

A photograph of Stephen Hawking sitting in his wheelchair at a podium, smiling. Behind him is a chalkboard with mathematical equations. The text 'Grupo de Astronomia da Universidade da Madeira' is overlaid in yellow at the top.

Grupo de Astronomia da Universidade da Madeira

A blue-toned visualization of a black hole, showing a dark central region surrounded by glowing accretion disks and light trails. The text 'Stephen Hawking' is overlaid in orange and white.

Stephen Hawking

e os

Buracos negros

Laurindo Sobrinho

V Semana da Astronomia

6 de Julho de 2005



Stephen Hawking é Professor Laucasiano de Matemática na Universidade de Cambridge (um lugar que também foi ocupado por Isaac Newton).

Na sua lista de publicações (desde 1965) constam cerca de 200 artigos, livros e outros trabalhos.

Muitos desses artigos estão relacionados com os buracos negros.



Da Infância aos Buracos Negros

Stephen Hawking nasceu, em Oxford, a **8 de Janeiro de 1942**, ou seja, exactamente **300 anos depois da morte de Galileu** (uma coincidência que deve ter acontecido com cerca de outros 200 000 bebés).



Galileu Galilei

Nos 2 últimos anos de escola especializou-se em Matemática e Física (para desgosto do pai que era médico e queria ver Hawking mais virado para a Biologia ou Medicina).



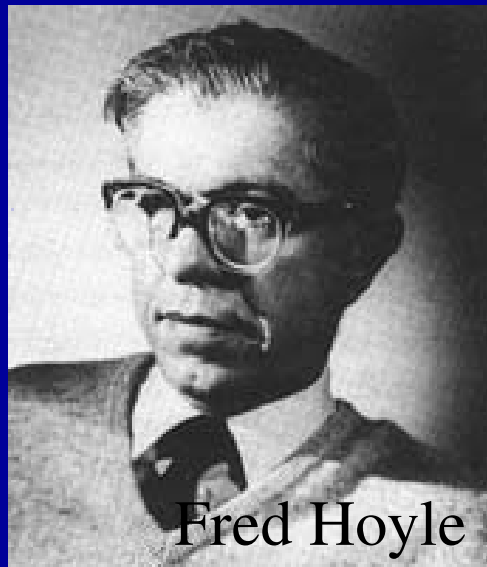
Universidade da Madeira

Em 1959 foi aprovado nos exames de admissão para Oxford. Naquela época a ideia corrente era trabalhar pouco e obter bons resultados. Nos exames finais Hawking não se saiu lá muito bem ficando na barreira entre os níveis 1 e 2. Ao ser submetido a um exame oral acabou por ficar no nível 1 depois de manifestar o seu interesse em fazer investigação.

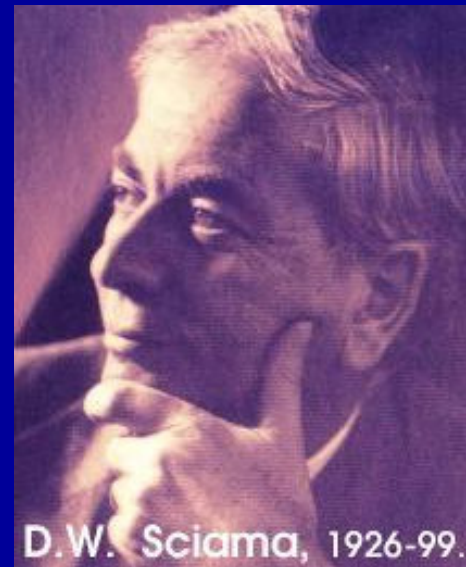




Era necessário escolher uma área de investigação. Nesta altura existiam duas áreas da Física Teórica em franco desenvolvimento: **Cosmologia** e **Física de Partículas**.



Fred Hoyle



D.W. Sciama, 1926-99.

Hawking optou pela Cosmologia. Pretendia fazer o doutoramento com Fred Hoyle (o mais distinto astrónomo inglês da época). O pedido foi aceite mas o orientador seria Denis Sciama (que era menos conhecido).



Universidade da Madeira

Ainda em Oxford Hawking começou por notar uma certa descoordenação nos seus movimentos. Já em Cambridge foi-lhe diagnosticado **ALS**. Esta doença não tem cura e poucas garantias de estabilização.



Imagem do filme *Hawking* da BBC onde Benedict Cumberbatch faz o papel de S. Hawking

No início a doença avançou rapidamente mas depois acabou por estabilizar. Hawking readquiriu a esperança, entretanto perdida, em acabar o doutoramento e continuou a trabalhar.



Universidade da Madeira

Depois de concluído o doutoramento candidatou-se a uma bolsa de investigação no **Gonville and Caius College**. Tinha de apresentar duas cartas de referência sobre o seu trabalho. Essas cartas foram escritas por D. Sciama e Hermann Bondi.



Hermann Bondi



Gonville and Caius College



Universidade da Madeira

Hawking conseguiu a bolsa e com isso alguma estabilidade financeira. No ano de 1965 casou com Jane Wilde que conheceu alguns anos antes.

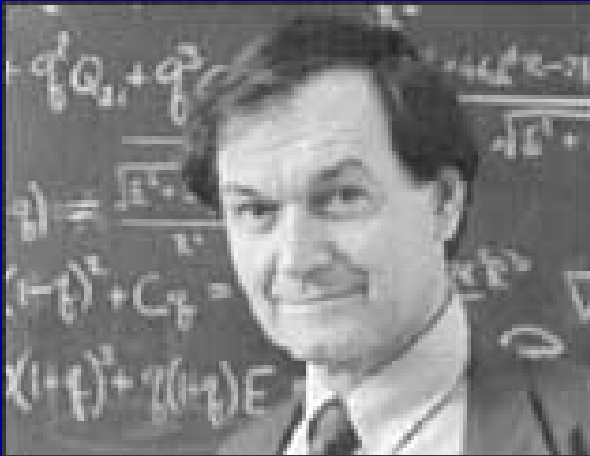


Imagem do filme *Hawking* da BBC onde Benedict Cumberbatch faz o papel de S. Hawking.



Universidade da Madeira

Entre 1965 e 1970 Hawking desenvolveu investigação na área da Cosmologia (estudo do Universo em larga escala). Segundo o próprio o trabalho mais importante que fez nessa altura foi sobre **singularidades**. Juntamente com Roger Penrose desenvolveram algumas técnicas matemáticas para estudar singularidades.



Roger Penrose

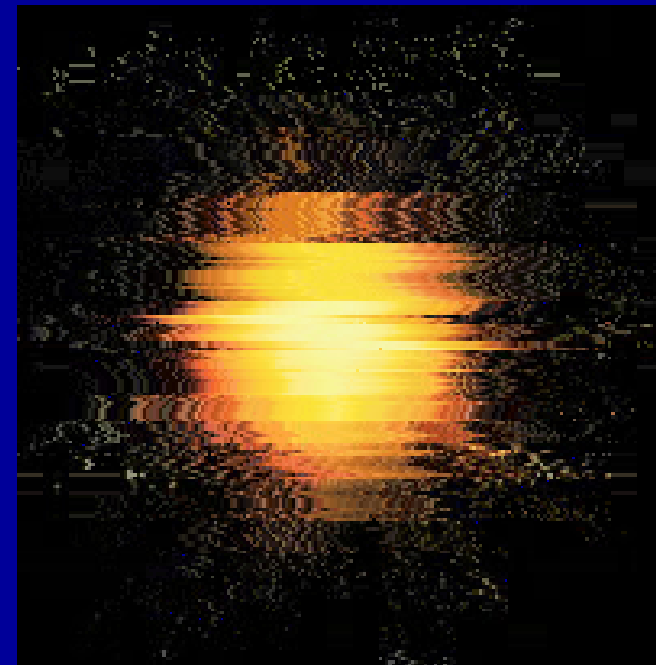


Stephen Hawking



O facto de o Universo estar em expansão significa que provavelmente deve ter existido um tempo no passado no qual tudo estava junto num único ponto de **densidade infinita** designado por **singularidade do Big Bang**.

Intuitivamente uma singularidade é uma região onde a curvatura do espaço-tempo se torna infinita. Os pontos dessa região não fazem parte do espaço-tempo. As Leis da Física não são aplicáveis nesses pontos.



Explosão do Big Bang.

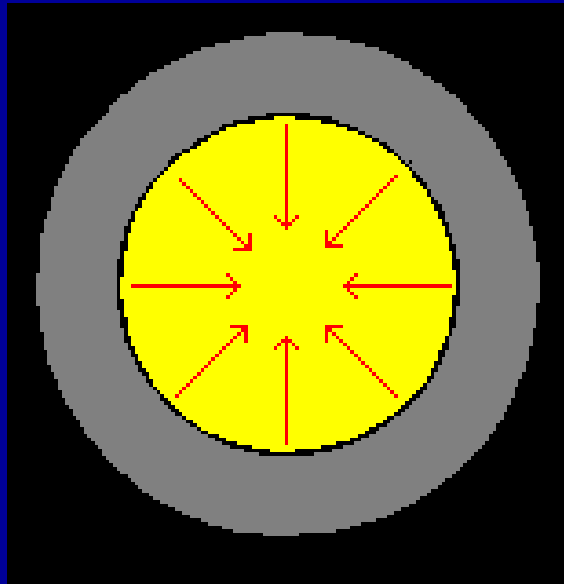


Não é apenas no modelo do Big Bang que existe uma singularidade.

Uma estrela com uma massa inicial superior a cerca de 40 massas solares acaba a sua vida explodindo na forma de **supernova**.



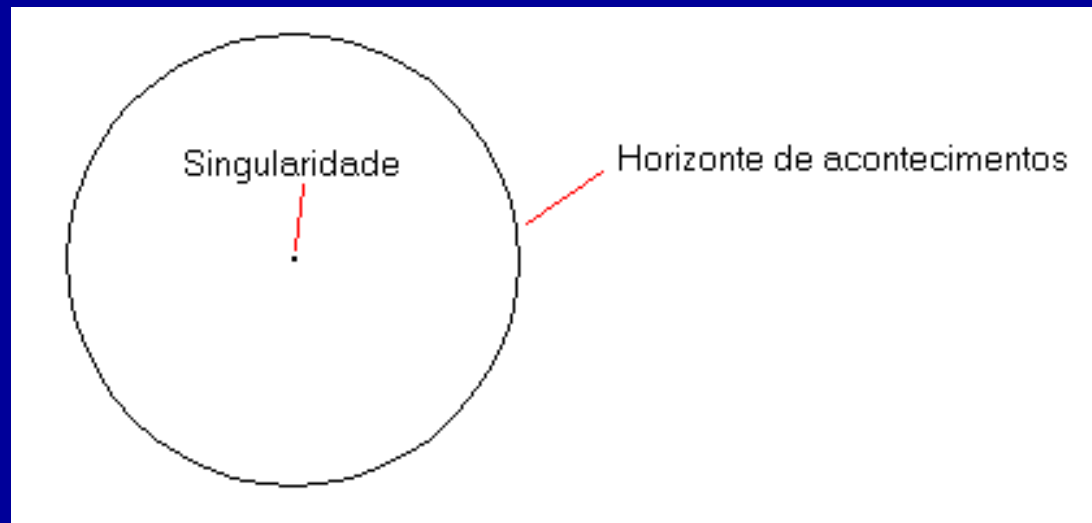
Se o núcleo estelar que ficou depois da explosão tiver uma massa superior a cerca de 1.5 massas solares então a estrela não se consegue sustentar contra a sua própria gravidade e colapsa. Esse colapso é irreversível acabando toda a massa por ficar concentrada num único ponto. Atingimos assim um estado de densidade infinita, ou seja, uma **singularidade**.



Formam-se assim buracos negros estelares (massas entre 1.5 e 100 massas solares).



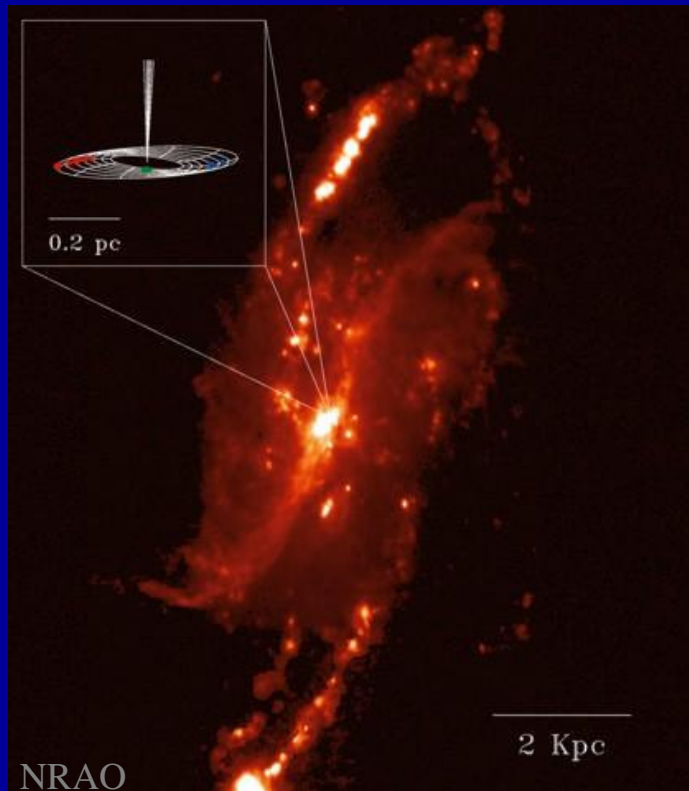
O campo gravítico em volta dessa singularidade é tão forte que existe uma região em torno da qual nada consegue escapar (velocidade de escape é superior à velocidade da luz). Os contornos dessa região designam-se por horizonte de acontecimentos. E o conjunto (singularidade + horizonte de acontecimentos) designamos por **buraco negro**.



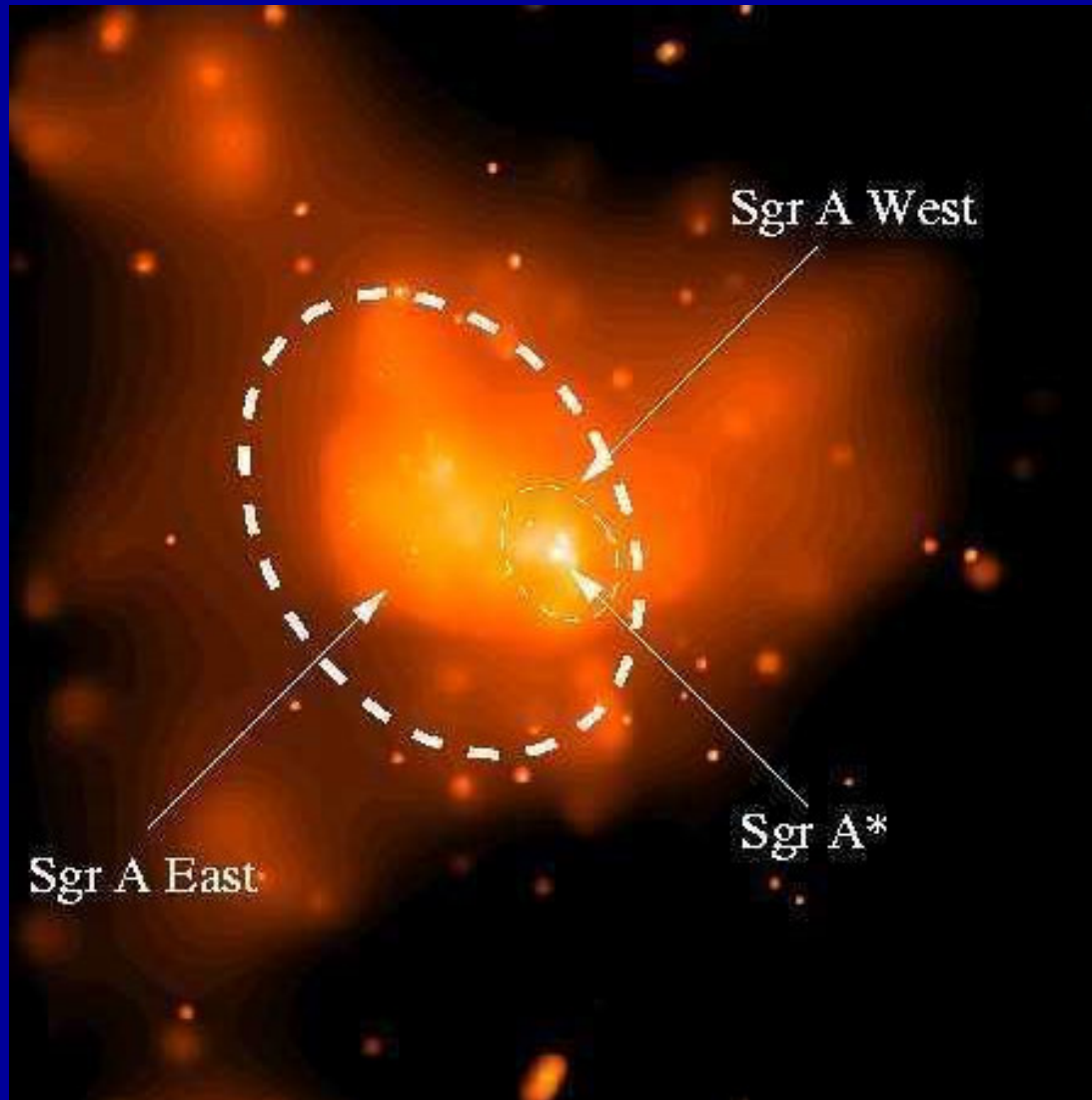
Buraco Negro de Schwarzschild



No núcleo das galáxias também se podem formar buracos negros com massas superiores a um milhão de massas solares. Estes buracos negros designados de supermassivos alimentam-se da matéria circundante (estrelas, nuvens de gás e poeiras, buracos negros mais pequenos,...).



No centro da galáxia NGC 4258 existe (tudo indica) um buraco negro supermassivo (40 milhões de massas solares).



A Nossa Galáxia não é exceção. A escassos 25000 anos luz do Sol fica, no centro da galáxia, um buraco negro com cerca de 3 milhões de massas solares.

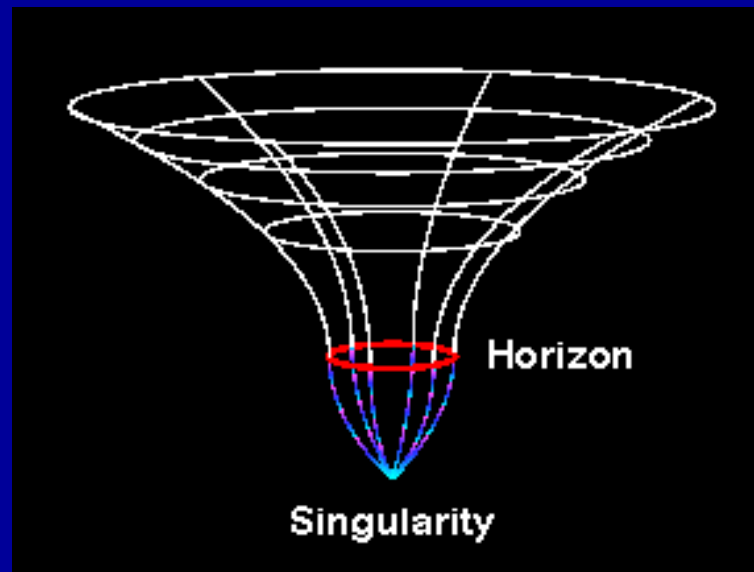


Enxame fechado M15 onde se julga existir um buracos negro com pelo menos 4000 massas solares.

Entre os buracos negros de massa estelar e os supermassivos ficam os de massa intermédia (1000 a 100 000 massas solares). Estes situam-se, em geral, em enxames fechados ou galáxias pequenas.



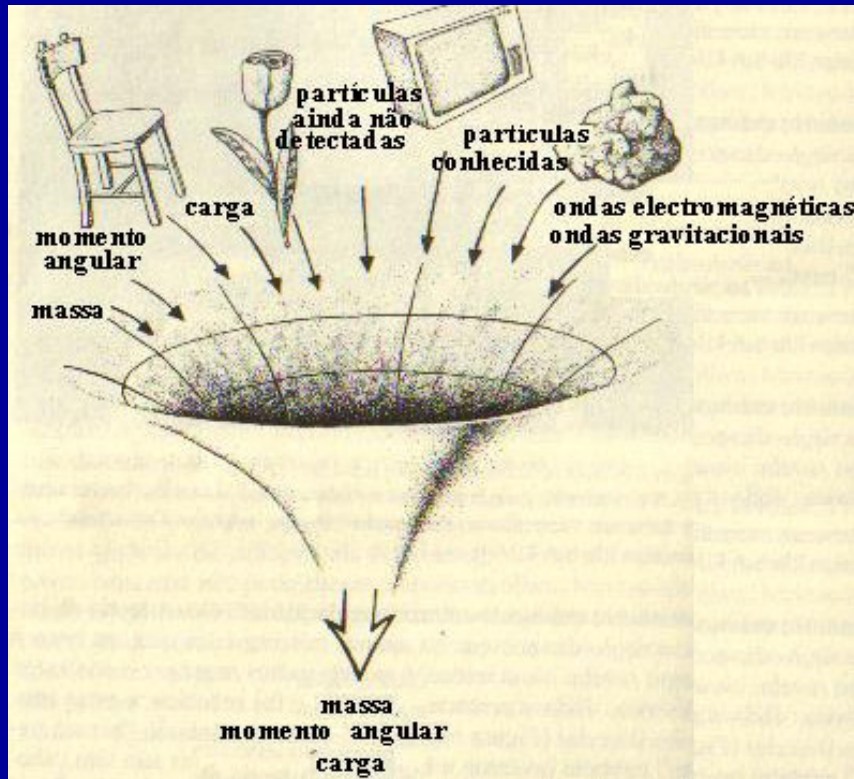
Numa noite de 1970 ocorreu a Hawking que muitas das técnicas que utilizava com Penrose para o estudo de singularidades se podiam aplicar aos Buracos Negros. Assim entre 1970 e 1974 Hawking dedicou-se principalmente ao estudo de buracos negros.



<http://casa.colorado.edu/~ajsh/>



Buracos Negros



adaptado de Kitty Ferguson, "Prisões de Luz", Ed. Bizâncio 2000 - cortesia de John Wheeler.

De acordo com a Teoria da Relatividade Geral qualquer informação acerca da forma ou do tipo de objecto que deu origem ao buraco negro desaparece para sempre. Olhando para um buraco negro não sabemos dizer se ele resultou do colapso de uma estrela ou de uma nuvem de gás. Não sabemos nada sobre o tipo de matéria que lhe deu origem.



Qual é então a informação que é retida no processo de formação dos buracos negros?

Massa m

Carga eléctrica ϵ

Momento angular $L = m.v.r$



O que é que acontece ao resto?

É simplesmente engolido pelo buraco negro ou radiado para longe sob a forma de energia. É o que acontece, por exemplo, com o campo magnético da estrela.

Assim existem apenas 4 tipos de buracos negros:

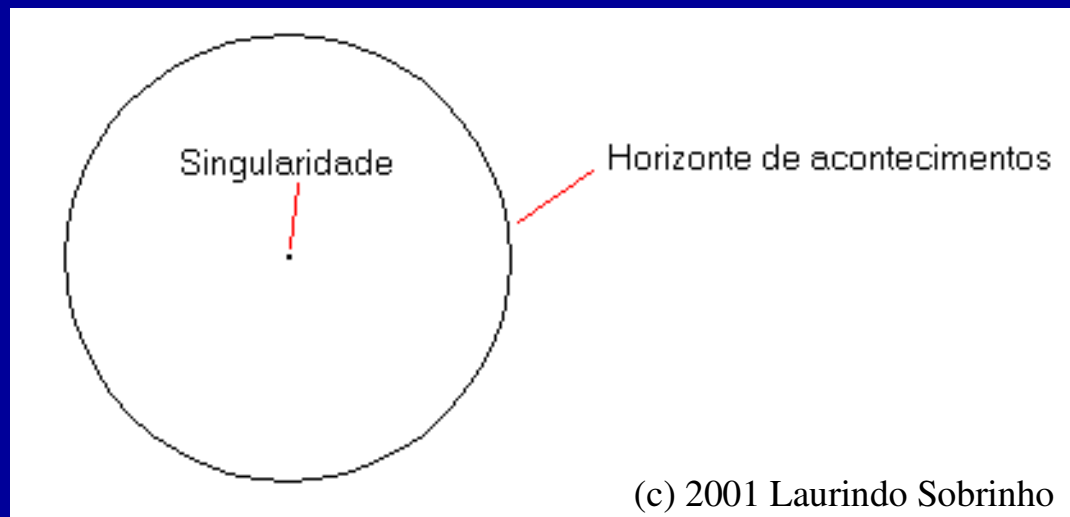
m	Schwarzschild
m, ϵ	Reissner-Nordstrom
m, L	Kerr
m, ϵ, L	Kerr-Newmann

Se dois buracos negros têm os mesmos valores de m , ϵ , e L então são iguais.



Buracos negros de Schwarzschild

São caracterizados por uma **massa m** (e nada mais). O raio do horizonte de acontecimentos é dado em função dessa massa m e é $R = 2m$.





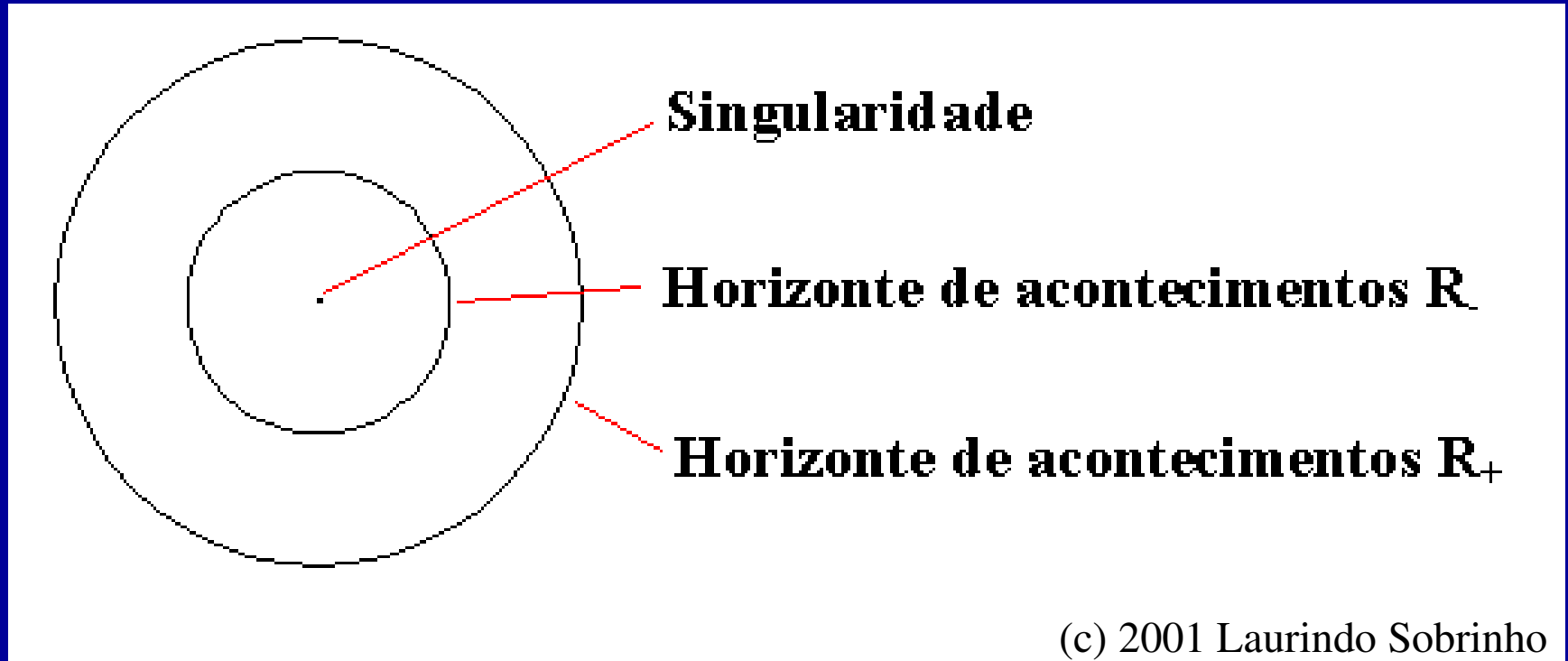
Buracos negros de Reissner-Nordstrom

Os buracos negros de Reissner-Nordström distinguem-se dos de Schwarzschild por possuírem uma carga eléctrica ϵ . À volta destes buracos negros existe, além de um campo gravítico, um campo eléctrico.

Os buracos negros de Reissner-Nordström são simetricamente esféricos e possuem, além de uma singularidade pontual, não um mas sim dois horizontes de acontecimentos.



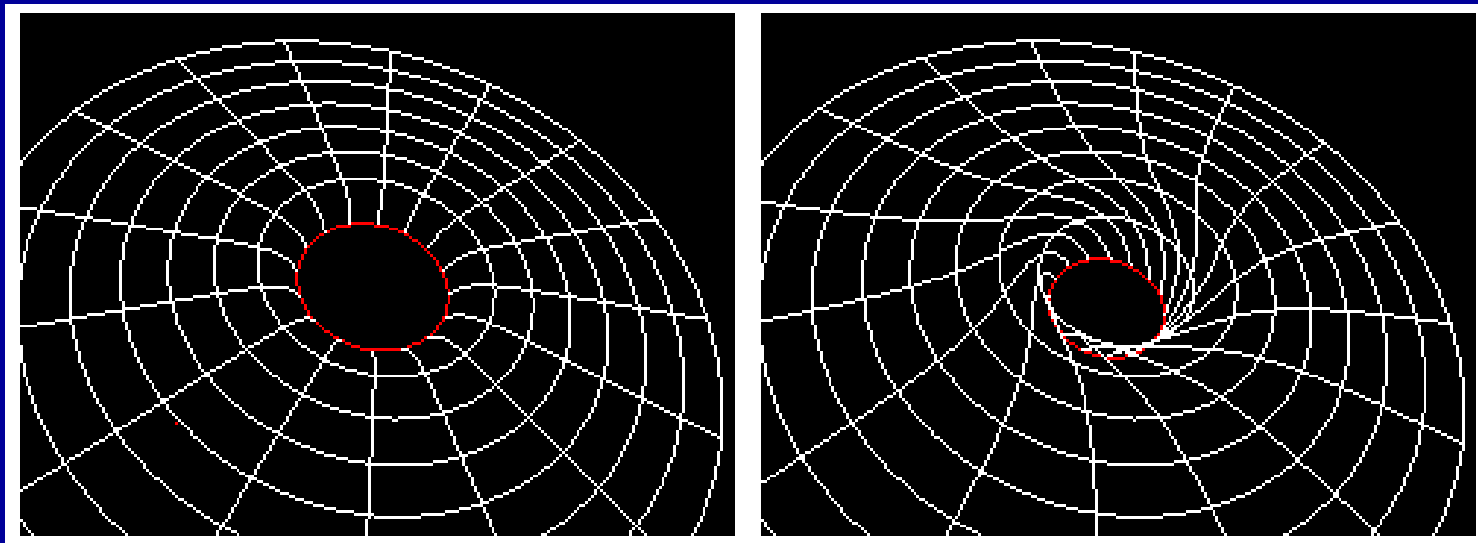
Buraco negro de Reissner-Nordstrom





Buracos negros de Kerr

O colapso gravitacional de uma estrela em rotação origina um buraco negro com rotação (buraco negro de Kerr). Do lado de fora do horizonte de acontecimentos o espaço é arrastado em torno do buraco negro.



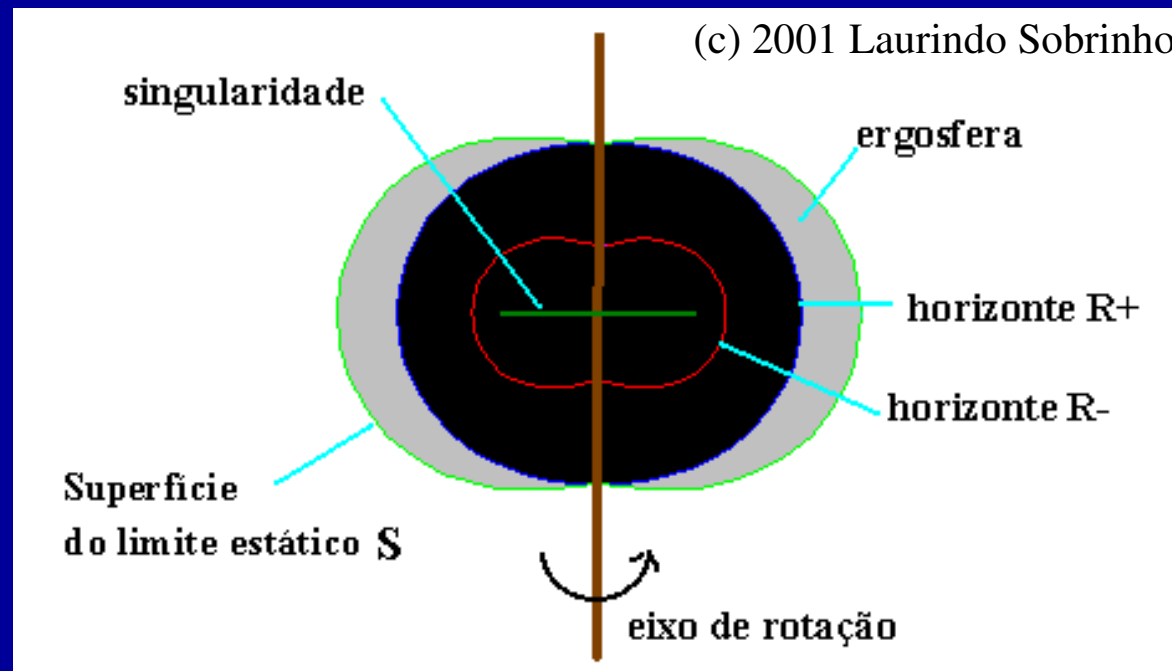
Sem rotação

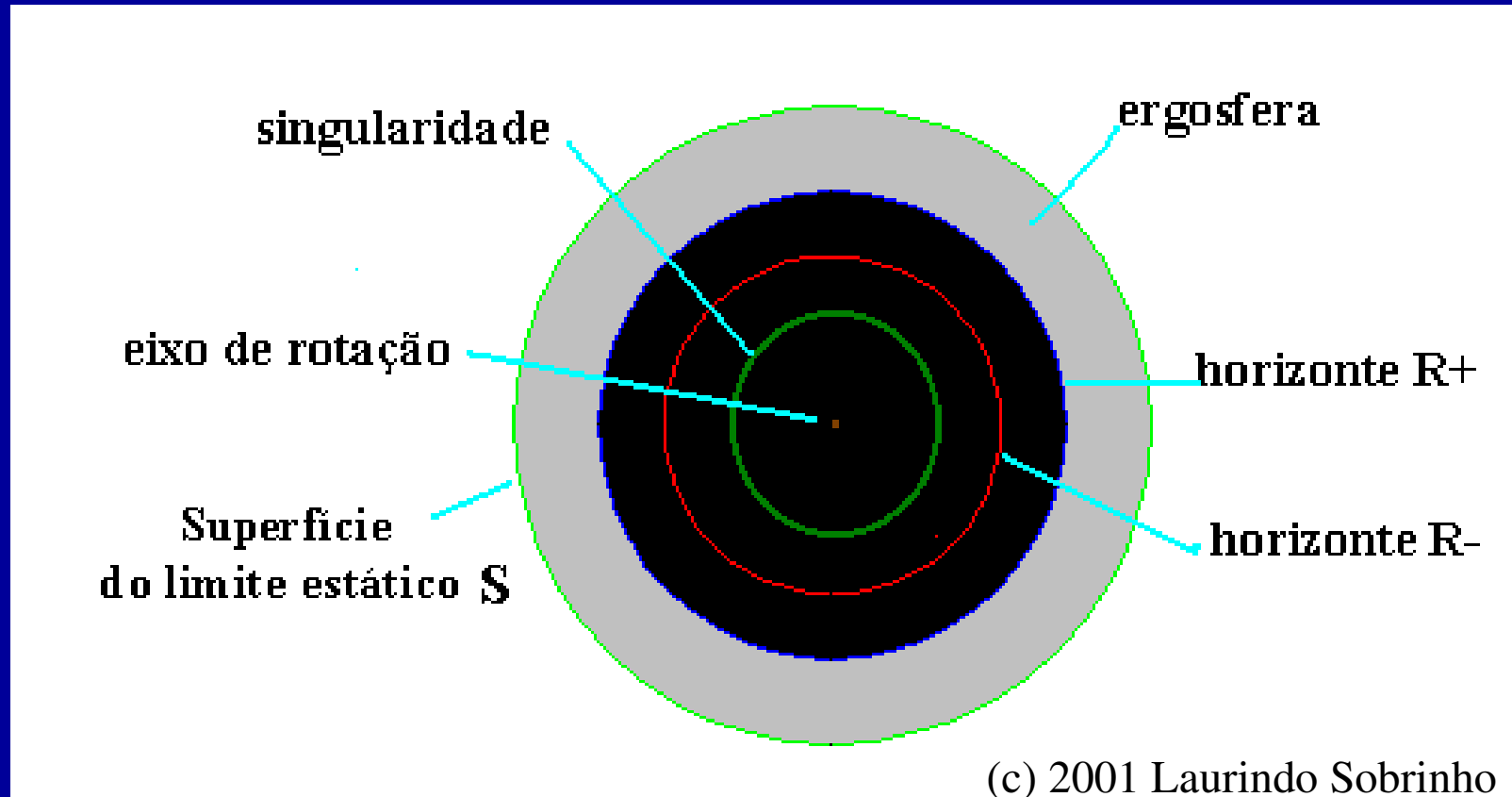
Com rotação



Os buracos de Kerr não são simetricamente esféricos. São achatados nos pólos devido à rotação. Mas têm simetria axial (em relação ao eixo de rotação).

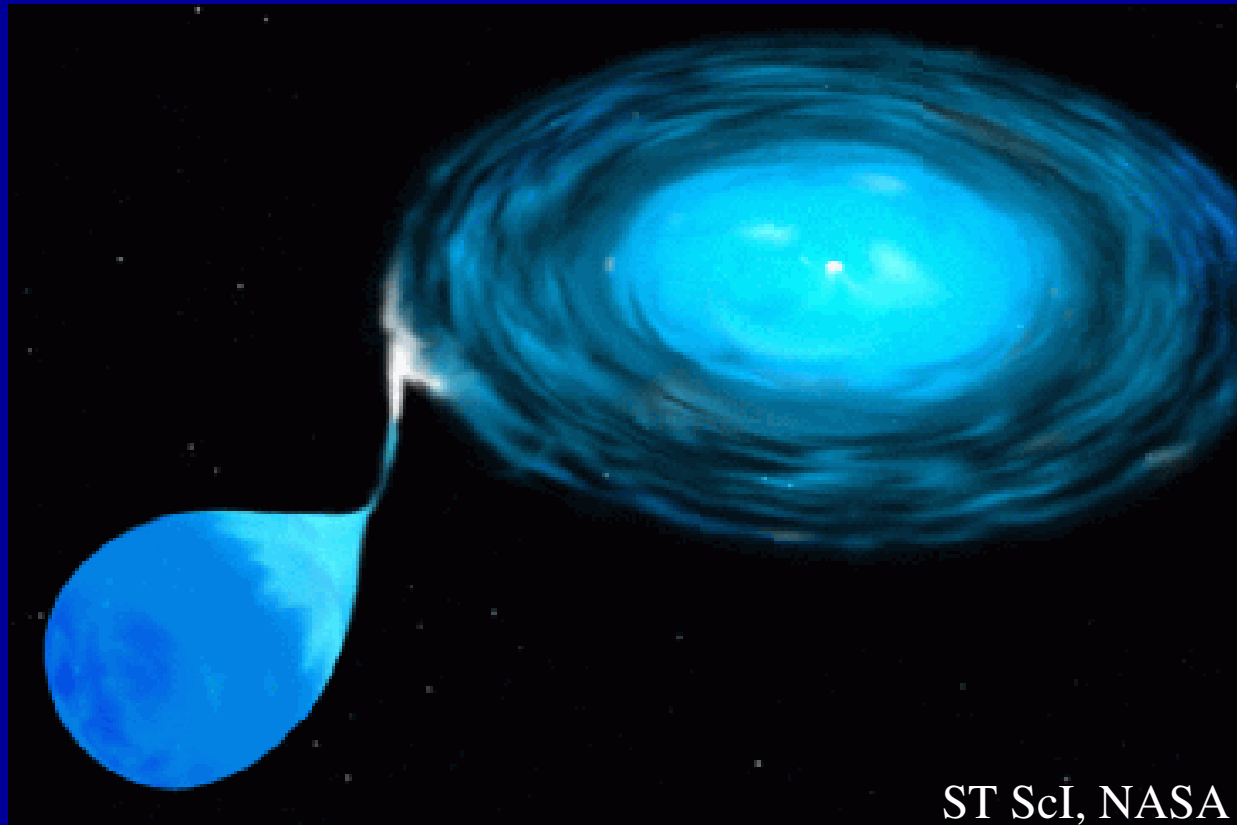
Possuem dois horizontes de acontecimentos: R_+ e R_- e uma singularidade anelar sobre o plano equatorial.







Existem actualmente vários objectos candidatos a buraco negro desde os de massa estelar aos supermassivos. No caso dos de massa estelar um dos mais fortes candidatos é **Cyg X1**.

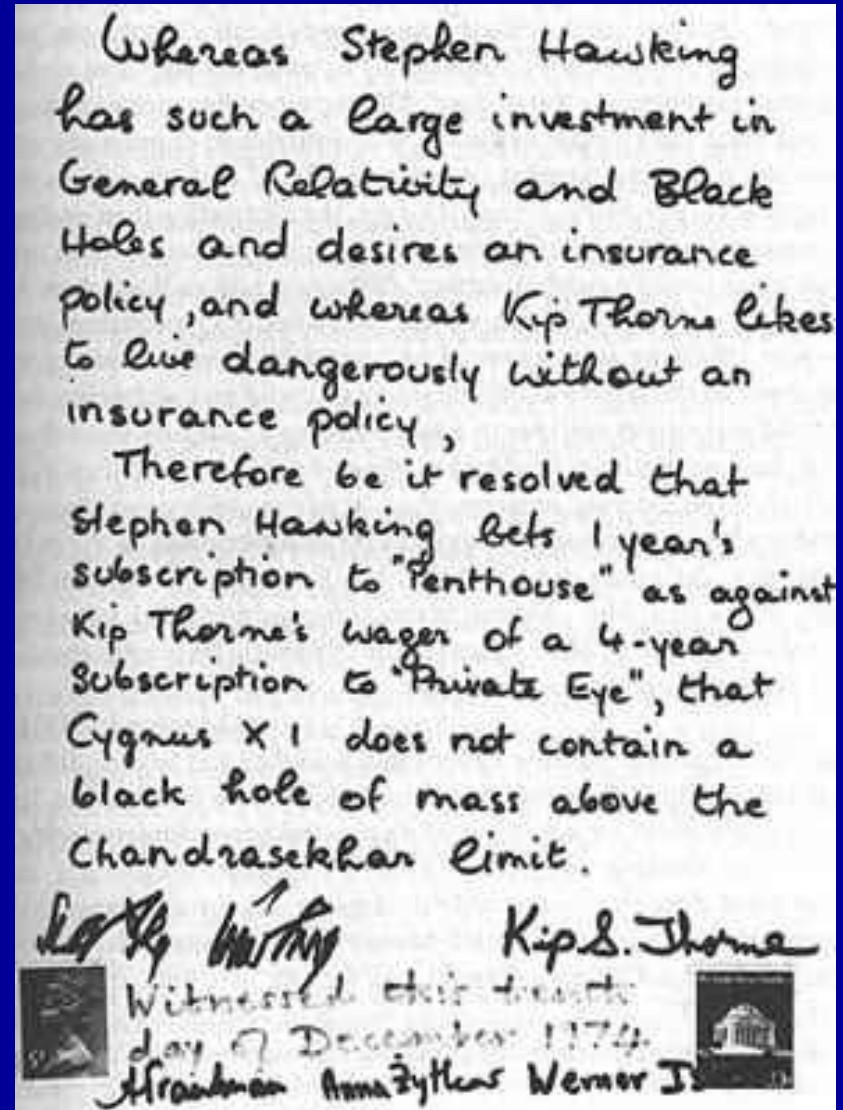


ST ScI, NASA



Em Dezembro de 1974 Stephen Hawking e Kip Thorne fizeram uma aposta sobre se Cygnus X1 é ou não um buraco negro (Hawking dizia que não era).

Com os resultados dos últimos anos (embora ainda não exista a certeza absoluta) Hawking reconheceu a vitória de K. Thorne nesta aposta.

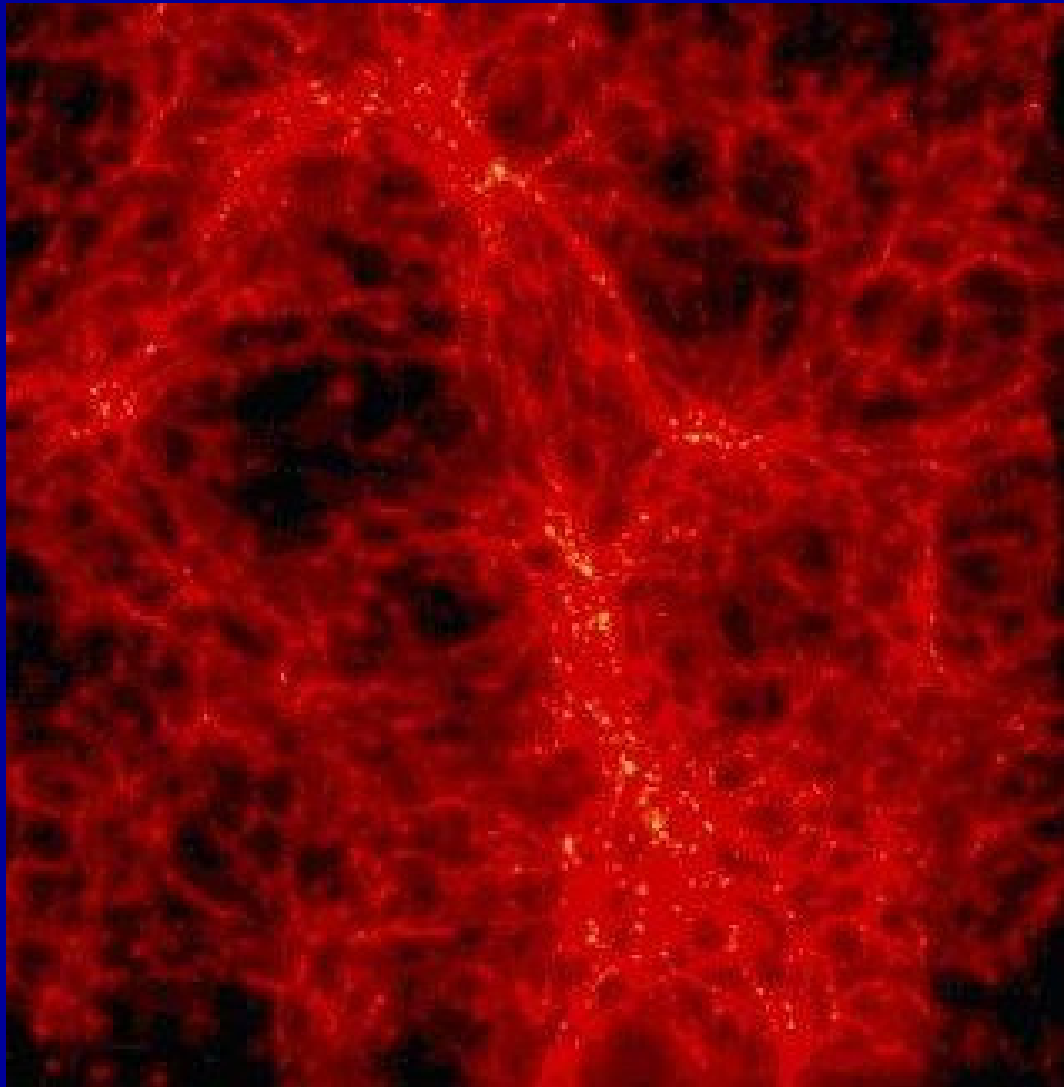




Buracos Negros Primordiais

A hipótese da existência de buracos negros com massa inferior a 1.5 massas solares foi, de uma forma geral, deixada de lado por não se conhecer no Universo qualquer processo capaz de os produzir.

O cenário mudou quando, em 1971 Hawking publicou um artigo intitulado "*Colapso gravitacional de objectos de massa bastante pequena*" onde mostra que no universo primordial, logo após a explosão do Big Bang, podem ter estado reunidas as condições para que se tenham formado buracos negros das mais variadas massas.



Simulation of a patch of the Universe at early times, (B. Moore, Institute for Theoretical Physics, Zurich).

"É sugerido que deve existir um grande numero de objectos resultantes do colapso gravitacional com massas superiores a $0.00001g$ que se formaram como resultado das flutuações no Universo inicial".

Hawking, 1971 MNRAS, 152, 75.



Como é que sabemos que existiram essas flutuações (irregularidades) nos instantes iniciais do Universo?

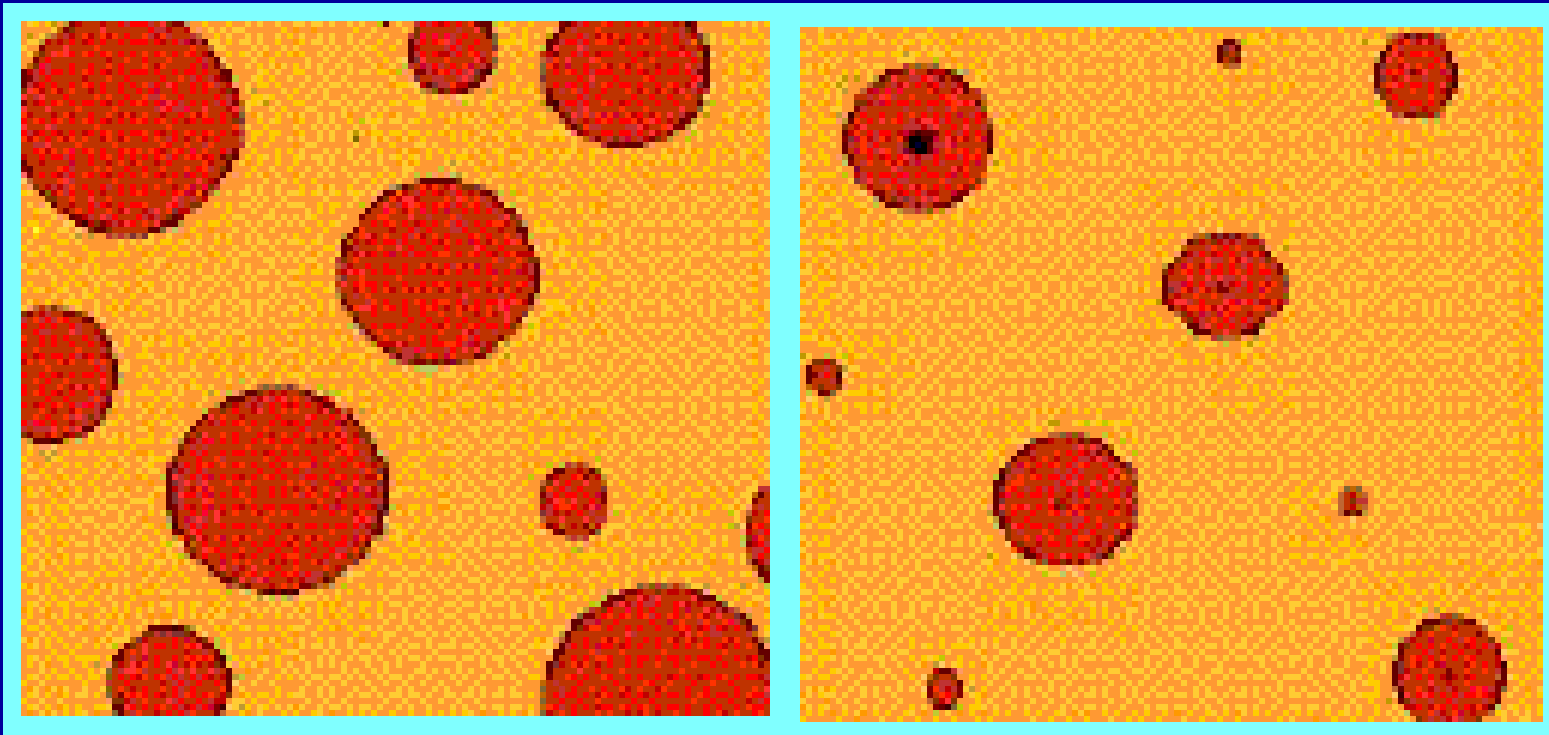


Colisão de Galáxias (Antenas)
Brad Whitmore (ST ScI), and NASA.

Não existindo flutuações o Universo actual seria uniforme e não existiriam estruturas como por exemplo as Galáxias.



Em resultado dessas irregularidades algumas regiões do Universo não puderam acompanhar a expansão e acabaram por colapsar por acção da gravidade originando buracos negros.





Primeiro formaram-se os buracos negros de menor massa, de acordo com a expressão:

$$M = 10^{35} t_U$$

onde t_U é a idade do Universo em segundos e M a massa do buraco negro em Kg.

Os primeiros buracos negros podem ter-se formado quando a idade do Universo era igual ao tempo de Planck (10^{-43} s). A massa desses buracos negros seria então igual à massa de Planck (10^{-5} g).



Quando o Universo tinha 10^{-23} s podem ter-se formado buracos negros de 10^{12} kg, com 10^{-5} s buracos negros de 1 massa solar e aos 10s buracos negros com 1 milhão de massas solares.



Alguns dos buracos negros supermassivos presentes em núcleos galácticos podem ter tido uma origem primordial.



O que aconteceu aos buracos negros primordiais de massa pequena?

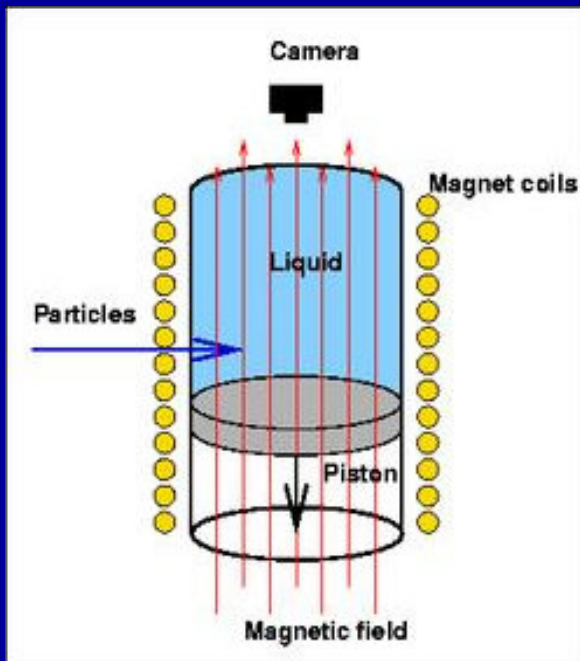
- > podem estar espalhados por todo lado
- > podem estar aglomerados em enxames
- > podem ter acretado matéria suficiente e hoje terem massas estelares
- > podem ter-se alojado no centro de estrelas
- > **podem ter evaporado** (esta hipótese só veio a ser colocada mais tarde)



"Um buraco negro de massa pequena e com carga eléctrica tem, em muitos aspectos, um comportamento semelhante ao do núcleo de um átomo com a mesma carga."

"Ao passar numa câmara de bolhas deixaria um rasto semelhante. Poderia no entanto distinguir-se pelo facto de não ser afectado pelo campo magnético."

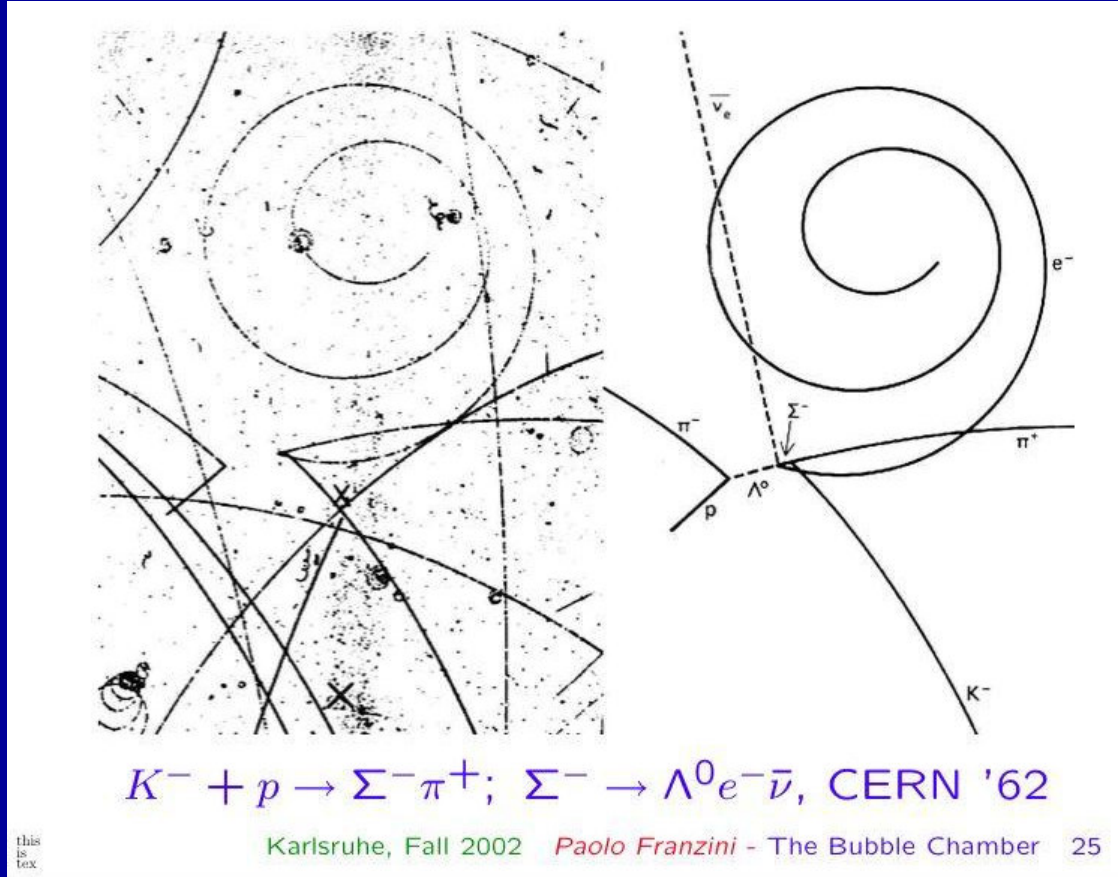
Hawking, 1971 MNRAS, 152, 75.



Câmara de Bolhas - quando uma partícula com carga atravessa o líquido transfere para este energia suficiente para provocar a ebulição ao longo da trajectória. Forma-se assim uma cadeia de bolhas ao longo do caminho seguido pela partícula.

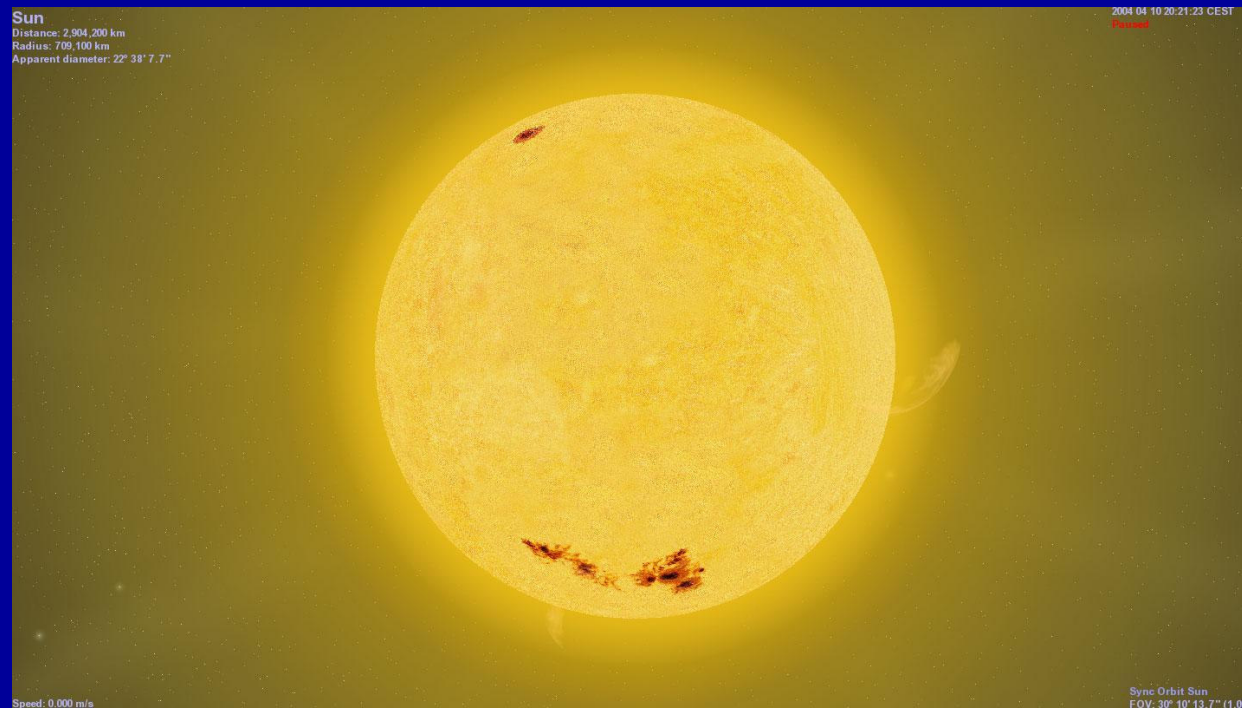


"Existem sempre algumas pistas não identificadas nos registos das câmaras de bolhas. É possível que algumas delas se refiram a buracos negros..." - Hawking, 1971 MNRAS, 152, 75.



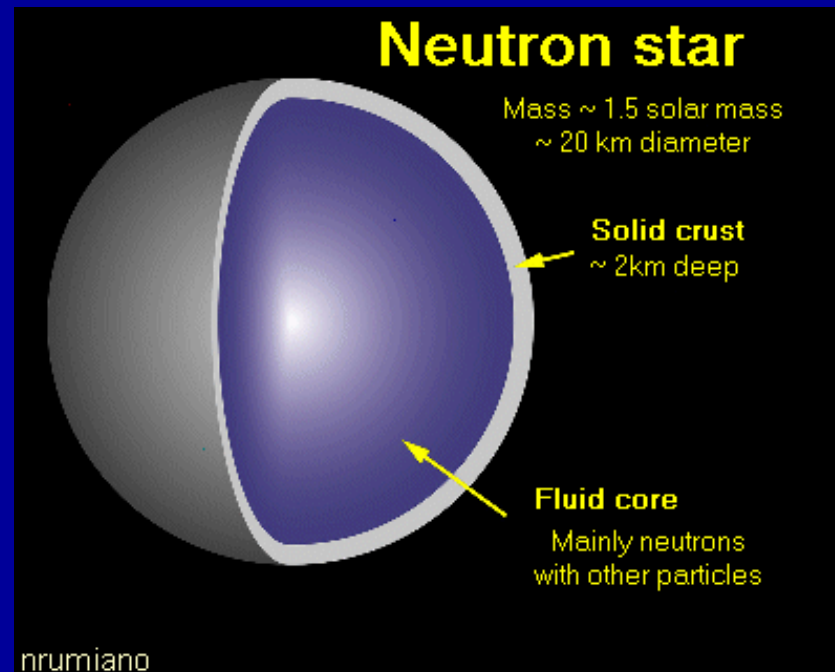


Se grande parte da massa do Universo estivesse sob a forma de buracos negros com carga eléctrica então o Sol deveria ter ganho uma massa de 10^{14} kg desses átomos. Eles acabariam no centro do Sol e formariam um único buraco negro de raio 10^{-11} cm que acabaria por afectar de alguma forma a região central do Sol. (Hawking, 1971 MNRAS, 152, 75.)





Um buraco negro no centro de uma estrela de nêutrons acabaria por acretar matéria a uma taxa de 10^7 kg por ano. A estrela seria completamente engolida ao fim de 10 milhões de anos. A fase final seria muito violenta e produziria fortes ondas gravitacionais - (Hawking, 1971 MNRAS, 152, 75.)





Em 1971 quando Hawking publicou o seu artigo sobre a formação de buracos negros de massa pequena o único cenário considerado como possível para a sua formação remetia para os instantes Universo inicial.

Actualmente estudam-se outros cenários possíveis:

- > Raios Cósmiticos
- > Aceleradores de partículas



Formação de Buracos Negros em aceleradores de partículas

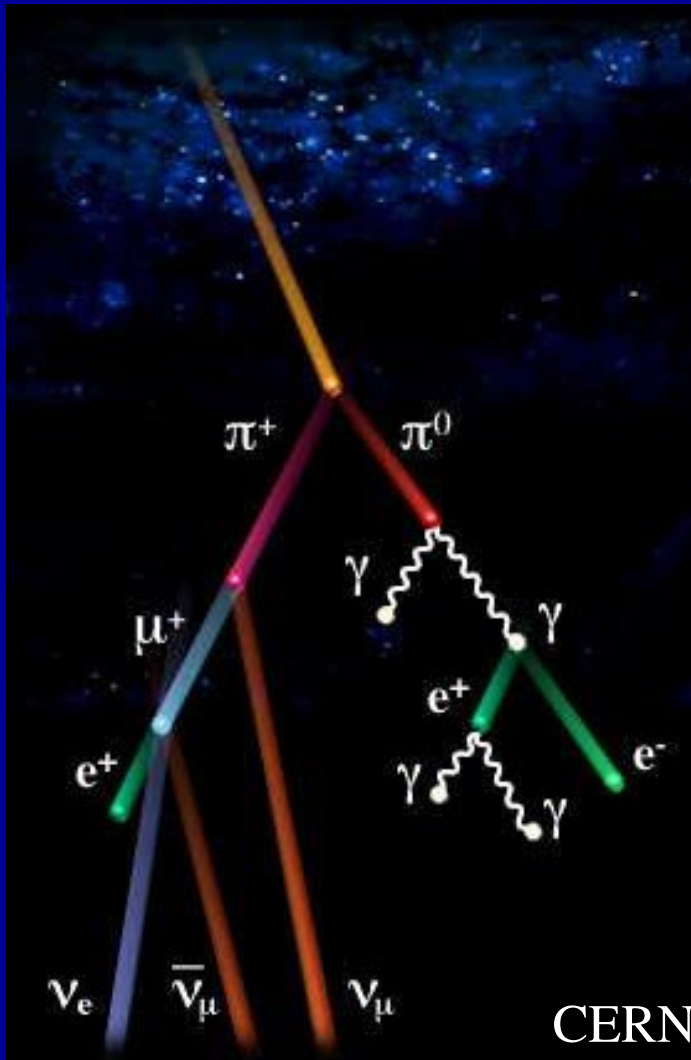


Photograph courtesy Brookhaven Laboratory

Em Março de 2005 numa experiência conduzida no acelerador de partículas de Brookhaven Laboratory foi produzido uma "bola" de plasma 300 milhões de vezes mais quente que a superfície do Sol. Essa bola comportou-se como se fosse um buraco negro....



Formação de Buracos Negros em Raios Cósmicos

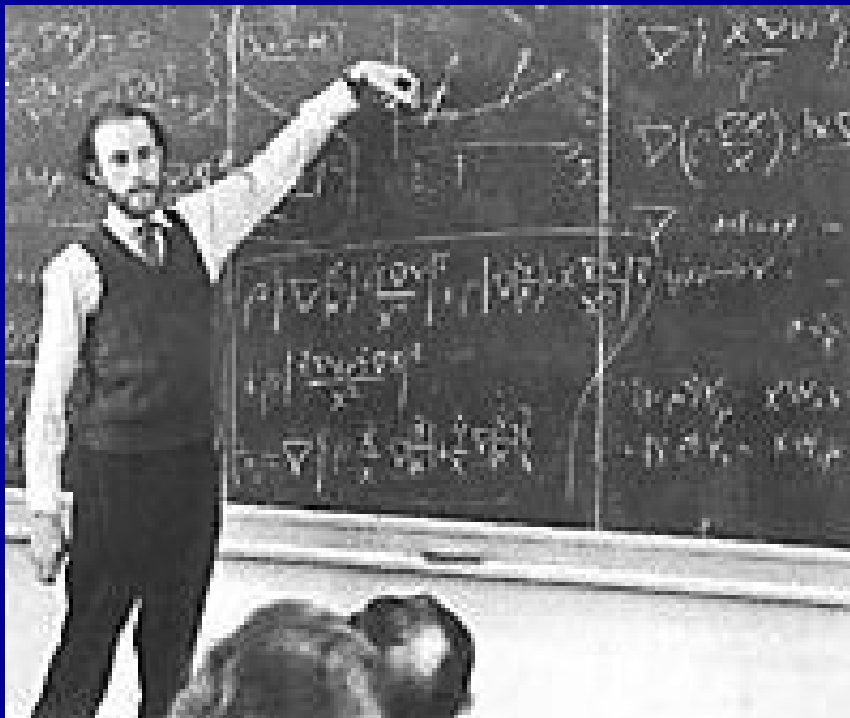


As energias em jogo em processos de colisão envolvendo raios cósmicos poderão ser suficientes para que ocorra a produção de mini buracos negros.



As 4 Leis da Mecânica dos buracos negros

Em 1972 J. M. Bardeen, B. Carter e S. Hawking apresentaram um trabalho onde formulavam as 4 Leis da Mecânica dos buracos negros.



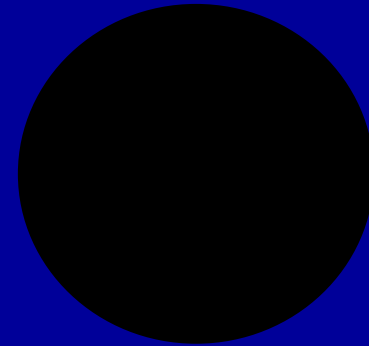
Brandon Carter



Teorema da Área: Em qualquer interacção a área da superfície de um buraco negro nunca pode decrescer.

$$\Delta A \geq 0$$

$$A = 4\pi r^2$$



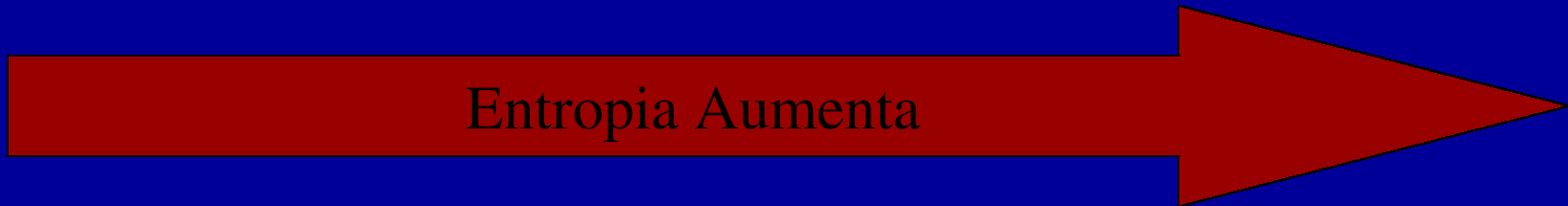
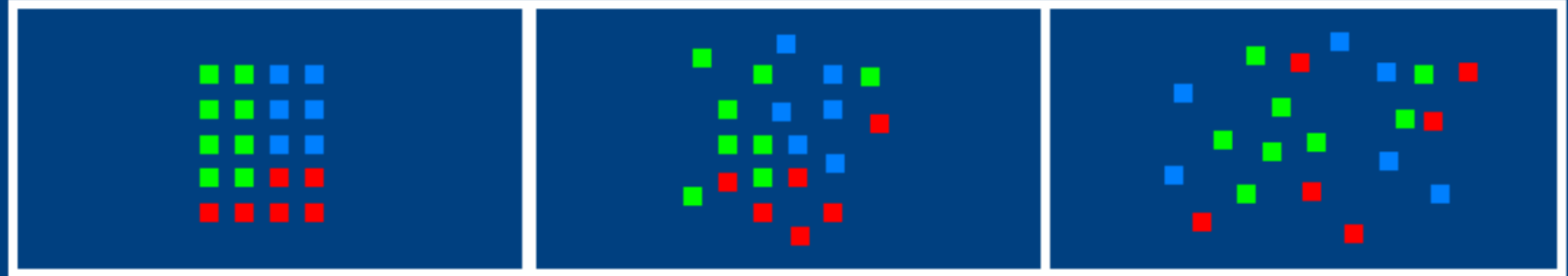
Existe uma clara analogia entre o Teorema da Área e a Segunda Lei da Termodinâmica.

Segunda Lei da Termodinâmica: A entropia de um sistema nunca decresce.

$$\Delta S \geq 0$$

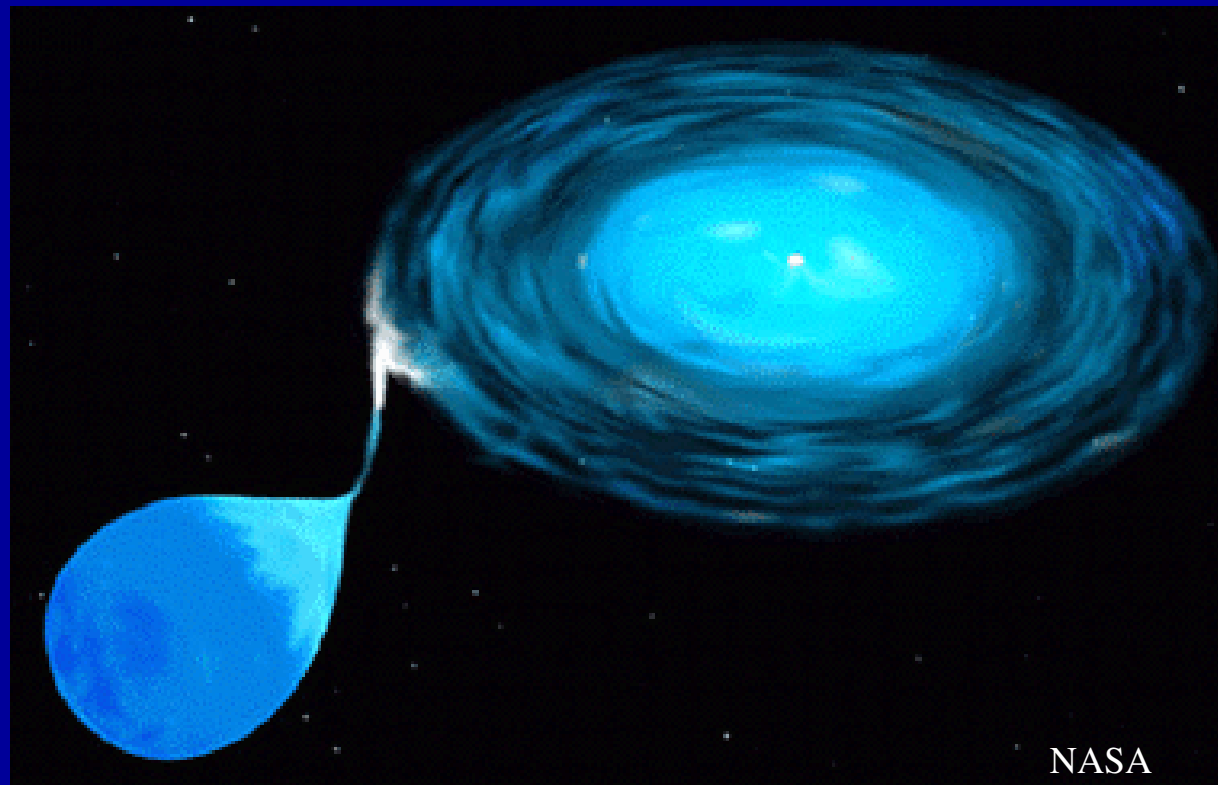


Entropia: medida a desordem de um sistema. A desordem aumenta sempre. Podemos até colocar uma certa ordem numa parte do sistema mas sempre à custa de um aumento da desordem noutra parte do sistema.





Quando um buraco negro absorve matéria altamente desordenada (entropia elevada) aparentemente haveria uma diminuição da entropia no Universo exterior ao buraco negro - violação da Segunda Lei da Termodinâmica.

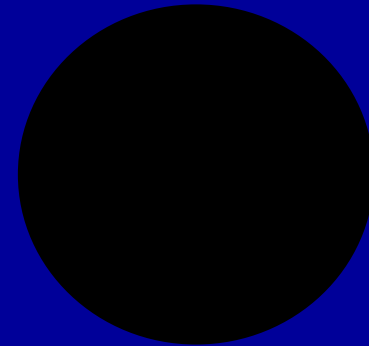




Foi então sugerido que a área do horizonte de acontecimentos é uma medida da entropia do buraco negro.

No caso de um buraco negro de Schwarzschild temos $r = 2m$ pelo que:

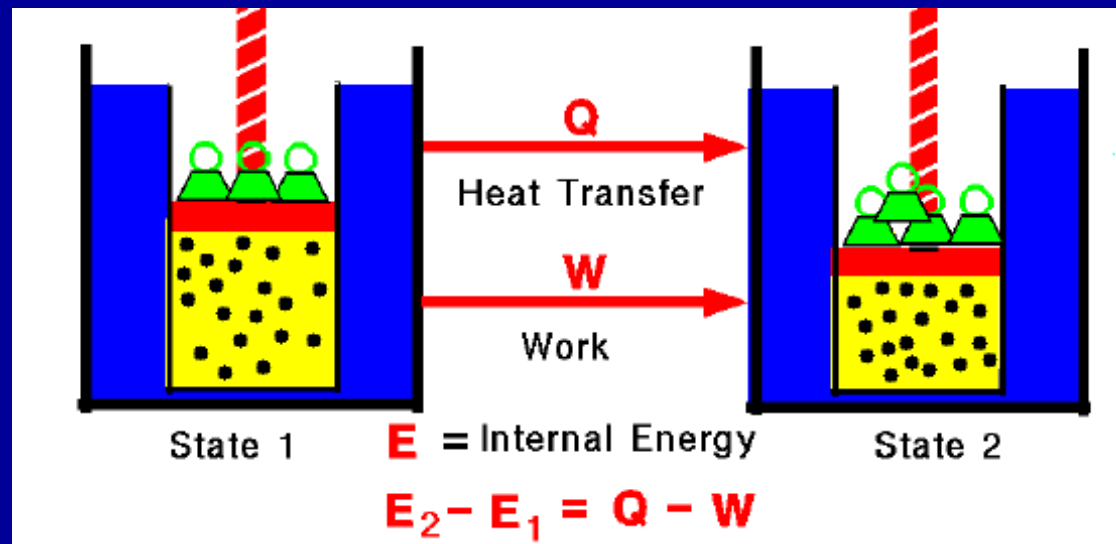
$$S \propto A = 16\pi m^2$$



Assim o Teorema da Área pode ser visto como a **Segunda Lei da Termodinâmica para buracos negros**.



A **Primeira Lei da Termodinâmica** traduz a conservação da energia de um sistema que troca energia com a sua vizinhança na forma de calor ou trabalho.



NASA - Glenn Research Center

E - energia interna do sistema.

Q - calor transferido entre o sistema e a vizinhança

W - trabalho realizado pelo sistema sobre a sua vizinhança.



Será possível escrever também uma expressão equivalente à da Primeira Lei da Termodinâmica para buracos negros?

Se pensarmos que a massa m do buraco negro é uma medida da sua energia interna então podemos escrever:

$$\Delta m = \frac{\kappa}{8\pi} \Delta A + W_L \Delta a + W_\varepsilon \Delta \varepsilon$$

onde W_L e W_ε representam o trabalho efectuado na alteração do momento angular e carga eléctrica do buraco negro. A constante κ é a chamada **gravidade superficial** do buraco negro. Esta expressão traduz a **Primeira Lei da Termodinâmica para buracos negros**.



$$\Delta m = \frac{\kappa}{8\pi} \Delta A + W_L \Delta a + W_\varepsilon \Delta \varepsilon$$

$$\Delta E = Q - W$$

Comparando as duas expressões verificamos que num buraco negro o papel do calor Q é desempenhado pelo termo $\kappa \Delta A / (8\pi)$.



Pela segunda Lei da Termodinâmica de buracos negros temos que ΔA corresponde à variação de entropia .
Em Termodinâmica ΔS é dado por:

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$$

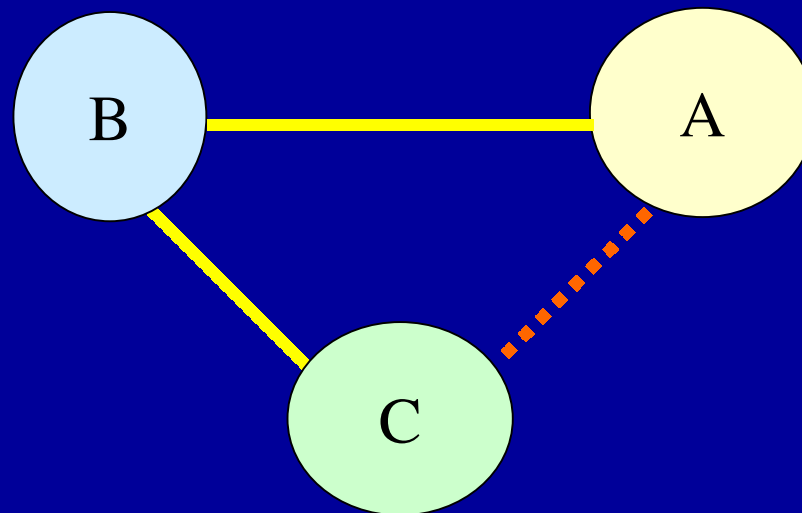
onde T é a temperatura.

Somos assim levados a concluir que a gravidade superficial, k , desempenha um papel semelhante ao da temperatura.

É assim possível **associar uma temperatura a um buraco negro** embora, inicialmente, isto fosse visto apenas como uma mera curiosidade.



A **Lei Zero da Termodinâmica** afirma que num sistema em equilíbrio termodinâmico as diferentes partes são caracterizadas por uma temperatura comum.



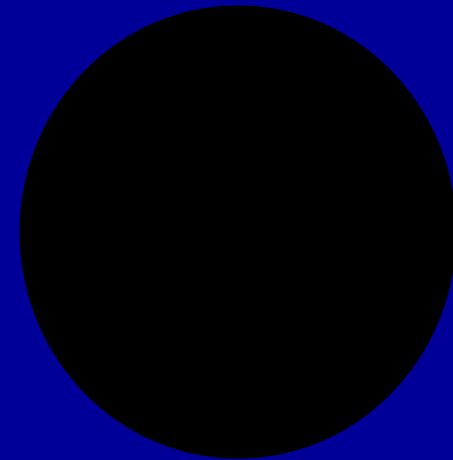
Se A está em equilíbrio com B e B está em equilíbrio com C então A também está em equilíbrio com C ($T_A = T_B = T_C$).



É possível demonstrar que a gravidade superficial κ (que desempenha um papel análogo ao da temperatura) é constante ao longo de toda a superfície do horizonte de acontecimentos do buraco negro. Este resultado traduz a **Lei Zero da Termodinâmica para buracos negros**.

Gravidade superficial para um buraco negro de Schwarzschild:

$$\kappa = \frac{1}{4m}$$





A **Terceira Lei da Termodinâmica** afirma que a entropia de qualquer substância pura tende para zero à medida que a respectiva temperatura se aproxima do zero absoluto.

No caso dos buracos negros verifica-se que:

$$a^2 + \varepsilon^2 \xrightarrow{k \rightarrow 0} m^2$$

Podemos assim tomar para **Terceira Lei da Termodinâmica para buracos negros** a expressão:

$$a^2 + \varepsilon^2 = m^2$$



A Termodinâmica estuda os efeitos do trabalho, calor, energia e entropia num sistema numa escala macroscópica.

É notável ser possível estabelecer Leis semelhantes às da Termodinâmica para os buracos negros.

Numa primeira fase isso era visto apenas como uma mera curiosidade matemática sem qualquer significado físico.



Radiação de Hawking



Em 1974 Hawking publicou um artigo na *Nature* intitulado "*Black Hole Explosions*" onde demonstrou que os buracos negros também emitem radiação. Essa radiação é actualmente designada por Radiação de Hawking.



Princípio da Incerteza de Heisenberg

Não se pode saber com exactidão a posição e velocidade de uma partícula. Quanto maior a certeza em relação à velocidade maior será a incerteza em relação à posição e vice-versa.



O vácuo não pode ser completamente vazio.

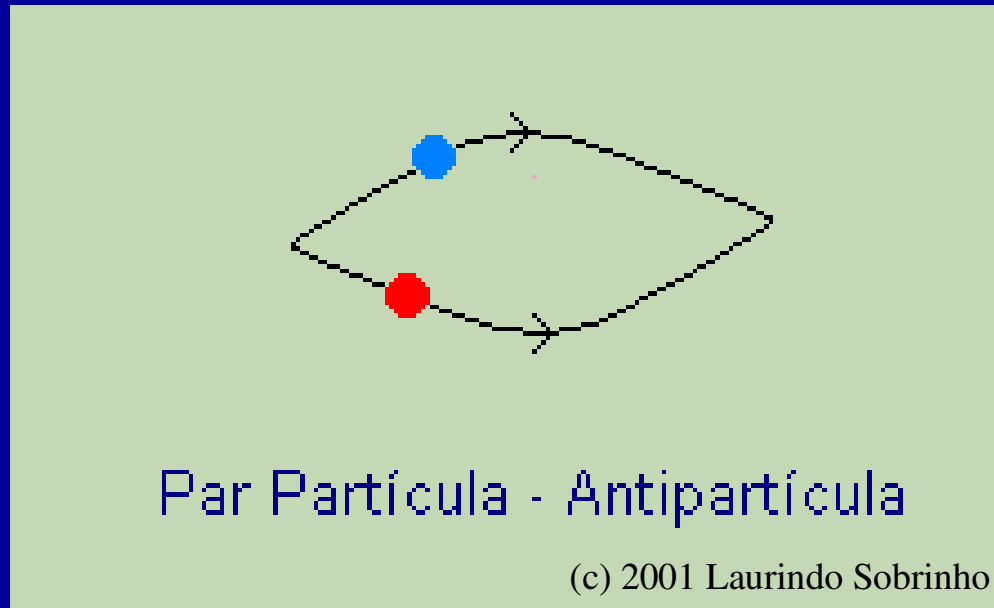
Não podemos fixar todos os campos em zero, numa dada região do espaço, pois isso iria contrariar o Princípio da Incerteza de Heisenberg.

Tem de existir sempre uma incerteza mínima associada. Essa incerteza manifesta-se sob a forma de **pequenas flutuações** no valor do campo.



O que são essas flutuações ?

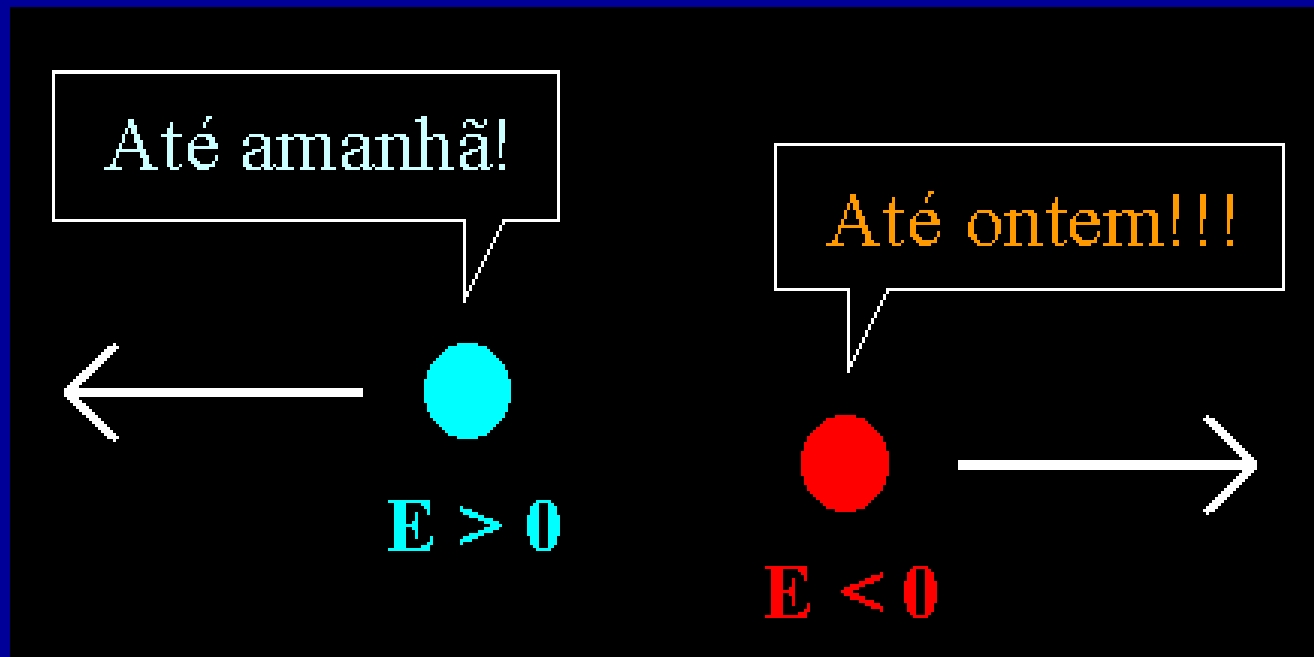
Aparecem espontaneamente partículas aos pares. Em cada par existe uma **partícula** e uma **antipartícula**. Separam-se por breves instantes e depois voltam a juntar-se aniquilando-se mutuamente. Estes pares não se podem detectar directamente: diz-se que são **virtuais**.





Como os pares aparecem do “nada” então a respectiva energia associada deve ser zero, ou seja, uma das partículas do par deve ter energia negativa.

As partículas com energia negativa andam do presente para o passado! Não podem assim existir (de forma duradoura) no nosso Universo.



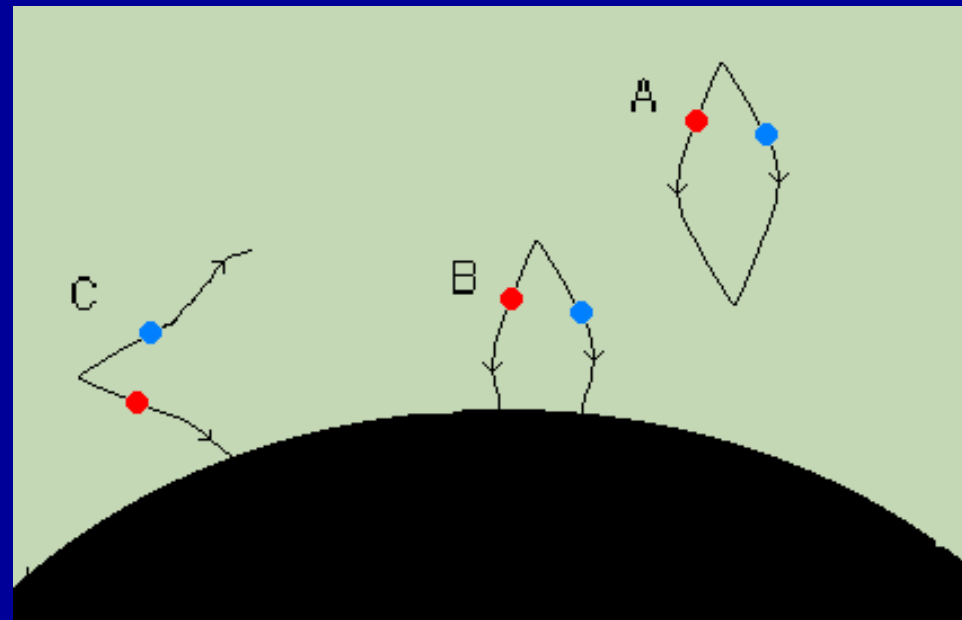


O que é que acontece se um destes pares aparecer junto de um buraco negro ?

A – O par forma-se e desaparece sem atravessar o horizonte.

B – O par forma-se do lado de fora e ambas as partículas atravessam o horizonte.

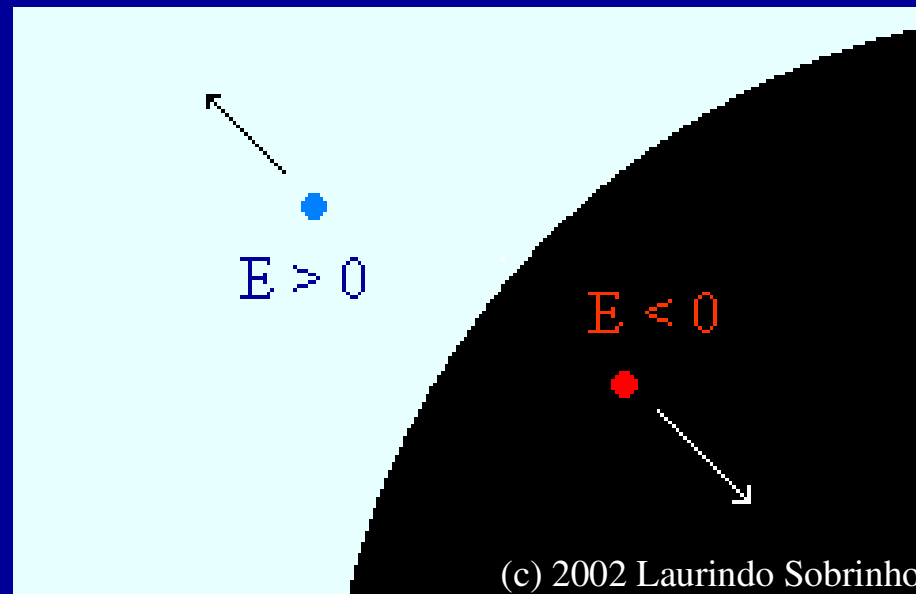
C – O par forma-se do lado de fora mas apenas uma das partículas atravessa o horizonte.



(c) 2001 Laurindo Sobrinho



O caso C é o mais interessante.
O fóton que ficou do lado de fora pode escapar para longe.
É um fóton real com energia positiva.



O fóton de energia negativa, uma vez do lado de lá do horizonte de acontecimentos, pode deslocar-se **livremente** até a singularidade.



O fóton que atravessou o horizonte tem energia negativa e vai fazer com que o valor da energia do buraco negro diminua. Mas energia e massa são no fundo a mesma coisa:

$$E = m \cdot C^2$$

Conclusão :

A massa do buraco negro irá diminuir.

A este processo de perda de massa via radiação de Hawking damos o nome de **Evaporação**.

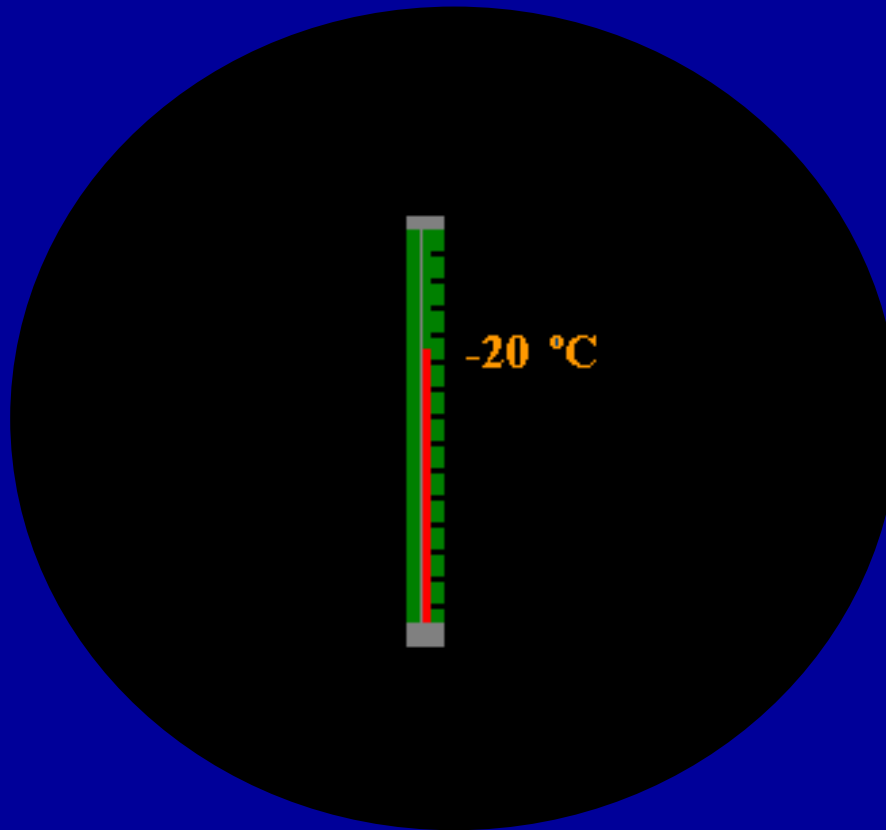


Durante o processo de evaporação o buraco negro perde massa o que implica que a sua área, e portanto a sua entropia, diminua. Estamos perante uma violação do Teorema da Área - Segunda Lei da Termodinâmica de Buracos Negros. Deve então substituir-se esta pela:

Segunda Lei da Termodinâmica Generalizada: Em qualquer interacção, a soma das entropias de todos os buracos negros com a entropia da matéria existente fora do buraco negro nunca decresce.



Se um buraco negro emite radiação então existe uma **temperatura** associada ao mesmo.



$$T = 6 * 10^{-8} \frac{M_s}{M_{bn}}$$



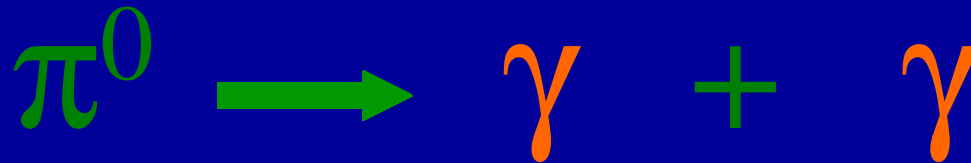
Na Radiação de Hawking são emitidas principalmente: **neutrinos, fótons e gravitões**. Além destas também podem ser emitidas outras partículas tais como:

Partículas	Vida média
electrões	estável
muões	$\ll 1$ milionésimo de segundo
piões	$\ll 1$ milionésimo de segundo
kaões	$\ll 1$ milionésimo de segundo
protões	estável
neutrões	1000 s



Quando a massa ronda os 10^{12} Kg são emitidos abundantemente **mesões Pi (piões)**. São assim emitidos mesões π^+ , π^0 e π^- bem como as respectivas antipartículas.

Os mesões Pi são todos bastante instáveis desintegrando-se imediatamente em outras partículas. Merece especial atenção a desintegração do mesão π^0 :



O mesão π^0 tem um tempo de vida média de apenas $2 \cdot 10^{-16}$ s. (0.000 000 000 000 000 2 s). Após esse tempo desintegra-se em dois **fotões gama** altamente energéticos.



Na realidade são emitidos jactos de *quarks* e *gluões* onde se desenvolvem mesões Pi.

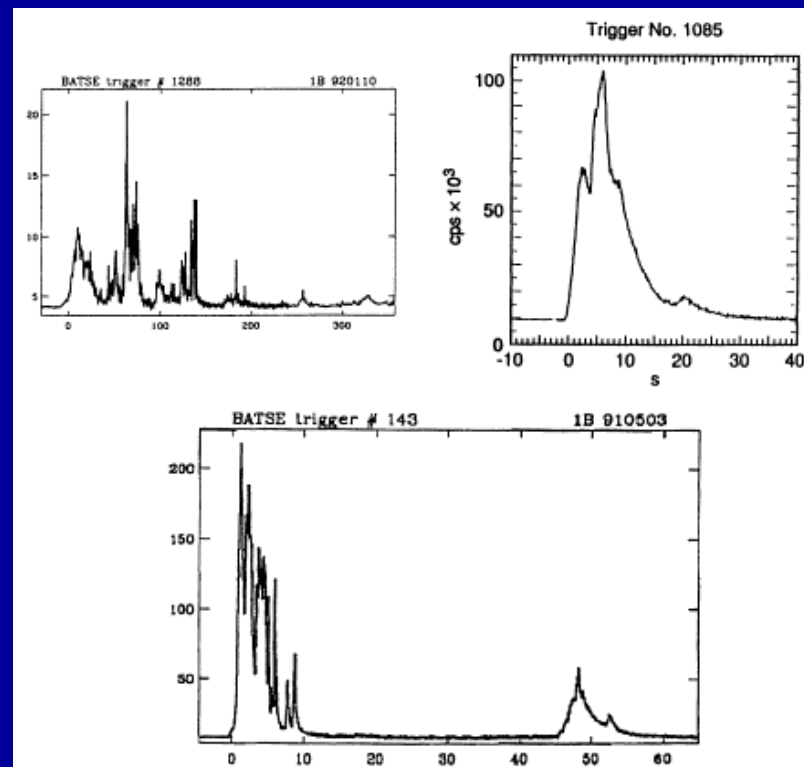
A emissão é cada vez mais intensa originando cada vez mais raios gama.

Assiste-se assim a uma espécie de **explosão de raios gama** que pode ser observável a grandes distâncias (!?) apesar de nesta fase o buraco negro ser muito pequeno (muito mais pequeno do que o núcleo de um átomo).



Foram observadas nos últimos anos (a partir de satélites) inúmeras explosões de raios gama. Estas são habitualmente designadas por:

GRBs – Gamma Rays Bursts

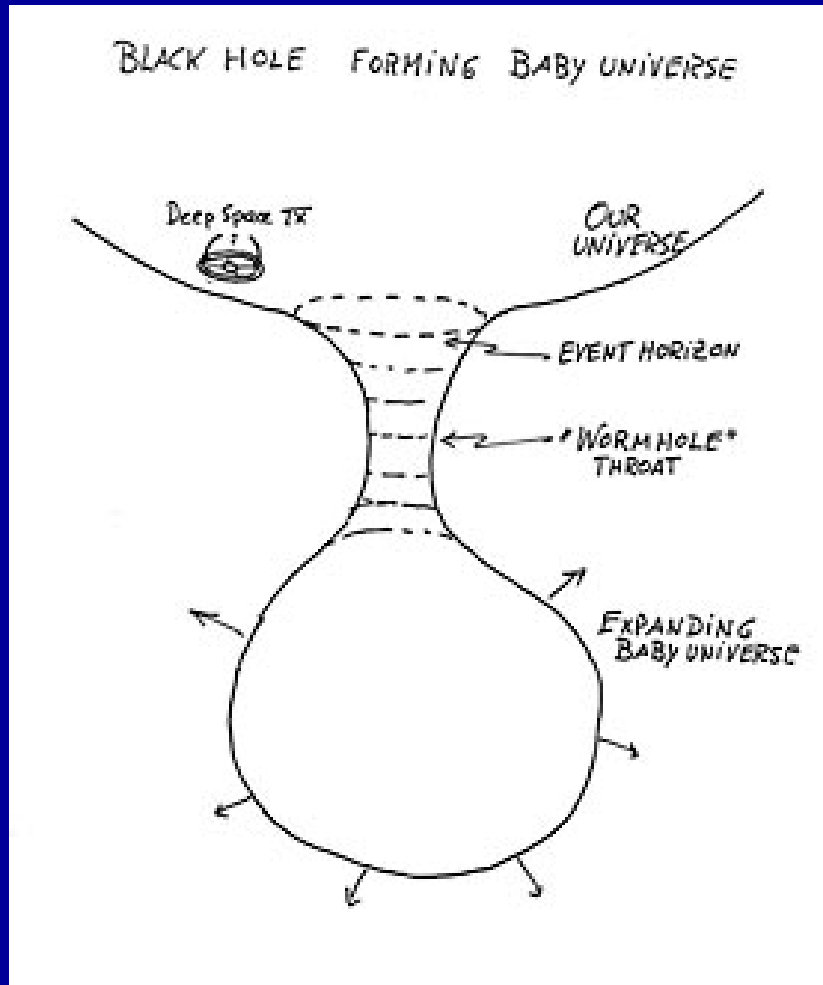




Alguns dos GRBs podem estar relacionados com a explosão de buracos negros. Muitos certamente que não estão. O nosso conhecimento tanto em relação aos GRBs como em relação a fase final da evaporação de buracos negros não é ainda suficientemente claro para que se possam tirar conclusões seguras!



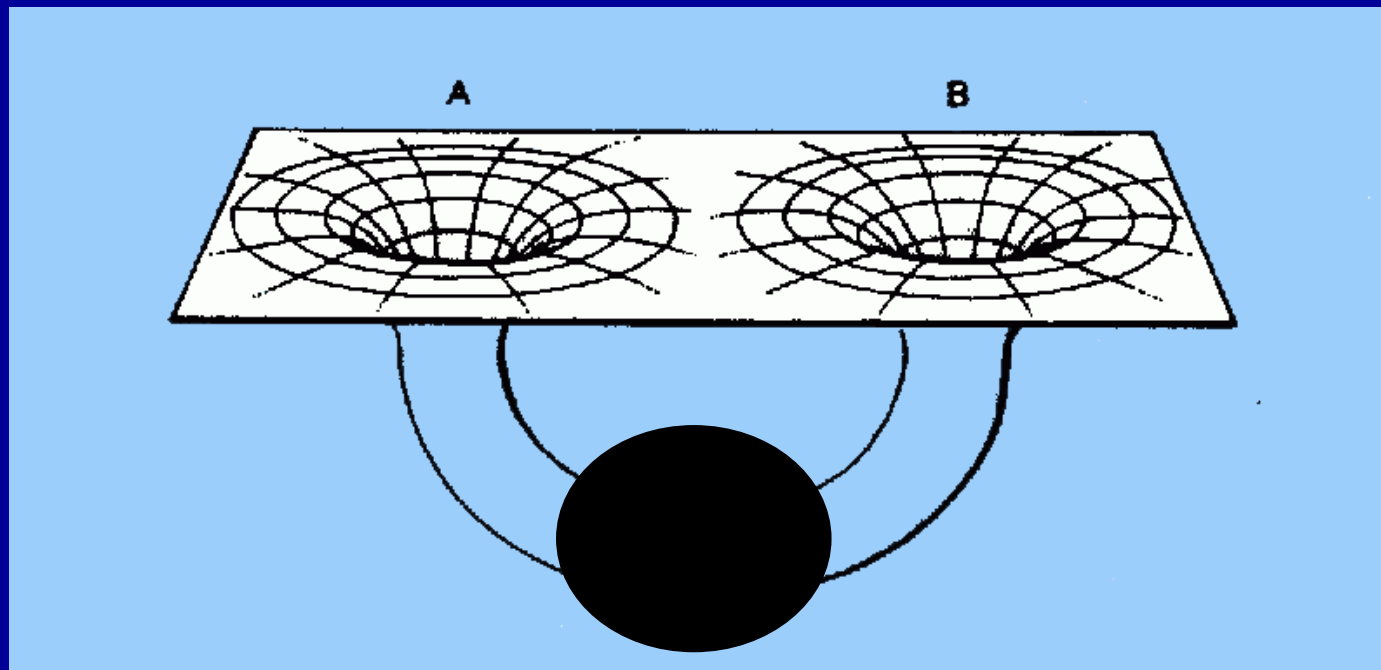
Buracos negros e Universos bebês



A matéria que cai num buraco negro acaba por ficar num Universo Bebê: um novo Universo que surge como ramificação do nosso Universo tendo como suporte um buraco negro.



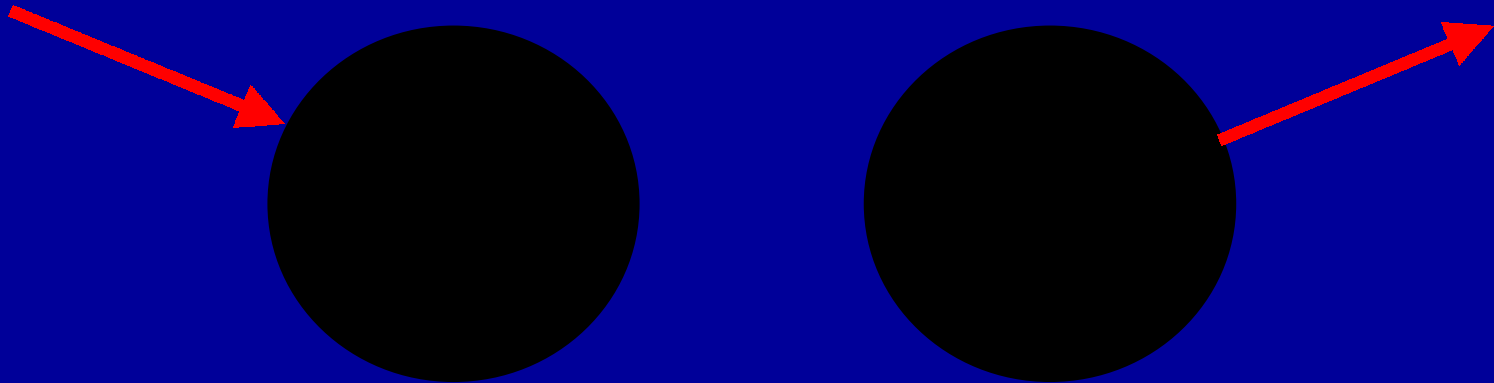
Esse Universo Bebê pode acabar por ligar-se ao nosso Universo. Se isso acontecer então irá no surgir nosso Universo um novo buraco negro num ponto diferente do espaço e do tempo.



Gribbin, 1992, p.158



Sempre que um buraco negro "engole" uma partícula o outro buraco negro emite uma partícula semelhante (e vice-versa).



Isto pode ser um meio para viajar no futuro. Existem apenas duas questões a resolver:

- > saber onde fica a saída (no espaço e no tempo).
- > conseguir sair da mesma **FORMA** que entramos.



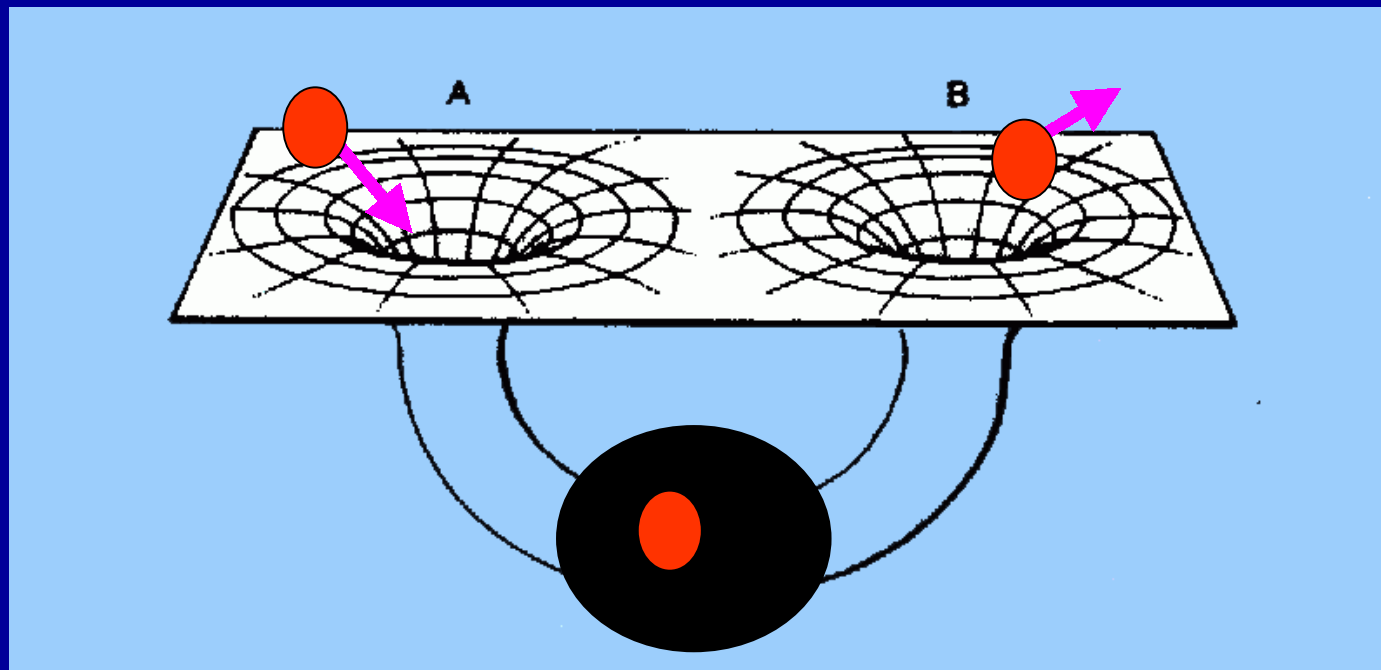
Uma nave ao se aproximar e entrar num buraco negro é completamente desfeita em partículas elementares. A história da nave tem um fim quando esta atinge a singularidade.



Destruição de uma estrela pelas forças de maré de um buraco negro



Existindo Universos Bebés as partículas podem evitar a singularidade e passar justamente para um Universo Bebé. Podem depois ser emitidas por outro buraco negro noutro ponto do espaço e do tempo.



Gribbin, 1992, p.158



Isto é possível porque os Universos Bebé existam não, num tempo real mas sim num tempo imaginário.

Número Imaginários

A equação $X^2 + 1 = 0$ não tem soluções reais pois não existe nenhum número real que elevado ao quadrado seja -1. Para resolver este tipo de situações recorreu-se a uma unidade imaginária designada por i tal que $i^2 = -1$.

Exemplos:

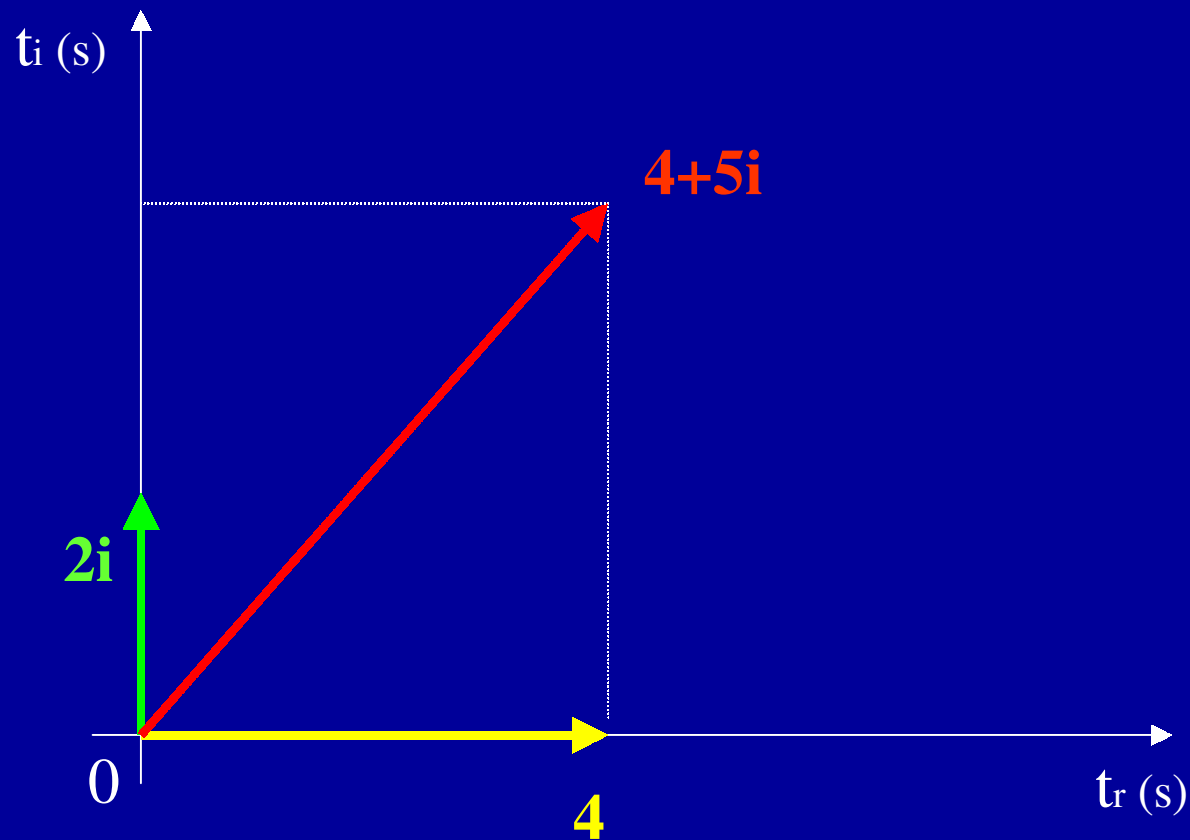
155 - número real

26i - número imaginário puro

155 + 26i - número complexo.

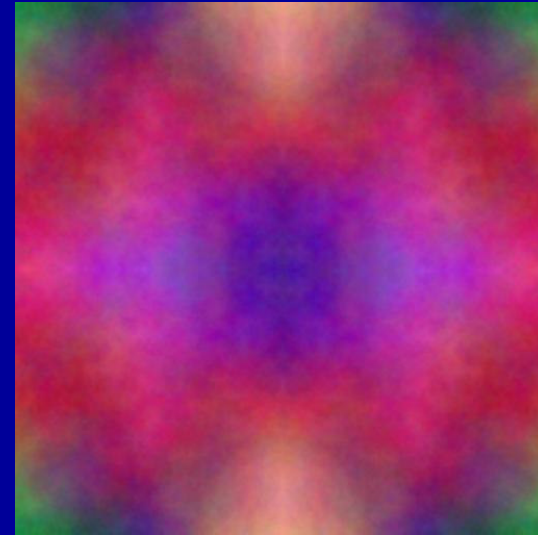
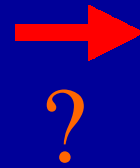


Hawking considerou que existe uma segunda dimensão no tempo (que se manifesta do lado de lá do horizonte de acontecimentos). Essa segunda dimensão é imaginária.





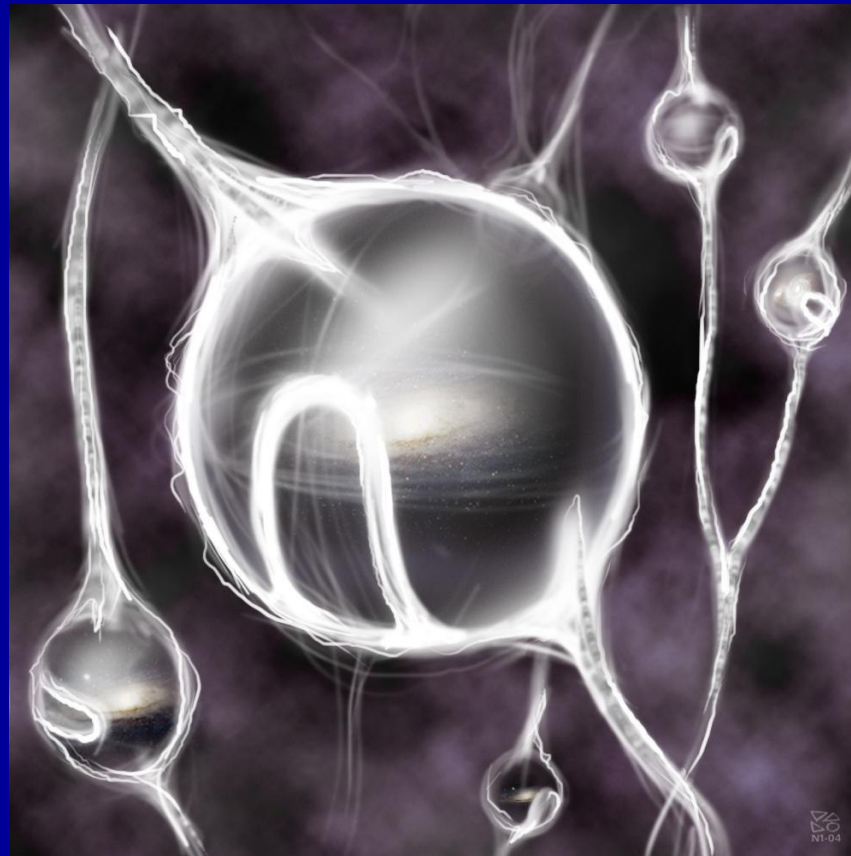
Se pensarmos em termos de tempo imaginário, uma nave pode ser levada de um ponto para outro recorrendo a um Universo Bebé. O que sai do outro lado é que pode já não ser muito parecido com a nossa nave.



*The motto for anyone who falls into a black hole must be: "**Think imaginary**".*
(Hawking 1988).



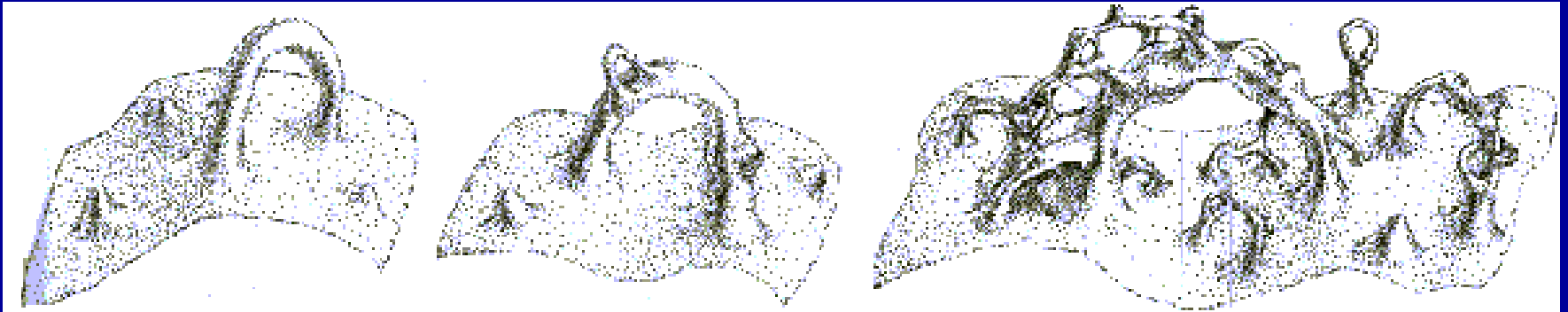
Podem existir Universos Bebés minúsculos com apenas algumas partículas. Esses passariam completamente despercebidos ao se ligarem ao nosso Universo.





A existência de Universos Bebés alteraria os valores de algumas grandezas físicas como é, por exemplo, o caso da carga do electrão.

Não sabemos como seria essa alteração porque também não sabemos o numero de Universos Bebés que existem.





Não há limites para o número de Universos Bebés. Eles existem na sua própria realidade e não na nossa.

O valor da Constante Cosmológica depende do número de Universos Bebés que têm ramificações com o Nosso Universo.



O Paradoxo da Informação

De acordo com os trabalhos de Hawking de 1976 os buracos negros emitem radiação (de Hawking).

Essa radiação não transporta qualquer informação sobre a matéria que está dentro do buraco negro.

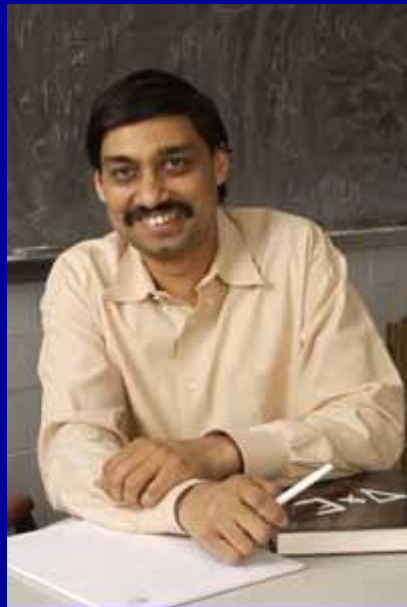
Se um buraco negro evaporar completamente então levanta-se uma questão: para onde foi a informação encerrada no buraco negro ?

Esta questão ficou conhecida como o **paradoxo da informação**.



Um conjunto de cientistas da Universidade de Ohio liderados por Samir Mathur apresentaram em 2004 uma tentativa para a resolução do paradoxo.

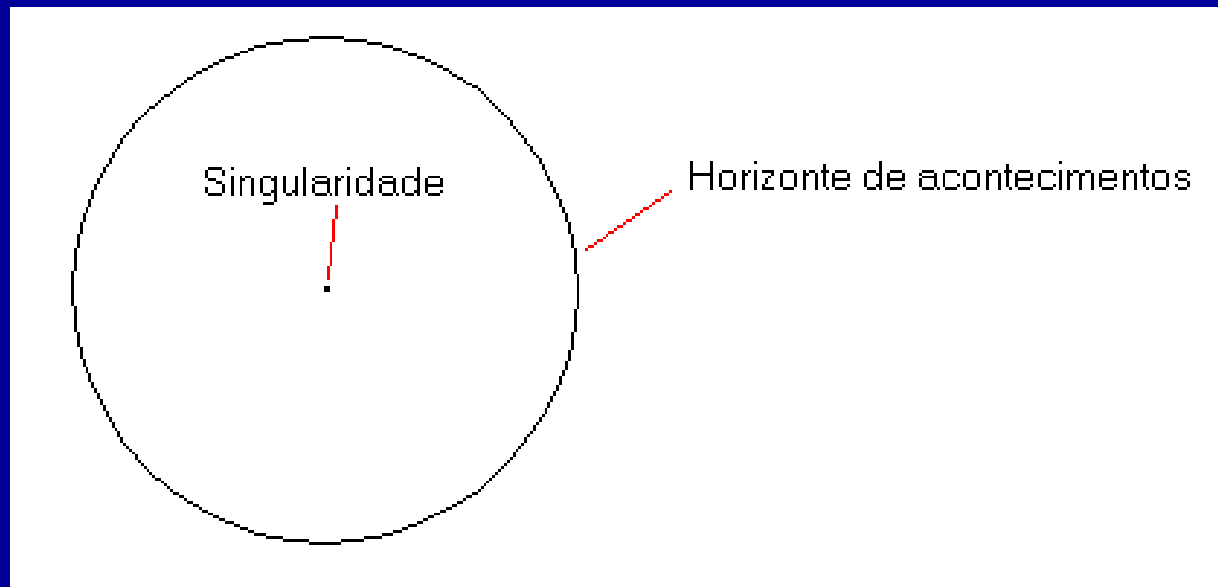
Basearam-se na teoria das cordas segundo a qual o Universo é feito de pequenas cordas e não de partículas pontuais.



Samir Mathur



De acordo com a Teoria da relatividade Geral num buraco negro entre o horizonte de acontecimentos e a singularidade não existe nada.



É exactamente aqui que está o problema que leva ao paradoxo da informação.



Além disso na Teoria da Relatividade Geral os buracos negros são todos semelhantes. Dois buracos negros de Schwarzschild com a mesma massa são exactamente iguais. Não importa qual a origem inicial dessa massa. Qualquer informação inicial perde-se no momento da formação do buraco negro.

Todos achavam que não deveria ser assim, mas ninguém conseguia encontrar o que estava mal na teoria.



Quando o grupo da Universidade de Ohio determinou as equações que governam o buraco negro feito de cordas verificou que as dimensões do mesmo estavam de acordo com as dos buracos negros da Relatividade Geral.



Uma corda ao passar para o lado de lá do horizonte não deixa de ser uma corda (Na RG um electrão ao cair na singularidade deixava de existir como tal).

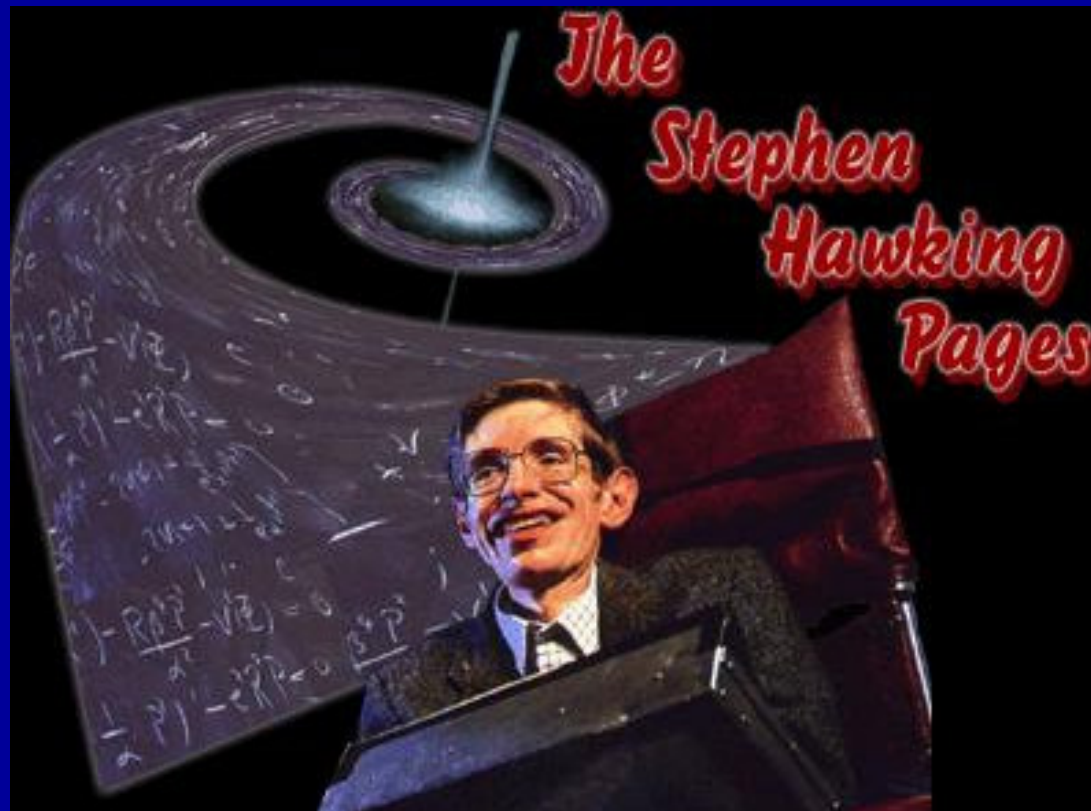
Na teoria das cordas cada buraco negro é único como são as estrelas, os planetas e as galáxias. Significa que a partir de um determinado buraco negro podemos recuar no tempo e saber como é que ele se formou e como é que era a matéria que lhe deu origem.



De acordo com a teoria das cordas um buraco negro é um enorme emaranhado destes filamentos e a radiação de Hawking quando é emitida leva consigo alguma informação sobre o que se passa do lado de lá do horizonte.



S. Hawking enviou para a organização da 17ª Conferência Internacional de Relatividade Geral uma nota a dizer o seguinte: "Eu resolvi o paradoxo da informação dos buracos negros e quero falar sobre isso".





Na "resolução" do paradoxo Hawking considerou que os buracos negros não têm um horizonte de acontecimentos bem definido que esconde tudo do exterior (como normalmente se supõe). Flutuações quânticas do horizonte de acontecimentos possibilitam a saída de informação.





Estes "novos" buracos negros não se limitam a engolir tudo, emitem radiação ao longo de bastante tempo e "abrem-se" para deixar sair informação.

Assim já se pode estar seguros acerca do passado e podemos fazer previsões sobre o futuro.



©Clifford Jay Snider

I knew information was leaking out somewhere.



S. Hawking e Kip Thorne fizeram uma aposta com John Preskill em 1997 que "A informação engolida por um buraco negro fica para sempre escondida e nunca pode ser revelada".

O vencedor da aposta ganha uma enciclopédia à escolha. Ironicamente os resultados de Hawking parecem indicar que ele e Thorne vão perder a aposta.

Preskill vai assim poder escolher uma enciclopédia de onde vai poder retirar alguma informação.



<http://www.hawking.org.uk/about/gindex.html>



This is a picture of Stephen, Isaac Newton and Albert Einstein,
taken on the set of Starrek: The Next Generation

<http://www.hawking.org.uk/about/gindex.html>



FIM

Grupo de Astronomia da Universidade da Madeira

<http://www.uma.pt/astro>