

# **A origem e evolução do Universo**

***Julieta Fierro, Susana Deustua, Beatriz Garcia***

***União Astronômica Internacional***

***Universidade Nacional Autónoma do México, México***

***Space Telescope Science Institute, EUA***

***Universidade Tecnológica Nacional, Argentina***



# O UNIVERSO É TUDO:

Espaço

Matéria

Energia

Tempo



O universo encontra-se em constante evolução.

Cada objeto do universo muda, bem como as nossas ideias sobre eles.



Em menos de um século, conseguimos reunir observações suficientes para quantificar o Universo e sobre ele fazer ciência.



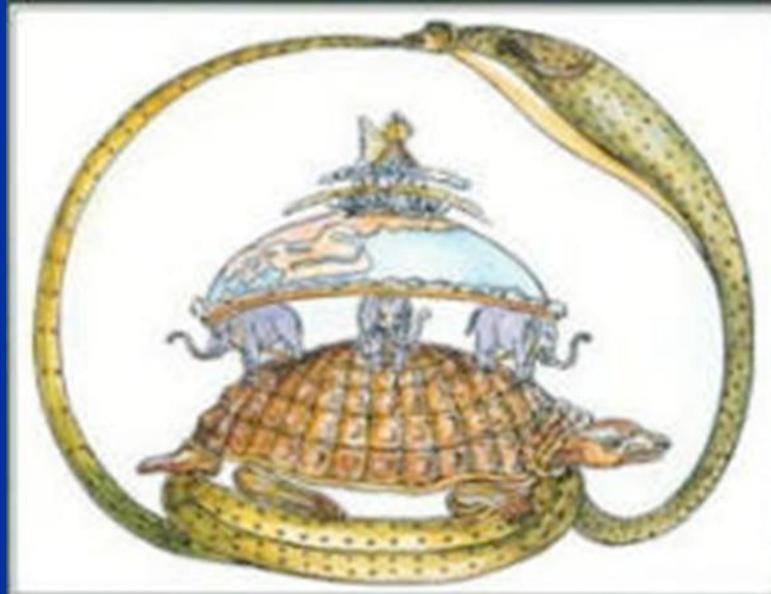
Nas últimas décadas obtivemos informações sobre ele e conseguimos estudá-lo.

Anteriormente, havia apenas especulações.



A nossa apreciação intuitiva do Universo não é o modelo padrão do *Big Bang*.

Historicamente, cada cultura tentou explicar o Universo. Por exemplo, a dos babilônios era de que a Terra seria plana, com algumas colinas, e que se encontrava apoiada em elefantes que, por sua vez, repousavam sobre uma tartaruga cercada por uma cobra. Explicavam os terremotos com o reposicionamento dos elefantes.

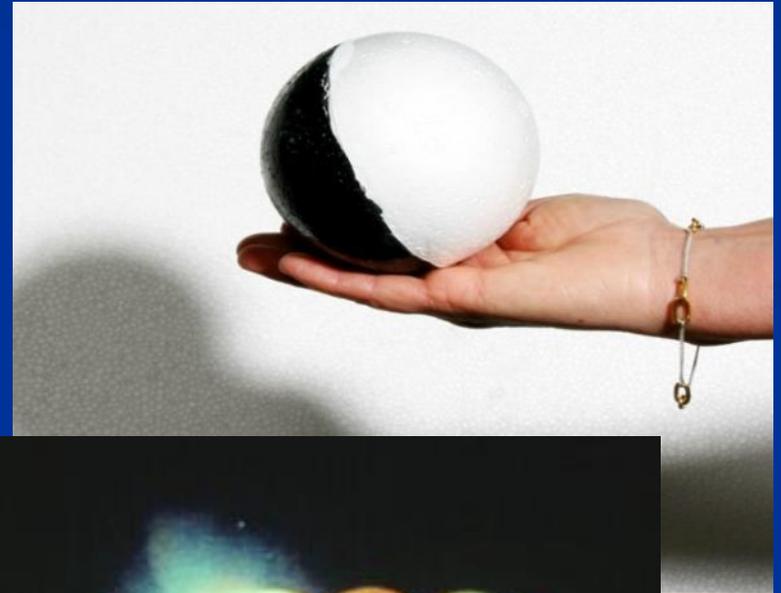


# Testando o modelo:

A sombra de um elefante de uma tartaruga nunca se parece com a sombra da Terra na Lua.



Apenas uma esfera apresenta sempre uma sombra circular. Comprova-se isso durante um eclipse da Lua.



# A ciência avança

- Refletindo.
- Pensando nas questões que temos sobre a natureza.
- Experimentando.
- Pensando sobre os resultados.
- Divulgando os novos conhecimentos através da publicação de artigos.
- Quando outros pensadores comentam favoravelmente as nossas ideias, o conhecimento é consolidado.

Além disso... também aprendemos com os nossos erros.



# Modelo padrão do *Big Bang*

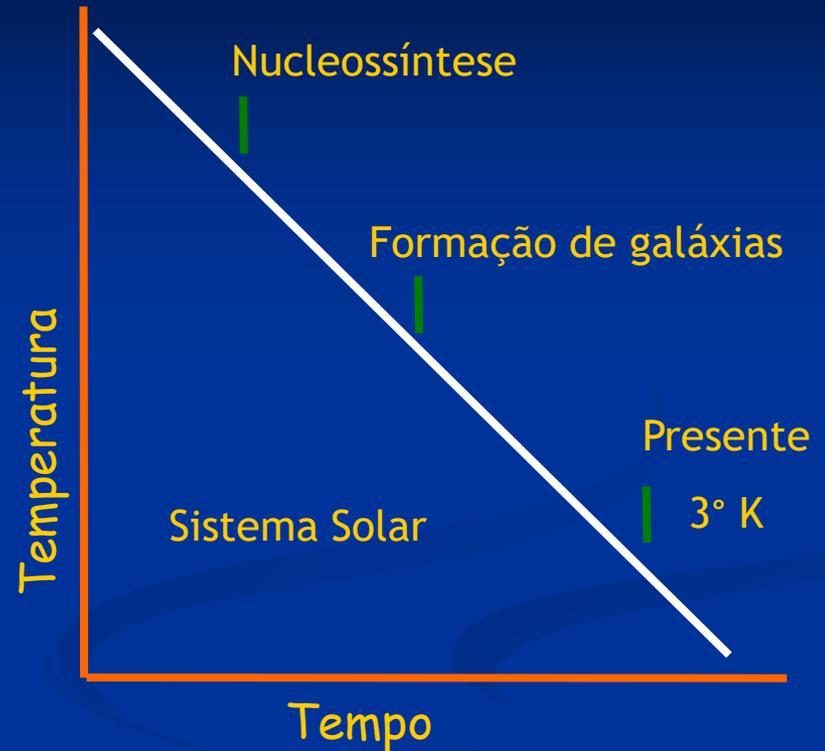
- É o mais simples e explica as mais recentes observações:
  - Expansão;
  - Radiação de fundo;
  - Abundâncias químicas;
  - Homogeneidade.
- Existem outros modelos, postos de parte porque não explicam os dados.



- A Ciência não tem a pretensão de possuir toda a verdade – é inatingível.

# Expansão do Universo

- O universo formou-se há 14 mil milhões de anos.
- Houve uma libertação de energia a partir do vazio.
- Com a expansão, arrefeceu.
- Com o arrefecimento, a energia transformou-se em matéria.



# O gás em expansão arrefece

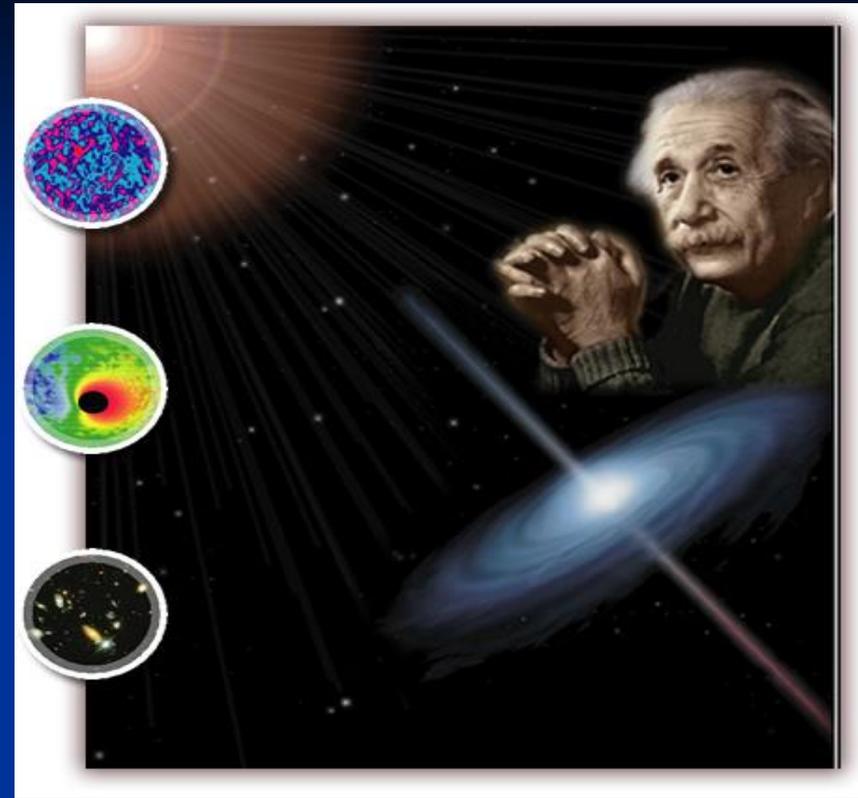
- Se libertar o seu bafo junto da mão, sente-o quente.
- Se soprar na sua mão, sente o ar ainda mais quente.



A física que se estuda na Terra e aplicada ao resto do Universo é a astrofísica.

Albert Einstein descobriu que a energia pode ser convertida em matéria e vice-versa. No início do Universo, a energia do vácuo transformou-se em matéria.

No interior das estrelas a matéria é transformada em energia: é por isso que brilham.



Equivalência entre matéria e energia

$$E = mc^2$$

q , leptões

p<sup>+</sup> n e<sup>-</sup>

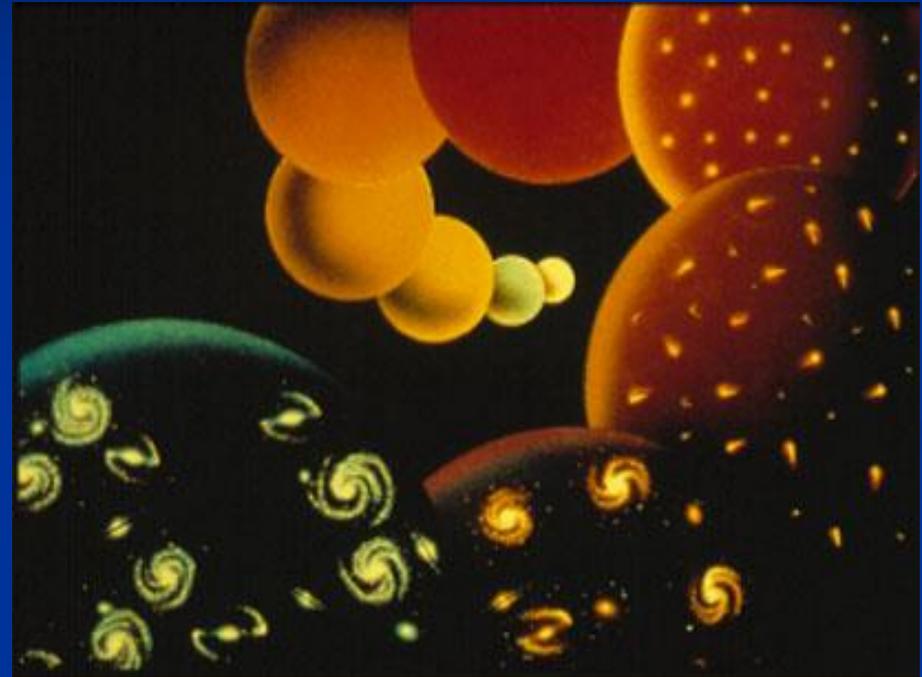


# No início, a matéria estava ionizada

Posteriormente recombinau-se para formar átomos neutros.

Os átomos formaram nuvens e, no seu interior, as primeiras galáxias com as primeiras estrelas.

Muito mais tarde, os planetas rochosos (tais como a Terra) formaram-se surgindo, a seguir, a vida.



# Evolução química

Durante o primeiro minuto de existência do Universo, formaram-se os prótons, nêutrons e os elétrons. Estes, por sua vez, constituíram os átomos mais simples, H e He.

$$E = mc^2$$

H - formado por um próton,  $p^+$

4H - transformam-se em He,  $2p^+ + 2n$

- Os restantes elementos surgiram dentro de estrelas, a partir de reações termonucleares.
- Os átomos mais pesados, como a prata e urânio, aparecem quando as estrelas explodem e projetam partículas que, colidindo entre si, formam novos elementos.
- Milhares de milhões de anos depois do *Big Bang*, e a partir da evolução estelar, formaram-se os restantes elementos.



# Física e cosmologia

Pode explicar-se a matéria da vida diária apenas com *quarks*, constituintes de prótons e nêutrons, leptões (um dos mais conhecidos é o elétron) e as suas interações, tais como o eletromagnetismo.

Família			Interação
leptão	elétron	neutrino	eletromagnetismo
<i>quarks</i>	<i>up</i>	<i>down</i>	força forte
barião	próton	nêutron	força fraca, força forte

Esta relativa simplicidade do modelo físico ajuda a entender como deve ter sido o universo recém-formado, onde a energia é transformada em matéria e esta em energia.

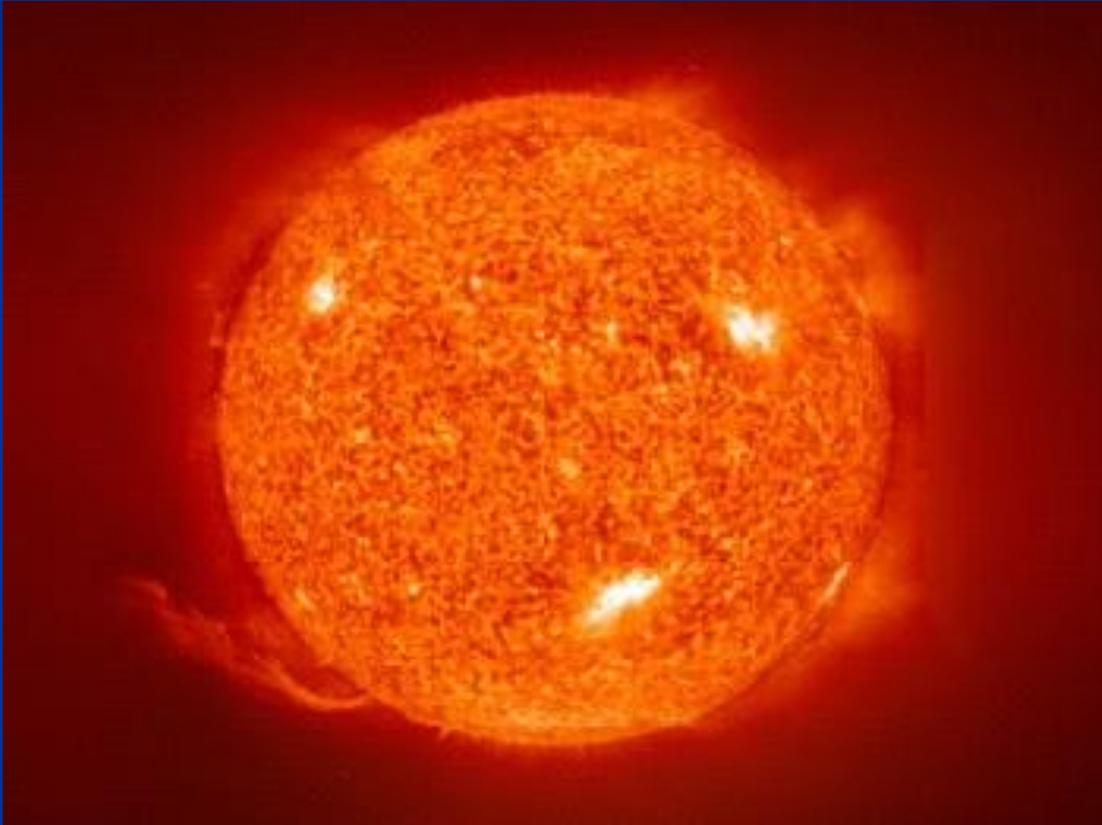


# Através de observações, aprende-se

- As propriedades físicas dos objetos celestes;
- Tamanhos e distâncias;
- Tempos e idades;
- Taxa de expansão do universo;
- Temperatura da radiação de fundo;
- Abundâncias químicas;
- Estrutura do Universo;
- Por que é que a noite é escura;
- A existência de matéria escura e energia escura.



# O Sol e as estrelas



Os objetos mais brilhantes são os mais estudados pela facilidade de observá-los.

O Sol e outras estrelas são os objetos mais conhecidos.



# Planetas extrassolares



Além de estrelas, nos últimos anos foram descobertos milhares de planetas, não por emitirem luz, mas porque perturbam as órbitas estelares.

# Vida



Outra propriedade do Universo é a vida que ainda não foi encontrada fora da Terra.

Acredita-se que requer água para florescer, porque facilita a troca de substâncias e a formação de moléculas complexas.

# Matéria Interestelar

O espaço entre as estrelas não está vazio, é preenchido pela matéria interestelar. É a partir deste material que se formam as novas estrelas.

As estrelas nascem dentro de nuvens de gás e de poeira. Estas são comprimidas formando novas estrelas que passam a maior parte de sua existência a transformar o hidrogénio do seu núcleo em hélio e em energia.

Posteriormente, ocorre a produção de carbono, de azoto e de oxigénio: os principais elementos de que somos constituídos.



# Ciclo de vida de uma estrela



- Quando as estrelas esgotam o seu combustível, ejetam no espaço envolvente partículas criadas no seu interior.
- Após cada geração estelar, o meio interestelar (local onde as novas estrelas nascem) torna-se mais enriquecido destes elementos.

# Enxames

As estrelas estão aglomeradas em enxames que contêm entre 100 e 1 000 000 estrelas.



A Caixa de Joias, um enxame aberto.



Omega Centauro, um enxame globular.



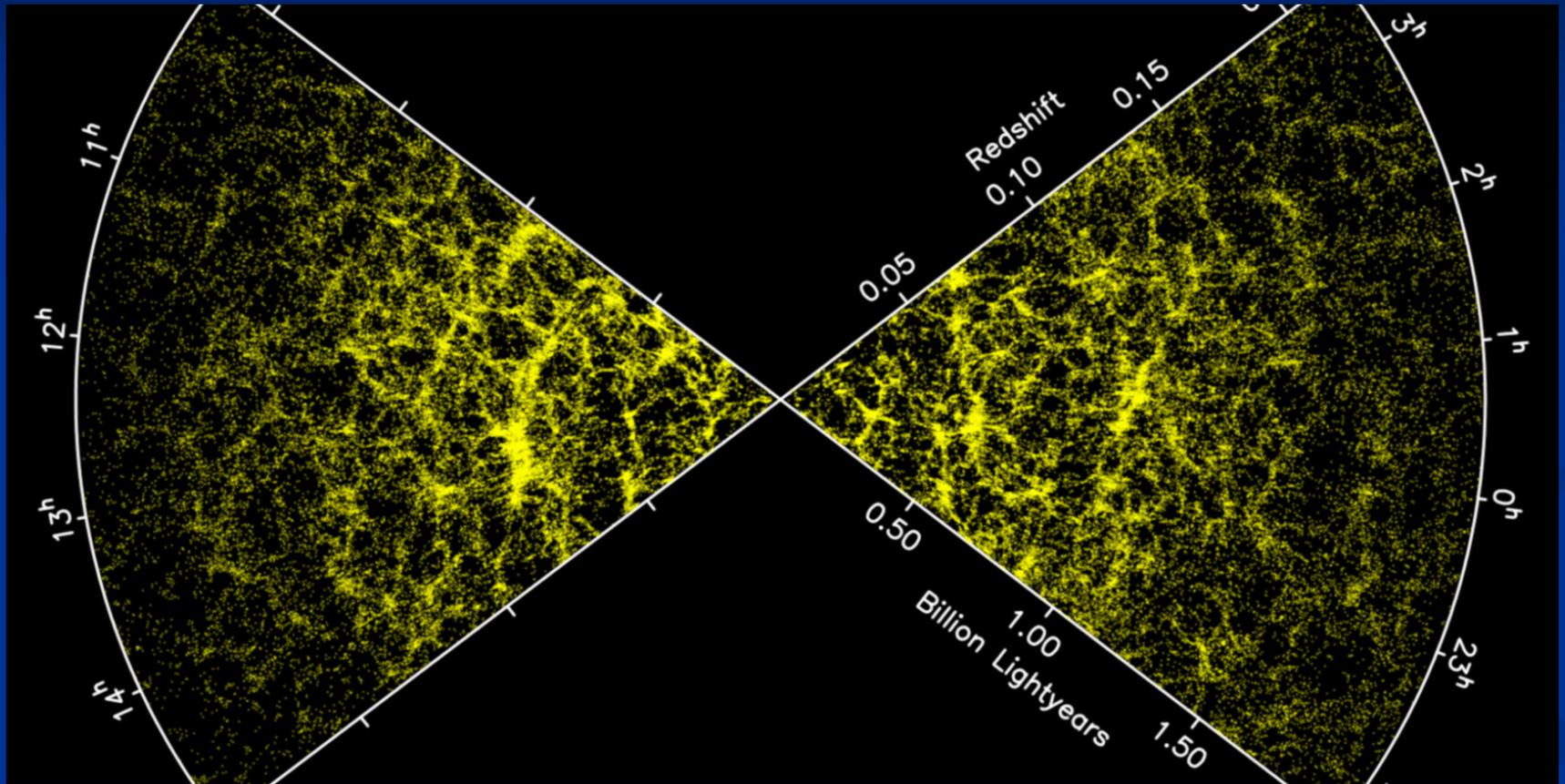
# Galáxias

As galáxias são aglomerados de estrelas por excelência. As de forma espiral, tal como a nossa, possuem centenas de milhares de milhões de estrelas, cada uma com os seus planetas, satélites e cometas, assim como gás e poeira e a maior parte da chamada matéria escura.

Galáxia Whirlpool.  
Fonte: Hubble Space Telescope.



# Universo filamentosso



Os grupos de galáxias encontram-se localizados no que se chama Universo filamentosso.

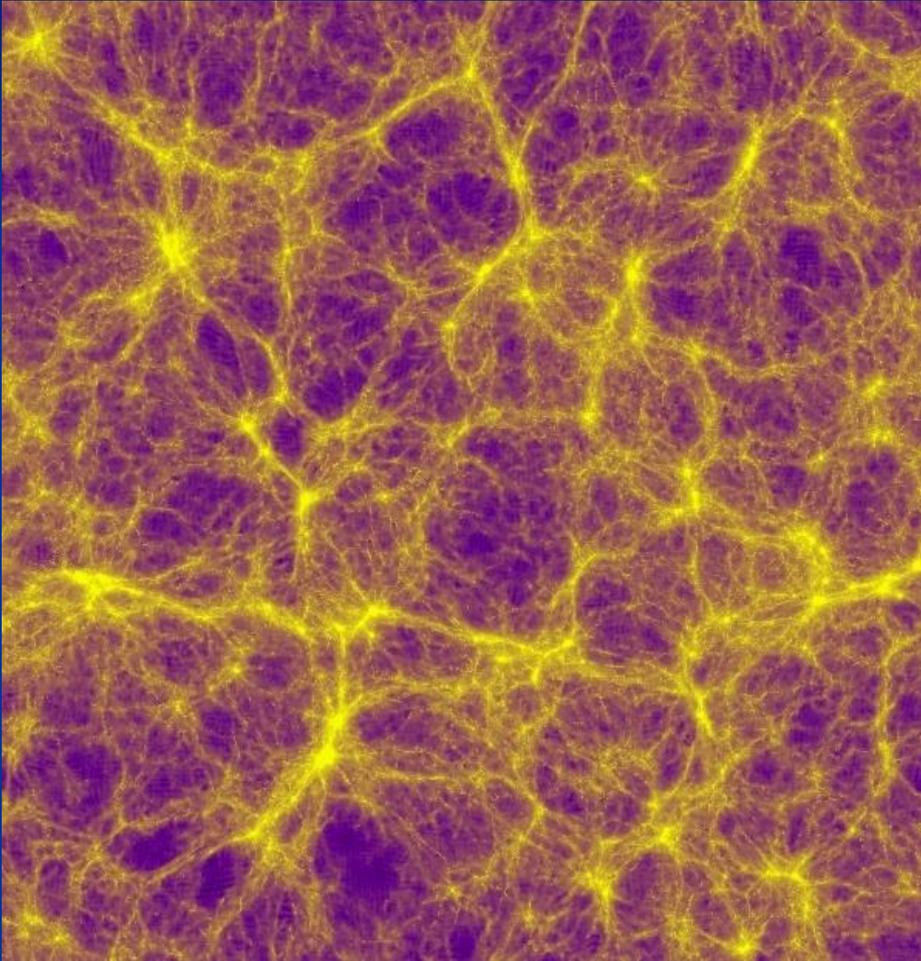


É como se o Universo fosse um banho de espuma, onde a matéria rodeia o espaço desprovido de galáxias e quanto mais tempo passa, maior é o volume sem matéria.



À medida que o Universo se expande, os espaços entre os enxames de galáxias aumentam e o Universo dissolve-se mais.

# Modelo de Universo filamentoso



Os enxames e os superenxames de galáxias estão dispostos em filamentos, como na superfície de uma bolha.

Fonte:  
Millenium Project Max Planck Institute.



# Estrutura do Universo: síntese

- As estrelas encontram-se em enxames.
- Os enxames de estrelas formam as galáxias.
- As galáxias formam os enxames de galáxias, constituídos por poucas ou alguns milhares de galáxias.
- As maiores estruturas do Universo são os filamentos que são compostos por enxames e superenxames de galáxias.



# Dimensões no Cosmos

Podemos estimar quanto mede um metro com uma criança e também uma unidade mil vezes maior, o quilômetro...



... uma distância mil vezes maior, mil quilômetros, percorre-se num avião em algumas horas.



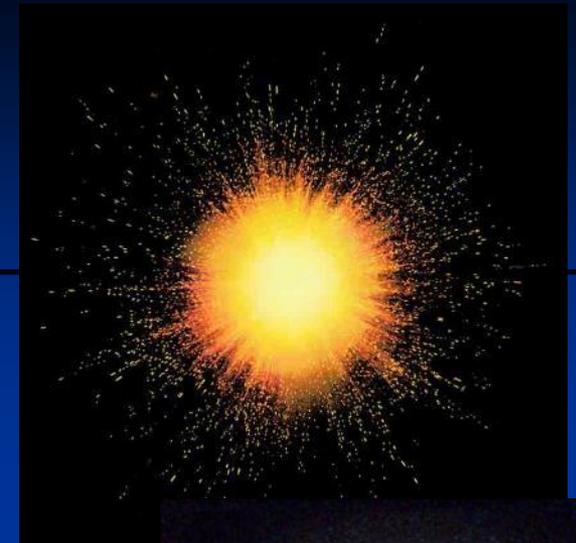
Para se chegar à Lua são necessários três dias e vários anos para percorrer a distância entre o Sol e Júpiter.

A distância às estrelas mais próximas é mil vezes superior.



# Tempo no Cosmos (em anos)

Grande explosão	14 000 000 000
Formação das galáxias	13 000 000 000
Formação do Sistema Solar	4 600 000 000
Aparecimento da vida na Terra	3 800 000 000
Aparecimento da vida complexa	500 000 000
Aparecimento dos dinossauros	350 000 000
Extinção no Cretáceo	65 000 000
Aparecimento do homem moderno	120 000



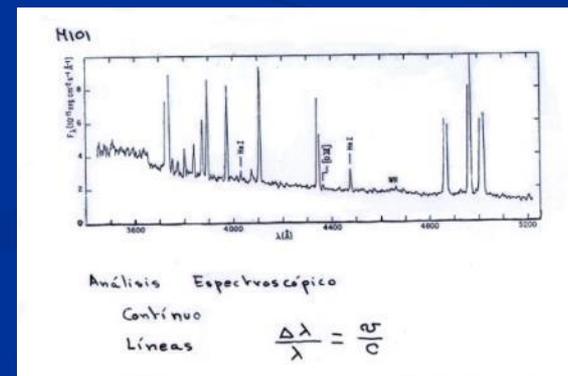
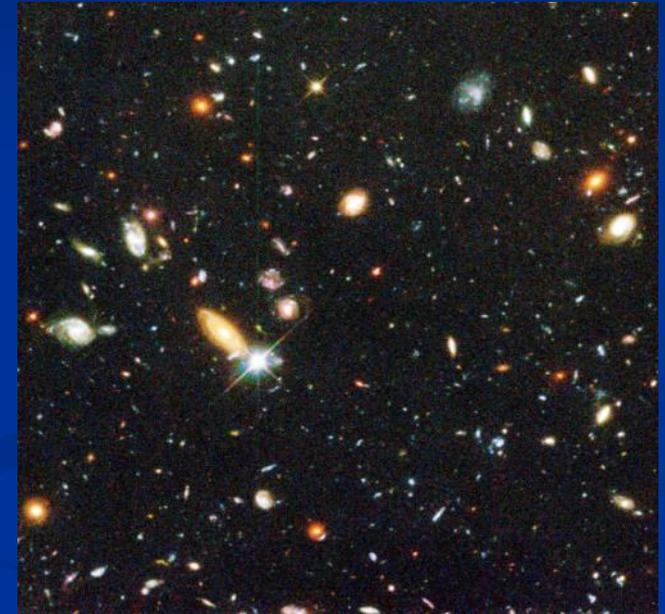
**O aparecimento do Homem é muito recente**

# Observando o Universo

Analizando a radiação que as estrelas emitem, refletem ou absorvem, ficamos a conhecer a sua natureza.

As imagens permitem determinar a posição, a aparência, a quantidade de luz emitida por uma estrela.

O espectro permite-nos conhecer a composição química, temperatura, densidade e velocidade (efeito de Doppler).



# Pilares do Modelo Padrão

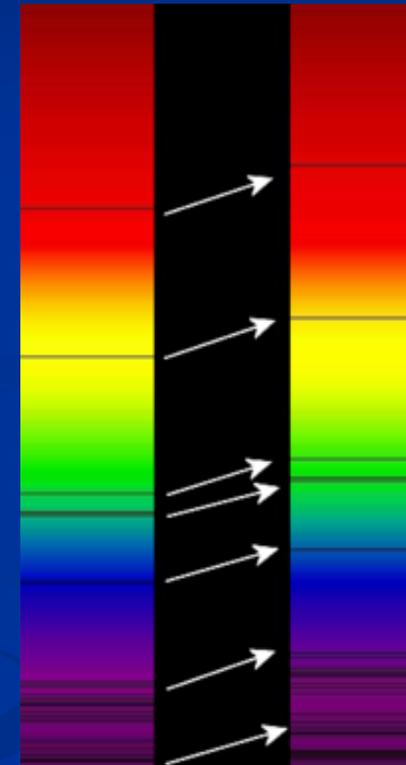
## 1. Expansão do Universo

O desvio para o vermelho no efeito de Doppler mostra a expansão (se as estrelas se aproximam do observador, a sua luz vê-se mais para o azul e mais para o vermelho se se afastam).

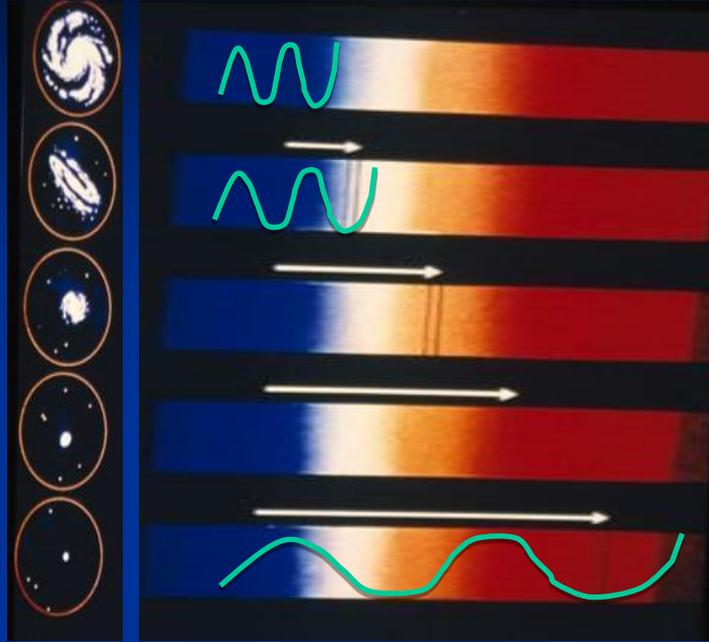
Os grupos de galáxias afastam-se uns dos outros e quanto mais distante estiverem maior é a velocidade de afastamento.

## 2. Abundâncias químicas do Universo

Nos primeiros minutos do Cosmos, só se formaram H e He; a expansão desacelerou a produção: a radiação perdeu energia e já não se pôde converter em prótons e em neutrões. C, N e O formaram-se no interior das estrelas e misturaram-se com o meio interestelar quando estas morreram.

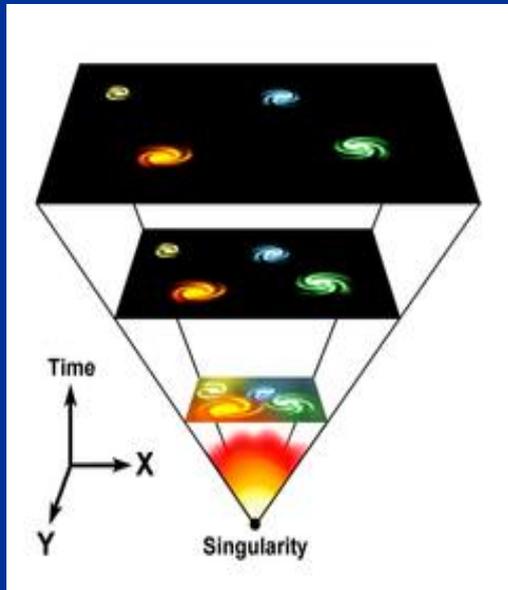


# Expansão cósmica



É o espaço que se dilata, pelo que os fótons de radiação também se expandem. Os que foram raios gama, de comprimento de onda pequeno, agora são ondas de rádio, fótons de rádio que vêm de todas as direções e que formam a radiação de fundo.

Medindo a expansão cósmica pode calcular-se a idade do Universo: 14 000 milhões de anos. Esta estimativa é superior à idade das estrelas mais velhas.



# Será que o Universo tem fronteira?



Uma condição necessária para a estabilidade do Universo está na contínua expansão. Caso contrário, deixaria de existir, tal como o vemos agora. A expansão do Universo é um dos pilares do modelo padrão do *Big Bang*.

Mas... não há nenhum centro da expansão.



# A gravidade domina o Universo?



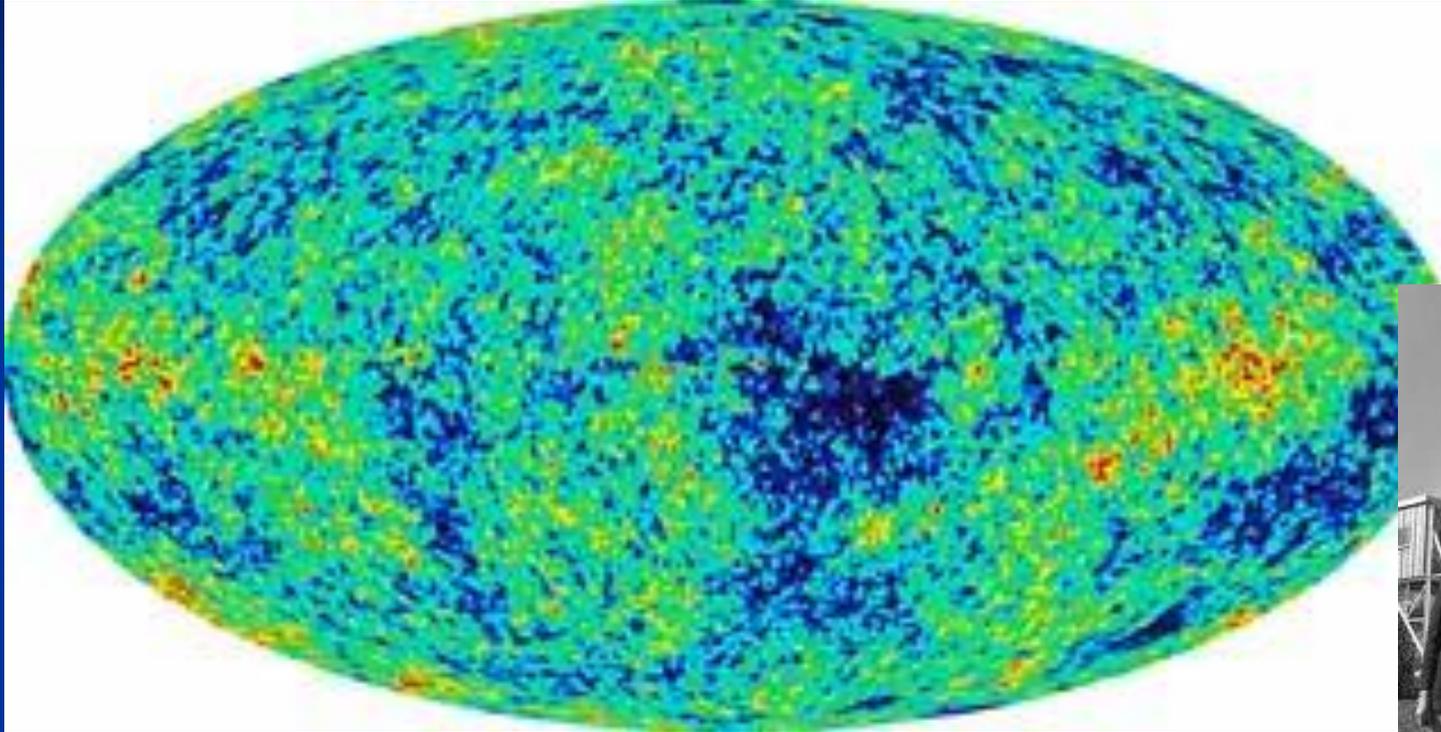
O Universo tem massa,  
como tal tem uma  
enorme força de  
gravidade.  
E a gravidade atrai.

A expansão do *Big  
Bang* compensa a  
gravidade.

Mas o Universo está a acelerar e desconhece-se a fonte de energia que a provoca.



# Radiação de fundo



A radiação cósmica de fundo na faixa do micro-ondas é o remanescente fóssil do *Big Bang* e prova a expansão do Universo. Foi descoberta por Penzias e Wilson.



Quanto mais longe os objetos estão, mais os observamos como eram no passado. Ou seja, galáxias mais próximas são diferentes das distantes.

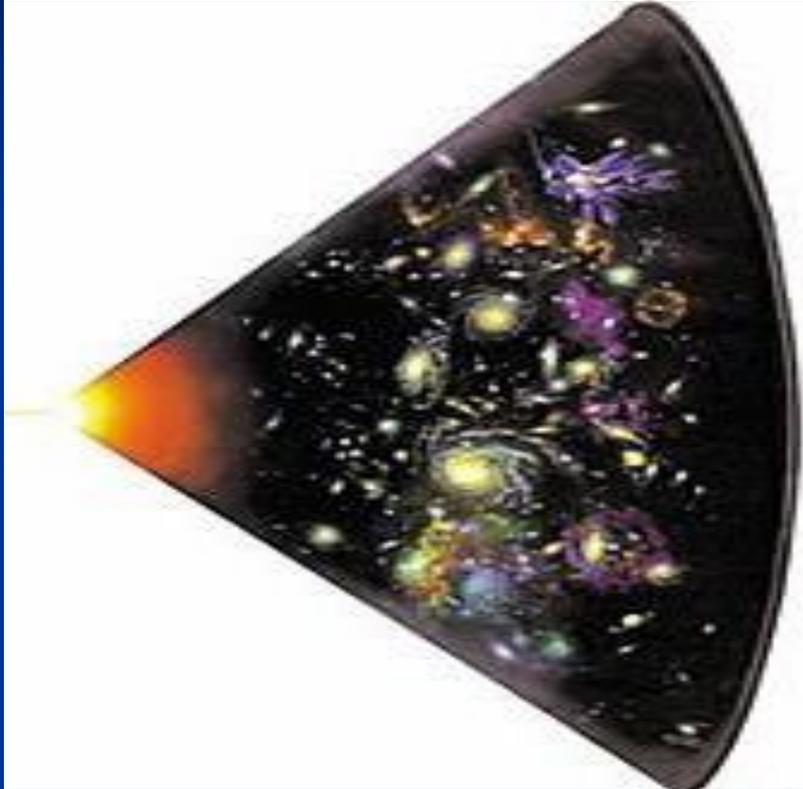


Galáxia espiral próxima



Galáxias distantes são amorfas e pequenas

# Evolução



Há um limite além do qual não temos informações sobre o Cosmos.

Isso significa que não podemos ver as estrelas cuja luz leva mais de 14 000 milhões de anos a chegar à Terra.

Se o nosso Universo fosse pequeno apenas teríamos informação de uma pequena secção, e se fosse infinito, teríamos o mínimo de informação.



**98% DO UNIVERSO É  
DETETADO APENAS PELA  
FORÇA DA GRAVIDADE  
EXERCIDA SOBRE OBJETOS  
VISÍVEIS.**

**Não se sabe que tipo de matéria é  
que o constitui.**



# Superfície do mar



É como se fôssemos biólogos marinhos e somente pudéssemos ver a superfície do mar.

# Solo oceânico

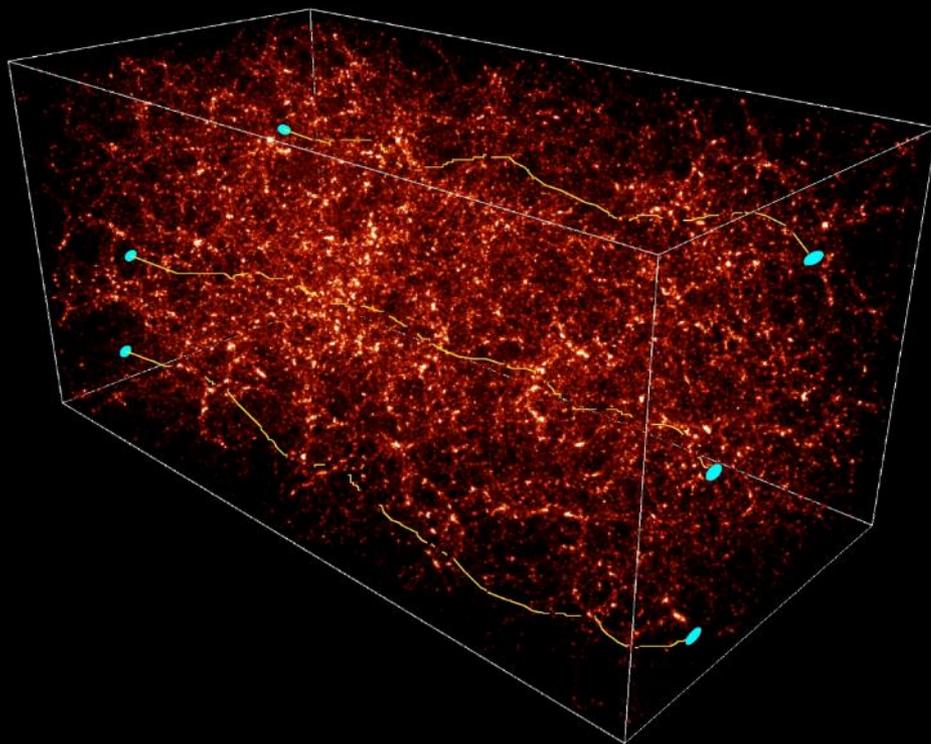


Ao aproximarmo-nos, descobriríamos uma grande diversidade.

# A matéria escura

Sabemos que existe matéria que não é visível, sendo apenas conhecida pela força da gravidade que exerce sobre a matéria visível - as estrelas, galáxias.

Deflexão dos raios de luz atravessando o Universo e emitidos por galáxias distantes



Pensa-se que a matéria escura está distribuída em filamentos. As formas azuis são galáxias distantes.

As linhas amarelas são os trilhos da luz emitida por galáxias. Sem a matéria escura, estas seriam uma linha reta.



As estrelas giram em torno do centro da galáxia devido à sua massa. Os enxames de galáxias permanecem juntos devido à força de gravidade do conjunto.

A matéria escura não se vê mas sente-se: é detetada pela ação da força de gravidade.



Há objetos que giram em torno de outros que não se veem. Por exemplo, existem grupos estelares que se deslocam em torno de buracos negros.

# Evolução do nosso Universo

A longo prazo, o nosso Universo continuará a expandir-se. A velocidade de expansão aumenta com o tempo, sendo acelerada. A energia responsável por esta aceleração ainda é desconhecida. Chamamo-la de energia escura.

Depois de triliões de anos toda a matéria interestelar será consumida e já não haverá formação de novas estrelas.

Os protões desintegrar-se-ão e os buracos negros evaporar-se-ão.

O nosso Universo será gigantesco, povoado com matéria exótica e com ondas de rádio de pouca energia.

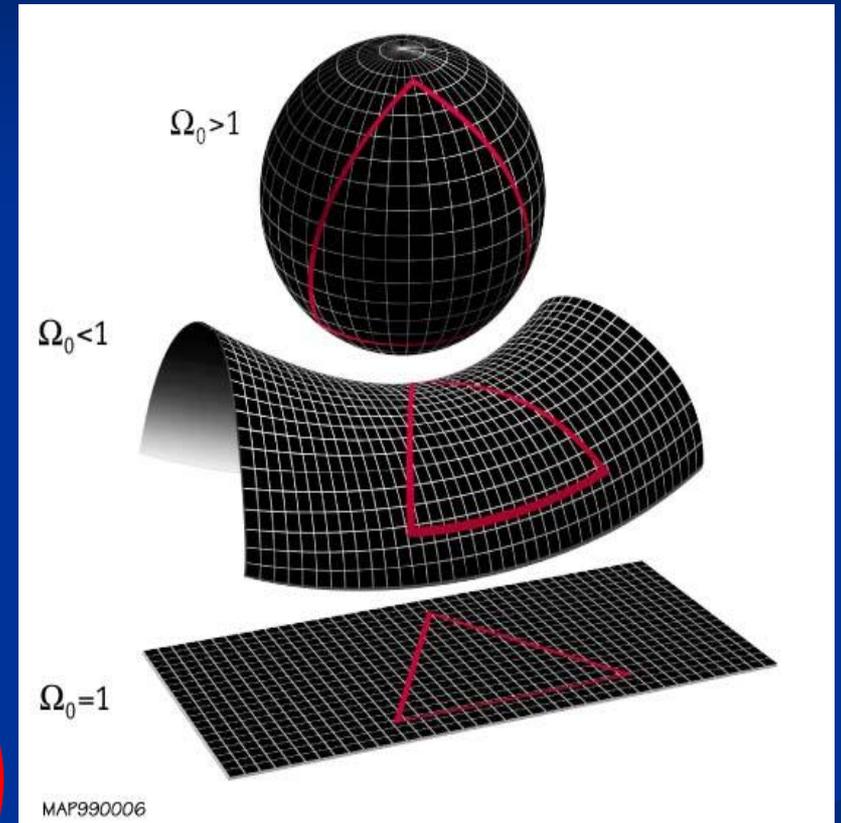


# A geometria do Universo depende da constante cosmológica

Fechado  $\rightarrow \Omega > 1$

Aberto  $\rightarrow \Omega < 1$

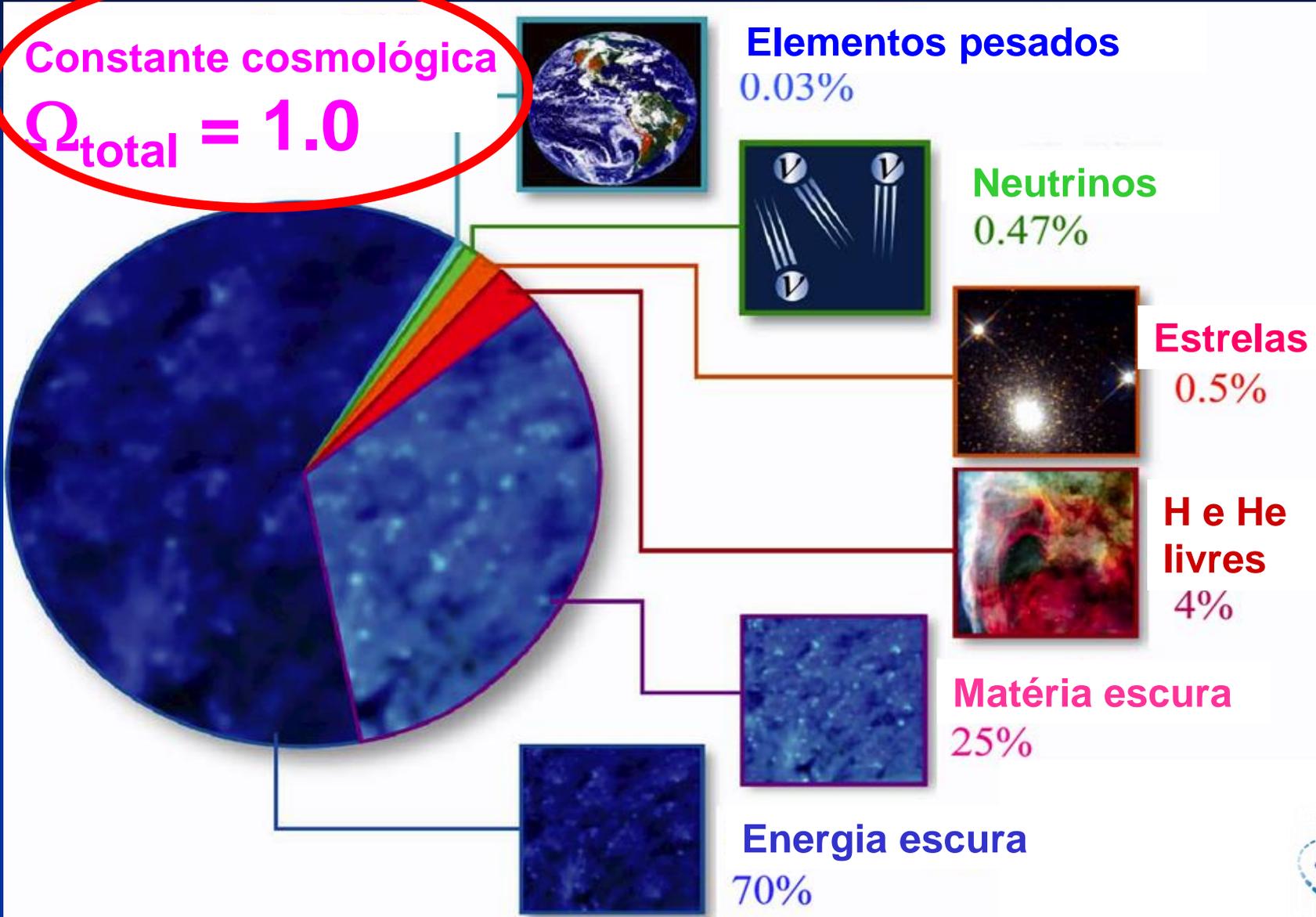
Plano  $\rightarrow \Omega = 1$   
(previsto pela teoria inflacionária e coincidente com as observações)



# A evolução depende do que é feito o Universo

Constante cosmológica

$$\Omega_{\text{total}} = 1.0$$



# Sucessos do modelo *Big Bang*

(previsão - verificação)

- **Expansão:**  
verificada em 1936 por E. Hubble.
- **Radiação cósmica de fundo:**  
descoberta em 1964 por Penzias e Wilson.
- **Abundância de elementos leves:**  
demonstrada em meados do séc. XX.
- **Estrutura em grande escala:**  
descoberta no final do séc. XX.



# Destino do Universo (cenários)

- *Big Crunch* (reversão da expansão);
- Plano, morte térmica (paragem da expansão);
- Plano infinito, em constante expansão  
(este é o cenário presentemente aceite);
- *Big Rip* (grande rutura).

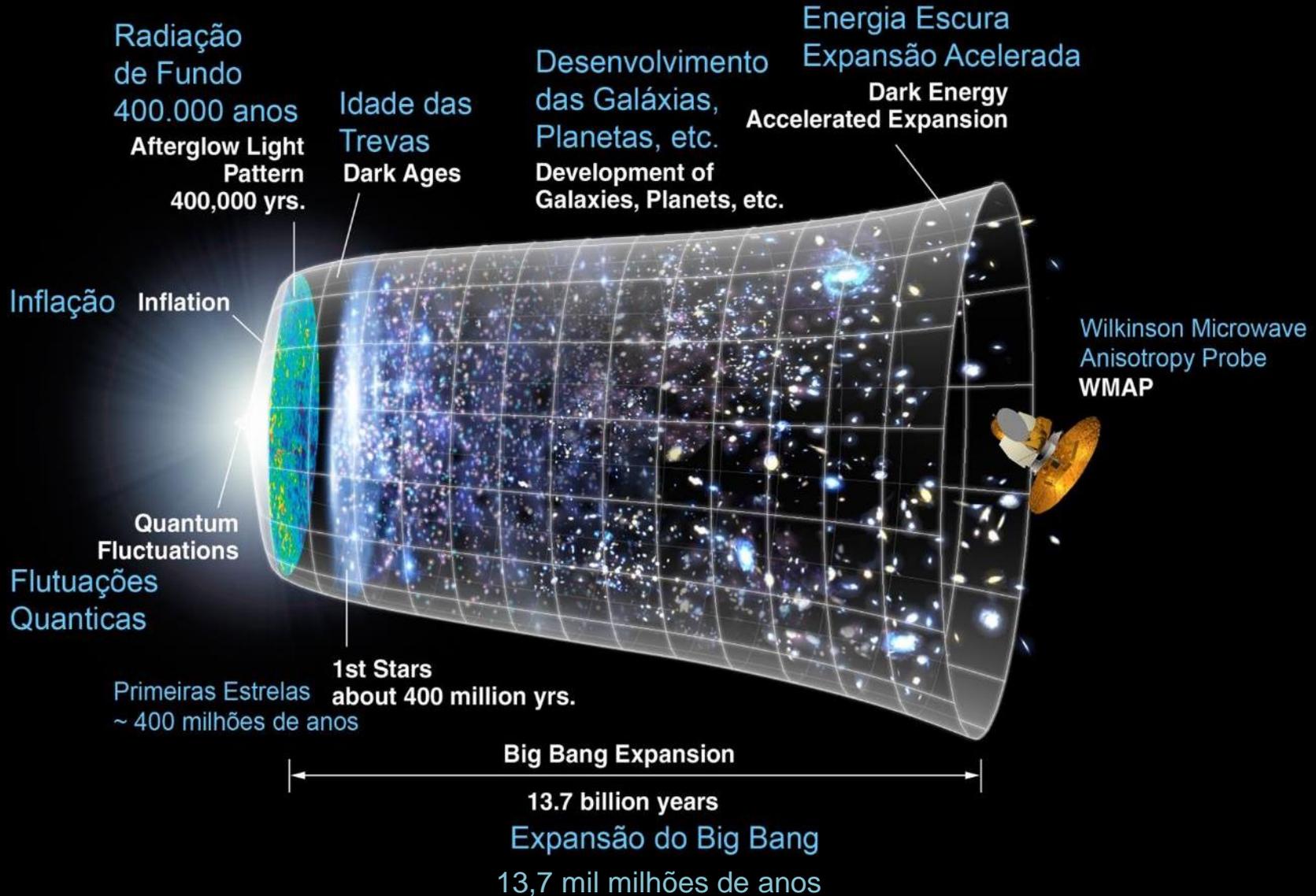
O futuro do Universo depende da matéria nele contida, da massa crítica e da existência de energia escura.



# Forma e destino do Universo

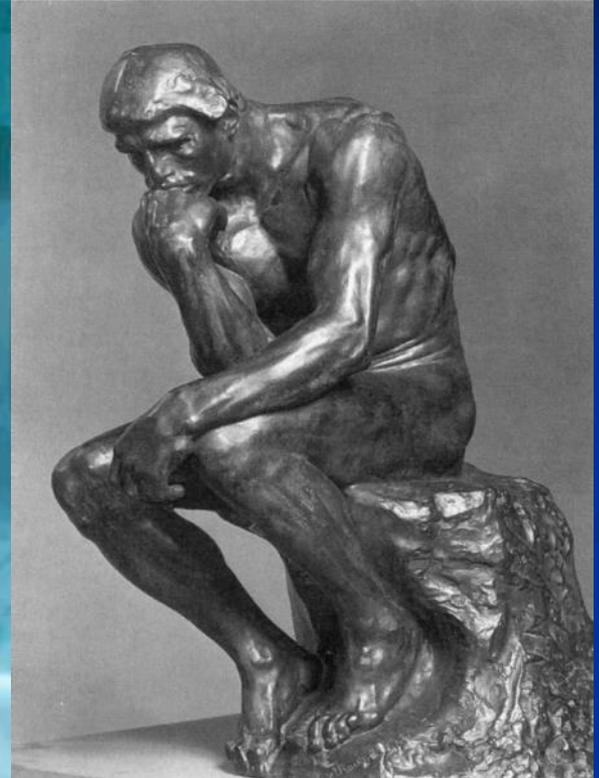


# História do Universo



# Epílogo

Vivemos numa época extraordinária em que podemos pensar no Universo com fundamentos físicos.



É provável que, com o tempo, as nossas ideias sejam modificadas, mas a ciência é assim.

**Muito obrigado  
pela vossa atenção!**

