



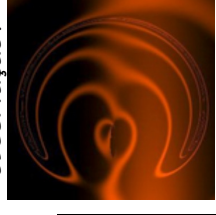
Frédéric Vincent
Observatório de Paris



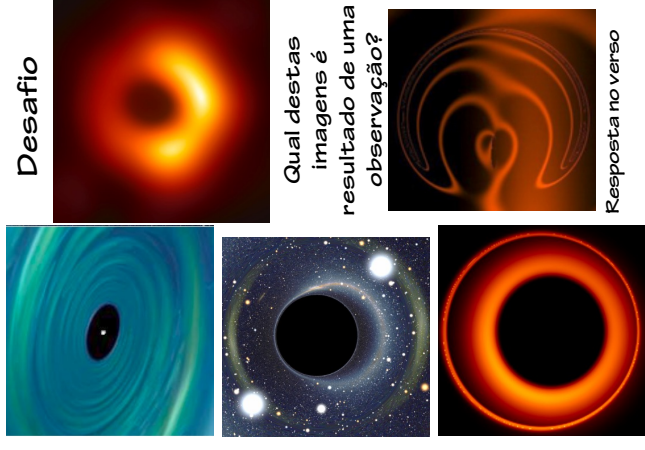
Buracos negros

O Universo no meu bolso

Resposta no verso



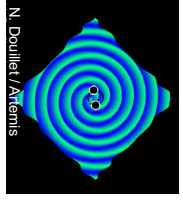
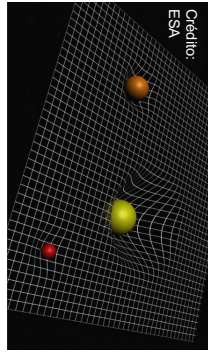
Qual destas imagens é resultado de uma observação?



Desafio

Ondas gravitacionais

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



N. Duilliet / Aemis

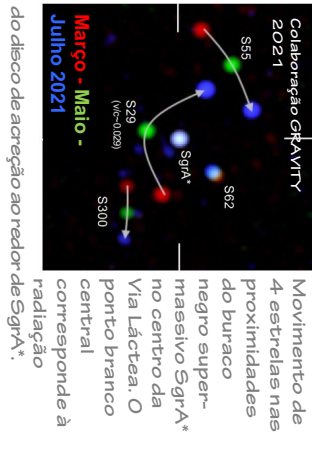
Se esses objetos são buracos negros girando uns em torno dos outros, a deformação se propaga como ondulações na superfície de um lago no qual uma pedra foi jogada, mas viajando à velocidade da luz essas são as ondas gravitacionais. A figura acima mostra a emissão destas ondas por um par de buracos negros girando ao redor um do outro.

8

13

Buracos negros supermassivos

Além dos buracos negros criados pelo colapso de estrelas maciças, existem buracos negros supermassivos "ou são" centros das galáxias.



Movimento de 4 estrelas nas proximidades do buraco negro supermassivo Sgr A* no centro da Via Láctea. O ponto branco central corresponde à radiação do disco de acreção ao redor de Sgr A*.

Colaboração EHT 2019

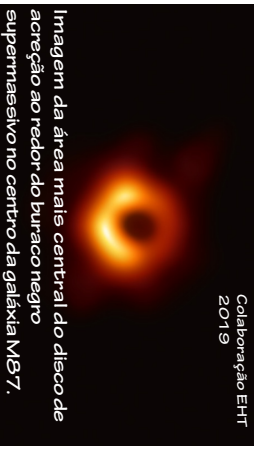
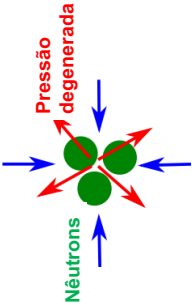


Imagem da área mais central do disco de acreção ao redor do buraco negro supermassivo no centro da galáxia M87.

12

4

Gravitação



Na ausência de combustível nuclear, a gravidade causa o colapso da estrela, o que leva a uma compressão muito forte da matéria da estrela. A mecânica quântica revela então uma nova forma de pressão, conhecida como degenerescência, 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 por fim vence, e o colapso continua até que um buraco negro seja formado.

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 suporta o peso da estrela. A estrela colapsa sobre si mesma.

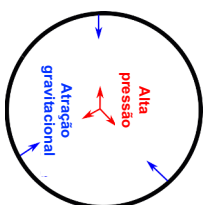
Se a estrela tiver mais de cerca de 10 massas solares, ela colapsa até que uma forma exótica de pressão chamada "degeneração de nêutrons" apareça e lute contra o colapso. Por fim, a estrela explode como uma supernova, mandando para longe suas camadas externas. Se o núcleo estelar restante tiver cerca de duas massas solares, o núcleo continuará como uma estrela de nêutrons. Mas, se o núcleo tiver uma massa maior, nem mesmo a degeneração de nêutrons terá pressão suficiente para contrabalançar a gravidade, e a estrela entrará em colapso em um buraco negro.

5

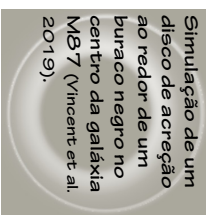


A **tremenda pressão** no centro de uma estrela exerce uma força **vapor em uma panela de água fervendo**.

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



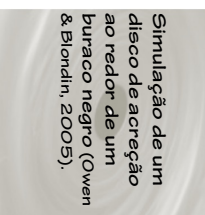
Uma estrela está em equilíbrio entre a **ação da pressão térmica** para fora e a **ação da gravidade** para dentro.



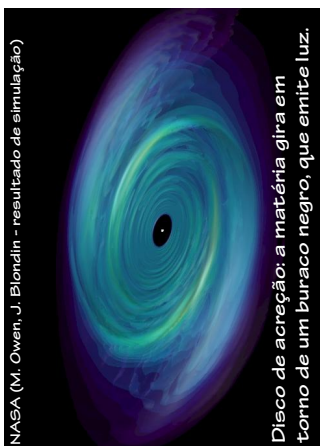
Simulação de um disco de acreção ao redor de um buraco negro no centro da galáxia M87 (Vincent et al. 2019).



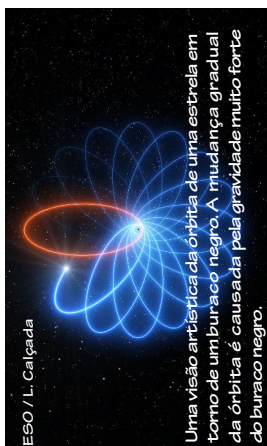
Simulação com a Via Láctea ao fundo e um buraco negro em primeiro plano (Riazuelo 2009).



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



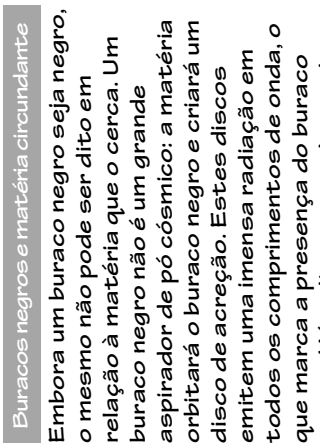
NASA (M. Owen, J. Blundin - resultado de simulação). **Disco de acreção: a matéria gira em torno de um buraco negro, que emite luz.**



ESO / L. Calçada. **Uma visão artística da órbita de uma estrela em torno de um buraco negro. A mudança gradual da órbita é causada pela gravidade muito forte do buraco negro.**

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 mostrarão 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 úteis para o estudo das propriedades do buraco negro.

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 TUMIP 1-4) 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?



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). A luz emitida fora do horizonte pode escapar (trajetória de linha sólida verde), mas a luz emitida abaixo do horizonte (trajetória de linha tracejada verde) fica presa lá. O buraco negro é a parte azul do diagrama.

Resposta

Simulação de um disco de acreção ao redor de um buraco negro no centro da Via Láctea (Lamy et al. 2019).



Para saber mais sobre esta coleção e os tópicos apresentados nesta livrinho, você pode visitar <http://www.tumip.org>.

Tradução: Natália Vale Asari
TUMIP Creative Commons

