

BURACO NEGRO:



É POSSÍVEL FOTOGRAFAR ALGO INVISÍVEL?

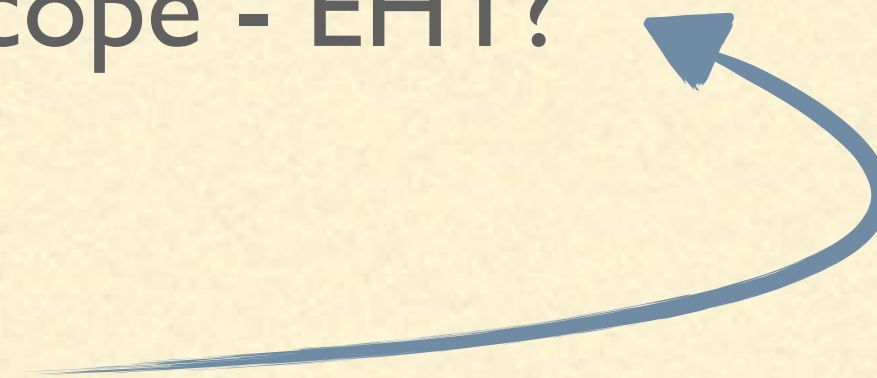
SUMÁRIO

SUMÁRIO

- Como fotografar um buraco negro?
-

SUMÁRIO

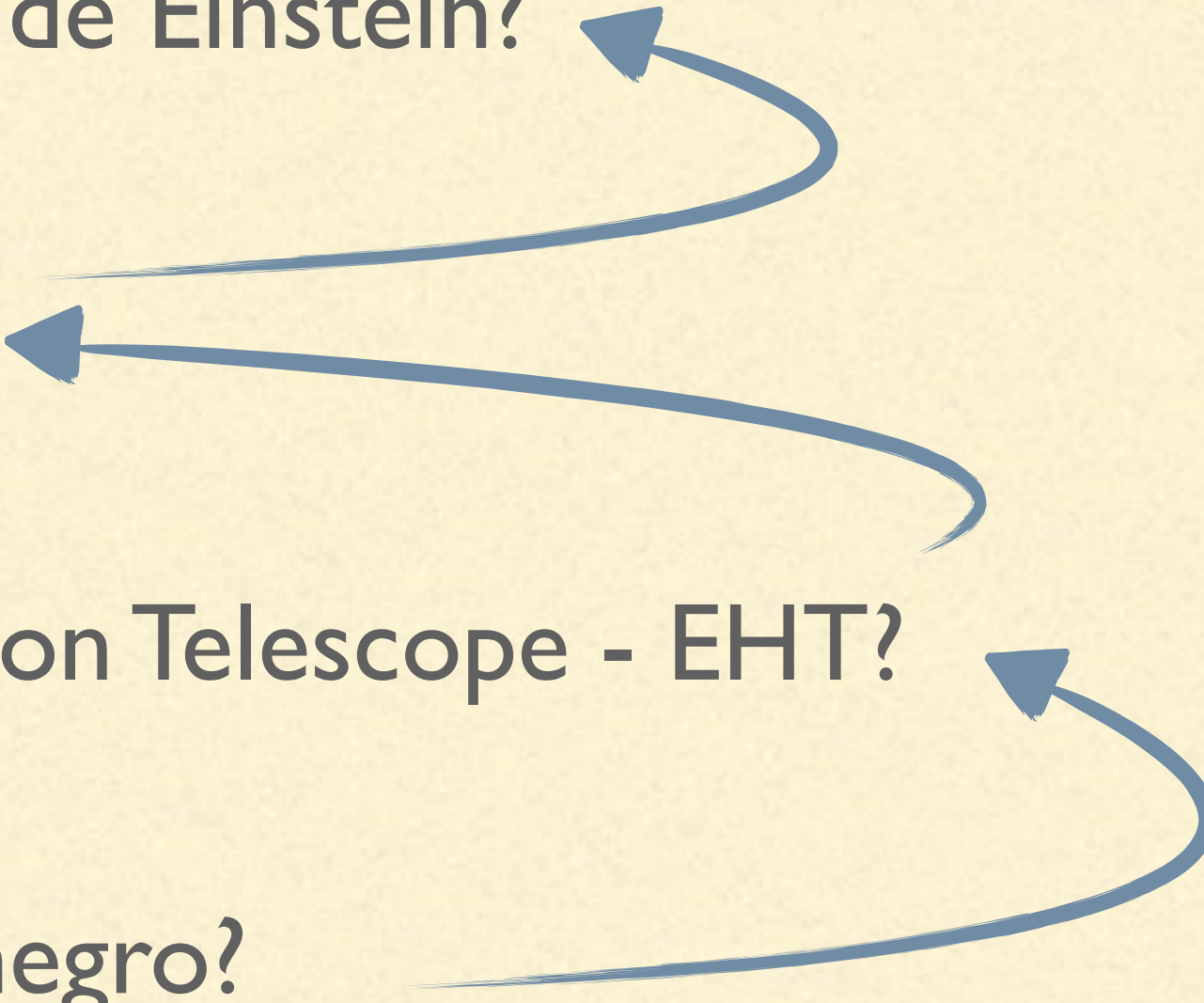
- Como funciona o Event Horizon Telescope - EHT?
- Como fotografar um buraco negro?



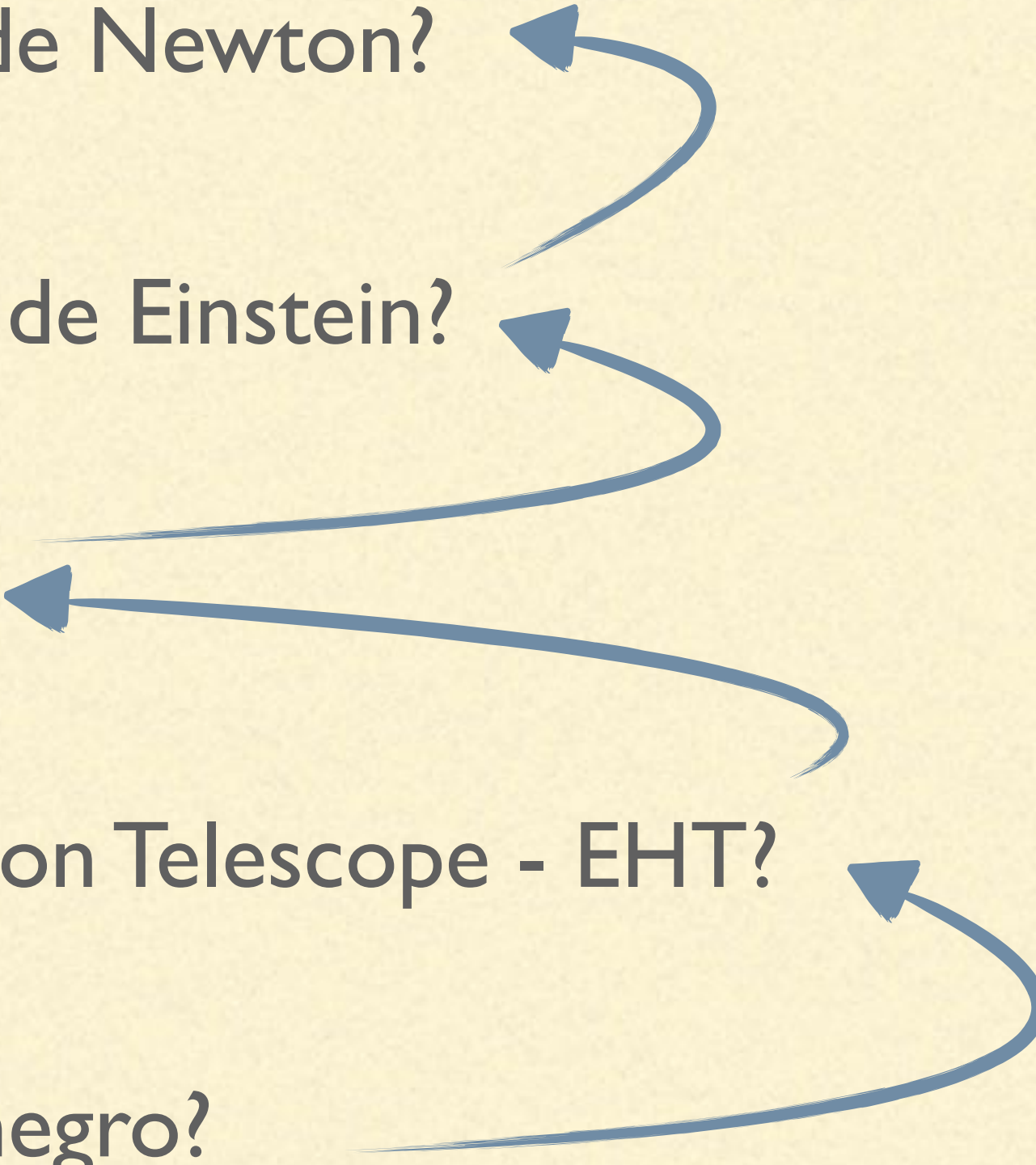
SUMÁRIO

- O que é um buraco negro?
 - Como funciona o Event Horizon Telescope - EHT?
 - Como fotografar um buraco negro?
- 

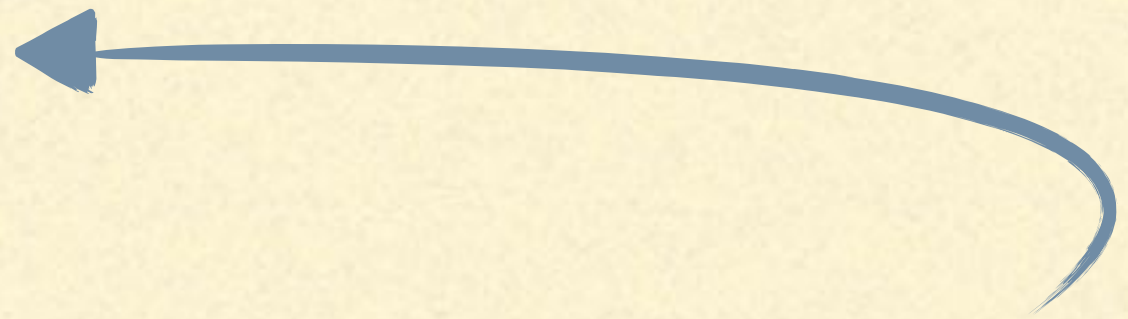
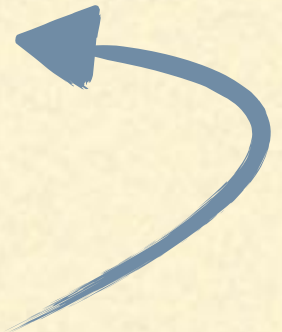
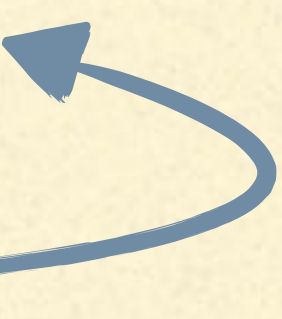
SUMÁRIO

- O que é a Teoria gravitacional de Einstein?
 - O que é um buraco negro?
 - Como funciona o Event Horizon Telescope - EHT?
 - Como fotografar um buraco negro?
- 
- The diagram consists of three blue curved arrows. The first arrow starts from the right side of the third list item ('Como funciona o Event Horizon Telescope - EHT?') and points to the right side of the first list item ('O que é a Teoria gravitacional de Einstein?'). The second arrow starts from the right side of the second list item ('O que é um buraco negro?') and points to the right side of the first list item. The third arrow starts from the right side of the fourth list item ('Como fotografar um buraco negro?') and points to the right side of the second list item.

SUMÁRIO

- Porque substitui a gravitação de Newton?
 - O que é a Teoria gravitacional de Einstein?
 - O que é um buraco negro?
 - Como funciona o Event Horizon Telescope - EHT?
 - Como fotografar um buraco negro?
- 

SUMÁRIO

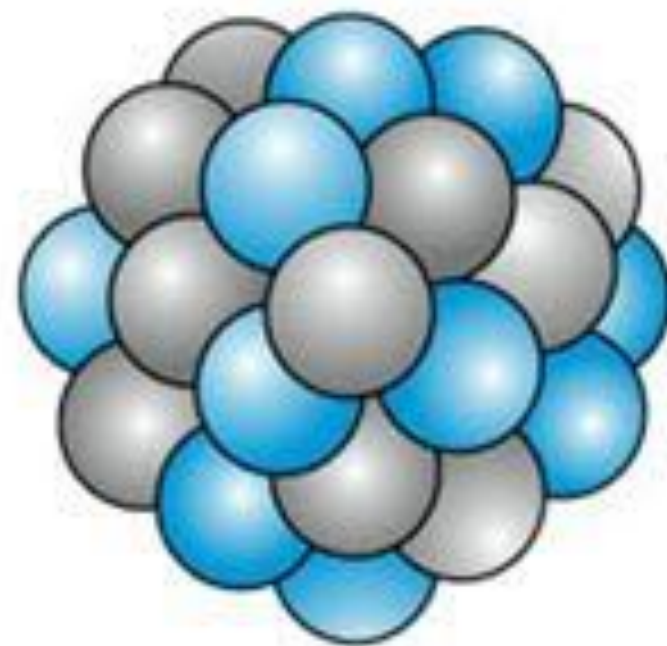
- O que é gravitação? 
 - Porque substitui a gravitação de Newton? 
 - O que é a Teoria gravitacional de Einstein? 
 - O que é um buraco negro? 
 - Como funciona o Event Horizon Telescope - EHT? 
 - Como fotografar um buraco negro?
-

O QUE É GRAVITAÇÃO

Interações fundamentais

Forte

Atomic nuclei
Fission and fusion
Quark structure of
proton and neutron



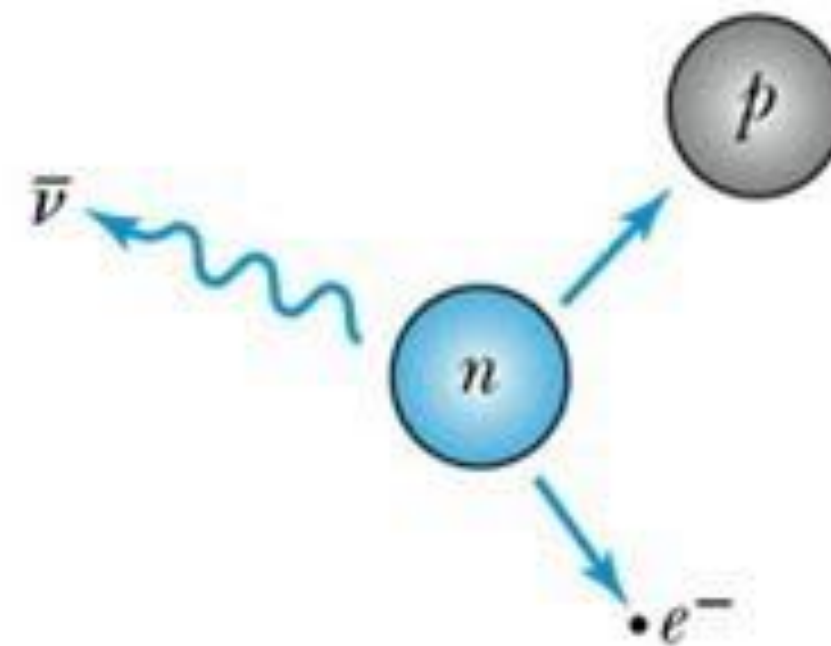
Eletromagnética

Atoms and molecules
Chemical reactions
Light waves
Electronics



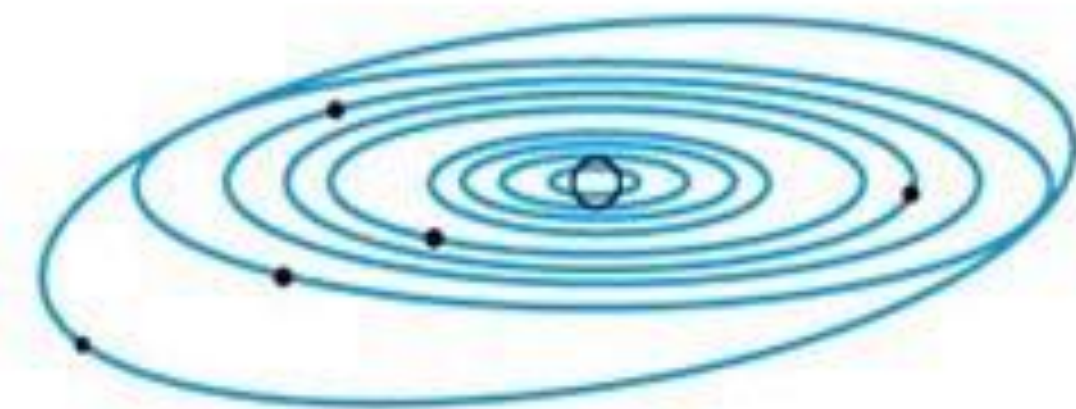
Fraca

Neutron decay
Beta radioactivity
Muon and tau decay
Neutrino interactions



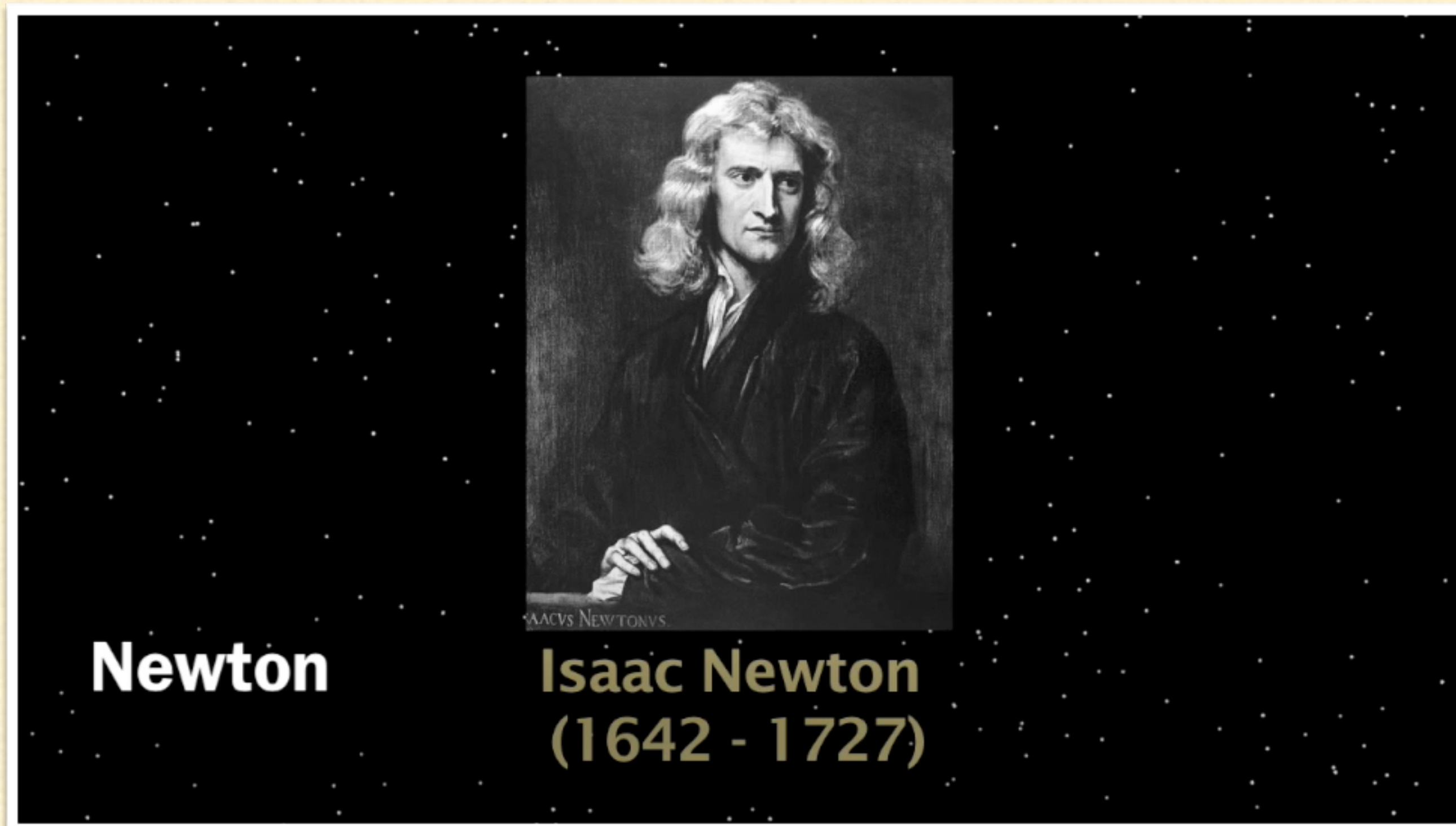
Gravitacional

Solar system
Galaxies
Curved spacetime
Black holes



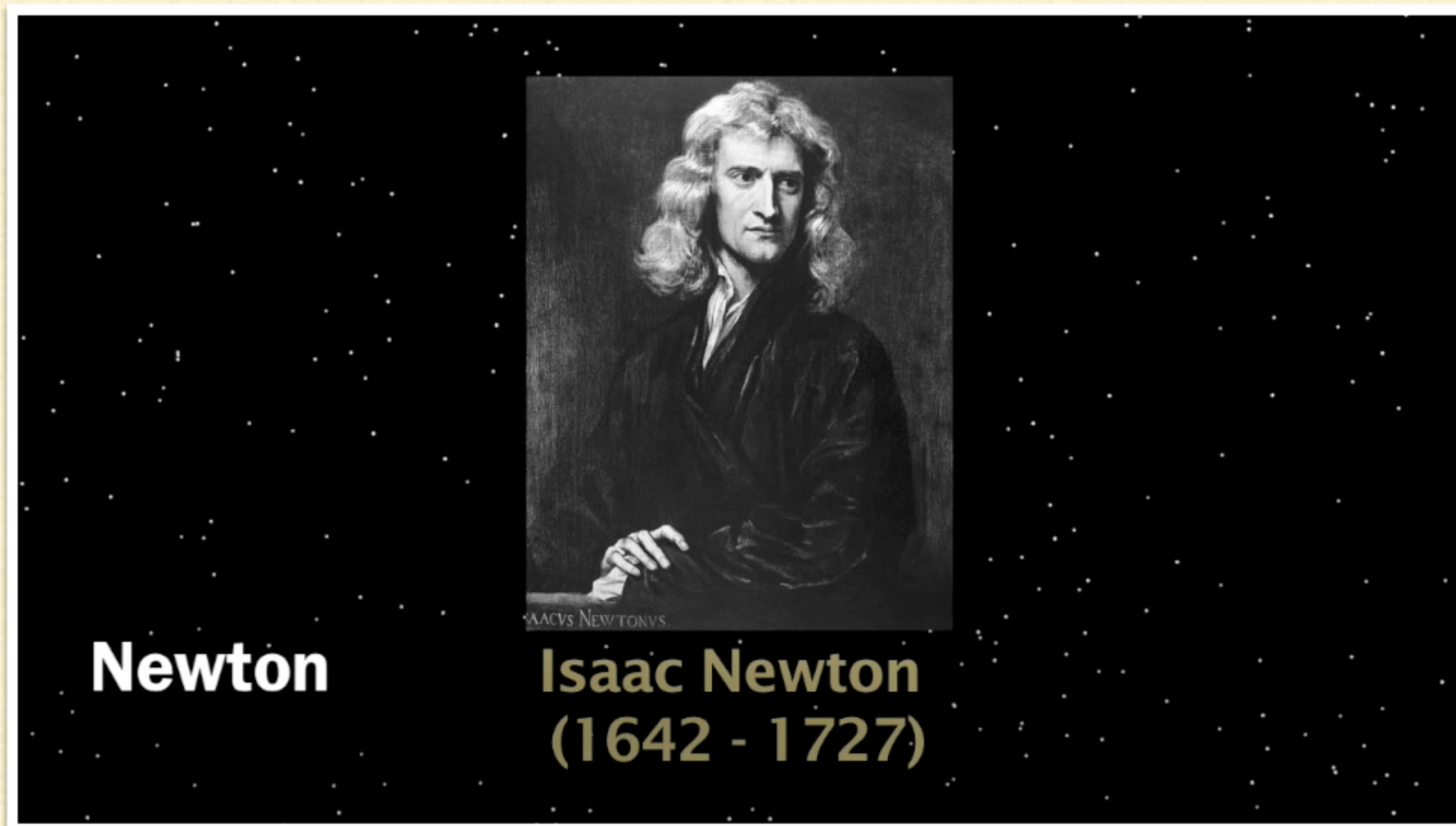
GRAVITAÇÃO DE NEWTON
X
GRAVITAÇÃO DE EINSTEIN

GRAVITAÇÃO DE NEWTON



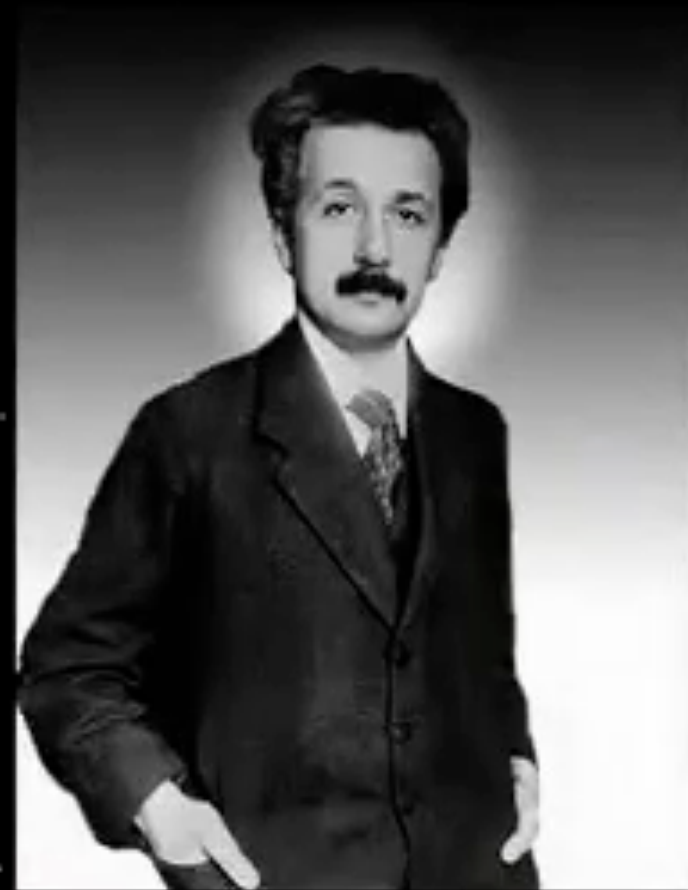
- Tempo absoluto
- Espaço plano não influenciado
- Interação gravitacional como uma força
- Não descreve corretamente a órbita de Mercúrio

GRAVITAÇÃO DE NEWTON



- Tempo absoluto
- Espaço plano não influenciado
- Interação gravitacional como uma força
- Não descreve corretamente a órbita de Mercúrio

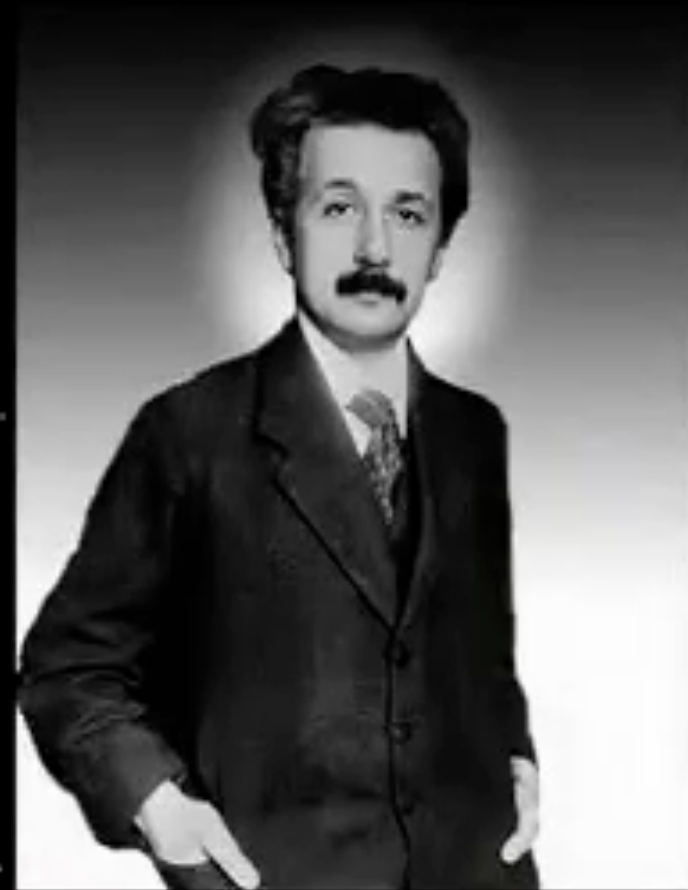
GRAVITAÇÃO DE EINSTEIN



Albert Einstein
(1879 - 1955)

- Tempo e espaço não são independentes;
- Eles são influenciados pela matéria nele presente;
- Matéria diz ao espaço-tempo como se curvar e o espaço-tempo diz à matéria como se mover.

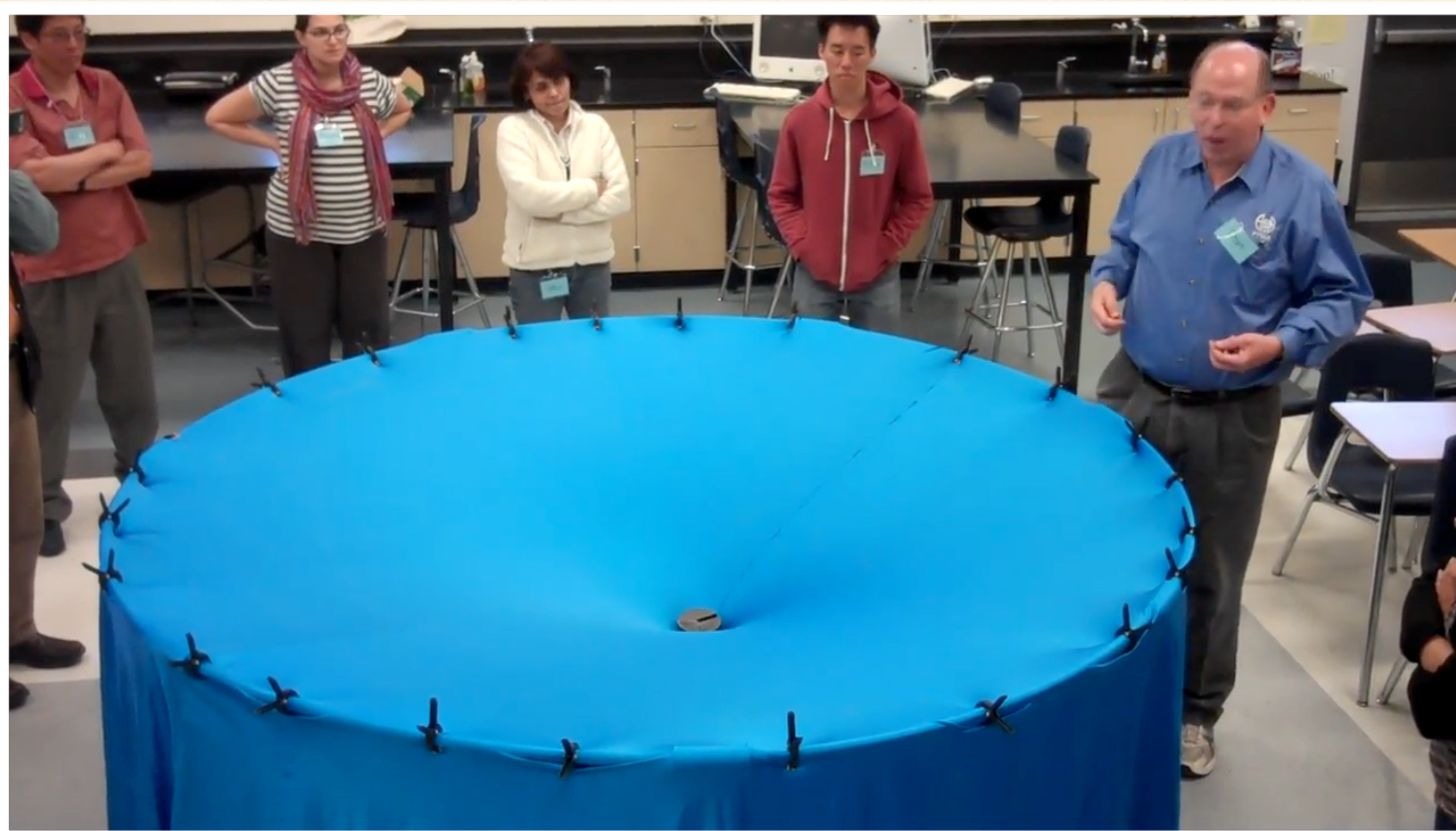
GRAVITAÇÃO DE EINSTEIN



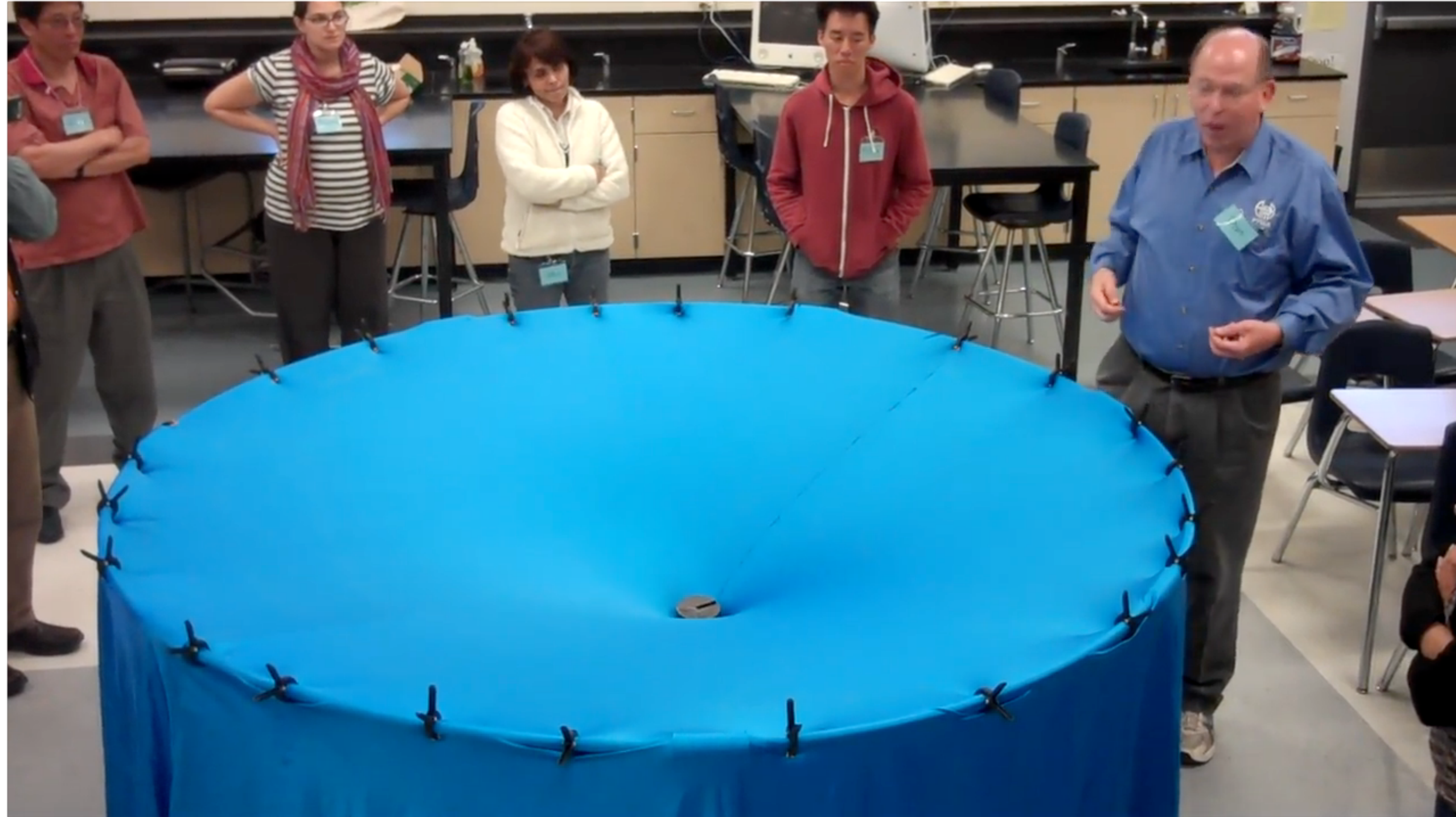
Albert Einstein
(1879 - 1955)

- Tempo e espaço não são independentes;
- Eles são influenciados pela matéria nele presente;
- Matéria diz ao espaço-tempo como se curvar e o espaço-tempo diz à matéria como se mover.

DINÂMICA NA RELATIVIDADE GERAL

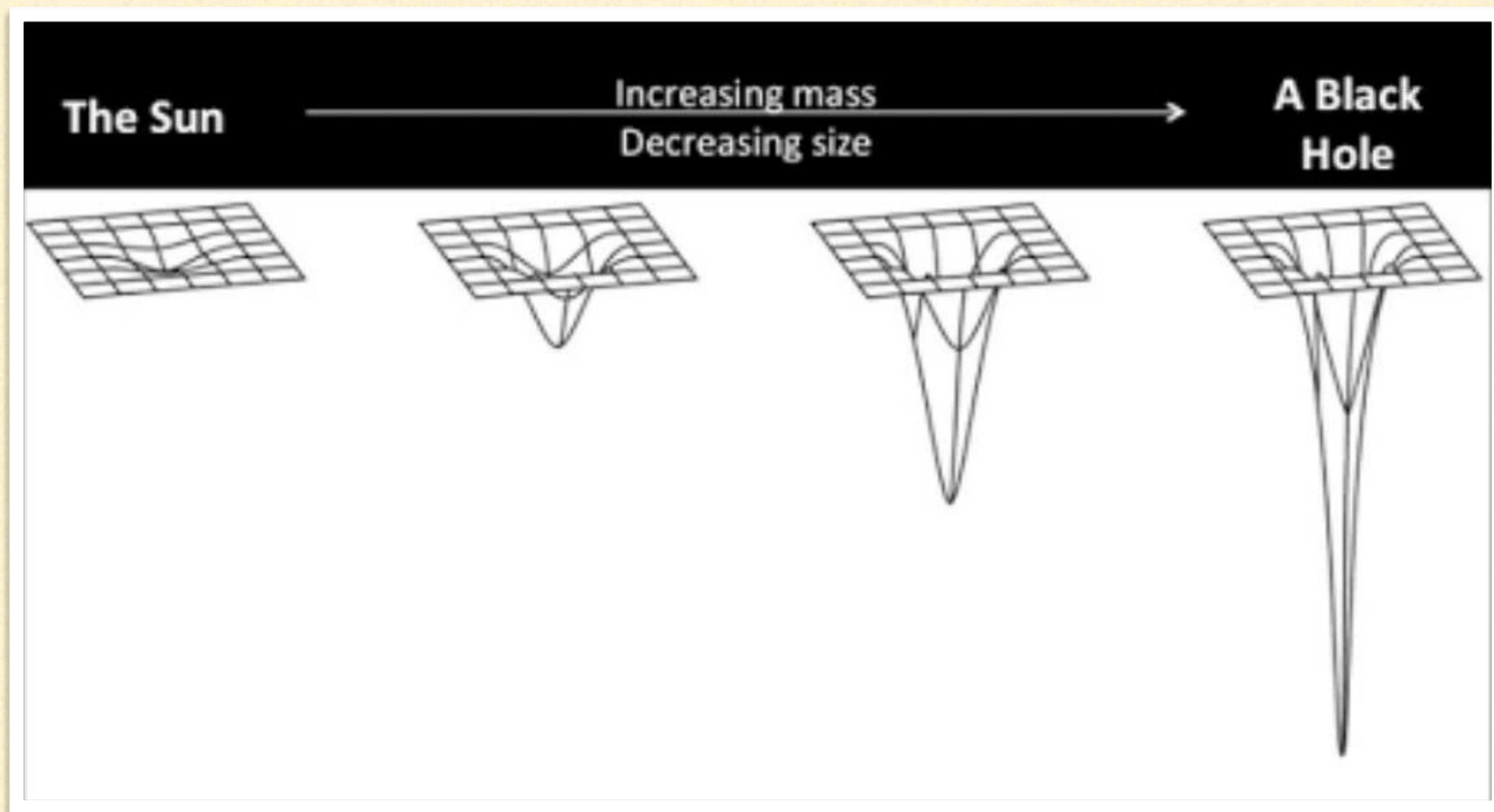


DINÂMICA NA RELATIVIDADE GERAL

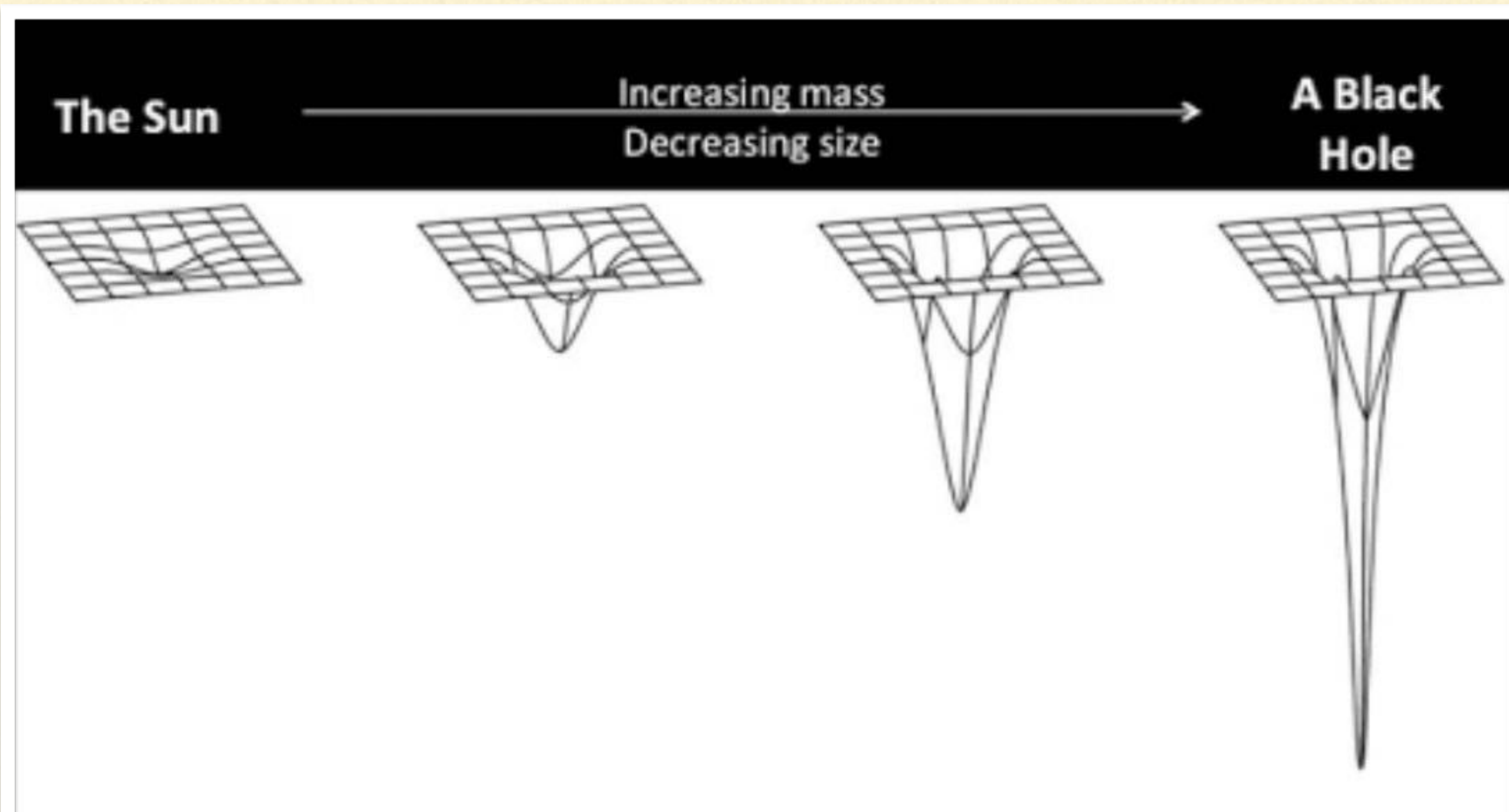


O QUE É UM BURACO NEGRO?

ALTAS DENSIDADES FORMAM BURACOS NEGROS



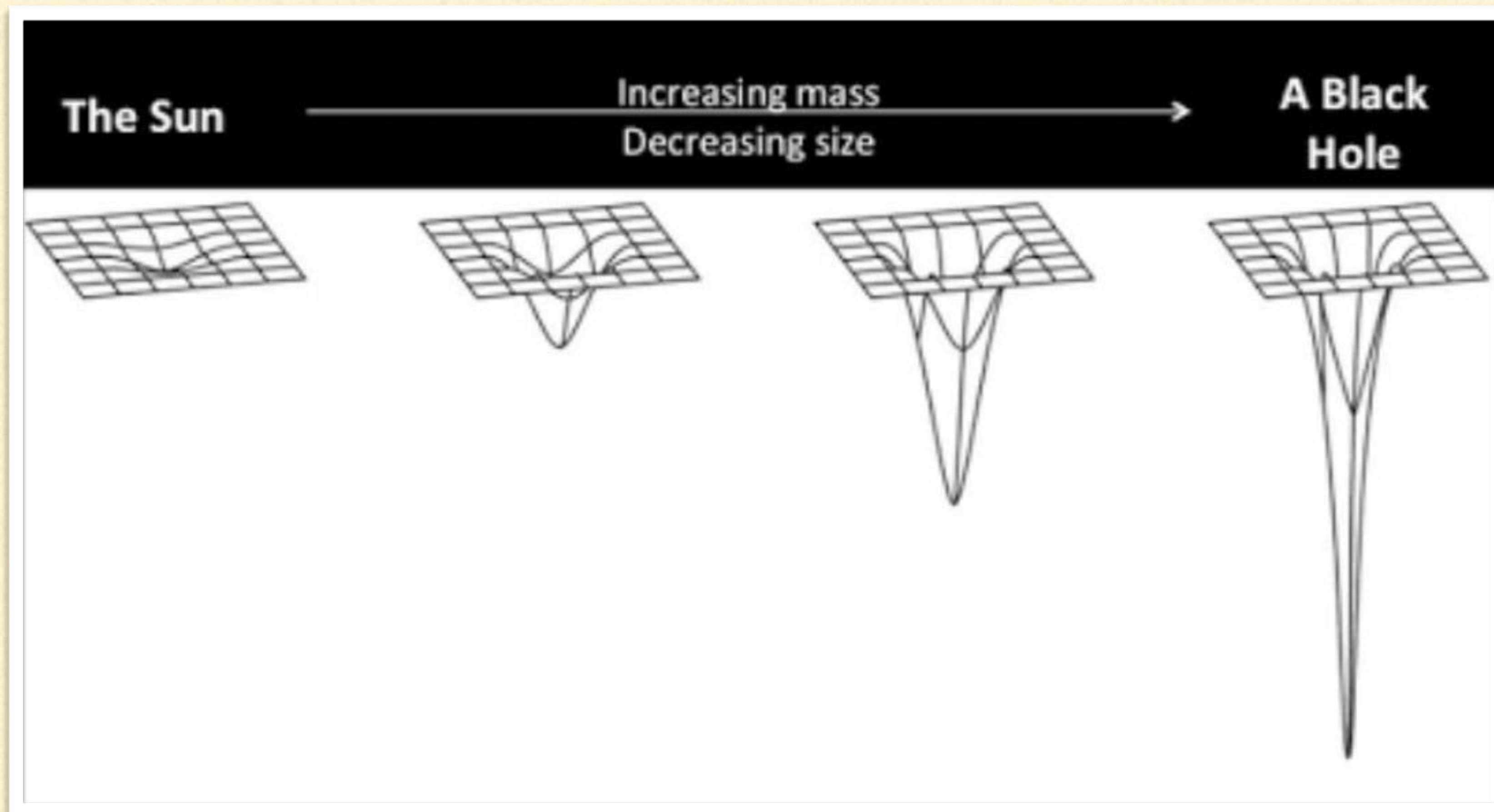
ALTAS DENSIDADES FORMAM BURACOS NEGROS



- Raio de Schwarzschild:

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

ALTAS DENSIDADES FORMAM BURACOS NEGROS

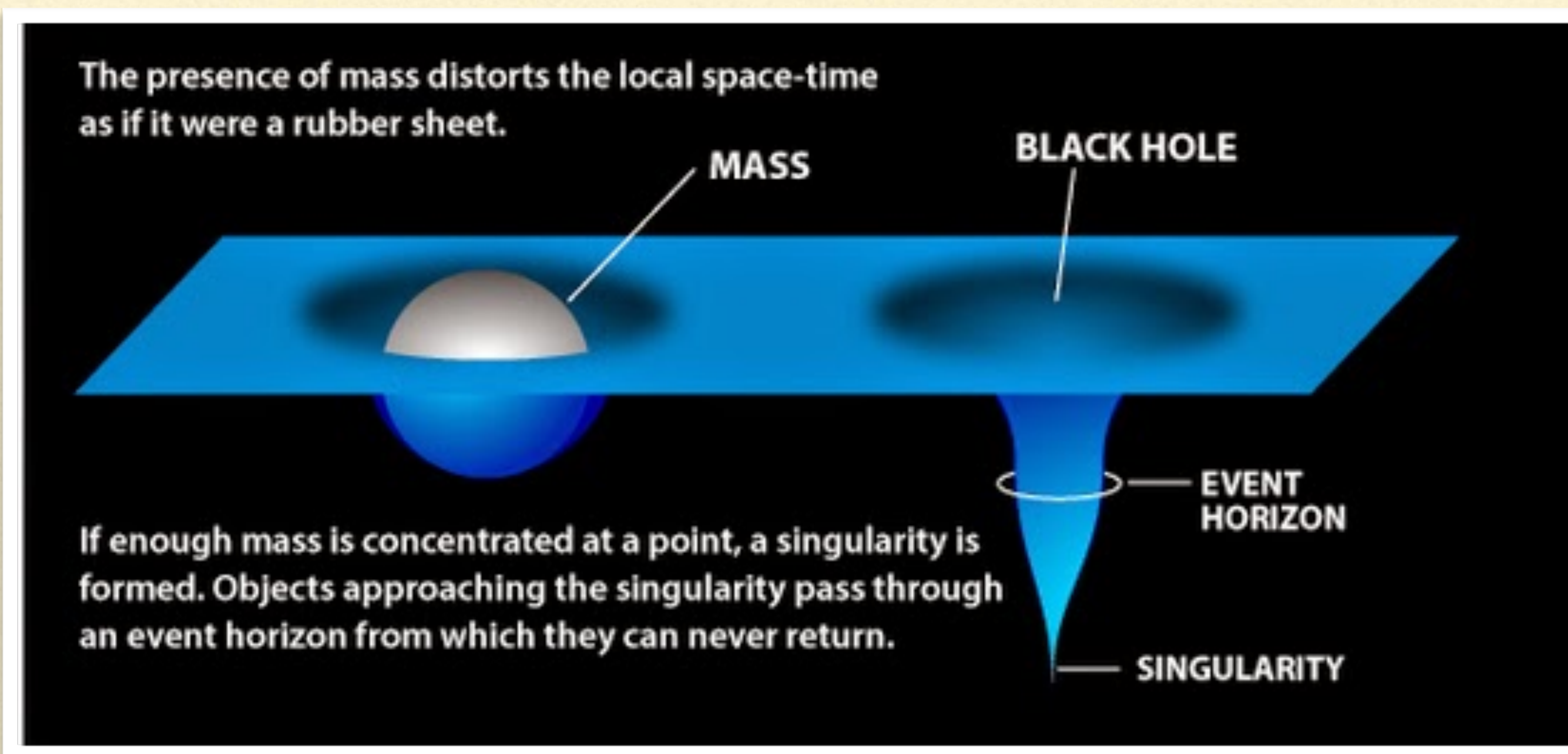


- Raio de Schwarzschild:

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

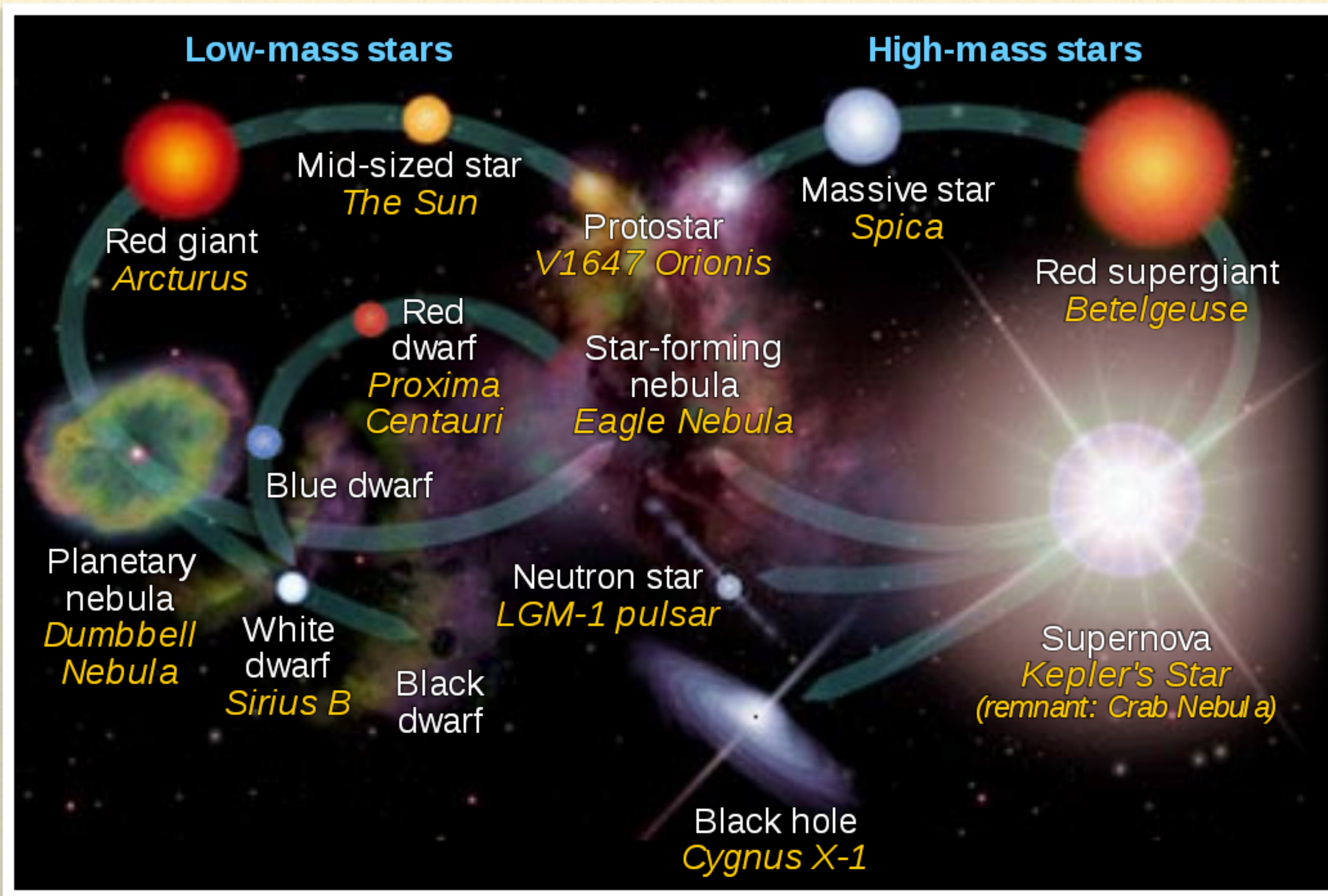
- Terra: 9 mm
- Sol: 3 km

HORIZONTE DE EVENTOS



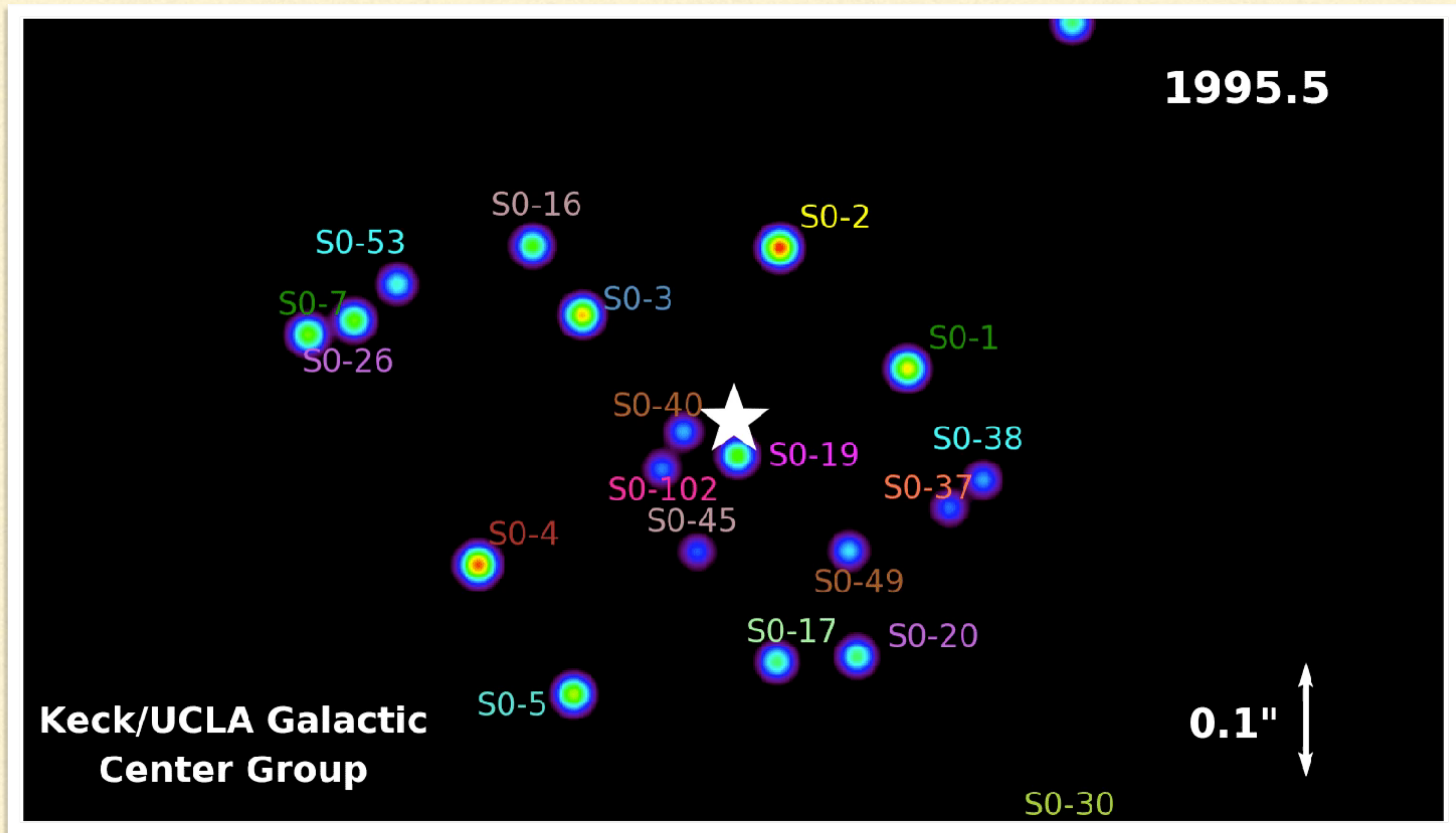
- **Horizonte de Eventos:**
Ponto à partir do qual a luz não pode escapar.
- **Singularidade:**
Densidade infinita de energia.

COMO SE FORMAM OS BURACOS NEGROS?

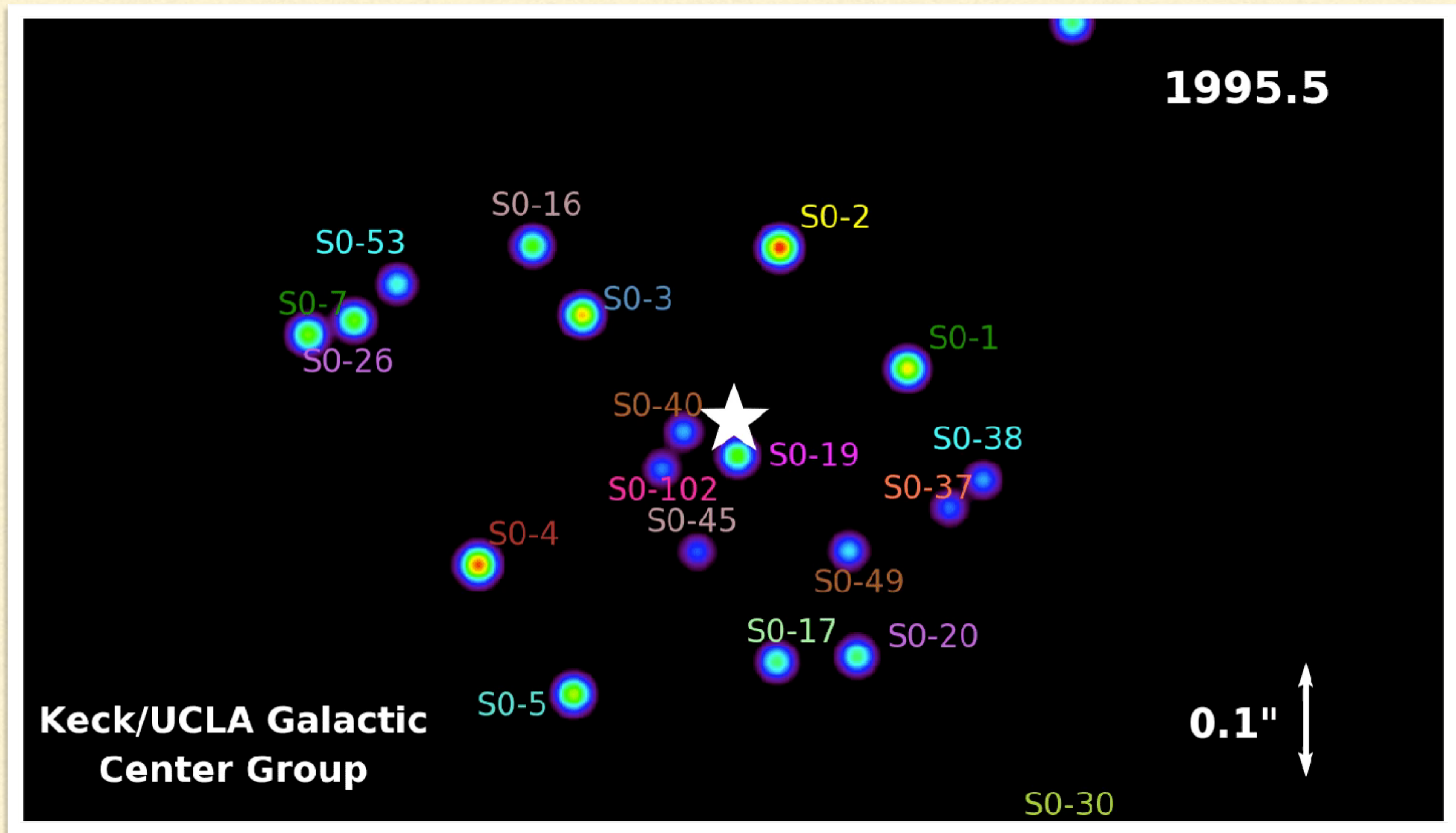


COMO SABEMOS QUE BURACOS NEGROS
REALMENTE EXISTEM?

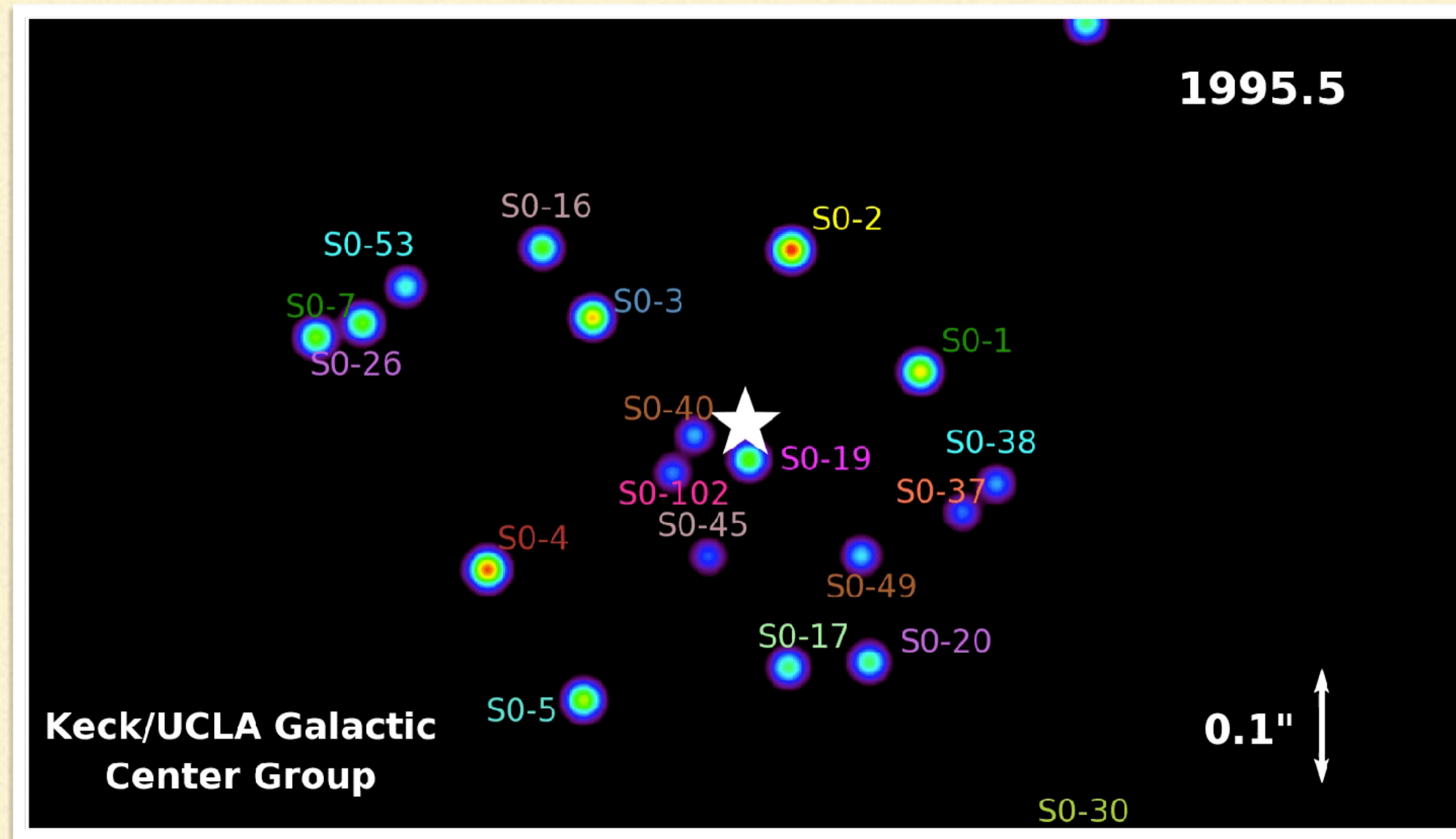
EVIDÊNCIAS DE BURACOS NEGROS



EVIDÊNCIAS DE BURACOS NEGROS



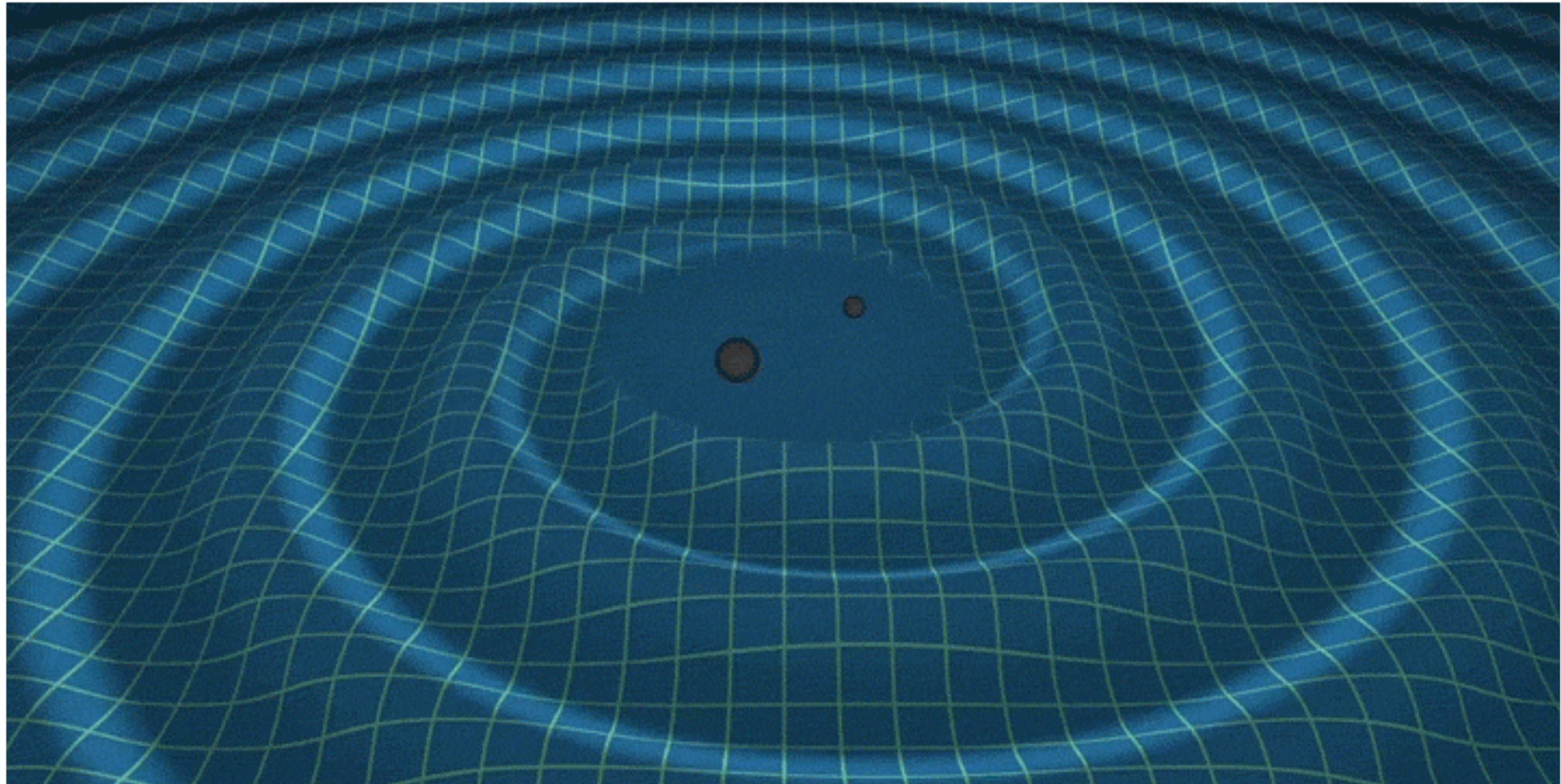
EVIDÊNCIAS DE BURACOS NEGROS



Saggitario A*:

- 25.000 anos-luz da Terra
- 4 milhões de massas solares

EVIDÊNCIAS DE BURACOS NEGROS



EVIDÊNCIAS DE BURACOS NEGROS

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 indicate 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.

Relativistic Jet

Accretion disc

Event horizon

Singularity

Photon sphere

Innermost stable orbit

**Jato de matéria da
Messier 87**



SOMBRA DE UM BURACO NEGRO: **SIMULAÇÃO**



SOMBRA DE UM BURACO NEGRO: **SIMULAÇÃO**



COMO FUNCIONA O EHT?

DIFICULDADES

- Sgr A* possui um raio de 1.000.000 km e está localizado a $d \sim 10^{17}$ km;
- Isso dá uma razão $r/d = 10^{-11}$, equivalente a enxergar uma **laranja** na superfície da **lua**.

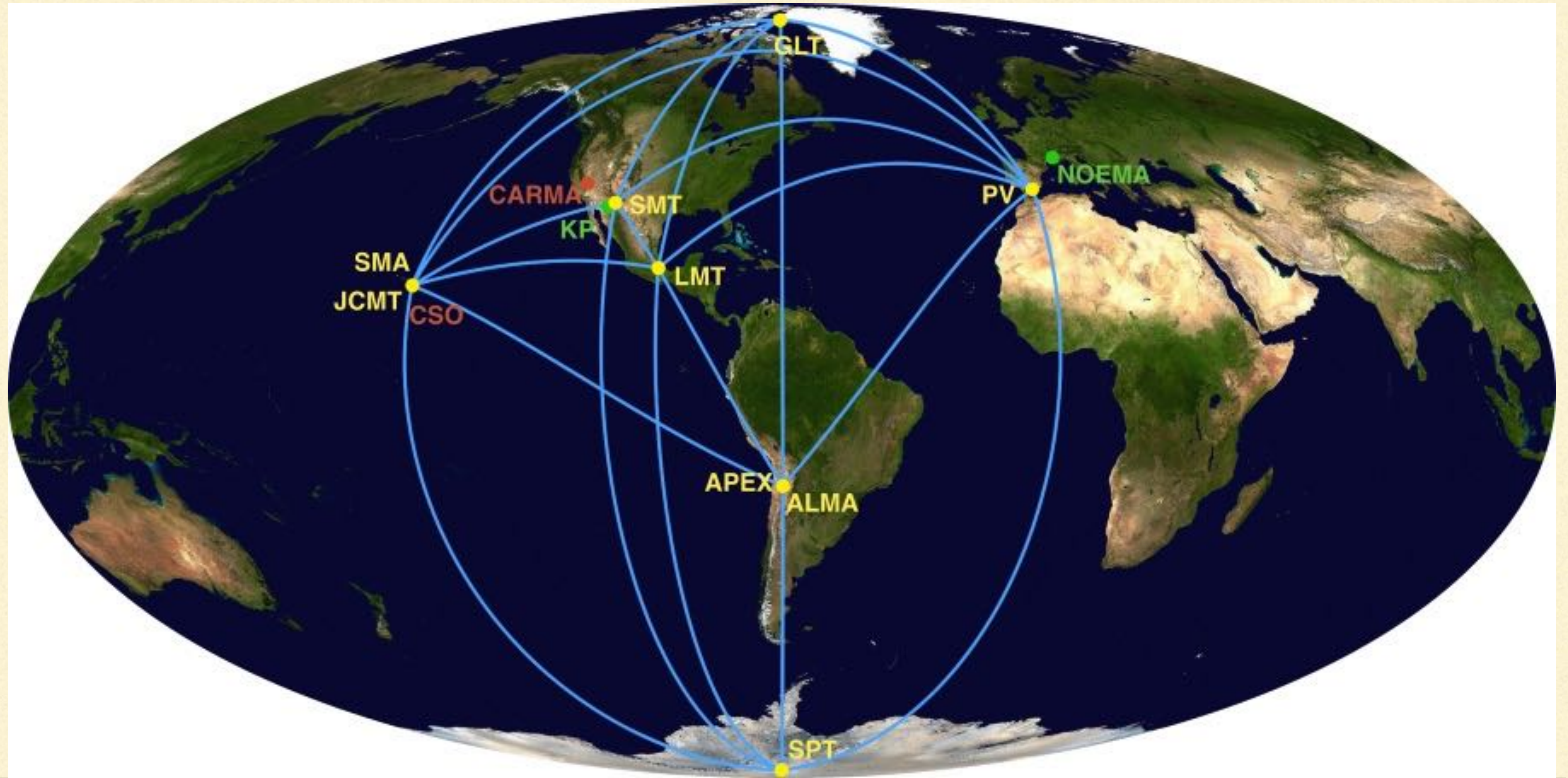
Limitações de Telescópios

$$\text{Tamanho do objeto} \approx \frac{\text{Comprimento de onda}}{\text{Tamanho do telescópio}}$$

A large, blue, parabolic satellite dish is shown in space, angled towards the right. The dish is supported by a white structural frame. In the lower-left corner, the curved horizon of the Earth is visible, showing brown landmasses and white clouds. The background is a deep black space filled with numerous small white stars and a few larger, brighter blue stars.

We Need an
Earth-Sized
Telescope!

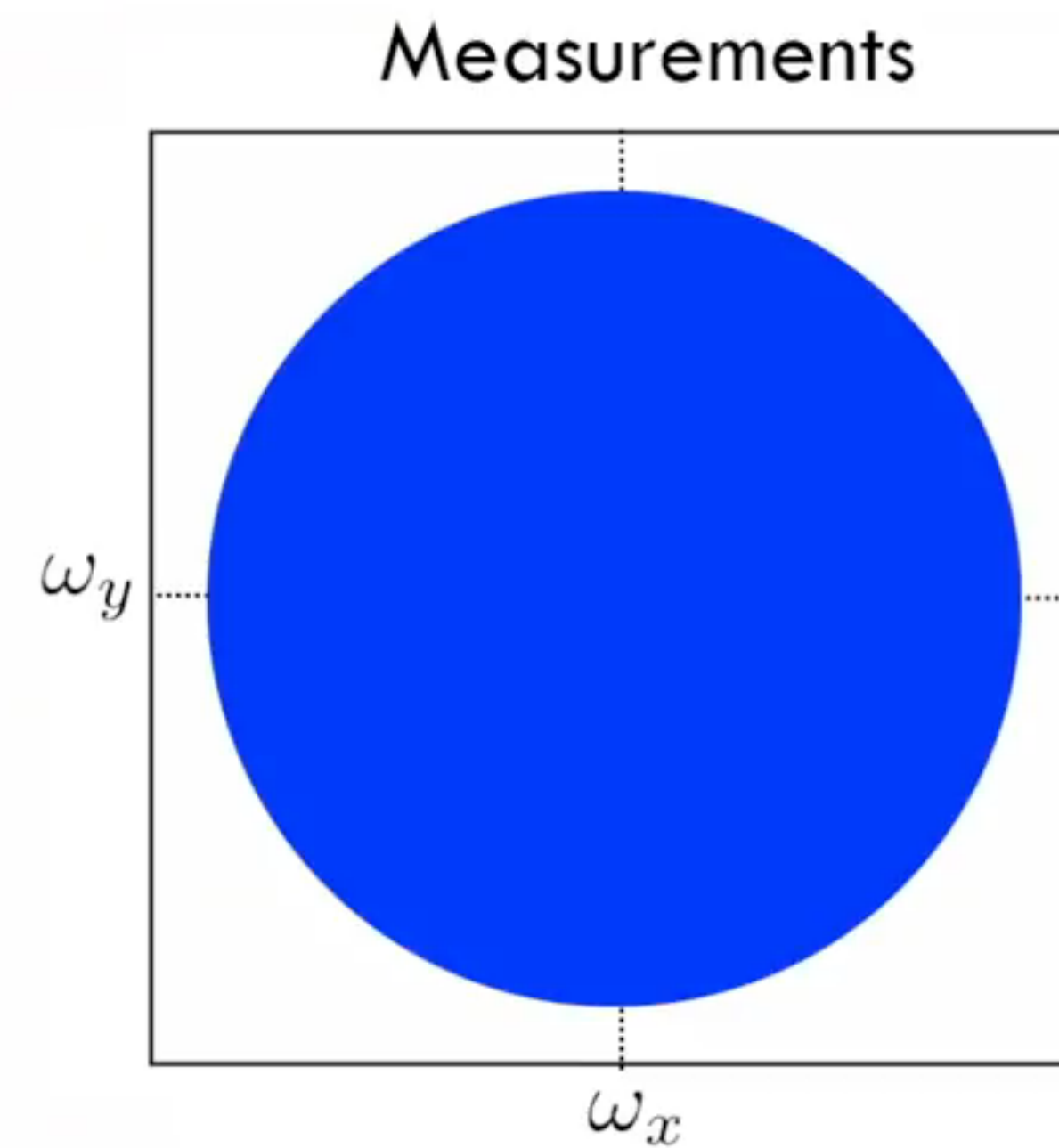
REDE DE TELESCÓPIOS DO EHT



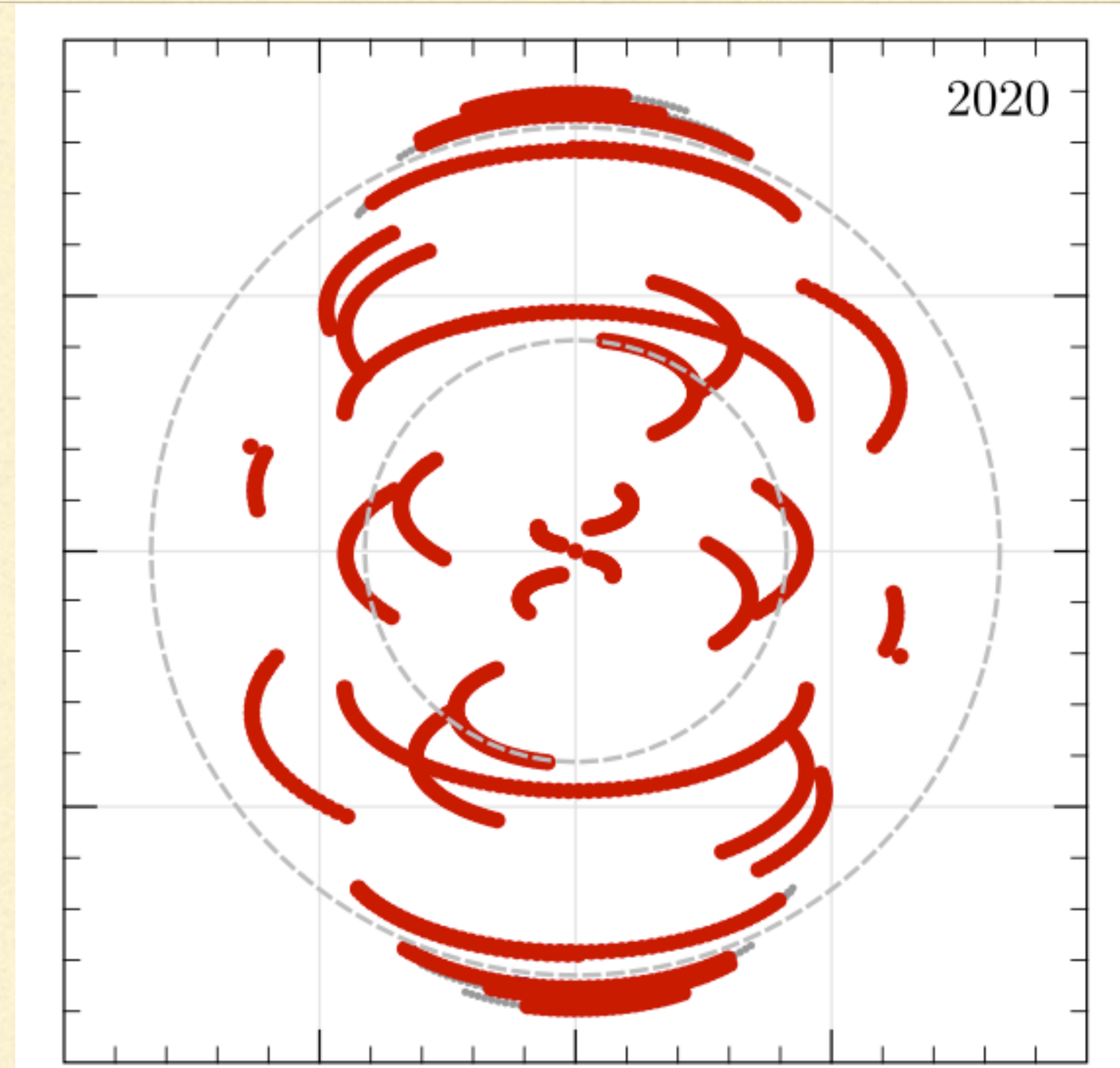
ALTA RESOLUÇÃO MAS PEQUENA COBERTURA

ALTA RESOLUÇÃO MAS PEQUENA COBERTURA

The Event Horizon Telescope

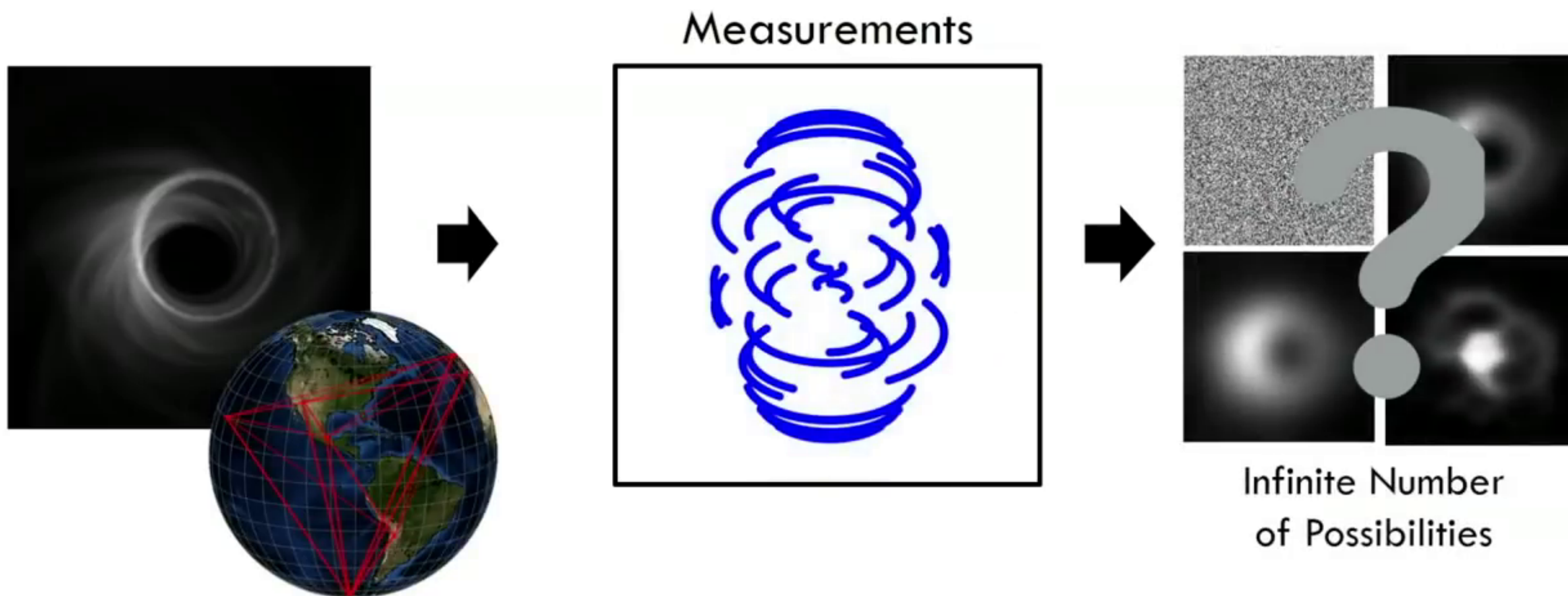


ALTA RESOLUÇÃO MAS PEQUENA COBERTURA



ALTA RESOLUÇÃO MAS PEQUENA COBERTURA

Reconstructing an Image



RECONSTRUÇÃO DA IMAGEM

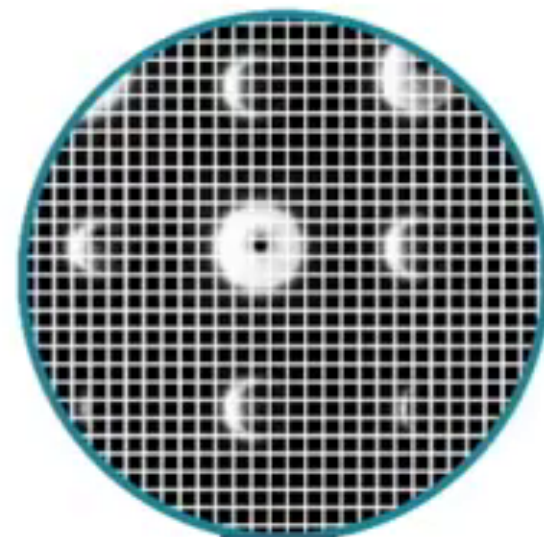
- Um algoritmo foi construído para reconstruir a imagem mais provável à partir dos dados;
 - O programa age como um desenhista de retrato falado;
 - Várias imagens podem ser produzidas e classificadas entre mais prováveis e menos prováveis;
-

RECONSTRUÇÃO DA IMAGEM

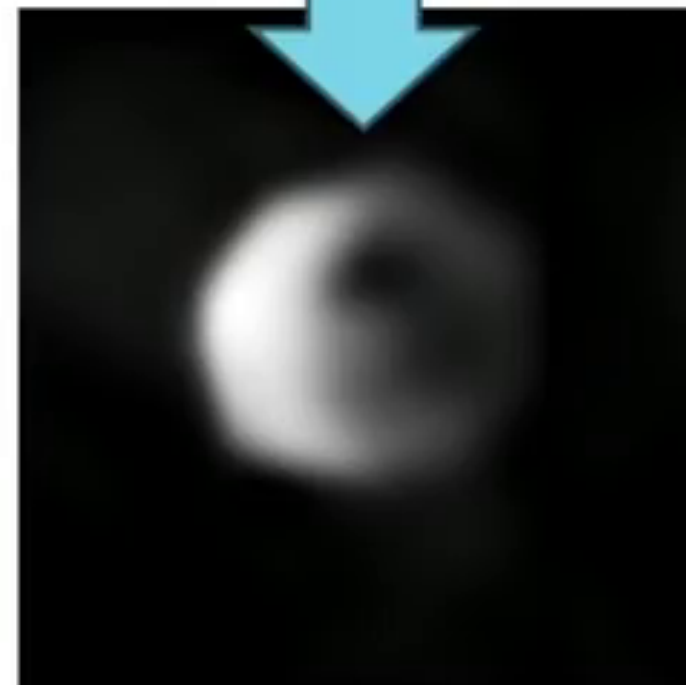
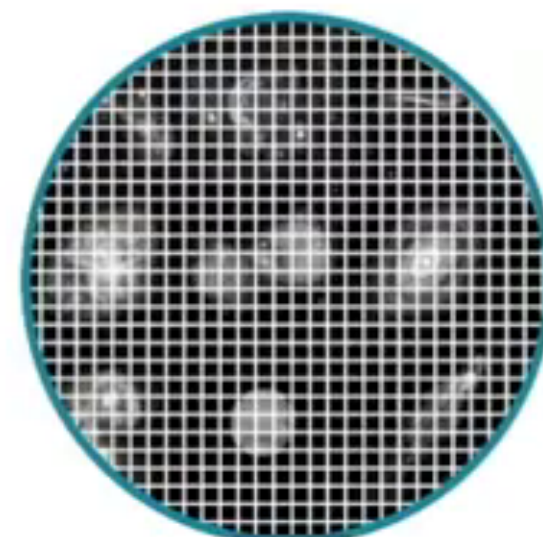
- Um algoritmo foi construído para reconstruir a imagem mais provável à partir dos dados;
 - O programa age como um desenhista de retrato falado;
 - Várias imagens podem ser produzidas e classificadas entre mais prováveis e menos prováveis;
 - **Mas como saber o que é mais parecido com a realidade se nunca vimos um buraco negro?**
-

RECONSTRUÇÃO DA IMAGEM

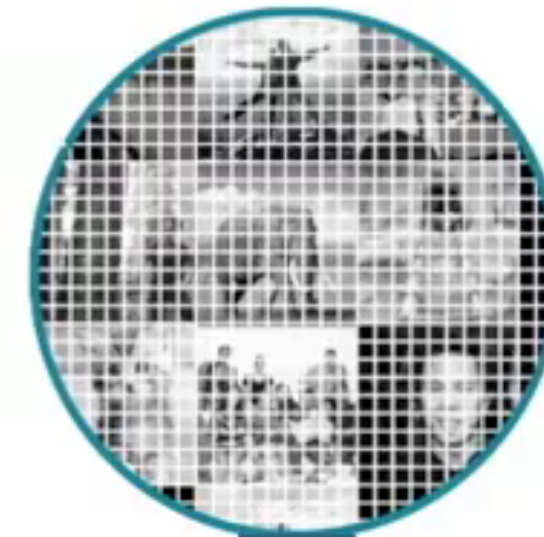
Results from Different “Puzzle Pieces”



Black Hole



Astronomical



Everyday

BURACO NEGRO M87*



- Vários outros algoritmos de reconstrução de imagem foram utilizados;
- 4 times trabalharam individualmente, sem nenhum contato, por 7 semanas;
- O resultado final consiste de uma média das imagens obtidas por cada time.

BURACO NEGRO M87*



- Vários outros algoritmos de reconstrução de imagem foram utilizados;
- 4 times trabalharam individualmente, sem nenhum contato, por 7 semanas;
- O resultado final consiste de uma média das imagens obtidas por cada time.
- Aproximadamente 6 bilhões de massas solares, raio de 10^{10} km e cerca de 50 milhões de anos-luz.

BURACO NEGRO M87*



- Vários outros algoritmos de reconstrução de imagem foram utilizados;
- 4 times trabalharam individualmente, sem nenhum contato, por 7 semanas;
- O resultado final consiste de uma média das imagens obtidas por cada time.
- Aproximadamente 6 bilhões de massas solares, raio de 10^{10} km e cerca de 50 milhões de anos-luz.
- **Mais um passo na evolução do conhecimento científico.**

Obrigado

Júnior Diniz Toniato
