



.....
Felipe Damasio¹ e Sabrina Moro Villela Pacheco²

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Araranguá, SC, Brasil

¹E-mail: felipedamasio@ifsc.edu.br

²E-mail: sabrinap@ifsc.edu.br

Introdução - o céu é o limite

Em 1609, o holandês chamado Hans Lippershey inventou um instrumento com o qual um italiano fez registros sobre suas observações do céu noturno naquele mesmo ano. Este italiano era Galileu Galilei e o instrumento, o telescópio. A revolução na nossa visão do Universo, da qual estas observações fizeram parte, estava em pleno desenvolvimento. Antes de Galileu, participaram dele Nicolau Copérnico, Giordano Bruno e outros corajosos pensadores que desafiaram o conhecimento até então estabelecido, além de contemporâneos de Galileu, como Kepler e outros, culminando em uma nova geração de cientistas que herdaria as contribuições de todos estes gigantes, como Isaac Newton. Como resultado desta revolução, nosso planeta foi deslocado do centro do Universo. Primeiro, foi para uma órbita que girava em torno deste centro onde estaria o Sol; depois, para uma região que orbitava uma estrela na periferia de uma entre mais de cem bilhões de galáxias; a Terra transformava-se assim em *quase nada* em um lugar remoto. Ao longo de uma caminhada de quase quinhentos anos, deixamos de ver o Universo de uma posição egocêntrica para adotarmos uma visão muito modesta de nosso lugar no Universo.

Com a invenção do telescópio, em 1609, Galileu Galilei iniciou uma revolução na nossa visão do universo. Em comemoração aos 400 anos do início dessa revolução, 2009 foi declarado pela UNESCO como o Ano Internacional da Astronomia

des, que têm suas imagens recentemente obtidas reproduzidas na Fig. 2.

Em comemoração aos 400 anos do início dessa revolução, 2009 foi declarado pela UNESCO como o Ano Internacional da Astronomia.

Os telescópios, que evoluíram muito desde a época de Lippershey e Galileu, permitiram-nos que descobríssemos fatos inimagináveis quando começaram as observações dos céus com eles, há quatro séculos. Hoje temos grandes telescópios e telescópios espaciais que nos permitem obter novas informações sobre o Universo quase que diariamente, tais como o descobrimento de planetas gigantes e gasosos e até de outros de tamanho comparável com o da Terra, de quasares e é claro dos buracos negros. Parte deste conhecimento que

O presente trabalho aborda um dos assuntos científicos que mais desperta a curiosidade e interesse do público: os buracos negros. Este artigo pretende oferecer uma alternativa que envolva seus aspectos históricos em uma linguagem sem artifícios matemáticos. A abordagem começa com os primeiros registros de proposta de buracos negros indo até os quasares, a radiação Hawking e a possibilidade de se recuperar informações de dentro de um buraco negro.

Uma das contribuições das observações de Galileu para esta revolução foi quando ele apontou o seu telescópio para Júpiter (representado na Fig. 1 junto com um de seus satélites). Ele percebeu que, ao redor deste planeta, giravam outros corpos celestes. Eram quatro estes objetos, os quais hoje são conhecidos como luas galileanas: Io, Calisto, Europa e Ganímedes.

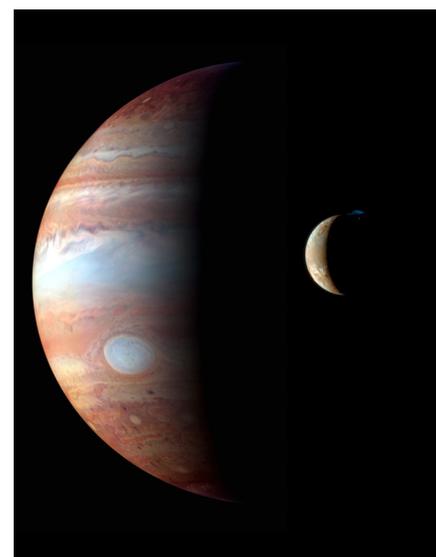


Figura 1 - Representação de Júpiter junto com o seu satélite Io.

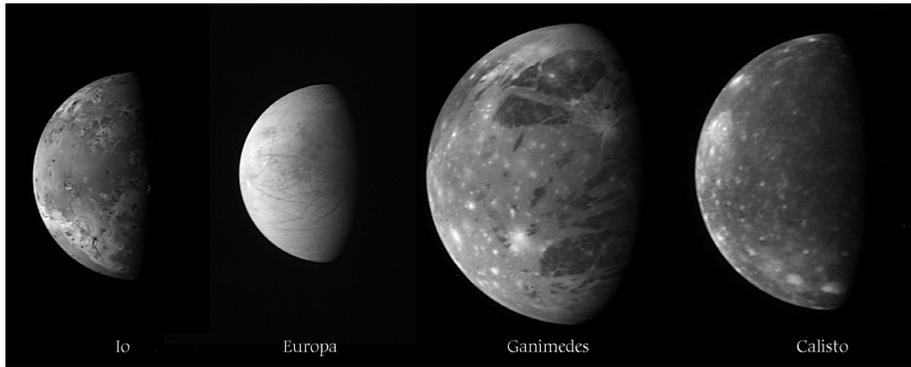


Figura 2 - Luas galileanas: os quatro primeiros satélites de Júpiter observados da Terra.

temos através dos telescópios, do qual vamos tratar a partir de agora, foi possível graças àqueles pioneiros do século XVII; vamos nos ater aos buracos negros. Estes objetos despertam curiosidade até mesmo em pessoas sem nenhum tipo de interesse em temas científicos. A visão popular destes corpos celestes é de que eles seriam um sorvedouro insaciável de matéria que algum dia poderia tragar a todo o Universo. Esta “má fama” dos buracos negros não é de toda merecida, e sua versão popular não inclui as novas descobertas a seu respeito, ocorridas nas últimas décadas, que serão nossos temas principais.

As idéias pioneiras

Podemos dizer que as primeiras especulações sobre buracos negros remontam há mais de dois séculos, como parte de uma das maiores controvérsias da história da ciência, que, por incrível que pareça, não está até hoje bem esclarecida: a luz é onda ou partícula? Com o advento da mecânica quântica, sabemos que a natureza da luz é uma complementaridade entre onda e partícula - tal situação é conhecida como *dualidade onda-partícula*. No entanto, muito antes de qualquer especulação sobre a natureza quântica, em 1704, Newton publicou seu célebre livro intitulado *Optiks*, onde sugere que a luz seja formada de partículas, cujo movimento poderia ser explicado pela mecânica newtoniana. Nem todo mundo concordava com Newton em relação à luz ser formada por partículas, como já havia deixado registrado, ainda no século XVII, o holandês Christian Huygens. Para ele, a luz seria uma onda da mesma forma que o som.

Na proposta de Newton, seria justo

Schwarzschild utilizou a recém publicada teoria da relatividade geral para obter algumas soluções matemáticas que apontam para uma peculiar consequência, que pode ser hoje apontada como os buracos negros. Inicialmente este resultado não convencia o próprio Einstein; pare ele, a solução obtida não tinha uma realidade física

pensar que, uma vez a luz sendo formada de partículas, estas partículas seriam atraídas por um campo gravitacional. Neste caso, a luz teria que ter uma velocidade mínima para “fugir” de um determinado campo gravitacional como todos os outros corpos - tal velocidade é conhecida como *velocidade de escape*. Por exemplo, a velocidade de escape da Terra é de 11 km/s; assim, se alguém sacar uma bola de vôlei na vertical com uma velocidade superior a este valor é melhor comprar outra, pois a que foi sacada não volta mais.

No século XVII, o cientista Roemer demonstrou que a luz viaja a uma velocidade finita. O valor a que ele chegou foi o de 225.000 km/s (longe dos 300.000 km/s aceitos atualmente), e seu mérito foi de nos avisar que a luz viaja a velocidade finita, possibilitando-nos prever alguns fenômenos interessantes. Um destes diz respeito a corpos extremamente maciços e densos. Se existisse no Universo um objeto celeste em que sua densidade provocasse uma velocidade de escape maior que a da luz, seria impossível que ela saísse da atração

gravitacional deste objeto. Se ele fosse uma estrela, a luz gerada voltaria a ela, devido à velocidade da luz ser menor que a velocidade de escape do campo gravitacional desta estrela. Se olhássemos da Terra para esta região, não veríamos ali uma estrela, pois toda a luz gerada por ela não chegaria até nós; veríamos apenas uma região negra no espaço e poderíamos até imaginar que nada existiria por lá.

A primeira descrição explícita de tal proposta pode ser creditada a John Michell, em um artigo publicado em 1783. O marquês de Laplace, de maneira independente, descreveu tal fenômeno nas

duas primeiras edições de seu livro *O Sistema do Mundo*. Nas edições seguintes, no entanto, deixou de fora esta proposta. Isso aconteceu muito provavelmente devido à bem sucedida experiência do inglês Thomas Young, na qual ele demonstrou o caráter ondulatório da luz, e a teoria segundo a qual a luz era formada de partículas, caiu em descrédito.

A ideia de que a luz pode ter sua trajetória alterada por um campo gravitacional teria que esperar até o século XX e por Albert Einstein. Mais precisamente pelo ano de 1915 e a publicação da teoria da relatividade geral, em que uma de suas previsões era a de que a luz deveria sofrer desvios ao se aproximar de campos gravitacionais intensos, como o provocado pelo Sol. A suposta comprovação desta hipótese deu fama mundial a Einstein e contou com a valorosa contribuição de brasileiros quando, em 1919, fotografias tiradas em um eclipse solar visível com nitidez na cidade cearense de Sobral, teriam comprovado as ideias do cientista alemão.

Apenas um ano depois da publicação da teoria da relatividade geral, em pleno *front* da I Guerra Mundial, Karl Schwarzschild, poucos meses antes de morrer, utilizou a recém publicada teoria da relatividade geral para obter algumas soluções matemáticas. Estas soluções apontam para uma peculiar consequência, que pode ser hoje apontada como os buracos negros. Inicialmente este resultado matemático obtido por Schwarzschild não convencia o próprio Einstein; pare ele, a solução obtida não tinha uma realidade física.

Em 1939, o norte-americano Robert Oppenheimer usou a teoria da relatividade geral para descrever o que aconteceria com a luz em um campo gravitacional intenso o suficiente para provocar seu desvio. Se não houvesse corpo celeste algum que gerasse tal campo, a luz seguiria sua trajetória normalmente. Quando passasse perto de uma estrela de densidade comparável com a do Sol, seria pouco desviada. Ao passar por uma estrela bem mais densa que o Sol, a luz seria encurvada em direção à estrela. Quando a densidade da estrela fosse suficiente, a trajetória da luz seria tão perturbada em direção à estrela que ela não conseguiria mais escapar deste campo gravitacional, ficando desta forma “aprisionada” dentro dele ao atravessar uma espécie de fronteira. Este limite de aproximação de um corpo celeste antes de ser “sugado” para dentro é conhecido como *horizonte de eventos*, termo cunhado em 1950 pelo austríaco Wolfgang Rindler.

Como, de acordo com a teoria da relatividade, nada pode viajar mais rápido que a luz, para nenhum corpo existia a possi-

bilidade de fugir deste tipo de campo gravitacional; tudo que passasse pela vizinhança da estrela, seria tragado para dentro por seu incrível poder de curvar o *espaço-tempo*. Este termo inclui o tempo no espaço, pois de acordo com a teoria da relatividade restrita de Einstein, publicada em 1905, existem quatro dimensões, três espaciais e uma temporal. Como nada poderia sair de dentro do campo gravitacional, quando a região em questão fosse observada da Terra, nós veríamos apenas um espaço escuro, sem termos a possibilidade de saber que por lá existe uma estrela supermaciça.

O termo *buraco negro* só seria cunhado em 1969 pelo norte-americano John Wheeler. Muito se aprendeu sobre estes objetos celestes desde o artigo de Michell, inclusive que eles são mais comuns do que os pioneiros em sua proposta de existência poderiam imaginar. Recentemente, um satélite mapeou uma pequena região do céu e identificou nesta pequena região mais de 1.500 candidatos a buracos negros.

A origem dos buracos negros

Obviamente nem todos os buracos negros são iguais, mas podem ser divididos em dois grupos, dependendo de sua origem e massa: os buracos negros estelares - com massas de até sete vezes a massa do nosso Sol - e os supermaciços, que se acredita hoje estarem no centro de galáxias e possuírem massa na ordem de milhões de vezes a massa do Sol.

Para entender a origem dos buracos negros estelares, temos que retornar à década de 1930. No fim desta década, o alemão Hans Bethe propôs um possível mecanismo para a grande quantidade de energia liberada pelo Sol e outras estrelas - tal proposta hoje é conhecida como fusão nuclear. A grosso modo, consistiria na fusão de átomos menores (como os de hidrogênio) em átomos maiores (como os de hélio). Como resultado desta fusão, seria liberada a energia que recebemos do Sol e das outras estrelas todos os dias. Na maior parte da vida da estrela, o seu combustível é o hidrogênio, mas um dia o "reservatório" de hidrogênio diminui de modo que inviabiliza este tipo de mecanismo a continuar funcionando da mesma maneira, e um fim trágico espera pela estrela. As estrelas se mantêm estáveis durante um bom tempo, apesar de toda a sua massa tender a se colapsar devido à atração gravitacional. Este colapso só não ocorre porque a energia liberada pelas reações de fusão equilibra a força gravitacional. Porém, quando o nível de hidrogênio diminui além de um limite mínimo,

começa a haver um desequilíbrio entre as duas forças.

O destino da estrela depende de dois fatores: de sua massa e se ela faz parte ou não de um sistema binário ou múltiplo, do qual em torno de 60% das estrelas fazem parte. Quando isto ocorre, o fim de uma estrela depende, além da sua massa inicial, também da distância de separação entre as estrelas do sistema binário ou múltiplo. Quando a estrela não faz parte de um sistema desta natureza, seu destino só depende de sua massa inicial, conforme mostra a Fig. 3. Se a massa inicial da estrela estiver entre 0,8 e 10 vezes a massa do nosso Sol (massa solar), quando o combustível diminui até um ponto crítico, a estrela se expandirá na forma de uma super gigante ejetando grande parte de sua massa em uma nebulosa planetária, e o que restará é conhecido como anã branca. O final deste tipo de estrela tem massa na ordem de 0,6 massas solares e raio em torno de 10.000 km. Este será o fim de nosso Sol, mas não se preocupe: isto ocorrerá só daqui a uns cinco bilhões de anos. Quando a massa inicial da estrela for de 10 a 25 massas solares, após o seu hidrogênio diminuir até o ponto crítico, a estrela explodirá em uma supernova. O que ficará no seu lugar é chamado de estrela de nêutrons, que tem massa de aproximadamente 1,4 vezes a massa do Sol e raio na ordem de 20 km. Finalmente, quando a massa da estrela inicial for maior que 25 vezes a massa do Sol, após explodir em uma supernova, o que restará no lugar da estrela é um buraco negro. Este tipo de buraco negro é conhecido como estelar, pois tem em sua origem uma estrela muito maciça. Este tipo de buraco negro tem massa de até

sete vezes a massa do Sol e seu horizonte de eventos é da ordem de 1 km.

Mas existe outro tipo de buraco negro muitíssimo mais maciço que os estelares. Este tipo de buraco negro é observado apenas de maneira indireta e acredita-se que esteja no centro de galáxias - são os buracos negros supermaciços. Uma galáxia cujo centro se acredita que exista um buraco negro supermaciço está representada na Fig. 4. Trata-se da galáxia NGC 4261, e o buraco negro central deve ter uma massa equivalente a meio bilhão de massas solares.

O processo de formação do buraco negro supermaciço é alvo de controvérsia, mas existem três versões que são as mais fortes candidatas a fornecer a explicação de sua origem. Em uma delas, eles seriam tão velhos quanto as mais antigas galáxias: teriam sido formados a partir do colapso de uma enorme quantidade de matéria formando o centro das galáxias. Em outra explicação possível, estes buracos negros teriam sido formados com uma massa muito menor que a observada atualmente, mas tiveram sua massa aumentada à medida que foram "capturando" poeira e estrelas através de seu intenso campo gravitacional. Ainda existe a possibilidade de terem sido formados quando duas galáxias se fundiram, e os buracos negros no centro destas galáxias - com massa bem menor que os supermaciços - também se fundiram dando origem a este tipo de buraco negro.

Mesmo que Einstein duvidasse

De maneira fria, podemos chamar os buracos negros de uma previsão da teoria da relatividade geral, onde a massa de um

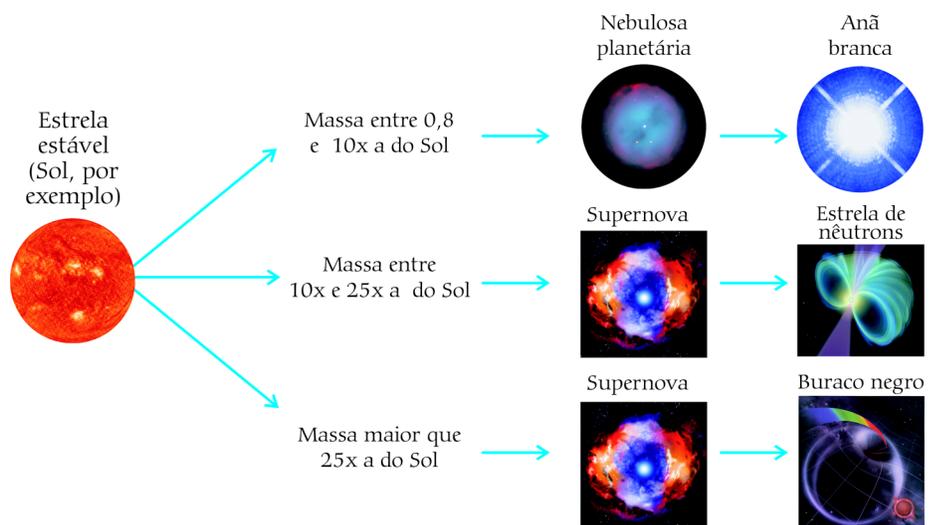


Figura 3 - Evolução final das estrelas de acordo com sua massa inicial.



Figura 4 - Galáxia NGC 4261.

corpo (uma estrela, por exemplo) colapsa até se concentrar em um único ponto. Este ponto tem densidade infinita e é chamado de singularidade do espaço-tempo, onde as leis da física que conhecemos não têm validade, incluindo-se nesta lista a própria relatividade geral. Sob certo ponto de vista, podemos dizer que a teoria de Einstein continha as sementes de sua própria destruição ao prever um fenômeno que não podia explicar. Talvez isso possa nos fazer entender o motivo que levou Einstein a desacreditar na existência física da singularidade. No entanto, hoje grande parte da comunidade científica acredita que ela deva existir, conforme a previsão da teoria da relatividade geral.

De acordo com Einstein, a gravidade não é mais uma força misteriosa causada por uma massa, capaz de influenciar objetos distantes através do espaço, como na teoria de Newton. Para Einstein, a gravidade é apenas uma consequência das características do espaço-tempo. Uma massa pode “deformar” o espaço-tempo provocando sua curvatura. Existe uma espécie de “princípio da preguiça cósmica”, no qual os corpos sempre procuram movimentar-se seguindo a menor distância entre dois pontos. Se não existe nenhuma massa para encurvar o espaço-tempo, este caminho seria uma linha reta. Mas, quanto maior for a massa de um corpo, mais ele deformará o espaço-tempo e mais curvo será este menor caminho entre dois pontos. Eis o mistério da gravidade: para Einstein, é tudo uma questão de preguiça dos corpos em seguir o menor caminho no espaço-tempo curvo.

As previsões de Newton e Einstein são

muitíssimo parecidas para campos gravitacionais como o que o Sol provoca na Terra. Se você quiser prever a trajetória da Terra não faz muita diferença usar uma teoria ou outra. Mas, quanto mais perto do Sol, maiores são as diferenças entre as teorias, devido ao campo gravitacional ser mais intenso. Quanto mais intenso for um campo gravitacional, maiores serão as diferenças entre as previsões das duas teorias. É o caso da órbita errante de Mercúrio. A teoria de Newton não a prevê e não fornece uma explicação consistente com a realidade física para esta característica da órbita do planeta mais próximo do Sol. No entanto, tal órbita está em total acordo com a teoria da relatividade geral. Esta diferença entre as teorias fica cada vez maior à medida que se aumenta o campo gravitacional.

Nas proximidades de um buraco negro, o campo gravitacional é tão forte que não é possível dispensar o uso da teoria da relatividade geral. De acordo com ela, quando mais intenso for um campo gravitacional, menor será o intervalo de

tempo medido por quem sente este campo intenso em relação à outra pessoa que sente um campo de menor intensidade. Isto causa algumas consequências muito estranhas.

Imagine que você e seu irmão gêmeo estivessem passeando em uma nave espacial

a uma distância segura do horizonte de eventos de um buraco negro. Continue imaginando que você convidou seu irmão para ir dar uma “olhadinha” no horizonte de eventos sem ultrapassá-lo. Porém, ele preferiu dar uma soneca, e você se aproximou sozinho do horizonte, enquanto seu irmão ficou afastado dele, dentro da nave. De acordo com a relatividade geral, quanto mais próximo do horizonte de eventos (com o consequente aumento do campo gravitacional), mais devagar o tempo passa para você em relação ao seu irmão. Quando você voltar, terão se passado apenas algumas horas no seu relógio mecânico e biológico, mas para seu irmão, o tempo (biológico e de um relógio) terá sido de séculos; ele estará morto há centenas de anos e você apenas algumas horas mais velho.

A crença popular de que buracos negros são insaciáveis, sugando tudo que está em seu entorno não passa de crença popular mesmo. Imagine por um instante que o Sol fosse comprimido até virar um

buraco negro. O que você acha que mudaria na órbita da Terra? A resposta é: absolutamente nada!! Para corpos que não estejam muito próximos do horizonte de eventos de um buraco negro, ele se comporta como qualquer outro corpo de mesma massa. Ele deformará o espaço-tempo, modificando a trajetória dos corpos que se movam neste espaço-tempo por ele modificado, mas pouco importa para os corpos que o orbitam. Se quem provoca a curvatura do espaço-tempo é um buraco negro ou uma estrela de mesma massa, não faz a menor diferença para a trajetória do corpo orbitante. Há mudança, no entanto, se este corpo resolver se aproximar do buraco negro ultrapassando seu horizonte de eventos. No caso da Terra virar um buraco negro, a trajetória da Lua continuaria a mesma no espaço-tempo curvado pela massa da Terra. No entanto, para a Terra virar este buraco negro, ela teria que ser comprimida até um raio da ordem de dois centímetros, algo pouco provável que aconteça com você aqui para se preocupar com isto.

Nem tudo está perdido, só mesmo a aposta de Hawking

Stephen Hawking é o cientista inglês que hoje ocupa a mesma cátedra da Universidade de Cambridge que já teve ocupantes ilustres como Isaac Newton e Paul Dirac. Algumas pessoas só conhecem Stephen devido a sua moléstia, diagnosticada em 1962, a esclerose lateral amiotrófica, que lhe dava inicialmente uma expectativa de vida de dois anos. Sua disfunção confere-lhe uma aparência peculiar que está reproduzida na Fig. 5.

Os trabalhos de Hawking contribuíram enormemente para nossa maior compreensão do Universo. Em 1974 ele



Figura 5 - Stephen Hawking.

surpreendeu a si e ao mundo quando aplicou a mecânica quântica no estudo dos buracos negros. Sua conclusão foi que eles “evaporavam” emitindo partículas elementares, e esta evaporação ocorreria até possivelmente eles desaparecerem. Para chegar a esta conclusão, Hawking usou o conceito de vácuo quântico: para a mecânica quântica, o vácuo (temperatura de zero absoluto que equivale aproximadamente a $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$) tem uma energia residual que é conhecida como energia de ponto zero. Este vácuo seria povoado com partículas virtuais, assim chamadas por serem formadas e aniquiladas aos pares tão rapidamente a ponto de não poderem ser detectadas. Este frenesi de criação e aniquilação de partículas no vácuo é conhecido como flutuação quântica. Quando a criação destas partículas ocorre nas proximidades de

Para que o evento da radiação Hawking possa ocorrer é necessária grande quantidade de energia, que seria fornecida pelo próprio buraco negro. Ao ceder esta energia para separar as partículas virtuais, o buraco negro diminui sua energia até possivelmente desaparecer

um buraco negro, o intenso campo gravitacional pode capturar uma das duas partículas, deixando a outra livre e, desta forma, constituindo-se em uma partícula real. Na visão de um observador distante (na Terra, por exemplo), o buraco negro está irradiando esta partícula criada pela flutuação quântica. Esta radiação é conhecida como radiação Hawking. É interessante notar que quanto maior a massa do buraco negro, menos radiação ele emite. No caso de miniburacos negros, a quantidade de radiação Hawking seria enorme, sendo estes muito mais fáceis de serem detectados através de sua irradiação. Voltaremos aos miniburacos negros mais adiante.

Para que o evento da radiação Hawking possa ocorrer é necessária grande quantidade de energia, que seria fornecida pelo próprio buraco negro. Ao ceder esta energia para separar as partículas virtuais, o buraco negro diminui sua energia até possivelmente desaparecer. Com a descoberta de Hawking, a nossa compreensão dos buracos negros mudou drasticamente: deixamos de compreendê-los como fadados eternamente a aumentar de tamanho para admitirmos a possibilidade do seu desaparecimento com o tempo, emitindo radiação e podendo ser detectados através desta. Em valores aproximados, um suposto buraco negro de “apenas” 100 milhões de toneladas levaria 14 bilhões de anos (aproximadamente a idade do Universo) para evaporar completamente.

Em 1997, Stephen e seu colega norte-americano Kip Thorne fizeram uma aposta contra outro norte-americano, chamado

John Preskill. Hawking e Thorne venceriam a aposta se toda a informação que atravessasse o horizonte de eventos de um buraco negro estivesse perdida para todo o sempre, e a vitória seria de Preskill se de alguma forma houvesse a possibilidade de recuperar uma informação de dentro do buraco negro. A aposta teve que esperar sete anos por um vencedor, que foi anunciado por Hawking em uma conferência em 2004. O anúncio de Hawking foi para declarar que havia perdido a aposta, e que era possível recuperar informação de dentro de um buraco negro devido às flutuações quânticas.

Hawking fez uma grande descoberta, mas teve que admitir sua derrota na aposta. Como bom perdedor, ofereceu o prêmio a Preskill, uma enciclopédia de baseball, mas teve que pagar a conta sozinho, pois Thorne se negou a contribuir para o prêmio por não admitir que a conclusão de Hawking, de que é possível resgatar informações de dentro de um buraco negro, pudesse estar certa. No entanto, não só Thorne discorda da conclusão de Hawking: uma boa parte da comunidade científica continua reticente em aceitar tal posição.

Como resgatar alguém de um buraco negro

Uma fábula, proposta por Lucy Hawking e seu famoso pai, ilustra como seria possível resgatar alguém de um buraco negro, já adiantando que se você estivesse nesta situação precisaria de muita, mas muita paciência. Vamos à história: um cosmólogo construiu um supercomputador que, entre muitas outras, teria a função de promover viagens a qualquer parte do Universo conhecido e de adiantar o tempo. O objetivo do cientista era de encontrar planetas habitáveis no Universo, além da nossa Terra. Certo dia, ele recebe uma carta anônima que fornecia coordenadas de onde poderia existir tal planeta. A carta anônima fora enviada por um cientista rival e as coordenadas que nela continha levavam direto a um buraco negro. Quando o cientista pediu para seu supercomputador levá-lo ao ponto em que a carta anônima indicava, ele foi tragado pelo buraco negro. Antes, porém, ele teve tempo para deixar um livro para sua filha e seu colega de colégio, onde explicava como resgatar alguém de dentro de um buraco negro. Os dois garotos encontraram o livro e não restava alternativa a eles senão seguir as suas

orientações. No livro, o cientista explicava o que acontecia com uma pessoa ao cair dentro do buraco negro. Se a pessoa estivesse na horizontal, os pés estariam mais próximos do buraco negro que a cabeça. Como o campo gravitacional nesta região é gigante, esta pequena diferença de distância seria suficiente para atrair os pés com mais força que a cabeça, fazendo a pessoa ser esticada, “despedaçando-a” ao entrar no buraco negro. No livro, o cientista explica aos garotos que, devido à radiação Hawking, o buraco negro “evapora” tanto mais rápido quanto menor for a sua massa. Os objetos que caíssem dentro do buraco negro, explica o cientista à filha e ao seu colega, são rearranjados na forma de partículas e energia. Ao se examinar as partículas que saem do buraco negro durante a sua evaporação, poder-se-ia reconstituir um objeto que estava dentro dele.

De posse destas informações e do supercomputador, a filha do cosmólogo e seu colega de escola resolvem resgatar o desafortunado cientista de dentro do buraco negro. Para tanto, o supercomputador capturou todas as partículas que saíram do buraco negro quando ele evaporava. Para reconstituir o pai da garota, a máquina teve que “filtrar” as partículas que eram oriundas do cientista. Tal reconstituição deveria ser feita partícula por partícula. À medida que o buraco negro evapora, sua massa diminui e a quantidade de radiação aumenta. Assim, o ritmo de reconstituição da pessoa é aumentado à medida que o tempo passa. Porém, a evaporação do buraco negro pode levar bilhões e bilhões de anos, mas como o supercomputador podia adiantar o tempo, assim ele o fez, filtrando entre todas as partículas emitidas aquelas que eram originárias do cosmólogo. Ao final, quando o buraco negro evaporou por completo e o supercomputador capturou todas as partículas que ele emitiu filtrando as do cientista, ele pôde reconstruir o pai da menina, que ao ser resgatado de dentro do buraco negro abraçou os dois e agradeceu-os, feliz por revê-los. Como o processo de resgate de uma pessoa de dentro de um buraco negro é demorado, fica aqui a recomendação para que se evite cair dentro de um.

Nada brilha tanto quanto os buracos negros

Paradoxalmente, nada no Universo emite tanta radiação quanto um buraco negro. Esta afirmação se explica pela existência de objetos celestes muito pequenos, mas que brilham mais que galáxias inteiras: estamos tratando das quase-estrelas, ou como ficaram conhecidos, *quasares*. Na década de 1960, os astrôno-

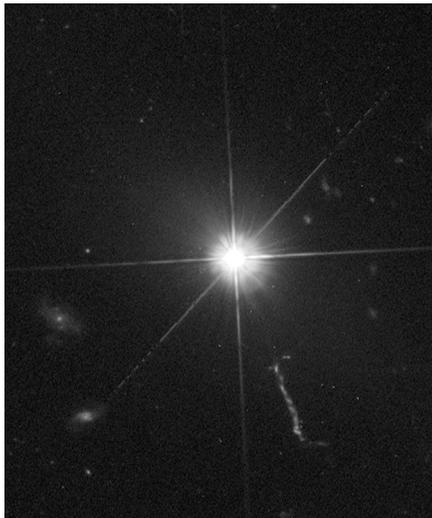


Figura 6 - Quasar 3C 273.

mos se depararam com objetos celestes que tinham aparência estelar mas com características distintas das estrelas conhecidas, tais como grande emissão de ultravioleta e de ondas de rádio. Um destes objetos, 3C 273, identificado em 1962, está representado na Fig. 6.

A grande surpresa veio quando os astrônomos conseguiram calcular a distância de 3C 273: 2,2 bilhões de anos-luz! Estava instaurado um grande desafio a todos os cientistas: como um objeto tão distante pode brilhar tanto? Para se ter uma ideia, o brilho deste único objeto é o equivalente a 100 vezes o brilho da Via Láctea inteira. Não se tinha notícia de nada que brilhasse tanto no Universo. Descartou-se a hipótese de que a origem fossem as fusões nucleares, como no caso das es-



Figura 7 - Vista área do CERN.

trelas, por este tipo de fonte não poder fornecer toda a energia emitida pelos quasares. Deveria haver outro mecanismo. Em 1963, em uma conferência em Dallas, alguns físicos propuseram que a fonte da energia dos quasares poderia estar relacionada com os buracos negros.

Um mecanismo que consolidava a possibilidade de emissão de grandes quantidades de energia foi publicado por Martin Rees, na década de 1980. Tal mecanismo propunha que quando buracos negros supermaciços absorvessem gás e estrelas, eles emitiriam estas grandes quantidades de energia.

Os quasares são, acredita-se hoje, núcleos de galáxias onde existe um buraco negro supermaciço que absorve grande quantidade de gás e estrelas, emitindo energia de acordo com o mecanismo de Rees. Inicialmente acreditou-se que os quasares não faziam parte de galáxia alguma, devido a seu intenso brilho ofuscar o da galáxia. Em um exemplo exagerado, seria o mesmo que querer observar uma lâmpada no lado do Sol.

O céu não é o limite

O CERN é um conhecido produtor de ciência e tecnologia. Entre suas contribuições, pode ser creditada a invenção da rede mundial de computadores, hoje indispensável em nossa sociedade. Uma visão geral do CERN está reproduzida na Fig. 7; é composto por um aglomerado de construções que se estende por 27 km na fronteira entre a Suíça e a França.

Dentro do CERN está o LHC, sigla em inglês para *Grande Colisor de Hádrons*. Sua inauguração se deu em 2008, mas suas operações tiveram de ser interrompidas em razão de um vazamento de hélio ocasionado por um problema de conexão entre seus ímãs. Seu funcionamento em regime máximo deve demorar ainda alguns anos, mas 2008 marca, sem dúvida, um divisor para a física com o início de suas operações.

Dentro do LHC existe a possibilidade de serem detectados miniburacos negros que seriam gerados a partir de choque de partículas altamente energéticas. As condições para a criação destes miniburacos negros são muito específicas; sendo assim, uma

boa parte da comunidade científica não acredita que isto possa vir a acontecer. Mas que existe a possibilidade, existe. Devido a sua pequena massa, os miniburacos negros “evaporariam” rapidamente emitindo grande quantidade de radiação Hawking. A análise do comportamento destes miniburacos negros pode nos auxiliar a entender os buracos negros estelares e supermaciços, além dos quasares.

Alguns cálculos, no início dos anos 2000, chegaram a apontar que quando o LHC operar com sua energia máxima, ele produzirá 100 milhões de buracos negros a cada ano. A massa de cada um destes buracos negros seria na ordem de 22 microgramas e sua vida duraria em torno de 10^{-26} segundos.

É possível que nossos descendentes também declarem 2408 como *ano da astronomia*. O motivo é que 400 anos antes, em 2008, entrara em operação um laboratório que mudou nossa visão do Universo, desta vez até sem necessariamente o auxílio de telescópios, mesmo que estes instrumentos continuem muito úteis para o progresso da ciência. Até então, antes de sua operação iniciar, nosso entendimento do Universo passava necessariamente pela observação celeste através de telescópios. Tudo mudou quando ele começou suas atividades, permitindo-nos entender melhor o funcionamento do Universo dentro de nosso próprio minúsculo planeta. Quem viver verá se tal previsão irá se confirmar!

Agradecimentos

Agradecemos à colega Francieli Socoloski Rodrigues, do IF-SC, pela leitura crítica e ao CNPq.

Leia mais

- J.T. Arantes, (ed) *Stephen Hawking em Busca do Segredo do Cosmos* (Duetto Editorial, São Paulo, 2005).
- L. Hawking e S. Hawking, *George e o Segredo do Universo* (Ediouro, Rio de Janeiro, 2007).
- S. Hawking e L. Mlodinow *Uma Nova História do Tempo* (Ediouro, Rio de Janeiro, 2005).
- G.E.A. Matsas e D.A.T. Vanzella, *Ciência Hoje* **31**(182), 28 (2002).
- K.S. Oliveira Filho e M.F.O. Saraiva, *Astronomia e Astrofísica* (Editora Livraria da Física, São Paulo, 2004).
- D. Sobel, *Os Planetas* (Companhia das Letras, São Paulo, 2006).
- A.A.P. Videira, *A Física na Escola* **6**(1), 83 (2005).
- R. Wolfson, *Simplemente Einstein* (Editora Globo, São Paulo, 2005).