

# Astronomia para Todos – Buracos Negros

Oswaldo Duarte Miranda

mailto:oswaldo@das.inpe.br



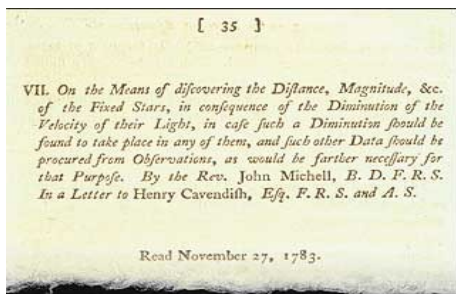
INPE – 27 de novembro de 2008

# Um pouco de História “pré-Einstein”



1687: Isaac Newton

- Tudo que sobe, também desce.....
- Eventualmente, um objeto que se mova com velocidade maior que 40.000 km/h poderia escapar do campo gravitacional da Terra.

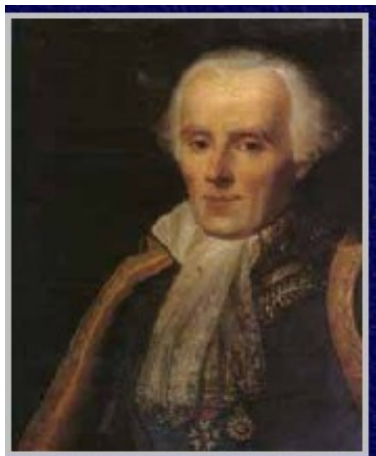


1783: Rev. John Michell

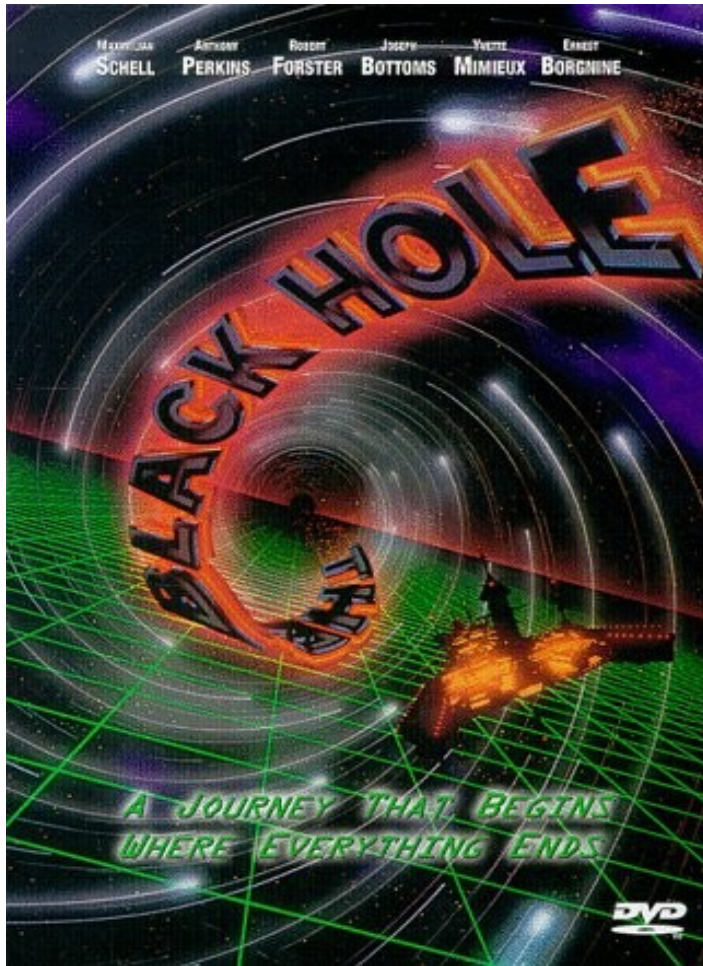
- Considere a velocidade da luz:  $\sim 300.000$  km/s
- Colocou a questão: Quão massivo um corpo pode ser de forma que a luz não escape dele – primeira descrição de um buraco negro – ou como chamadas na época: “estrelas escuras”.

1796: Pierre-Simon Laplace

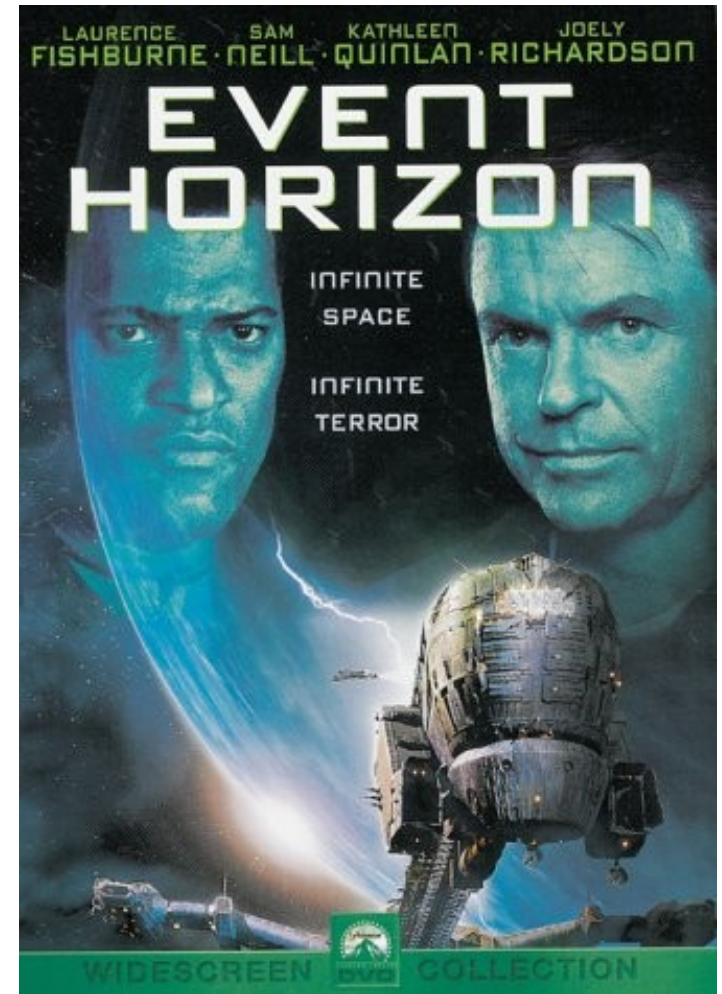
- De forma independente previu as propriedades e a possível existência dos buracos negros - “estrelas escuras”.



# Buracos Negros na Ficção Científica



“A Journey that Begins Where  
Everything Ends”



“Infinite Space – Infinite Terror”

Busca por: Título com a(s) palavra(s): **BURACOS NEGROS** - 9 títulos encontrados

Ordenado por: Título

Página: 1



**BURACOS NEGROS (em Portugues) (1997)**  
COUPER, HEATHER / HENBEST, NIGEL  
MODERNA EDITORA  
INFANTO-JUVENIS - CIENCIAS

Preço = R\$ 46,50 comprar



**Disponibilidade:**

Envio em até 7 dias úteis + prazo do frete (**Veja aqui como funciona nossa entrega**)



**BURACOS NEGROS (em Portugues de Portugal) (1997)**  
COUPER, HEATHER / HENBEST, NIGEL  
GRADIVA



**Disponibilidade:**

**ESGOTADO**



**BURACOS NEGROS (em Portugues)**  
MOURAO, RONALDO ROGERIO DE FREITAS  
VOZES  
CIENCIAS EXATAS-ASTRONOMIA



**Disponibilidade:**

**ESGOTADO**



**BURACOS NEGROS (em Portugues) (2008)**  
VANZELLA, DANIEL / MATSAS, GEORGE  
VIEIRA & LENT  
CIENCIAS EXATAS-FISICA

Preço = R\$ 22,00 comprar



**Disponibilidade:**

Envio em até 1 dia útil\* + prazo do frete (**Veja aqui como funciona nossa entrega**)

Disponibilidade válida somente para pagamento com Cartão de Crédito e M-Cash

Quantidade limitada de estoque  
\*válido para um exemplar, pedidos em quantidade serão atendidos conforme a disponibilidade de estoque.



**BURACOS NEGROS - O FIM DO UNIVERSO! (em Portugues de Portugal) (1981)**  
TAYLOR, J.  
EUROPA-AMERICA  
CIENCIAS DA TERRA



**Disponibilidade:**

**ESGOTADO**



**BURACOS NEGROS E O TIO ALBERTO, OS (em Portugues de Portugal) (1999)**  
STANNARD, RUSSELL  
EDIÇÕES 70  
INFANTO-JUVENIS - LITERATURA JUVENIL



**Disponibilidade:**

Envio em até 8 semanas + prazo do frete (**Veja**)

# Buracos Negros na Física

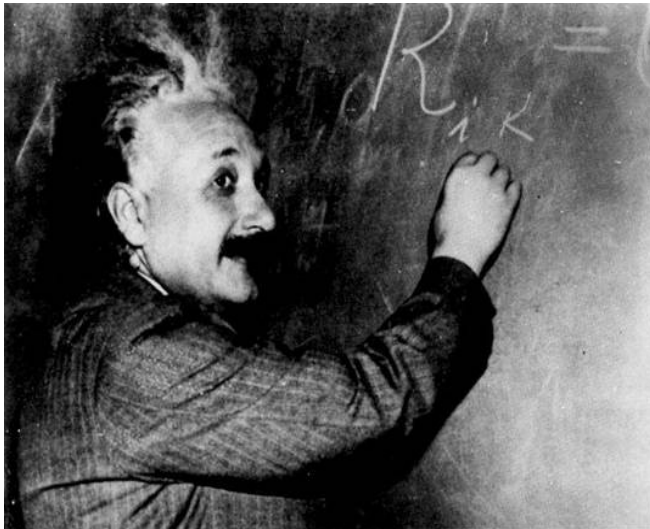
1915: Albert Einstein completa a sua “Teoria Geral da Relatividade - TRG”.

1916: Karl Schwarzschild “descobre” os buracos negros a partir da TRG. Contudo, ninguém acreditou que eles realmente existissem.

- 1967: O termo buraco negro é cunhado pelo físico John Wheeler.

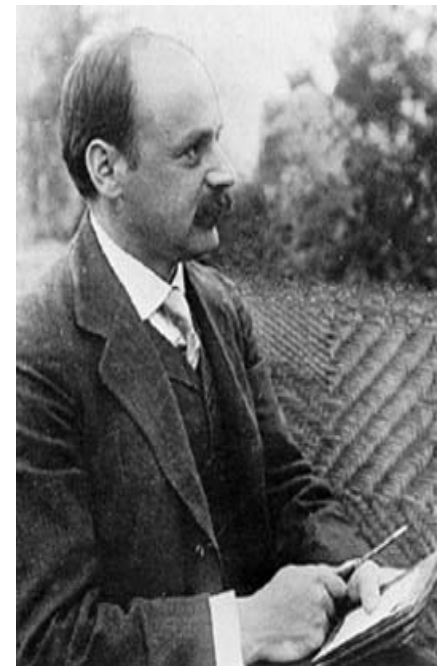
- 1970s: Começam a surgir evidências observacionais de que buracos negros são reais.

- Hoje: Telescópios espaciais têm descoberto evidências que reforçam a existência de buracos negros de vários tipos espalhados pelo Universo.



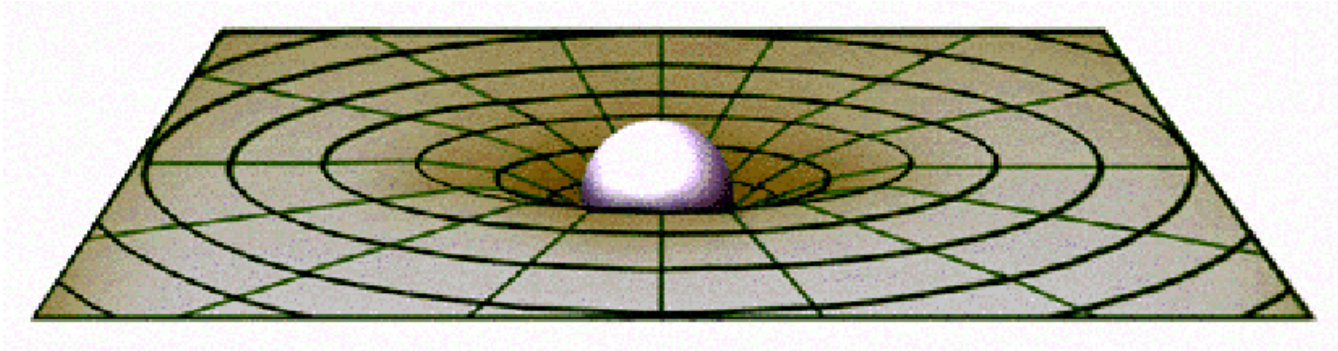
Albert Einstein

K. Schwarzschild

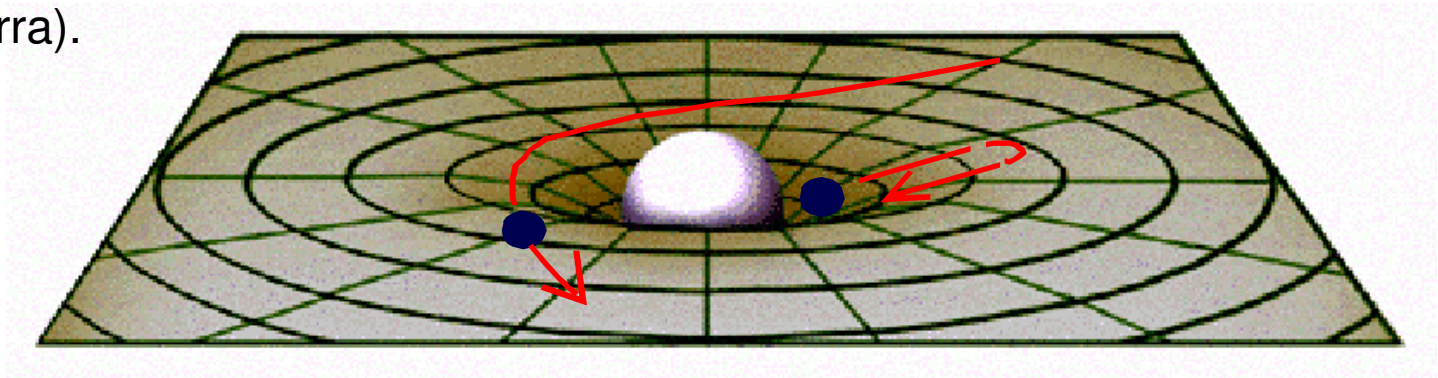


# O que a Relatividade Geral nos diz sobre a Gravitação?

- Massa distorce o espaço-tempo curvando-o:

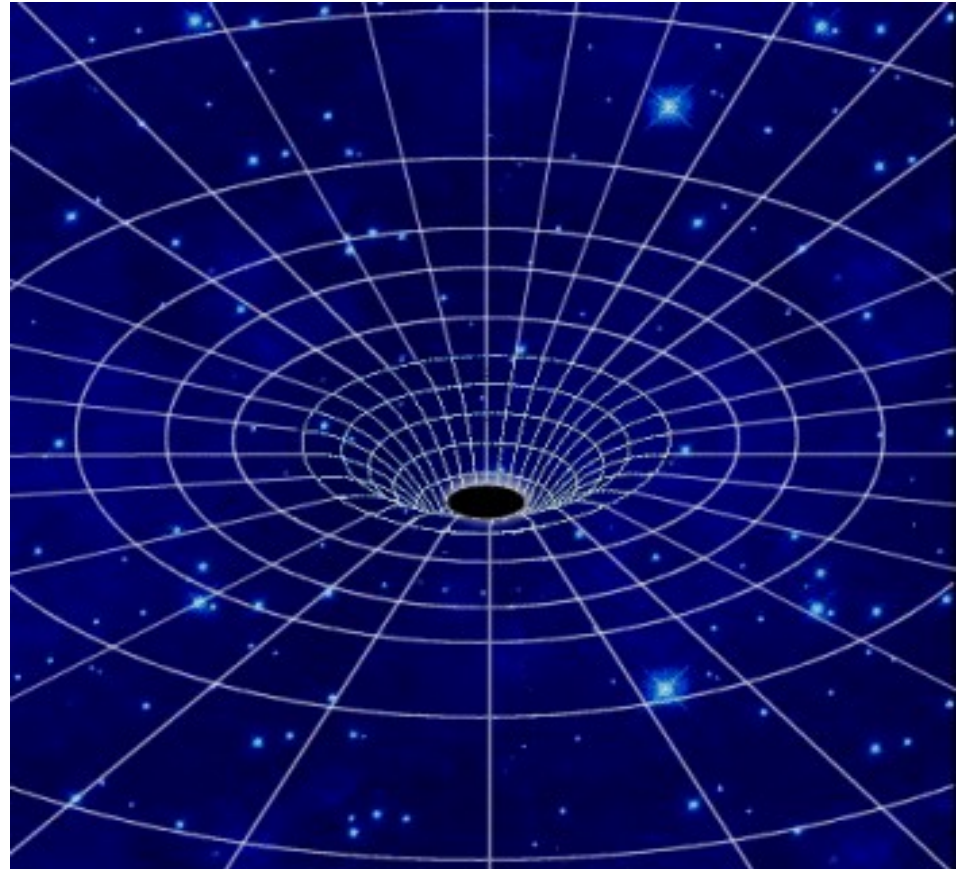


- Objetos e luz movendo-se nas proximidades de objetos massivos são forçados a tomar um caminho curvo ao redor do objeto (semelhante ao movimento da Lua ao redor da Terra).



# E o que é um Buraco Negro?

- É uma região absurdamente densa do espaço onde o espaço é curvado e a gravidade torna-se tão intensa que nada nem mesmo a luz pode escapar.
- A massa é compactada num volume tão pequeno que **a velocidade necessária para escapar é maior que a velocidade da luz – “horizonte de eventos”**.



# Entendendo Melhor a Velocidade de Escape

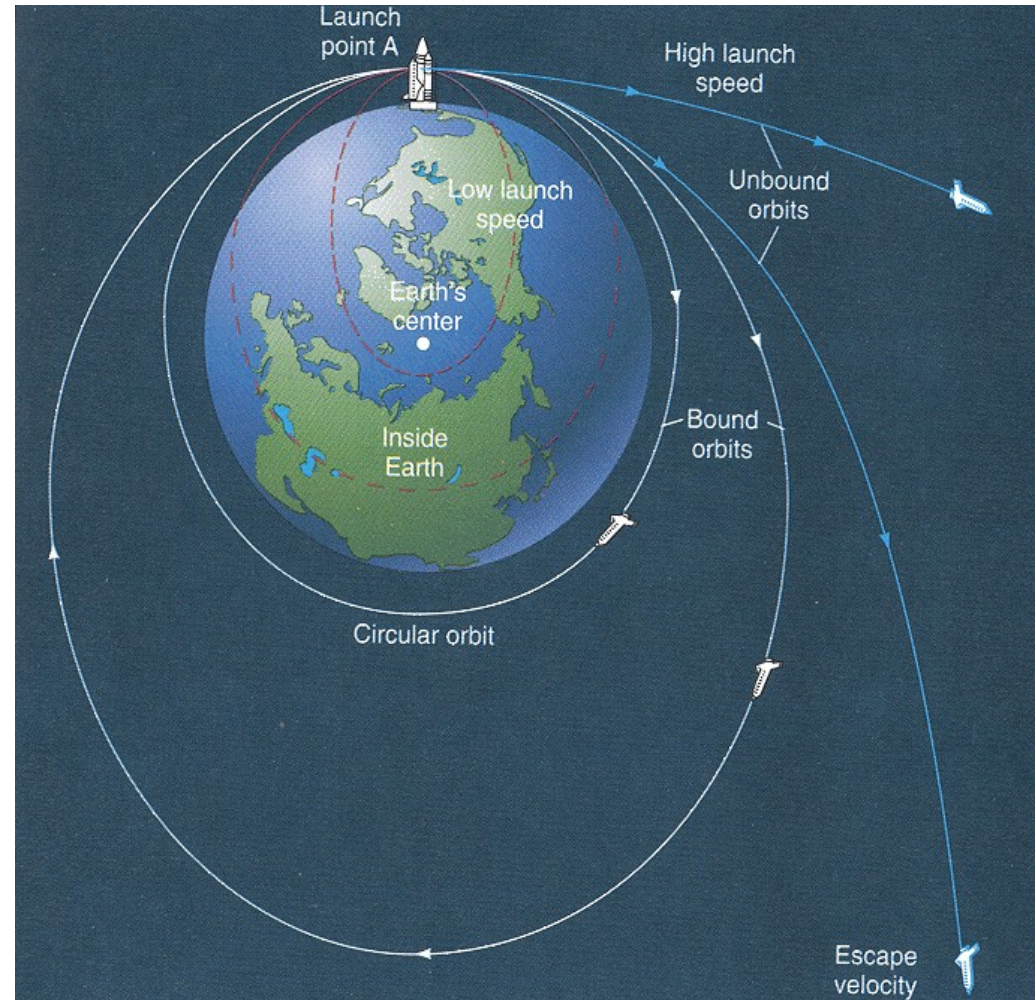
- É a velocidade necessária para escapar do “puxão gravitacional” de um corpo massivo.

- A velocidade de escape depende da massa  $M$  e do raio  $R$  do objeto que gera o campo gravitacional.

$$V_{esc} = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

- Terra:  $V_{esc} = 11 \text{ km/s}$

- Sol:  $V_{esc} = 600 \text{ km/s}$





## Voltando às “Estrelas Escuras”

- Rev. John Mitchell (1783) e Pierre-Simon Laplace (1796).
- Sabemos que a velocidade da luz é  $\sim 300.000$  km/s

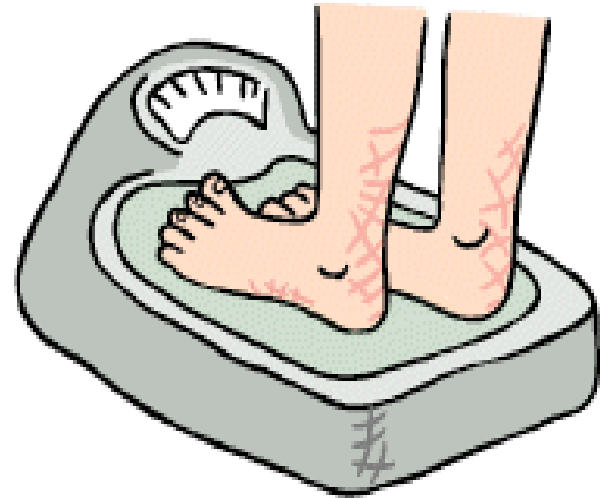
O que aconteceria se uma estrela fosse tão pequena de forma que  $V_{\text{esc}} >$  Velocidade da luz ?

Resposta: Teríamos uma estrela que não poderia ser vista.

- Terra: Para  $V_{\text{esc}} =$  Velocidade da luz  $- R_{\text{T}} \sim 1$  polegada
- Sol: Para  $V_{\text{esc}} =$  Velocidade da luz  $- R_{\text{S}} \sim 3$  km

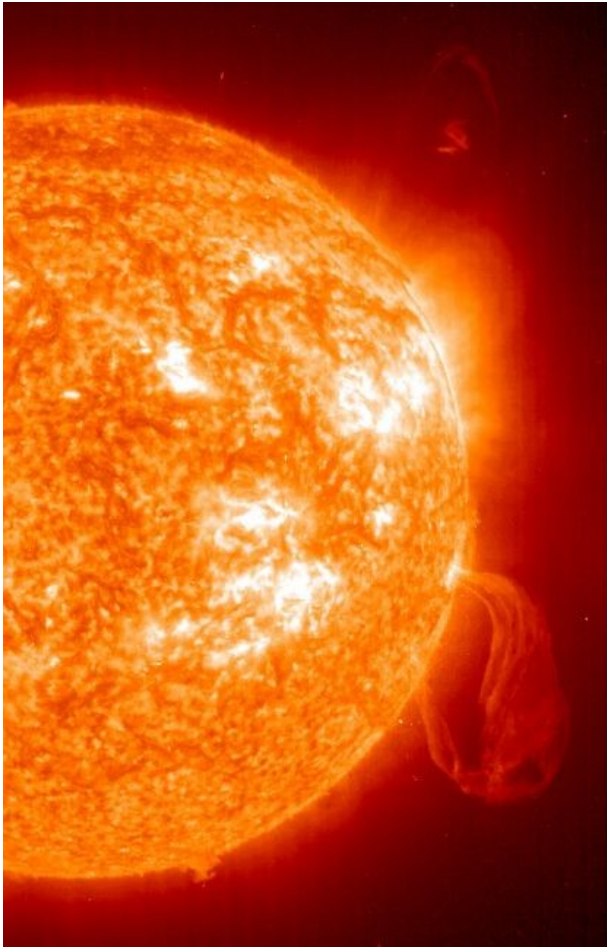
# Qual é o Peso de uma Pessoa Próxima a um BN?

- Sobre a superfície da Terra, uma pessoa com 70kg pesa ~ 700 N.
- Sobre a superfície da Lua seu peso será ~ 117 N.
- Em Júpiter ~ 1.650 N.
- Na “superfície do Sol” ~ 18.700 N.
- Próximo a um BN ~ 10 trilhões de Newtons!!!
- Ok ! tudo bem ..... mas que efeito seria produzido sobre um objeto entrando (caindo) num buraco negro?
- A resposta virá mais adiante ..... aguarde um pouco mais.

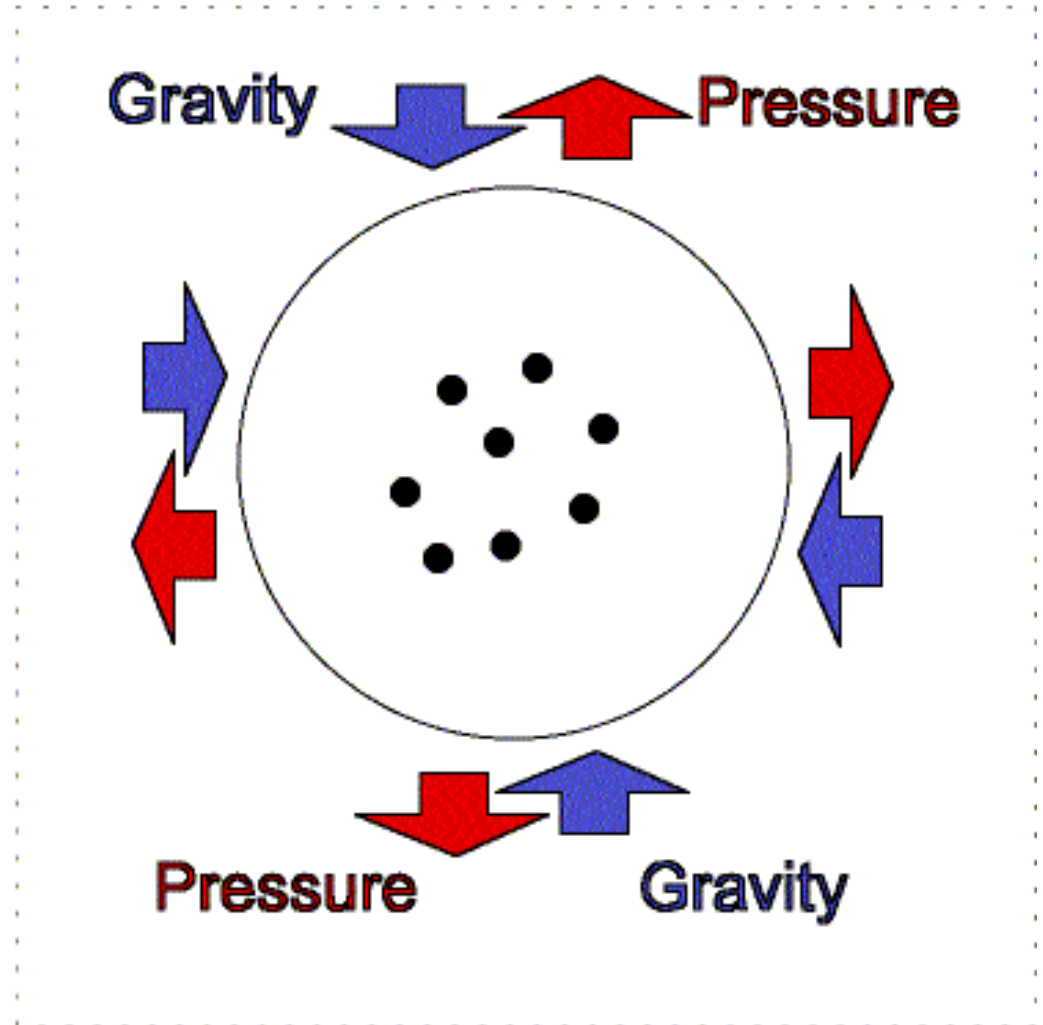


# Como é Formado um Buraco Negro?

- Nas estrelas “normais” a pressão interna contrabalança a força gravitacional.



O Sol

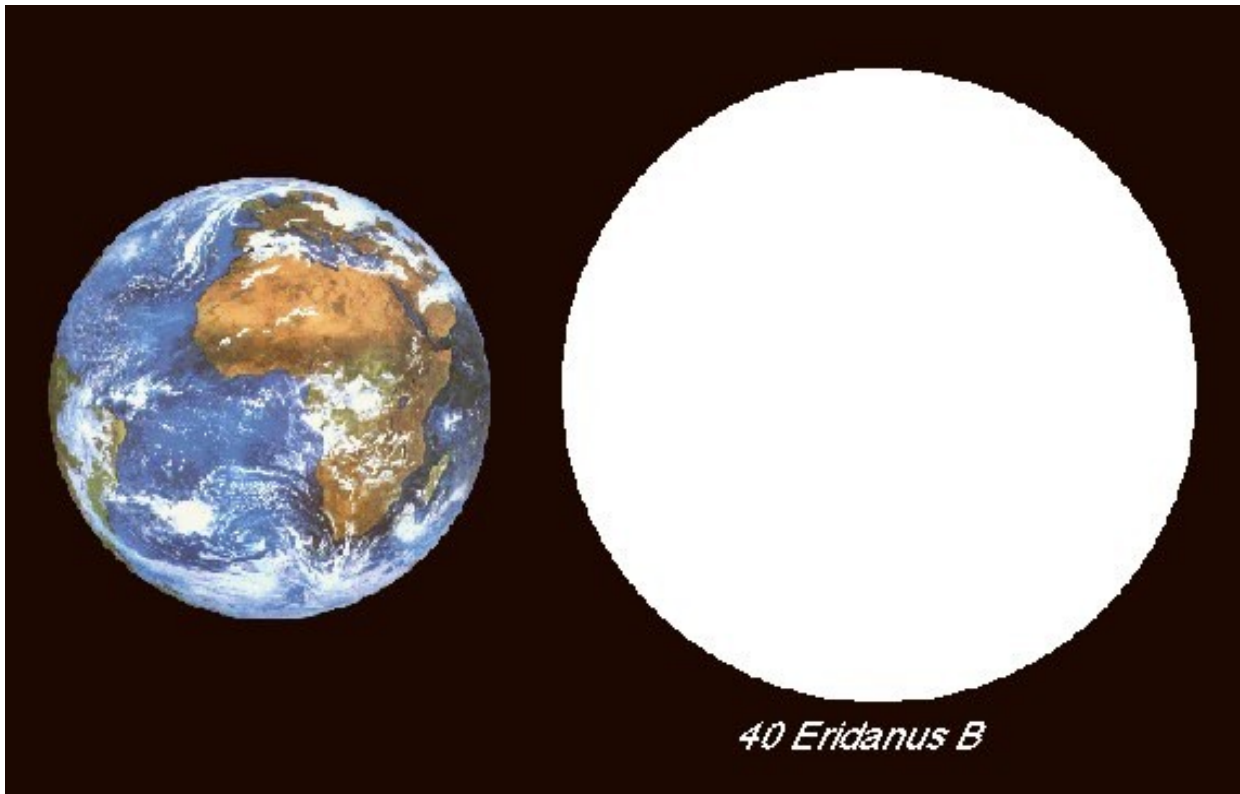


# Como é Formado um Buraco Negro?

- O Sol tem 332.000 vezes mais massa que a Terra.
- O que impede o colapso do Sol (e das estrelas normais) são as **reações de fusão nuclear no núcleo do Sol** – 15 milhões de graus Celsius.
- **Calor gera pressão que contrabalança a força gravitacional.**
- Quando o combustível nuclear termina, uma estrela colapsa (e dependendo da massa explode), deixando um remanescente que pode ser um dos seguintes objetos:
  - 1) **Anã Branca.**
  - 2) **Estrela de Nêutrons.**
  - 3) **Buraco Negro.**

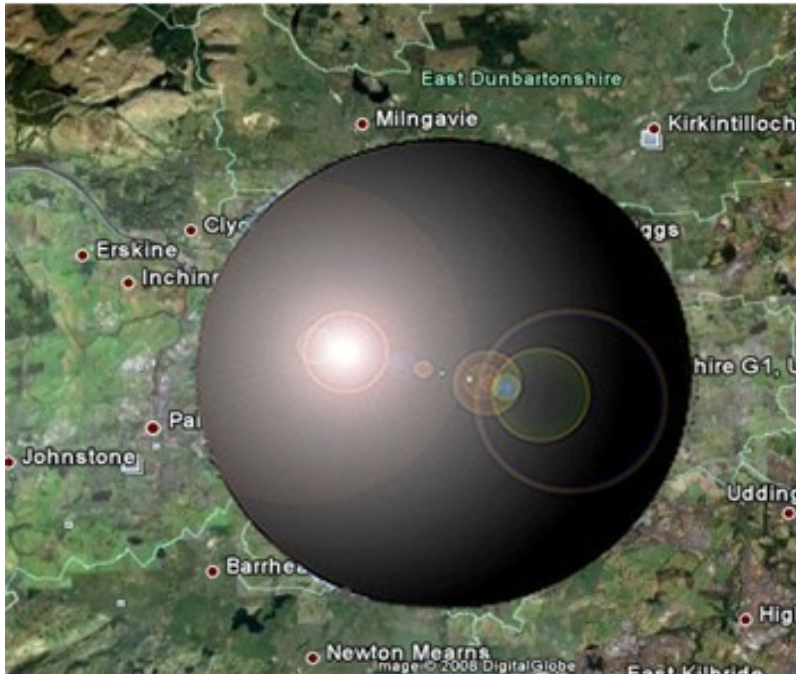
## Anã Branca

- É um objeto com massa até  $\sim 1,44$  vezes a massa do Sol.
- 1 colher de chá com a matéria de uma anã branca teria um “peso”  $\sim 5$  ton.
- Isso equivale concentrar toda a massa do Sol num objeto com tamanho da Terra.
- Os elétrons são as partículas que “seguram o colapso gravitacional”.



# Estrela de Nêutrons

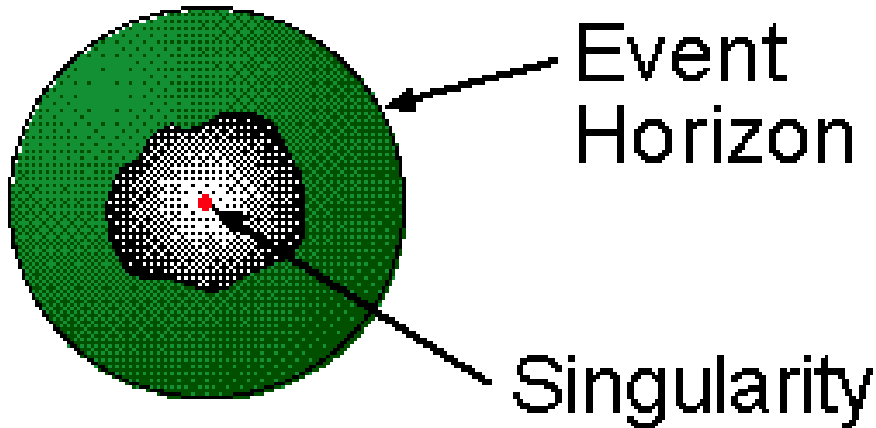
- É um objeto com massa entre 1,44 e  $\sim 2 - 3$  vezes a massa do Sol.
- 1 colher de chá com a matéria de uma estrela de nêutrons teria um “peso”  $\sim 100$  milhões de ton.
- Isso equivale concentrar toda a massa do Sol numa cidade.
- Os nêutrons são as partículas que “seguram o colapso gravitacional”.



A figura representa uma estrela de nêutrons “colocada” no centro da cidade de Glasgow - Escócia

# Buraco Negro

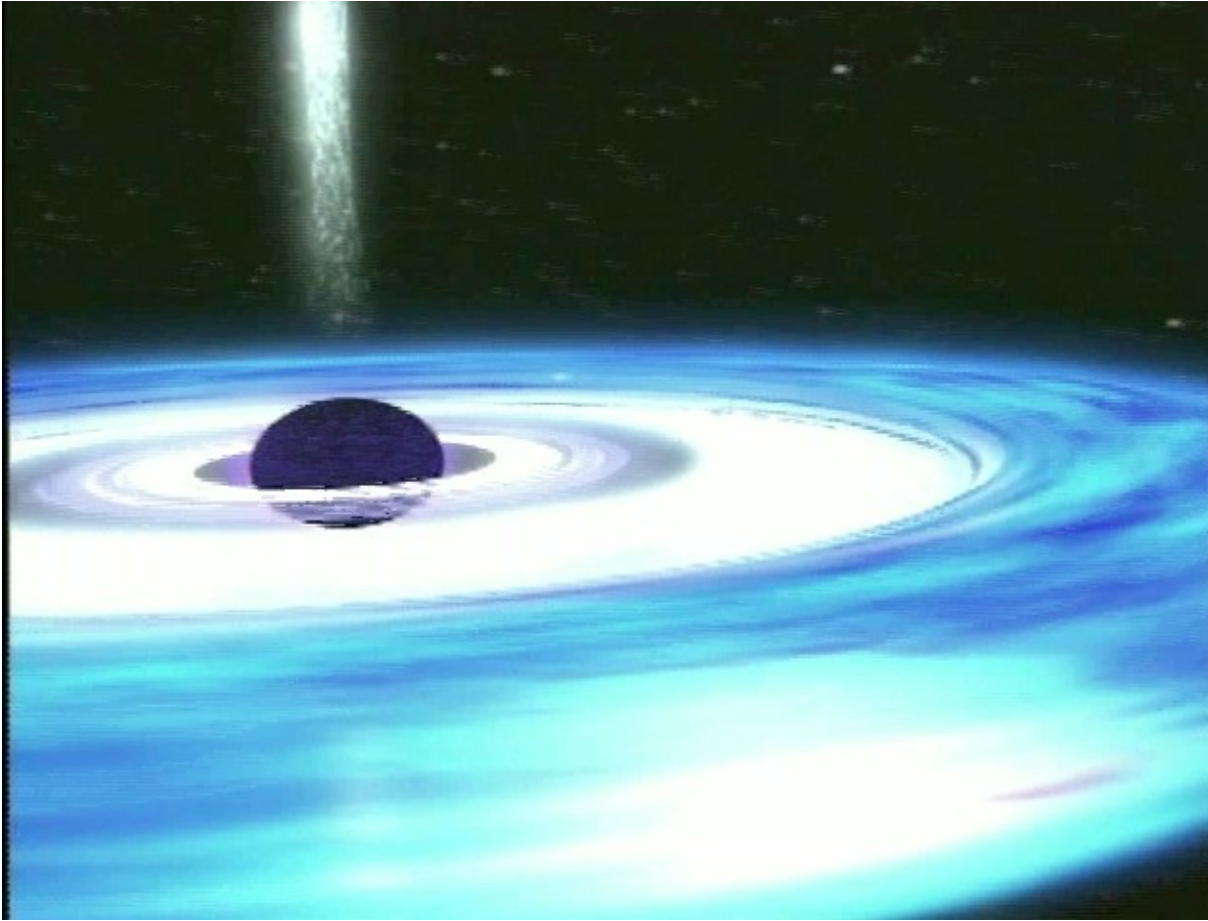
- É um objeto com massa acima 2 - 3 vezes a massa do Sol.
- Nesse caso os nêutrons “não conseguem segurar o colapso”.
- A Física prediz que o colapso gravitacional leva para “uma singularidade” - “um ponto”.
- O colapso gravitacional talvez leve para alguma nova forma de matéria condensada, p.e., um “condensado de quarks”. Mas isso ocorreria dentro do chamado “horizonte de eventos”, assim ainda teríamos, na prática, um “buraco negro”.



O horizonte de eventos não é uma superfície sólida.

Toda massa está concentrada no centro do buraco negro – a relatividade geral “quebra” nesse ponto. Isto é, ela não é mais válida!

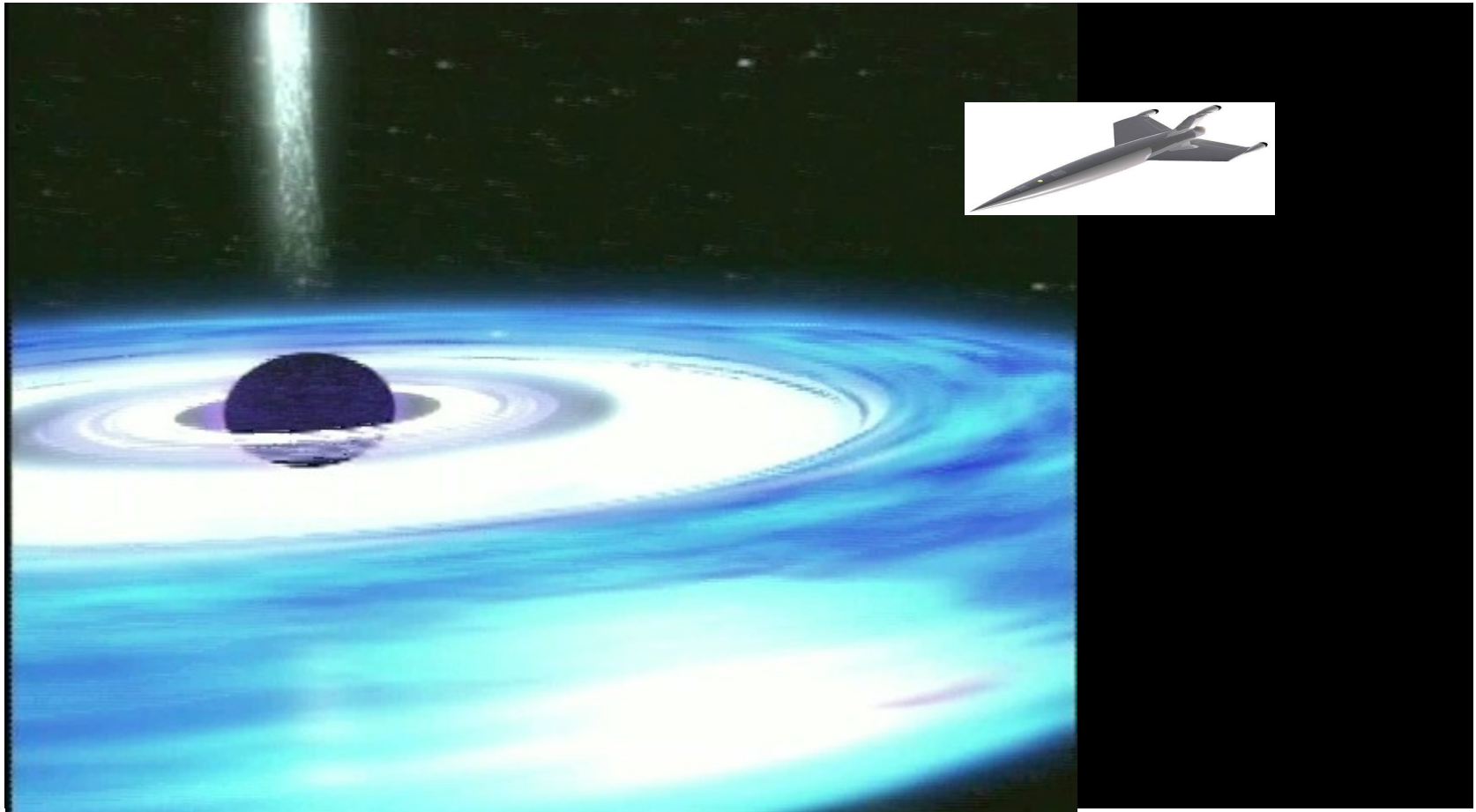
## Respondendo a Pergunta do Slide 10 – Caindo num BN



Obs: As figuras não estão em escala!

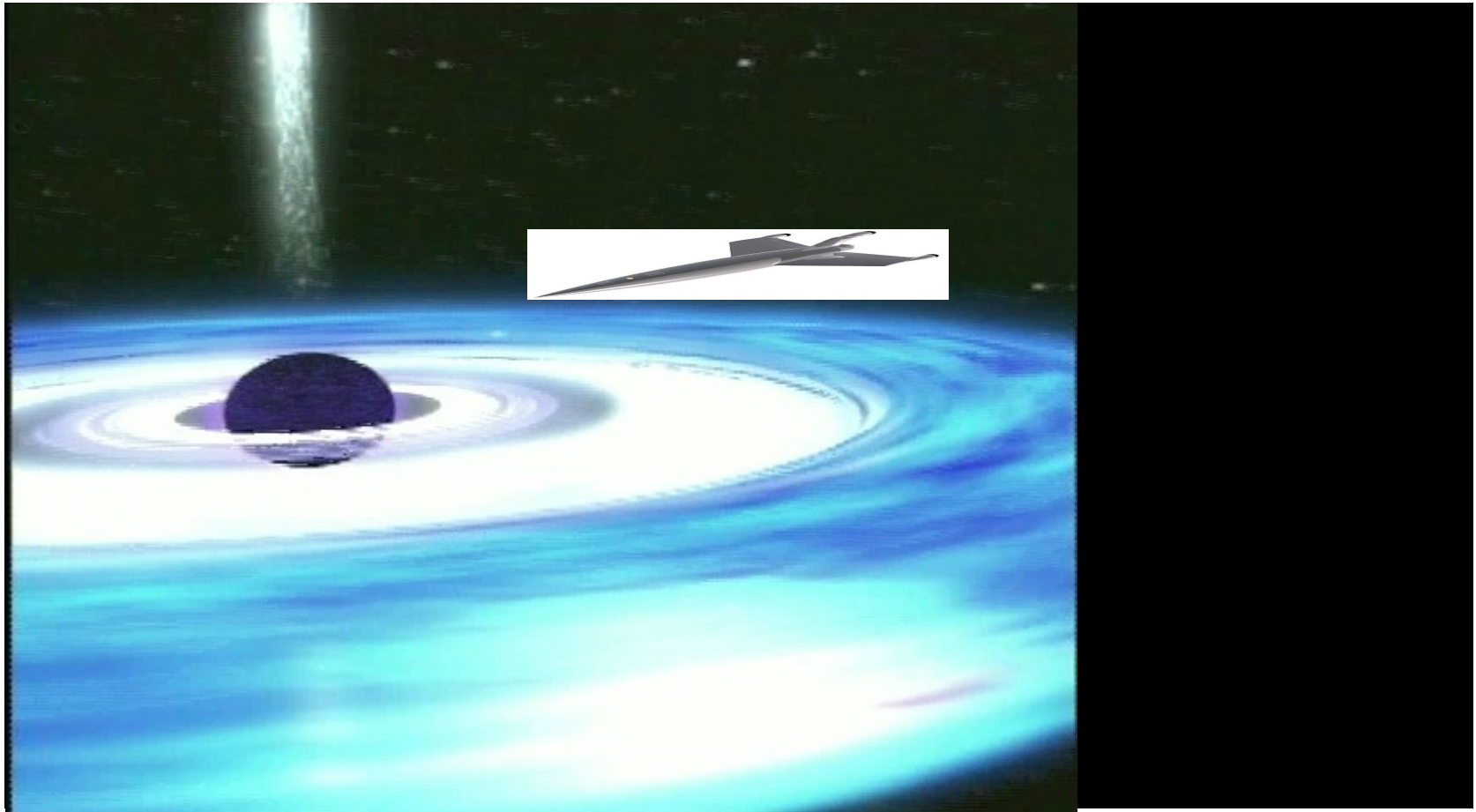


## Respondendo a Pergunta do Slide 10 – Caindo num BN



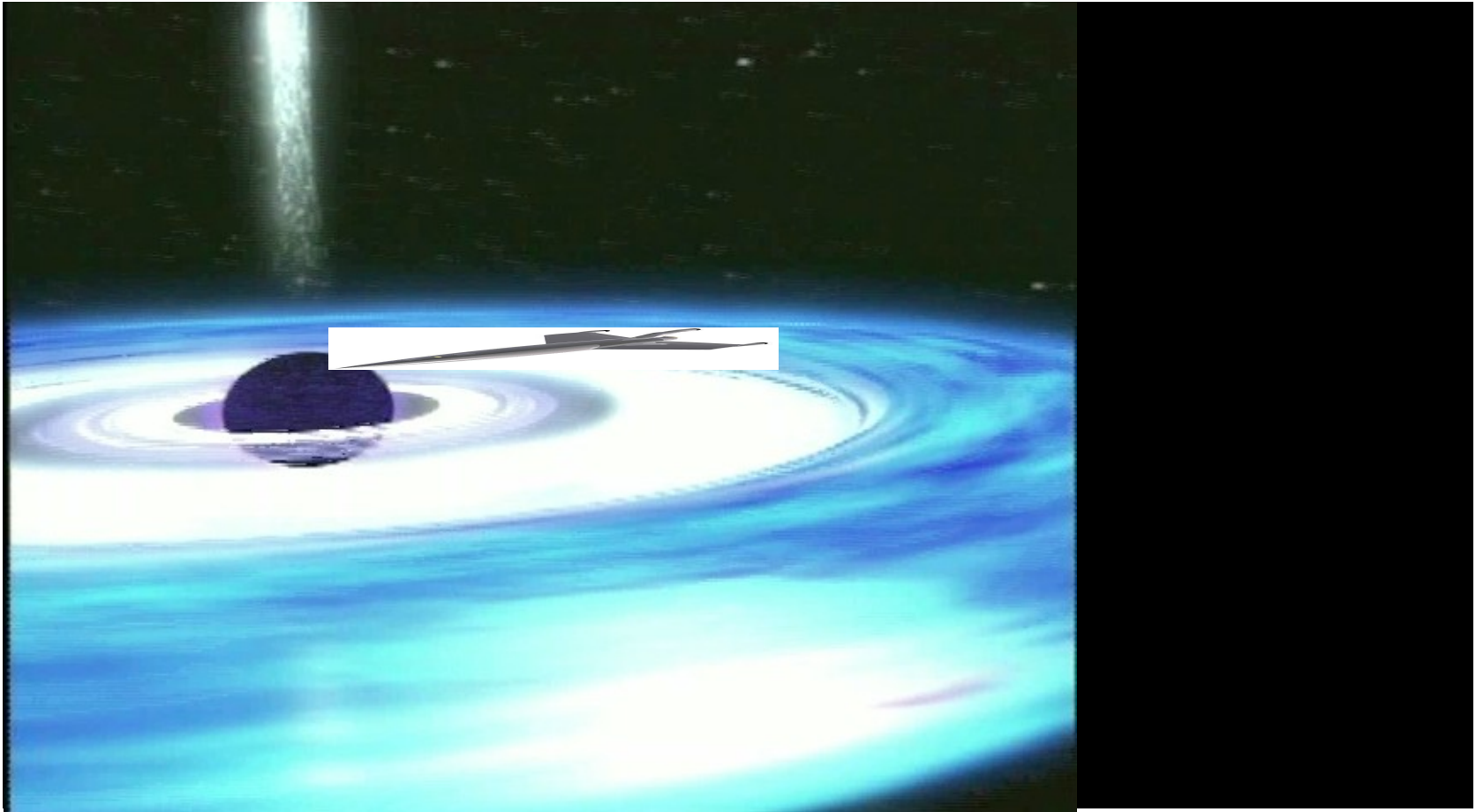
Obs: As figuras não estão em escala!

## Respondendo a Pergunta do Slide 10 – Caindo num BN



Obs: As figuras não estão em escala!

## Respondendo a Pergunta do Slide 10 – Caindo num BN



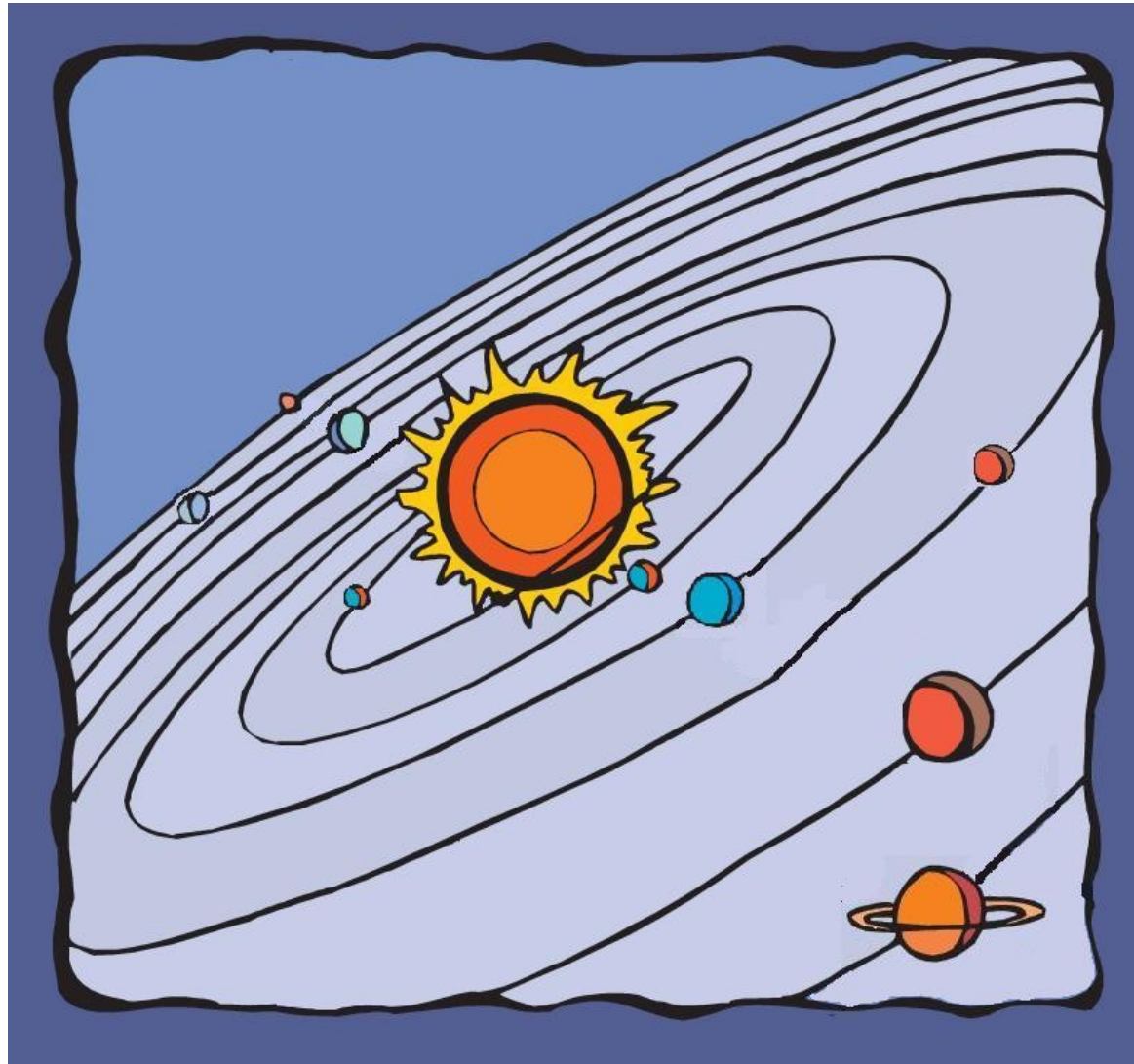
Obs: As figuras não estão em escala!

# Desfazendo Mitos

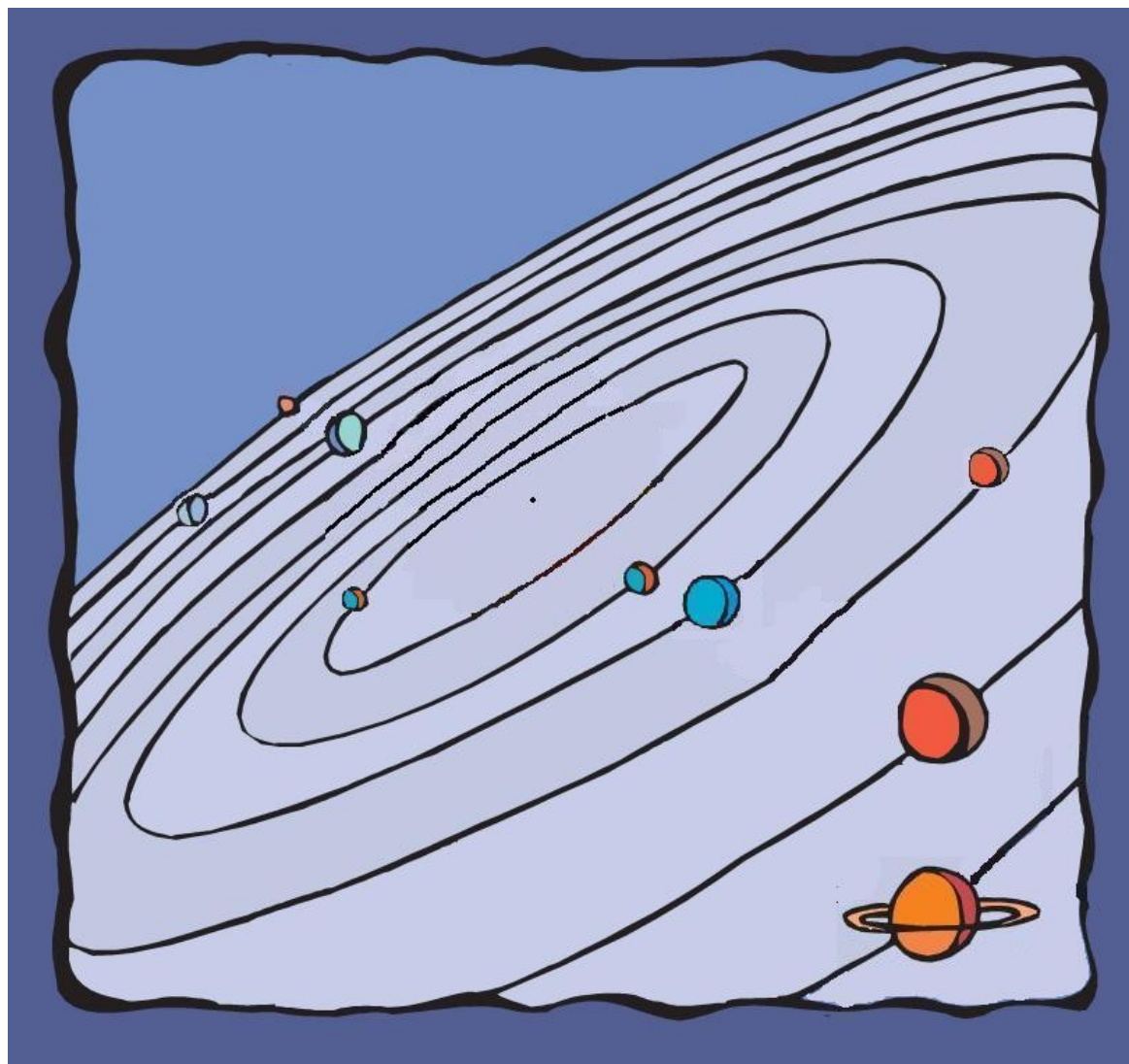
- Buracos Negros não são “aspiradores de pó cósmicos”: Apenas dentro do horizonte de eventos é que a matéria é puxada inexoravelmente para o centro.
- Longe de um buraco negro, gravidade não é diferente daquela produzida por outros objetos de “mesma massa”.
- Se um buraco negro fosse colocado no lugar do Sol (com a mesma massa), as órbitas dos planetas, Lua, asteróides, etc. não seriam afetadas (a única diferença é que seria muito..... muito frio aqui na Terra).



# Desfazendo Mitos



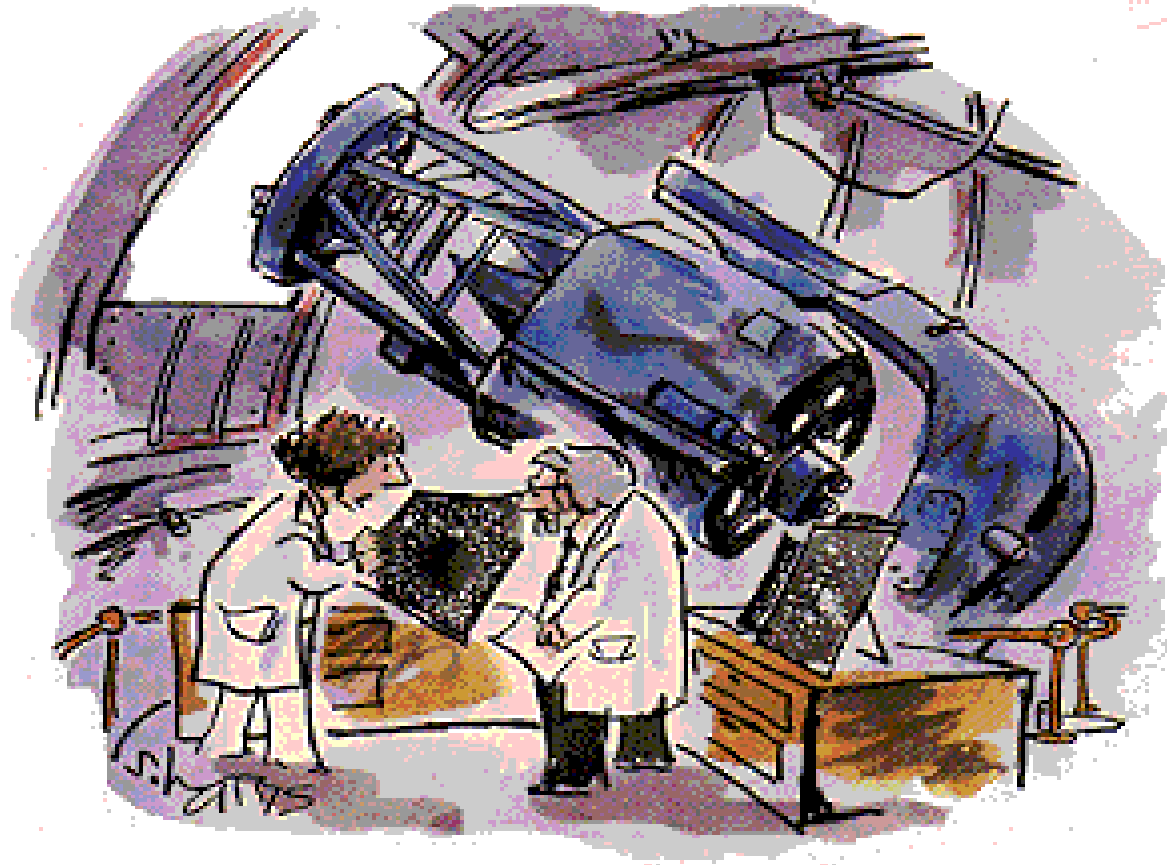
# Desfazendo Mitos



Aonde é que se Escondeu o Buraco Negro?



## Isto é: Como nós Encontramos BNs na Natureza?



"It's black, and it looks like a hole.  
I'd say it's a black hole."

"Ele é negro, e parece um buraco. Eu diria que é um buraco negro"

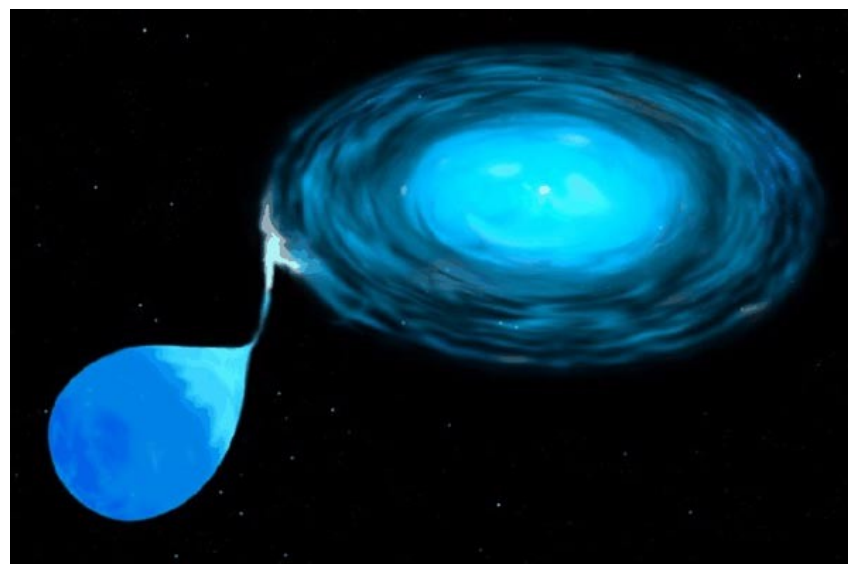


# Onde os Buracos Negros podem ser Encontrados?



## Centro de Galáxias

1 BIG BN por galáxia com massa entre milhões e bilhões de vezes a massa do Sol.  
A formação (origem) desse tipo de BN não é completamente entendida.

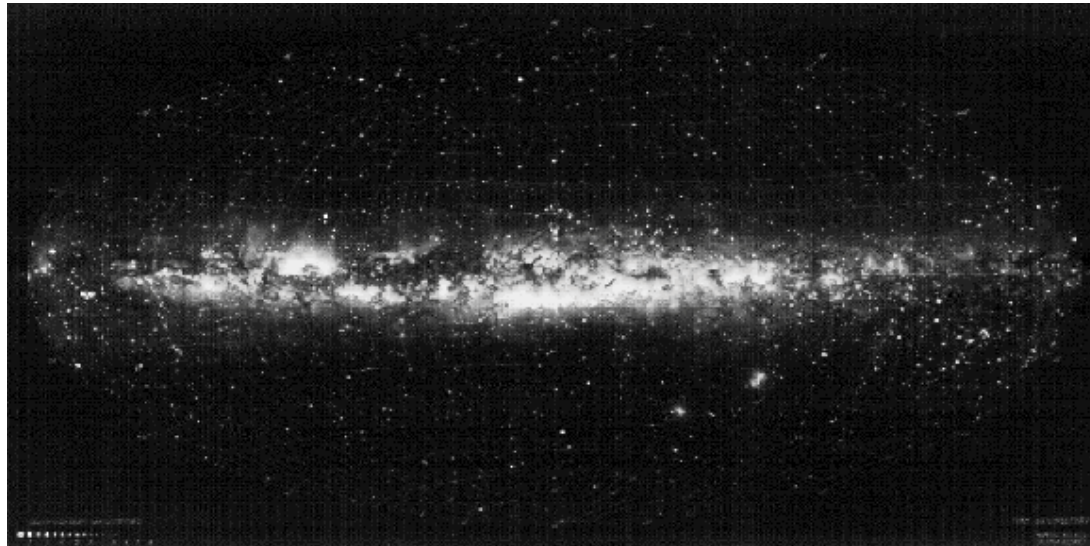


## Estrelas Binárias

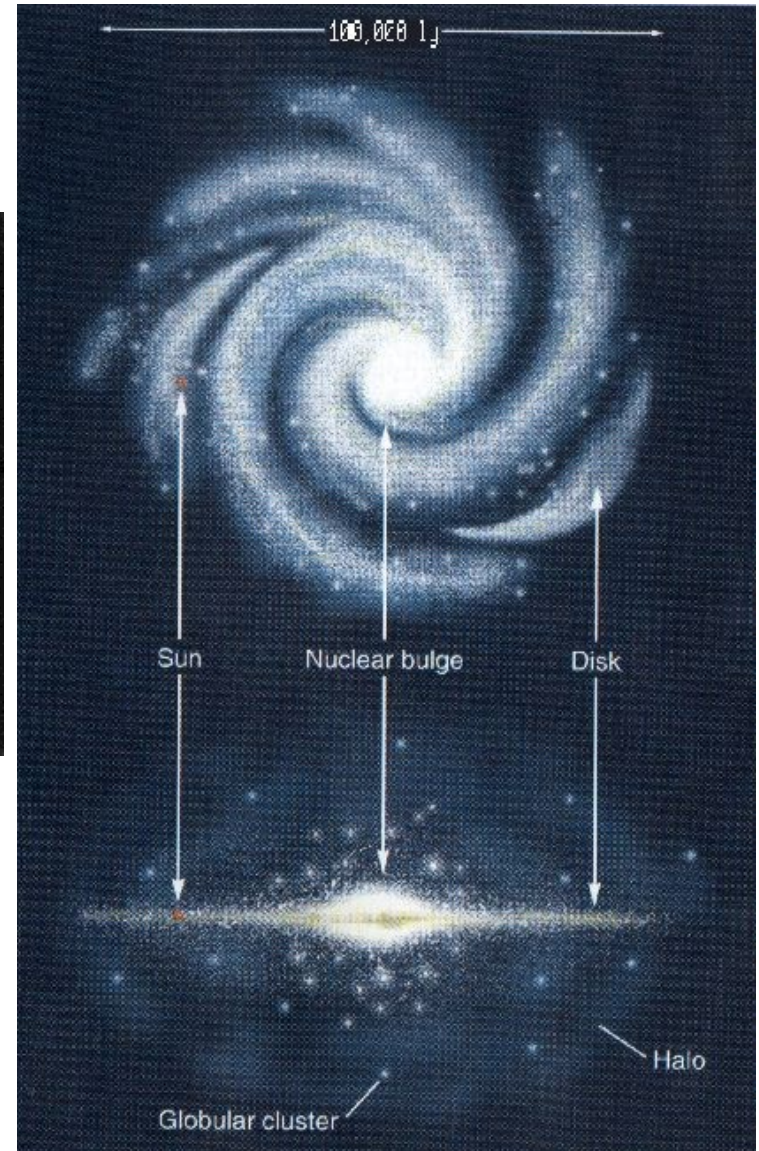
milhões de “pequenos” BNs por galáxia com massa típica  $\sim 10$  vezes a massa do Sol. São formados pelo colapso gravitacional de uma estrela de alta massa.

# Via Láctea: ~ 100.000 anos-luz (al) de tamanho

- Tamanho do sistema solar ~ 0,01 al.
- Distância típica entre estrelas ~ 1,0 al.



- BN central com massa ~ 4 milhões de vezes a massa do Sol.
- Milhões de BNs com massas ~ 10 vezes a massa do Sol.

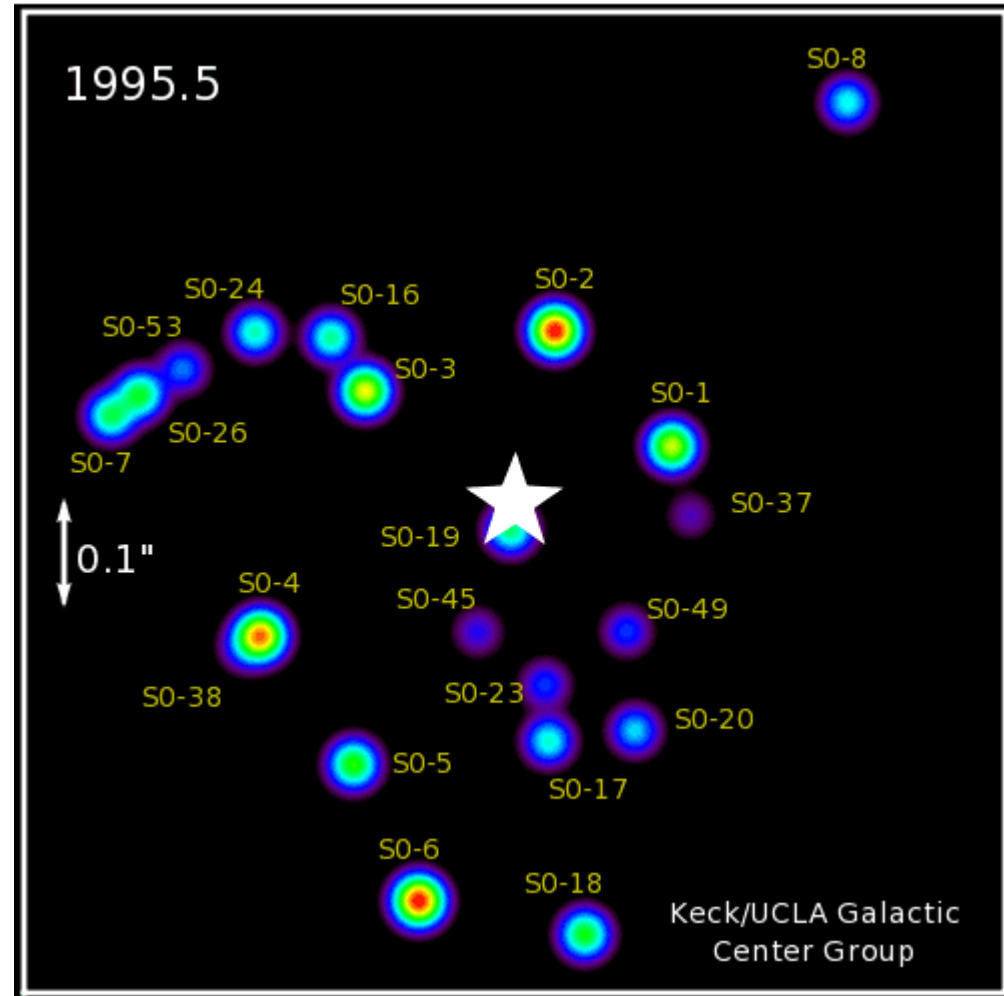


# Estrelas na Região Central da Nossa Galáxia



# Como Sabemos que existe um BIG BN no Centro da Galáxia?

- Isso é obtido através da observação do movimento e das órbitas das estrelas no centro da Galáxia.
- **Define não só a localização da fonte do campo gravitacional mas também a sua massa.**



Como Sabemos que existe um BIG BN no Centro da Galáxia?



# Além Disso: Luz Emitida pelo Gás Caindo no BN

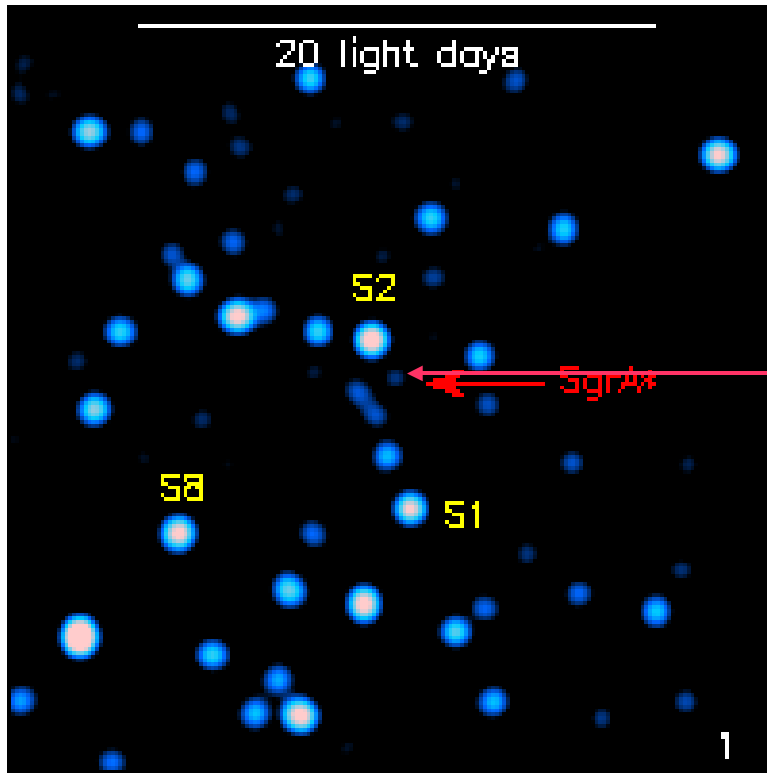


Imagem no infravermelho – gás quente em emissão.

BN

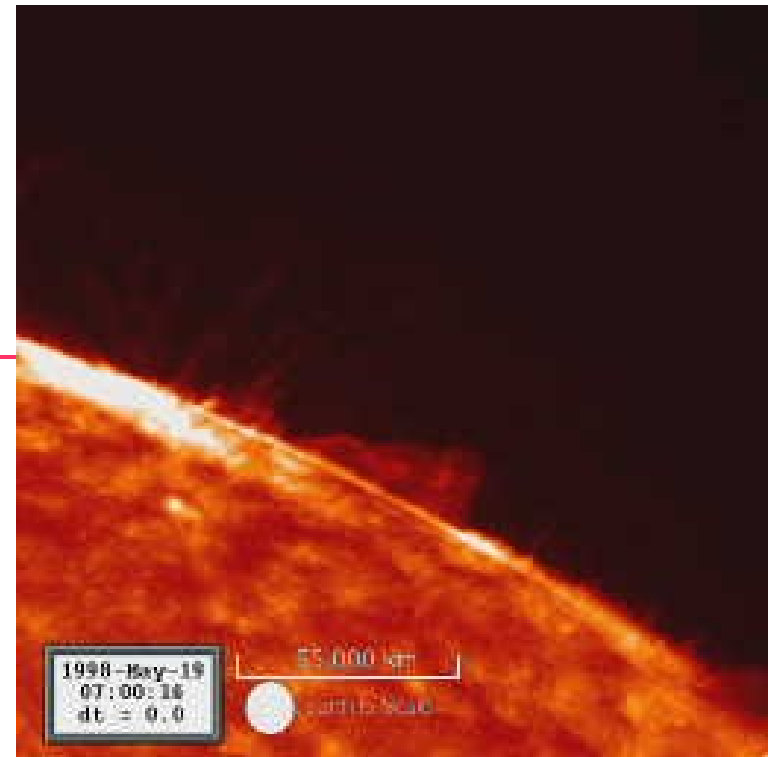


Imagem em raios-X do Sol - “flare solar” (análogo da imagem a esquerda).

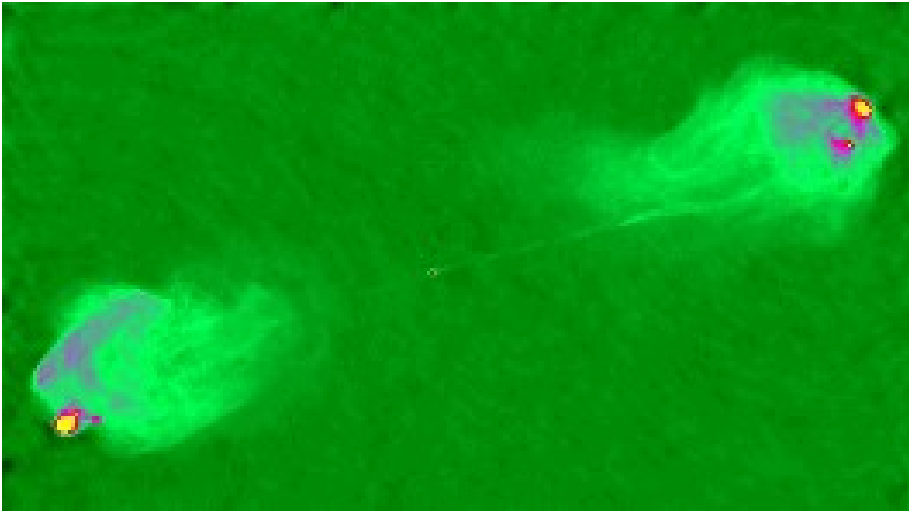
# Simulação Computacional: Gás Caindo num BN Estelar



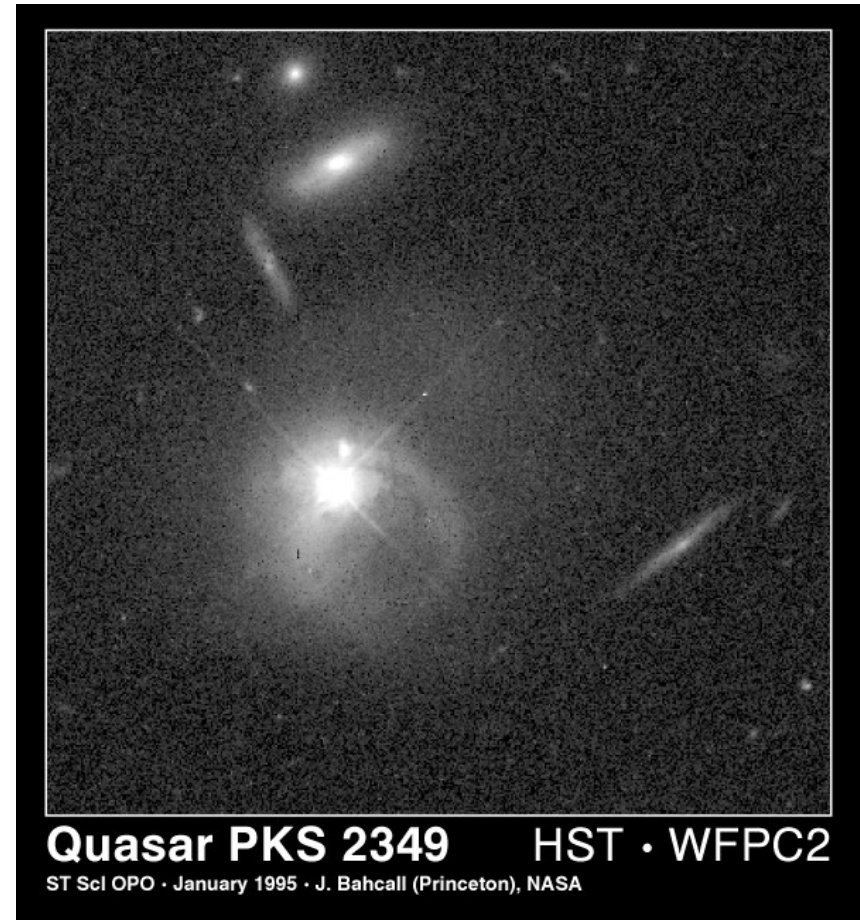
Esta é uma simulação em computador feita pelo Center for Astrophysics –  
Harvard University - EUA

# Núcleos Ativos de Galáxias

Imagem em rádio de uma galáxia ativa



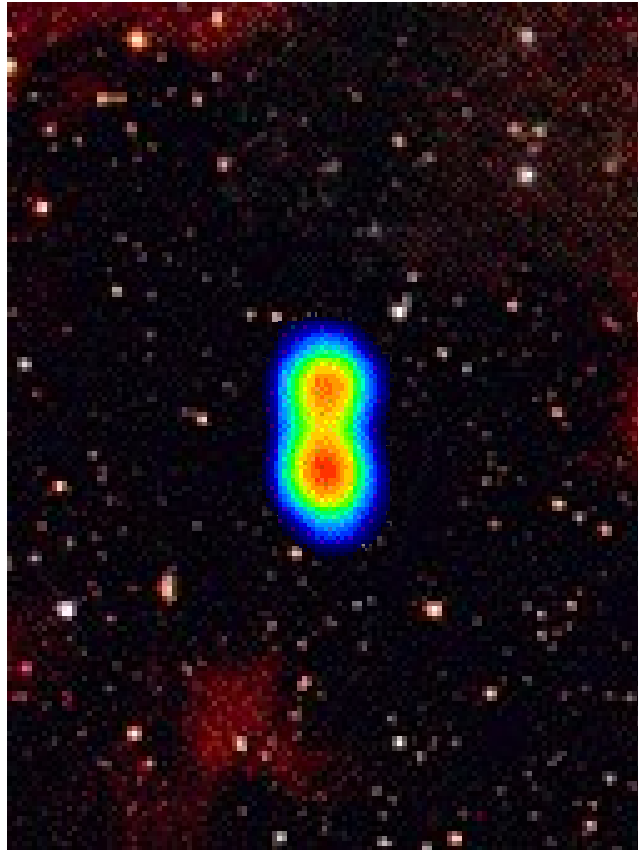
O BN ejeta feixes (jatos) de matéria e energia para longe da sua galáxia hospedeira



BN pode “ofuscar” todas as estrelas da sua galáxia hospedeira



## Outro Exemplo: Jatos de gás quente



A imagem corresponde a 1 mês de observações

## Gás Caindo num Buraco Negro



Esta é uma simulação em computador feita pelo Center for Astrophysics –  
Harvard University - EUA

## Moral da História .....

- Físicos dizem que **buracos negros podem existir**: “A vitória final da gravidade sobre todas as forças”.
- Astrofísicos dizem que **buracos negros existem** na natureza e que:
  - 1 BIG BN por galáxia ( ~ milhões – bilhões de vezes a massa do Sol).
  - milhões de “pequenos” BNs por galáxia (massa ~ 10 x massa solar).
- Buracos Negros são os responsáveis pelos mais dramáticos e energéticos fenômenos no Universo.
- Eles **“podem ser vistos”** através da luz produzida pelo gás caindo no BN e via o puxão gravitacional que eles exercem sobre objetos próximos.