

**STEPHEN
HAWKING
BURACOS
NEGROS**

PALESTRAS DA BBC REITH LECTURES



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."



Você pode encontrar mais obras em nosso site: Epubr.club e baixar livros exclusivos [neste link](#)



Stephen Hawking

BURACOS NEGROS

PALESTRAS DA BBC REITH LECTURES

Introdução e notas de David Shukman,
editor de ciências da BBC News

Tradução de Cássio de Arantes Leite

Revisão técnica de Amâncio Friaça
Astrofísico do Instituto de Astronomia,
Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP



Texto © Stephen Hawking, 2016

Publicado inicialmente por Transworld Publishers, uma divisão de The Random House Group Ltd.

TÍTULO ORIGINAL

Black Holes: The BBC Reith Lectures

“Buracos negros não têm cabelo?” [“Do Black Holes Have No Hair?”] foi uma palestra transmitida originalmente pela BBC Radio4 em 26 de janeiro de 2016; “Buracos negros não são tão negros quanto se diz” [“Black Holes Ain’t as Black as They Are Painted”] foi uma palestra transmitida pela BBC Radio4 em 2 de fevereiro de 2016.

PREPARAÇÃO

Ângelo Lessa

REVISÃO

Victor Almeida

Luara França

ILUSTRAÇÕES

Cognitive (wearecognitive.com), para BBC Radio4

ARTE DE CAPA

Julio Moreira

FOTO DA CONTRACAPA

© Eleanor Bentall/Corbis/Latinstock

REVISÃO DE E-BOOK

Vanessa Goldmacher

GERAÇÃO DE E-BOOK

Intrínseca

E-ISBN

978-85-510-0100-4

Edição digital: 2017

1ª edição

Todos os direitos desta edição reservados à
Editora Intrínseca Ltda.

Rua Marquês de São Vicente, 99/3^o andar
22451-041 – Gávea
Rio de Janeiro – RJ
Tel./Fax: (21) 3206-7400
www.intrinseca.com.br



intrinseca.com.br

SUMÁRIO

[Folha de rosto](#)

[Créditos](#)

[Mídias sociais](#)

[Introdução de David Shukman](#)

[1. Buracos negros não têm cabelo?](#)

[2. Buracos negros não são tão negros quanto se diz](#)

[Apêndice: Cabelos macios em buracos negros](#)

[Sobre Stephen Hawking](#)

[Sobre David Shukman](#)

[Leia também](#)

INTRODUÇÃO
de David Shukman

Tudo sobre Stephen Hawking é fascinante: a provação de um gênio preso em um corpo enfermo; o leve sorriso iluminando o rosto em que apenas um músculo se mexe; a voz robótica inconfundível que nos convida a partilhar do júbilo da descoberta conforme sua mente perambula pelos recantos mais estranhos do universo.

Contra todas as possibilidades, essa figura notável transcendeu as fronteiras comuns da ciência. Seu livro *Uma breve história do tempo* vendeu surpreendentes 10 milhões de exemplares em todo o mundo. Participações em famosas séries de comédia na TV, convites para a Casa Branca e um aclamado filme sobre a vida de Hawking ratificaram sua condição de celebridade. Ele se tornou nada menos que o cientista mais famoso do mundo.

Na década de 1960, foi diagnosticado com uma doença do neurônio motor, e deram-lhe dois anos de vida. Mais de meio século depois, no entanto, ele continua a pesquisar, escrever, viajar e participar regularmente dos noticiários. Ao explicar essa energia extraordinária, sua filha, Lucy, descreve-o como alguém “completamente obstinado”.

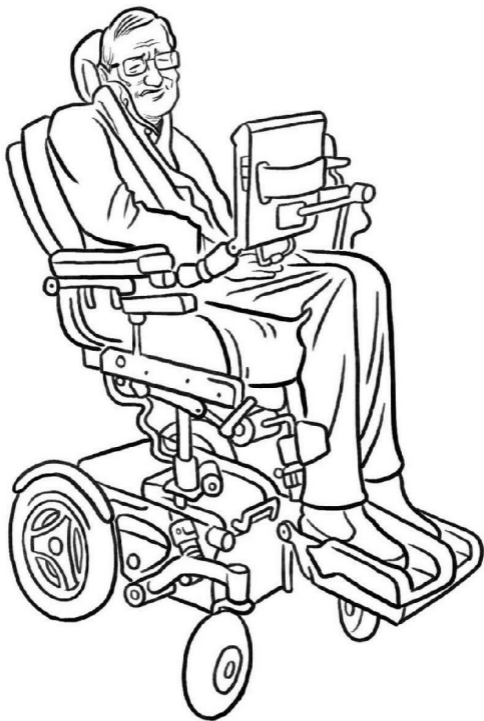
Seja pela história sofrida, seja pela capacidade de entusiasmar, Stephen Hawking arrebatou nossa imaginação. Recentemente, ele advertiu que a humanidade estava ameaçada por uma série de desastres criados por nós mesmos — do aquecimento global aos vírus artificiais. No dia em que deu esse aviso, o artigo que reproduzia suas palavras foi o mais lido no site da BBC.

É uma enorme ironia que um comunicador tão notável não possa ter uma conversa regular. Para conceder entrevistas, ele precisa receber as perguntas de antemão. Há alguns anos, sua equipe me pediu que não tentasse jogar conversa fora com ele, pois demora muito para Hawking responder até as perguntas mais simples. No entanto, empolgado por encontrá-lo, não consegui me conter e soltei um “Como vai?”. Como resultado, fiquei me remoendo de culpa enquanto esperava a resposta. Ele estava bem.

Na sala de Hawking, em Cambridge, há uma lousa repleta de equações. Equações matemáticas complexas são o que há de mais comum na cosmologia. Mas a contribuição ímpar de Stephen Hawking para a pesquisa científica está na abordagem de especialidades aparentemente muito distintas: no caso mais famoso, ele foi o primeiro a investigar o vasto domínio do espaço por meio de técnicas científicas concebidas para estudar as partículas minúsculas que compõem o interior

dos átomos.

Talvez seus colegas nesse campo terrivelmente complexo receiem que seus trabalhos nunca cheguem à compreensão geral. Contudo, a marca registrada de Hawking é sua luta para alcançar um público mais amplo. Em 2016, na BBC Reith Lectures, série de palestras anuais proferidas por grandes nomes da ciência atual promovida pela BBC e transmitida pela rádio BBC4, de Londres, ele enfrentou o desafio de resumir toda uma vida de insights sobre buracos negros em duas transmissões de quinze minutos. E, para aqueles que são curiosos mas se sentem perdidos, ou são fascinados pelas ideias mas não se sentem confortáveis com a ciência, acrescentei notas nos trechos cruciais para dar uma ajudinha.



BURACOS NEGROS NÃO TÊM CABELO?

Palestra transmitida em 26 de janeiro de 2016

Dizem que às vezes a realidade é mais estranha que a ficção. Em nenhum lugar isso é mais verdadeiro que no caso dos buracos negros. Os buracos negros são mais estranhos que qualquer coisa já sonhada por escritores de ficção científica, mas são fatos do mundo da ciência. A comunidade científica demorou a perceber que estrelas massivas podiam entrar em colapso sob o peso da própria gravidade e também a cogitar como os objetos resultantes desse colapso se comportariam. Albert Einstein chegou a escrever um artigo em 1939 alegando que as estrelas não podiam entrar em colapso sob a gravidade, porque a matéria não podia ser comprimida além de certo ponto. Muitos cientistas compartilhavam dessa intuição de Einstein. A principal exceção foi o cientista americano John Wheeler, que de muitas maneiras é o herói da história dos buracos negros. Nos trabalhos que escreveu durante os anos 1950 e 1960, Wheeler frisou que muitas estrelas acabariam entrando em colapso e discorreu sobre os problemas que essa possibilidade causava à física teórica. Ele também previu diversas propriedades dos objetos resultantes dessas estrelas — ou seja, dos buracos negros.

David Shukman (DS): A expressão “buraco negro” é bastante simples, mas é difícil imaginar um deles por aí no espaço. Pense em um ralo gigante onde a água escoar em espiral. Quando qualquer coisa desliza para a beirada desse ralo — o que chamamos de “horizonte de eventos” —, não há volta. Os buracos negros são tão poderosos que até a luz é sugada, e por isso não podemos de fato vê-los. Os cientistas sabem de sua existência porque buracos negros destroem as estrelas que se aproximam demais e porque podem enviar vibrações através do espaço. Foi uma colisão entre dois buracos negros há mais de 1 bilhão de anos que provocou as “ondas gravitacionais”, fenômeno detectado recentemente e considerado uma notável conquista científica.

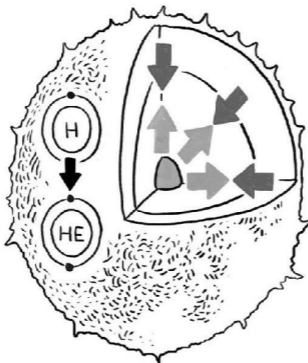
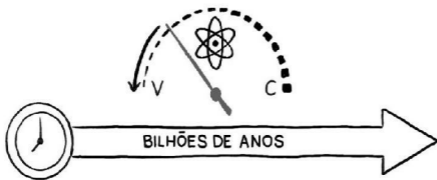
Durante a maior parte de sua vida de bilhões de anos, uma estrela normal se sustenta contra sua própria gravidade pela pressão térmica resultante de processos nucleares que convertem hidrogênio em hélio.

DS: A NASA descreve as estrelas como painéis de pressão. A força

explosiva da fusão nuclear em seu interior cria uma pressão para fora que é contrabalançada pela gravidade, que puxa tudo de volta para dentro.

Um dia, porém, a estrela vai esgotar seu combustível nuclear e se contrair. Em alguns casos, ela consegue se sustentar e se torna uma “anã branca”. Entretanto, em 1930, o físico Subrahmanyam Chandrasekhar provou que a massa máxima de uma estrela anã branca é cerca de 1,4 vez a do sol. Um cálculo similar de massa máxima foi feito por Lev Landau, físico soviético, para uma estrela formada inteiramente por nêutrons.

DS: Anãs brancas e estrelas de nêutrons já foram sóis, mas, em algum momento, esgotaram seu combustível. Sem nenhuma força agindo para inflá-las, nada consegue impedir sua atração gravitacional de fazê-las encolher, e elas se tornaram alguns dos objetos mais densos do universo. Contudo, no contexto geral das estrelas, elas são relativamente pequenas, o que significa que não têm a força gravitacional necessária para entrar em colapso completo. Assim, para Stephen Hawking e outros cientistas, é mais interessante entender o que acontece com as estrelas colossais quando chegam ao fim da vida.



ESTRELA NORMAL

GRAVIDADE



PRESSÃO
TÉRMICA

Então, qual seria o destino dessas incontáveis estrelas com massa maior que uma anã branca ou uma estrela de nêutrons depois de exaurirem seu combustível nuclear? O problema foi investigado por Robert Oppenheimer, que tempos depois ficou famoso pela construção da bomba atômica. Em dois artigos de 1939, escritos com George Volkoff e Hartland Snyder, Oppenheimer mostrou que uma estrela como essa não pode ser sustentada de dentro para fora por sua pressão interna. Além disso, provou que, se deixarmos a pressão de lado na hora de realizar os cálculos, uma estrela uniforme, esfericamente sistemática e simétrica se contrairia até se transformar em um único ponto de densidade infinita. Tal ponto é chamado de singularidade.

DS: A singularidade é o que acontece quando uma estrela gigante é comprimida até se tornar um ponto inimaginavelmente pequeno. Esse conceito tem sido um tema essencial na carreira de Stephen Hawking. Refere-se não só ao fim de uma estrela como também a uma ideia muito mais fundamental sobre o ponto de partida para a formação de todo o universo. Foi o trabalho matemático de Hawking sobre isso que lhe rendeu reconhecimento mundial.

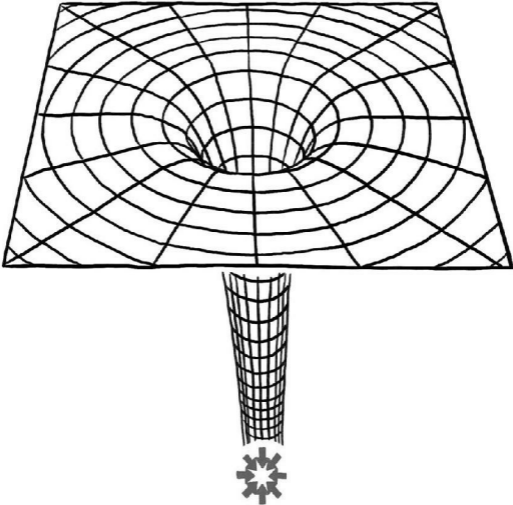
Todas as nossas teorias sobre o espaço foram formuladas com o pressuposto de que o espaço-tempo é liso e quase achatado, portanto não se aplicariam na singularidade, onde a curvatura do espaço-tempo é infinita. Na verdade, a singularidade assinala o fim do próprio tempo. Era isso que Einstein achava tão inadmissível.

DS: A Teoria da Relatividade Geral de Einstein diz que os objetos distorcem o espaço-tempo que os rodeia. Imagine uma bola de boliche em cima de uma cama elástica, deformando o material e fazendo objetos menores deslizarem em sua direção. Assim se explica o efeito da gravidade. Mas, se as curvas no espaço-tempo se tornam cada vez mais acentuadas, e por fim infinitas, as regras normais do espaço e do tempo deixam de valer.

Então veio a Segunda Guerra Mundial. A maioria dos cientistas, inclusive Robert Oppenheimer, desviou seu foco para a física nuclear e, com isso, a questão do colapso gravitacional ficou praticamente esquecida. O interesse pelo assunto renasceu com a descoberta de objetos distantes

chamados quasares.

DS: Os quasares são os objetos mais brilhantes do universo e possivelmente os mais distantes detectados até hoje. O nome significa “fonte de rádio quase estelar”, e acredita-se que sejam discos de matéria girando em torno de buracos negros.



O primeiro quasar, 3C273, foi descoberto em 1963. Logo em seguida, muitos outros foram descobertos. Eram muito brilhantes, apesar da distância. A produção de energia do quasar não podia ser explicada por processos nucleares, porque estes liberam apenas uma quantidade minúscula de sua massa de repouso como energia pura. A única alternativa era a energia gravitacional, que é liberada pelo colapso gravitacional. E dessa forma os colapsos gravitacionais das estrelas acabaram sendo redescobertos.

Já estava claro que uma estrela perfeitamente esférica se contrairia até chegar a um ponto de densidade infinita, uma singularidade. No entanto, as equações de Einstein não funcionam em uma singularidade. Isso quer dizer que nesse ponto de densidade infinita não é possível prever o futuro, o que significa que algo estranho pode acontecer quando uma estrela entra em colapso. Não seríamos afetados pelo fracasso dessa previsão se as singularidades fossem nuas, isto é, não estivessem ocultadas do observador externo.

DS: Uma singularidade “nua” é um cenário teórico em que uma estrela entra em colapso, mas um horizonte de eventos não se forma em torno dela. Dessa forma, a singularidade seria visível.

Quando John Wheeler cunhou o termo “buraco negro” em 1967, este substituiu o nome anterior, “estrela congelada”. O novo nome enfatizava que os restos de estrelas colapsadas são interessantes por si só, independentemente do modo como se formaram. O nome pegou rápido. Sugeriu algo escuro e misterioso. Mas os franceses perceberam um significado mais indecente. Por anos, eles resistiram ao nome *trou noir*, alegando que era obsceno. Mas isso foi um pouco como se insurgir contra o uso da expressão *le weekend* e outros anglicismos comuns entre os franceses. No fim, tiveram de dar o braço a torcer. Quem poderia ir contra um nome tão vitorioso?

De fora, não dá para dizer o que há dentro de um buraco negro. Você pode jogar aparelhos de TV, anéis de diamante ou até seus piores inimigos dentro de um, mas o buraco negro só vai lembrar sua massa total, seu estado de rotação e sua carga elétrica. John Wheeler é conhecido por expressar esse princípio com a seguinte máxima: “Um buraco negro não tem cabelo.” Para os franceses, isso só serviu para confirmar as suspeitas.

UM BURACO NEGRO
NÃO TEM CABELO

UH
LA LA!

TROU NOIR EST
OBSCÈNE!



~~ESTRELA CONGELADA~~

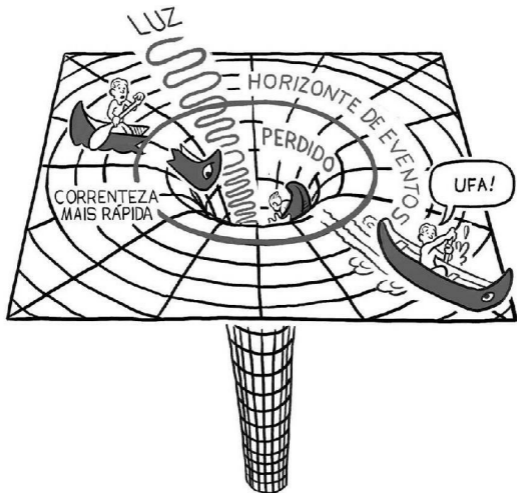
BURACO NEGRO

O buraco negro tem uma fronteira chamada horizonte de eventos. Nesse lugar a gravidade é forte o bastante apenas para puxar a luz de volta e impedir que escape. Como nada pode viajar mais rápido que a luz, tudo o mais também é puxado. Cair no horizonte de eventos é um pouco como descer as cataratas do Niágara numa canoa. Se você estiver acima da queda-d'água, poderá escapar se remar com velocidade suficiente, mas, se chegar à beirada, será o seu fim. Não tem mais volta. À medida que se aproxima da cascata, a correnteza fica mais veloz. Isso significa que a frente da canoa é puxada com mais força que a parte de trás. A canoa corre risco de se partir. O mesmo se dá com buracos negros. Se você cai em um deles primeiro com os pés, a gravidade os puxa com mais força que sua cabeça, porque eles estão mais próximos do buraco negro. Como resultado, você é esticado longitudinalmente e esmagado lateralmente. Se a massa do buraco negro for algumas vezes maior que a do nosso sol, você será dilacerado e transformado em espaguete antes mesmo de chegar ao horizonte. Contudo, se cair na direção de um buraco negro muito maior, de massa 1 milhão de vezes maior que a do sol, chegará ao horizonte sem dificuldade. Portanto, se você pretende explorar o interior de um buraco negro, escolha um dos grandes. Há um buraco negro com massa de cerca de 4 milhões de vezes a do sol no centro da nossa Via Láctea.

DS: Os cientistas acreditam que existem buracos negros imensos no centro de praticamente todas as galáxias — uma ideia impressionante, considerando, antes de mais nada, quão recente é a confirmação da existência desses objetos.

Você não notaria nada de extraordinário ao cair em um buraco negro, mas alguém que assistisse à cena de longe nunca veria você atravessar o horizonte de eventos. Em vez disso, o observador teria a impressão de que você perdeu velocidade e pairou no limiar externo. Sua imagem ficaria cada vez mais fraca e avermelhada, até você efetivamente sumir de vista. Quem visse de fora pensaria que você estava perdido para sempre.

DS: Como nenhuma luz escapa de um buraco negro, é impossível alguém assistir de verdade a sua queda. No espaço, ninguém pode ouvir você gritar; e, em um buraco negro, ninguém pode ver você desaparecer.



Em 1970 uma descoberta matemática levou a um enorme avanço na nossa compreensão desses misteriosos fenômenos. Segundo ela, a área de superfície do horizonte de eventos aumenta quando matéria ou radiação cai no buraco negro. Essa propriedade sugere que existe uma similaridade entre a área do horizonte de eventos de um buraco negro e a física newtoniana convencional, mais especificamente o conceito de entropia da termodinâmica. A entropia pode ser vista como uma medida da desordem de um sistema ou a falta de conhecimento sobre seu estado preciso. A famosa Segunda Lei da Termodinâmica diz que a entropia sempre aumenta com o tempo. A descoberta de 1970 foi o primeiro indício dessa ligação crucial.

DS: Entropia é a tendência em que tudo que é dotado de ordem fica mais desordenado com o passar do tempo. Exemplo: tijolos cuidadosamente arrumados para formar uma parede (baixa entropia) acabarão numa pilha desordenada de pó (alta entropia). Esse processo é descrito pela Segunda Lei da Termodinâmica.

Embora a ligação entre a entropia e a área do horizonte de eventos fosse clara, não sabíamos ao certo como essa área podia ser identificada como a entropia de um buraco negro propriamente dito. O que poderia significar a entropia de um buraco negro? A sugestão crucial foi feita em 1972 por Jacob Bekenstein, mestrando da Universidade de Princeton que mais tarde trabalhou na Universidade Hebraica de Jerusalém. É assim: quando um buraco negro é criado pelo colapso gravitacional, ele rapidamente se acomoda em um estado estacionário, que se caracteriza por apenas três parâmetros: a massa, o momento angular (estado de rotação) e a carga elétrica. Além dessas três propriedades, o buraco negro não preserva nenhum outro detalhe do objeto que sofreu o colapso.

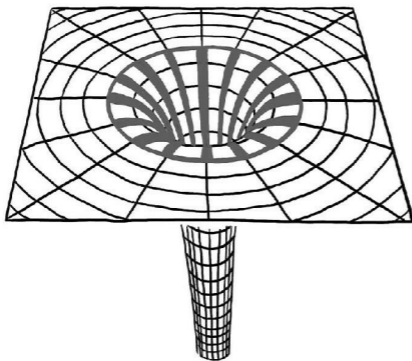
Esse teorema traz implicações para a informação, no sentido que a informação tem para o cosmólogo: a ideia de que toda partícula e toda força no universo têm uma resposta implícita para uma pergunta cujas respostas só podem ser sim ou não.

DS: Informação, nesse contexto, significa todos os detalhes de cada partícula e cada força associadas a um objeto. Quanto mais desordenada for uma coisa — quanto maior sua entropia —, mais informação será necessária para descrevê-la. Como o físico e radialista Jim Al-Khalili exemplificou, um baralho com as cartas

misturadas tem mais entropia que um não embaralhado. Assim, para descrevê-lo é necessário haver muito mais informação.

O teorema de Bekenstein implica que muita informação se perde em um colapso gravitacional. Por exemplo, para o estado final de buraco negro, não importa se o corpo que sofreu o colapso era composto de matéria ou antimatéria, se era esférico ou altamente irregular. Em outras palavras, um buraco negro com massa, momento angular e carga elétrica quaisquer poderia ter sido formado pelo colapso de uma de muitas configurações da matéria — inclusive qualquer um de muitos tipos de estrela. Na verdade, deixando os efeitos quânticos de lado, o número de configurações seria, em tese, infinito, uma vez que o buraco negro poderia ter sido formado pelo colapso de uma nuvem com número de partículas indefinidamente grande de massa indefinidamente pequena. Mas será que o número de configurações pode mesmo ser infinito? É aí que entram os efeitos quânticos.

HORIZONTE DE EVENTOS



MASSA



MOMENTO
ANGULAR



CARGA
ELÉTRICA

O princípio da incerteza da mecânica quântica sugere que somente partículas com comprimento de onda menor que o do próprio buraco negro poderiam formar um buraco negro. Isso significa que o leque de comprimentos de onda seria limitado, não poderia ser infinito.

DS: Concebido pelo famoso físico alemão Werner Heisenberg na década de 1920, o princípio da incerteza determina que nunca conseguimos localizar ou prever a posição exata das menores partículas. Assim, no que é chamado de escala quântica, a natureza apresenta uma imprecisão, algo muito diferente do universo precisamente ordenado descrito por Isaac Newton.

Desse modo, parece que, embora seja muito alto, o número de configurações capazes de formar um buraco negro de massa, momento angular e carga elétrica quaisquer pode ser finito. Jacob Bekenstein sugeriu que, a partir desse número finito, poderíamos deduzir a entropia de um buraco negro. Ela seria uma medida da quantidade de informação que foi irreversivelmente perdida durante o colapso que formou o buraco negro.

A falha na sugestão de Bekenstein foi que, se um buraco negro apresenta uma entropia finita proporcional à área de seu horizonte de eventos, também deve ter uma temperatura finita, que seria proporcional à gravidade de sua superfície. Assim, um buraco negro poderia estar em equilíbrio no que diz respeito à radiação térmica, em temperaturas diferentes de zero. No entanto, segundo os conceitos clássicos, esse equilíbrio não é possível, uma vez que o buraco negro absorveria toda a radiação térmica que caísse nele, mas, por definição, seria incapaz de emitir algo de volta. Ele não pode emitir nada. Não pode emitir calor.

DS: Se a informação se perde, que aparentemente é o que acontece em um buraco negro, deve haver liberação de energia. No entanto, isso contraria a teoria de que nada sai dos buracos negros.

PRINCÍPIO DA INCERTEZA



HEISENBERG

PARTÍCULA

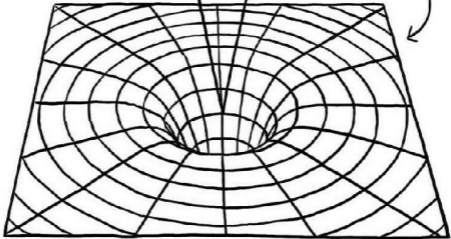


COMPRIMENTO
DE ONDA



MENOR

DO QUE O PRÓPRIO
BURACO NEGRO



PODERIA FORMAR
UM BURACO NEGRO



Isso é um paradoxo. Voltarei a ele na minha palestra seguinte, quando falarei de como os buracos negros desafiam o princípio mais básico sobre a previsibilidade do universo e a infalibilidade da história, e perguntar o que aconteceria se você fosse sugado por um deles.

DS: Assim Stephen Hawking nos conduziu por uma jornada científica que começou com a afirmação de Einstein de que as estrelas não podiam entrar em colapso, passou pela admissão da realidade dos buracos negros e chegou a um conflito de teorias sobre como essas estranhas regiões do espaço se formam e funcionam.

BURACOS NEGROS NÃO SÃO TÃO NEGROS QUANTO SE DIZ
Palestra transmitida em 2 de fevereiro de 2016



Ao fim da minha palestra anterior deixei um suspense no ar: um paradoxo sobre a natureza dos buracos negros, os objetos incrivelmente densos criados pelo colapso de estrelas. Uma teoria sugeria que buracos negros com qualidades idênticas podiam ser formados por um número infinito de diferentes tipos de estrelas. Outra, sugeria que a quantidade de tipos possíveis podia ser finita. Isso é um problema de informação, ou seja, a ideia de que toda partícula e toda força no universo contém uma solução implícita para uma questão cuja resposta só pode ser sim ou não.

Como os “buracos negros não têm cabelo” — para usar a expressão do cientista John Wheeler —, de fora não podemos dizer o que há dentro de um buraco negro, com exceção de sua massa, seu estado de rotação e sua carga elétrica. Isso significa que um buraco negro esconde muita informação do mundo exterior. Se essa quantidade depende do tamanho do buraco, seria de esperar, com base nos princípios gerais, que o buraco negro tivesse temperatura e brilhasse como uma barra de metal incandescente. Mas isso era impossível, porque, como todos sabiam, nada podia sair de um buraco negro. Ou assim se pensava.

Esse paradoxo persistiu até o início de 1974, quando eu estava investigando como seria o comportamento da matéria perto de um buraco negro, de acordo com a mecânica quântica.

DS: Mecânica quântica é a ciência que trata de tudo aquilo extremamente pequeno e procura explicar o comportamento de partículas minúsculas. Elas não agem segundo as leis criadas por Isaac Newton que governam os movimentos de objetos muito maiores, como planetas. Um dos pioneirismos de Stephen Hawking foi usar a ciência que investiga o muito pequeno para estudar o muito grande.

Para minha grande surpresa, descobri que o buraco negro parecia emitir partículas de um modo contínuo. Como todos na época, eu aceitava a máxima de que um buraco negro não podia emitir coisa alguma. Logo, eu me esforcei bastante para tentar me livrar desse efeito constrangedor. No entanto, quanto mais eu pensava a respeito de tal efeito, mais ele se recusava a sumir, de modo que, no fim, tive de aceitá-lo. O que finalmente me convenceu de que se tratava de um processo físico real foi o fato de que os comprimentos de onda das partículas que saíam eram

precisos em termos de temperatura. Meus cálculos previam que um buraco negro criaria e emitiria partículas e radiação exatamente como se fosse um corpo aquecido comum, com temperatura proporcional a sua gravidade de superfície e inversamente proporcional a sua massa.

DS: Esses cálculos foram os primeiros a mostrar que um buraco negro não precisava ser uma via de mão única para um beco sem saída. Nada mais lógico que as emissões sugeridas pela teoria ficassem conhecidas como Radiação Hawking.

Desde então, uma série de pesquisadores usou diversas abordagens para comprovar matematicamente que buracos negros emitem radiação térmica. Simplificando, a mecânica quântica sugere que a totalidade do espaço é preenchida com pares de partículas e antipartículas virtuais, que se materializam em pares, se separam, se juntam outra vez e se aniquilam, tudo isso em um processo contínuo.

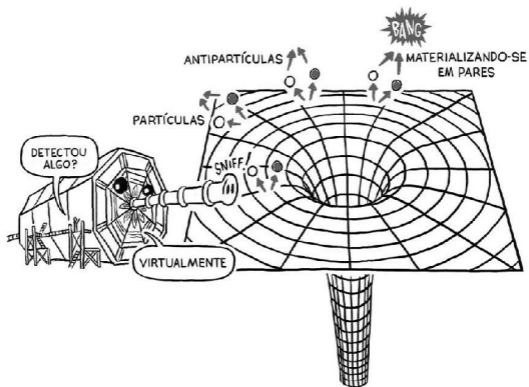
DS: Esse conceito gira em torno da ideia de que o vácuo nunca está totalmente vazio. Segundo o princípio da incerteza da mecânica quântica, sempre existe a chance de que partículas passem a existir, por menor que seja o período. E isso envolveria sempre pares de partículas, com características opostas, surgindo e desaparecendo.

Essas partículas são chamadas de “virtuais” porque, ao contrário das partículas reais, não podem ser observadas diretamente com um detector de partículas. De qualquer forma, é possível medir seus efeitos indiretos, e sua existência foi confirmada por um pequeno desvio, chamado deslocamento de Lamb, que elas produzem nos níveis de energia do espectro da luz emitida por átomos de hidrogênio excitados. Na presença de um buraco negro, um membro de um par de partículas virtuais pode cair no buraco, deixando o outro sem o companheiro necessário para a aniquilação mútua. A partícula ou antipartícula abandonada pode cair no buraco negro depois de sua parceira, mas também pode escapar para o infinito, onde parece se manifestar como radiação emitida pelo buraco negro.

DS: O ponto central aqui é que a formação e o desaparecimento dessas partículas normalmente passam despercebidos. Mas, se o

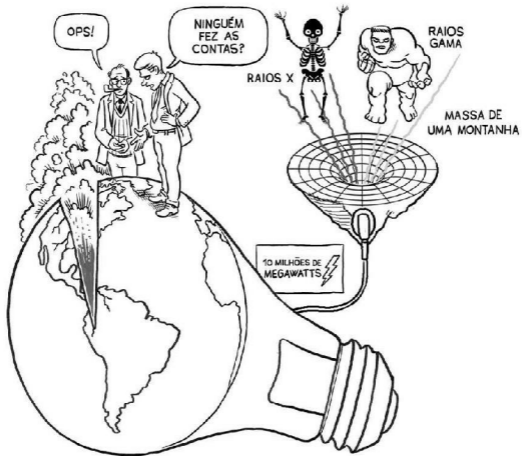
processo acontece bem no limite de um buraco negro, um membro do par pode ser arrastado para dentro, enquanto o outro, não. Um observador teria a impressão de que a partícula está sendo “cuspidá” pelo buraco negro.

Um buraco negro com a massa do sol vazaria partículas a uma taxa tão reduzida que não seríamos capazes de detectar o processo. No entanto, poderia haver “miniburacos negros” bem menores com a massa de, digamos, uma montanha. Um buraco negro do tamanho de uma montanha emitiria raios X e raios gama a uma taxa de cerca de 10 milhões de megawatts — o suficiente para fornecer eletricidade para todo o planeta Terra. No entanto, não seria nada fácil tirar proveito de um miniburaco negro. Ele não poderia ser mantido em uma usina de energia, porque atravessaria o chão e pararia no centro do planeta. Se tivéssemos um buraco negro desses, talvez o único modo de mantê-lo sob controle seria deixá-lo orbitando a Terra.



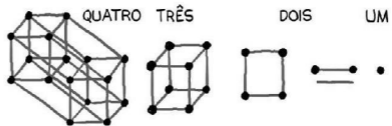
Os cientistas têm procurado miniburacos negros com essa massa, mas até o momento não encontraram nenhum. O que é uma pena, porque se alguém tivesse conseguido eu ganharia um Prêmio Nobel! De qualquer forma, outra possibilidade é que talvez sejamos capazes de criar microburacos negros nas dimensões extras do espaço-tempo.

DS: Essas “dimensões extras” se referem a algo além das três dimensões com as quais estamos familiarizados no dia a dia, além da quarta dimensão, o tempo. A ideia surgiu como parte de um esforço para explicar por que a gravidade é tão mais fraca que outras forças, como o magnetismo: talvez ela também tenha de operar em dimensões paralelas.

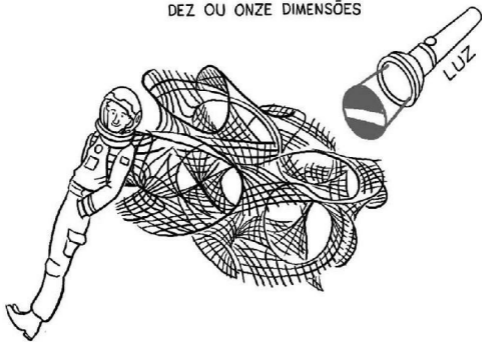


Segundo algumas teorias, o universo que vivenciamos é apenas uma superfície quadridimensional em um espaço com dez ou onze dimensões. O filme *Interestelar* dá uma ideia de como isso funcionaria. Nós não veríamos essas dimensões extras porque a luz não se propagaria por elas, mas apenas pelas quatro dimensões do nosso universo. A gravidade, porém, afetaria as dimensões extras e seria muito mais forte nelas que em nosso universo. Isso facilitaria muito a formação de um pequeno buraco negro nas dimensões extras. Talvez seja possível observar esse fenômeno no Grande Colisor de Hádrons (Large Hadron Collider, LHC), que fica na Organização Europeia para a Pesquisa Nuclear (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire, CERN), na Suíça. Ele consiste de um túnel circular com 27 quilômetros de comprimento. Dois feixes de partículas viajam por esse túnel em direções opostas e são levados a colidir. Algumas colisões talvez criem microburacos negros, que irradiariam partículas em um padrão fácil de reconhecer. Assim, pode ser que eu consiga meu Prêmio Nobel, afinal!

DS: O Prêmio Nobel de física é concedido quando uma teoria passa pelo “teste do tempo”, ou seja, quando é confirmada de maneira irrefutável. Por exemplo, Peter Higgs foi um dos cientistas que, na década de 1960, sugeriu a existência de uma partícula que daria sua massa às demais partículas. Quase cinquenta anos depois, dois detectores do Grande Colisor de Hádrons identificaram sinais do que veio a ser chamado de bóson de Higgs. Foi um triunfo da ciência e da engenharia, de uma teoria brilhante e da evidência obtida com dificuldade. Com isso, Peter Higgs e François Englert (um cientista belga) receberam o prêmio em conjunto. Ainda não foi encontrada nenhuma comprovação física da Radiação Hawking, e alguns cientistas sugerem que será difícil detectá-la. Mesmo assim, com os buracos negros sendo estudados de forma cada vez mais detalhada, talvez um dia surja a confirmação.



DEZ OU ONZE DIMENSÕES



Quando as partículas escapam de um buraco negro, o buraco perde massa e encolhe. Isso aumenta a taxa de emissão de partículas. No fim, o buraco negro perde toda a massa e desaparece. E o que acontece então com todas as partículas e os azarados astronautas que caíram no buraco negro? Eles não podem simplesmente reaparecer quando o buraco negro sumir. Como eu já disse, a informação sobre o que caiu ali dentro se perde, com exceção da quantidade total de massa, o estado de rotação e a carga elétrica. Mas, se a informação de fato é perdida, surge um problema sério que bate de frente com aquilo que entendemos da ciência.

Por mais de duzentos anos, temos acreditado no determinismo científico, ou seja, que as leis da ciência determinam a evolução do universo. Esse princípio foi formulado por Pierre-Simon Laplace, que afirmou que, se conhecemos o estado do universo em dado instante, as leis da ciência o determinarão em todos os momentos futuros e passados. Dizem que Napoleão perguntou a Laplace como Deus se encaixava nesse cenário, ao que Laplace teria respondido: “Senhor, não tenho necessidade dessa hipótese.” Acho que Laplace não estava alegando que Deus não existia — apenas que Ele não quebraria as leis da ciência. Esse deve ser o posicionamento de todo cientista. Uma lei científica não está totalmente fundamentada na ciência se vigora apenas quando um ser sobrenatural decide deixar as coisas se desenrolarem sem sua intervenção.

No determinismo de Laplace, a pessoa precisava conhecer as posições e velocidades de todas as partículas em dado instante para prever o futuro. Mas também precisamos levar em consideração o princípio da incerteza, articulado por Werner Heisenberg em 1923, que está no âmago da mecânica quântica.

Segundo o princípio da incerteza, quanto maior a precisão com que conhecemos as posições das partículas, menor a precisão com que podemos saber de suas velocidades, e vice-versa. Em outras palavras, é impossível conhecer tanto as posições quanto as velocidades de forma exata. Assim, como podemos prever o futuro de maneira precisa? A resposta é que, embora não possamos prever as posições e velocidades separadamente, podemos prever o “estado quântico”. A partir dele é possível calcular as posições e velocidades com determinado grau de precisão. Dessa forma, continuaríamos esperando que o universo fosse determinista, tendo em vista que, se conhecêssemos o estado quântico do universo em dado instante, as leis da ciência deveriam possibilitar a previsão em qualquer outro instante.

DS: O que começou como uma explicação do que acontece em um horizonte de eventos aprofundou-se em uma exploração de alguns dos temas filosóficos mais importantes da ciência — do mundo mecânico de Newton, passando pelas leis de Laplace e alcançando as incertezas de Heisenberg — e dos pontos em que são desafiados pelo mistério dos buracos negros. Resumindo, embora na Teoria da Relatividade Geral de Einstein a informação que entra em um buraco negro seja destruída, a teoria quântica afirma o contrário.

Se a informação se perdesse em buracos negros, não seríamos capazes de prever o futuro, pois dessa forma um buraco negro poderia emitir qualquer conjunto de partículas, desde um aparelho de TV funcionando a um exemplar encadernado em couro com as obras completas de Shakespeare, embora a chance de emissões tão exóticas quanto essas seja ínfima. Talvez pareça que não faz grande diferença se somos ou não capazes de prever o que sai dos buracos negros. Afinal, não existem buracos negros perto de nós. Mas é uma questão de princípio. Se o determinismo — a previsibilidade do universo — não funciona com buracos negros, ele poderia deixar de funcionar também em outras situações. Pior: se o determinismo não funciona, também não podemos ter certeza do nosso passado histórico. Os livros de história e nossas lembranças poderiam não passar de ilusão. É o passado que nos diz quem somos; sem ele, perdemos nossa identidade.

Assim, era fundamental determinar se a informação realmente se perdia nos buracos negros ou se, em tese, podia ser recuperada. Muitos cientistas achavam que a informação não se perdia, mas ninguém era capaz de sugerir um mecanismo que a mantivesse preservada. O debate prosseguiu por anos. Por fim, encontrei o que acredito ser a resposta. Ela depende da ideia de Richard Feynman, que diz que, em vez de uma única história, existem muitas histórias possíveis, cada uma com sua probabilidade específica. Nesse caso, há dois tipos de história: em uma, existe um buraco negro no qual as partículas podem cair; em outra, não existe buraco negro.

A questão é que, de fora, não podemos ter certeza se o buraco negro existe ou não. Sempre há uma chance de que não exista. Essa possibilidade basta para preservar a informação, mas ainda assim a informação não é devolvida de uma forma muito útil. É como queimar uma enciclopédia. A informação não se perde caso você guarde as cinzas, mas fica impossível de ler. O cientista Kip Thorne e eu apostamos com outro físico, John Preskill, que a informação se perderia nos buracos

negros. Quando descobri como ela podia ser preservada, admiti a derrota. Para pagar a aposta, dei uma enciclopédia a Preskill. Talvez devesse ter lhe dado as cinzas.



**MUITO
BAIXAS**



EMITIR
QUAISQUER
CONJUNTOS DE
PARTÍCULAS



DS: Na teoria, e com uma visão puramente determinista do universo, podemos queimar uma enciclopédia e depois reconstituí-la — se conhecermos as características e a posição de cada átomo que compõe cada molécula de tinta e papel e mantivermos controle sobre tudo isso o tempo todo.

Atualmente, estou trabalhando com meu colega de Cambridge, Malcolm Perry, e com Andrew Strominger, de Harvard, em uma nova teoria baseada em uma ideia matemática chamada supertradução, com o objetivo de explicar o mecanismo pelo qual a informação é devolvida por um buraco negro. Segundo nossa teoria, a informação fica codificada no horizonte do buraco negro. Aguardem!

DS: Após a gravação das palestras transcritas neste livro, o professor Hawking e seus colegas publicaram um artigo para explicar matematicamente como a informação pode ficar armazenada no horizonte de eventos. Segundo essa teoria, a informação é transformada em um holograma bidimensional, num processo conhecido como supertradução. O artigo, intitulado “Soft Hair on Black Holes” [Cabelos macios em buracos negros], oferece um vislumbre bastante revelador da linguagem hermética desse campo — como mostra a reprodução do resumo ao fim desta palestra — e do desafio dos cientistas em tentar explicá-la.

O que isso nos diz quanto à possibilidade de cair em um buraco negro e sair em outro universo? A existência de histórias alternativas com e sem buracos negros sugere que talvez isso seja possível. O buraco precisaria ser grande e, se estivesse em rotação, poderia conter uma passagem para outro universo. Mas você não poderia voltar para o nosso universo. Assim, embora eu adore viagens espaciais, não vou tentar fazer isso.



DS: Se um buraco negro estiver em rotação, talvez seu centro não consista de uma singularidade, um ponto infinitamente denso. Pode ser que a singularidade esteja na forma de um anel. O que nos leva a especular sobre a possibilidade de não só cair em um buraco negro, como também viajar por um. Isso significaria ir embora do universo tal como o conhecemos. E Stephen Hawking conclui com um pensamento fascinante: talvez haja algo do outro lado.

Minha mensagem aqui, então, é que os buracos negros não são tão negros quanto se diz. Não são as prisões eternas que um dia se conjecturou. As coisas podem sair de um buraco negro, tanto neste universo quanto possivelmente em outro. Assim, se você sente que está em um buraco negro, não desista: existe uma saída!

Apêndice

CABELOS MACIOS EM BURACOS NEGROS

Stephen W. Hawking¹, Malcolm J. Perry¹ e Andrew Strominger²

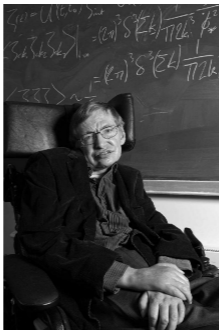
¹ *DAMTP, Centre for Mathematical Sciences [Centro de Ciências Matemáticas], Universidade de Cambridge, Reino Unido*

² *Center for the Fundamental Laws of Nature [Centro de Leis Fundamentais da Natureza], Universidade Harvard, Estados Unidos*

RESUMO

Foi demonstrado recentemente que simetrias de supertradução BMS [Bondi, van der Burg, Metzner, Sachs] implicam um número infinito de leis de conservação para todas as teorias gravitacionais em espaços-tempos assintoticamente minkowskianos. Essas leis exigem que os buracos negros comportem grande quantidade de cabelos de supertradução macios (i.e., energia zero). De um modo similar, a presença de um campo de Maxwell implica a existência de cabelos macios elétricos. Este artigo faz uma descrição explícita de cabelos macios em termos de grávitons ou fótons moles no horizonte do buraco negro e mostra que a informação completa sobre o estado quântico deles é armazenada em uma placa holográfica na fronteira futura do horizonte. A conservação de carga é usada para fornecer um número infinito de relações exatas entre os produtos de evaporação dos buracos negros com diferentes cabelos macios, porém de outro modo idênticos. Argumenta-se ainda que cabelos macios localizados espacialmente dentro de muito menos do que o comprimento de um Planck não podem ser excitados em um processo fisicamente realizável, fornecendo um número efetivo de graus de liberdade macios proporcional à área do horizonte nas unidades de Planck.

SOBRE STEPHEN HAWKING

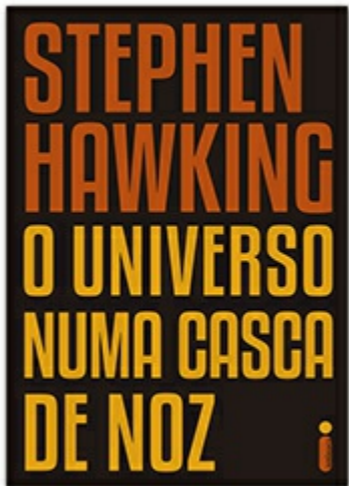


STEPHEN HAWKING foi por trinta anos professor lucasiano da Universidade de Cambridge — uma das mais prestigiosas cátedras de matemática do mundo, já ocupada por Isaac Newton — e, atualmente, é diretor de pesquisa do Departamento de Matemática Aplicada e Física Teórica e fundador do Centro de Cosmologia Teórica da universidade. Considerado um dos físicos mais importantes da história, recebeu inúmeros prêmios e honrarias, incluindo a Medalha Presidencial da Liberdade, a maior condecoração civil dos Estados Unidos. Seus livros para o público geral incluem *Uma breve história do tempo*, *O universo numa casca de noz* e a autobiografia *Minha breve história*, lançados pela Intrínseca, e também *O grande projeto* e a coletânea de ensaios *Buracos negros, universos-bebês*.


SOBRE DAVID SHUKMAN

David Shukman, autor da Introdução e das notas deste livro, é editor de ciências da BBC News e cobre assuntos científicos e ambientais desde 2003. Suas reportagens vão desde o lançamento do último ônibus espacial americano até as descobertas do Grande Colisor de Hádrons. Colaborador regular do *News at Ten* da BBC, Shukman é também autor de três livros.

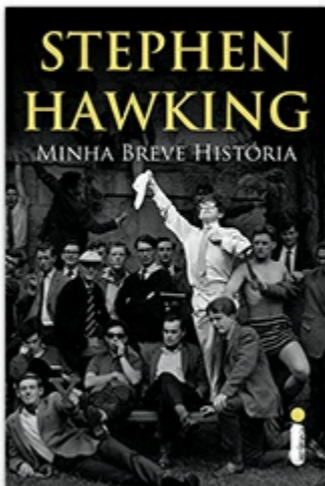
CONHEÇA OS OUTROS TÍTULOS DO AUTOR



O universo numa casca de noz

**STEPHEN
HAWKING
UMA BREVE
HISTÓRIA
DO TEMPO** 

Uma breve história do tempo



Minha breve história

LEIA TAMBÉM



A sexta extinção
Elizabeth Kolbert



História da sua vida e outros contos
Ted Chiang