

A Origem do Universo

Cosmologia

wikipedia: Cosmologia (do grego κοσμολογία, κόσμος="cosmos"/"ordem"/"mundo" + -λογία="discurso"/"estudo") é o ramo da **astronomia** que estuda a **origem, estrutura e evolução** do **Universo** a partir da aplicação de **métodos científicos**.

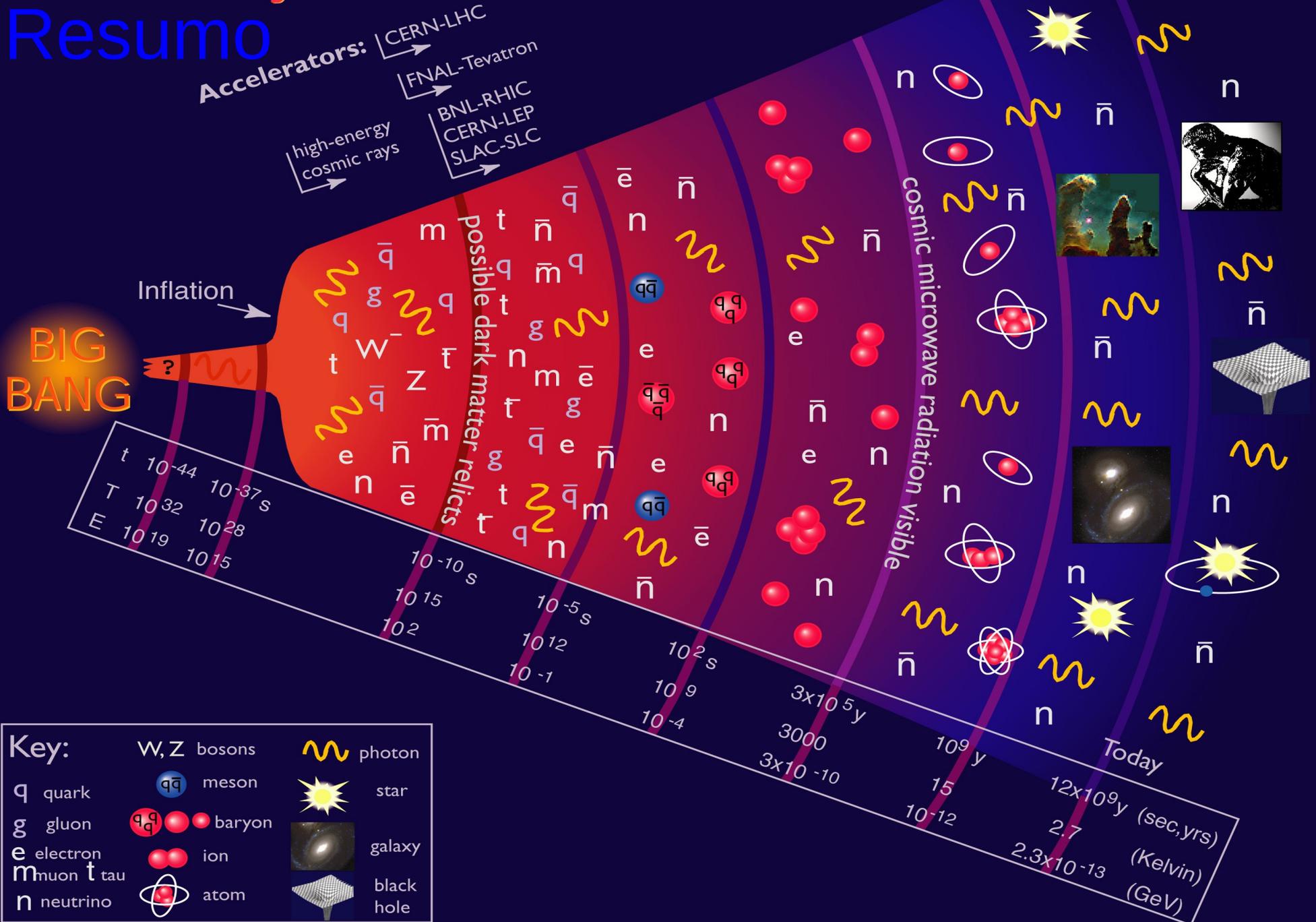
O modelo cosmológico mais aceito hoje em dia é a teoria do **Big Bang**.

Teoria do Big Bang

O termo Big Bang foi criado em 1948 pelos astrofísicos Bondi, Gold, Hoyle para zoar a proposta, de que o Universo teria nascido de uma singularidade inicial.

History of the Universe

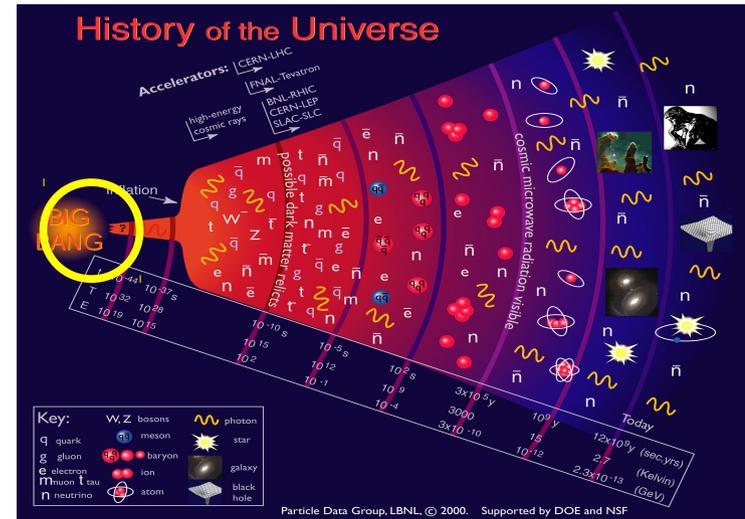
Resumo



Teoria do Big Bang

0:

Big Bang, começo do tempo. O Universo “nasce” de uma singularidade inicial, q. d. um estado de densidade e temperatura infinitas.



Desde então: **Expansão**, **redução** da **temperatura**.

até 10^{-43} sec:

Época de Planck: densidade e temperatura altas demais para ser tratada pela física que conhecemos hoje em dia.

Teoria do Big Bang

10^{-43} s – 10^{-29} s: $T \geq 10^{29}$ K:

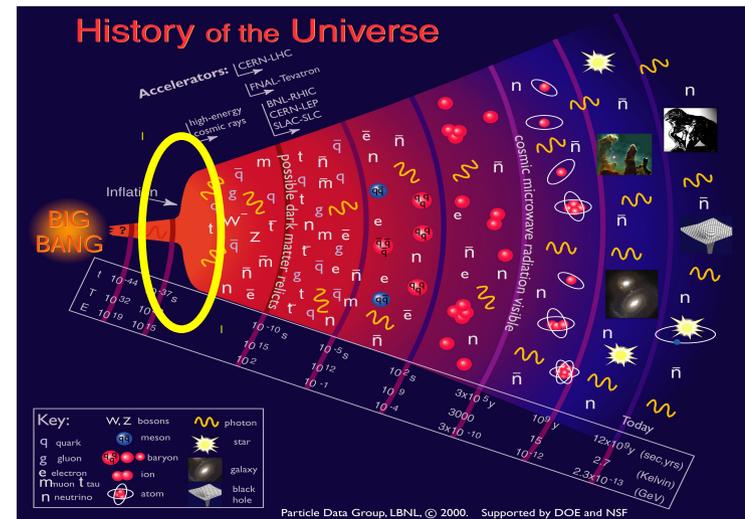
Época da GUT (“Grand Unified Theory”, Grande Teoria Unificada): As forças eletromagnética, forte e fraca eram unificadas em uma.

O Universo consistia de uma

“sopa” primordial de quarks (os constituintes dos prótons e dos nêutrons) e partículas transportadoras de forças (fótons, grávitons, gluons, ...).

Matéria e anti-matéria se formavam e aniquilavam constantemente.

No final: Inflação: aumento exponencial do tamanho do Universo por um fator $\sim 10^{30}$ em $< 10^{-36}$ s.



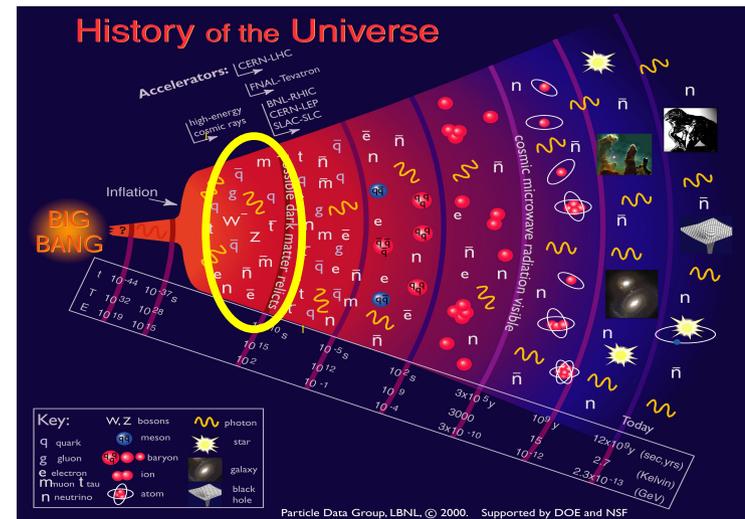
Teoria do Big Bang

10^{-29} s – 10^{-10} s:

10^{29} K $\geq T \geq 10^{15}$ K:

Época eletrofraca: As forças eletromagnética e fraca ainda eram unificadas em uma, a força eletrofraca, enquanto a força forte já era uma força distinta.

A “sopa” primordial continuou.



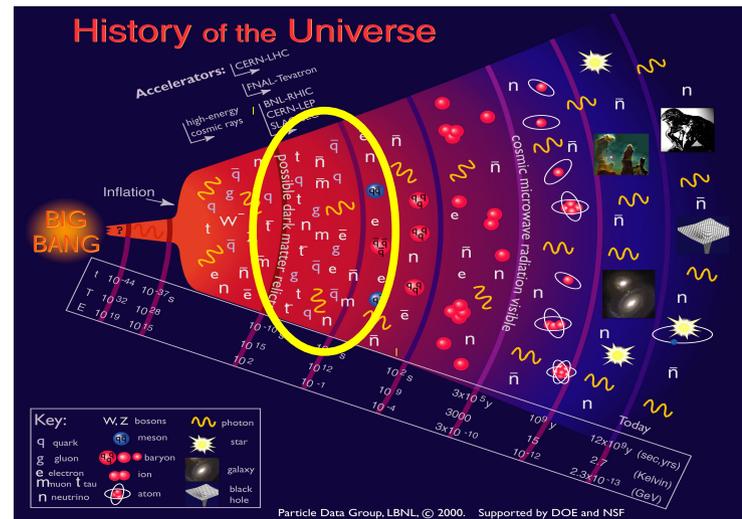
Teoria do Big Bang

10^{-10} s – 1 ms:

10^{15} K $\geq T \geq 10^{12}$ K:

Época das partículas:

As forças eletromagnética e fraca se “desacoplaram”, q. d. se tornaram duas forças distintas.



A “sopa” primordial se tornou prótons e nêutrons (sobrando de um pequeno desequilíbrio entre matéria e anti-matéria $10^9+1 : 10^9$), os mesmos prótons e nêutrons que constituem a matéria hoje.

Teoria do Big Bang

1 ms – ~5 min:

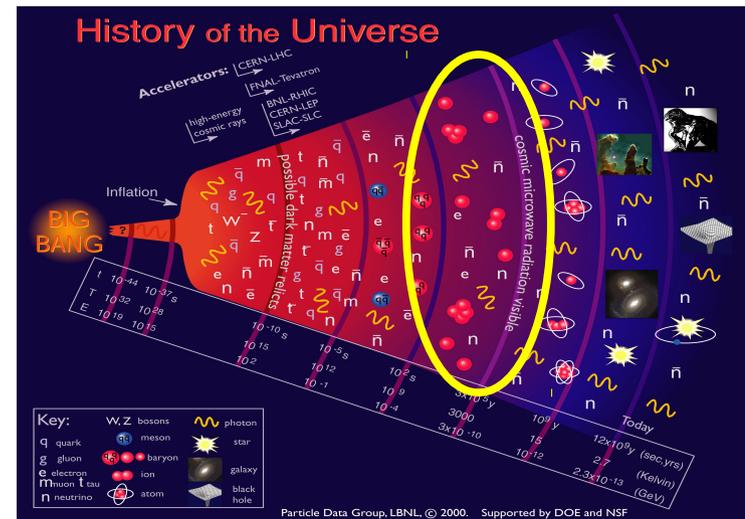
$10^{12} \text{ K} \geq T \geq 10^9 \text{ K}$:

Época da **núcleossíntese**:
Fusão nuclear dos **prótons** e **nêutrons**, formando **núcleos** de **hélio** e um pouquinho de deuterio, lítio e berílio.

=> composição química primordial do Universo:
H (~75 %), **He** (~25 %), D (0.01 %), Li (< 0.01 %).
~98 % dos átomos de hoje

4 min – ~380'000 anos: $10^9 \text{ K} \geq T \geq 3000 \text{ K}$:

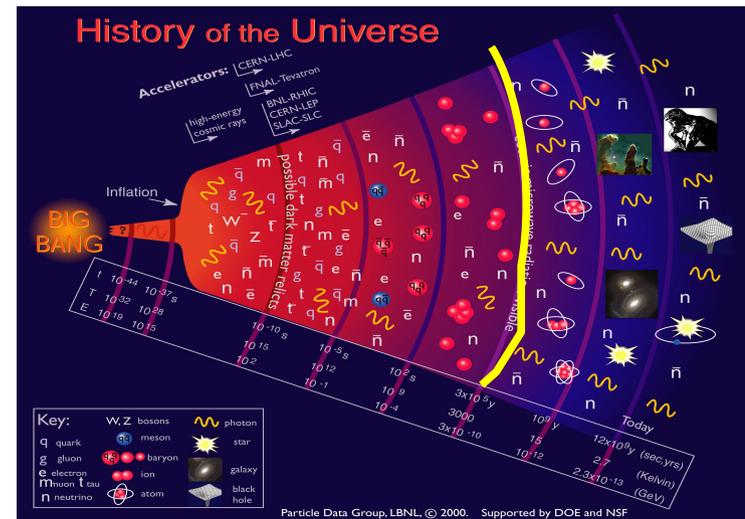
Época dos núcleos: Núcleos e elétrons interagindo constantemente com fótons (“partículas de luz”).



Teoria do Big Bang

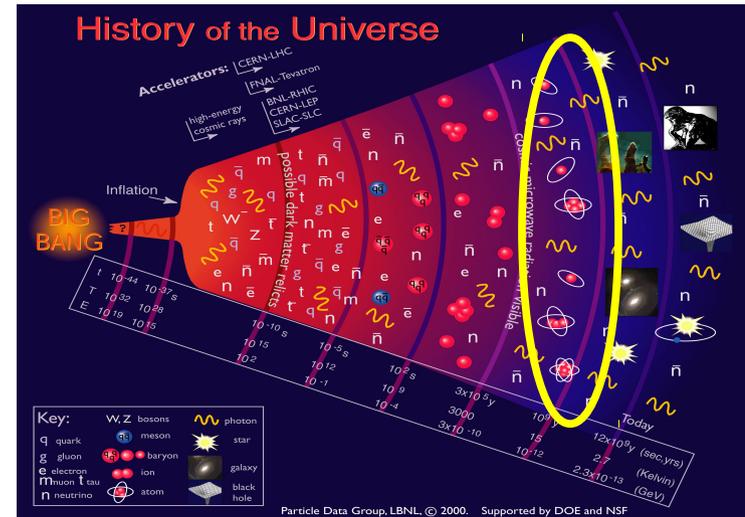
~380'000 anos, $T \sim 3000$ K:
Final da época dos núcleos
“Re-combinação”: **núcleos** e **elétrons** formando **átomos**:
elétricamente neutros
=> não interagem mais com os fótons

=> Desde então, a luz pode viajar livremente pelo espaço, “o Universo se torna transparente”.
A luz emitida pouco antes, na “superfície de última difusão” ainda está permeando o Universo e pode ser observada como **Radiação cósmica de fundo**.



Teoria do Big Bang

A partir das 380'000 anos:
Época dos átomos:
átomos e plasma consistindo
de íons e elétrons.



Teoria do Big Bang

após alguns 100 Mio. de anos:

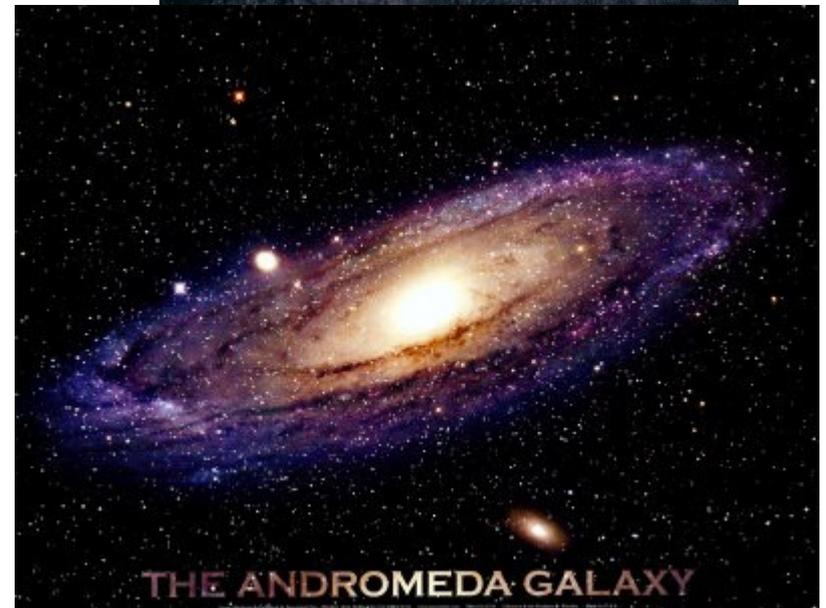
Formação de estrelas e galáxias

A partir ~1 bio. de anos até hoje:
época das galáxias

Galáxias: “ilhas de estrelas”,
p. e. a Via Láctea,

a Galáxia de Andrômeda

e outras



Teoria do Big Bang

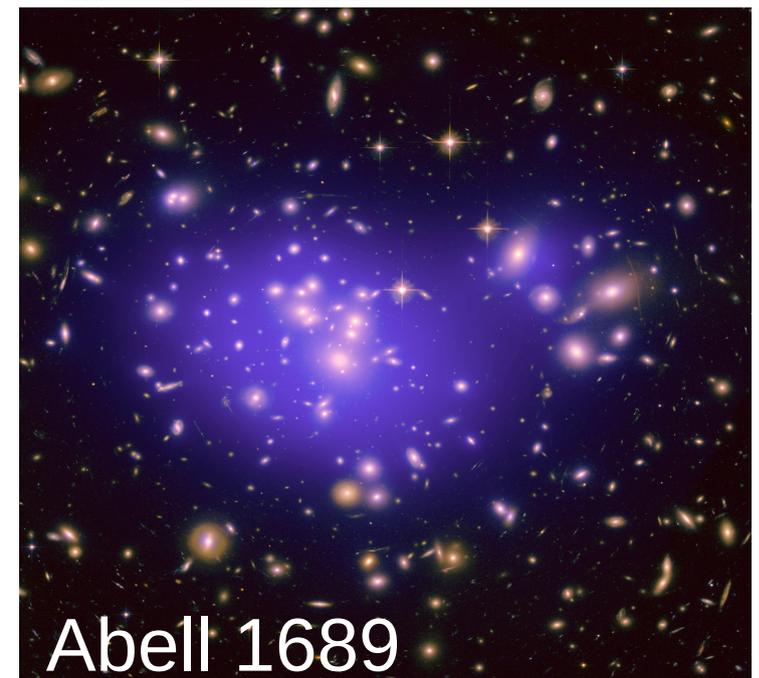
Desde então:

Galáxias fusionando para formar **galáxias maiores**,

Aglomerados de galáxias,

e **Super-Aglomerados**, que são “aglomerados de aglomerados”.

=> As estruturas se formam “**de baixo para cima**” (bottom-up).

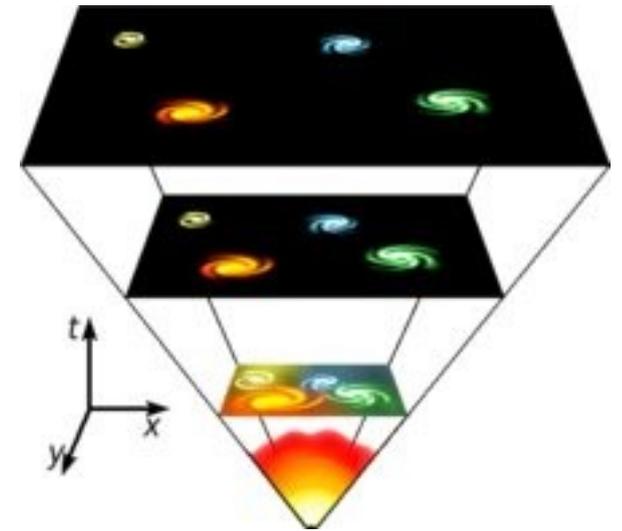


Abell 1689

Teoria do Big Bang

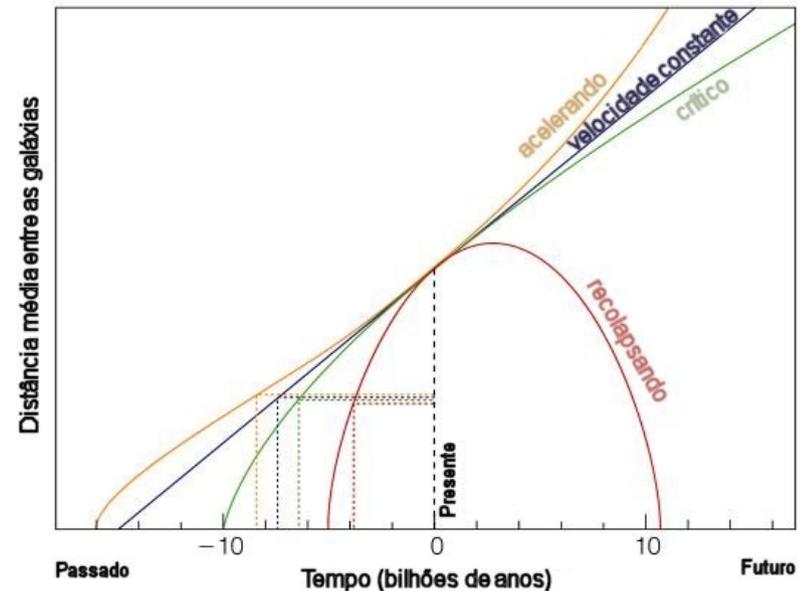
Enquanto isto, o Universo continua expandindo, q. d. as **distâncias** entre as galáxias e entre os aglomerados de galáxias **umentam**.

As próprias galáxias são sistemas gravitacionalmente ligadas, os seus **tamanhos não aumentam**.



Teoria do Big Bang

Medindo a **taxa** desta **expansão**, pode-se estimar o tempo decorrido desde que o Universo tinha tamanho 0, ou seja, o tempo desde o Big Bang, ou seja, a **Idade do Universo**.



As medidas mais recentes indicam uma idade de **13,7 bilhões de anos** ($13,7 \cdot 10^9$ a).

Teoria do Big Bang

Esta expansão vai continuar por sempre?

Isto depende do balanço entre vários fatores:

- A **taxa** da **expansão**.

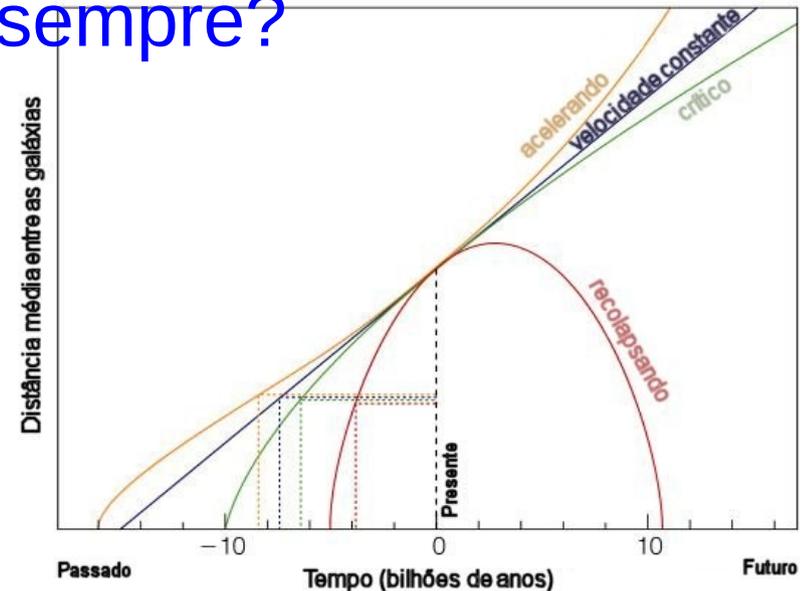
- A **densidade** da **matéria**:

A atração gravitacional da matéria **freia** a expansão.

A partir de uma certa densidade, a **densidade crítica**, a gravitação consegue parar e reverter a expansão, resultando no **recolapso** do Universo.

- A “**energia escura**”, relacionada à constante cosmológica Λ , uma grandeza que surge da teoria da relatividade, e que tende a **acelerar** a expansão.

Até recentemente, os cientistas acreditavam que Λ era 0.



Teoria do Big Bang

Esta expansão vai continuar por sempre?

Medidas recentes (=> mais pra frente nesta aula) indicam que:

- A **matéria** no Universo **não** chega nem perto da **densidade** necessária para parar e reverter a expansão.

A matéria “comum” (átomos), também chamada de **bariônica**, equivale a apenas **4 %** da **densidade crítica**.

Além dela, parece existir uma matéria invisível, de outra natureza (p. e. partículas elementares ainda não detectadas), em quantidade **5 ou 6 vezes maior** do que a bariônica, a **matéria escura** não-bariônica.

Juntas, as matérias bariônica e escura não-bariônica equivalem a apenas da ordem de **30 %** da **densidade crítica**.

=> **O Universo continuará expandindo**

Teoria do Big Bang

Esta expansão vai continuar por sempre?

- A **energia escura** não é nada zero. Ela é da ordem de **70 %** da **densidade crítica**.

=> O Universo não só continuará expandindo, a **expansão** está **acelerando!**

Juntos, as matérias bariônica e escura não-bariônica e a energia escura equivalem à densidade crítica.

=> **96 % do Universo são de natureza desconhecida !!!**

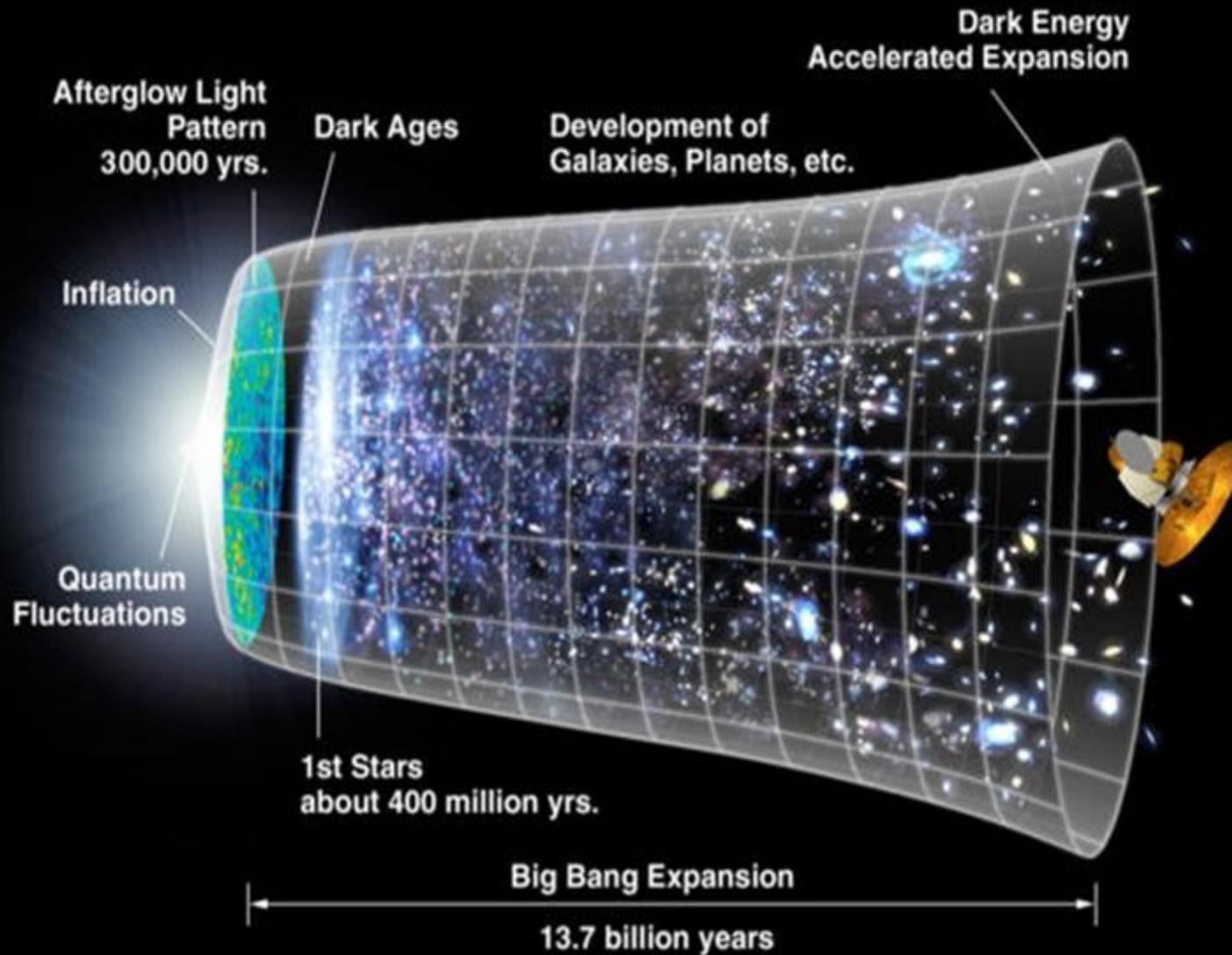
quer dizer: matéria escura e energia escura

O **modelo cosmológico** que contém todos estes ingredientes se chama **Λ CDM** (do inglês “ Λ Cold Dark Matter”), ou **modelo padrão**.

Composição do Universo



Resumo



Isto tudo parece papo de maluco.

De onde tiraram isto?

Evidências

Paradoxo de Olbers (1823)

Se o Universo é infinito e existe desde sempre, então em qualquer direção que se olha deveria ter uma estrela.

=> O céu deveria estar tão brilhante quanto a superfície de uma estrela.

Como o **céu** de noite é **escura**, um dos dois (ou ambos), o tamanho ou a idade do Universo, deve ser **finito** (neste caso a idade).

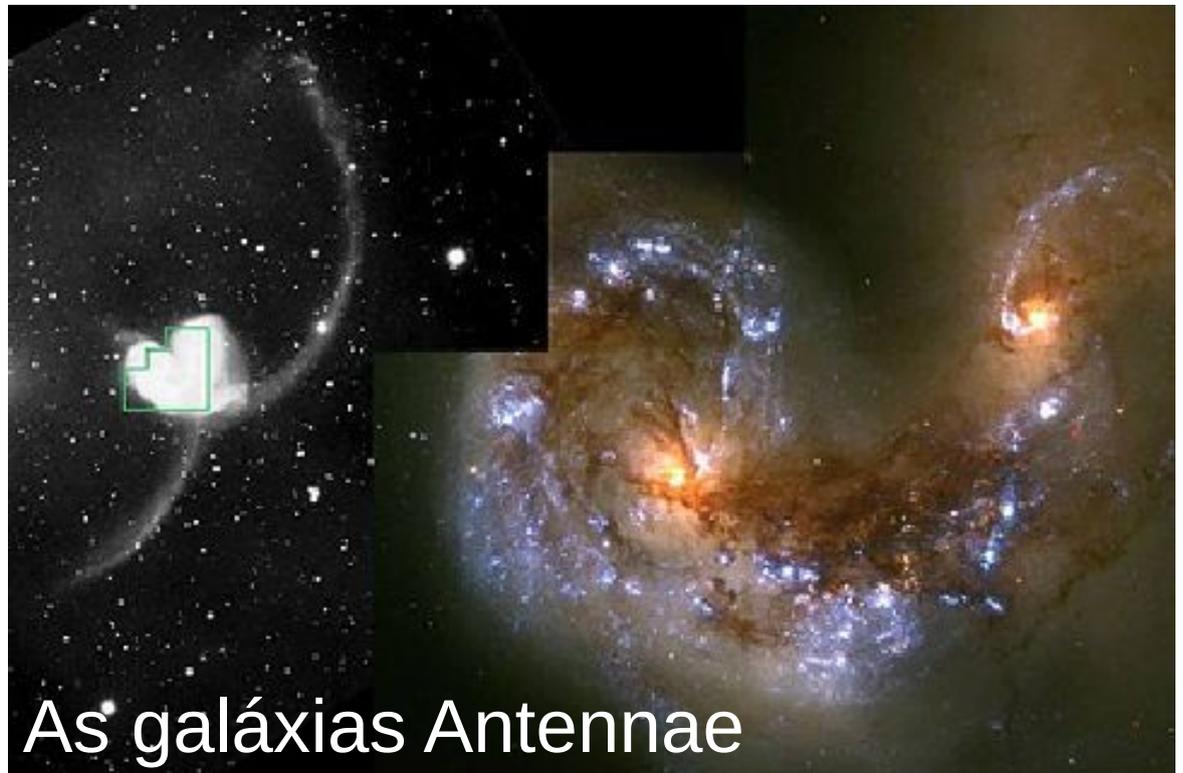
=> Prova muito simples da **idade finita do Universo**.

Evidências

Evidência para o fato, de que vivemos numa época, em que galáxias estão fusionando, ...

Estes processos estão sendo **observados**

- Aqui perto:
- A Via Láctea está engolindo as galáxias anãs na vizinhança
- A Via Láctea e a galáxia de Andrômeda estão se aproximando e colidirão em poucas bilhões de anos
- e na distância:
- p. e. nas galáxias Antennae

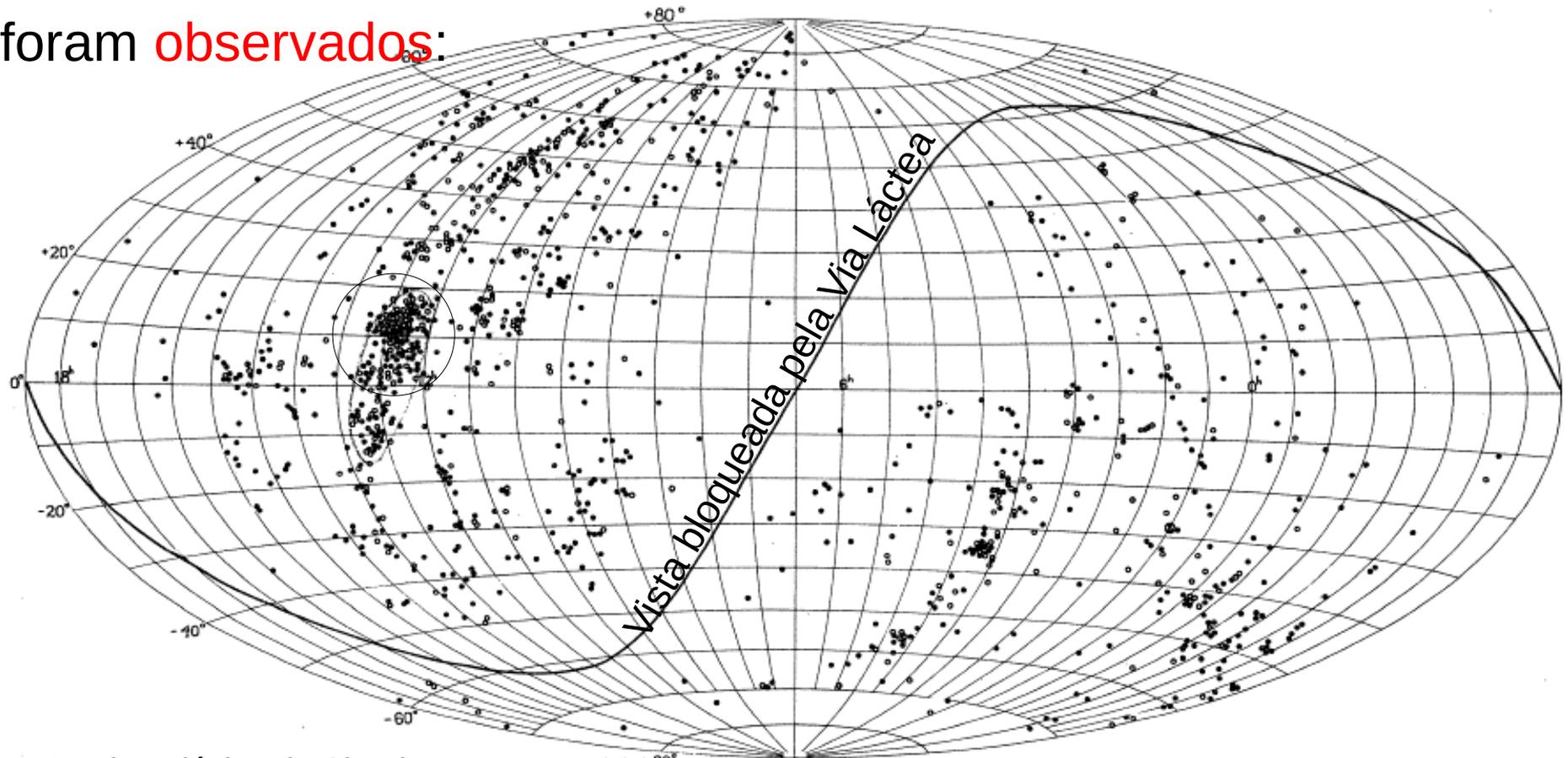


As galáxias Antennae

Evidências

..., para a existência de aglomerados de galáxias, ...

foram **observados**:

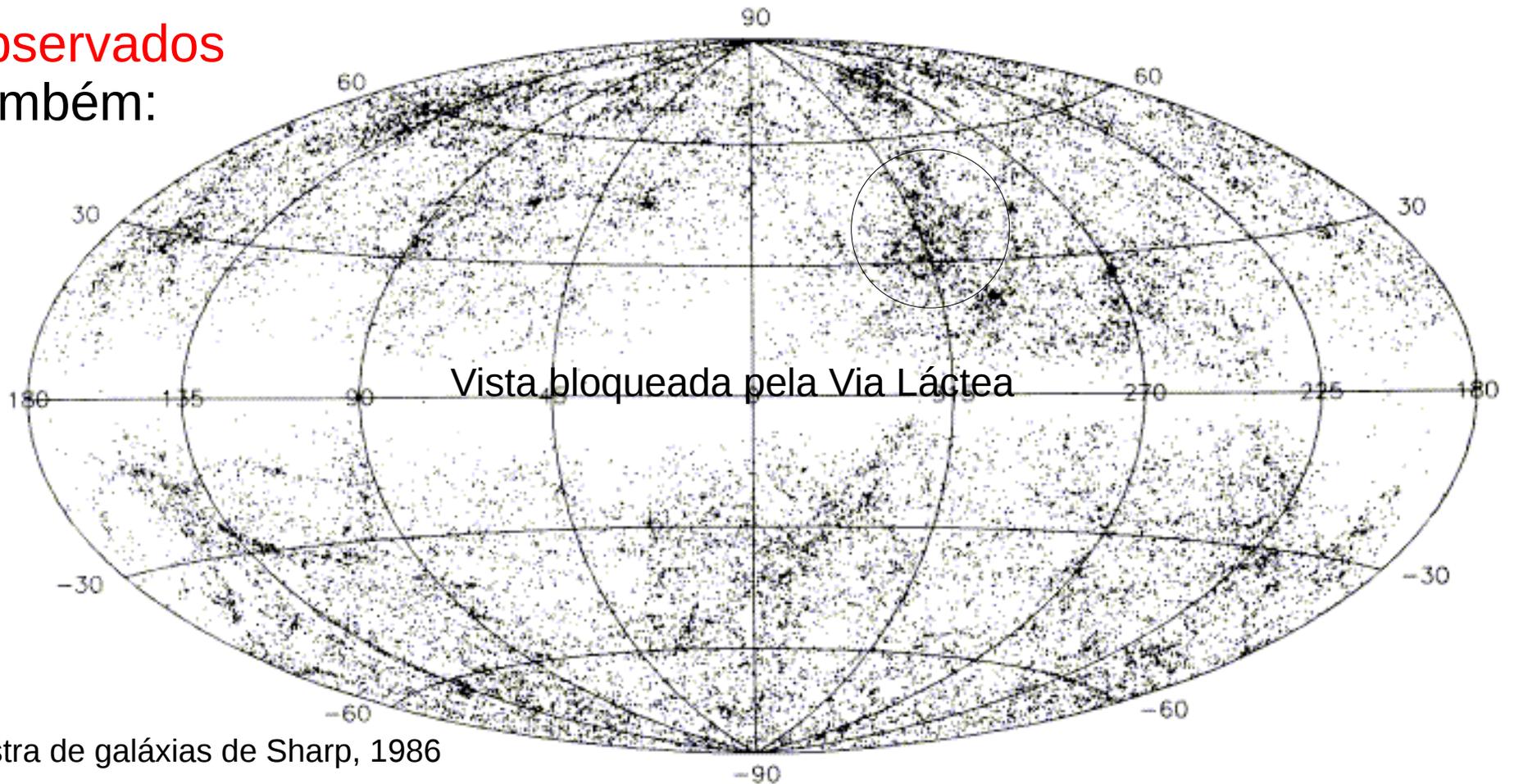


Amostra de galáxias de Shapley e Ames, 1932^{80°}

Evidências

... ,e de Super-Aglomerados

observados
também:



Evidências

O Redshift

Os **espectros** de **galáxias distantes** são **deslocados para comprimentos de onda maiores**, ou seja, os comprimentos de onda são esticados pela **expansão do Universo** por um fator $1+z$, onde z é chamado de **redshift** (“deslocamento para o vermelho”):

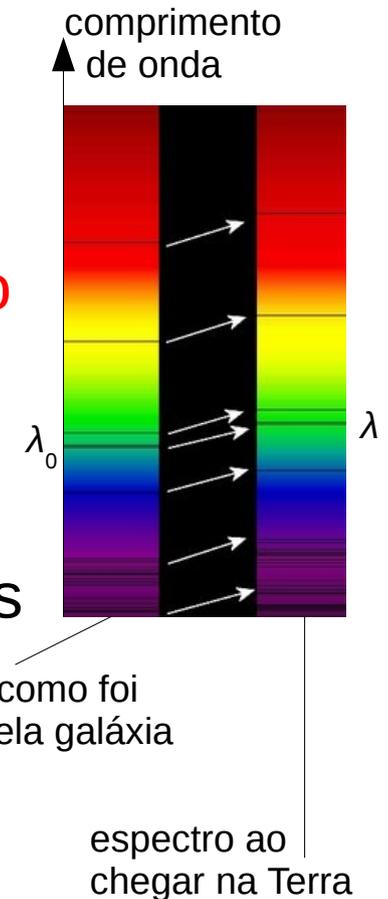
$$\lambda = (1+z) \lambda_0$$

Uma galáxia com redshift z está se **afastando** de nós com velocidade

$$v = c \cdot z$$

O redshift é um fenômeno similar ao efeito Doppler, mas não é exatamente a mesma coisa.

=> Prova para a **expansão do Universo!**



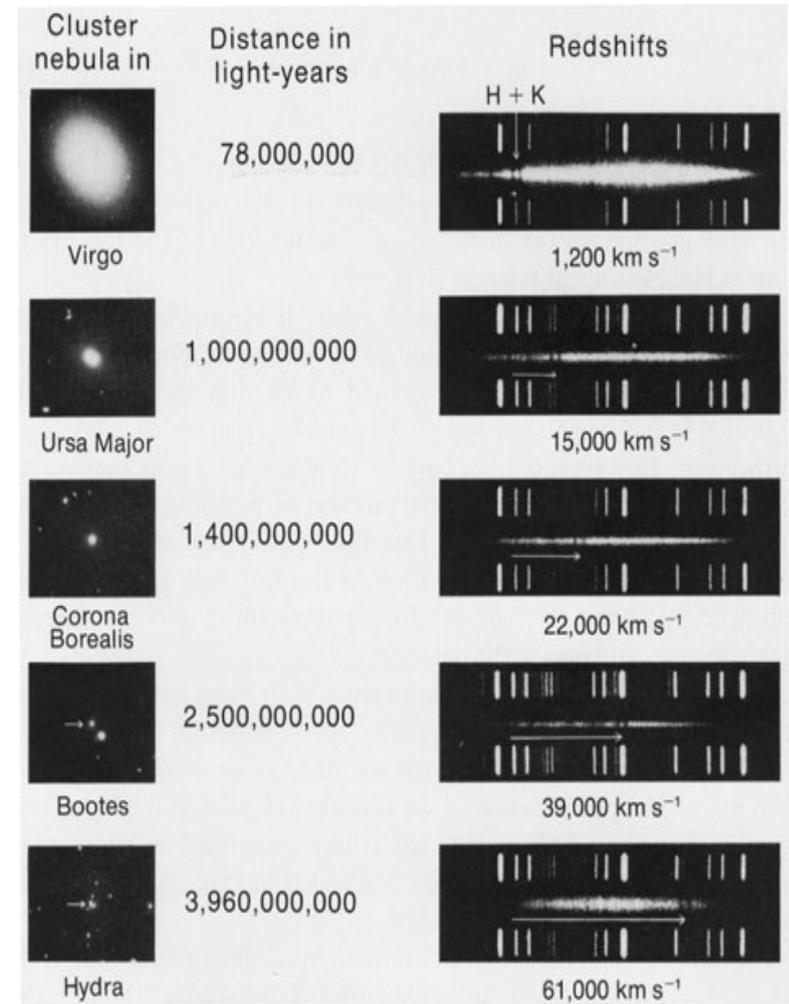
Evidências

O Redshift

Como a luz de galáxias distantes leva **tempo** para chegar em nós, vemos os objetos com **redshifts altos** como eles eram no **passado**, quando a **idade do Universo** era **menor**, e em **distâncias maiores**.

=> O **redshift** é uma medida para a **idade do Universo** na época da emissão da luz.

Quanto **maior** o **redshift**, tanto **menor** a **idade do Universo**.



Evidências

Lei de Hubble (1929):

Esta **velocidade** de **recessão** de uma galáxia distante é **proporcional** à **distância** entre nós e a galáxia:

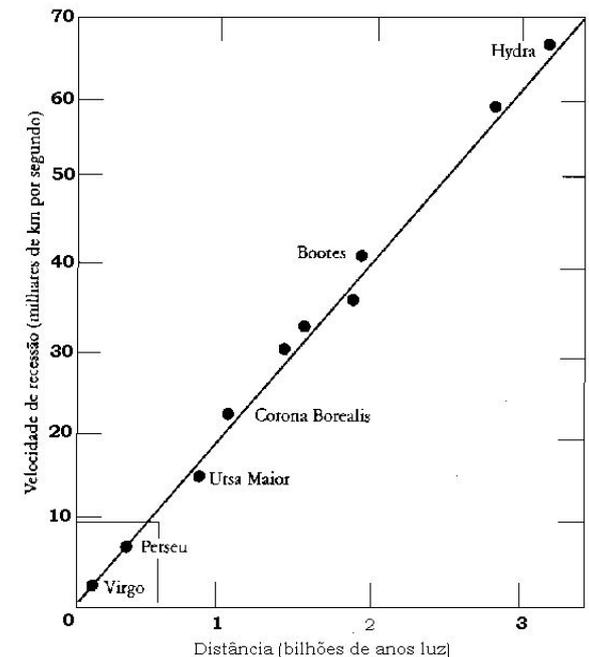
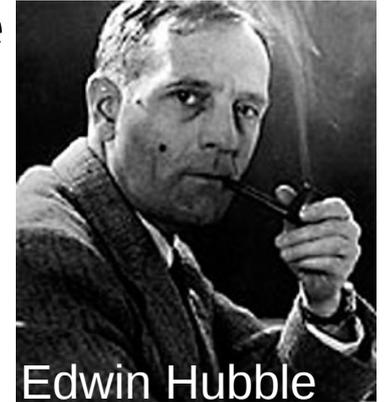
$$v = H_0 \cdot d$$

H_0 : constante de Hubble, medida para a **taxa da expansão** (inclinação da reta no gráfico).

O valor da constante de Hubble foi um assunto controverso por décadas, mas hoje as opiniões convergiram para um valor de

$\sim 70 \text{ km}/(\text{s} \cdot \text{Mpc})$,

1 pc (“parsec”) = $30,857 \cdot 10^{12} \text{ km}$
= 3,26156 anos-luz



Evidências

Lei de Hubble (1929):

Além de provar a expansão do Universo, a Lei de Hubble nós fornece um **método para medir a distância** de uma galáxia:

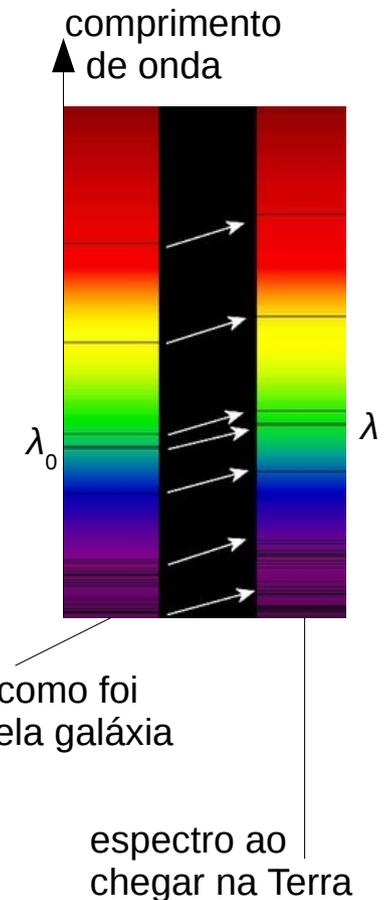
medir z através de uma linha espectral conhecida:

$$z = \lambda/\lambda_0 - 1$$

$$\Rightarrow \text{Distância } d = v/H_0 = c \cdot z/H_0$$

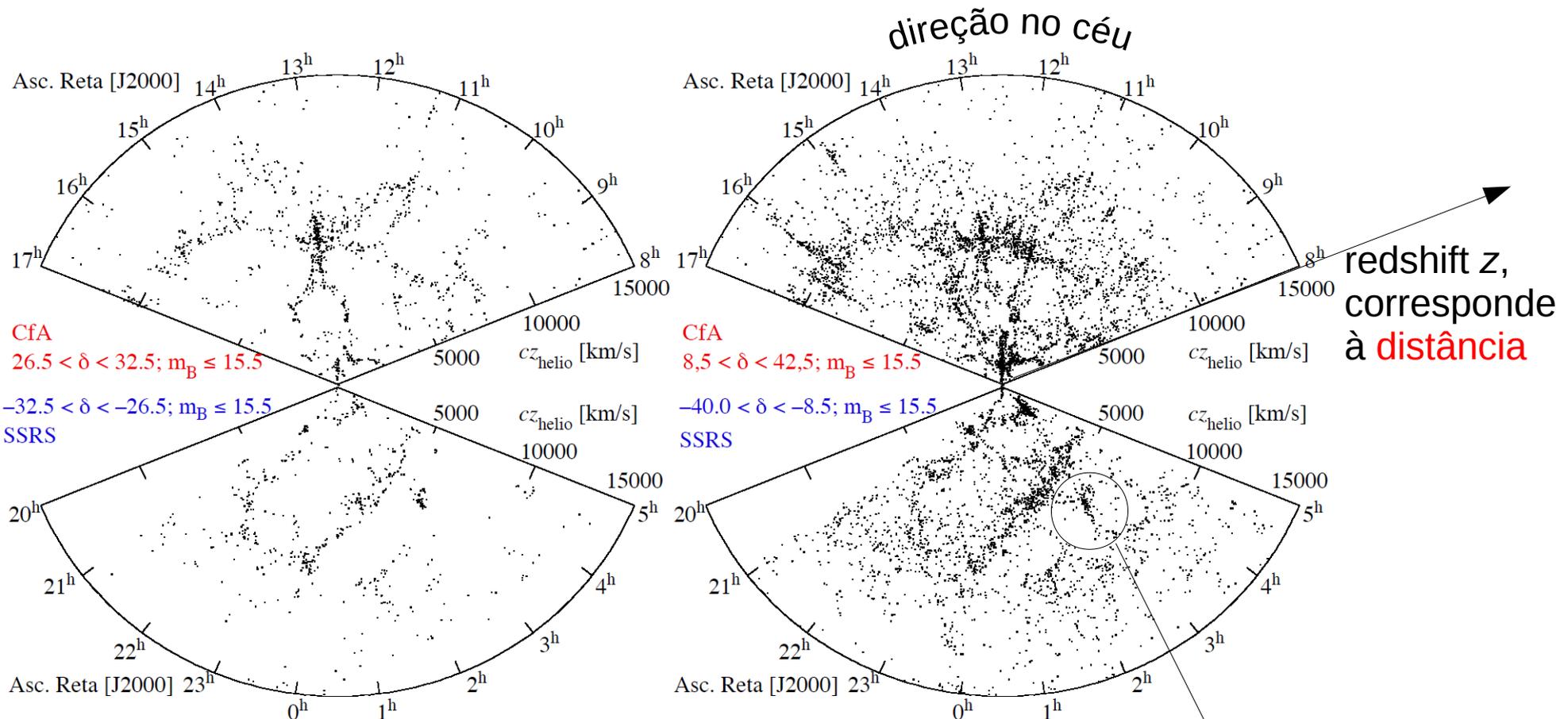
Isto foi feito para milhões de galáxias!

\Rightarrow Amostras de redshifts



Evidências

Amostras de redshifts

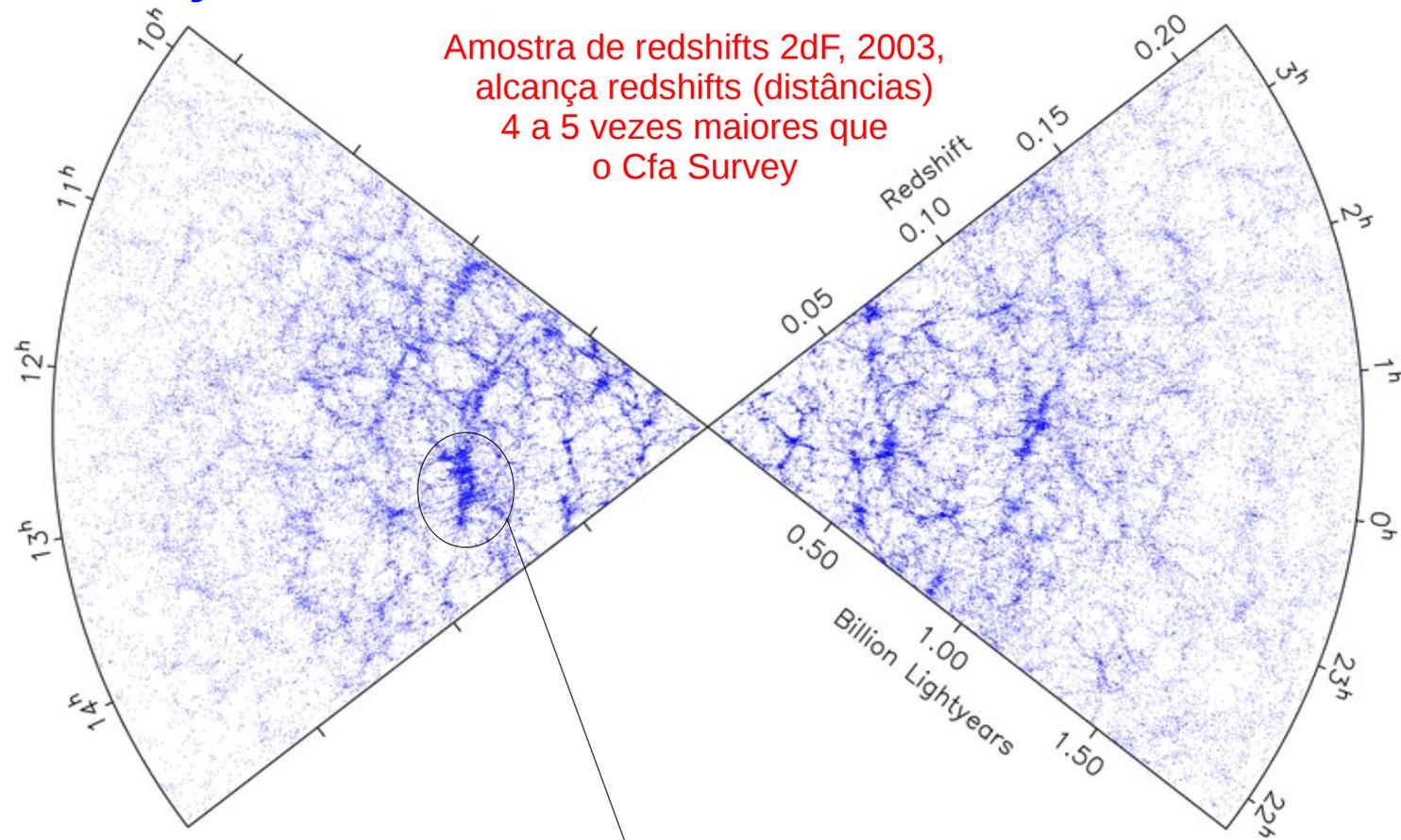


Cfa Survey, 1985

Nas amostras de redshifts, também se vê os **aglomerados** de galáxias, ...

Evidências

Surveys de redshifts



Evidências

Surveys de redshifts

Resultados: Galáxias agrupados em:

- **Grupos**: ≤ 50 galáxias, Raios ~ 1 Mpc
Exemplo: Grupo Local
- **Aglomerados**: 50 a 1000 galáxias, Raios = 1 a 5 Mpc
Maiores estruturas gravitacionalmente ligadas
- **Super-aglomerados**: “Aglomerados de aglomerados”:
Raios: dezenas de Mpc

Em escalas ≥ 100 Mpc: Universo parece **homogêneo**

Radiação Cósmica de Fundo

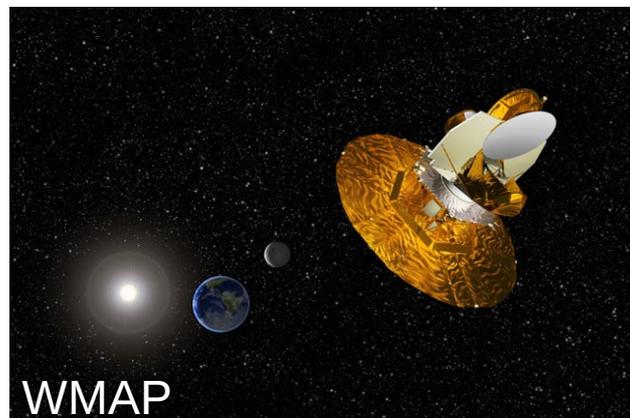
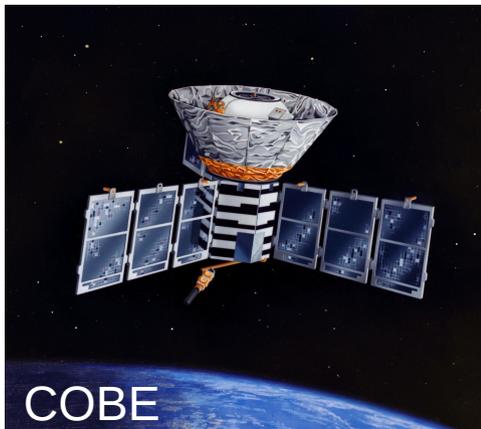
- **Emitida** na época da “**re-combinação**” (formação de átomos a partir de núcleos e elétrons), quando o Universo tinha ~**380'000 anos** de idade
- **Prevista** por Гамов (Gamov), Alpher e Hermann em **1948**
- **Descoberta** por acaso por Penzias & Wilson (**1965**)
- Explicada por Burke, Dicke e Peebles no mesmo ano =>  Prêmio Nobel para Penzias & Wilson (1978)



Radiação Cósmica de Fundo

Estudada pelos satélites

- **COBE**: lançado em 1989, resultados 1992
- **WMAP**: lançado em 2001, resultados 2003/2006
- **Planck**: lançado em 2009



Radiação Cósmica de Fundo

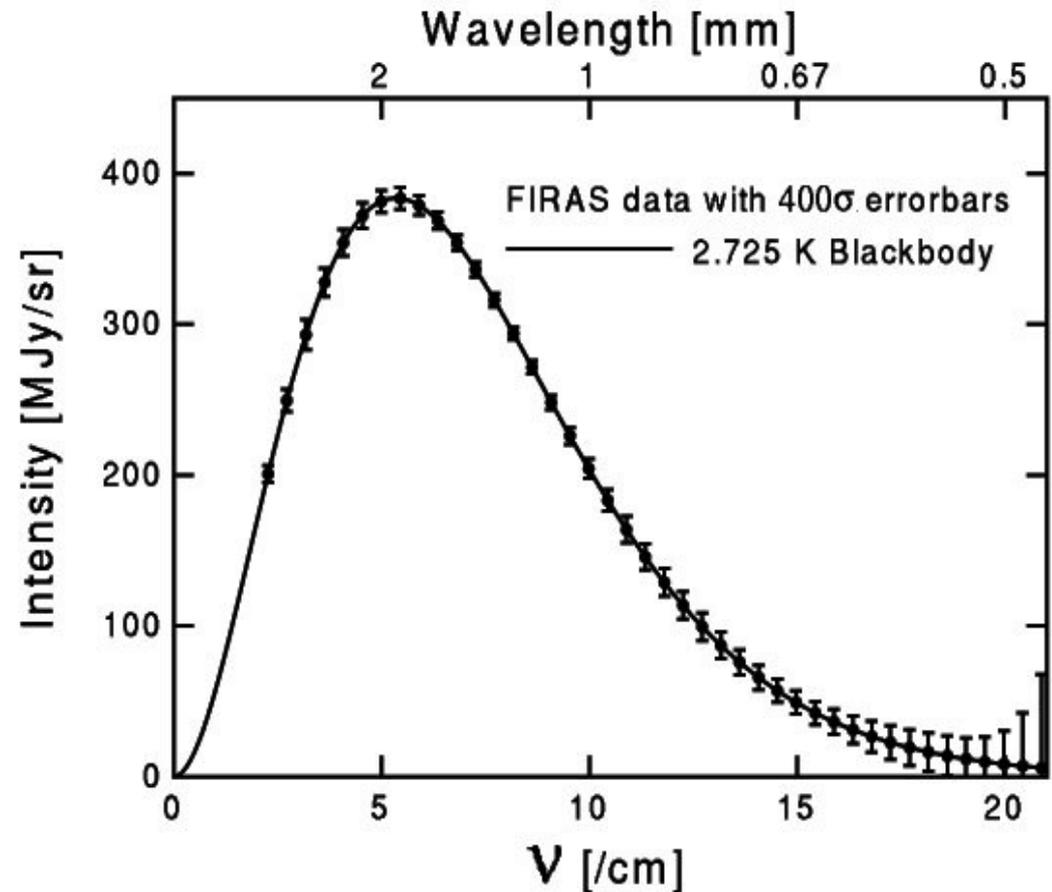
Espectro de corpo negro:

Na emissão (**380'000 anos**):
~**3000 K**

desde então:
comprimentos de onda
sofreram um **redshift**
(foram “esticados”)
por um fator ~1000
pela **expansão do Universo**.

=> hoje: **2.725 K**

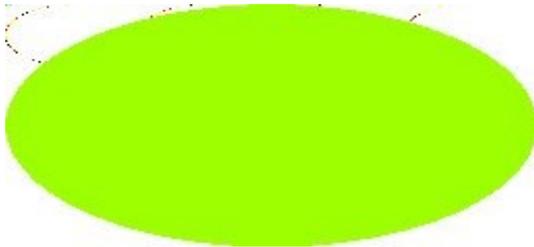
=> **Prova, que a “re-combinação” aconteceu, ou seja, uma evidência experimental do Big Bang, e mais uma prova pra expansão do Universo.**



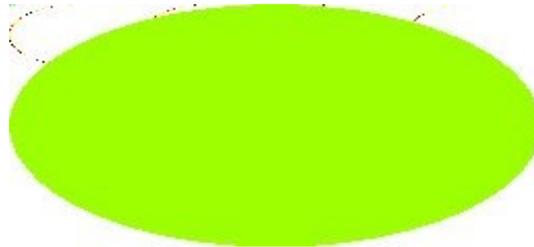
Radiação Cósmica de Fundo

Mapas de temperatura da Radiação de Fundo do céu

Dados COBE



WMAP

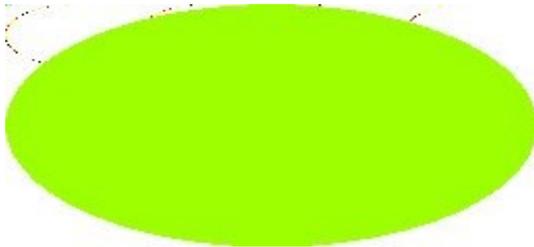


- Extremamente **homogênea**:
Azul 0 K
Vermelho 4 K

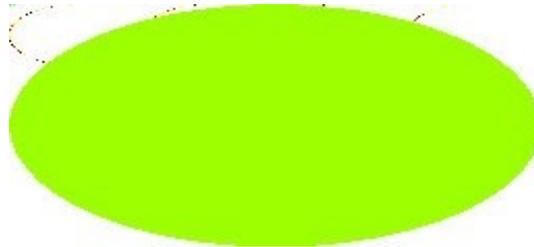
Radiação Cósmica de Fundo

Mapas de temperatura da Radiação de Fundo do céu

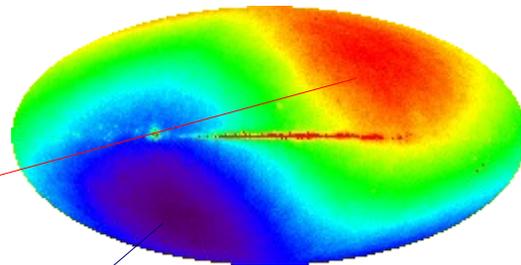
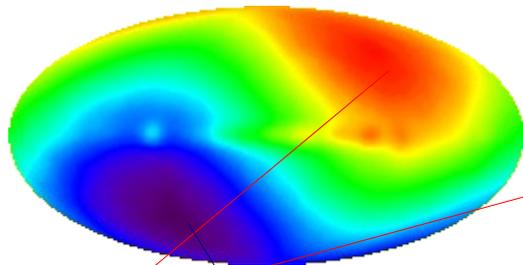
Dados COBE



WMAP



- Extremamente **homogênea**:
Azul 0 K
Vermelho 4 K



Numa escala mais fina:
Azul 2.721 K
Vermelho 2.729 K
aparece o momento dipolo
devido ao **movimento do Sol**

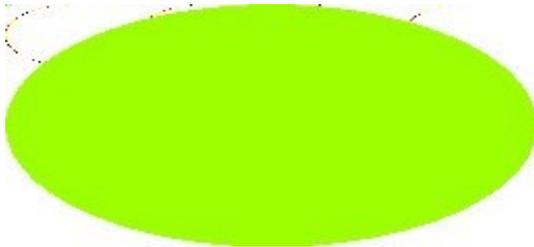
O Sol está se movimentando **nesta direção** em relação ao referencial da radiação cósmica
=> efeito Doppler: detectamos a radiação com **comprimentos de onda mais curtos**
=> medimos uma **temperatura** da radiação **mais alta**

O Sol está indo pra **direção oposta** desta direção
=> **comprimentos de onda mais compridos** => **temperatura mais baixa**

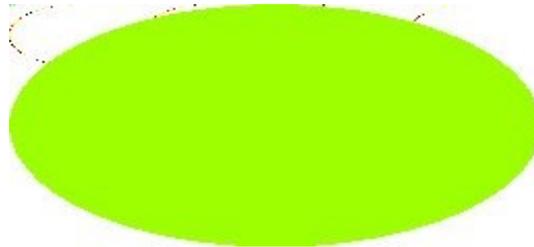
Radiação Cós mica de Fundo

Mapas de temperatura da Radiação de Fundo do céu

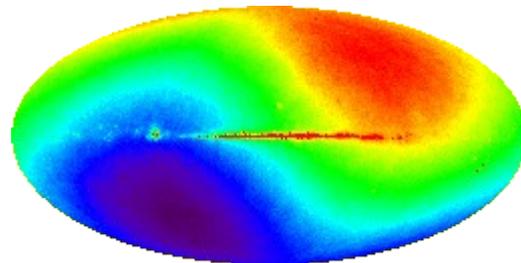
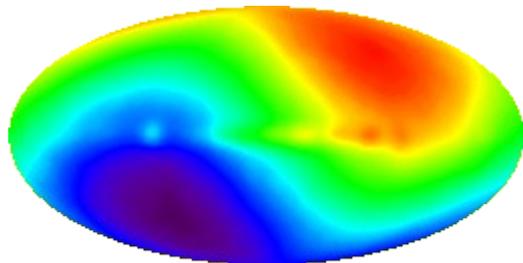
Dados COBE



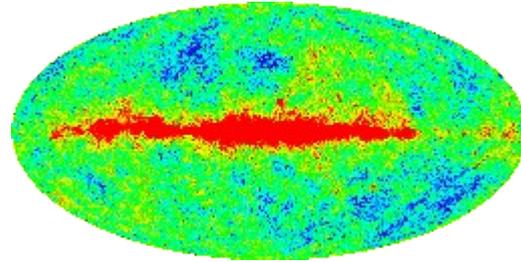
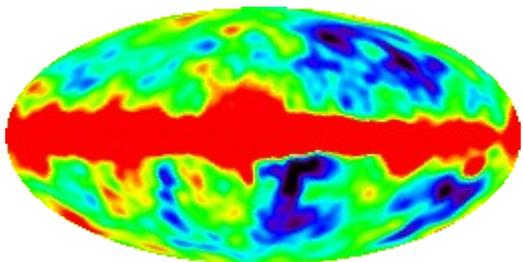
WMAP



- Extremamente **homogênea**:
Azul 0 K
Vermelho 4 K



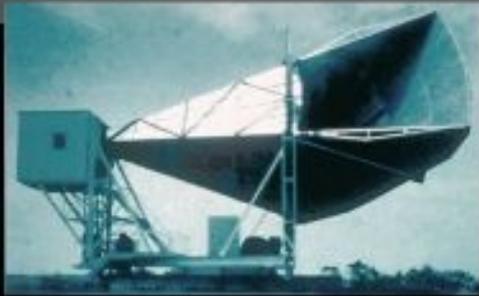
Numa escala mais fina:
Azul 2.721 K
Vermelho 2.729 K
aparece o momento dipolo
devido ao **movimento do Sol**



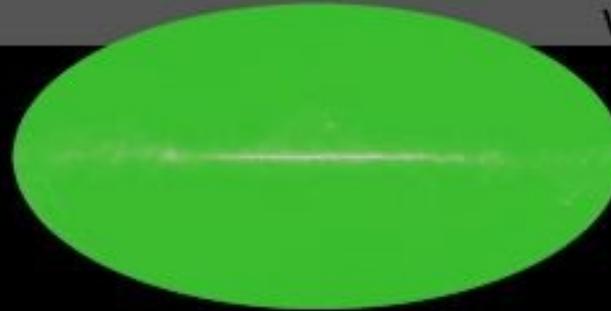
Depois de subtraído o efeito do movimento do Sol:
As regiões azuis são **0.0002 K** mais frias que as vermelhas.
A região mais quente no meio é a contribuição da **Via Láctea**

Radiação Cósmica de Fundo

1965



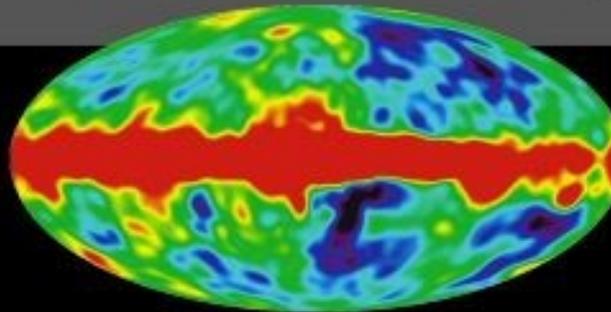
Penzias and
Wilson



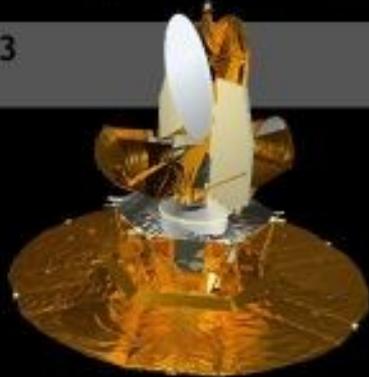
1992



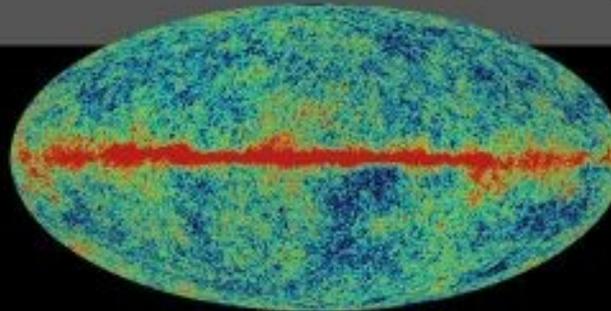
COBE



2003



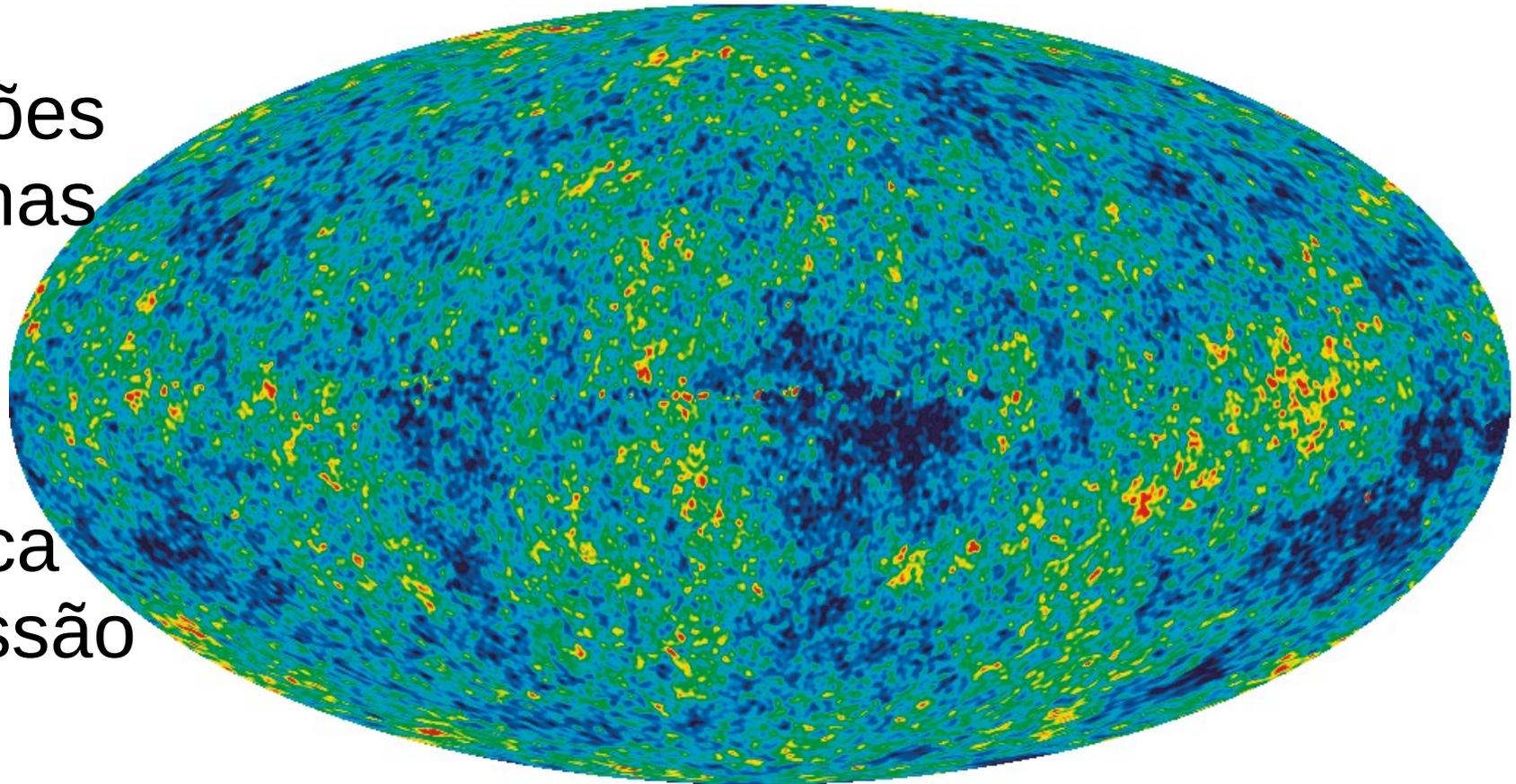
WMAP



Radiação Cós mica de Fundo

Após subtraído a contribuição da Via Láctea:

As regiões
vermelhas
eram
mais
densas
na época
da emissão

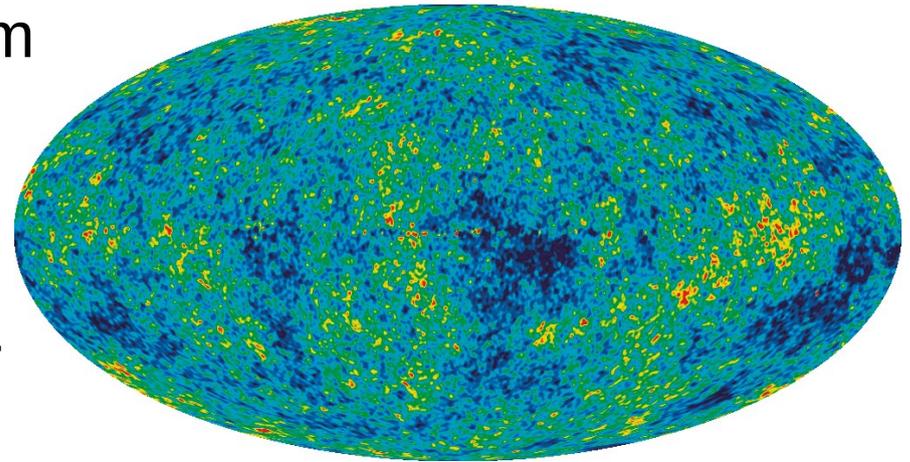


=> Mapa da **densidade** da **matéria visível** do Universo 380'000 anos após o Big Bang

Radiação Cósmica de Fundo

As partes **vermelhas** são da ordem de **uma parte em 100'000 mais densas** que as partes verdes.

Pode se calcular como estas regiões mais densas deveriam ter evoluído até hoje, por colapso gravitacional.



=> As sobredensidades da matéria visível **não** eram **suficientes** para **formar** as **estruturas observadas hoje** (galáxias, **aglomerados de galáxias**, ...).

Elas deviam ter sido uns 1000 vezes maiores.

=> Deve ter tido **mais matéria** que a **visível**.

=> **Evidência para a Matéria escura.**

Radiação Cósmica de Fundo

Espectro Angular da Radiação Cósmica de Fundo

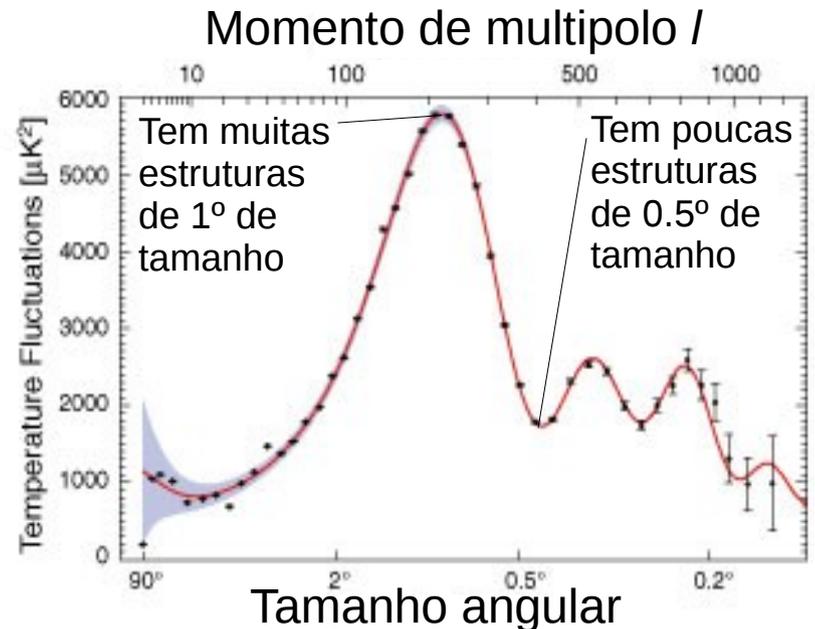
Distribuição dos **tamanhos** das **estruturas** na radiação de fundo, ou seja, das estruturas ~380'000 anos depois do Big Bang.

Cálculos complicados mostram, que a **posição do primeiro pico**, 1° , é uma medida para a **densidade total** (matéria visível + matéria escura + energia escura) no Universo.

=> **A densidade total é igual à densidade crítica.**

Como já tínhamos determinado a densidade da matéria visível + escura, ~28 % da densidade crítica, podemos calcular a **densidade da energia escura**: ~72 % da densidade crítica.

=> **Evidência para a energia escura.**



Radiação Cósmica de Fundo

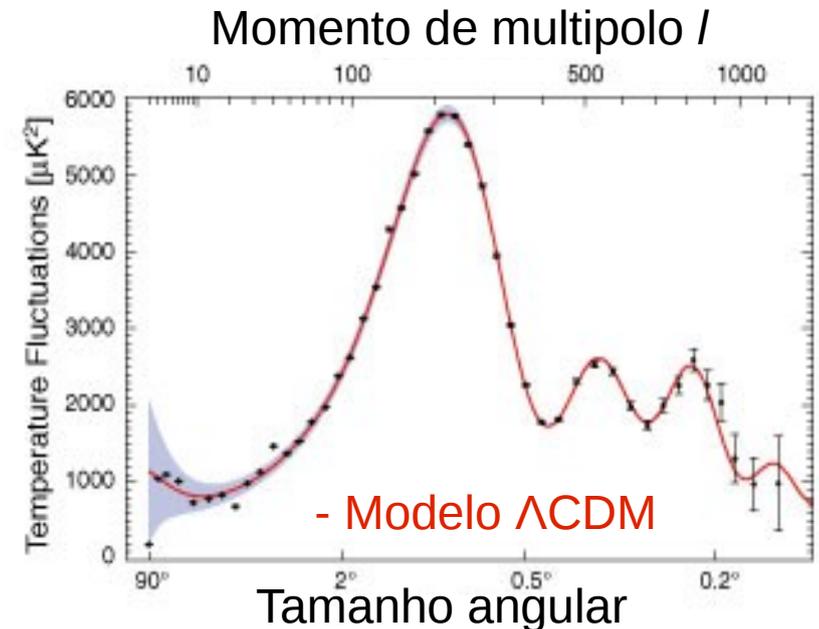
Espectro Angular da Radiação Cósmica de Fundo

Os mesmos cálculos complicados conseguem prever a **forma exata** do **espectro angular** para diferentes **modelos cosmológicos**.

O espectro angular da radiação cósmica de fundo **bate exatamente** com o espectro previsto para o **modelo Λ CDM**:

Matéria visível compõe 4 %, matéria escura, 24 % e energia escura, 72 % da densidade crítica.

=> **Prova para todo o modelo Λ CDM.**



Outras Evidências para a Matéria Escura

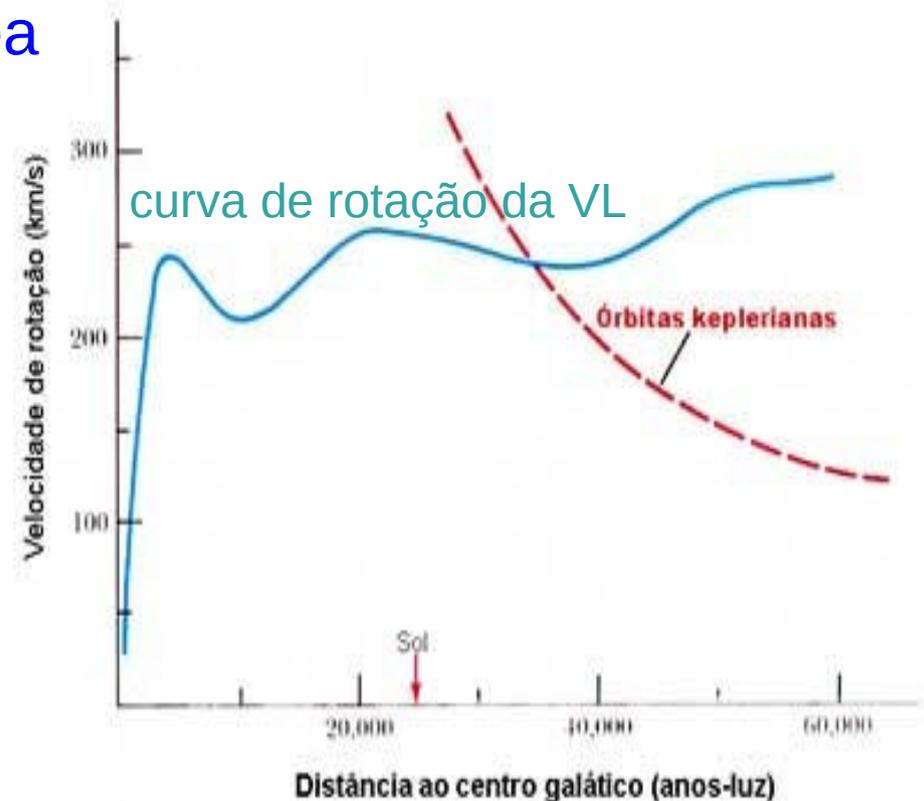
Dinâmica de estrelas da Via Láctea

As **estrelas** da Via Láctea, p. e. o Sol, se **movimentam** em **órbitas circulares** em torno do **centro Galáctico**.

A **velocidade de rotação** de uma estrela depende da **massa** da Via Láctea contida no espaço **no interior da sua órbita**.

As **velocidades medidas** indicam que tem **mais massa** na Via Láctea, do que aquela devida aos **componentes observados** (estrelas, gás interestelar, ...).

=> **Outra evidência para a matéria escura.**



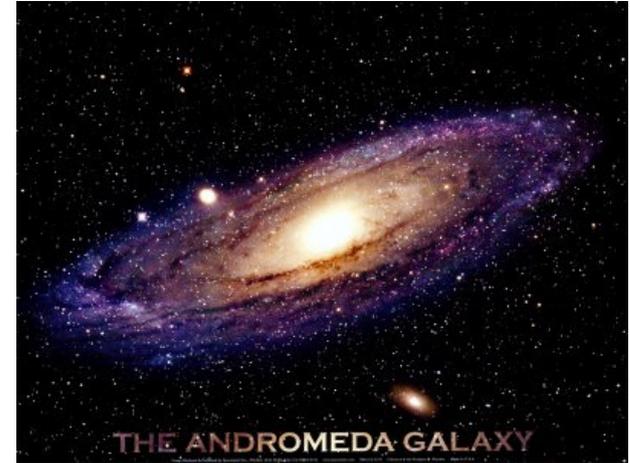
Outras Evidências para a Matéria Escura

Dinâmica de estrelas em galáxias discos

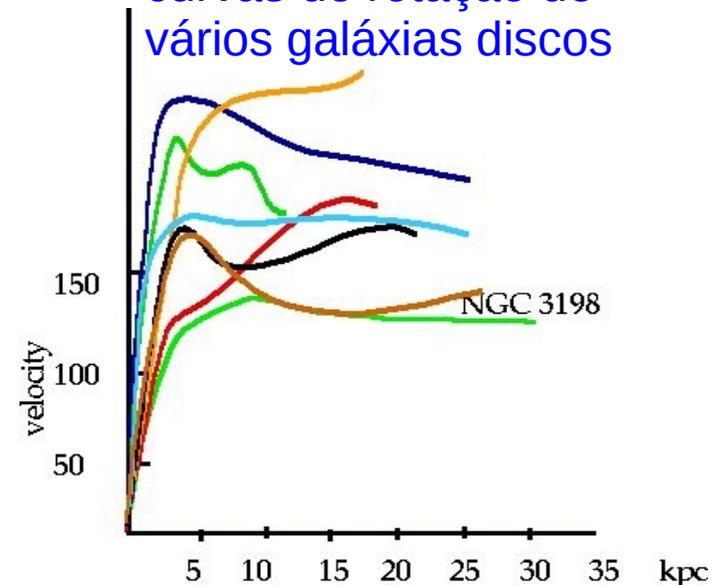
O mesmo se observa em outras galáxias discos, p. e. a galáxia de Andrômeda.

=> Todas as galáxias tem mais massa do que a massa observada.

=> **Matéria escura.**



curvas de rotação de
vários galáxias discos



Outras Evidências para a Matéria Escura

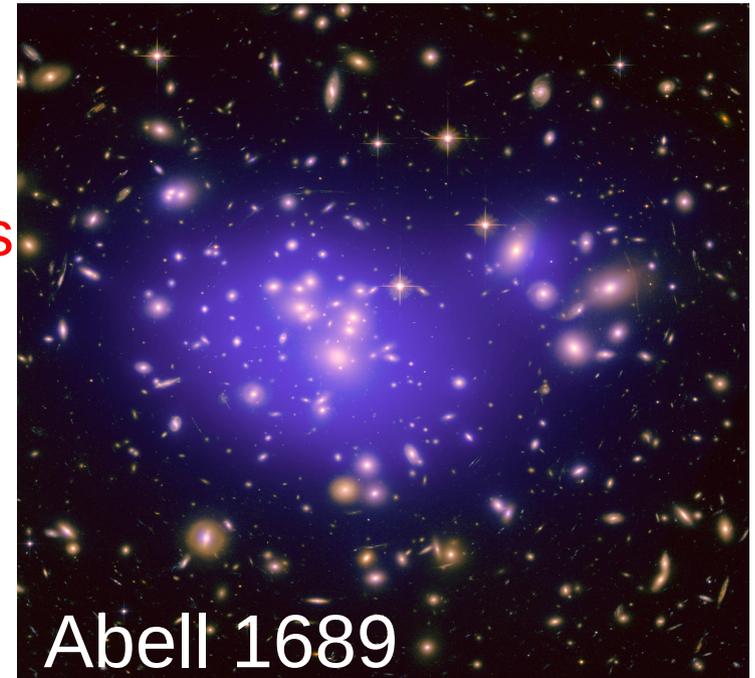
Massas de aglomerados de galáxias

Dinâmica das galáxias

As **galáxias** em um **aglomerado** se **movimentam** também, com **velocidades** que podem ser **medidas** através dos seus **espectros**, pelo **efeito Doppler**.

A **dispersão de velocidades** depende da **massa do aglomerado**.

=> Massas de 10^{14} a $10^{15} M_{\odot}$,
onde $M_{\odot} = 2 \cdot 10^{30} \text{ kg} = \text{massa solar}$



Abell 1689

Outras Evidências para a Matéria Escura

Massas de aglomerados de galáxias

Radiação do gás inter-aglomerado

Além das galáxias, os aglomerados contêm gás, de massa maior do que as galáxias, que irradia em raios X devido à sua temperatura.

A pressão deste gás está em equilíbrio com a gravitação do aglomerado.

Medindo a radiação em raios X, pode se calcular a temperatura e a pressão do gás inter-aglomerado, e a massa do aglomerado.

=> Massas de 10^{14} a $10^{15} M_{\odot}$



Outras Evidências para a Matéria Escura

Massas de aglomerados de galáxias

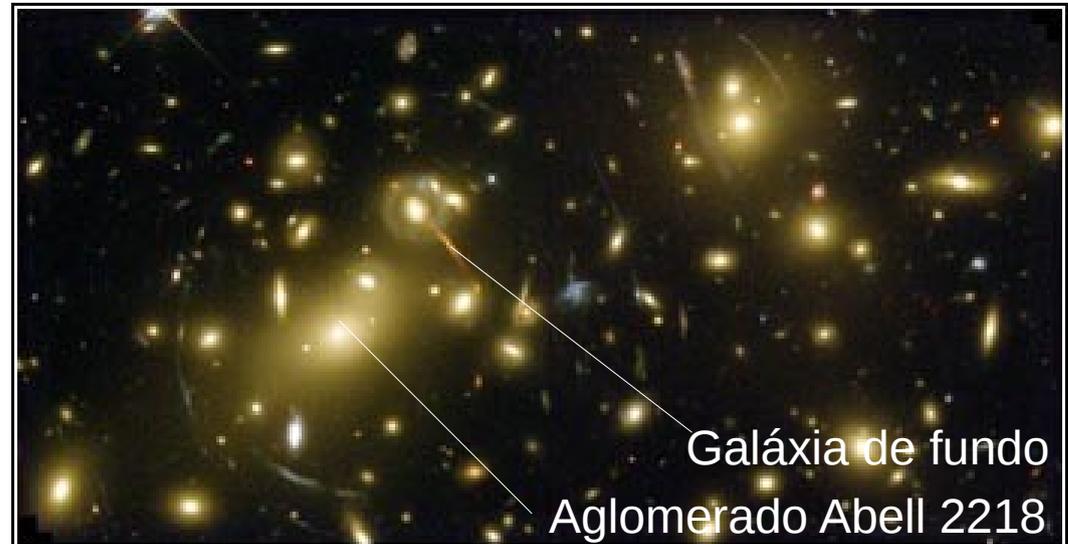
Efeito de Lentes gravitacionais

Massas altas, como aglomerados de galáxias, **desviam a luz**, e **distorcem a imagem** de **objetos atrás** da massa, p. e. **galáxias mais distantes**.

Medindo a **distorção**

das imagens destas galáxias “de fundo”, pode se determinar a **massa** do objeto **na frente** (o aglomerado).

=> Massas de 10^{14} a $10^{15} M_{\odot}$



Galáxia de fundo

Aglomerado Abell 2218

Outras Evidências para a Matéria Escura

Massas de aglomerados de galáxias

Os métodos **concordam**: $M_{\text{aglomerados}} = 10^{14} \text{ a } 10^{15} M_{\odot}$

Porém:

A soma das massas das estrelas nas galáxias é **~50 vezes menor**.

A soma das massas das galáxias mais o gás inter-aglomerado ainda é **5 a 6 vezes menor**.

=> Aglomerados contêm massa além da matéria conhecida (bariônica).

=> **Outra evidência para a matéria escura** não-bariônica.

=> **Evidências para a matéria escura** de fontes completamente diferentes e **independentes**: Radiação de fundo, galáxias, aglomerados de galáxias (e existem mais).

Outras Evidências para a Energia Escura

Luminosidades de Supernovas Ia

Supernovas (SN) são **explosões** de **estrelas** no final das suas “vidas” (veja mais tarde nesta aula).

Para um certo tipo, as supernovas Ia, estas explosões **sempre** ocorrem com a **mesma luminosidade**, que conseguimos determinar através de SN Ia que ocorreram “perto daqui”. Se diz que SN Ia são **velas padrão**.

A **luminosidade aparente** (o brilho do objeto no céu) **diminui** com o **quadrado da distância**.

=> Pode se **determinar** a **distância** de uma SN Ia e, então, da galáxia onde ela ocorreu, **medindo** a sua **luminosidade aparente**.

Outras Evidências para a Energia Escura

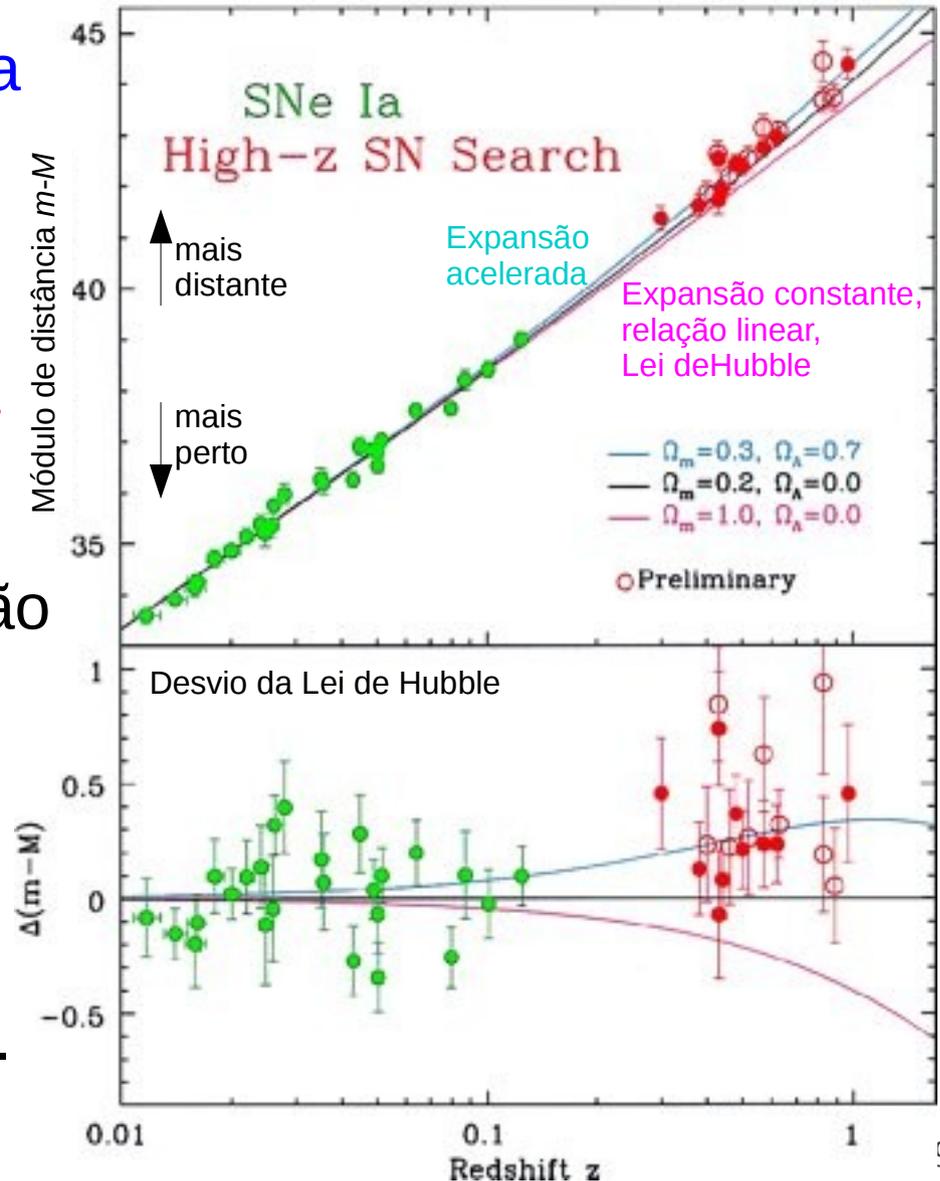
Luminosidades de Supernovas Ia

Em 1998, astrônomos descobriram que em **redshifts altos**, ou seja, no **passado distante**, as **distâncias** das **SN Ia** são **maiores** que previsto pela Lei de Hubble, que se baseia numa **taxa constante** de expansão do Universo.

=> A expansão era mais lenta

=> A **expansão do Universo é acelerada.**

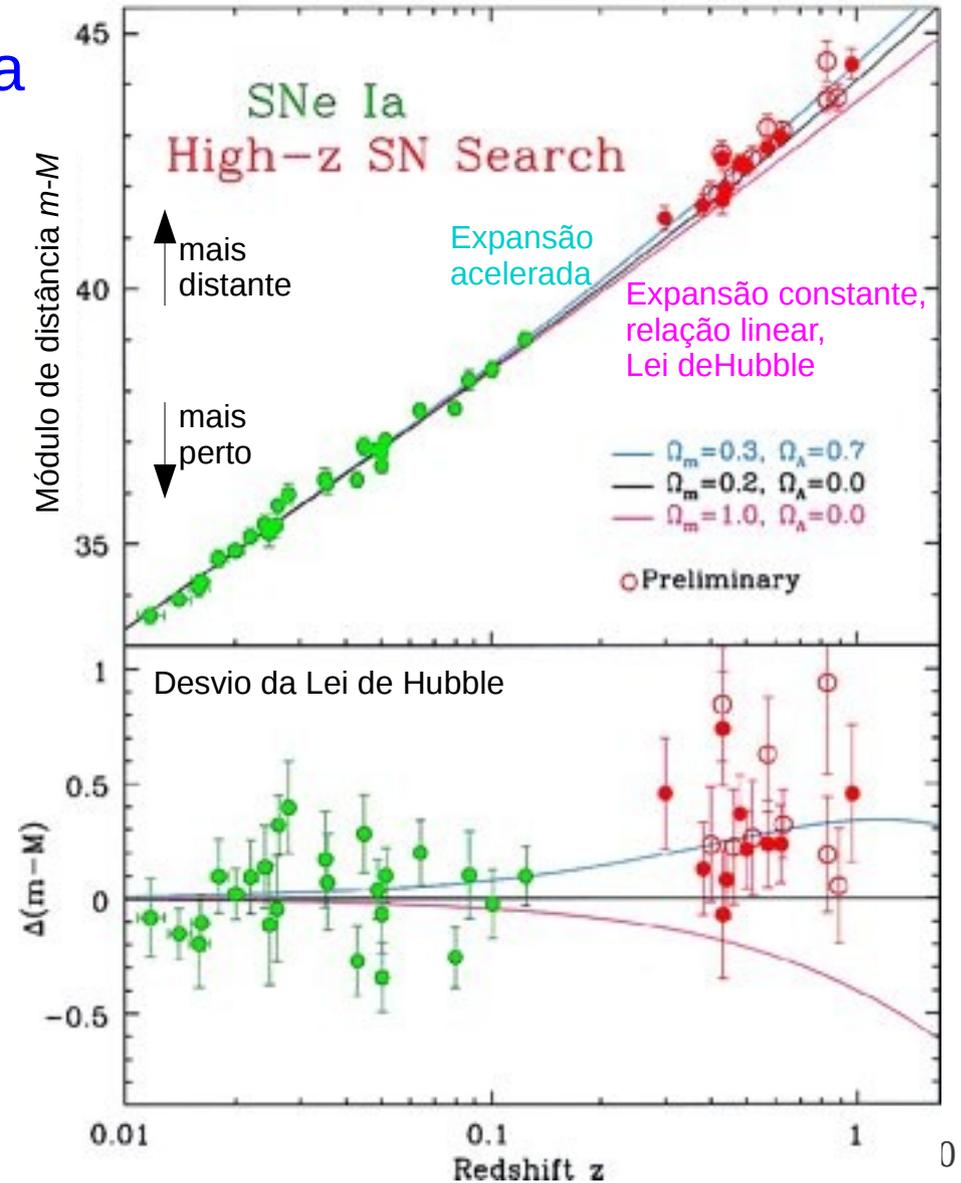
=> **Evidência pra energia escura.**



Outras Evidências para a Energia Escura

Luminosidades de Supernovas Ia

A valor da **densidade da energia escura** determinado através das distâncias das SN Ia bate bem com a valor determinado pela radiação cósmica de fundo, **72 % da densidade crítica**.



Abundâncias dos Elementos Primordiais

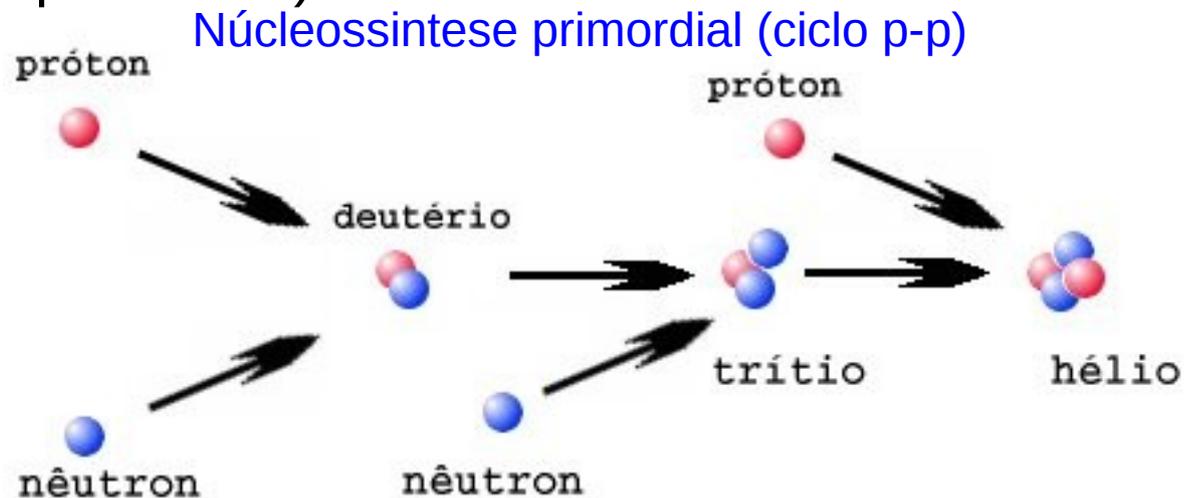
No espaço inter-galáctico, há nuvens de gás tênue, que pouco mudaram desde a sua formação.

=> Elas ainda têm a **mesma composição química**, do que **logo depois do Big Bang** (composição primordial).

Nestas nuvens, e no resto do Universo, **25 %** (ou mais) dos **átomos** são de **hélio**, que só podem ter sido formados na **época da nucleossíntese**,

de 1 ms a 5 min depois do Big Bang, quando **densidade** e **temperatura** do Universo eram **altas** o suficiente para possibilitar a **fusão nuclear**, ou **nucleossíntese**, dos **prótons** e **nêutrons** formados no primeiro milissegundo.

Além de hélio, foram formados **montantes microscópicos** de **deutério**, **hélio-3**, **lítio** e berílio, Os outros **75 %** dos átomos são de **hidrogênio**.



Abundâncias dos Elementos Primordiais

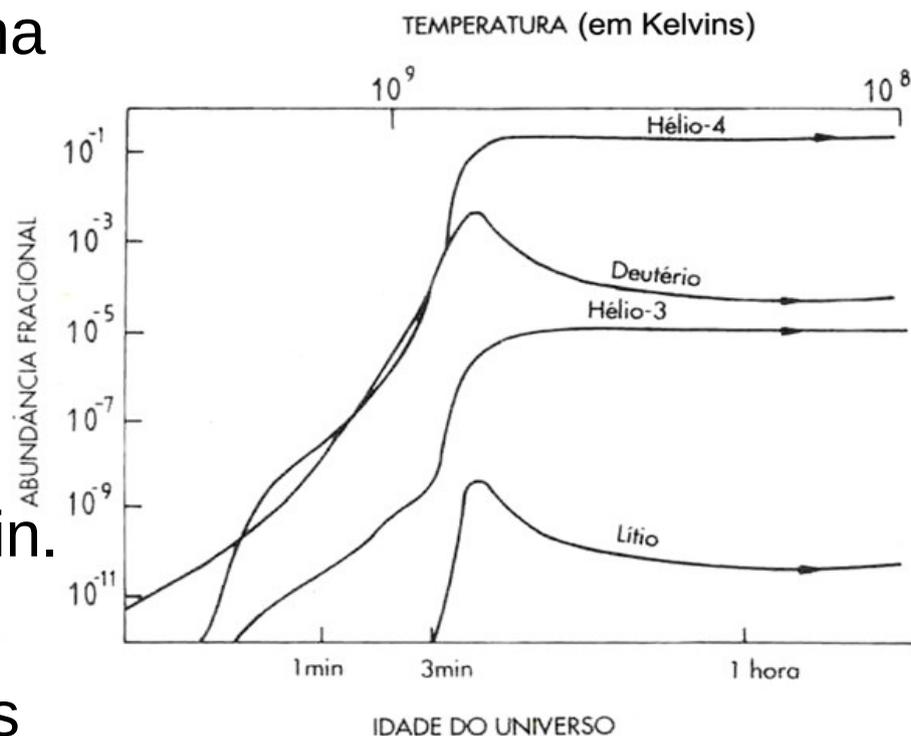
Através do **montante de hélio** na composição primordial, dá pra calcular

- a **duração da época da nucleossíntese**, ~5 min
- **Temperatura e densidade da matéria “comum”, ou bariônica** no final destes 5 min.

Os **montantes de deutério, hélio-3 e lítio** permitem cálculos mais sofisticadas das **condições** nas **primeiros 5 min do Universo**.

=> Só **4 %** da **densidade crítica** é **bariônica**, em concordância com os resultados da radiação de fundo.

=> **Prova, que a nucleossíntese primordial aconteceu, e determinação independente da densidade da matéria bariônica.**



Outros Modelos Cosmológicos

Mas não pode ter outra explicação para todos estes fenômenos? Não existem **outros modelos cosmológicos**?

Sim, **muitos**!

Alguns exemplos: Estado Estacionário e Estado Quasi-Estacionário, MOND ("Modification of Newtonian Dynamics" ou "Modificação da Dinâmica Newtoniana"), Luz cansada, Cosmologia do plasma, Multiversos, teoria das cordas, Universo cíclico e muitos, muitos outros.

Existem quase tantas teorias quanto cosmólogos.

Mas todos estes:

- ou **não** são **compatíveis** com as **observações**.
- ou são **mais complicados** e **menos plausíveis** do que Λ CDM.

Por enquanto, o **modelo Λ CDM** é o mais convincente que temos, na opinião da maioria dos cosmólogos e astrônomos.

(Possíveis) observações futuras

Já que uns **96 % do Universo** ainda **não** foram identificados, estão sendo feitas, ou serão feitas ou planejados mais experimentos/observações cosmológicas:

- Os que já foram feitas, mas com **maior precisão**.
- **Gerar e detectar** as partículas exóticas da **matéria escura** em **aceleradores de partículas**, p. e. no LHC no CERN em Genebra (Suíça/França).
- Elaboração de **detectores** para a **deteção direta** da **matéria escura**. (Será que vai funcionar?)
- **Detectores de ondas gravitacionais** (emitidas na época da inflação).
- ...

Resumo

O que seria bom guardar desta aula:

- O **Universo** se **formou** ~ **14 bio. de anos** atrás numa explosão gigantesca, o **Big Bang**, e está se **expandindo** desde então, possivelmente por sempre.

A ciência que trata destes assuntos se chama **cosmologia**.

- Esta teoria pode parecer absurda, mas existem um **monte de observações** que a **apoiam**, algumas destas observações foram apresentadas nesta aula.

As alternativas ou não batem com as observações, ou são mais absurdas ainda.

Por isto, a **maioria** dos cosmólogos e astrônomos **favorecem** esta teoria.