém, Reber confirmou a descoberta de Jansky e passou os 5 anos seguintes fazendo mapas de baixa resolução das ondas de rádio no céu.

O telescópio de Reber, embora sem precedentes, era pequeno e grosseiro pelos parâmetros atuais. Os radiotelescópios de hoje são algo muito diferente. Sem os limites dos quintais, eles às vezes são realmente enormes. O MK 1, que começou sua vida útil em 1957, é o primeiro radiotelescópio verdadeiramente gigantesco do mundo – uma única parabólica de 76 metros de largura, móvel, no Observatório Jodrell Bank em Manchester, Inglaterra. Dois meses depois do MK 1 ter começado a operar, a União Soviética lançou o *Sputnik 1*, e a parabólica de Jodrell Bank de repente se tornou exatamente a coisa para rastrear o pequeno pedaço de equipamento em órbita – tornando-se precursora da atual Deep Space Network para rastreamento de sondas espaciais planetárias.

O maior radiotelescópio do mundo, concluído em 2016, é chamado de Radiotelescópio Esférico de 500 Metros de Abertura, ou fast, na sigla em inglês, para facilitar. Foi construído pela China, na província de Guizhou, e ocupa uma área maior que 30 campos de futebol. Se um dia alienígenas ligarem para nós, os chineses serão os primeiros a saber.

*

Outro tipo de radiotelescópio é o interferômetro, composto de uma série de antenas parabólicas idênticas espelhadas por uma grande área no interior e conectadas eletronicamente para operar em conjunto. O resultado é uma imagem única,

coerente, de superalta resolução, de objetos cósmicos que emitem sinais de rádio. Os radiointerferômetros formam uma superclasse própria. Um deles, uma disposição muito ampla de parabólicas perto de Socorro, Novo México, nos Estados Unidos, é oficialmente chamado de Very Large Array, com 27 parabólicas de 25 metros instaladas em trilhas que cruzam 35 quilômetros de planícies desertas. Esse observatório é tão fotogênico que apareceu como cenário dos filmes *2010: O ano em que faremos contato* (1984), *Contato* (1997) e *Transformers* (2007). Há também o Very Long Baseline Array, com 10 parabólicas de 25 metros cobrindo 8 mil quilômetros do Havaí até as Ilhas Virgens, permitindo a maior resolução entre todos os radiotelescópios do mundo.

Na faixa das micro-ondas, relativamente nova para os interferômetros, temos as 66 antenas do Alma, o Atacama Large Millimeter Array, na remota cordilheira dos Andes, norte do Chile. Ajustado para comprimentos de onda que variam de frações de milímetro até vários centímetros, o ALMA dá aos astrofísicos acesso em alta resolução a categorias de ação cósmica não vista em outras faixas, como a estrutura de nuvens de gás contraindo ao se transformar em berçários de estrelas. A localização do ALMA é, intencionalmente, a paisagem mais árida da Terra – 4.800 metros acima do nível do mar e bem acima das nuvens mais úmidas. Água pode ser bom para cozinhar no microondas, mas é ruim para os astrofísicos, porque o vapor d'água na atmosfera da Terra danifica antigos sinais de micro-ondas de toda a galáxia e além. Esses dois fenômenos estão relacionados, obviamente: a água é ingrediente mais comum nos alimentos, e os fornos de micro-ondas basicamente aquecem a água. Isso é um indício de que a água absorve frequências de micro-ondas. Então, se você quer observações limpas de objetos cósmicos, precisa minimizar o volume do vapor de água entre seu telescópio e o universo, exatamente como o ALMA fez.



No limite de comprimento de onda ultracurto do espectro eletromagnético estão os raios gama de alta frequência e alta energia, com comprimentos de onda medidos em picômetros. [18] Descobertos em 1900, eles não foram detectados no espaço até um novo tipo de telescópio ser colocado a bordo do satélite *Explorer XI* da Nasa, em 1961.

Qualquer um que veja filmes de ficção científica demais sabe que os raios gama fazem mal. Você pode ficar verde e musculoso, ou teias de aranha podem esguichar de seus pulsos. Mas eles também são difíceis de pegar. Passam diretamente por lentes e espelhos comuns. Como, então, observá-los? Nas entranhas do telescópio do *Explorer XI* há um equipamento chamado cintilador, que reage aos raios gama que chegam liberando partículas com carga elétrica. Se você medir as energias dessas partículas, consegue dizer que tipo de luz de alta energia as criou.

Dois anos depois, a União Soviética, o Reino Unido e os Estados Unidos assinaram o Tratado de Proibição Parcial de Testes Nucleares, que proibiu esses testes na água, na atmosfera e no espaço – de onde a precipitação nuclear poderia se espalhar e contaminar lugares além do perímetro do seu próprio país. Mas aquela era a Guerra Fria, uma época em que ninguém acreditava em ninguém para nada. Invocando a ordem militar “confiar, mas veri ficar”, os Estados Unidos empregaram um novo modelo de satélites, o *Velas*, para procurar descargas de raios gama que seriam resultado de testes nucleares soviéticos. Os satélites de fato encontraram descargas de raios gama, quase diariamente. Mas a Rússia não era a culpada. Eles vinham do espaço sideral – e depois se revelou que eram o cartão de visitas de explosões estelares intermitentes, distantes e gigantescas por todo o universo, indicando o nascimento da astrofísica de raios gama, uma nova área de estudos em meu campo.

Em 1994, o Observatório de Raios Gama Compton, da Nasa, detectou algo tão inesperado quanto a descoberta do *Velas*: frequentes disparos de raios gama perto da superfície da Terra. Eles foram sensatamente apelidados de “disparos de raios gama terrestres”. Holocausto nuclear? Não, como é evidente pelo fato de que você está lendo esta frase. Nem todas as descargas de raios gama são igualmente letais, nem têm todas elas origem cósmica. Nesse caso, pelo menos 50 dessas descargas emanam diariamente do topo de nuvens de tempestade, uma fração de segundo antes de raios comuns serem disparados. Sua origem permanece um mistério, mas a melhor explicação é que na tempestade elétricas elétrons livres aceleram até quase a velocidade da luz e se chocam com os núcleos de átomos atmosféricos, gerando raios gama.

*

Hoje os telescópios operam em todas as áreas invisíveis do espectro, alguns desde o solo, mas a maioria no espaço, onde a visão de um telescópio não é prejudicada pela atmosfera absorvente da Terra. Agora podemos observar fenômenos que variam de ondas de rádio de baixa frequência com 12 metros de comprimento de um pico ao outro, até raios gama de alta frequência com não mais de 1 trilionésimo de milímetro. Essa rica paleta de luz fornece um sem-fim de descobertas astrofísicas. Curioso para saber quanto gás se esconde entre as estrelas nas galáxias? Radiotelescópios fazem isso melhor. Não há conhecimento da radiação cósmica de fundo nem nenhuma compreensão real do Big Bang sem telescópios de micro-ondas. Quer dar uma espiada em berçários estelares no fundo de nuvens de gás galácticas? Preste atenção ao que os telescópios infravermelhos fazem. E quanto a emissões da vizinhança de buracos negros comuns e buracos negros superpesados no centro de uma galáxia? Telescópios

ultravioleta e de raios X fazem isso melhor. Quer acompanhar a explosão de alta energia de uma estrela gigante cuja massa é a de 40 sóis? Acompanhe o drama via telescópios de raios gama.

Avançamos muito desde as experiências de Herschel com raios que eram “inadequados para a visão”, nos fortalecendo para explorar o universo pelo que ele é, em vez de pelo que parece ser. Herschel ficaria orgulhoso. Só conseguimos uma visão cósmica verdadeira após ver o que não pode ser visto: uma coleção impressionantemente rica de objetos e fenômenos ao longo do espaço e ao longo do tempo com que agora podemos sonhar em nossa filosofia.

Entre os planetas

À distância, nosso sistema solar parece vazio. Se você o fechasse em uma esfera – uma grande o bastante para conter a órbita de Netuno, o planeta mais exterior^[19] – então o volume ocupado pelo Sol e por todos os planetas e suas luas responderia por pouco mais de 1 trilionésimo do espaço contido. Mas ele não está vazio, o espaço entre os planetas contém todo tipo de pedras grandes, cascalho, bolas de gelo, poeira, fluxos de partículas carregadas e sondas enviadas para longe. O espaço também é permeado por monstruosos campos gravitacionais e magnéticos.

O espaço interplanetário não é tão vazio tanto que a Terra, em sua jornada orbital a 30 quilômetros por segundo, passa por centenas de toneladas de meteoros todo dia – a maioria deles não maior que um grão de areia. Quase todos eles queimam na atmosfera superior da Terra, chocando-se contra o ar com tanta energia que o detrito é vaporizado ao contato. Nossa frágil espécie evoluiu sob esse cobertor de proteção. Meteoros maiores, do tamanho de bolas de golfe, esquentam rapidamente, mas de modo desigual, e com frequência se partem em muitos pedaços menores antes de ser vaporizados. Meteoros ainda maiores queimam sua superfície, mas, de alguma forma, chegam intactos até o solo. Você pensaria que agora, após 4,6 bilhões de viagens ao redor do Sol, a Terra teria “aspirado” todo detrito possível em sua trilha orbital. Mas as coisas um dia foram muito piores. Durante meio bilhão de anos depois da formação do Sol e seus planetas, caiu

tanto lixo na Terra que o calor da persistente energia dos impactos deixou a atmosfera terrestre quente e nossa crosta derretida.

Uma porção substancial de lixo levou à formação da Lua. A inesperada escassez de ferro e outros elementos de grande massa na Lua, a partir de amostras lunares trazidas pelos astronautas da Apollo, indicam que a Lua provavelmente foi arrancada da crosta e do manto pobres em ferro da Terra depois de uma colisão lateral com um protoplaneta errante do tamanho de Marte. O detrito em órbita depois desse encontro se aglomerou na forma de nosso adorável satélite de baixa densidade. Além desse acontecimento digno de manchetes, o período de bombardeio pesado que a Terra suportou em sua infância não foi único entre os planetas e outros grandes corpos celestes do sistema solar. Cada um deles sofreu danos similares, com as superfícies sem ar e sem erosão da Lua e de Mercúrio preservando muito do registro de crateras desse período.

Não apenas o sistema solar é marcado pelos detritos de sua formação, como o espaço interplanetário próximo também contém pedras de todos os tamanhos que foram arrancadas de Marte, da Lua e da Terra pelo recuo do solo depois de impactos em alta velocidade. Estudos por computador de impactos de meteoros demonstram de forma conclusiva que pedras superficiais perto da área de impacto podem ser lançadas para cima com velocidade suficiente para escapar da força gravitacional do corpo celeste. Na ordem que descobrimos na Terra meteoritos cuja origem é Marte, concluímos que cerca de 1.000 toneladas de pedras marcianas caem sobre a Terra todo ano. Talvez o mesmo volume chegue à Terra vindo da Lua. Retrospectivamente não precisamos ir à Lua para conseguir pedras da Lua. Muitas delas vêm até nós, embora não tenha sido escolha nossa e ainda não soubéssemos disso durante o programa Apollo.

*

A maioria dos asteroides do sistema solar vive e trabalha no principal cinturão de asteroides, uma zona grosseiramente plana entre as órbitas de Marte e Júpiter. Segundo a tradição, os descobridores podem batizar seus asteroides como quiserem. Frequentemente desenhado por artistas como uma região confusa de rochas que se deslocam no plano do sistema solar, o cinturão de asteroides tem massa 5% menor que a da Lua, que por sua vez tem pouco mais de 1% da massa da Terra. Parece insignificante. Mas perturbações acumuladas em suas órbitas continuamente criam um subgrupo mortal, de talvez alguns milhares, cujos caminhos excêntricos cruzam a órbita da Terra. Um cálculo simples revela que a maioria deles irá atingir a Terra em até 100 milhões de anos. Aqueles maiores que cerca de 1 quilômetro de diâmetro colidirão com energia suficiente para desestabilizar o ecossistema da Terra e colocar em risco de extinção a maioria das espécies terrestres.

Isso seria ruim.

Asteroides não são os únicos objetos espaciais que colocam em risco a vida na Terra. O cinturão de Kuiper é uma parcela circular de espaço cheio de cometas que começa logo depois da órbita de Netuno, inclui Plutão e se estende para além de Netuno na mesma distância que Netuno está do Sol. O astrônomo americano de origem holandesa Gerard Kuiper propôs a ideia de que nas profundezas geladas do espaço, além da órbita de Netuno, existem restos congelados da formação do sistema solar. Sem um planeta enorme no qual cair, a maioria desses cometas orbitará o Sol por bilhões de anos mais. Assim como é verdade para o cinturão de asteroides, alguns objetos do cinturão de Kuiper viajam por trilhas excêntricas que cruzam as órbitas de outros planetas. Plutão e seu grupo de irmãos, chamados de plutinos, cruzam o caminho de Netuno ao redor do Sol. Outros objetos do cinturão de Kuiper despencam para o interior do sistema

solar, cruzando órbitas planetárias com entusiasmo. Esse subgrupo inclui Halley, o mais famoso de todos os cometas.

Bem além do cinturão de Kuiper, se estendendo a meio caminho das estrelas mais próximas, vive um reservatório esférico de cometas chamado de nuvem de Oort, em homenagem a Jan Oort, o astrofísico holandês que foi o primeiro a deduzir sua existência. Essa zona é responsável pelos cometas de longos períodos, aqueles com períodos orbitais muito mais longos que uma vida humana. Diferentemente dos cometas do cinturão de Kuiper, os cometas da nuvem de Oort podem se lançar sobre o interior do sistema solar vindos de qualquer ângulo e qualquer direção. Os dois mais brilhantes dos anos 1990, os cometas Hale-Bopp e Hyakutake eram ambos da nuvem de Oort e não voltarão tão cedo.

*

Se tivéssemos olhos para ver campos magnéticos, Júpiter pareceria dez vezes maior que a Lua cheia no céu. Naves espaciais que visitem Júpiter precisarão ser projetadas para não ser afetadas por essa força poderosa. Como o físico inglês Michael Faraday demonstrou nos anos 1800, se você passa um fio por um campo magnético, gera uma diferença de voltagem ao longo do comprimento do fio. Por essa razão, sondas espaciais metálicas de alta velocidade precisarão ter correntes elétricas induzidas. Ao mesmo tempo, essas correntes geram campos magnéticos próprios que interagem com o campo magnético ambiente de modos que retardam o movimento da sonda espacial.

Da última vez em que contei, havia 56 luas entre os planetas do sistema solar. Então acordei certa manhã e soube que outra dúzia havia sido descoberta ao redor de Saturno. Depois desse incidente decidi não manter mais um registro.

Agora só me interessa é se alguns deles seriam lugares divertidos para visitar ou estudar. Segundo certas medições, as luas do sistema solar são mais fascinantes que os planetas que elas orbitam.

*

A Lua da Terra tem cerca de um tricentésimo do diâmetro do Sol, mas também está um tricentésimo mais distante de nós, tornando o Sol e a Lua do mesmo tamanho no céu – uma coincidência não partilhada por nenhuma outra combinação de planeta e lua no sistema solar, permitindo eclipses solares únicos e fotogênicos. A Terra também está em sincronia com a Lua, deixando-a com períodos idênticos de rotação sobre seu eixo e revolução ao redor da Terra. Onde e sempre que isso acontece a lua travada mostra apenas uma das faces ao planeta hospedeiro.

O sistema de luas de Júpiter está cheio de esquisitões. Io, a lua mais próxima de Júpiter, está travada em sincronia e estruturalmente estressada por interações com Júpiter e suas outras luas, bombeando calor suficiente para dentro do pequeno orbe para derreter suas rochas interiores; Io é o lugar com maior atividade vulcânica no sistema solar. A lua de Júpiter, Europa, tem H₂O suficiente para que seu mecanismo de aquecimento – o mesmo em ação em Io – derretesse o gelo subterrâneo, deixando abaixo um oceano aquecido. Se há um lugar propício para procurar vida é ali. (Um artista que trabalhou comigo uma vez perguntou se formas de vida alienígena de Europa seriam chamadas de europeias. A falta de qualquer outra resposta plausível me obrigou a dizer que sim.)

A maior lua de Plutão, Caronte, é tão grande e está tão perto de Plutão que eles travaram um ao outro em sincronia: seus períodos de rotação e revolução são idênticos. Chamamos

a isso de travamento de sincronia dupla de maré, que soa como um golpe de luta a ser inventado.

Por convenção, as luas recebem nomes de personalidades gregas que fizeram parte da vida do equivalente grego do deus romano que emprestou o nome ao planeta. Os deuses clássicos levavam vidas sociais complicadas, então não faltam personagens entre os quais escolher. A única exceção a essa regra se aplica às luas de Urano, que foram batizadas em homenagem a diversos protagonistas da literatura britânica. O astrônomo inglês sir William Herschel foi a primeira pessoa a descobrir um planeta além daqueles facilmente vistos a olho nu e estava pronto para batizá-lo com o nome do rei ao qual fielmente servia. Caso sir William tivesse conseguido, a lista de planetas seria: Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter, Saturno e George. Felizmente, cabeças mais brilhantes prevaleceram e o nome clássico Urano foi adotado alguns anos depois. Mas sua sugestão original de batizar as luas com nomes de personagens de peças de Shakespeare e poemas de Alexander Pope permanece tradição até hoje. Entre suas 27 luas encontramos Ariel, Cordélia, Desdêmona, Julieta, Ofélia, Portia, Puck, Umbriel e Miranda.

O Sol perde material da superfície na ordem de mais de 1 milhão de toneladas por segundo. Chamamos a isso de “vento solar”, que assume a forma de partículas carregadas de grande energia. Viajando a 1.600 quilômetros por segundo, essas partículas correm pelo espaço e são defletidas por campos magnéticos planetários. As partículas descem em espiral na direção dos polos norte e sul, forçando colisões com moléculas de gás e deixando a atmosfera brilhando com uma aurora colorida. O telescópio espacial Hubble identificou aurora perto dos polos de Saturno e Júpiter. E na Terra as auroras boreal e austral (as luzes do norte e do sul) servem como lembretes intermitentes de como é legal ter uma atmosfera protetora.

A atmosfera da Terra é comumente descrita como se

extensão de dezenas de quilômetros acima da superfície. Satélites em órbita “baixa” da Terra normalmente viajam entre 160 e 640 quilômetros de altitude, completando uma órbita em cerca de 90 minutos. Embora você não consiga respirar nessas altitudes, restam algumas moléculas atmosféricas – o suficiente para lentamente drenar energia orbital dos satélites distraídos. Para combater esse arrasto, satélites em órbita baixa demandam impulsos constantes para que não caiam na direção da Terra e queimem na atmosfera. Uma forma alternativa de definir o limite de nossa atmosfera é perguntar onde a sua densidade de moléculas de gás iguala a densidade de moléculas de gás no espaço interplanetário. Sob essa definição, a atmosfera da Terra se estende por milhares de quilômetros.

Orbitando acima desse nível, a 37 mil quilômetros de altitude (um décimo da distância para a Lua), estão os satélites de comunicação. Nessa altitude especial a atmosfera da Terra não é apenas irrelevante, mas a velocidade do satélite é baixa o bastante para que ele precise de um dia inteiro para dar uma volta ao redor da Terra. Com uma órbita correspondendo precisamente à rotação terrestre, esses satélites parecem pairar, o que os torna ideais para transmitir sinais de um ponto da superfície da Terra para outro.

*

As leis de Newton determinam especificamente que, embora a gravidade de um planeta fique cada vez mais fraca quando mais você viaja para longe dele, não há distância em que a força da gravidade chegue a zero. O planeta Júpiter, com seu poderoso campo gravitacional, tira do caminho muitos cometas que do contrário causariam o caos no interior do sistema solar. Júpiter age como um escudo gravitacional para a Terra, um irmão mais velho corpulento, permitindo longos

(100 milhões de anos) períodos de relativa paz e calma na Terra. Sem a proteção de Júpiter a vida complexa teria dificuldade em se tornar interessantemente complexa, sempre correndo o risco de extinção por um impacto devastador.

Nos valem os campos gravitacionais dos planetas em quase todas as sondas enviadas ao espaço. A sonda *Cassini*, por exemplo, que visitou Saturno, foi gravitacionalmente ajudada duas vezes por Vênus, uma pela Terra (em uma passagem de volta) e uma por Júpiter. Como uma tacada de bilhar multiamortecida, as trajetórias de um planeta ao outro são comuns. Do contrário nossas pequenas sondas não receberiam de nossos foguetes velocidade e energia suficientes para chegar ao seu destino.

Agora sou responsável por parte do entulho interplanetário do sistema solar. Em novembro de 2000, o asteroide do cinturão principal 1994KA descoberto por David Levy e Carolyn Shoemaker foi batizado de 13123-Tyson em minha homenagem. Embora eu tivesse gostado da distinção, não há nenhum motivo particular para ficar vaidoso por causa disso; muitos asteroides têm nomes conhecidos como Jody, Harriet e Thomas. Há por aí até mesmo asteroides chamados Merlin, James Bond e Santa. Agora na casa das centenas de milhares, a contagem de asteroides pode logo desafiar nossa capacidade de batizá-los. Chegue ou não esse dia, eu me consolo sabendo que minha parcela de detrito cósmico não está sozinha enquanto toma o espaço entre os planetas, tendo a companhia de uma longa lista de outros pedaços com nomes de pessoas reais e ficcionais.

Também fico contente por, neste momento, meu asteroide não estar vindo na direção da Terra.

Exoplaneta Terra

Quer você prefira correr, nadar, caminhar ou se arrastar de um lugar da Terra para outro, pode desfrutar de vistas em close da interminável oferta de coisas a apreciar em nosso planeta. Você pode ver um veio de calcário rosado na parede de um cânion, uma joaninha comendo um pulgão no caule de uma rosa, um marisco saindo da areia. Tudo que precisa fazer é olhar.

Da janela de um avião de passageiros se elevando esses detalhes da superfície desaparecem rapidamente. É o fim dos canapés de pulgão. Nada de mariscos curiosos. Chegue à altitude de cruzeiro, aproximadamente 11 mil metros, e identificar estradas principais se torna um desafio.

Os detalhes continuam a desaparecer à medida que você chega ao espaço. Da janela da Estação Espacial Internacional, que orbita a cerca de 400 quilômetros, você pode localizar Paris, Londres, Nova York e Los Angeles durante o dia, mas apenas porque aprendeu nas aulas de geografia onde elas ficam. À noite a paisagem urbana estendida apresenta um brilho evidente. Durante o dia, ao contrário do que diz a sabedoria popular, você provavelmente não verá as Grandes Pirâmides de Gizé, e certamente não verá a Grande Muralha da China. Sua obscuridade é em parte resultado de terem sido feitas a partir do solo e das pedras da paisagem vizinha. E embora a Grande Muralha tenha milhares de quilômetros de comprimento, tem apenas cerca de 6 metros de largura — muito mais estreita que as rodovias interestaduais americanas

que você mal consegue ver de um jato transcontinental.

Em órbita, a olho nu, você teria visto nuvens de fumaça se erguendo dos incêndios em campos de petróleo no Kuwait no final da primeira Guerra do Golfo, em 1991, e a fumaça das torres em chamas do World Trade Center, em Nova York, em 11 de setembro de 2001. Também notaria os limites verde-marrom entre trechos de terra irrigada e terra árida. Além dessa lista, não há muito mais feito pelos humanos que possa ser identificado de centenas de quilômetros no céu. Mas você consegue ver muitas paisagens naturais, incluindo furacões no Golfo do México, banquisas no Atlântico Norte e erupções vulcânicas nos pontos em que ocorrem.

Da lua, a 400 mil quilômetros de distância, Nova York, Paris e o resto do brilho urbano da Terra não se apresentam sequer como uma cintilação. Mas de seu ponto de vista lunar você ainda consegue acompanhar grandes frentes climáticas se deslocando pelo planeta. De Marte, em seu ponto mais próximo, cerca de 56 milhões de quilômetros de distância, enormes cordilheiras de montanhas com cumes nevados e os limites dos continentes da Terra seriam vistos através de um grande telescópio doméstico. Viaje para Netuno, a quase 5 bilhões de quilômetros – logo ali na esquina em uma escala cósmica – e o próprio Sol se torna mil vezes mais escuro, ocupando um milésimo da área no céu diurno que ocupa quando visto da Terra. E quanto à própria Terra? É um pontinho que não brilha mais que uma estrela fraca, perdida no brilho do Sol.

Uma celebrada fotografia tirada em 1990 de pouco além da órbita de Netuno pela espaçonave *Voyager I* mostra o quão minúscula a Terra parece do espaço profundo: um “pálido ponto azul”, como a definiu o astrofísico americano Carl Sagan. E isso é generoso. Sem a ajuda de uma legenda você sequer saberia que estava ali.

O que aconteceria se alguns alienígenas de cérebros grandes do enorme além examinassem os céus com seus

órgãos visuais naturalmente soberbos, ainda mais ajudados por acessórios ópticos alienígenas de primeira linha? Quais características visíveis do planeta Terra eles conseguiriam detectar?

A cor azul seria a primeira e mais importante. A água cobre mais de $\frac{2}{3}$ da superfície da Terra; apenas o oceano Pacífico se estende por quase um lado inteiro do planeta. Quaisquer seres com equipamento e conhecimento suficientes para detectar a cor do nosso planeta certamente deduziriam a presença de água, a terceira molécula mais abundante no universo.

Se a resolução do equipamento deles fosse suficientemente alta, os alienígenas veriam mais que apenas um pálido ponto azul. Também veriam litorais intrincados, sugerindo fortemente que a água está em estado líquido, de modo que a temperatura e a pressão atmosférica do planeta se encontram em uma faixa bem determinada.

As marcantes calotas polares da Terra, que aumentam e diminuem com as variações de temperatura sazonais, também poderiam ser identificadas usando luz visível. Assim como a rotação de 24 horas do nosso planeta, porque massas de terra reconhecíveis apareceriam a intervalos de tempo regulares. Os alienígenas também veriam grandes sistemas climáticos chegar e sumir; com um estudo cuidadoso poderiam facilmente distinguir características relacionadas a nuvens na atmosfera de características relacionadas à superfície da própria Terra.

Tempo para um choque de realidade. O exoplaneta mais próximo – o planeta mais próximo em órbita ao redor de uma estrela que não o Sol – pode ser encontrado em nosso sistema estelar vizinho de Alpha Centauri, a cerca de 4 anos-luz de nós e visível principalmente do nosso hemisfério sul. A maioria dos exoplanetas catalogados está entre dezenas e centenas de anos-luz de distância. O brilho da Terra é menos de um bilionésimo daquele do Sol, e nossa proximidade do Sol tornaria extremamente difícil que alguém visse a Terra

diretamente com um telescópio de luz visível. Seria como tentar detectar a luz de um vagalume nas vizinhanças de um holofote de Hollywood. Então, se alienígenas nos encontraram é porque procuraram comprimentos de luz que não a luz visível, como o infravermelho, no qual nosso brilho em comparação ao Sol é um pouco melhor que na luz visível – ou então seus engenheiros estão usando alguma estratégia totalmente diferente.

Talvez estejam fazendo algo que nossos próprios caçadores de planetas costumam fazer: monitorar estrelas para ver se elas sacodem a intervalos regulares. A sacudida periódica de uma estrela revela a existência de um planeta em órbita que pode ser escuro demais para ser visto diretamente. Ao contrário do que a maioria das pessoas supõe, um planeta não orbita sua estrela hospedeira. Em vez disso, tanto o planeta quanto sua estrela hospedeira giram ao redor do seu centro comum de massa. Quanto maior o planeta, maior tem de ser a reação da estrela a ele, e mais quantificável se torna a sacudida quando você analisa a luz da estrela. Infelizmente para os alienígenas caçadores de planetas, a Terra é insignificante, de modo que o Sol mal se altera, o que seria um novo desafio para os engenheiros alienígenas.

*

O telescópio Kepler da Nasa, projetado e ajustado para descobrir planetas como a Terra ao redor de estrelas como o Sol, empregou um outro método de detecção, aumentando grandemente o catálogo de exoplanetas. O Kepler procurou estrelas cujo brilho total diminui ligeiramente e a intervalos regulares. Nesses casos a linha de visão do Kepler é ideal para ver uma estrela ficar mais escura por uma parcela mínima, em função de um de seus próprios planetas passar bem na frente da estrela hospedeira. Com esse método você não

consegue ver o próprio planeta. Não consegue sequer ver quaisquer características da superfície da estrela. Kepler simplesmente rastreou mudanças na luz total de uma estrela, mas acrescentou milhares de exoplanetas ao catálogo, incluindo centenas de sistemas estelares multiplanetários. A partir desses dados você também pode saber o tamanho do planeta, seu período orbital e sua distância orbital da estrela hospedeira. Também pode fazer uma dedução informada da massa do planeta.

Caso esteja imaginando, quando a Terra passa diante do Sol – algo que está sempre acontecendo em alguma linha de visão na galáxia –, bloqueamos 1/10.000 da superfície do Sol, desse modo brevemente reduzindo a luz total do Sol em 1/10.000 de seu brilho normal. Até agora tudo bem. Eles descobrirão que a Terra existe, mas não saberão nada sobre o que acontece na superfície terrestre.

Ondas de rádio e micro-ondas poderiam funcionar. Talvez nossos espiões alienígenas tenham algo como o radiotelescópio de 500 metros da província de Guizhou, na China. Caso positivo, e se sintonizarem nas frequências corretas, certamente notarão a Terra – ou melhor, notarão nossa civilização moderna como uma das fontes mais luminosas no céu. Pense em tudo o que temos que gera ondas de rádio e micro-ondas: não apenas o rádio tradicional, propriamente dito, mas também transmissões de televisão, telefones celulares, fornos de micro-ondas, abridores automáticos de garagem, trancas eletrônicas de veículos, radares comerciais, radares militares e satélites de comunicação. Estamos ardendo em ondas de longa frequência – uma evidência espetacular de que algo incomum está acontecendo aqui, porque em seu estado natural pequenos planetas rochosos praticamente não emitem ondas de rádio.

Então, se esses espiões alienígenas virarem sua própria versão de um radiotelescópio na nossa direção poderão deduzir que nosso planeta apresenta tecnologia. Mas há um

complicador: outras explicações são possíveis. Talvez eles não conseguissem distinguir os sinais da Terra daqueles dos maiores planetas de nosso sistema solar, todos os quais são fontes consideráveis de ondas de rádio, especialmente Júpiter. Talvez pensassem que somos um novo tipo de bizarro planeta com ondas de rádio intensas. Talvez não conseguissem distinguir emissões de rádio da Terra daquelas do Sol, o que os obrigaria a concluir que o Sol é um novo tipo de estrela bizarra com ondas de rádio intensas.

Astrofísicos bem aqui na Terra, na Universidade de Cambridge, na Inglaterra, foram deixados similarmente perplexos em 1967. Enquanto estudavam os céus com um radiotelescópio em busca de qualquer fonte de fortes ondas de rádio, Antony Hewish e sua equipe descobriram algo extremamente bizarro: um objeto pulsando a intervalos precisos e constantes de pouco mais de um segundo. Jocelyn Bell, na época aluna de graduação de Hewish, foi a primeira a notar.

Logo os colegas de Bell determinaram que os pulsos vinham de uma grande distância. A ideia de que o sinal fosse tecnológico – outra cultura transmitindo evidências de suas atividades através do espaço – foi irresistível. Como Bell se lembra: “Não tínhamos provas de que aquilo fosse uma emissão de rádio totalmente natural... Ali estava eu, tentando conseguir um doutorado com uma nova técnica, e um bando lamentável de homenzinhos verdes tinha de escolher meu espaço aéreo e minha frequência para se comunicar conosco”.^[20] Contudo, após alguns dias ela descobriu outros sinais repetitivos vindo de outros pontos da nossa galáxia Via Láctea. Bell e seus colegas se deram conta de ter descoberto uma nova classe de objetos cósmicos – uma estrela composta inteiramente de nêutrons que pulsa com ondas de rádio a cada rotação que realiza. Hewish e Bell sensatamente os chamaram de “pulsares”.

Interceptar ondas de rádio não é a única forma de ser

enxerido. Também há a cosmoquímica. A análise química das atmosferas planetárias se tornou um campo vigoroso da astrofísica moderna. Como você pode imaginar, a cosmoquímica depende da espectroscopia – a análise da luz por intermédio de um espectrômetro. Ao explorar as ferramentas e as táticas dos espectroscopistas, os cosmoquímicos podem deduzir a presença de vida em um exoplaneta, independentemente de essa vida ter consciência, inteligência ou tecnologia.

O método funciona porque todo elemento, toda molécula – não importa onde exista no universo – absorve, emite, reflete e dissemina luz de um modo único. E como já discutimos, passe essa luz por um espectrômetro e você encontrará características que podem corretamente ser chamadas de digitais químicas. As digitais mais visíveis são deixadas pelas substâncias químicas mais afetadas pela temperatura e pressão do seu ambiente. Atmosferas planetárias são ricas nesses biomarcadores – evidências espectrais de vida. Sejam biogênicas (produzidas por quaisquer e todas as formas de vida), antropogênicas (produzidas pela espécie disseminada *Homo sapiens*) ou tecnogênicas (produzidas apenas pela tecnologia), essas amplas evidências serão difíceis de esconder.

A não ser que eles tivessem nascido com sensores espectroscópicos embutidos, nossos alienígenas bisbilhoteiros do espaço precisariam construir um espectrômetro para ler nossas digitais. Mas, acima de tudo, a Terra precisaria cruzar na frente do Sol (ou alguma outra fonte), permitindo que a luz passasse pela nossa atmosfera e seguisse até os alienígenas. Desse modo as substâncias químicas na atmosfera da Terra poderiam interagir com a luz, deixando suas marcas para que todos vissem.

Algumas moléculas – amônia, dióxido de carbono, água – aparecem em abundância no universo, com ou sem a presença de vida. Mas outras moléculas vicejam na presença de vida.

Outro biomarcador rapidamente detectado é o volume constante na Terra de moléculas de metano, $\frac{2}{3}$ do qual é produzido por atividades ligadas ao homem, como produção de óleo combustível, cultivo de arroz e esgotamento sanitário, e as eructações e os flatos de gado doméstico. Fontes naturais responsáveis pelo terço final incluem vegetação em decomposição em pântanos e emissões de cupins. Enquanto isso, em lugares onde o oxigênio livre é escasso, o metano nem sempre precisa de vida para existir. Neste momento, astrobiólogos estão debatendo a exata origem de resíduos de metano em Marte e o enorme volume de metano em Titã, lua de Saturno, onde presumimos que não vivam vacas nem cupins.

Se os alienígenas rastreiam nosso lado escuro enquanto orbitamos nossa estrela hospedeira, poderão notar um aumento de sódio, fruto do uso disseminado de lâmpadas de vapor de sódio que se acendem ao escurecer em municípios urbanos e suburbanos. Mais revelador, contudo, seria todo o nosso oxigênio livre, que compõe $\frac{1}{5}$ de nossa atmosfera.

Oxigênio – que, depois de hidrogênio e hélio é o terceiro elemento mais abundante no cosmos – é quimicamente ativo e se liga rapidamente a átomos de hidrogênio, carbono, nitrogênio, silício, enxofre, ferro e assim por diante. Ele se liga até a ele mesmo. Assim, para que exista oxigênio em estado constante, algo precisa estar liberando isso tão rápido quanto é consumido. Aqui na Terra a liberação é relacionada à vida. A fotossíntese realizada pelas plantas e muitas bactérias cria oxigênio livre nos oceanos e na atmosfera. Oxigênio livre, por sua vez, permite a existência de vida que metaboliza oxigênio, incluindo a nós e praticamente todas as outras criaturas no reino animal.

Nós, terráqueos, já sabemos o significado das distintas digitais químicas do nosso planeta. Mas alienígenas distantes que chegarem até nós terão de interpretar suas descobertas e testar suas suposições. O aparecimento periódico de sódio tem

de ser tecnogênico? Oxigênio livre certamente é biogênico. E quanto ao metano? Ele também é quimicamente instável, e, sim, parte dele é antropogênico, mas como vimos, o metano também tem agentes não vivos.

Se os alienígenas decidirem que as características químicas da Terra são certamente evidências de vida, talvez comecem a pensar se a vida é inteligente. Provavelmente os alienígenas se comunicam uns com os outros, e talvez presumam que outras formas de vida inteligente também se comunicam. Talvez seja o momento em que decidam bisbilhotar a Terra com seus radiotelescópios para descobrir qual parte do espectro eletromagnético seus habitantes dominaram. Então, quer os alienígenas explorem com química ou com ondas de rádio, poderão chegar à mesma conclusão: um planeta onde há tecnologia avançada tem de ser habitado por formas de vida inteligentes, que podem se ocupar descobrindo como o universo funciona e como aplicar suas leis para ganho pessoal ou público.

Examinando mais atentamente as digitais atmosféricas da Terra, os biomarcadores humanos também incluirão ácidos sulfúrico, carbônico e nítrico, e outros componentes da poluição causada pela queima de combustíveis fósseis. Se os alienígenas curiosos forem social, cultural e tecnologicamente mais avançados que nós, então certamente interpretarão esses biomarcadores como uma evidência convincente da ausência de vida inteligente na Terra.

*

O primeiro exoplaneta foi descoberto em 1995, e no momento em que isto estava sendo escrito a conta passava de 3 mil, a maioria encontrada em um pequeno bolsão da Via Láctea ao redor do sistema solar. Então há muitos mais de onde eles vieram. Afinal, nossa galáxia contém mais de 100 bilhões de

estrelas, e o universo conhecido abriga cerca de 100 bilhões de galáxias.

Nossa busca por vida no universo move a busca por exoplanetas, alguns dos quais lembram a Terra – não em detalhes, claro, mas nas propriedades gerais. As últimas estimativas, tendo como base o catálogo atual, sugerem até 40 bilhões de planetas como a Terra apenas na Via Láctea. São planetas que nossos descendentes poderão querer visitar um dia por escolha, se não por necessidade.

Reflexões sobre a perspectiva cósmica

De todas as ciências cultivadas pela humanidade, a astronomia é reconhecida por ser, e sem dúvida é, a mais sublime, a mais interessante e a mais útil. Pois graças ao conhecimento produzido por essa ciência não apenas a magnitude da Terra é descoberta [...] mas nossas próprias faculdades são ampliadas com a grandiosidade das ideias que ela transmite, nossas mentes exaltadas acima de [seus] preconceitos inferiores adquiridos.

JAMES FERGUNSON, 1757^[21]

Muito antes que alguém soubesse que o universo tivera um começo, antes que soubéssemos que a grande galáxia mais próxima ficava a 2 milhões de anos-luz da Terra, antes que soubéssemos como as estrelas funcionam ou que os átomos existiam, a introdução entusiasmada de James Ferguson à sua ciência preferida soava verdadeira. Mas suas palavras, descontados os floreios do século XVIII, poderiam ter sido escritas ontem.

Mas quem pensa assim? Quem celebra essa visão cósmica da vida? Não o trabalhador rural migrante. Não o operário com péssimas condições de trabalho. Certamente não o sem-

teto vasculhando o lixo em busca de comida. Você precisa do luxo do tempo não investido na simples sobrevivência. Você precisa viver em um país cujo governo valoriza o esforço para compreender o lugar da humanidade no universo. Você precisa de uma sociedade na qual o esforço intelectual pode levá-lo às fronteiras da descoberta e na qual as notícias de suas descobertas possam ser rotineiramente disseminadas. Segundo esses parâmetros, a maioria dos cidadãos dos países industrializados se sai bastante bem.

Mas a visão cósmica tem um preço embutido. Quando viajo milhares de quilômetros para passar alguns momentos na sombra da Lua em deslocamento rápido durante um eclipse solar total, às vezes perco a noção da Terra.

Quando paro para refletir sobre nosso universo em expansão, com suas galáxias disparando para longe umas das outras, mergulhadas no tecido tetradimensional do espaço-tempo sempre se esticando, às vezes me esqueço de que inúmeras pessoas caminham por esta Terra sem comida ou abrigo, e que as crianças estão desproporcionalmente representadas entre elas.

Quando estudo os dados que confirmam a misteriosa presença de matéria escura e energia escura por todo o universo, às vezes me esqueço de que todos os dias – a cada rotação de 24 horas da Terra – pessoas matam e são mortas em nome da concepção que outra tem de Deus, e que algumas pessoas que não matam em nome de Deus matam em nome das necessidades ou desejos de dogmas políticos.

Quando rastreio as órbitas de asteroides, cometas e planetas, cada um deles um dançarino dando piruetas em um balé cósmico coreografado pelas forças da gravidade, às vezes me esqueço de que há pessoas demais agindo em absoluto desrespeito para com a delicada interação entre a atmosfera, os oceanos e o solo da Terra, com consequências que nossos filhos e os filhos de nossos filhos irão testemunhar e pelo que pagarão com sua saúde e seu bem-estar.

E às vezes me esqueço de que as pessoas poderosas raramente fazem tudo o que podem para ajudar aquelas que não podem ajudar a si mesmas.

Eventualmente me esqueço dessas coisas porque, por maior que o mundo seja – em nosso coração, em nossa mente e em nossos enormes mapas digitais –, o universo é ainda maior. Uma ideia deprimente para alguns, mas para mim uma ideia libertadora.

Pense em um adulto que cuida dos traumas de uma criança: leite derramado, um brinquedo quebrado, um joelho ralado. Como adultos nós sabemos que crianças não têm noção do que é um verdadeiro problema, porque a inexperiência em grande medida limita sua perspectiva infantil. As crianças ainda não sabem que o mundo não gira ao redor delas.

Como adultos nós ousamos admitir que também temos uma visão imatura coletiva? Ousamos admitir que nossos pensamentos e comportamentos são fruto de uma crença em que o mundo gira ao redor de nós? Aparentemente não. Mas são muitas as evidências. Abra as cortinas dos conflitos raciais, étnicos, religiosos, nacionais e culturais da sociedade e você encontrará o ego humano girando os botões e puxando as alavancas.

Agora imagine um mundo em que todos, especialmente as pessoas com poder e influência, têm uma visão ampliada de nosso lugar no cosmos. Com essa perspectiva, nossos problemas encolheriam – ou nunca chegariam a surgir – e poderíamos festejar nossas diferenças terrenas, ao mesmo tempo que rejeitamos o comportamento de nossos predecessores que massacravam uns aos outros por causa deles.

*

Em janeiro de 2000, o recém-reconstruído, Planetário Hayden em Nova York, estreou um programa intitulado *Passport to the Universe*,^[22] que levava os visitantes em uma viagem virtual do planetário até o limite do cosmos. No caminho, a plateia via a Terra, depois o sistema solar, a seguir observava as 100 bilhões de estrelas da Via Láctea encolher paulatinamente até serem pontos quase invisíveis na cúpula do planetário.

Um mês depois da estreia, recebi uma carta de um professor de psicologia de uma universidade da Ivy League especializado em coisas que fazem as pessoas se sentirem insignificantes. Eu não sabia que alguém podia se especializar em um campo desses. Queria fazer uma pesquisa de antes e depois com os visitantes para avaliar a profundidade da depressão deles após ver o programa. *Passport to the Universe*, escreveu, produziu os sentimentos mais dramáticos de pequenez e insignificância que ele já havia experimentado.

Como poderia ser assim? Sempre que vejo o programa espacial (e outros que produzimos), me sinto vivo, animado e conectado. Também me sinto grande, sabendo que aquilo que acontece dentro do cérebro humano de pouco mais de um quilo é o que nos permitiu descobrir nosso lugar no universo.

Permitam-me sugerir que foi o professor, e não eu, que não soube ler a natureza. Para começar, seu ego era injustificadamente grande, inchado por ilusões de significância e alimentado por suposições culturais de que os seres humanos são mais importantes que tudo mais no universo.

Para ser justo com o sujeito, forças poderosas na sociedade deixam a maioria de nós suscetível. Assim como eu era até o dia em que aprendi na aula de biologia que há mais bactérias vivas e funcionando em 1 centímetro do meu cólon que o número de pessoas que já existiu no mundo. Esse tipo de informação faz com que você pense duas vezes sobre quem – ou o quê – realmente está no comando.

A partir daquele dia comecei a pensar nas pessoas não como os senhores do espaço e do tempo, mas como participantes de uma grande cadeia cósmica do ser, com uma ligação genética direta entre espécies tanto vivas quanto extintas que remonta quase 4 bilhões de anos até o primeiro organismo unicelular na Terra.

Eu sei o que você está pensando: somos mais inteligentes que as bactérias.

Não tenho dúvidas disso, somos mais inteligentes que todas as outras criaturas vivas que já correram, se arrastaram ou deslizaram pela Terra. Mas quão inteligente é isso? Cozinhamos nossa comida. Compomos poesia e música. Fazemos arte e ciência. Somos bons em matemática. Mesmo que você seja ruim em matemática, provavelmente é muito melhor nisso que o mais inteligente chimpanzé, cuja identidade genética varia da nossa apenas em pequenas formas. Por mais que tentem, os primatologistas nunca conseguirão levar um chimpanzé a fazer uma divisão longa ou trigonometria.

Se pequenas diferenças genéticas entre nós e nossos colegas macacos são responsáveis pelo que parece ser uma enorme diferença em inteligência, então talvez essa diferença em inteligência não seja absolutamente tão enorme.

Imagine uma forma de vida cujo poder cerebral é para o nosso o que o nosso é para o de um chimpanzé. Para uma espécie assim nossas grandes realizações mentais seriam banais. Seus filhos pequenos, em vez de aprender o ABC com Vila Sésamo, aprenderiam cálculo multivariável no Boulevard Booleano.^[23] Nossos teoremas mais complexos, nossas filosofias mais profundas, as obras estimadas de nossos artistas mais criativos seriam projetos escolares que as crianças levariam para que mamãe e papai colocassem na porta da geladeira com ímãs. Essas criaturas estudariam Stephen Hawking (que ocupa a mesma cátedra um dia ocupada por Isaac Newton na Universidade de Cambridge) por

ele ser ligeiramente mais inteligente que os outros humanos. Por quê? Ele consegue fazer astrofísica teórica e outros cálculos rudimentares de cabeça, como o pequeno Timmy, que acabou de chegar em casa de volta do jardim de infância alienígena.

Se uma enorme distância genética nos separasse de nosso parente mais próximo no reino animal, teríamos justificativa para festejar nosso brilhantismo. Poderíamos até ter o direito de circular achando ser distantes e diferentes de nossas outras criaturas. Mas não existe tal distância. Em vez disso, somos um com o resto da natureza, não estando nem acima nem abaixo, mas dentro.

Precisa de mais amaciante para o ego? Simples comparações de quantidade, tamanho e escala servem bem.

Pegue a água. É comum, e vital. Há mais moléculas de água em um copo de 240 mililitros do que há copos de água em todos os oceanos do mundo. Cada copo que passa por uma pessoa e acaba se juntando novamente ao suprimento mundial de água tem moléculas suficientes para adicionar 1.500 delas a cada outro copo de água no mundo. Não há como evitar: parte da água que você acabou de beber passou pelos rins de Sócrates, Gengis Kahn e Joana d'Arc.

E quanto ao ar? Igualmente vital. Uma única inspiração leva mais moléculas de ar do que há inspirações em toda a atmosfera da Terra. Isso significa que parte do ar que você acabou de respirar passou pelos pulmões de Napoleão, Beethoven, Abraham Lincoln e Billy the Kid.

Hora de chegar ao cosmos. Há mais estrelas no universo do que grãos de areia em qualquer praia, mais estrelas que os segundos que se passaram desde que a Terra foi formada, mais estrelas que palavras e sons já emitidos por todos humanos que já viveram.

Quer uma visão ampla do passado? Nossa perspectiva cósmica em expansão leva você lá. A luz leva tempo para chegar das profundezas do espaço até os observatórios da

Terra, de modo que você vê objetos e fenômenos não onde eles estão, mas onde eles estiveram antes, de volta quase até o começo do próprio tempo. Nesse horizonte de resolução, a evolução cósmica prossegue, à vista de todos.

Quer saber do que somos feitos? Novamente, a perspectiva cósmica oferece uma resposta maior do que você poderia esperar. Os elementos químicos do universo são forjados no fogo de estrelas de grande massa que encerram sua vida em explosões titânicas, enriquecendo suas galáxias hospedeiras com o arsenal químico da vida como a conhecemos. O resultado? Os elementos quimicamente ativos mais comuns no universo – hidrogênio, oxigênio, carbono e nitrogênio – são os quatro mais comuns da vida na Terra, com o carbono servindo como a base da bioquímica.

Não apenas vivemos neste universo. O universo vive dentro de nós.

Isso dito, podemos nem mesmo ser desta Terra. Várias linhas de pesquisa distintas, quando analisadas em conjunto, obrigaram os pesquisadores a reavaliar o que achamos que somos e de onde achamos ter vindo. Como já vimos, quando um grande asteroide atinge um planeta, as áreas vizinhas podem recuar com a energia do impacto, catapultando rochas para o espaço. De lá elas podem viajar para – e pousar em – outras superfícies planetárias. Em segundo lugar, microorganismos podem ser intrépidos. Extremófilos na Terra podem sobreviver nas grandes variações de temperatura, pressão e radiação encontradas durante a viagem espacial. Se a emissão rochosa de um impacto for de um planeta com vida, então uma fauna microscópica poderia ter se escondido nos nichos e dobras da rocha. Em terceiro lugar, evidências recentes sugerem que pouco depois da formação do nosso sistema solar, Marte era úmida, e talvez fértil, antes mesmo da Terra.

Em conjunto, essas descobertas nos dizem que é concebível que a vida tenha começado em Marte e depois semeado a vida

na Terra, um processo conhecido como panspermia. Então, todos os terráqueos poderiam ser – apenas poderiam – descendentes de marcianos.

*

Repetidamente ao longo dos séculos, descobertas cósmicas rebaixaram a imagem que temos de nós mesmos. Um dia supunha-se que a Terra era astronomicamente única, até os astrônomos aprenderem que a Terra é apenas outro planeta orbitando o Sol. Depois supusemos que o Sol era único, até aprendermos que as estrelas no céu noturno são elas mesmas sóis. Depois supusemos que nossa galáxia, a Via Láctea, era todo o universo conhecido, até ser estabelecido que as inúmeras coisas indistintas no céu são outras galáxias, salpicando a paisagem do nosso universo conhecido.

Hoje é fácil supor que esse universo é tudo o que há. Mas novas teorias da cosmologia moderna, bem como a improbabilidade constantemente reafirmada de que algo seja único, exigem que permaneçamos abertos ao último ataque à nossa alegação de singularidade: o multiverso.

*

A perspectiva cósmica flui do conhecimento fundamental. Porém diz respeito a mais do que aquilo sobre o que você sabe. É também sobre ter a sabedoria e a visão de empregar esse conhecimento para avaliar nosso lugar no universo. E seus atributos são claros:

A perspectiva cósmica vem das fronteiras da ciência, mas isso não diz respeito apenas ao cientista. Ela pertence a todos.

- A perspectiva cósmica é humilde.
- A perspectiva cósmica é espiritual – até mesmo redentora – , mas não religiosa.
- A perspectiva cósmica permite que compreendamos, no mesmo pensamento, o grande e o pequeno.
- A perspectiva cósmica abre nossa mente a ideias extraordinárias, mas não a deixa tão aberta a ponto de nosso cérebro escapar, tornando-nos suscetíveis a acreditar em qualquer coisa que nos digam.
- A perspectiva cósmica abre nossos olhos para o universo, não como um berço benevolente concebido para gerar a vida, mas como um lugar frio, solitário e perigoso, nos obrigando a reavaliar o valor de todos os humanos um para o outro.
- A perspectiva cósmica mostra a Terra como algo minúsculo. Mas um minúsculo precioso e, no momento, o único lar que temos.
- A perspectiva cósmica encontra beleza nas imagens de planetas, luas, estrelas e nebulosas, mas também celebra as leis da física que os moldam.
- A perspectiva cósmica nos deixa ver além de nossas circunstâncias, permitindo que transcendamos a busca primitiva por comida, abrigo e um parceiro.
- A perspectiva cósmica nos lembra que no espaço, onde não há ar, uma bandeira não tremula – um indício de que talvez agitar bandeiras e explorar o espaço não combinem.
- A perspectiva cósmica não apenas abraça nosso parentesco genético com toda a vida na Terra, mas também valoriza nosso parentesco químico com qualquer vida ainda por ser descoberta no universo, bem como nosso parentesco atômico com o próprio universo.

Pelo menos uma vez por semana, se não uma vez por dia, deveríamos todos refletir sobre quais verdades cósmicas não foram descobertas antes de nós, esperando a chegada de um pensador inteligente, uma experiência engenhosa ou uma missão espacial inovadora que as revele. Poderíamos refletir ainda mais sobre como essas descobertas podem um dia transformar a vida na Terra.

Na ausência dessa curiosidade, não somos diferentes do fazendeiro provinciano que não demonstra qualquer necessidade de se aventurar além da divisa do município porque seus 16 hectares atendem a todas as suas necessidades. Mas se nossos predecessores tivessem pensado assim, o fazendeiro em vez disso viveria em uma caverna, caçando seu jantar com um porrete e uma pedra.

Durante nossa breve estadia no planeta Terra, devemos a nós mesmos e a nossos descendentes a oportunidade de explorar – em parte porque é algo divertido de fazer. Porém há uma razão muito mais nobre. No dia em que nosso conhecimento do cosmos deixar de se expandir, correremos o risco de retornar à visão infantil de que o universo, figurativa e literalmente, gira ao redor de nós. Nesse mundo desolado, pessoas e nações armadas e com fome de recursos poderão ter a tendência a agir segundo seus “preconceitos inferiores adquiridos”. E isso seria o último soluço do iluminismo humano – até a ascensão de uma nova cultura visionária que mais uma vez abraçasse, no lugar do medo, a perspectiva cósmica.

AGRADECIMENTOS

Entre meus incansáveis editores literários ao longo dos anos em que estes ensaios foram escritos estão Ellen Goldensohn e Avis Lang na revista *Natural History* – ambas garantindo que, todas as vezes, eu dissesse o que pensava e pensasse o que tinha dito. Meu editor científico foi o amigo e colega de Princeton Robert Lupton, que sabia mais que eu em todos os lugares onde isso era mais importante. Agradeço também a Betsy Lerner, por sugestões ao original que melhoraram muito seu conteúdo.

ÍNDICE REMISSIVO

11 de setembro de 2001, ataques terroristas, 154
13123-Tyson (asteroide), 151
2010: O ano em que faremos contato (filme), 135
ácido carbônico, 164
ácido nítrico, 164
ácido sulfúrico, 164
agente primordial, 25
aglomerados de galáxias, 55, 64-65, 66
 forma dos, 122-123
 formação de, 47-48
 gás intra-aglomerado e, 56-57
 gravidade de, 67
 “relaxados”, 121-122
água, 98, 135, 155-156, 162, 174
Alemanha, 80
Alfa Centauri, 156
álgebra booleana, 173n
Alpher, Ralph, 42-43, 44
alumínio, 103
amônia, 162
Anã de Sagitário, 54
Andes, cordilheira, 135
Andrômeda, galáxia, 52
ano-luz, 20n
anti-elétrons, *ver pósitrons*, 18, 20-21
antimatéria, 16, 21
antiquark, 18, 19
Apollo, programa, 143
ar, 174
asteroides, 23, 24, 28, 69, 107-108, 111, 143-144, 150-151, 169,

175

astrofísica de raios gama, 137

astronomia, 167

Astrophysical Journal, 126n

Atacama Large Millimeter Array (Alma), 135

AT&T, 43

átomos, 167

formação de, 40

aurora, 148

bactérias, 171–172

bactérias anaeróbicas, 23

banquisas, 154

Beethoven, Ludwig von, 31

Bell, Jocelyn, 160

Bell Telephone Laboratories, 45, 53, 132, 133

Berry, Chuck, 31

Big Bang, 13, 26, 39, 42, 46, 69, 72, 90–91, 97, 99–101, 138,

biomarcadores, 161, 164

bioquímica, 175

bolhas de sabão, 113

bomba de hidrogênio, testes, 107

bombas atômicas, 42, 109, 111

Boole, George, 173n

Bose, Satyendra Nath, 17

bósons, 17

Braço de Órion, 22

buracos negros, 30, 35, 69, 81, 117, 138

cálcio, 28

Cambridge, Universidade de, 160, 173

campos gravitacionais 65, 68, 117, 141, 150

campos magnéticos, 99, 141, 145–146, 148

candelas, 87–88

carbono, 24, 28, 101–102, 103, 104, 175

carga elétrica, conservação da, 34
Carnegie Institution, 67
Case Western Reserve University, 73
Cassini, sonda, 150
causalidade, leis da, 37
Cavendish, Henry, 99
Cem autores contra Einstein, 83
Centro Europeu de Pesquisa Nuclear (CERN), 19r
Ceres, 108, 110, 111
cério, 108
Chile, 135
chimpanzés, 172
cianogênio, 45-46
cíclotron de Berkeley, 110
cintilador, 136
cinturão de asteroides, 108, 143-144
clarões terrestres de raios gama, 137
clima, 34
cloreto de prata, 127
cloreto de sódio, 98
cloro, 98
Coma, aglomerado, 65, 66, 67, 121
Coma Berenices, 65
cometas, 23, 24, 28, 34, 69, 71, 111, 144, 145, 150, 169
 de período longo 145
comprimento de onda, 131-132, 132n, 136
constantes *físicas* 32
 ver também constantes específicas
constante gravitacional, 99
Contato (filme), 135
controles, 126
Copérnico, Nicolau, 82
Coronte (lua), 147
cosmologia, 42-49, 176
cosmoquímica, 161

Cosmos: A SpaceTime Odyssey, 170n
constante cosmológica, 83, 85–87, 88, 92, 93
constante da estrutura fina, 29
Cretáceo–Paleógeno (K–Pg), limite, 107
crianças, 168–170
cristianismo, 27

Deep Space Network, 134
Deimos, 116
densidade crítica, 91
Deus, 25, 27, 169
deutério, 21
Dicke, Robert, 44–45
dinossauros, 24, 57, 81, 107
dióxido de carbono, 24, 103, 162
Druyan, Ann, 170n

$E = mc^2$, 16, 17, 19
Einstein, Albert, 13, 16, 35, 42, 59, 63, 64, 66, 67, 79, 80, 81, 82–85, 87–88, 122
 ajuste na lei da gravidade por, 35, 63
 experiências mentais de, 79–80
einstênio, 107
elementos, 97–112, 175
 como revelados nos espectros, 28
 pesados, 29
 ver também elementos específicos
eletromagnetismo, 15, 77
elétrons, 17, 18, 20, 21–22, 30, 39, 40, 47, 120, 138
energia, 13, 14, 15–16, 34, 63, 91, 115
 conservação de, 34
 do *vácuo*, 53, 60–61
 escura, 48, 79–95, 168
 medida de, 88–89
 quantizada, 14

Eniwetok, atol, 107
erupções vulcânicas, 154
esferas, 113–123
esferas achatadas, 119
esferoides oblatos, 119
esferoides prolatos, 119
espaço intergaláctico, 51–61
espaço interplanetário, 141, 143, 149
espaço-tempo, 63, 81, 84*n*, 85, 94, 123, 168
espectro eletromagnético, 128, 136, 164
espectrômetro, 126*n*, 161
espectros, 28–29, 73
Estação Espacial Internacional, 153–154
Estados Unidos, 36, 100, 102, 109, 111, 134, 136, 137
estrelas, 116–117, 167, 176
 desgarradas, 53, 56
 espectros de, 28–29
 espectros de, vermelhas, 103–104
 extra-galácticas, 55–56,
 ferro criado em, 104
 formação de elementos em, 22–23, 97–101, 104, 175
 lóbulo de Roche de, 117
 luminosidade de, 32
 número de, 174
 sacudidas periódicas de, 157
estrelas binárias
 espectro de, 29–30
 lóbulo de Roche de, 117
estrelas vermelhas:
 espectro das, 103–104
 tecnécio em, 106
éter, 73–74
Europa (lua), 147
Everest, monte, 107, 116
exoplanetas, 74, 153, 156–158, 161

primeiro descoberto, 164
experiências com cloreto de gálio, 105
Explorer xi, satélite, 136
extinções, 24, 107, 144, 150
extremófilos, 175

Faraday, Michael, 146
Ferguson, James, 167, 167n
ferro, 28, 104-105, 142
Finnegans Wake (Joyce), 17

física

atômica, 42
baseada em laboratório x teórica, 80
quântica, 61, 73, 92

Fobos, 116

fome, 179

força

centrífuga, 118, 119
eletrofraca, 15, 16
fraca, 15

forças armadas americanas, 100

forças nucleares

fortes, 15, 16, 76-77
fracas, 15

fósforo, 107

fótons, 15, 16, 19-21, 24, 39-41, 46-47

infravermelhos, 40

luz visível, 39-40

fotossíntese, 163

frequência, 128, 130, 132, 132n, 135-136, 138, 159-160

Friedmann, Alexander, 83

furacões, 154

galáxias, 72, 167-168

antigas, 57

- colisões de, 54–55
- distorção de, 59
- formação de, 22
- halos de matéria escura e, 68
- matéria escura e, 71
- número de, 51
- número de estrelas em, 54–55
- origens dos nomes de, 52
- ricas em gás, 56–57
- velocidade de recessão de, 88, 122
- velocidade orbital de, 67–68

- galáxias anãs, 53–55, 57
 - número de, 53–54
 - número de estrelas em, 54
- galáxias azuis fracas, 53, 57
 - galáxias espirais, velocidade orbital em, 68
- “Galaxy and the Seven Dwarfs, The” (Tyson), 53
- gálio, 105
- Galle, John, 110
- Gamow, George, 42, 44
- Gell-Mann, Murray, 17
- geradores termoelétricos de
 - radioisótopos (GTRs), 111
- germânio, 105
- gigantes vermelhas, 117
- Golfo do México, 154
- Gott, J. Richard, 43
- Grande Colisor de Hádrons, 19
- grande G, *ver* gravitação constante de, 32
- Grande Mancha Vermelha, 34
- Grande Muralha da China, 154
- Grande Nebulosa de Andrômeda, *ver*
 - Andrômeda, galáxia, 52
- Grandes Pirâmides de Gizé, 154

gravidade, 13, 14, 15, 27-28, 34-35, 47, 48, 59, 72
 “ação à distância”, 63, 84
 de aglomerados de galáxias, 66-67
 e esferas, 115-117, 121
 energia escura e, 49, 79, 88-89
 “excesso”, 64
 lei de Newton da, 27, 29, 32, 35-36, 65, 84, 150
 matéria escura e, 63, 70, 71-72, 75, 77-78
 superficial, 120
gravidade quântica, 14
Guerra do Golfo Pérsico (1991), 154
Guerra Fria, 137
Guth, Alan H., 90

hádrons, 19, 21
Hale-Bopp (cometa), 145
Halley, cometa, 145
halos de matéria escura, 68
Hawking, Stephen, 173
Hayden Planetarium, 170, 191
hélio, 21, 29, 69-70, 76, 99-101, 104, 163
Hélíos (deus), 100
Herman, Robert, 42, 44
Herschel, William, 109, 125-127, 127n, 139, 148
hertz, 128
Hertz, Heinrich, 128
Hewish, Antony, 160
hidrogênio, 21, 28, 31, 58, 60, 69-70, 76, 99-100, 163, 175
Himalaia, 115
Hiroshima, 109, 111
Homo sapiens, 25, 81, 161
Hubble, Edwin P., 42, 85, 88, 122
Hyakutake (cometa), 145

iluminação pública, 102-103

Instituto de Tecnologia da Califórnia, 64
Instituto de Tecnologia de Massachusetts, 90
inteligência, 172-173
interferômetro, 134-135
Io (lua), 147
irídio, 106-107

Jansky, Karl G., 131-133, 133ⁿ
Jodrell Bank Observatory, 133-134
Johns Hopkins University, 86
Joyce, James, 17
Júpiter (deus), 109
Júpiter (planeta), 34, 99, 108, 109, 143, 147, 148, 150
 campo gravitacional de, 150
 campo magnético de, 145-146
 como fonte de ondas de rádio, 159 luas de, 147

Kepler, telescópio, 158
Kitt Peak National Observatory, 102
Kuiper, Gerard, 144
Kuiper, cinturão de, 111, 144-145
Kuwait, 154

lambda, *ver* constante cosmológica,
lâmpadas, 41, 87, 102-103, 111, 162
Lawrence Berkeley Laboratório Nacional, 86
Le Verrier, Joseph, 110
LED, lâmpadas, 41, 102,
Leeuwenhoek, Antonie van, 127, 127ⁿ
leis da conservação, 34
Lemaître, Georges, 42
lentes gravitacionais, 59
léptons, 16, 19
Levy, David, 150-151
lítio, 21, 101

Lowell Observatory, 110
Lua, 27, 108, 143, 146-147
 formação da, 142
 vista da Terra desde a, 154-155
luas, 71, 146-148
Lucrécio, 13
luz infravermelha, 127, 128, 157
luz, velocidade da, 16, 33-34, 122
luz visível, 127, 129, 130
 temperatura da, 125-126
 ver também espectro eletromagnético

Magalhães, Fernão de, , 52
mamíferos, 24-25
máquinas de moto perpétuo, 36
máquinas do tempo, 37
marcadores
 antropogênicos, 161, 163
 biogênicos, 161, 163
 tecnogênicos, 161, 163
Marte, 108, 116, 142, 143, 155, 175-176
 metano em, 162
matéria escura, , 34-35, 48, 53, 56, 59, 63-77, 89, 90, 91, 121-122, 168-169
 como éter, 73-74
 detecção de, 75-76
 discrepância entre matéria comum e 71
 e volume relativo de hidrogênio e hélio, 69-70
 efeitos de, 72, 74, 77
 fusão nuclear e, 69-70
 gravidade total da, 70-71
massa, conservação da, 34
“massa perdida”, problema da, 64
matéria, 13, 16-18, 48, 63-64, 71-72, 89, 91
 acumulação de, 47-48,

maior fonte de, 20
ver também matéria escura
matéria-antimatéria, pares, 60
matéria-antimatéria, pares de partículas, 15-16
Mather, John C., 45
McKinley, monte, 116
mecânica quântica, 14, 93
mercúrio (elemento), 109
Mercúrio (planeta), 109, 143, 148
metano, 162, 163
meteoros, 141-143
Michelson, Albert, 73
micro-ondas, 40-41, 42, 43-47, 128, 132, 135, 138, 158-159
 fornos de, 135-136
Miranda (lua), 148
MK 1 (radiotelescópio), 133-134
modelos científicos, 82
moléculas orgânicas, 23
momento, conservação do, 34, 37
montanhas, 115-116
Morley, Edward, 73
multiverso, 25, 74, 122-123, 176
Nagasaki, 111
nanossegundo, 39*n*,
Nasa, 136, 137, 158
natureza humana, 36
nebulosas, análise espectral de 30
 nebulium, 30
netúnio, 110
Netuno, 109, 110, 141, 144, 145, 155,
neutrinos, 16, 18, 76, 77, 105
nêutrons, 17, 19, 21, 104, 120, 160
nitrogênio, 28, 104, 175
núcleos atômicos, 21
nuvens de hidrogênio, 58

Nuvens de Magalhães, 52, 54
nuvens escuras, 69
Newton, Isaac, 27, 29, 32, 35–36, 63–64, 65, 66, 84, 99, 125, 150, 167*n*, 173

Observatório de Ondas Gravitacionais por Interferômetro a Laser (Ligo), 81*n*
Observatório de Raios Gama Compton, 137
Oceano Atlântico, 154
Oceano Pacífico, 156
Olimpo, monte, 116
ômega, 89–91
ondas
 de rádio, 41, 128, 130, 131, 132, 133, 138, 158–159, 160, 164
 gravitacionais, 81–82
 sonoras, 74
Oort, Jan, 145
Oort, nuvem de, 145
organismos
 aeróbicos, 24
 unicelulares, 24, 81, 127
ósio, 106
óxido de titânio, 104
oxigênio, 23–24, 28, 98, 101, 103–104, 162–163, 175
 em nebulosas, 30
ozônio, 24
Paládio, 108
Palas, 108, 111
panspermia, 176
Parada do Dia de Ação de Graças da Macy's, 100
partículas
 carregadas de alta energia, 53, 60
 subatômicas, 14–15, 60,
 virtuais, 60, 92
Pasadena, Califórnia, 37

Passport to the Universe, 170, 170ⁿ
Península de Yucatán, 24
Penzias, Arno, 43–45, 132
Perlmutter, Saul, 86–87, 89
perspectiva cósmica, 167, 174–175, 177–179
“Perturbações elétricas aparentemente de origem
extraterrestre” (Jansky), 133ⁿ
Piazzi, Giuseppe, 108
picossegundo, 39, 39ⁿ
Pioneer, 31
Planck, Max,
Planck, era, 14–15
planetas, 22–23, 27–28, 71, 169
solitários, 69,
plasma, 30
platina, 106
plutinos, 145
Plutão, 109, 110–111, 144, 147
plutônio, 110–111
poluição luminosa, 102
ponto de última deflexão, 46
Pope, Alexander, 148
pósitrons, 18, 20–21
primatas, 24–25, 81
Princeton, universidade, 44–45
prismas, 28, 125
Projeto Manhattan, 42
prótons, 17, 19, 21, 40, 60, 70, 101, 104, 109, 120
pulsares, 119–120, 130, 160
quark-antiquark, pares, 19
quarks, 16–19, 21
carga de, 17
forças de atração entre, 17–18
origem do nome dos, 17
subespécies de, 16–17

quasares, 57-58
distorção dos, 59,

radioastronomia, 133

radiotelescópios, 131-135, 138, 158-159, 160

raios, 137

raios cósmicos, 60

raios gama, 128, 130, 136-138

raios X, , 105, 128, 129-130, 138

Reber, Grote, 133

recessão, 88, 122

Reino Unido, 136,

relatividade, teoria geral da, 13, 14, 35, 42, 59, 67, 80, 82-87,
93

resolução, 131

Riess, Adam, 86, 89

Roche, Édouard, 117

Roche, lóbulo de, 117

rolamentos, 114

Rubin, Vera, 67-68

rubis-estrela, 104

radiação cósmica de fundo, 40

radiação cósmica de fundo em microondas (CMB) 41-50, 132,
138

cianogênio e, 45-46

picos em, 41

primeira observação direta de, 43-46

temperatura de, 42-43

variações de temperatura no, 47

safiras-estrela, 104

Sagan, Carl, 155, 170n

sal, 98, 102

satélites, 149

Saturday Night Live, 31

Saturno, 104, 119, 146, 148, 150, 162
Schmidt, Brian, 86–87, 89
Segunda Guerra Mundial, 42, 80, 111
selênio, 108
sem-teto, 168
Shakespeare, William, 148
Shoemaker, Carolyn, 151
Shoemaker–Levy 9 (cometa), 34
silício, 102, 163,
sistema solar, 141–151
Smoot, George F., 45,
Socorro, Novo México, 134
sódio, 98, 102–103, 162–163
Soter, Stephen, 170n
Sputnik 1, 134
Sol, 22–24, 28–29, 32, 69, 73, 74, 146, 155, 157–158, 159, 176
 assinaturas químicas do, 28–29
 energia emitida pelo, 73
 hélio produzido no, 99–100
 massa perdida por segundo pelo, 148
 neutrinos do, 76
Star Trek: A nova geração, 130
superfície de último desvio/deflexão, 46, 47
supernovas, 55–56, 86–88, 105, 129–130

Tabela Periódica dos Elementos, 29, 30, 97, 98–99, 102, 104,
 107, 108, 110–112
taxas de rotação, 118–120
tecnécio, 106
Telescópio Espacial Hubble, 109, 148
Telescópios, 52, 128–139
 rádio, 131–136
 resolução de, 131
telescópios infravermelhos, 138
telúrio, 108

termodinâmica, leis da, 34
termonuclear, fusão, 22, 73, 100
Terra, 23, 27-37, 71, 81, 82, 85, 99-116, 132-151, 153-165, 167-179
 atmosfera da, 135, 142, 149, 162, 174
 aurora na, 148
 calotas polares geladas da, 156
 como esfera, 115
 forma da, 119
 formação da, 22-25
 geração de ondas de rádio e micro-ondas na, 158
 gravidade superficial da, 71
 impactos de asteroides na, 24, 107
 impactos de meteoros na, 142, 143
 rotação sincronizada com a Lua 146-47
 velocidade orbital da, 65
 visão da, desde o espaço , 115
tensão superficial, 113, 114, 115, 116
testes nucleares, 136, 137
Thor (deus) 109
Titã (lua), 104
Titânio, 103, 104
Titãs (deuses), 104
Tombaugh, Clyde, 110
Tório, 109
Transformers (filme), 135
Tratado de Proibição Parcial de Testes Nucleares , 136
Trítio, 21
Tucson, Arizona, 102

ultravioleta, luz (UV), 128, 130
União Soviética, 134, 136
universalidade das leis físicas, 32
universo
 acumulação de matéria no, 47

assimetria do, 19
como esfera , 122
como máquina do tempo, 37
densidade matéria-energia do 89
era Planck do, 15
era quark-lépton do, 17
expansão do, 20, 39, 40, 42, 46, 79, 84, 85, 88, 89, 90, 93,
94, 122, 168
expansão inicial e resfriamento do, 13-26
opacidade do, 39, 40, 46
transição de quark a hádron no, 19
vazio intergaláctico do, 46, 51, 52, 72
urânio, 109, 110
Urano, 109, 110, 125, 148

vapor de água, 136
Velas (satélites), 137
velocidade de fuga, 65, 66
vento solar , 148
Vênus, 107, 148, 150
Very Large Array, 134
Very Long Baseline Array, 135
Via Láctea, 22, 28, 31, 46, 51, 53, 64, 66, 68, 74, 75, 85, 88,
94, 171, 176
achataada, 117, 118, 121
exoplanetas na, 164, 165
galáxia anã consumida por , 54
ondas de rádio emitidas pela, 132, 160
supernovas na, 130
Virgem, Superaglomerado de, 22
Voyager, 31, 155

Wheeler, John Archibald, 84
Wilson, Robert, 43, 44, 45, 132
World Trade Center, 154,

Zona Cachinhos Dourados, 23
Zwicky, Fritz, 64, 65, 66, 67

SOBRE O AUTOR

Neil deGrasse Tyson é astrofísico do Museu Americano de História Natural de Nova York, onde também é diretor do Planetário Hayden. Formado na prestigiosa Bronx High School of Science, tem bacharelado em física em Harvard e doutorado em astrofísica em Columbia. Mora em Manhattan com a família.

- 1 Centro Europeu de Pesquisa Nuclear, mais conhecido pela sigla em francês cern.
- 2 Um ano-luz é a distância que a luz percorre em um ano terrestre – quase 10 trilhões de quilômetros.
- 3 Você, a princípio, poderia realizar esse feito caso conseguisse uma descarga poderosa e contínua de flatulência.
- 4 Um nanossegundo é um bilionésimo de segundo. Um picossegundo é um trilionésimo de segundo.
- 5 A. A. Penzias e R. W. Wilson, “A Measurement of Excess Antenna Temperature at 4080 Mc/s”, *Astrophysical Journal* 142 (1965): 419–21.
- 6 Bilhete manuscrito, citado em Károly Simonyi, *A cultural history of physics* (Boca Raton, Flórida: crc Press, 2012).
- 7 O Observatório de Ondas Gravitacionais por Interferômetro Laser (Ligo, na sigla em inglês), em Hanford, Washington, e Livingston, Louisiana.
- 8 R. Israel, E. Ruckhaber, R. Weinmann *et al.*, *Hundert autoren gegen Einstein* (Leipzig: R. Voigtlanders Verlag, 1931).
- 9 Geodesia é uma palavra desnecessariamente elegante para a menor distância entre dois pontos em uma superfície curva – ampliada, neste caso, para ser a distância mais curta entre dois pontos no tecido tetradimensional curvo do espaço-tempo.
- 10 Na faculdade eu fiz o curso de John Wheeler sobre relatividade geral (onde conheci minha esposa) e ele dizia isso com frequência.
- 11 Para os mais antigos, essa camada era antes conhecida como limite Cretáceo-Terciário (K-T).
- 12 Na verdade, a Terra é meu planeta preferido. Depois Saturno.
- 13 Apenas em meados dos anos 1800, quando o espectrômetro do físico foi aplicado a problemas astronômicos, o astrônomo se tornou um astrofísico. Em 1895 foi lançado o prestigioso *Astrophysical Journal*, com o subtítulo “Um periódico internacional sobre espectroscopia e física astronômica”.
- 14 William Herschel, “Experiments on solar and on the terrestrial Rays that occasion heat”, *Philosophical transactions of the royal astronomical society*, 1800, 17.

15 Antonie van Leeuwenhoek, carta à Royal Society de Londres, 10 de outubro de 1676.

16 Todas as ondas seguem uma equação simples: $velocidade = frequência \times comprimento\ de\ onda$. A uma velocidade constante, se aumentar o comprimento de onda, a onda em si terá frequência menor, e vice-versa, de modo que quando os dois fatores são multiplicados, recupera-se a mesma velocidade de onda todas as vezes. Isso funciona para luz, som e mesmo torcedores fazendo a “ola” em estádios – qualquer coisa que seja uma onda viajando.

17 Karl Jansky, “Electrical disturbances apparently of extraterrestrial origin”, *Proceedings of the institute for radio engineers* 21, no 10 (1933): 1387.

18 “Pico” é o prefixo para um trilionésimo.

19 Não, não é Plutão. Supere isso.

20 Jocelyn Bell, *Annals of the New York Academy of Sciences* 302 (1977): 685.

21 James Ferguson, *Astronomy Explained Upon Sir Isaac Newton’s Principles, And Made Easy To Those Who Have Not Studied Mathematics* (Londres, 1757).

22 *Passport to the Universe* foi escrito por Ann Druyan e Steven Soter, também coautores da minissérie da Fox de 2014, *Cosmos: A SpaceTime Odyssey*, apresentada por este autor. Eles também se juntaram a Carl Sagan na minissérie original da pbs, de 1980, *Cosmos: A Personal Voyage*.

23 Álgebra booleana é um ramo da matemática que atribui valores de verdadeiro ou falso em suas variáveis, normalmente representadas como 0 e 1, e é a base do mundo da computação. Recebeu o nome do matemático inglês do século XVIII George Boole.