

BURACOS NEGROS

Alguns conceitos-chave

Um buraco negro é um objeto extremamente compacto cuja gravidade é tão intensa que nada, nem mesmo a luz, consegue escapar à sua atração. A fronteira teórica que define a região espaço-temporal dentro da qual o seu campo gravítico se faz sentir designa-se por **‘esfera de influência’**. Por outro lado, designa-se por **‘horizonte de eventos’** ou *ponto de não-retorno* a uma outra fronteira teórica, definida em redor do buraco negro, na qual a sua **‘velocidade de escape’** é superior à da luz.

‘Velocidade de escape’ e origem do nome

Mas o que é a ‘velocidade de escape’ de um corpo? Imaginemos um veículo que pretenda deixar a Terra e partir em direção ao Espaço. Ao contrário do que se possa pensar, não lhe basta voar cada vez mais alto até alcançar as camadas superiores da nossa atmosfera. Ele terá que partir com uma certa velocidade, a velocidade de escape da Terra, que por sua vez lhe permitirá fugir à atração gravítica do nosso planeta.

Cada corpo celeste tem uma velocidade de escape própria. Por definição, esta corresponde à velocidade mínima que qualquer outro objeto que se encontre à sua superfície tem que ter, independentemente da sua massa, para poder escapar ao alcance do seu campo gravítico, movendo-se na direção oposta à da sua força gravítica. Este valor pode ser calculado e depende da massa do objeto que gera esse campo e do seu raio. Na Terra, a velocidade de escape à superfície é ligeiramente superior a 11 km/s. Por outras palavras, os veículos terrestres que pretendam viajar no Espaço têm forçosamente que partir do nosso planeta com velocidades superiores a este valor. Já em Júpiter, um planeta maior e com maior massa do que o nosso, a velocidade de escape é de 59,5 km/s; enquanto que em Marte, um planeta menor e de menor massa, o seu valor é de 5,0 km/s.

No caso de um buraco negro, o campo gravítico é tão forte que a sua velocidade de escape é maior do que a própria velocidade da luz – um valor no mínimo impressionante, dado que a luz se propaga no vácuo a 300.000 km/s. Como nem sequer a luz consegue escapar à atração gravítica destes objetos, em 1967 o físico John Wheeler decidiu atribuir-lhes o nome de ‘buraco negro’; termo esse que perdurou até aos dias de hoje. Wheeler fez alusão ao facto de o preto não ser uma cor, mas sim o resultado da ausência de todas as cores que compõem o espectro eletromagnético.

Como se formam os buracos negros estelares?

Os buracos negros são criados pelo colapso gravítico de estrelas de grande massa. No início da sua vida, estas estrelas têm que ter pelo menos 8 vezes a massa do nosso Sol.

Todas as estrelas procuram constantemente equilibrar as duas forças que as sustentam: a sua própria força gravítica e a pressão da radiação que é produzida no seu interior, por ação das reações de fusão nuclear que são responsáveis pelo seu brilho. Em astrofísica, este fenómeno é chamado de ‘**equilíbrio hidrostático**’.

Quando a energia produzida pela estrela já não é suficiente para combater a sua própria gravidade, esse equilíbrio deixa pura e simplesmente de existir. Como resultado, a estrela não consegue mais suportar o seu próprio peso e entra em colapso, implodindo.

O que é que isto significa? A densidade da estrela em colapso aumenta progressivamente, porque a sua invariável massa passa a ocupar um volume cada vez menor. Resultado: a sua atração gravítica aumenta de tal forma, que a sua velocidade de escape torna-se inclusivamente superior à da luz. Chegamos a um ponto em que nada consegue escapar à atração gravítica deste objeto extremamente compacto, seja matéria ou a própria energia. Dizemos então que se formou um buraco negro.

Radiação de sincrotrão e radiação Hawking

Ao longo deste texto, temos vindo a referir que nem mesmo a própria luz consegue escapar à atração de um buraco negro. Mas se os conseguimos detetar é porque afinal eles emitem algum tipo de radiação. Como se explica então este aparente paradoxo?

Tal como foi mencionado na secção anterior, a massa que dá origem ao buraco negro não varia. Só depois de este se ter formado é que a matéria circundante começa a ser sugada para o seu interior. É essa matéria que será responsável pela emissão de luz, como iremos ver.

Outro fator importante que tem que ser mencionado aqui para esclarecer esta questão é que ninguém sabe se os buracos negros têm carga. No entanto, os cientistas acreditam que o seu disco de acreção tem material ionizado em movimento, o que por sua vez induz um campo magnético muito intenso. A presença deste último permite que as partículas carregadas que se encontram para além do seu horizonte de eventos se possam mover a velocidades próximas da da luz, o que se observa essencialmente no caso dos eletrões. Tais partículas podem ser “encaminhadas” ou aceleradas em forma curvilínea sob a ação de um campo magnético. A este fenómeno dá-se o nome de **radiação de sincrotrão**.

Esta radiação pode ser emitida numa vasta gama de comprimentos de onda, desde o milímetro aos raios-X. As partículas saem dos polos do buraco negro e a radiação pode ser observada até Mpc^1 de distância, ao longo de toda a extensão dos jatos emitidos. Verifica-se que o campo gravítico é menos intenso nos polos.

O buraco negro poderá ser detetado através do seu disco de acreção, que é por sua vez definido pelo disco de matéria que se precipita para o seu interior a velocidades relativistas. Se o disco estiver alinhado com o observador, este poderá detetar também a radiação de

¹ $\text{Mpc} = 1 \text{ Mega parsec}$. 1 parsec equivale à distância de um objeto cuja paralaxe anual média corresponde a um segundo de arco ($1''$). 1 parsec = 206 260 U.A. ≈ 3.26 anos-luz.

sincrotrão emitida pelos polos do buraco negro, em direções perpendiculares à do seu disco. Por outro lado, se o disco estiver a ser observado de ‘cima’ ou de ‘lado’, será possível ver um anel de luz circular ou elipsoidal em torno do buraco negro.

Convém no entanto realçar que se acredita também na existência de um determinado tipo de radiação que pode ser emitida por buracos negros devido a efeitos quânticos bastante complexos, à qual se chamou a **radiação Hawking**. Este nome foi-lhe atribuído em homenagem ao cientista inglês Stephen Hawking, que previu a sua existência em 1974. Neste caso, pensa-se que este tipo de radiação pode permitir aos buracos negros perderem massa; o que significa que os que perdem mais matéria do que aquela que ganham por outros meios podem vir até a evaporar, encolher, e finalmente desaparecer.

A radiação de Hawking é ainda um conceito muito empírico. Alguns cientistas dizem que esta teoria já foi comprovada, apesar do o terem feito de uma forma totalmente alternativa.

Hawking referiu mesmo que “os buracos negros não são tão negros assim”, porque são capazes de emitir radiação apenas para fora do seu horizonte de eventos.

Os eventos que dão origem a buracos negros estelares poderão ser os principais responsáveis pelas explosões de raios gama que se observam no Universo. Estes objetos estão a ser estudados pela missão *Integral* da ESA (*INTERNATIONAL Gamma-Ray Astrophysics Laboratory*).

Das equações de Einstein às conclusões de Schwarzschild

A previsão da existência dos buracos negros acaba por ser uma consequência natural da Teoria da Relatividade Geral de Albert Einstein, publicada em 1915. Nesse mesmo ano, um cientista alemão chamado Karl Schwarzschild, em plena Primeira Grande Guerra Mundial, enviou a Einstein uma das primeiras soluções para as equações que este propusera. Apesar da sua grande complexidade, as suas soluções foram apresentadas de uma forma tão simples e tão elegante, que o próprio Einstein ficou perplexo.

De acordo com a solução de Schwarzschild, um objeto dotado de um campo gravítico entrará em colapso sob a forma de buraco negro se o seu raio for menor do que uma distância específica, designada por ‘raio de Schwarzschild’. Este raio pode ser calculado a partir do valor da massa que a estrela tiver antes do seu colapso e do raio para o qual ela colapsaria.

A partir do momento em que uma estrela encolha abaixo do seu raio de Schwarzschild, tudo entra em colapso no seu centro e a sua atração gravítica torna-se tão intensa que os objetos em seu redor começarão a ser sugados para o buraco negro recém-formado. A própria luz irá manter uma órbita curva sem sair da atração gravítica do buraco negro.

O nosso Sol ‘apenas’ vai encolher

Para um objeto com a massa do nosso Sol, por exemplo, o raio de Schwarzschild é de aproximadamente 3 km, um valor muito menor do que o seu raio atual, que é cerca de 700.000

km. No final da sua vida, prevê-se que o nosso Sol irá encolher até atingir dimensões semelhantes às da Terra. Por outras palavras, continuará a ter um raio muito superior ao seu raio de Schwarzschild. No entanto, continuará a emitir luz sob a forma de anã branca.

Constatamos assim, tal como foi referido anteriormente, que apenas as estrelas mais massivas podem dar origem a buracos negros no final das suas vidas.

Buracos negros supermassivos

Observações astronómicas realizadas com grande fiabilidade sugerem que os centros da maioria das galáxias contêm buracos negros “supermassivos”. A nossa Via Láctea, por exemplo, orbita em torno de Sagittarius A*, que tem cerca de 4,5 milhões de massas solares.

Os quasares são exemplos de corpos celestes com buracos negros supermassivos no seu interior. Estes objetos astronómicos são extremamente brilhantes e estão muito distantes de nós. Tão distantes, que foram inclusivamente formados quando o nosso Universo era bastante jovem. Em geral, os quasares não são muito maiores do que o Sistema Solar. Por essa razão, e por parecerem brilhar tanto como estrelas relativamente próximas, receberam a designação de ‘quasar’ – de *quasi-stellar object*. Hoje sabemos que estes objetos são núcleos de galáxias que contêm buracos negros supermassivos.

A famosa fotografia da ‘sombra’ do buraco negro da M87

Já se sabia que devia haver um buraco negro no centro da galáxia Messier 87, a cerca de 55 milhões de anos-luz da Terra, com uma massa cerca de 6.5 mil milhões de vezes superior à do Sol. No dia 10 de abril de 2019 foi possível obter, pela primeira vez, uma imagem da ‘sombra’ desse buraco negro (ver Fig. 1). Para tal, foi necessário utilizar 8 observatórios, com antenas colocadas em diferentes pontos do globo, que trabalharam em conjunto, formando uma espécie de telescópio gigante do tamanho da Terra: o Event Horizon Telescope.

A luz observada nesta imagem é dominada pela radiação proveniente da *last photon orbit*², que por sua vez compreende emissão térmica do disco de acreção e emissão sincrotrão do jato. A contribuição de cada um é ainda incerta.

Mas como podemos fotografar um corpo invisível? É também por essa razão que falamos em ‘sombra’. Os cientistas explicam que o ‘arco’ de luz que aparece na imagem corresponde à radiação emitida no comprimento de onda do milímetro pela própria matéria que se encontra em queda no buraco negro. Por outras palavras, a força gravítica que se faz sentir nessa região é tão intensa que a matéria é acelerada até velocidades próximas da luz, o que significa que aquece ao ponto de emitir grandes quantidades de radiação, como aquelas que foram referidas numa secção anterior deste texto. O anel é mais brilhante em baixo porque essa luz

² *Last photon orbit*: Numa forma bastante simplista, podemos dizer que estas órbitas são definidas pela localização mais próxima de um buraco negro onde um feixe de luz poderia orbitar descrevendo uma circunferência. Tais fotões não chegariam a cair no horizonte de eventos.

está a mover-se na nossa direção e torna-se mais clara na imagem devido ao processo de *Doppler boosting* ou *relativistic beaming*, uma consequência relativista do efeito Doppler.

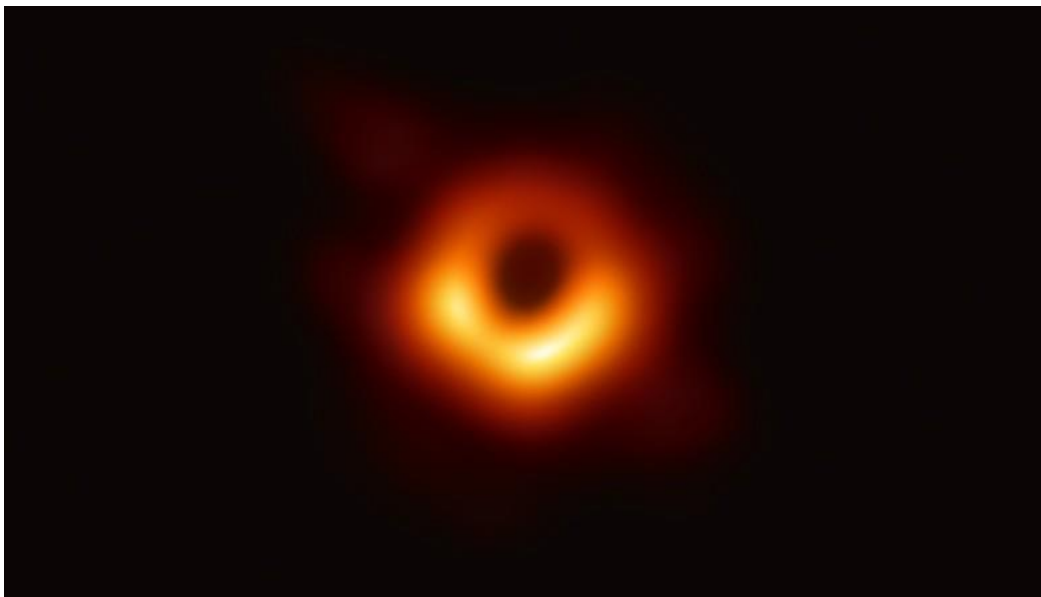


Fig. 1 – Fotografia obtida da ‘sombra’ do buraco negro no centro da M87.

Se não estivéssemos a observar este buraco negro de ‘cima’, poderia ocorrer um fenómeno ainda mais incrível: a luz também estaria a ser emitida ‘do outro lado’ do buraco negro. Nestas condições, o espaço-tempo é deformado de tal maneira pela presença de um corpo tão maciço que conseguimos ver algo que deveria estar oculto para um observador terrestre.

Conclusão: As fotografias de buracos negros que forem obtidas desta forma poderão permitir-nos ver a luz emitida pela matéria que se encontra escondida por detrás de um objeto que já por si é por definição invisível aos nossos olhos e do qual a luz não consegue escapar. A frase anterior parece ter várias contradições, mas à luz do que sabemos hoje sobre os buracos negros, podemos afirmar que não tem qualquer incorreção científica.

Vale ainda a pena realçar que a obtenção desta imagem envolveu a colaboração de mais de 200 cientistas e de 8 observatórios dispersos por todo o planeta. Foi mais um grande exemplo de trabalho científico-tecnológico de equipa à escala mundial.

Texto retirado, adaptado e traduzido de um artigo de divulgação publicado na página da ESA, em https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Black_holes e complementado com o artigo “Uma nova luz sobre os buracos negros”, publicado no jornal do Ciência 2019.