

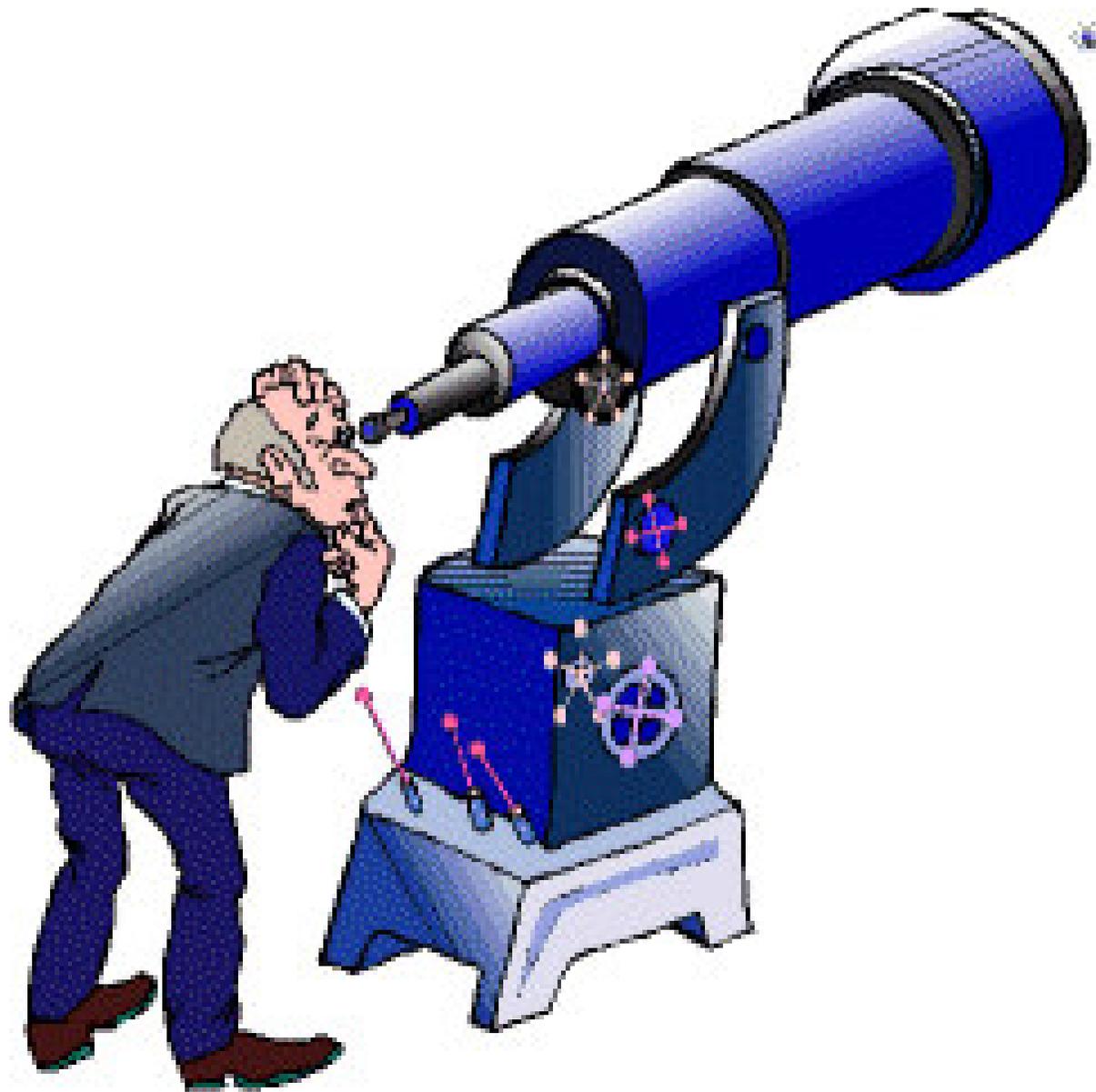
**Grupo de Astronomia  
da  
Universidade da Madeira**

# *A Origem do Universo*

**Angelino Gonçalves**

**Semana da Astronomia  
25 de Julho de 2001**

# *Cosmologia: O estudo do Universo*



Cosmologia é o estudo científico das propriedades macroscópicas do Universo como um todo.

É uma tentativa de usar método científico para compreender a origem, evolução e destino final de todo o Universo.

Dependendo das observações as teorias tem de ser abandonadas, revistas ou estendidas para englobar os dados.

A teoria que neste momento prevalece é a Teoria do BIG BANG.

# *História recente das teorias cosmológicas*

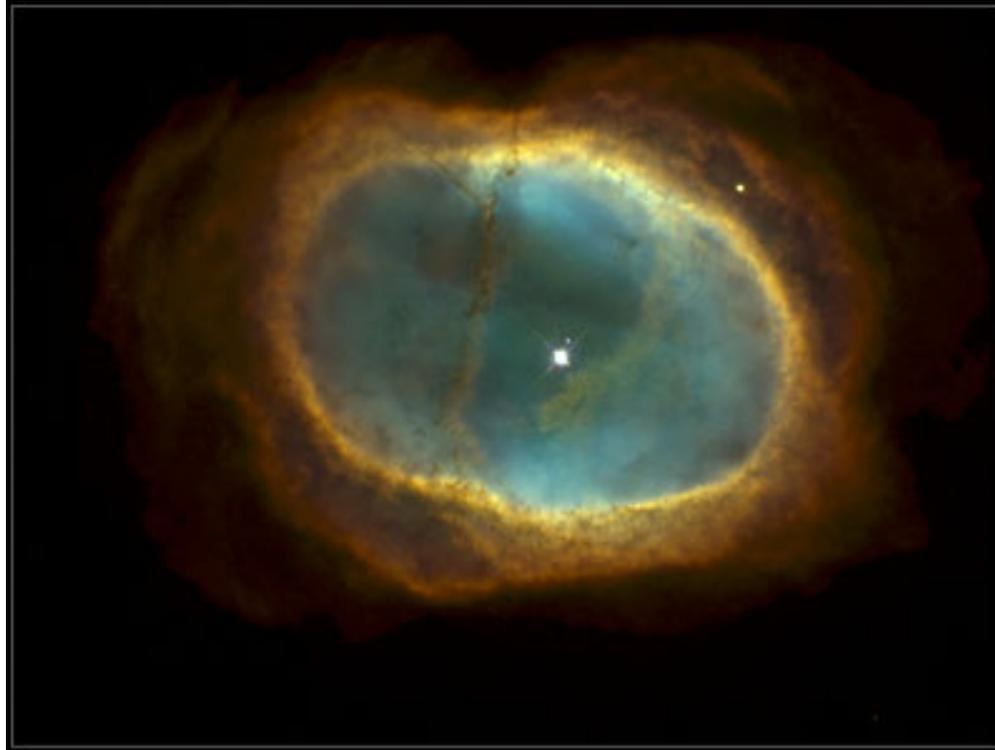
## A hipótese cartesiana (1644)

Rene Descartes especulou que Deus tinha mandado um certo número de vórtices de gás, e estes eventualmente fizeram as estrelas, que mais tarde se tornaram em cometas, que por sua vez se tornaram em planetas.



## A hipótese Nebulosa de Swedenborg (1734)

Uma nebulosa em rápida rotação tornou-se no nosso sistema solar (Sol e planetas). A sua teoria, obtida dos espíritos, tornou-se na base de muitas teorias sobre a origem dos planetas e das estrelas que seguiram e é a teoria de base ainda hoje.

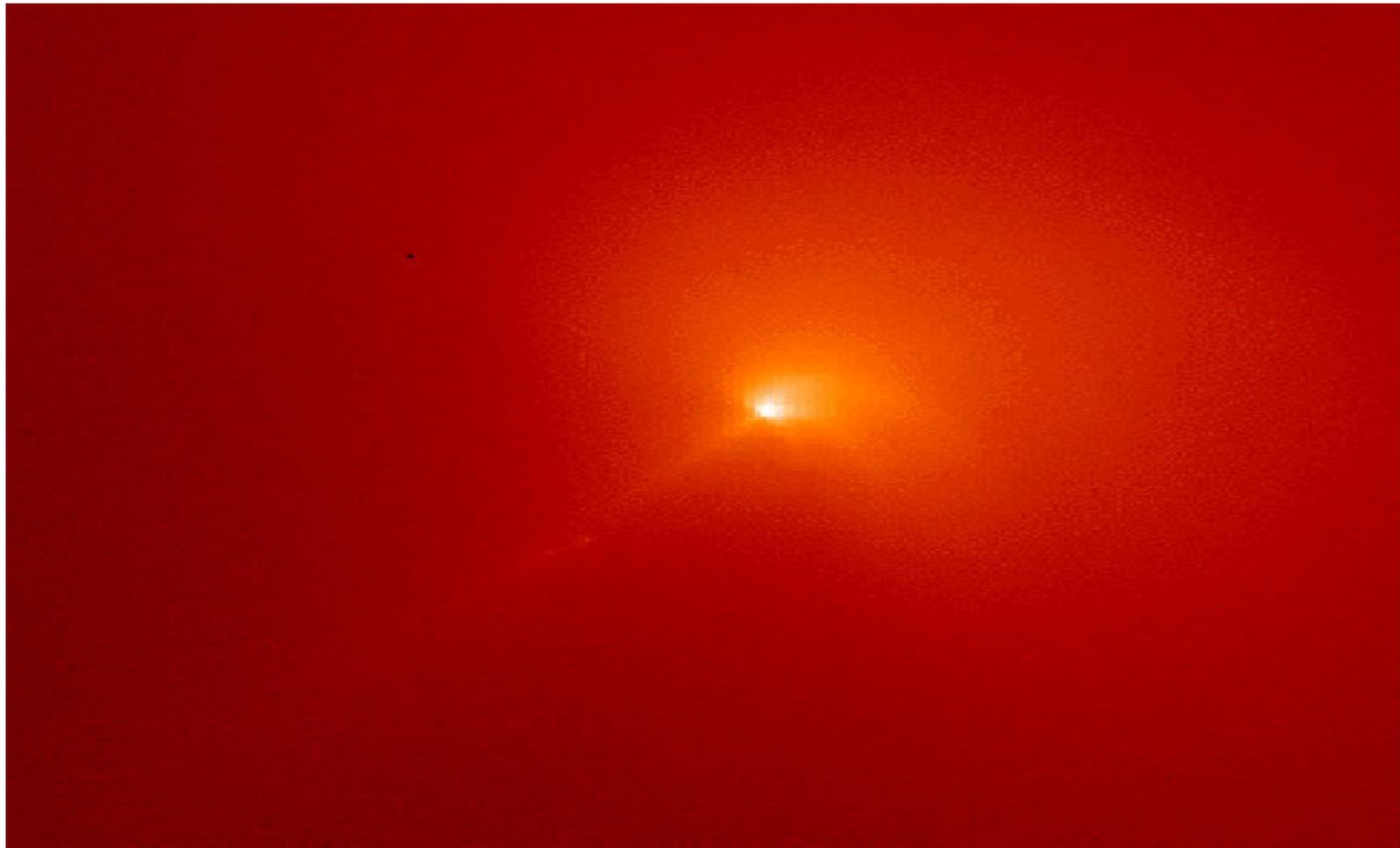


## A hipótese Nebulosa de Kant (1755)

Nuvens de gás em rotação tornavam-se no nosso Sol e planetas. Tanto Kant como Swedenborg começavam com gás já existente em rotação. Kant não sabia que as forças de gravitação não podiam inicialmente produzir tal rotação gasosa.

## A hipótese colisão de Buffon (1779)

Um cometa passando perto do Sol arrancou algum material que arrefeceu e formou a Terra.



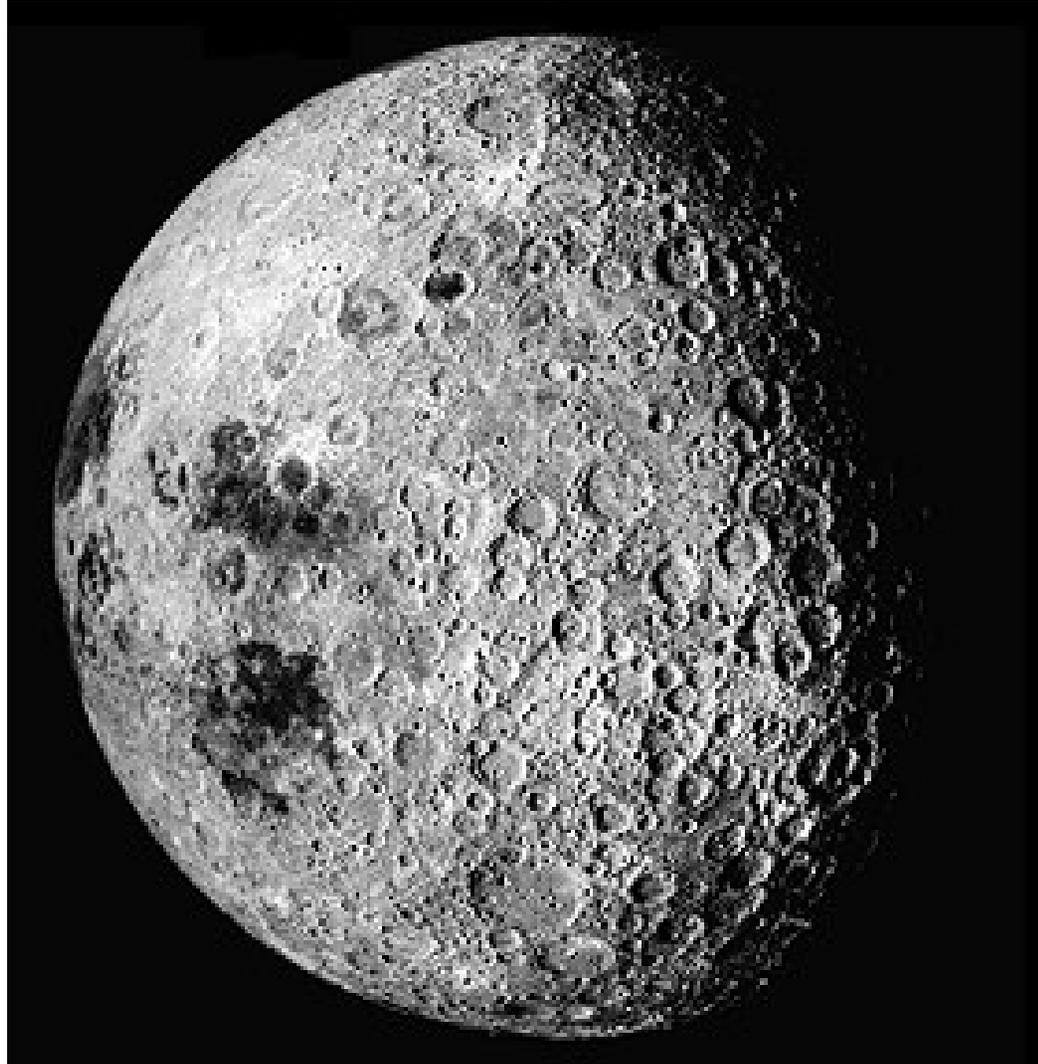
## A hipótese Nebulosa de Laplace (1796)

Laplace criou uma teoria que se tornou a mais conhecida das teorias evolucionárias da história moderna. Ele também começa com uma nuvem de gás em rotação. Conforme vai arrefecendo, vai condensando e rodando cada vez mais rápido e torna-se no disco de alta velocidade de gás. Os materiais na fronteira descolam-se em forma de anéis para se tornarem em planetas e luas. O material que ficou no centro formou o nosso Sol.



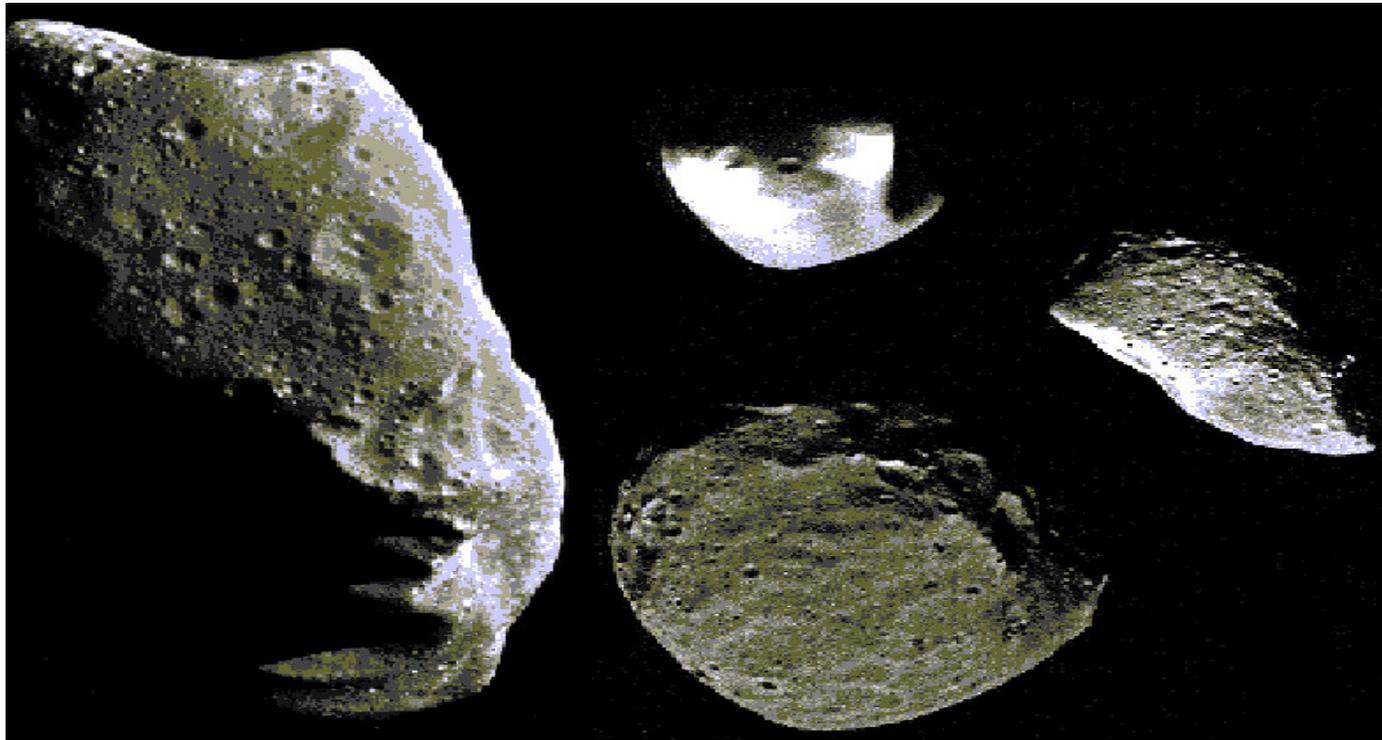
## A hipótese maré de Darwin (1890)

O facto da Lua se estar a afastar da Terra já era conhecido nesta época, e então George teve a ideia que 4 milhões de anos antes, a lua estava quase ligada à Terra e que rodava a Terra em 5 horas. Um dia uma maré viva ocorreu nos oceanos e afastou-a para onde ela está agora.



## A hipótese planetesimal de Chamberlain e Moulton (1900)

Eles começaram com um grande número de corpos parecidos com meteoritos, PLANETESIMAIS, que vagueavam pelo céu. Gradualmente estes corpos foram colando-se uns aos outros para formar planetas.



## A hipótese maré de Jeans-Jeffreys (1917)

Uma estrela que passou pelo nosso Sol arrancou-lhe um fio comprido de material gasoso, que era parecido com um terço. Isto formou os nove Planetas.

## A hipótese Nebulosa de von Weizsacker (1944)

Ele começou com uma nuvem enorme de gás e poeira em movimento circular. Gradualmente esta contraiu-se e depois ficou plana. Mas em vez de saírem anéis planetários, como LaPlace tinha feito, von Weizsacker considerou que a parte central colapsou para formar o nosso Sol. Isto causou turbulência no gás exterior formando os planetas.



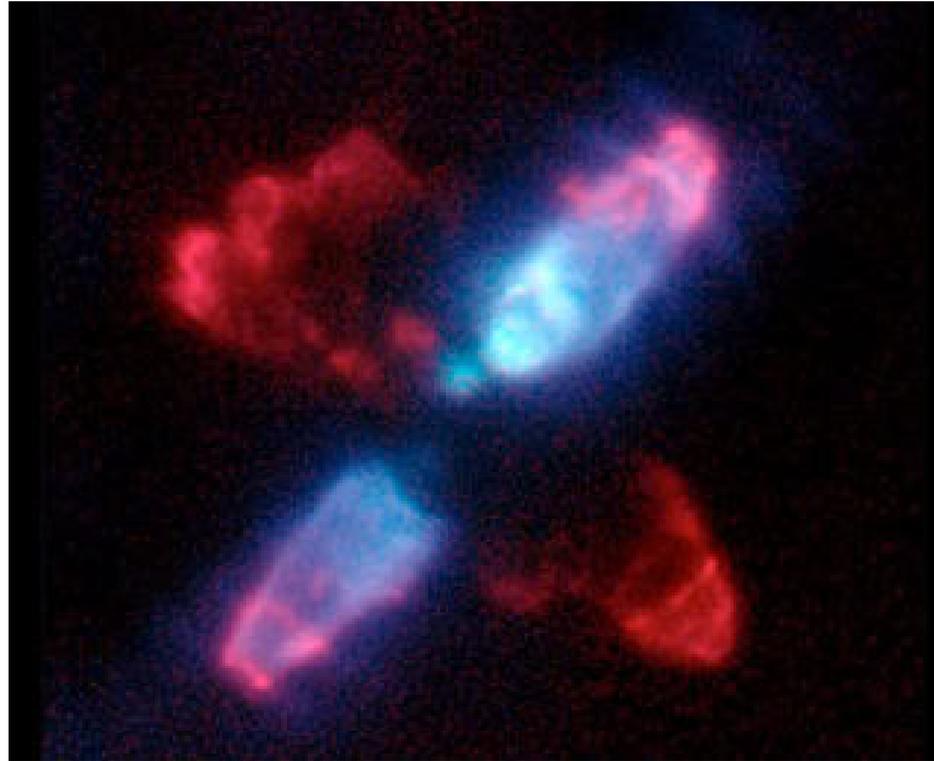
## A hipótese da nuvem de poeira de Whipple (1948)

Começou com nuvens de poeira. Ele fez a sugestão que a luz das estrelas empurrou a poeira para uma nuvem enorme. Pequenas turbulências criaram o Sol e os Planetas. As estrelas foram formadas por outras estrelas e essas ainda por outras.



## **A hipótese do planeta protótipo de Kuiper (1951)**

Renovou totalmente a teoria de von Weizsacker. A nuvem de gás de Kuiper foi inicialmente formada na escuridão, mas depois o Sol começou a iluminar o centro, aquecendo a nuvem.



## **A hipótese do átomo primordial de Lemaitre (1927)**

Um “super átomo” do diâmetro da órbita da Terra à volta do Sol apareceu misteriosamente. À volta dele não havia nada. Depois este átomo grande desintegrou-se radioactivamente (explodiu). Ele expandiu-se rapidamente, abrandou e continuou a expandir. À medida que expandia os Planetas e as estrelas foram-se formando.

## **A hipótese do Big Bang (1947)**

Foi G Lemaitre que fez a base para a teoria do Big Bang mas foi Goerge Gamow, R.A. Alpher e R Herman que inventaram o modelo da bola primordial de fogo.

## **O Universo do estado estático de Hoyle (1948)**

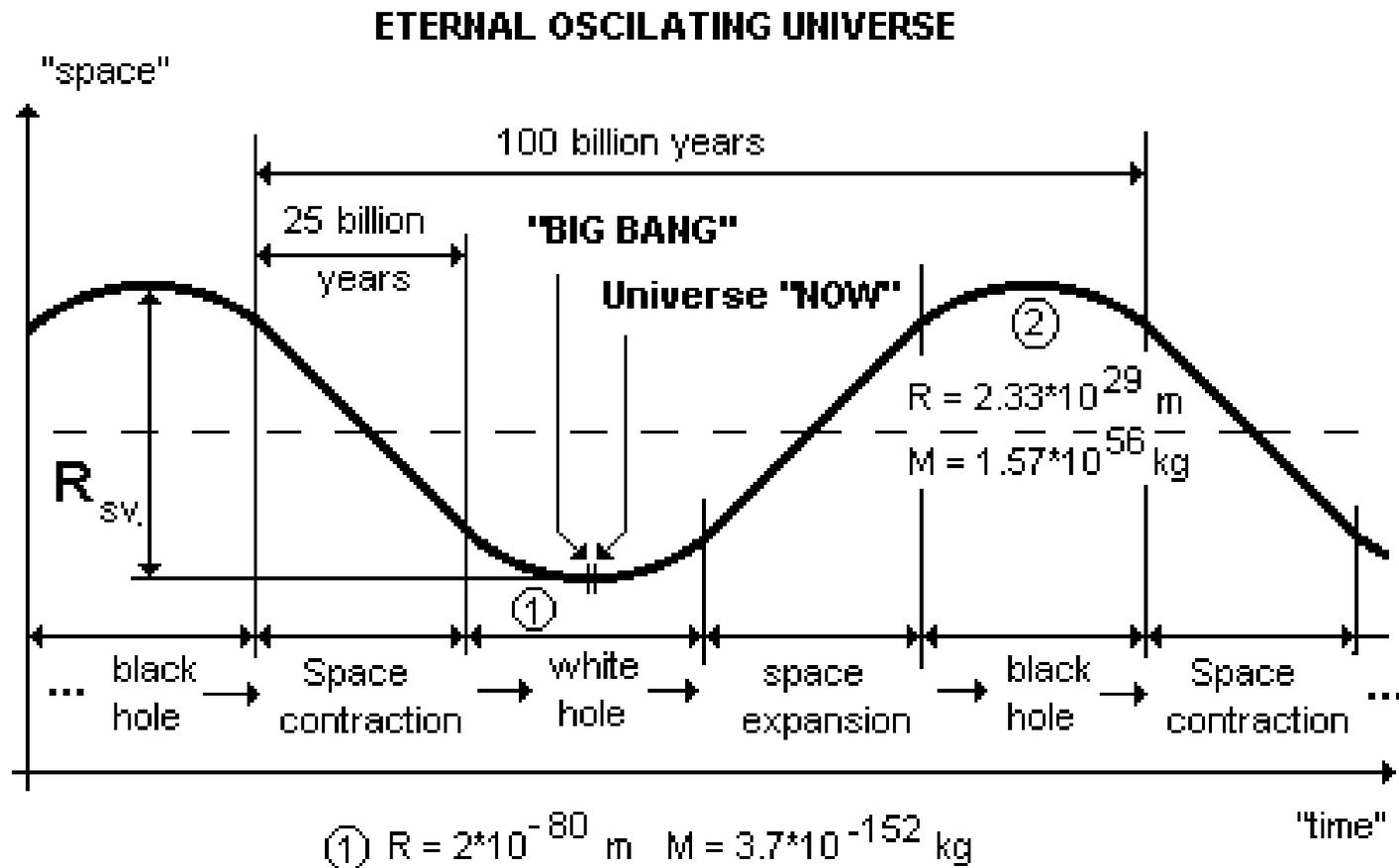
Segundo esta teoria, o hidrogénio, como matéria que se cria a si própria, dá-se a tarefa de se tornar em estrelas, Planetas e por último em plantas, animais e pessoas. A teoria da evolução levada ao máximo.

## **A hipótese ambiplasma de Alfven (1965)**

A teoria começa com matéria normal e anti-matéria. À mistura ele chamou ambiplasma. Gradualmente, durante um período de triliões de anos a matéria começa a diminuir. Conforme vai diminuindo, a matéria e anti-matéria vai entrando em contacto e anilando-se. Isto deixa protões e electões e muita radiação. Depois de mais uns triliões de anos a radiação faz com que a contracção se torne numa expansão.

## A hipótese do Universo oscilante

George Gamow depois de ter dado à teoria do Big Bang o nome e o seu apoio total durante muitos anos, começou a fazer campanha a favor da teoria do Universo oscilante. Isto é simplesmente um Big Bang recorrente de 80 biliões em 80 biliões de anos.



## A hipótese inflacionária de Guth (1980)

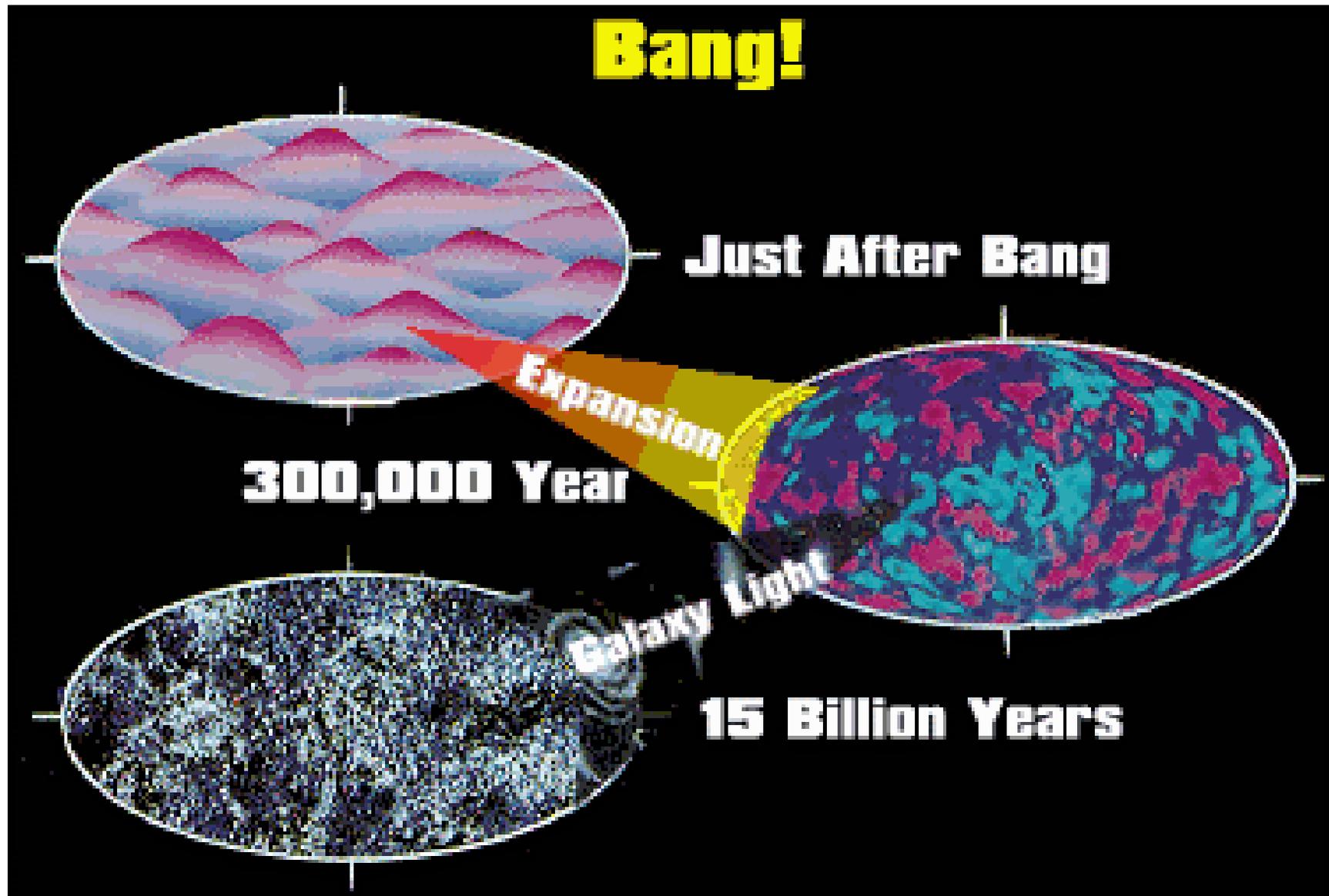
A.H. Guth inventou uma teoria acessória, o Universo inflacionário, para tentar salvar a teoria do Big Bang de alguns dos seus problemas teóricos.



## A hipótese “mixmaster” de Misner (1980)

No mesmo ano, C.W. Misner inventou a teoria “mix master”. A sua teoria propunha que o Universo oscilava entre um tipo de charuto e uma panqueca.

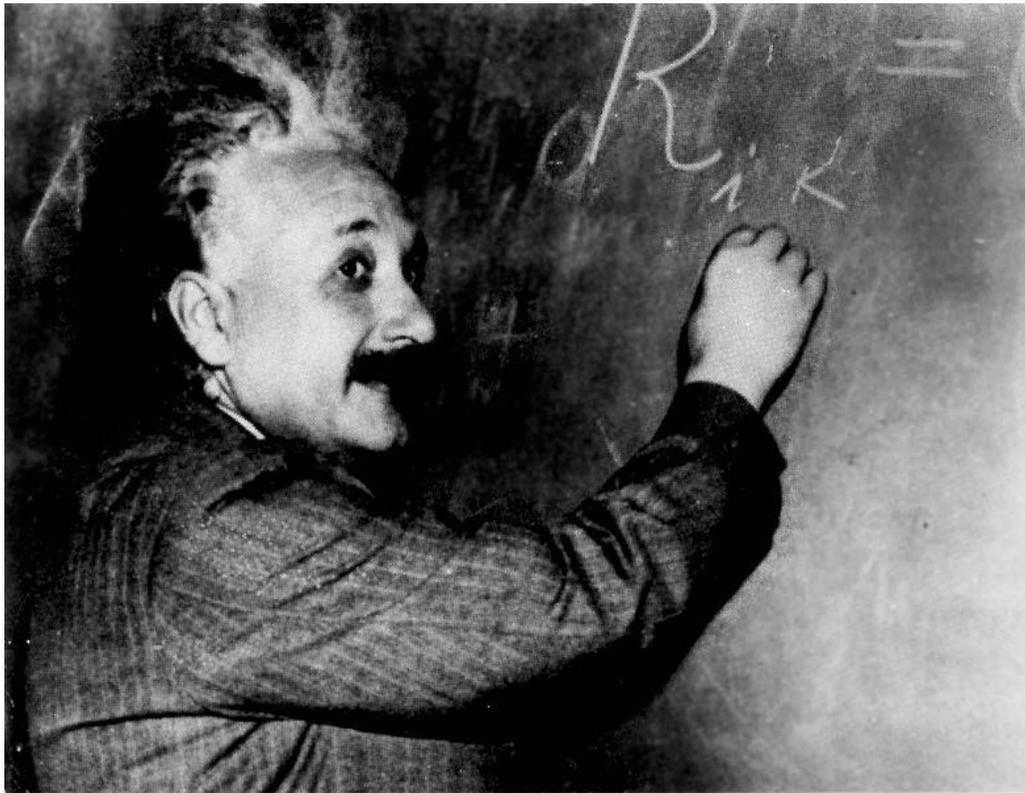
# Cosmology do Big Bang



# As bases da teoria do Big Bang

O Modelo do Big Bang é baseado em dois pilares teóricos:

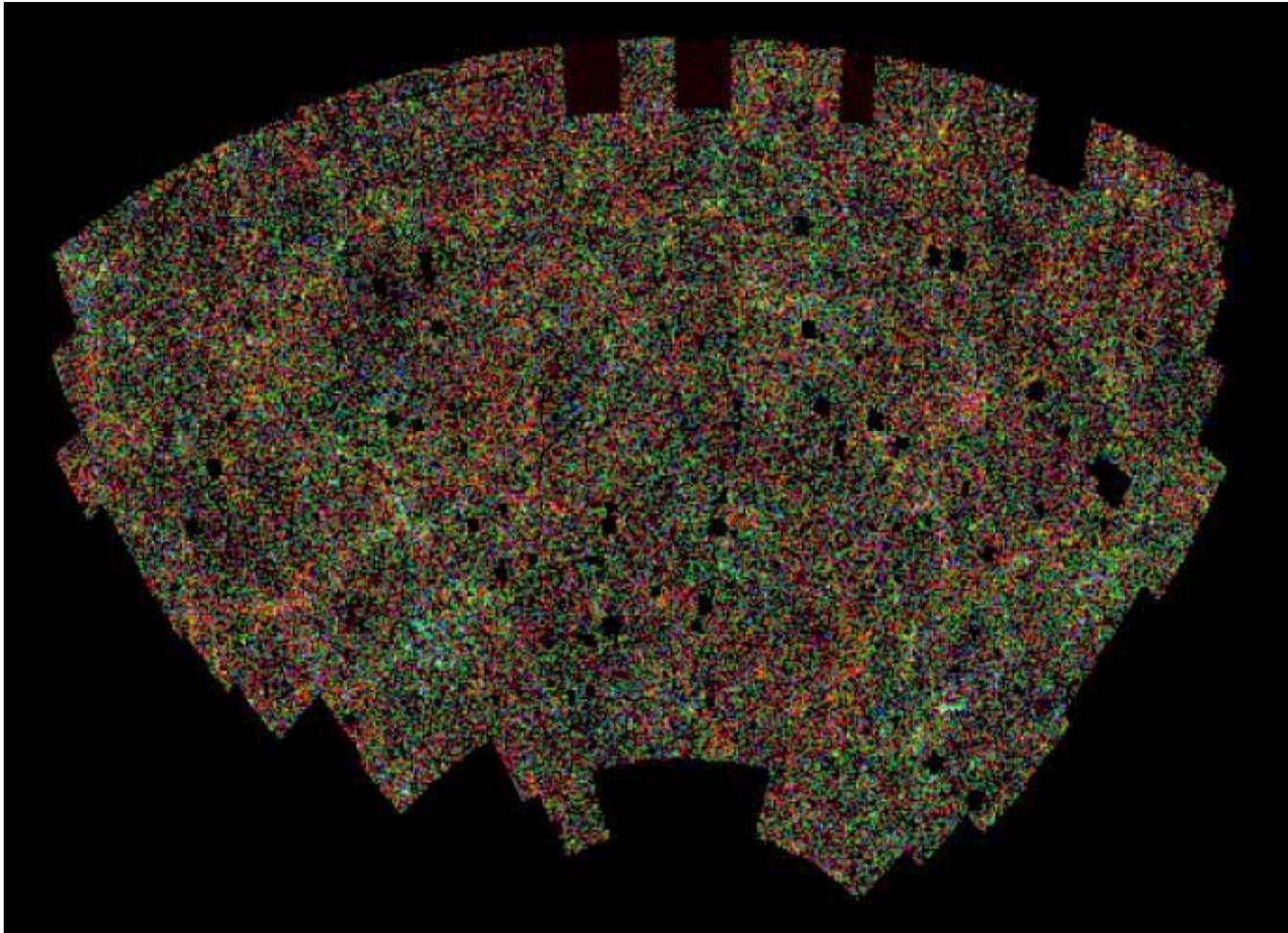
## 1) *Relatividade Geral*



O físico John Wheeler expôs a ideia muito bem quando afirmou “A matéria diz ao espaço como curvar e o espaço diz à matéria como mover-se”.

## 2) *O Princípio Cosmológico*

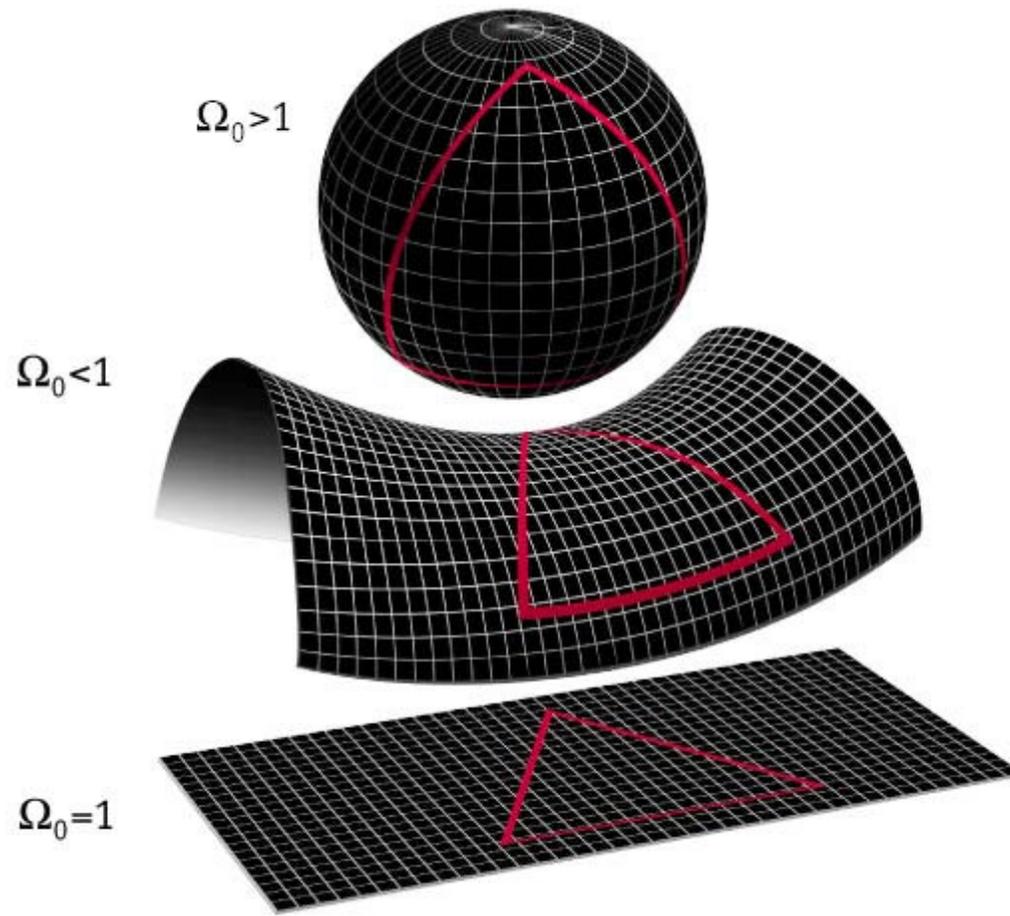
Um Universo homogêneo e isotrópico quando visto em enormes escalas



APM Survey picture of a large part of the sky, about 30 degrees across, showing almost a million galaxies out to a distance of about 2 billion light years.

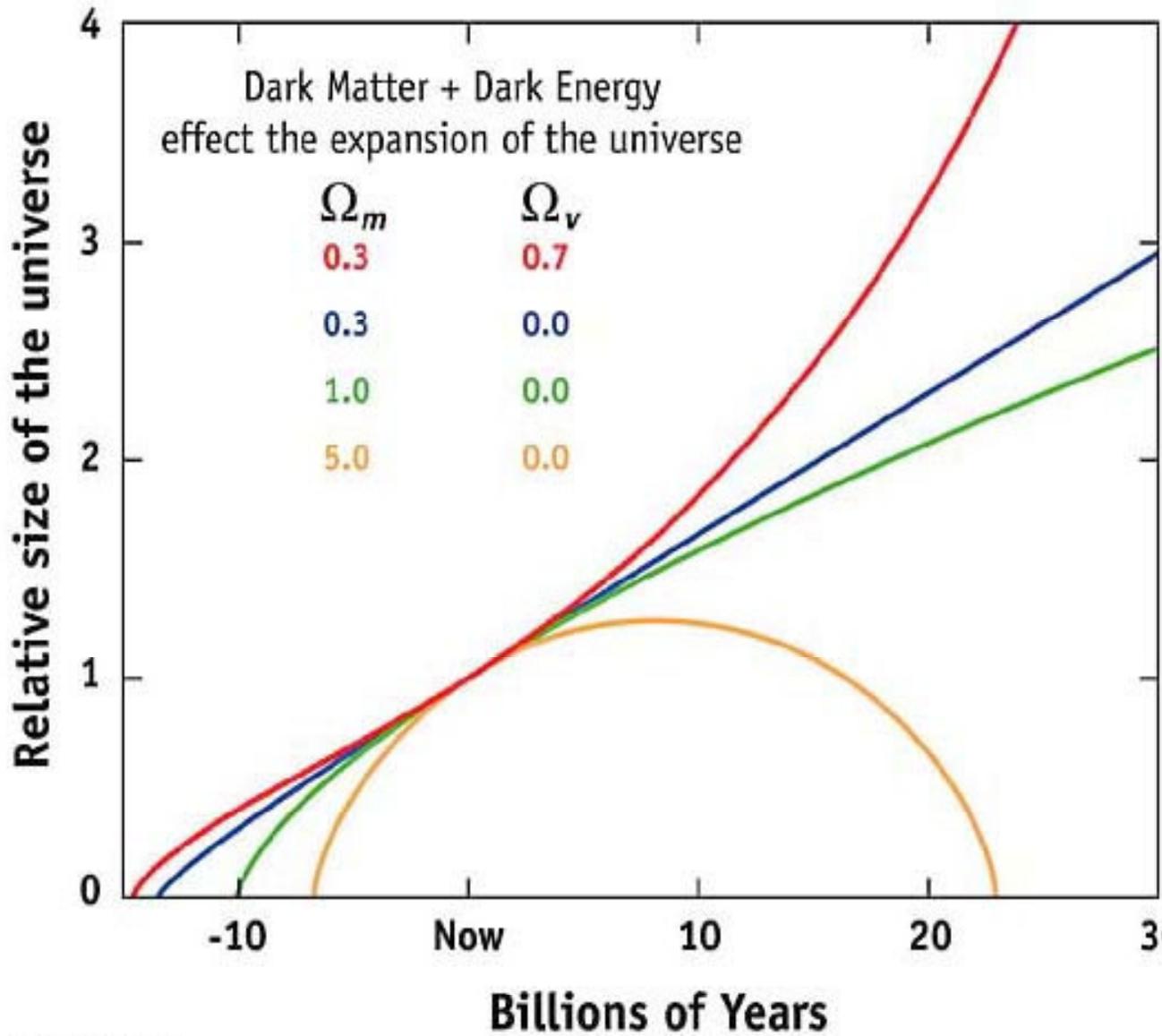
# Conceitos da teoria do Big Bang

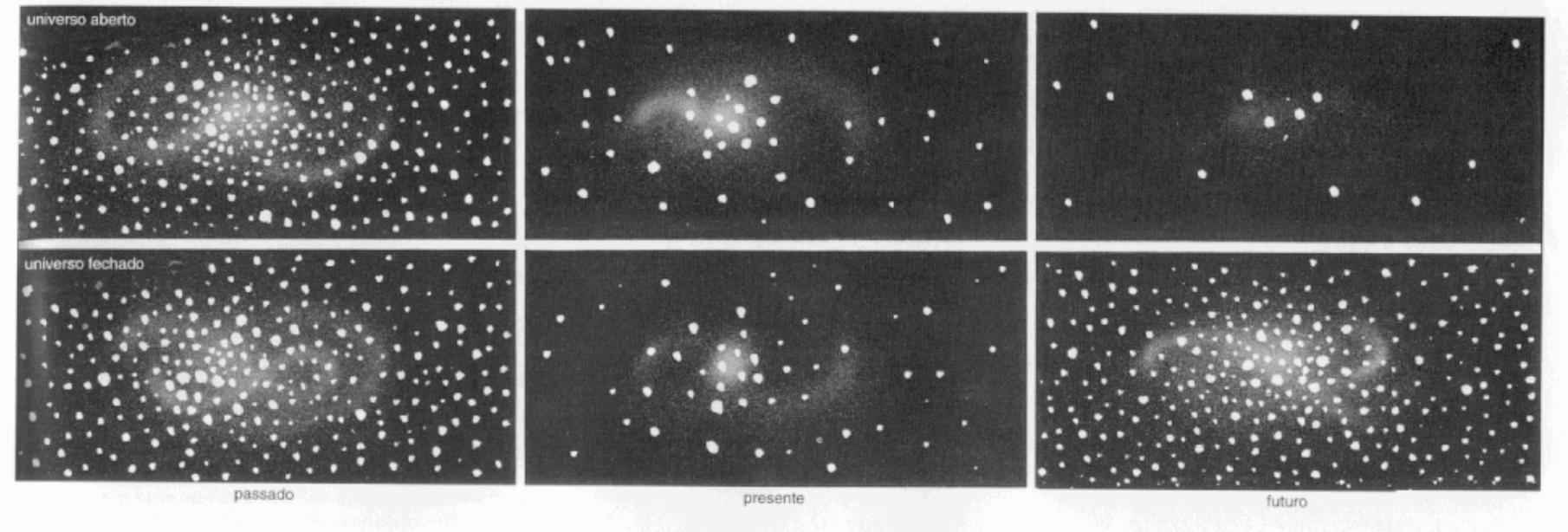
A distorção do tempo-espço (devido aos efeitos gravitacionais da matéria) só pode ter três formas:



MAP990006

# Possíveis cenários do tamanho relativo do Universo vs. Tempo





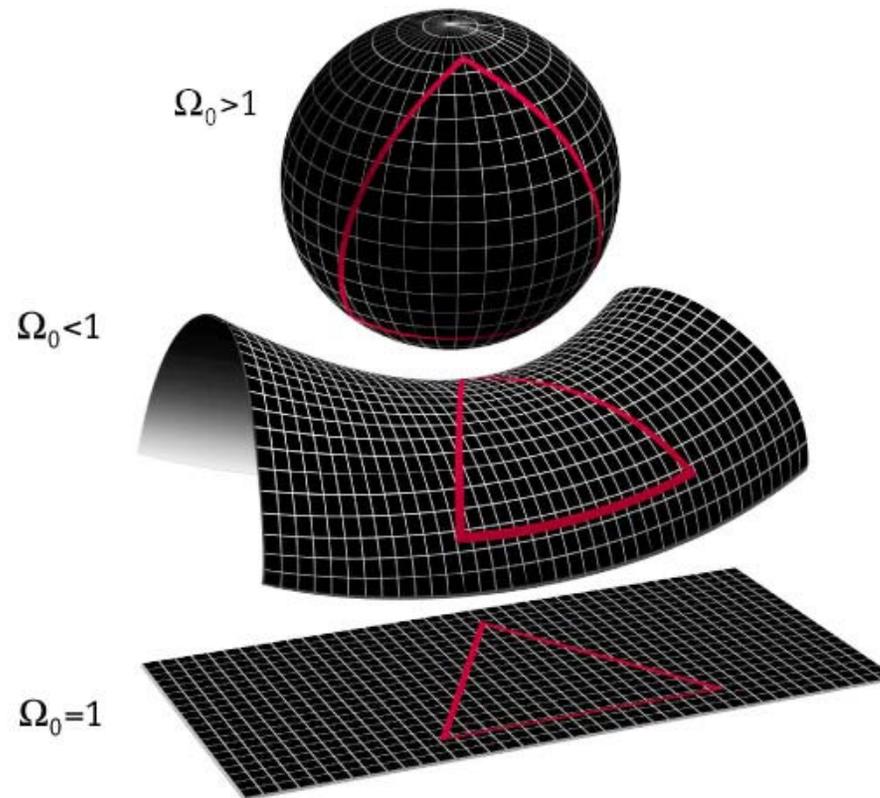
Universos abertos e Universos fechados

## **Conceitos incorrectos do Big Bang e da expansão do Universo:**

1. O Big Bang não ocorreu num ponto singular do espaço.
2. Por definição o Universo engloba todo o tempo e espaço como nós o conhecemos portanto este modelo não postula em que é que o Universo se vai tornar.
3. Não está incluído no modelo do Big Bang o que é que deu origem ao Universo.

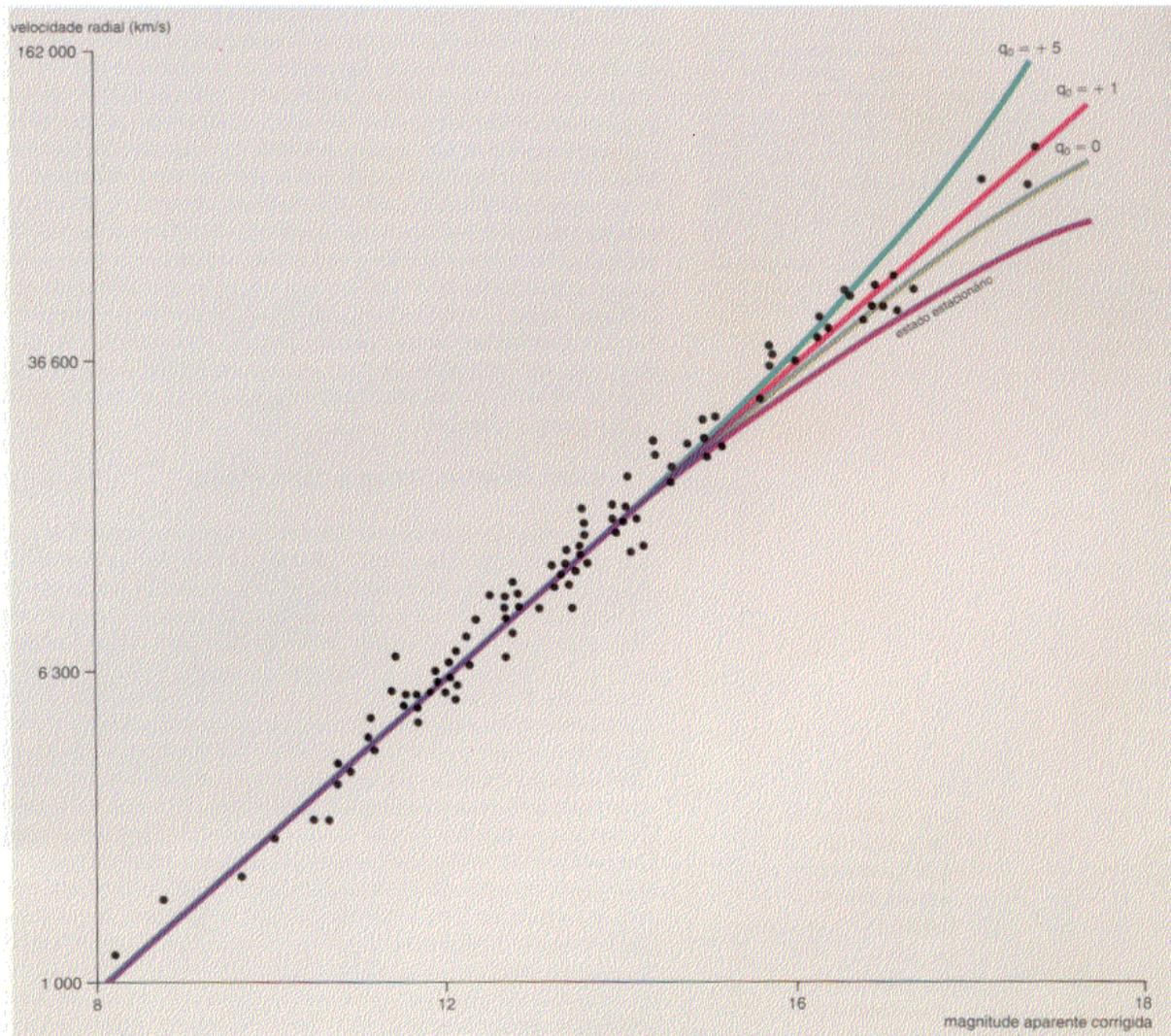
# Parâmetros livres dentro desta família de modelos do Big Bang

O mais importante destes é a geometria do Universo (aberto, plano ou fechado);



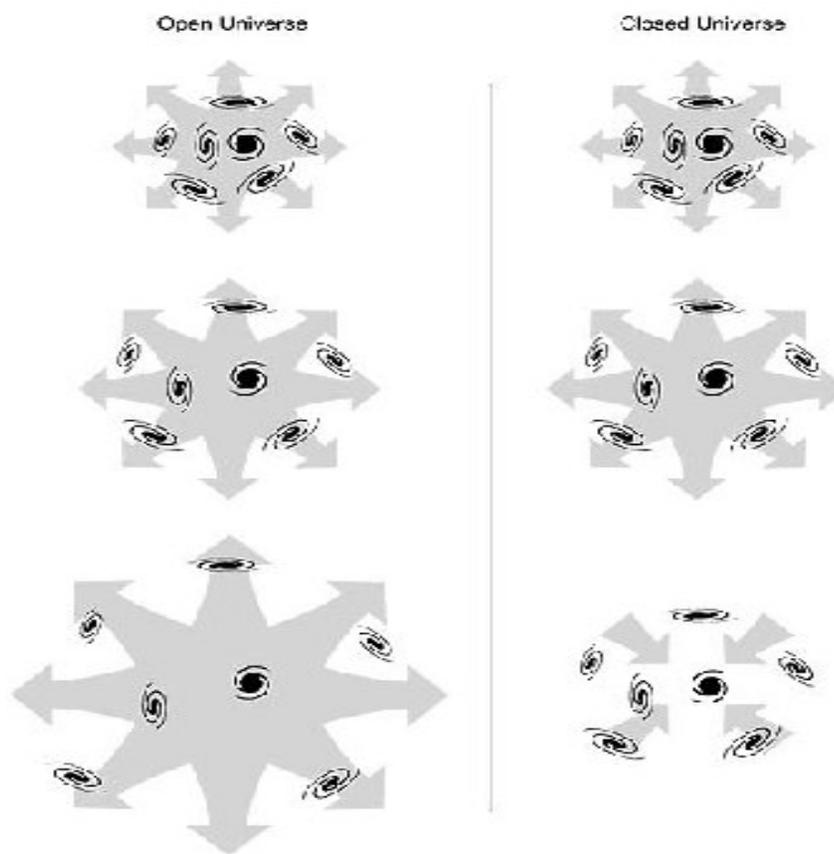
MAP990006

# A taxa de expansão (constante de Hubble);



A velocidade relativa dos aglomerados em função da respectiva magnitude aparente

O percurso geral da expansão, passado e futuro (determinado pelas percentagens fraccionais dos diferentes tipos de matéria no Universo).

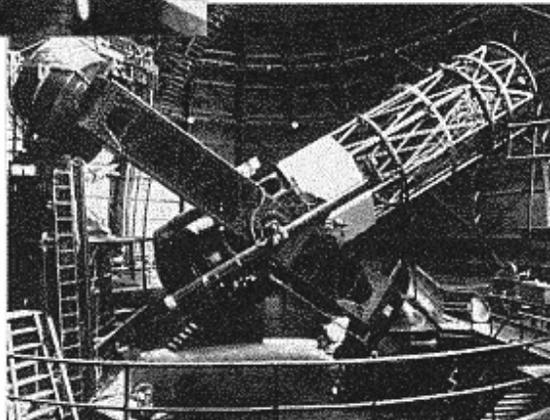
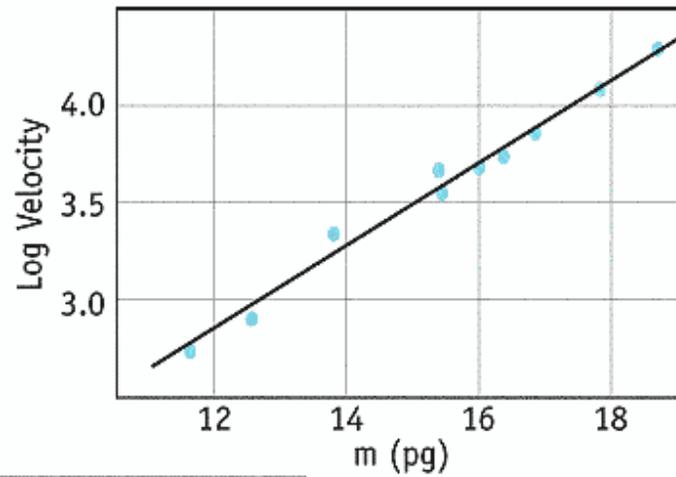


# Testes observacionais da teoria do Big Bang

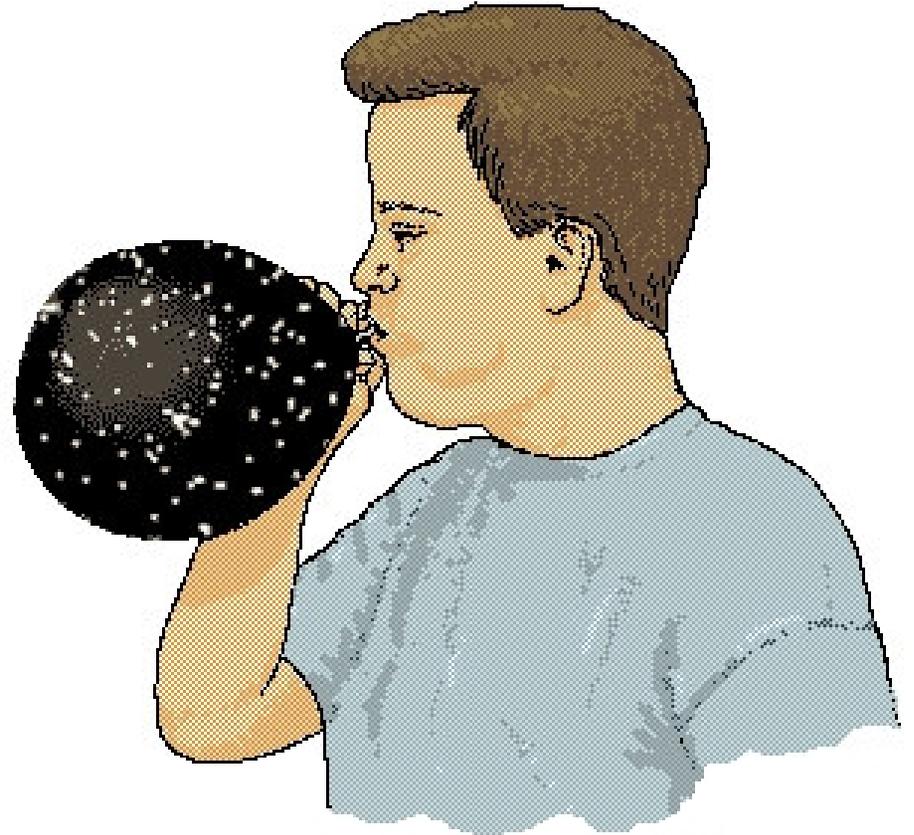
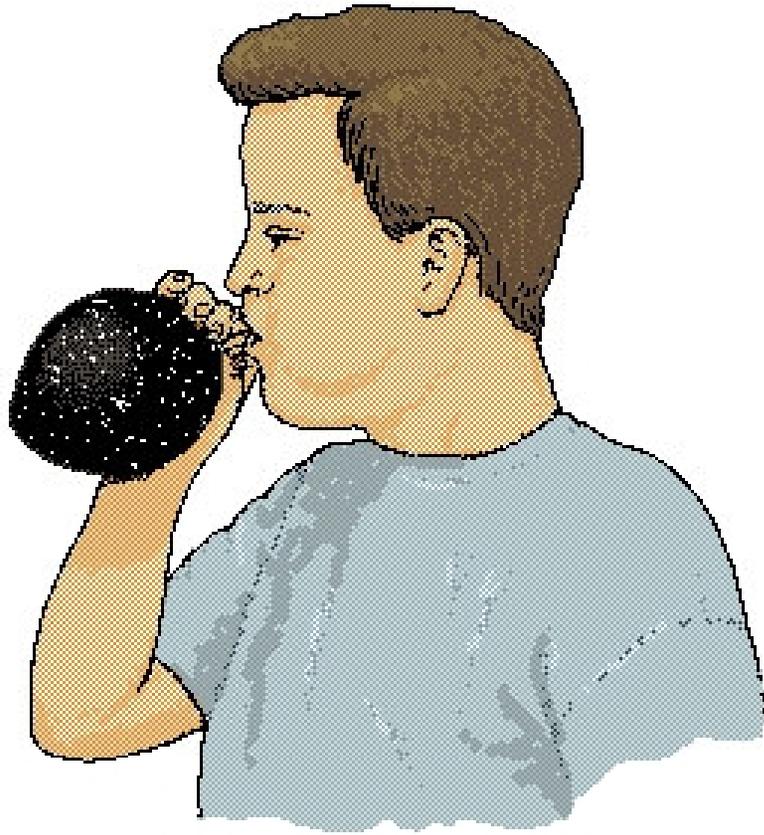
## A expansão do Universo



Edwin Hubble



Mt. Wilson  
100 Inch  
Telescope

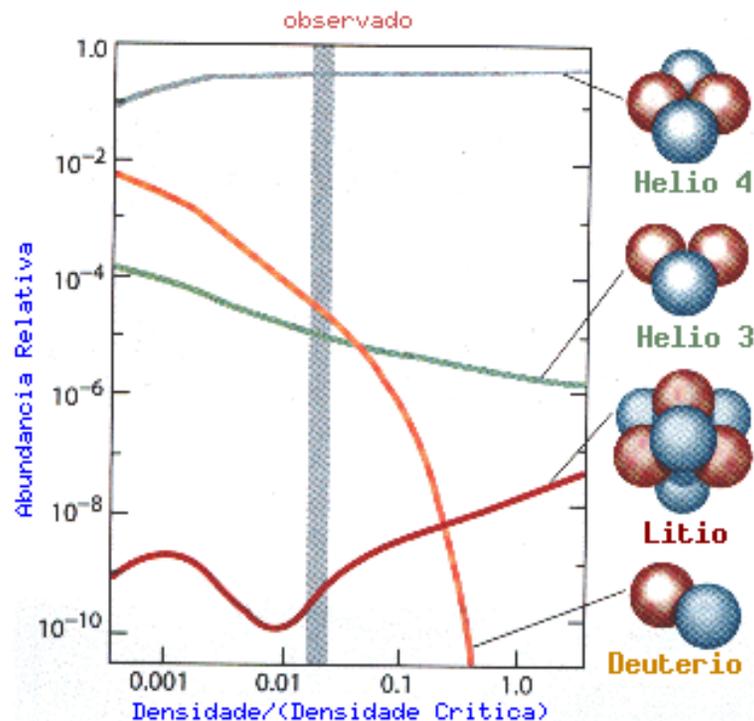


# Os elementos leves

## Síntese nuclear no Universo primordial

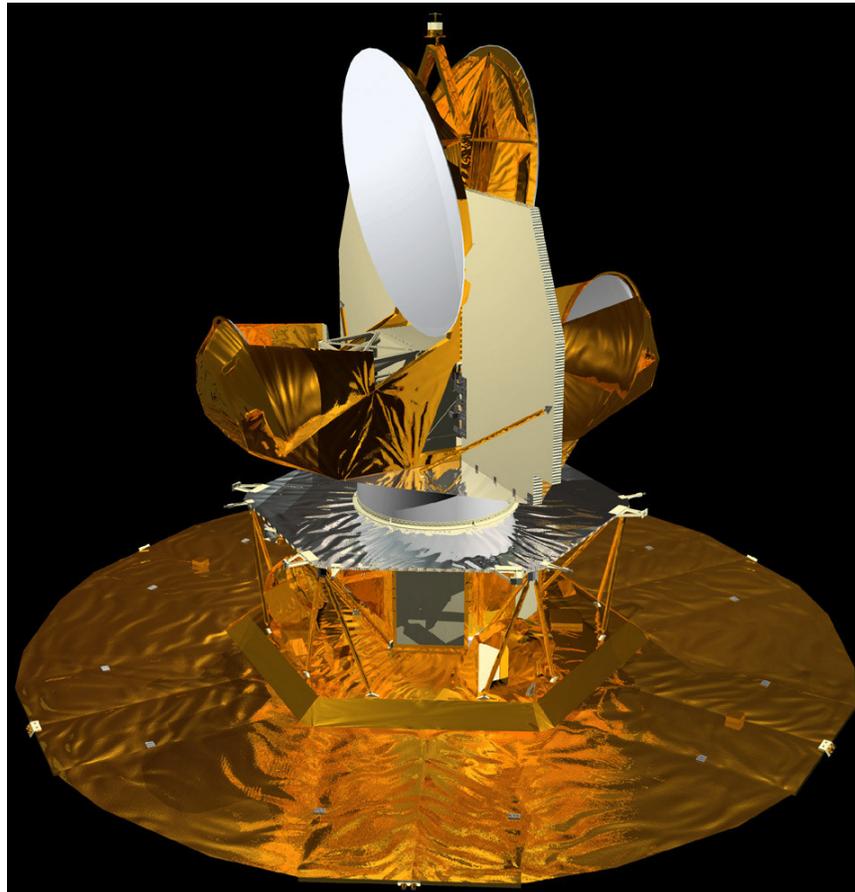
Os termos síntese nuclear referem-se à formação de elementos mais pesados, núcleos atômicos com muitos prótons e nêutrons, por fusão dos elementos mais leves.

A abundância prevista de deutério, hélio e lítio depende da densidade de matéria normal no Universo primordial



Para que as previsões dos outros elementos leves esteja de acordo com as observações, a densidade total da matéria normal tem que ser 4% da densidade crítica.

O satélite MAP devia ser capaz de medir a densidade da matéria normal e comparar valores observados com os previstos pela teoria do Big Bang núcleo síntese.

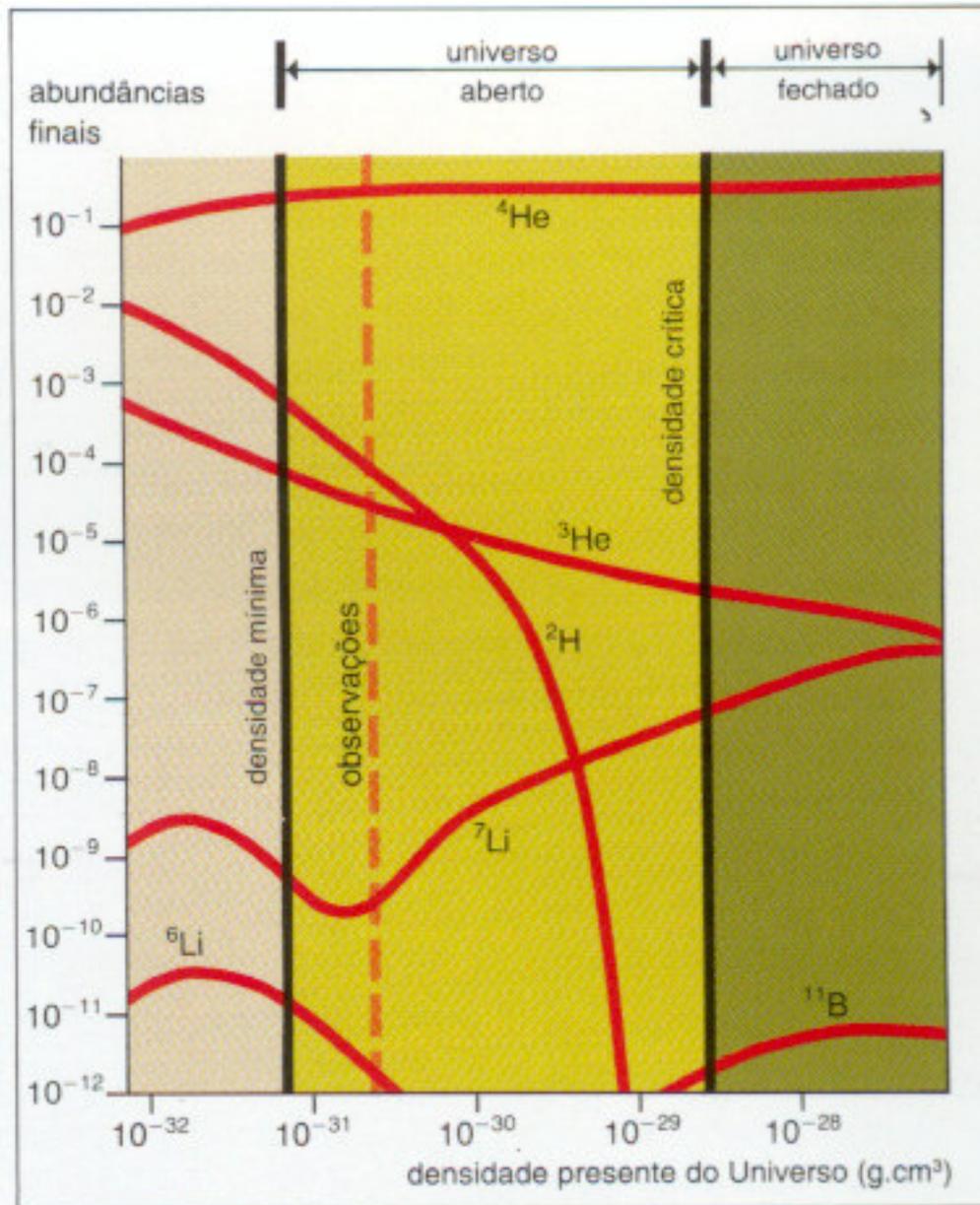


Isto constitui o teste mais rigoroso do modelo.

Se os resultados estiverem em conflito então há:

1. erros nos dados
2. uma compreensão incompleta do processo de núcleo síntese na teoria do Big Bang
3. uma má compreensão dos mecanismos que produzem as flutuações na radiação microondas de fundo
4. um problema mais profundo da teoria do Big Bang.

# Abundâncias finais de elementos leves em função da densidade actual do Universo

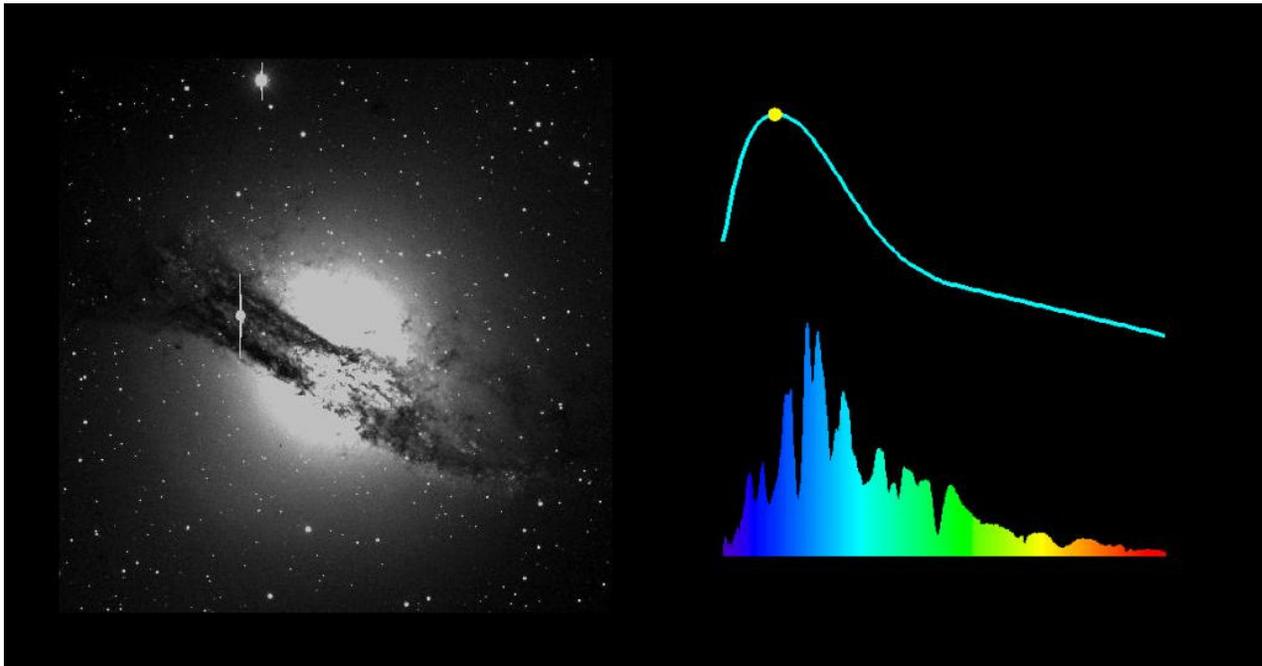


# Núcleo síntese nas estrelas.

Elementos mais pesados que lítio são sintetizados nas estrelas.

Durante as últimas fases de evolução estelar, enormes estrelas queimam hélio para carbono, oxigênio, silício, enxofre e ferro.

Elementos mais pesados que ferro são formados de duas formas, nas camadas exteriores de estrelas gigantes e na explosão de uma supernova.

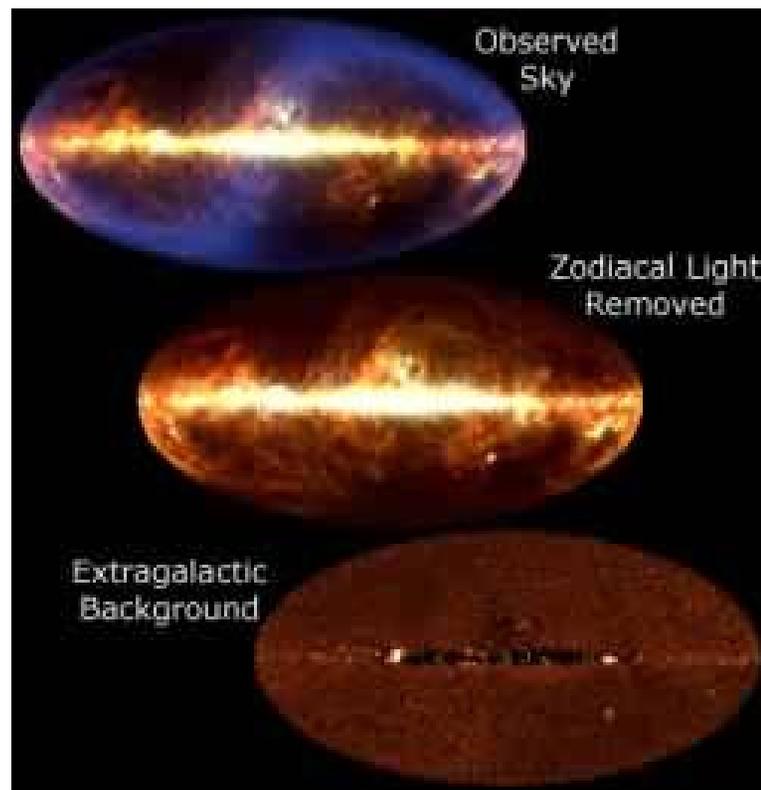


Toda a vida baseada em carbono na Terra é literalmente composta de poeira das estrelas.

# A radiação cósmica de fundo (CMB)

A teoria do Big Bang prevê que o Universo primordial era um lugar muito quente e conforme ele foi expandindo o gás no interior foi arrefecendo.

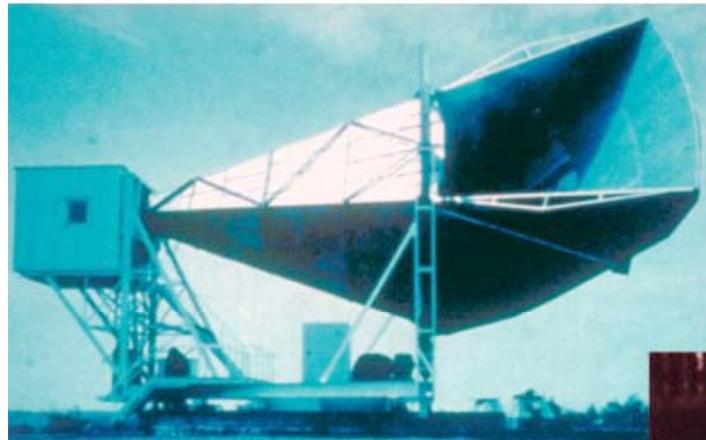
Por esta razão o Universo devia estar cheio de radiação que é literalmente os restos do calor inicial do Big Bang, chamada radiação microondas de fundo (CMB).



Prevista pela primeira vez por George Gamow em 1948, e por Ralph Alpher e Robert Herman em 1950.

Observada pela primeira vez em 1965 por Arno Penzias e Robert Wilson.

Penzias e Wilson receberam o prêmio Nobel da Física em 1978 pela sua descoberta.

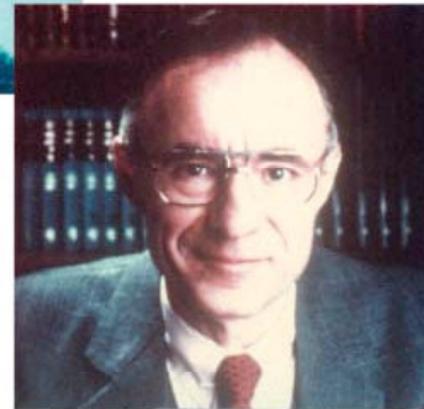


microwave Receiver



AAAP990045

Robert Wilson



Arno Penzias

A radiação CMB é muito fria, apenas  $2.725^{\circ}$  acima de zero absoluto.

# Porquê estudar a radiação CMB?

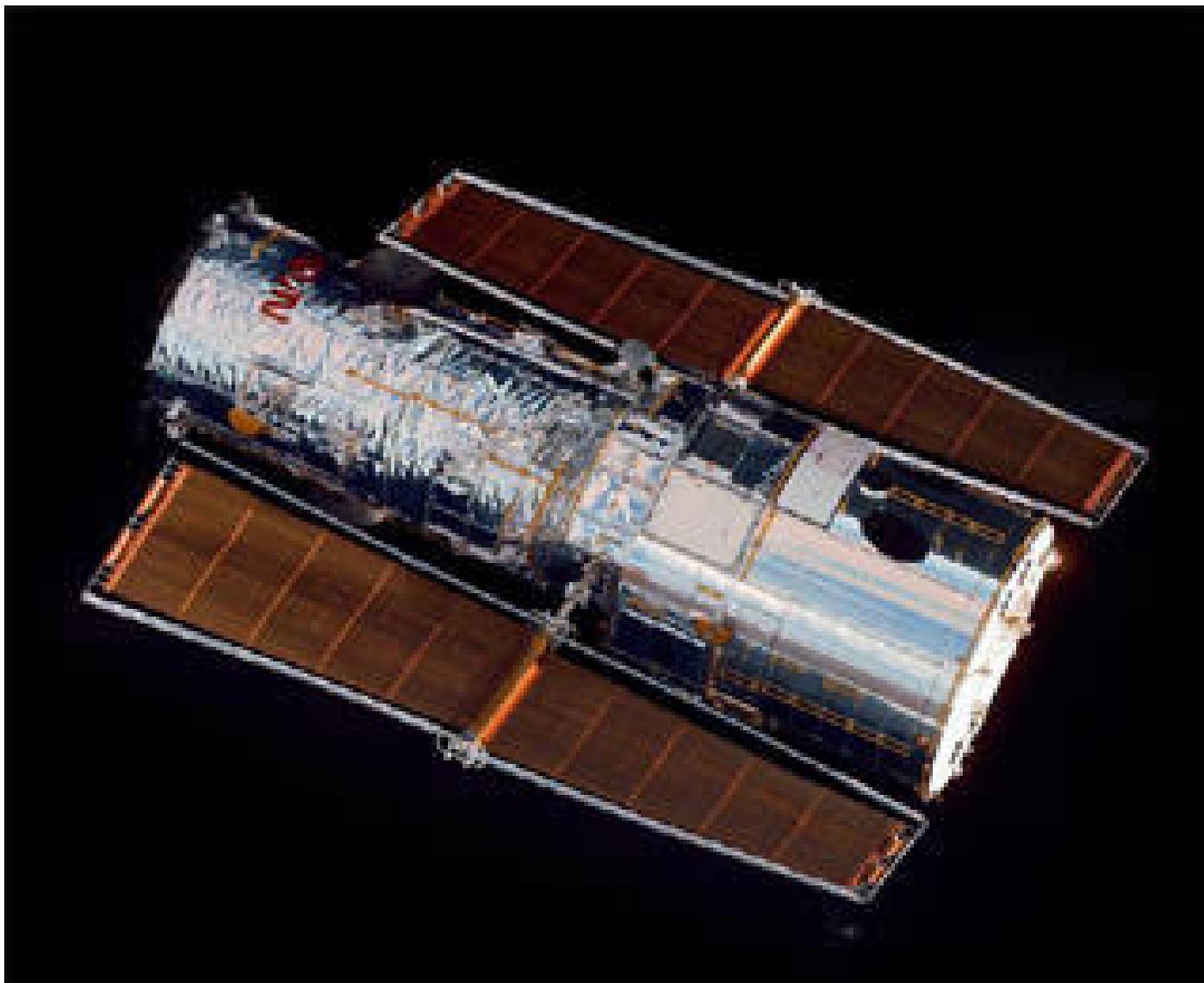
A luz anda a uma velocidade finita.

A maior parte das estrelas visíveis a olho nu à noite estão a uma distância de 10 a 100 anos luz.

Nós vemos como elas eram entre 10 a 100 anos.



Astrónomos que estão a observar galáxias distantes com o HST podem vê-las como elas eram apenas poucos biliões de anos após o Big Bang.



A radiação CMB foi emitida apenas umas centenas de anos após o Big Bang, muito tempo antes de existir estrelas ou galáxias.

Estudando em pormenor os detalhes das propriedades físicas desta radiação, podemos aprender sobre as condições nas grandes escalas.



# A origem do fundo cósmico de microondas

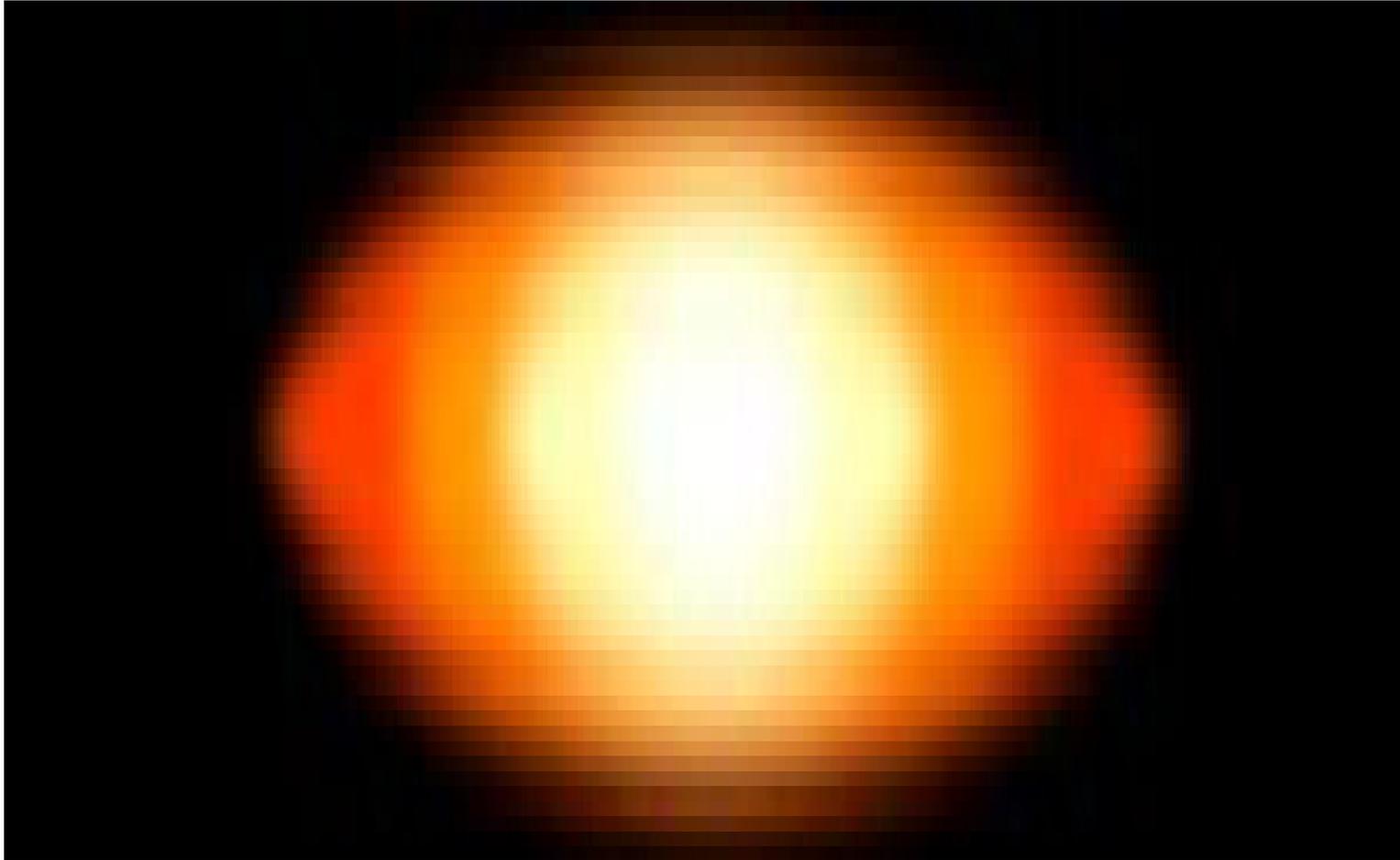
Uma das previsões da teoria do Big Bang é que o Universo está a expandir.

Quando o Universo visível tinha metade do seu tamanho actual, a densidade de matéria era 8 vezes superior e o fundo cósmico de microondas era duas vezes mais quente.

Quando o Universo visível tinha um centésimo do seu tamanho actual, o fundo cósmico de microondas era cem vezes mais quente (273 K).

Quando o Universo tinha apenas 1/100 000 000 (1/ cem milhões) do seu tamanho actual, a sua temperatura era 273 milhões de graus acima do zero absoluto e a densidade da matéria era comparável com a densidade do ar na superfície da Terra.

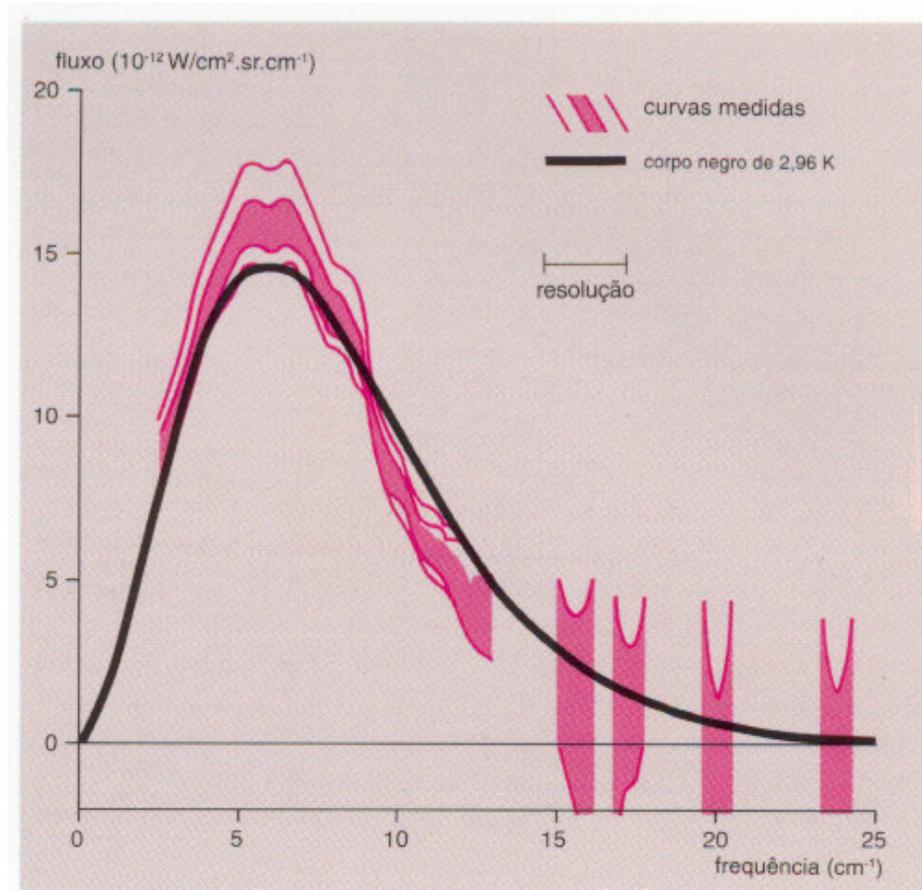
A estas altas temperaturas, o hidrogénio estava completamente ionizado em protões e electrões livres.



Os fotões da CMB facilmente dispersavam os electrões e andavam pelo Universo primordial como a luz óptica vagueia por entre nevoeiro denso.

Este processo de dispersão múltipla produz um espectro “térmico” ou “corpo negro” de fótons.

De acordo com a teoria do Big Bang a frequência do espectro da CMB devia de ter a forma de um “corpo negro”.



Distribuição do fluxo da radiação cosmológica em função da frequência.

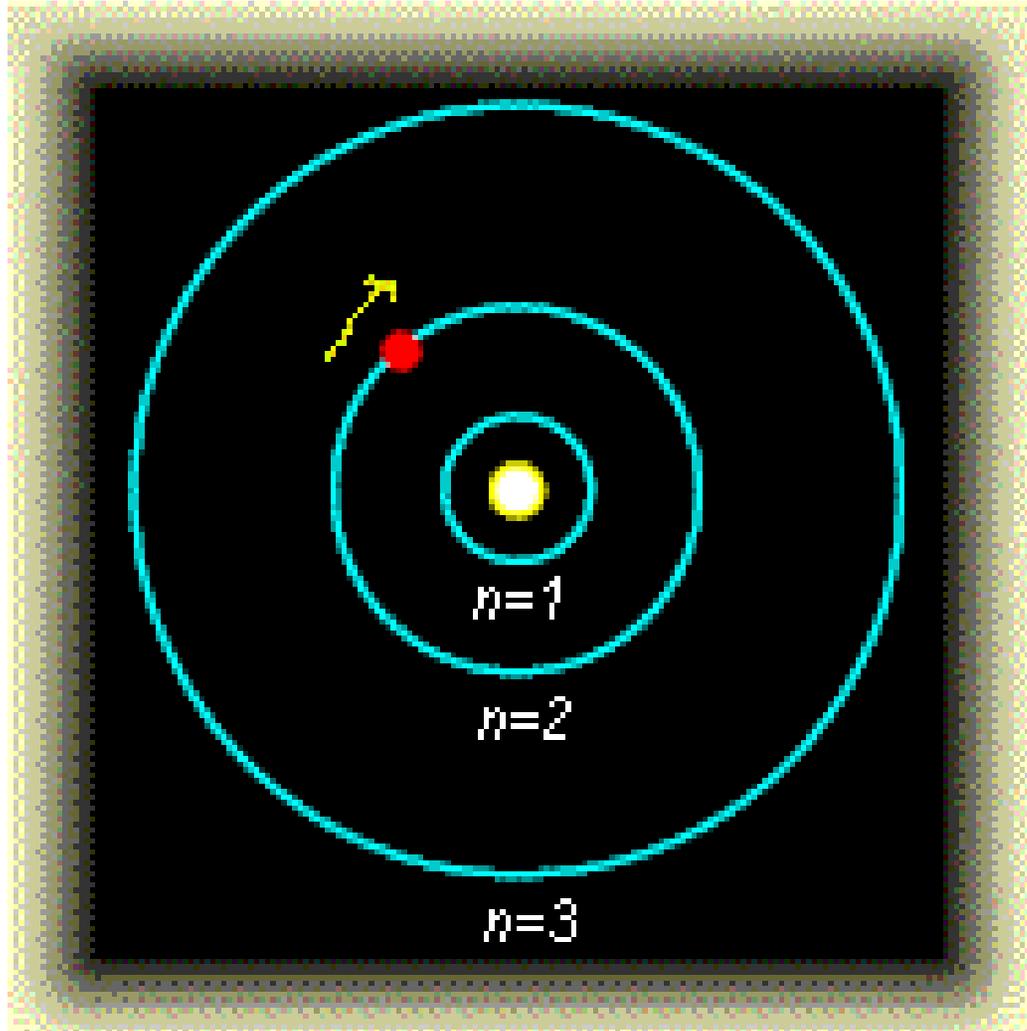
Isto foi de facto medido com enorme exactidão pela experiência FIRAS no satélite COBE.



Não existe nenhuma teoria alternativa proposta que preveja este espectro de energia.  
A medida precisa da forma desta curva foi outro grande teste para a teoria do Big Bang.

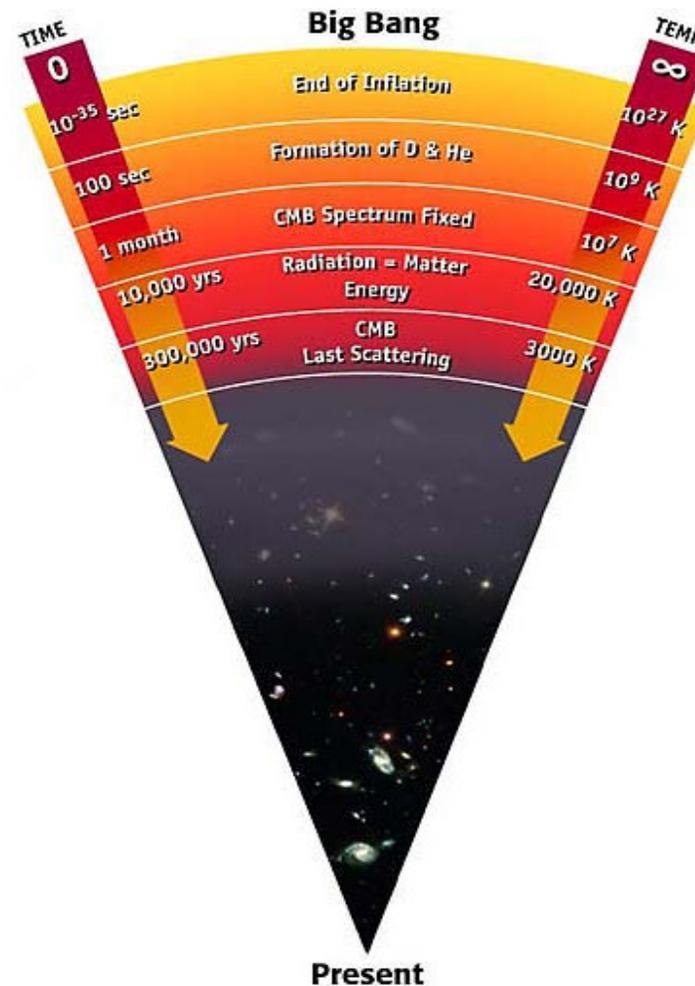
# Superfície da última dispersão

O Universo eventualmente arrefeceu o suficiente para que pudesse haver combinações entre protões e electrões para formar hidrogénio neutro.



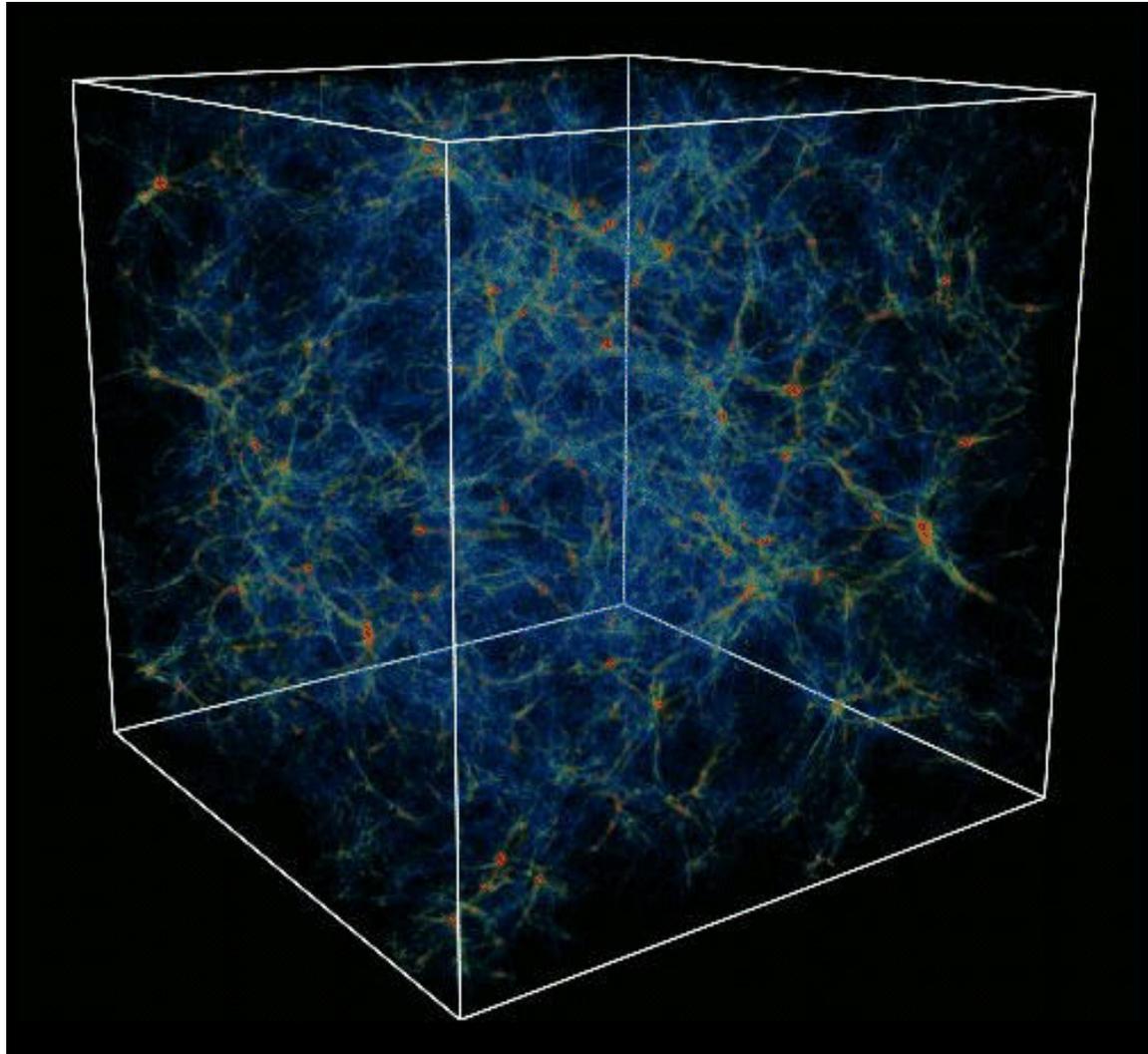
Cosmólogos que estudam a radiação CMB conseguem ver quase todo o Universo até onde ele estava opaco, 400 000 anos depois do Big Bang.

Esta parede de luz é chamada a superfície da última dispersão porque foi a última vez que a maioria dos fótons foram directamente dispersados pela matéria.



Só com instrumentos muito sensíveis, como COBE e MAP, os astrónomos podem detectar flutuações na temperatura da CMB.

Ao estudar estas flutuações, os cosmólogos conseguem aprender sobre a origem das galáxias e das grandes estruturas de galáxias e medir os parâmetros básicos da teoria do Big Bang.



# Limitações e extensões da teoria do Big Bang

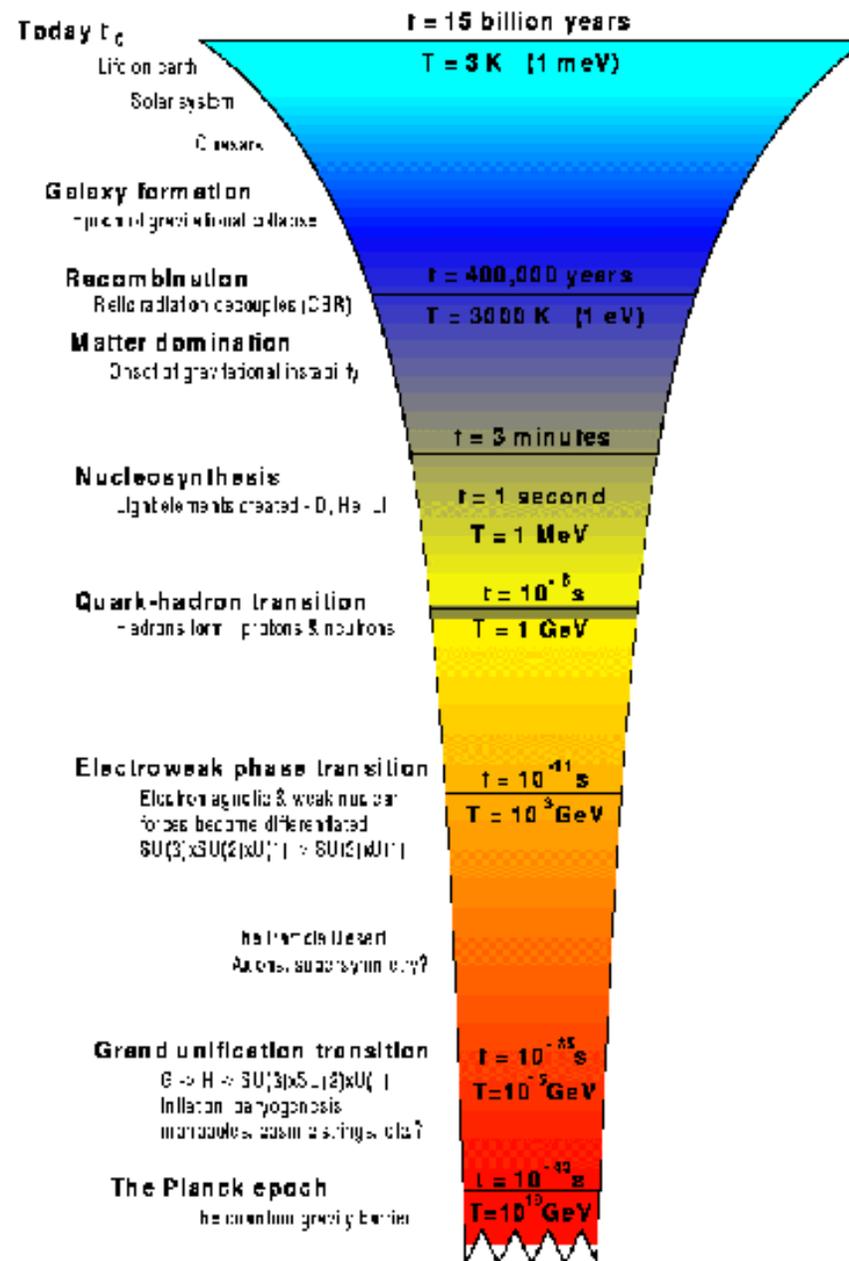
## Como é que se formou estrutura no Universo?

A teoria do Big Bang é a teoria cosmológica com mais sucesso, mas está incompleta.

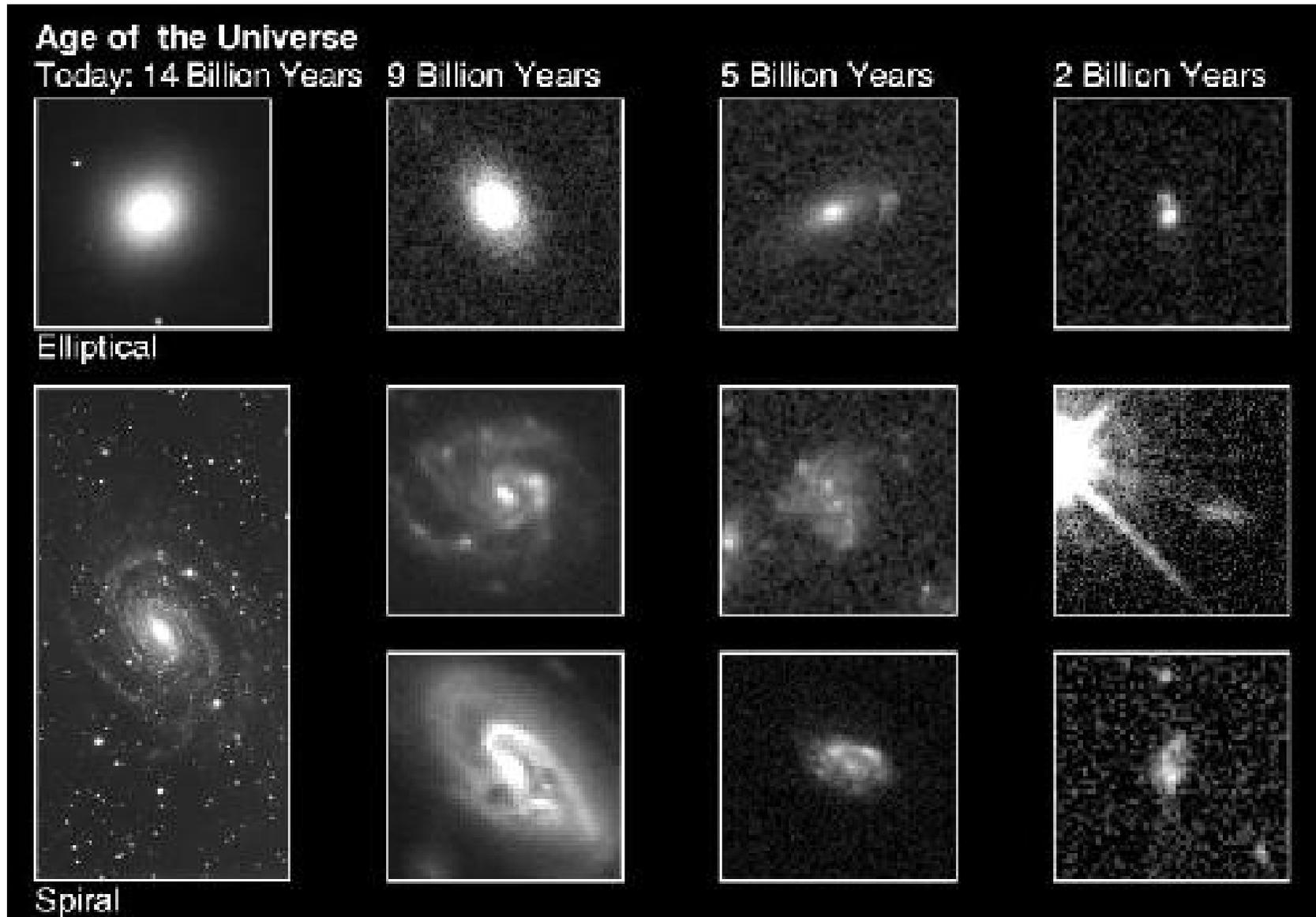
Os astrónomos observam uma quantidade considerável de estrutura no Universo, de estrelas a galáxias a aglomerados e super-aglomerados de galáxias.

Como é que estas estruturas se formaram?

# Formação gravitacional de estrutura



Os cosmólogos especulam que alguns objectos recentemente descobertos pelo HST podem ser galáxias em formação.



# Observando as pequenas flutuações da radiação CMB

Pequenas flutuações na densidade da matéria no Universo primordial deixaram a sua marca na radiação CMB na forma de flutuações de temperatura.

O satélite MAP vai medir estas pequenas flutuações de temperatura na radiação CMB.

Estas flutuações de temperatura são minúsculas, uma parte do céu pode ter uma temperatura de 2.7251K enquanto outra parte pode ter uma temperatura de 2.7249K.

O satélite da NASA (COBE), detectou estas pequenas flutuações para grandes escalas angulares.

MAP vai fazer uma nova medida das flutuações com uma melhor resolução angular e maior sensibilidade.

# O que é que criou estas pequenas flutuações?

Enquanto a força gravítica pode aumentar as pequenas flutuações do Universo primordial, ela não pode criar estas flutuações.

Os cosmólogos especulam sobre a nova física para produzir estas flutuações primordiais que formaram galáxias.

As duas ideias mais populares são:

- Inflação.
- Defeitos Topológicos.

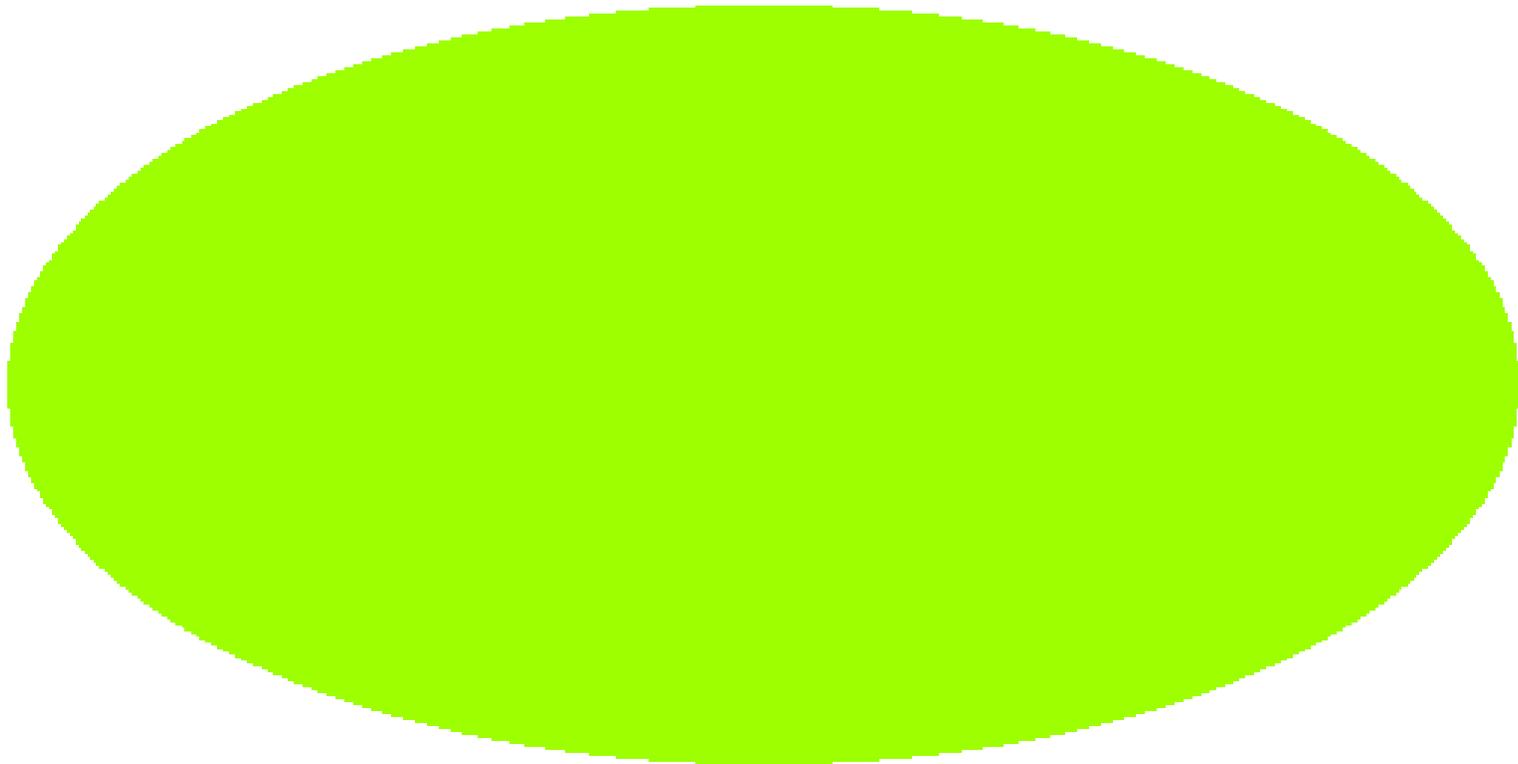
A teoria inflacionária prevê que as maiores flutuações de temperatura deviam de ter uma escala angular de 1 grau.

Os modelos de defeitos prevê uma escala característica mais pequena.

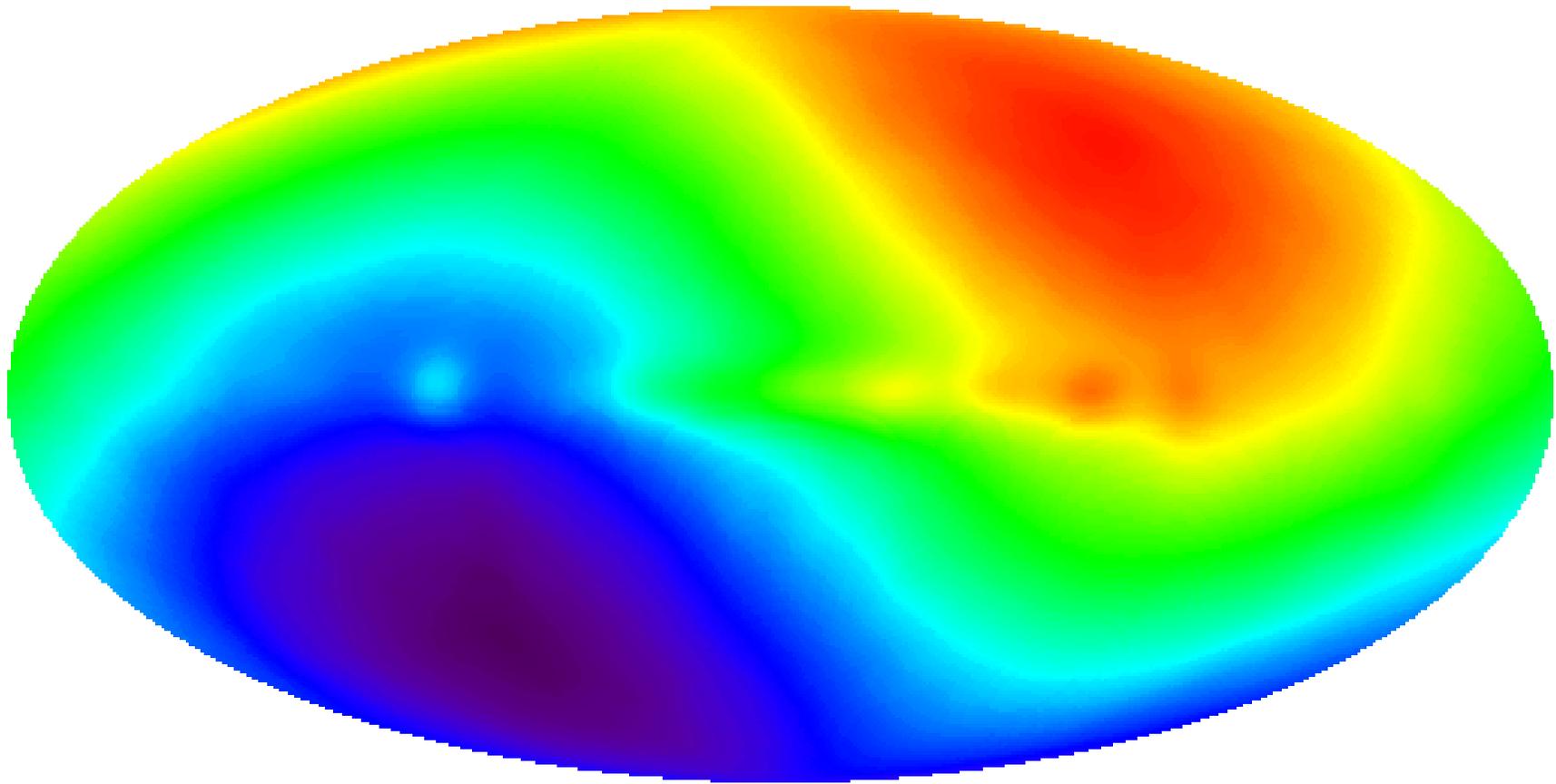
MAP, com a sua alta sensibilidade deve poder distinguir entre as duas teorias ou eliminá-las por completo.

# Flutuações no CMB

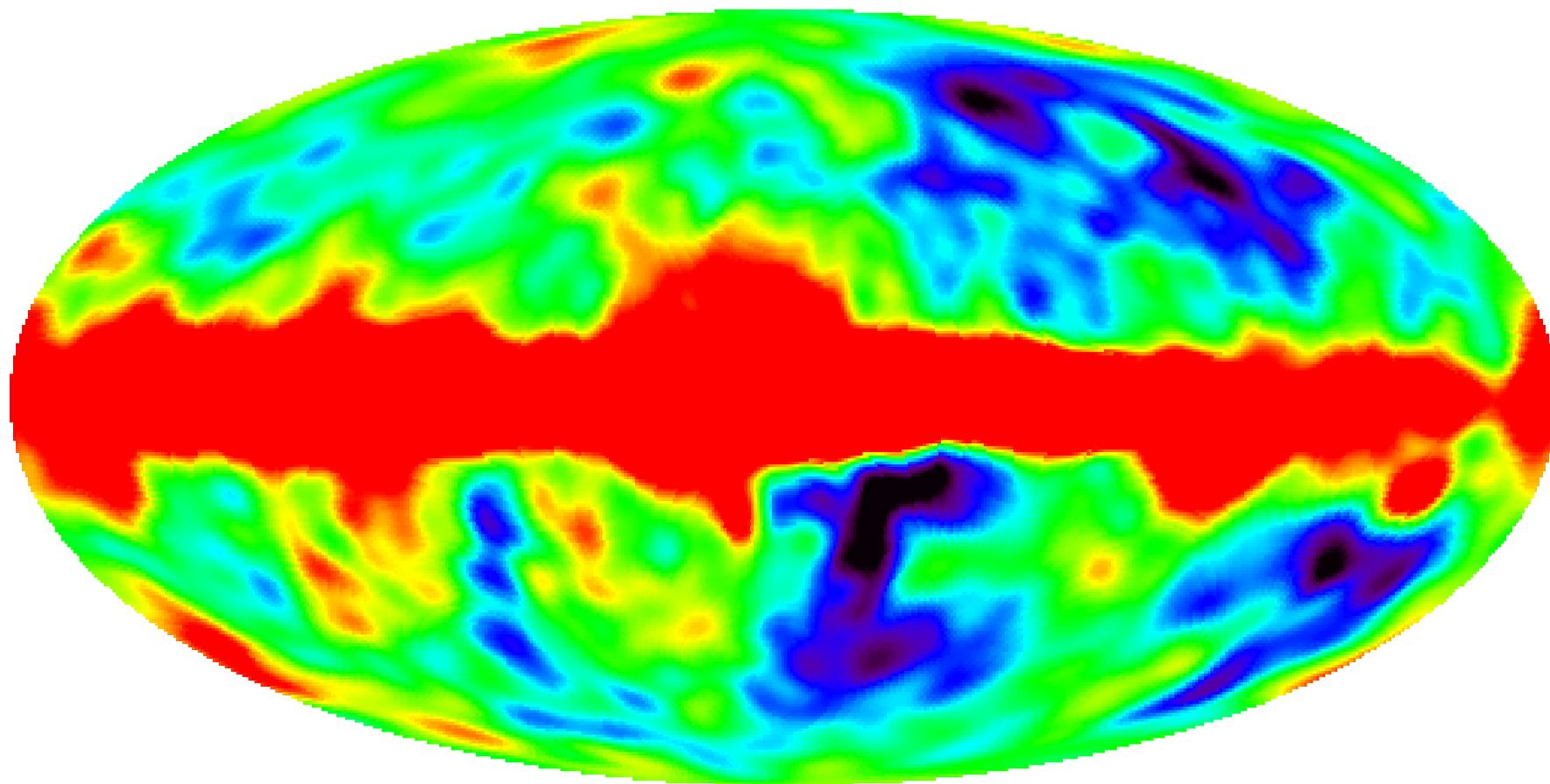
Imagens do céu com a Via Láctea na horizontal de cada figura. Elas foram produzidas pela equipa científica do COBE utilizando três cores falsas



Azul: 0K, vermelho: 4K



Azul: 2.721K, Vermelho: 2.729K.  
o zigzag na imagem é anisotropia dipolar resultante do efeito Solar.

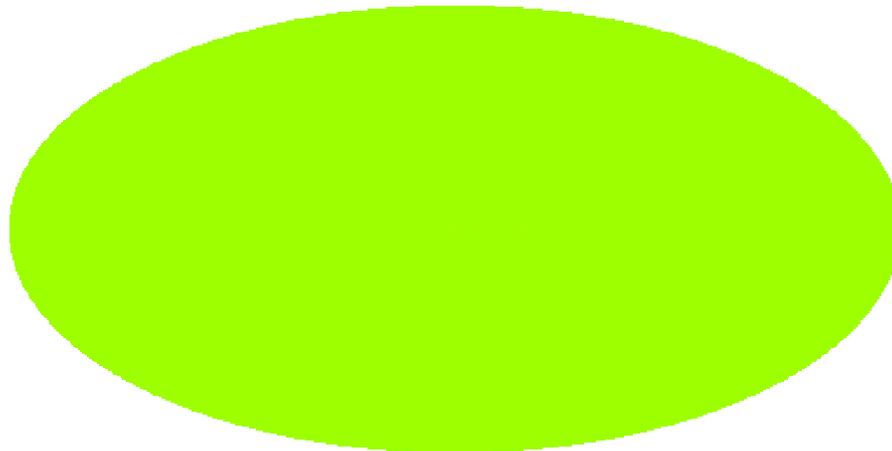


A cor azul é 0.0002K menor que o vermelho.  
A anisotropia dipolar foi retirada desta imagem.

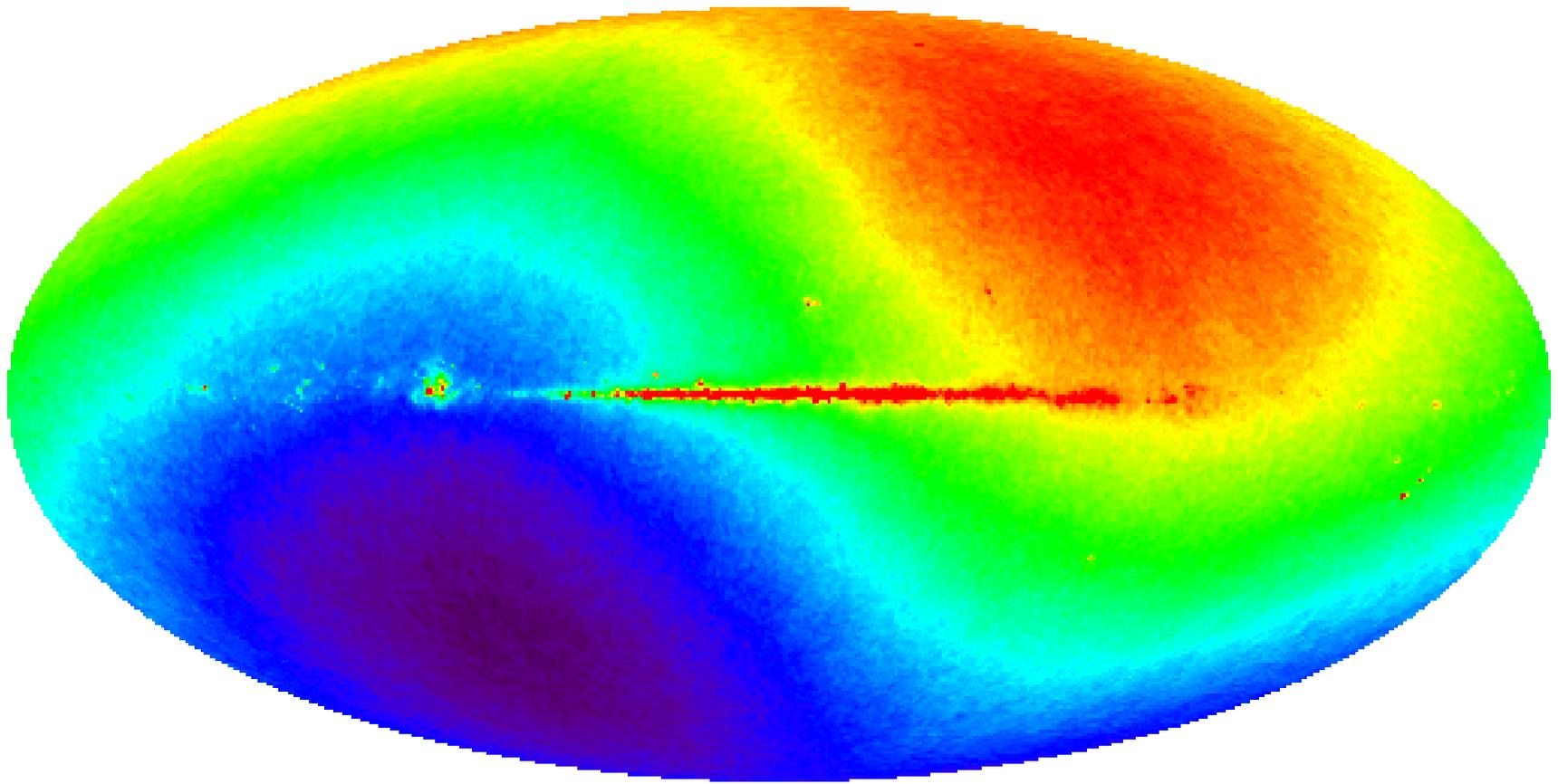
Existem duas fontes principais para as flutuações que vemos na última figura:

- A emissão da Via Láctea domina o equador do mapa mas é muito reduzida no resto.
- A emissão flutuante da fronteira do Universo domina as regiões não equatoriais.
- Existe barulho residual nos mapas que vem dos próprios instrumentos, mas este é muito reduzido em relação ao sinal nestes mapas.

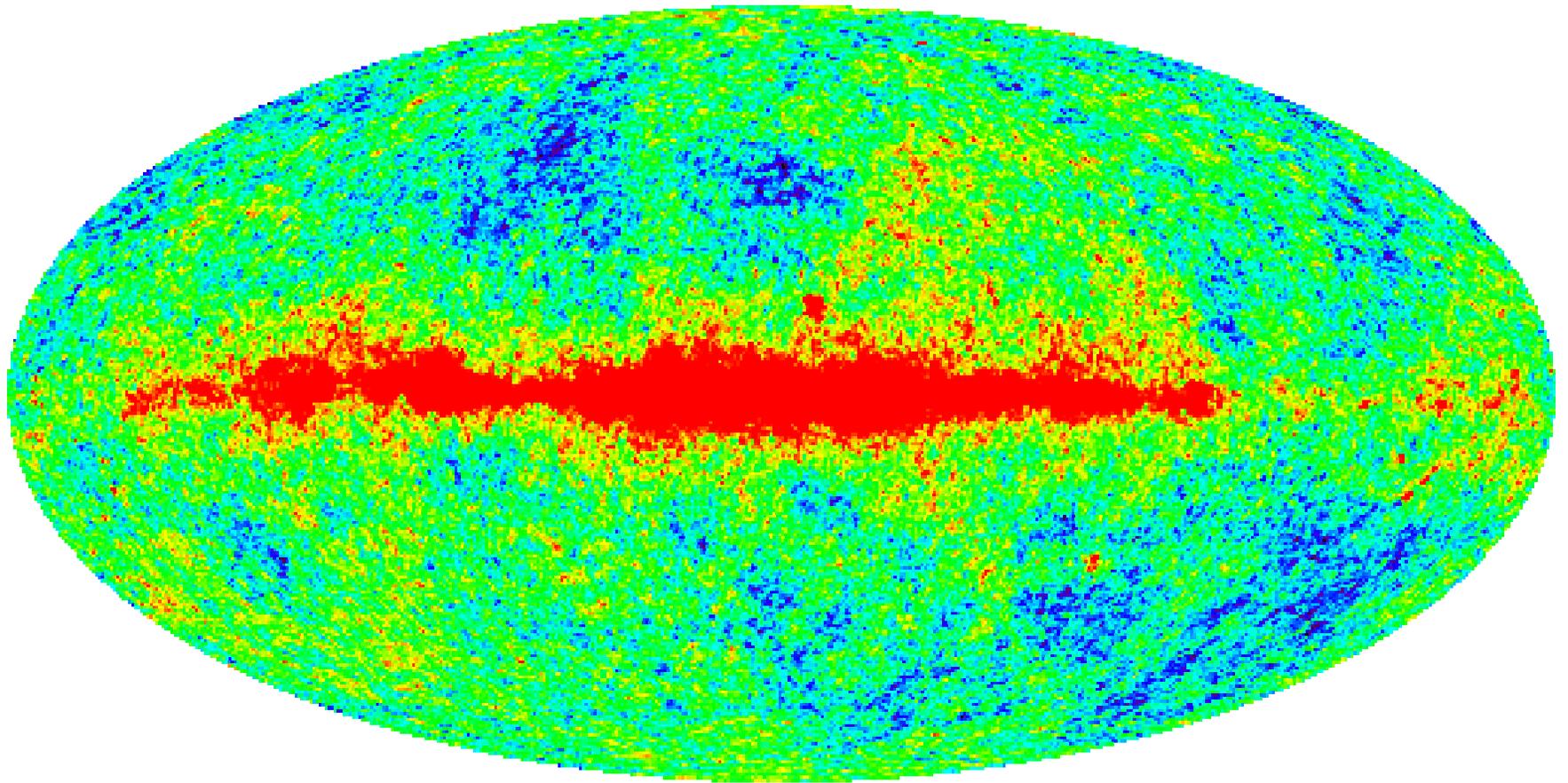
Flutuações vistas pelo MAP? (Simulação de computador)



Azul: 0K, vermelho: 4K



Azul: 2.721K, Vermelho: 2.729K  
o zigzag na imagem é anisotropia dipolar resultante do efeito Solar.



A cor azul é 0.0002K menor que o vermelho.  
A anisotropia dipolar foi retirada desta imagem.

# Limitações da teoria do Big Bang

A teoria do Big Bang deixa em aberto um número de questões importantes

- Porque é que o Universo é tão uniforme nas maiores escalas de distância?
- Porque é que a escala física do Universo é muito maior que a escala fundamental da força gravítica, o comprimento de Planck, que é um bilionésimo de um trilionésimo do tamanho de um núcleo atómico?
- Porque é que existem tantos fotões no Universo?
- Que processo físico produziu as flutuações iniciais na densidade da matéria?

# Previsões da teoria da inflação

Na sua forma mais simples, a teoria de inflação faz umas poucas previsões importantes:

- A densidade do Universo está perto da densidade crítica, e por isso a geometria do Universo é plana.
- As flutuações na densidade primordial do Universo tinham as mesmas amplitudes em todas as escalas físicas.
- Que devia haver, em média, igual número de manchas quentes e frias nas flutuações da temperatura CMB.

O MAP vai poder verificar estas previsões.

# Interrogações

- Quais os tipos de matéria e energia que compõem o nosso Universo? Qual é a percentagem de cada?
- Qual é a velocidade de expansão do Universo neste momento?
- Qual é a idade do Universo?
- Que tipo de Universo é que temos? Aberto, plano, fechado ou outro?
- Como é que a expansão está a mudar com o tempo?
- Qual o destino final do Universo?



FIM