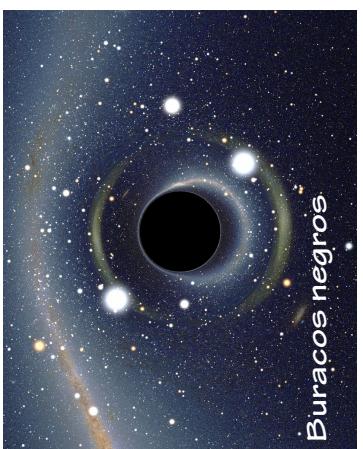


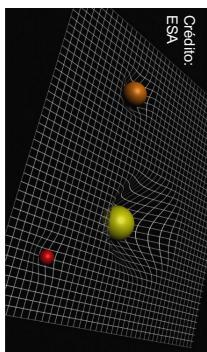


Resposta no verso

Buracos negros

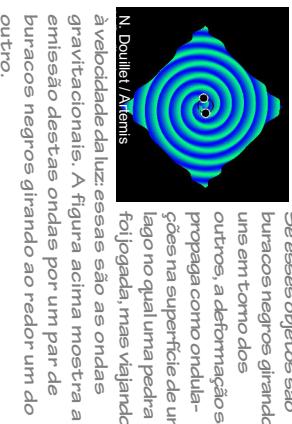


O Universo no anabolos



A presença de objetos maciços distorce o espaço-tempo em suas proximidades. Se estes objetos ficarem estaticos, esta deformação não evoluirá.

Se esses objetos são buracos negros girando uns em torno dos outros, a deformação se propaga como ondulações na superfície de um lado no qual uma pedra foi jogada, mas viajando à velocidade da luz: essas são as ondas gravitacionais. A figura acima mostra a emissão destas ondas por um par de buracos negros. O Prêmio Nobel de Física de 2017 foi concedido por esta detecção.



N. Douillet / Atoms

À velocidade da luz: essas são as ondas gravitacionais. A figura acima mostra a emissão destas ondas por um par de buracos negros girando ao redor um do outro.

8

objectos extremamente maciços.

respeitado é existência desses

supermassivos", nos centros das galáxias.

O Prêmio Nobel 2020 foi concedido a um dos buracos negros que mais pesadas observações da Galáxia M87 e a sua vizinhança.

Outras observações da Galáxia M87 mostraram que a massa do buraco negro central é equivalente a 650 bilhões de solares.

Além dos buracos negros que aparecem no céu, há outras duas classes de buracos negros:

• buracos negros de estrelas, que são os que existem mais próximos de nós.

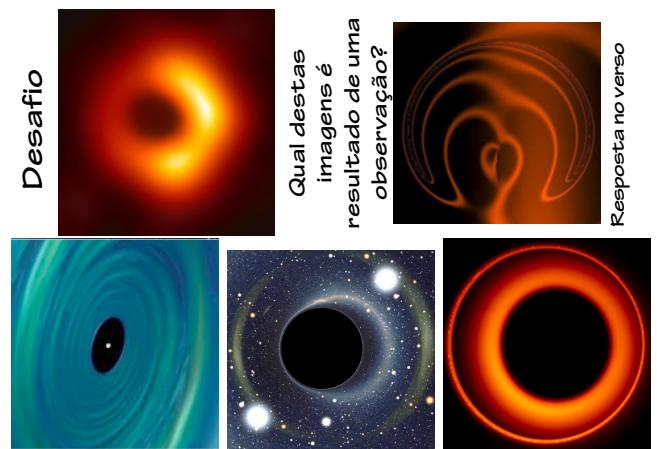
• buracos negros de galáxias, que existem mais longe.

Outras observações da Galáxia M87 mostraram que a massa do buraco negro central é equivalente a 650 bilhões de solares.

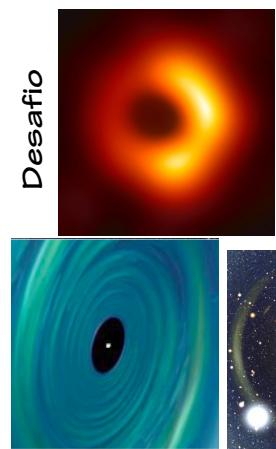
Além dos buracos negros que aparecem no céu, há outras duas classes de buracos negros:

• buracos negros de estrelas, que são os que existem mais próximos de nós.

• buracos negros de galáxias, que existem mais longe.



Buracos negros em missões



Desafio



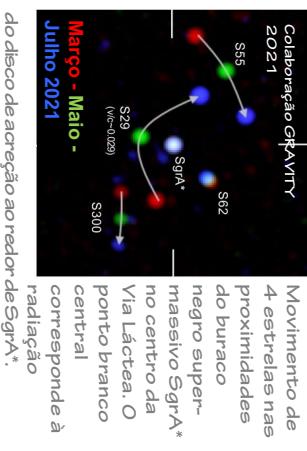
O Universo no anabolos



Ondas gravitacionais
Podem existir pares de buracos negros: os dois membros do par entram em órbita um ao redor do outro e emitirão ondas gravitacionais.

Imagine uma camada de geleia com uma uva no topo: a uva deforma levemente a superfície da geleia. Outra uva colocada ao lado adiciona sua própria deformação. Se você girar as uvas uma ao redor da outra, as linhas de deformação se espalharão através da geleia.

Da mesma forma, ondas gravitacionais são ondações de deformação no espaço-tempo causadas pelo movimento de buracos negros. Tais ondações foram detectadas na Terra pela primeira vez em 2016. Elas são valiosas para determinar as propriedades dos buracos negros. O Prêmio Nobel de Física de 2017 foi concedido por esta detecção.



Movimento de 4 estrelas nas proximidades do buraco negro super-massivo SgrA*
Movimento de 4 estrelas nas proximidades do buraco negro super-massivo SgrA* no centro da Via Láctea. O ponto branco central corresponde à radiação do disco de acreção ao redor de SgrA*.

Colaboração GRMHD
Março - Maio - Julho 2021

Colaboração EHT

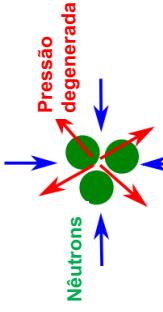


Imagem da área mais central do disco de acreção ao redor do buraco negro super-massivo no centro da galáxia M87.

Imagem da área mais central do disco de acreção ao redor do buraco negro super-massivo no centro da galáxia M87.

12

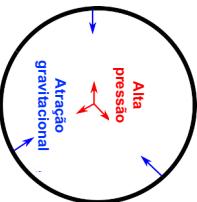
Gravitação



Fim da vida de uma estrela maciça

Quando todo o combustível for consumido no núcleo da estrela, acaba o equilíbrio pressão-gravidade. A gravidade vence quando a pressão térmica não suportar o peso da estrela. A estrela colapsa sobre si mesma. Se a estrela tiver mais de cerca de 10 massas solares, ela colapsa até que uma forma exótica de pressão chama- da "degeneração de neutrinos" apareça e lute contra o colapso. Por fim, a estrela explode como uma supernova, mandando para longe suas camadas externas. Se o núcleo estellar restante tiver cerca de duas massas solares, o núcleo continuará como uma estrela de neutrinos. Mas, se o núcleo tiver uma massa maior, nem mesmo a degeneração de neutrinos terá pressão suficiente para contrabalançar a gravidade, e a estrela entrará em colapso em um buraco negro.

Na fusão nuclear de combustível nuclear, a gravidade causa o colapso da estrela, o que leva a uma compressão muito forte da matéria da estrela. A mecanica quântica revela então o **uma nova forma de pressão térmica**, que aumenta à medida que a compressão aumenta. Aparece assim um novo adversário para enfrentar a gravidade, depois que a pressão térmica não é mais suficiente para suportar a estrela. Entretanto, se a estrela for suficientemente maciça, a gravidade vence e o colapso continua até que um buraco negro seja formado.



A gravidade tende a fazer com que as partes externas da estrela calam em direção ao seu centro, assim como uma maçã cai de uma árvore devido à atração da Terra.

Uma estrela está em equilíbrio entre a ação da **pressão térmica** para fora e a ação da **gravidade** para dentro.



A tremenda **pressão** no centro de uma estrela exerce uma força para fora **como o vapor em uma panela de água fervendo**.



Simulação de um disco de acreção ao redor de um buraco negro (Owen & Blondin, 2005).

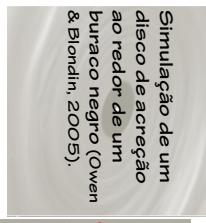


Imagem observada do disco de acreção no centro da galáxia MB7 (Calibração EHT 2019).

Resposta

Simulação de um disco de acreção ao redor de um buraco negro no centro da Via Láctea (Lamy et al. 2018).



Para saber mais sobre estação e coleção e os tópicos apresentados neste livro, você pode visitar:
<http://www.tumpp.org>.



Inadeim da capa: simulação por Alain Riazuelo (Instituto de Astrofísica de Paris) com a Via Láctea no fundo e um buraco negro em primeiro plano.

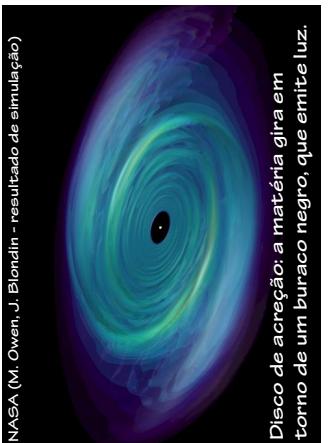
O Universo no meu bolso Nº 17
Este livrinho foi escrito em 2021 por Frédéric Vincent do Observatório de Paris (França) e revisado por Eric Gourgoulhon, também do Observatório de Paris, e Stan Kurtz (UNAM, México).

Formação de um buraco negro

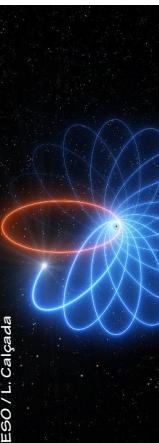
Imagine um fóton (uma partícula de luz) emitido do centro da estrela em colapso. Inicialmente, este fóton pode escapar da estrela.

No entanto, em uma fase mais avançada do colapso da estrela, embora o fóton comece a se afastar, logo será forçado a voltar para o centro da estrela. Por quê? Porque nasce uma nova estrutura de espaço-tempo, chamada de horizonte de eventos, que sinaliza a criação do buraco negro. A luz emitida dentro do horizonte de eventos está sujeita a uma gravidade tão extrema que fica presa dentro do horizonte. Um buraco negro é “negro” no sentido de que a luz não pode escapar dele.

NASA (M. Owen, J. Blondin - resultado de simulação)



Disco de acreção: a matéria gira em torno de um buraco negro, que emite luz.



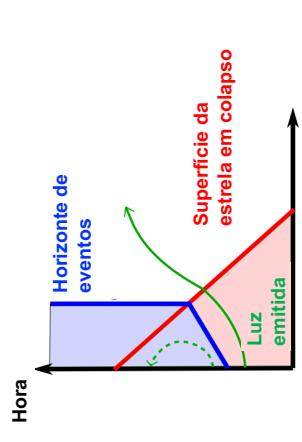
Uma visão artística da órbita de uma estrela em torno de um buraco negro. A mudança gradual da órbita é causada pela grandeza de muito forte do buraco negro.

10

11

Buracos negros e matéria circundante

Embora um buraco negro seja negro, o mesmo não pode ser dito em relação à matéria que o cerca. Um buraco negro não é um grande aspirador de pó cósmico: a matéria orbitará o buraco negro e criará um disco de acreção. Estes discos emitem uma imensa radiação em todos os comprimentos de onda, o que marca a presença do buraco negro. Além disso, estrelas podem orbitar um buraco negro, e suas trajetórias também mostram a presença do objeto compacto. Como as ondas gravitacionais, a luz emitida nas proximidades de um buraco negro e as órbitas das estrelas próximas também são ferramentas para o estudo das propriedades do buraco negro.



Este diagrama representa o tamanho da estrela em colapso (parte vermelha do diagrama, que diminui com o tempo de baixo para cima). Em um determinado estágio do colapso, o horizonte de eventos aparece e cresce até seu tamanho final (parte azul do diagrama). À luz emitida fora do horizonte pode escapar (trajetória de linha sólida verde), mas a luz emitida abaixo do horizonte (trajetória de linha tracejada vermelha) acaba se esgotando.

12

7

O equilíbrio de uma estrela

Uma estrela se equilibra entre duas tendências opostas.

As **reações nucleares** no centro da estrela (fusão de hidrogênio em hélio, fusão de hélio em carbono, etc. ver TUMPP 14) aquecem a matéria e, portanto, lhe dão uma pressão muito alta, que tende a expandir a estrela (como o vapor de água sob a tampa de uma panela aquecida).

A gravidade faz com que as partes externas da estrela sejam puxadas em direção ao seu centro, o que tende a contrair a estrela.

Estas duas tendências se equilibram perfeitamente durante a maior parte da vida da estrela. Mas o que acontece quando o combustível interno da estrela se esgota?

3

Tradução: Natália Vale-Avari
TUMPP Creative Commons

