



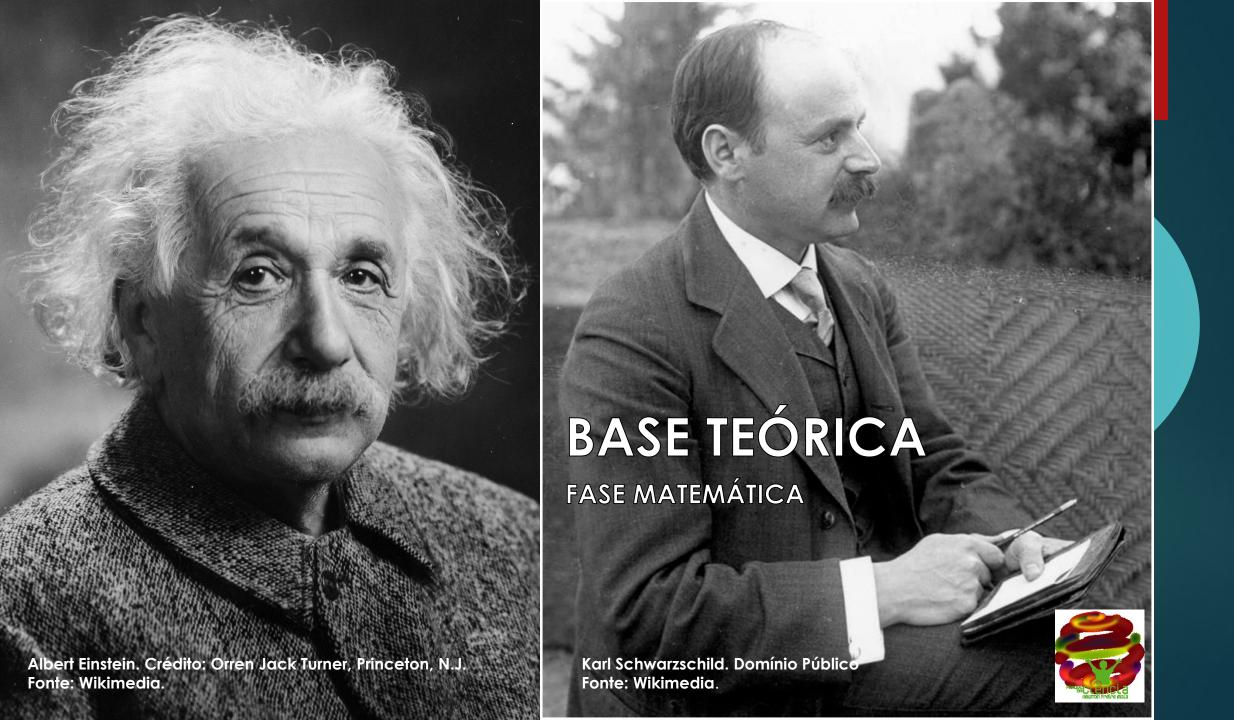




PRIMEIRAS SUPOSIÇÕES – FASE FILOSÓFICA

- Geólogo inglês Jonh Mitchell (1724 1793) Em carta a Henry Cavendish em 1783;
 - Existência de estrelas compactas e com muita massa das quais nem a luz escaparia
- 1796 Pierre-Simon Laplace (1749 1827) promoveu a ideia porém, fora ignorada: como a luz sem massa pode interagir?





ESTABELECIMENTO DA BASE TEÓRICA – FASE MATEMÁTICA

▶ Novembro de 1915 – Relatividade Geral de Albert Einstein;

Contribuições de Karl Schwarzschild (1873 – 1916)

Solução de Schwarzschild das Equações de Einstein para um campo gravitacional externo a um corpo sem rotação.



ESTABELECIMENTO DA BASE TEÓRICA – FASE MATEMÁTICA

Aceleração da gravidade na mecânica Newtoniana

$$g(r) = \frac{G.Massa}{raio^2}$$

para o caso da Terra:

$$g_{Terra} = \frac{(6,6742.10^{-11})(5,972.10^{24})}{(6.371.000)^2} = 9,81 \text{m/s}^2$$



ESTABELECIMENTO DA BASE TEÓRICA – FASE MATEMÁTICA

$$g(r) = \frac{G.M}{1 - \frac{2GM}{rc^2}} (KARL) \mid g(r) = \frac{G.M}{r^2} (NEWTON)$$

Se "r" é grande: $\frac{2GM}{rc^2} \rightarrow 0$ resulta na relação de Newton;

Porém, se "r" diminuir?



ESTABELECIMENTO DA BASE TEÓRICA – FASE MATEMÁTICA

E se o termo da fração for igual a 1?

$$g(r) = \frac{GM}{r^2} \frac{1}{1 - \frac{2GM}{r^2}} \Rightarrow g(r) = \frac{GM}{r^2} \frac{1}{\sqrt{1 - 1}} \Rightarrow \text{diverge (aceleração infinita)}$$

Para
$$\frac{2GM}{rc^2} = 1$$

Gera o raio de Schwarzschild:

$$r_S = \frac{2GM}{c^2}$$

- Objetos cujo tamanho obedece essa relação, possuem gravidade infinita.
- Porém, era visto como uma consequência matemática.



EXEMPLOS

- ▶ Densidade do Sol : Aproximadamente 1g/cm³;
- Densidade da Terra: Aproximadamente 5g/cm³;
- Densidade de uma Anã branca: 1 milhão de g/cm³ (núcleo da estrela compactado ao raio da Terra);
- Densidade de uma estrela de nêutrons: 10¹⁵ g/cm³ (núcleo da estrela compactado a um raio de 10km).







A partir 1960, instrumentos que captavam radiações mais intensas, capazes de atravessar poeira interestelar;

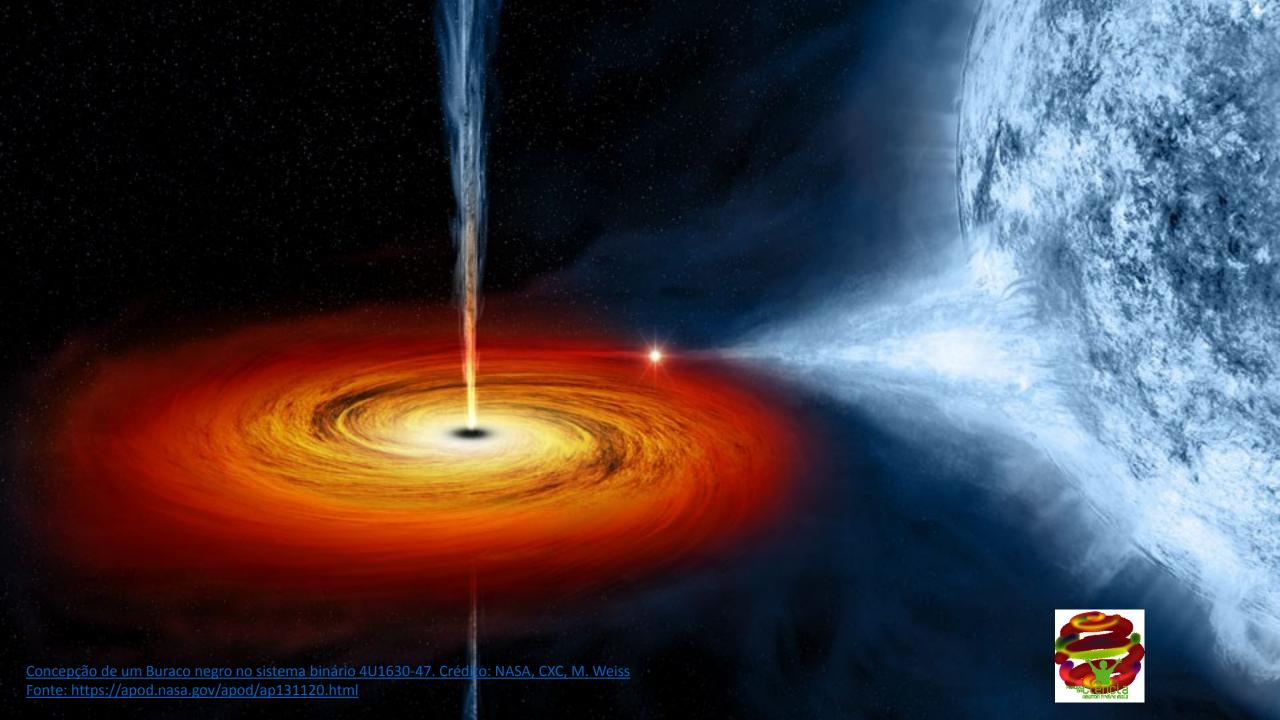
1963 – Roy Kert, matemático neozelandês desenvolve solução para objetos em rotação;

▶ 1967 – Descoberta de um pulsar (estrela de nêutrons que emite pulsos em rádio) – ainda não densa o suficiente;



- 1969 Cygnus X1 primeira fonte de Raio X na constelação de Cisne;
 - 1973 Demonstrado que a massa da fonte é maior que de uma Estrela de Nêutrons;
 - Primeiro buraco negro detectado;
 - Sistemas binários -> chave para a descoberta de evidências;
 - Descoberta de sistemas onde matéria é sugada de uma estrela para um objeto;





TIPOS E FORMAÇÃO

- Buracos Negros estelares:
 - Originam-se do colapso de estrelas com massa inicial de 20 a 40 massas solares;
 - Estimativa que na Via Láctea, cerca de 10 milhões destas estrelas tenham se formado → 10 milhões de buracos negros;

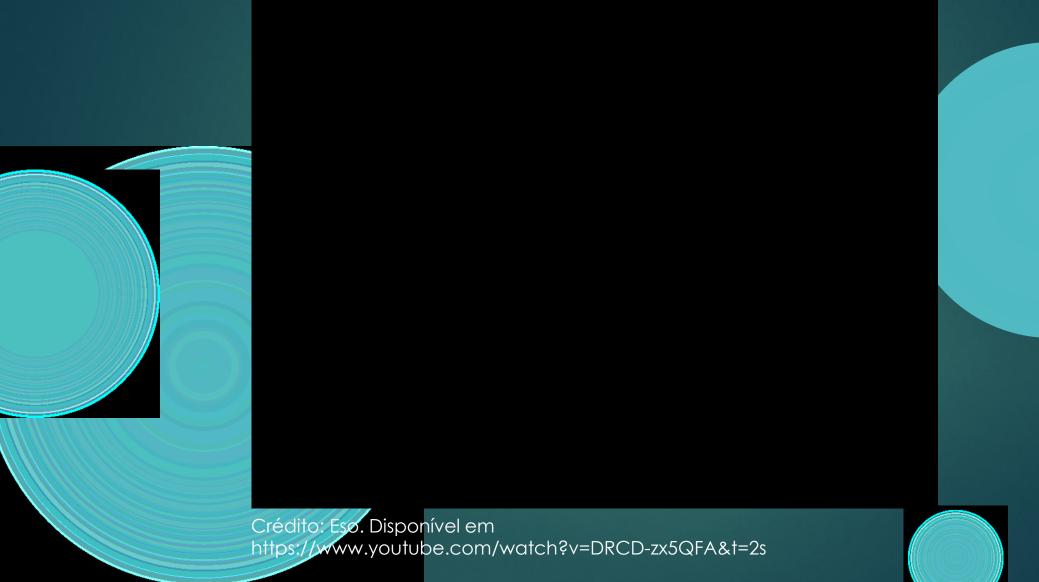


TIPOS E FORMAÇÃO

- Buracos Negros Supermassivos:
 - Análise de núcleo de galáxias revelou existência de um objeto muito massivo (milhões de vezes a Msol) e compacto;
 - Acredita-se que são resultado da colisão aglomerados com milhões de estrelas em um universo mais jovem;
 - Geralmente 1 por galáxia e no centro, mas há exceções;
 - Massa da ordem de milhões a bilhões de sóis, proporcional ao tamanho da galáxia;
- Entretanto, todas as observações foram indiretas: analisava-se o comportamento de estrelas, nuvens de gás e poeira, ejeção de raios X e Raios Gama até 2019.

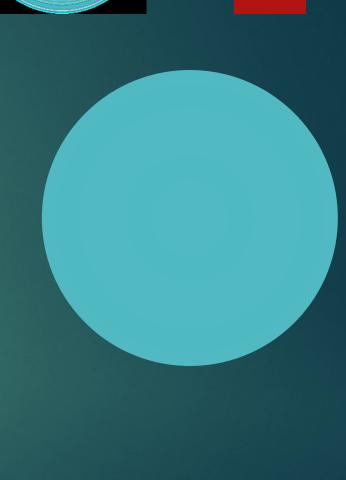


SAGITTARIUS A – CENTRO DA VIA-LÁCTEA





MORFOLOGIA





Event horizon

Singularity

At the very centre of a black hole, matter has collapsed into a region of infinite density called a singularity.

All the matter and energy that fall into the black hole ends up here.

The prediction of infinite density by general relativity is thought to indicat the breakdown of the theory where quantum effects become important.

Event horizon

This is the radius around a singularity where matter and energy cannot escape the black hole's gravity: the point of no return.

This is the "black" part of the black hole.

Photon sphere

Although the black hole itself is dark, photons are emitted from nearby hot plasma in jets or an accretion disc (see below). In the absence of gravity, these photons would travel in straight lines, but just outside the event horizon of a black hole, gravity is strong enough to bend their paths so that we see a bright ring surrounding a roughly circular dark "shadow".

The Event Horizon Telescope is hoping to see both the ring and the "shadow".

Relativistic jets

When a black hole feeds on stars, gas or dust, the meal produces jets of particles and radiation blasting out from the black hole's poles at near light speed.

They can extend for thousands of light-years into space. The GMVA will study how these jets form.

Innermost stable orbit

The inner edge of an accretion disc is the last place that material can orbit safely without the risk of falling past the point of no return.

Accretion disc

A disc of superheated gas and dust whirls around a black hole at immense speeds, producing electromagnetic radiation (X-rays, optical, infrared and radio) that reveal the black hole's location. Some of this material is doomed to cross the event horizon, while other parts may be forced out to create jets.

Photon sphere

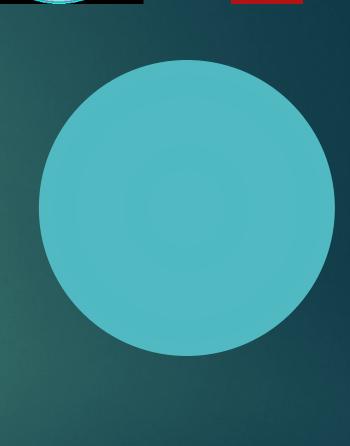
Singularity

Innermost stable orbit

Relativistic Jet

gráfico descrevendo a estrutura de um especial Credito: <u>ESO.</u> Fonte: www.eso.org

A PRIMEIRA IMAGEM

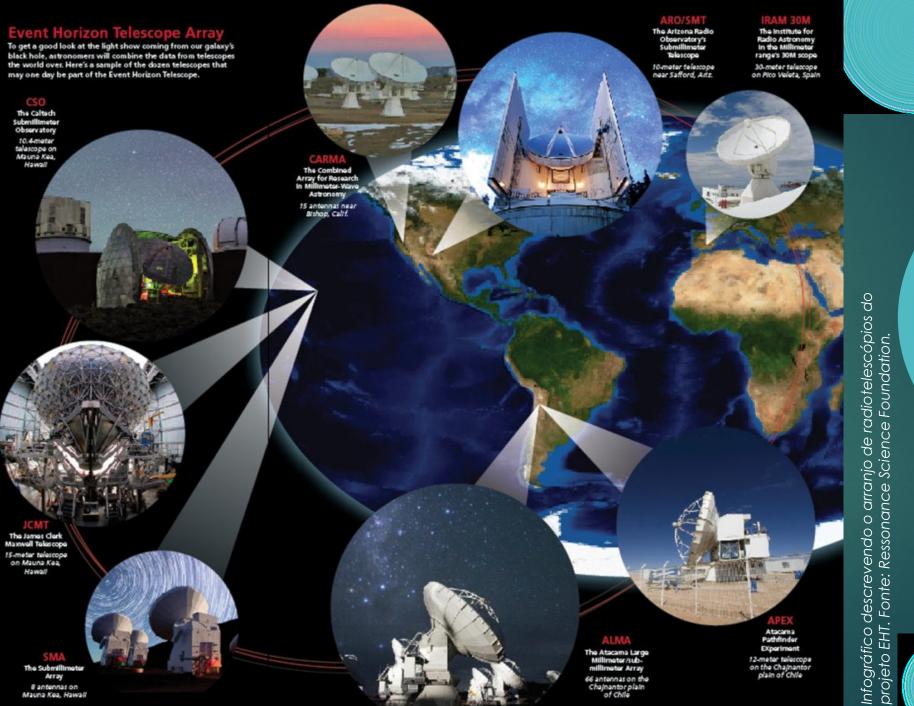




O EQUIPAMENTO

- EHT Event Horizon Telescope
 - Parceria de 13 institutos de pesquisa de diferentes países;
 - Combinação de 8 Radiotelescópios em diferentes pontos da Terra;
 - Utilizando Interferometria, gerou virtualmente um radiotelescópio com o diâmetro do Planeta;
 - Investimento de 18 milhões de euros para equipamentos;









COLETA DE DADOS E TRATAMENTO

- Realizada em abril de 2017 na faixa de ondas de rádio (comprimento de onda de 1,3mm);
 - Melhor resolução;
 - Atravessa o disco de acreção e poeira interestelar;

Cada radiotelescópio produziu 350 terabytes de dados por dia de observação;

Armazenados em Hd's de alto desempenho;

Total de dados: 5 Petabytes (equivalente 300.000 filmes em alta resolução);



COLETA DE DADOS E TRATAMENTO

Transportados por avião até os supercomputadores no MIT (EUA) e Instituto Max Planck (Alemanha) para redução e produção da imagem.

Apoio de 200 pesquisadores;

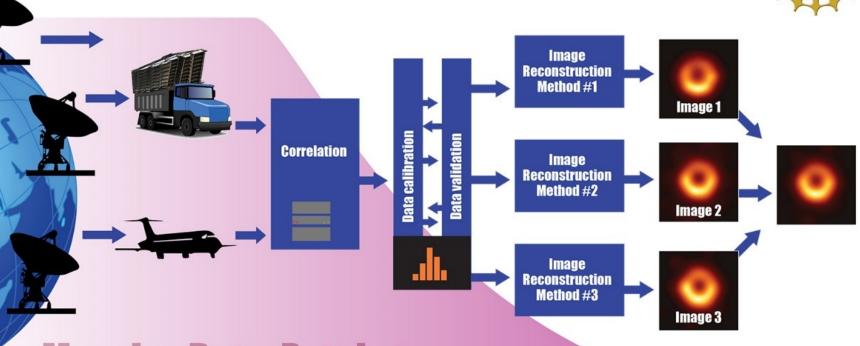
Desafios:

- Tempo aberto em todos os sítios de observação;
- Poder de processamento;
- Equalização dos equipamentos;



Event Horizon Telescope Imaging of Black Hole A Massive Data Undertaking





Massive Data: Petabytes

Down to Kilobytes

Multiple telescopes scattered around the globe simultaneously record radio waves from a single [astronomical] source. Data is too big to be transferred over the Internet and must be trucked or airplaned out to the correlator for processing.

The correlator combines large volumes of raw data from all telescopes, sifting out signals from noise.

Correlated data gets calibrated and validated through an iterative process in order to enable image reconstruction. Calibrated data moves ahead to image reconstruction. Different methods are used to confirm the result.

Images are compared to theoretical predictions, simulations, models, etc.

He: https://www.nsf.gov



Diâmetro: cerca de 120.000 anos-luz

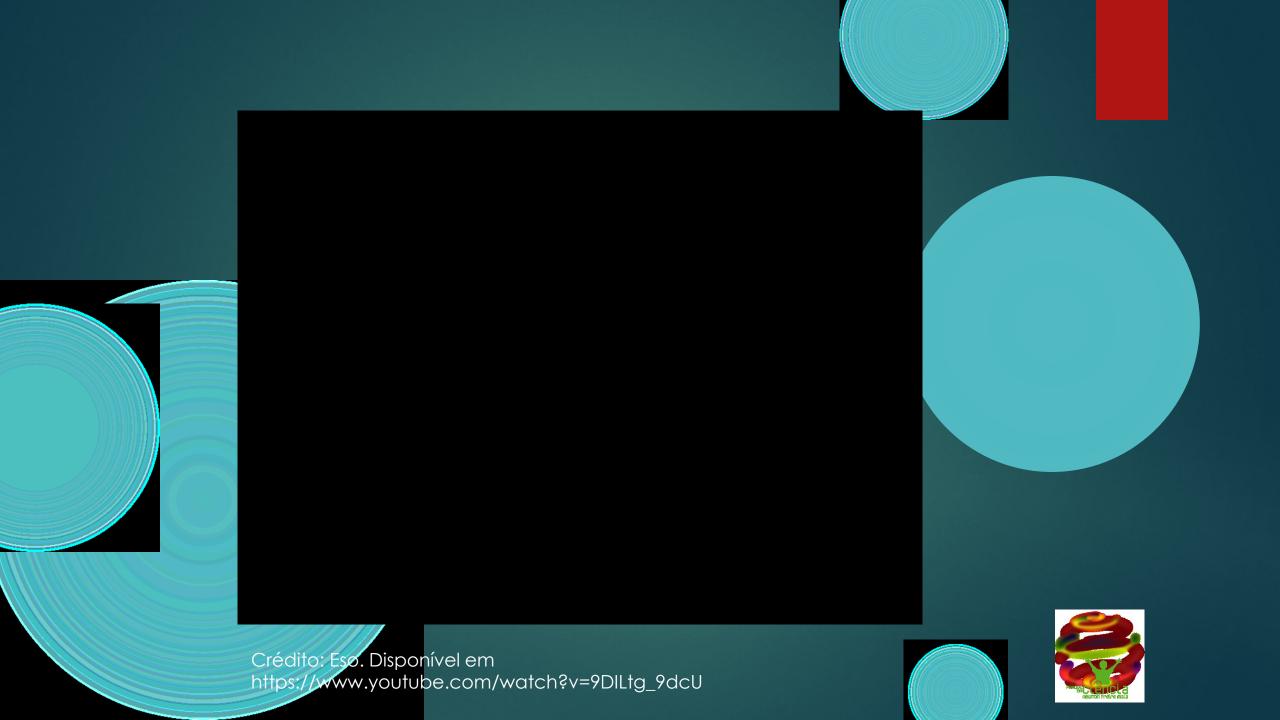
Distância: cerca de 55 milhões de anos-luz

Localização: Região Central do Aglomerado de Virgem.

POR QUÊ M87?

- ▶ Apesar de muito mais longe do que Sagittarius A:
 - Menos concentração de poeira e gases;
 - Massa e tamanho muito maior;
 - Posição do jato relativístico indica que o disco de acreção é quase perpendicular a nós;





DETALHES DA IMAGEM



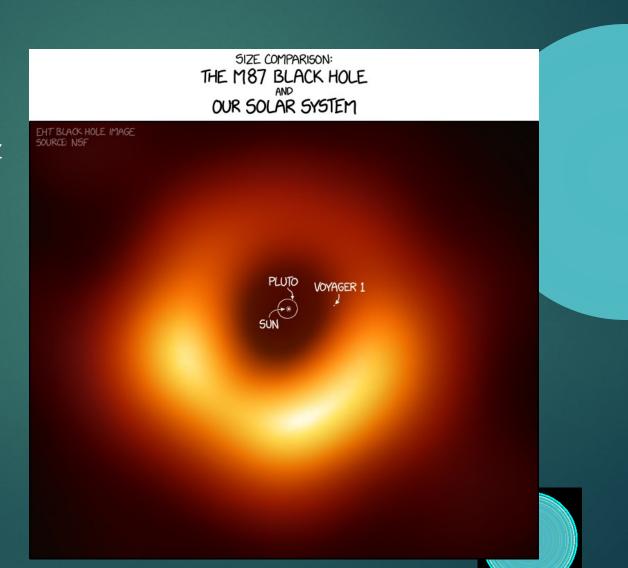


TAMANHO E ESCALA

Diâmetro: Aproximadamente

1,47 dia-luz ou 35 horas-luz 38 bilhões de km)

Sistema Solar: 11 horasluz (11,9 bilhões de Km);





ESTRUTURA

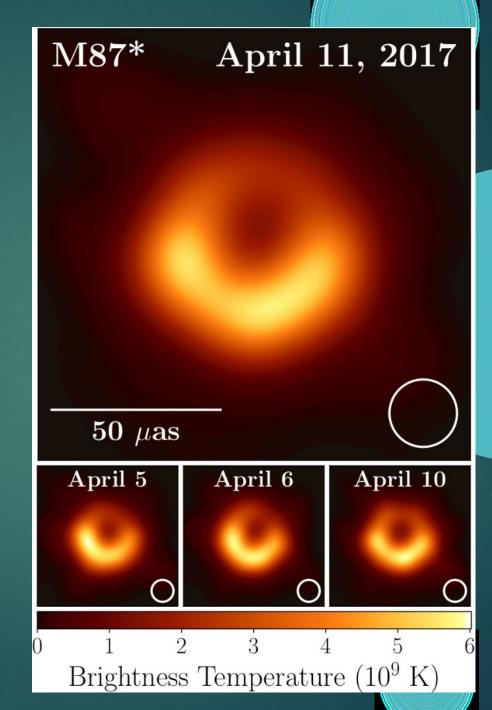
Sombra: área sem escape (região do buraco negro, talvez 2,5 vezes menor)

Horizonte de eventos em rotação no sentido horário a cada 2 dias. As partículas voltadas para Terra aparentam mover-se mais rápido, portanto ficam mais brilhantes na imagem.



CORES E ROTAÇÃO

- Correspondem à temperatura do material que orbita o buraco negro:
 - PRETO → 2,7K (TEMPERATURA MÉDIA DO UNIVERSO)
 - VERMELHO ESCURO → 2 BILHÕES DE K
 - ► AMARELO → 5 BILHÕES DE K
 - BRANCO → SUPERIOR A 6
 BILHÕES DE K
- São convenções, uma vez que a imagem foi gerada a partir de sinais de radio;







CONSEQUÊNCIAS E PLANOS FUTUROS

- Possibilidade análise do comportamento e das características do horizonte de eventos;
- Refinamento de uma técnica de observação que pode ser aplicada a outras estruturas (interferometria);

Novo método de medição da massa de buracos negros;

- Possibilidade de determinar com mais precisão a distribuição da matéria ao redor do buraco negro;
 - Mais uma evidência observacional dos modelos previstos na Teoria da Relatividade Geral;
- Em breve teremos imagens de Sagitarius A e outros semelhantes;
- Possibilidade de instalar radiotelescópios nos pontos de Lagrange(regiões em que a atração gravitacional da Terra, da Lua e do Sol se anulam) gerando um radiotelescópio com tamanho virtual da órbita da Terra.



USO PEDAGÓGICO

- Filosofia e História da Ciência (construção do conhecimento, o que é um modelo, o que é uma teoria científica);
- Espectro eletromagnético (tipos de radiação, temperatura, emissão);
- Escala do universo (massas, distâncias, tamanhos, unidades de medida);
- Mecânica Newtoniana (aceleração da gravidade, velocidade de escape, energia potencial cinética, conversões, órbitas);



UM PARALELO DE 50 ANOS





REFERÊNCIAS

- BRASIL. Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Educação é a Base. Brasília, MEC/CONSED/UNDIME, 2017. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EL_EF_110518_versaofinal_site.pdf. Acessado em 14/04/2019.
- ▶ EHT. Event Horizon Telescope. https://eventhorizontelescope.org/
- https://www.forbes.com/sites/startswithabang/2019/04/11/10-deep-lessons-from-our-first-image-of-a-black-holes-event-horizon/#7c0ac56355e6
- https://aasnova.org/2019/04/10/firshimages-of-a-black-hole-from-the-event-horizon-telescope/
- https://jornal.usp.br/ciencias/ciencias-exatas-e-da-terra/dia-historico-para-a-ciencia-revelada-a-primeira-imagem-de-buraco-negro/
 - PARANÁ. Secretaria de Estado da Educação. Referencial Curricular do Paraná: Princípios, direitos e orientações. Disponível em http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/bncc/2018/referencial_curricular_parana_preliminar.pdf. Acessado em 14/04/2019.
 - PICAZZIO, Enos. [org.] O céu que nos envolve. São Paulo: Odysseus, 2011.
- SAA, Alberto. Cem anos de buracos negros: o centenário da solução de Schwarzschild. **Rev. Bras. Ensino Fís.**, São Paulo, v. 38, n. 4, e4201, 2016. Disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_artte_fispid=\$1806-11172016000400301&lng=en&nrm=iso. acessado em 14 /04/19. Epub Oct 10, 2016.
- The EHT Collaboration et al. 2019. "Jent Horizon Telescope Results. IV. Imaging the Central Supermassive Black Hole." ApJL, 875, Pp. 4. Publisher's Version

