

# Cosmologia

## **Cosmologia 2**

**Modelos Cosmológicos**

Evolução do Universo – evolução térmica

Eras: Planck, Inflação, Bariogênese, Elementos leves, pesados, etc...

Destino do Universo

Fronteira das Pesquisas

# Síntese

A Cosmologia Moderna se dedica a determinar qual destes modelos é o mais realista

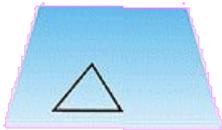
1- **Modelo Plano** → Se expande indefinidamente com  $v_{\text{terminal}}$  tendendo a um valor

$$\mathbf{E=0; dm=dc; \Omega =1}$$

nulo, ... pois é como se ocorresse um equilíbrio entre a  $E_p = E_c$

Não tem curvatura. (análogo a plano)

**Este modelo parece ser o mais realista ! Veremos a seguir..**



Plano

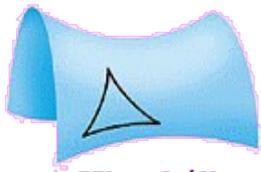
2- **Modelo Aberto** → Atração gravitacional é pequena para impedir a expansão.

$$\mathbf{E > 0; dm < dc; \Omega < 1}$$

... pois é como se a  $E_p < E_c$

Então, a expansão continua indefinidamente, com  $v_{\text{terminal}}$  tendendo a um valor não nulo. A curvatura é negativa.

(análogo a uma sela de cavalo)



Hiperbólico

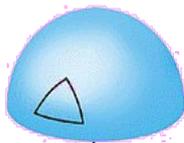
3- **Modelo Fechado** → Atração gravitacional é grande e impede a expansão .

$$\mathbf{E < 0; dm > dc; \Omega > 1}$$

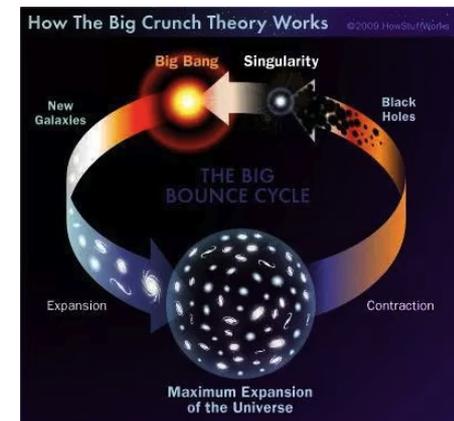
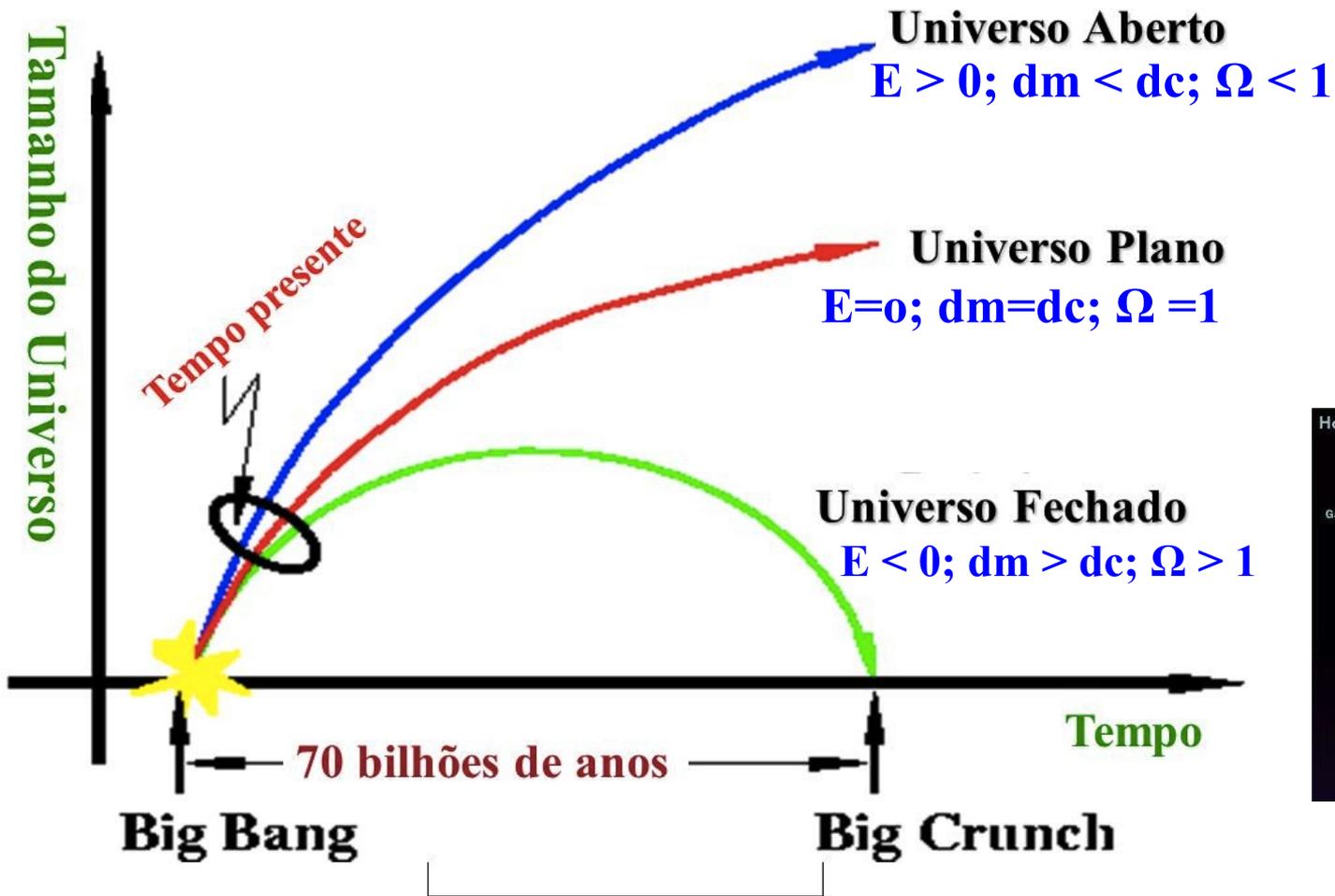
... pois é como se a  $E_p > E_c$

Ocorre então uma contração, e reinicia-se a uma nova expansão.

A expansão é finita e com curvatura positiva. (análogo a uma esfera)



Esférico



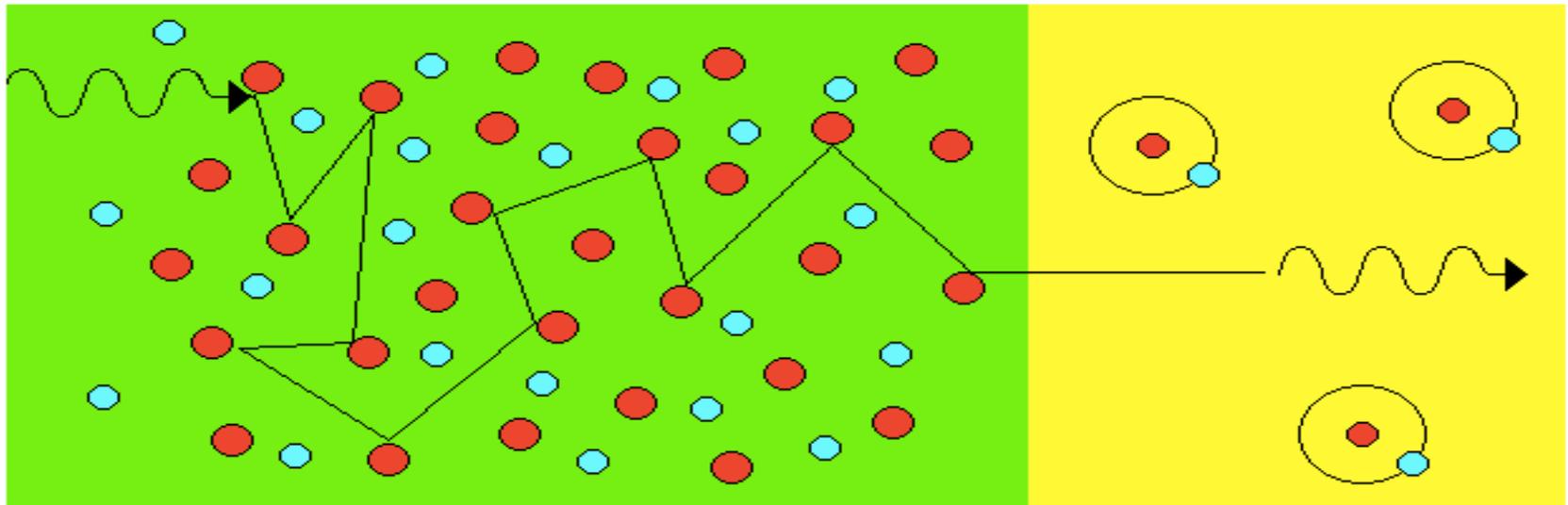
Existe alguma forma de verificar do ponto de vista observacional qual dos modelos é o mais realista?

Em princípio, um dos caminhos seria **medir flutuações da Radiação Cósmica de Fundo** de Microondas (RCFM) – uma radiação eletromagnética que seria remanescente da fase de inicial de evolução do Universo, dentro da perspectiva do Modelo do BB.

É importante ressaltar que a descoberta da RCFM, em 1964, **representa uma das maiores evidências do Big Bang.**

Vamos então explorar **o que se prevê** ter ocorrido nesta fase inicial, que explicaria a RCFM que observamos hoje, e posteriormente analisar como estas flutuações poderiam ajudar a decidir entre os modelos de evolução do Universo disponíveis até o momento.

Aos 380 mil anos após o Big Bang, em um Universo ainda muito quente e denso, os átomos não conseguem se manter intactos, pois os fótons possuem energia elevada o suficiente para remover os elétrons mantendo neste ambiente uma mistura de fótons, elétrons e prótons convivendo neste meio, independentemente. Como os fótons não conseguem viajar livremente devido a colisões com este meio denso, o **Universo é opaco**.



hydrogen plasma

atomic hydrogen

In a plasma, the mean free path of a photon is very short. In a gas of atomic hydrogen, the mean free path is very long, as long as the size of the Universe. Thus, the transition from the early plasma to atomic hydrogen is the epoch of last scattering, the point in time when the photons became free to travel without hindrance.

Com a **expansão do Universo**, a temperatura diminui e os elétrons conseguem se unir ao próton formando o hidrogênio. Como os fótons ainda possuem energia elevada para eventualmente remover o elétron recém unido ao proton, ocorre o **equilíbrio estatístico**.

A **expansão** também aumenta o comprimento de onda dos fótons, e conseqüentemente, reduz sua frequência resultando em perda de energia.

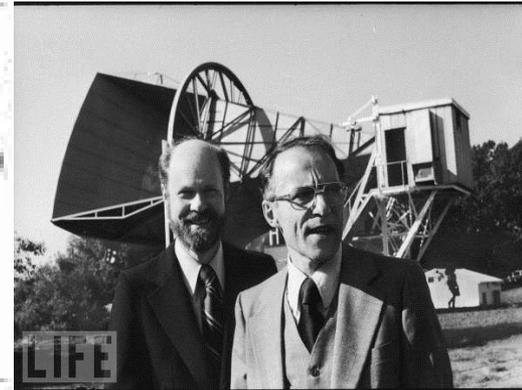
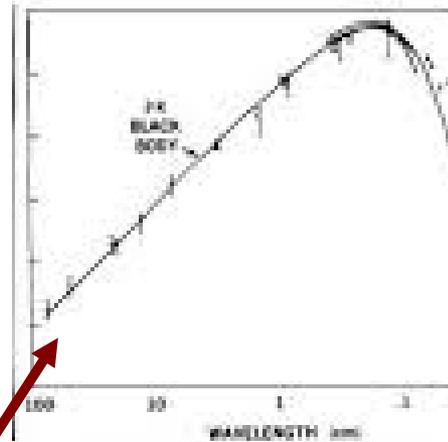


Como o Universo continua a se expandir, os fótons continuam perdendo energia e viajando livremente pelo Universo...Assim sendo, após 13,7 bilhões de anos viajando, chegam na Terra com pouquíssima energia....

As previsões teóricas indicavam que se tivesse havido um Big Bang na origem do Universo, um remanescente de energia na forma de radiação de fundo, em microondas, deveria ser observado hoje

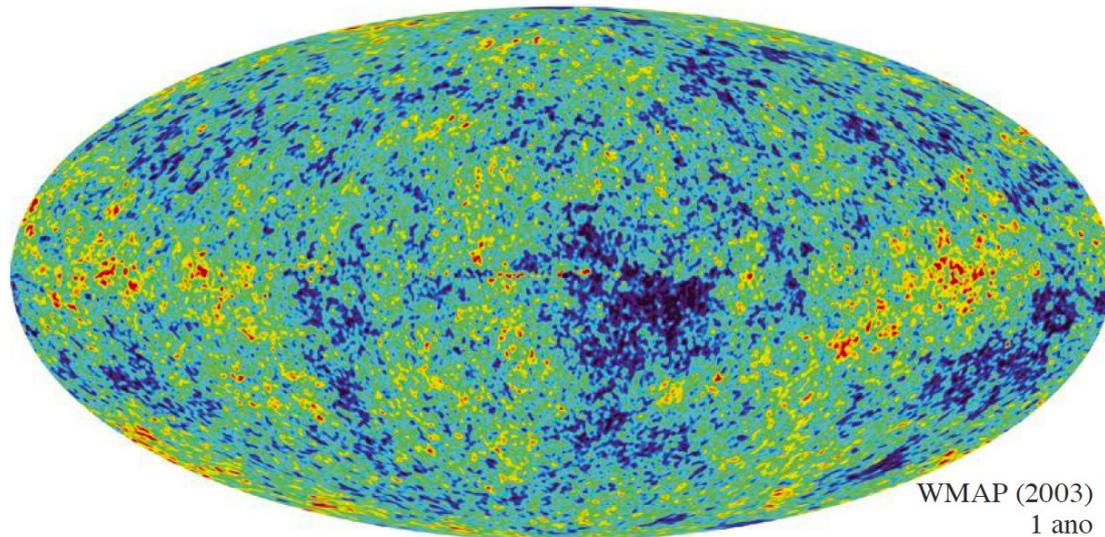
Previa-se também que a radiação gerada na **Era da Recombinação** (uma das fases de evolução do Universo), esta chegaria até nós com **temperatura de corpo negro da ordem de 3,5K**, após viajar 13,7 bilhões de anos. Esta seria a Radiação Cósmica de Fundo de Microondas – RCFM (os pontos no gráfico representam as medidas ajustadas ao corpo negro com  $T \approx 3,5 \text{ K}$ )

O ruído observado por Penzias e Wilson (Prêmio Nobel 1978) foi interpretado como sendo esta assinatura do Big Bang - Esta radiação foi de fato observada em 1964, descoberta por Penzias e Wilson (Prêmio Nobel)



<https://fisicamartin.blogspot.com/2023/04/arno-penzias-y-la-radiacion-del-fondo.htm>

# Radiação Cósmica de Fundo de Microondas- RCFM

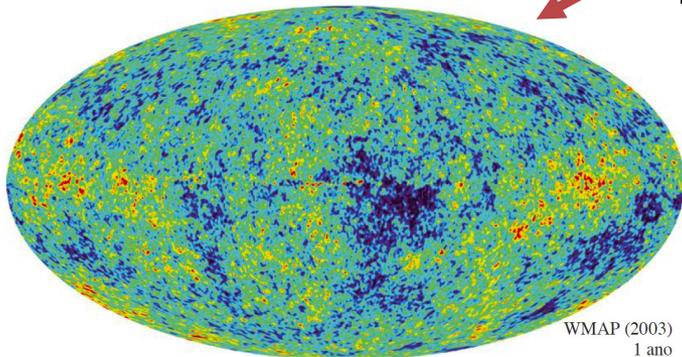
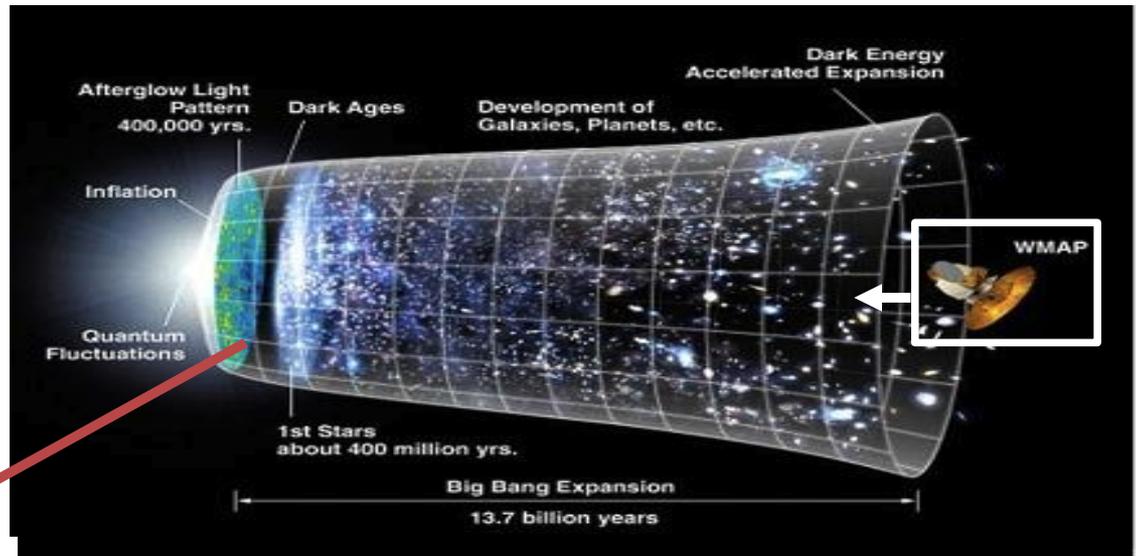


A RCFM é uma impressão digital do Universo há 13,7 bilhões de anos. As flutuações observadas mostram regiões mais ou menos densas que a média. São muito pequenas da ordem de uma parte em cem mil.

Comparação: uma bola perfeitamente lisa com 1 metro de diâmetro. Se imaginarmos imperfeições na mesma escala que a RCFM na superfície teremos elevações ou depressões com cerca de 0,01 milímetro.

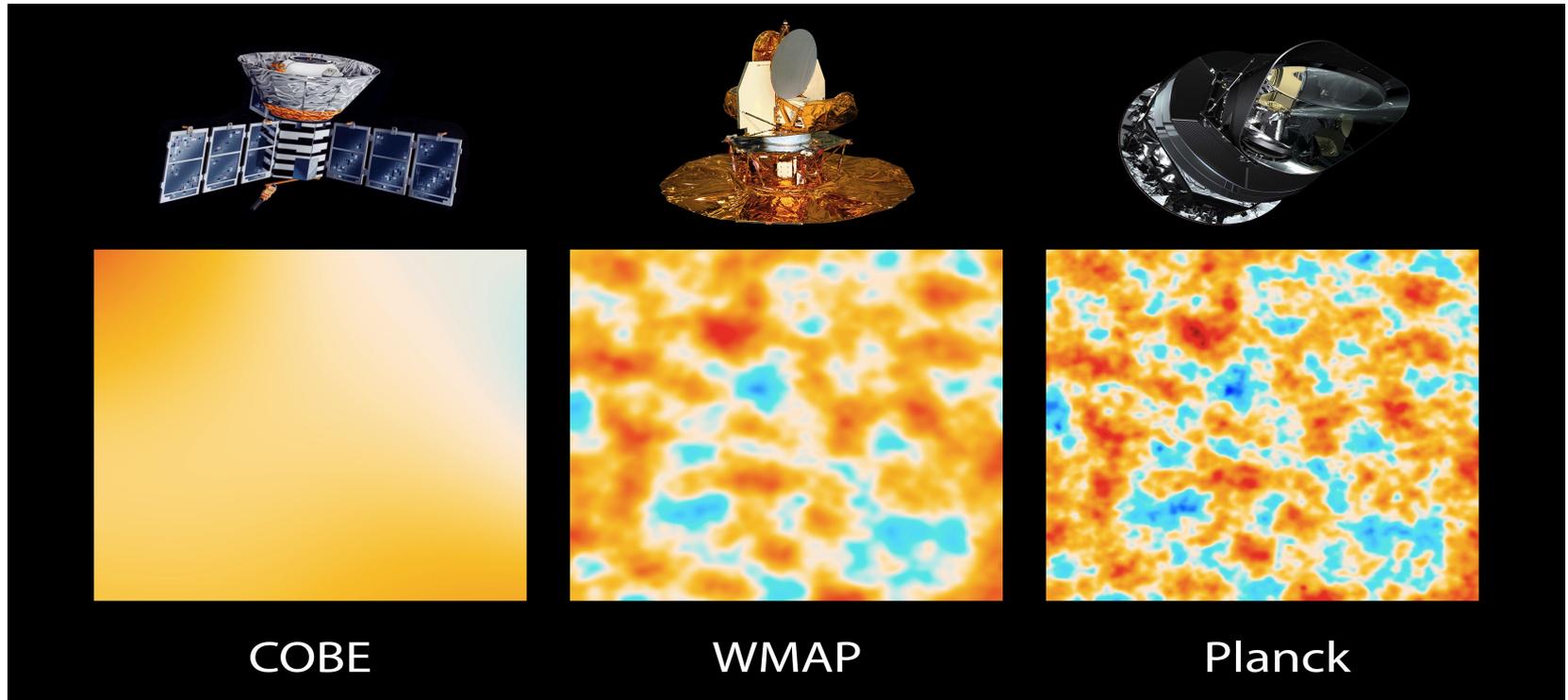
Reparem na figura abaixo a localização da Era de Recombinação dentro do cenário que integra as outras Eras.

Nesta fase, devido a expansão do Universo, os elétrons conseguem se unir aos prótons formando o hidrogênio e liberando os fótons para viajarem pelo Universo. É esta Era que o **Wmap** consegue medir (veja imagem abaixo)

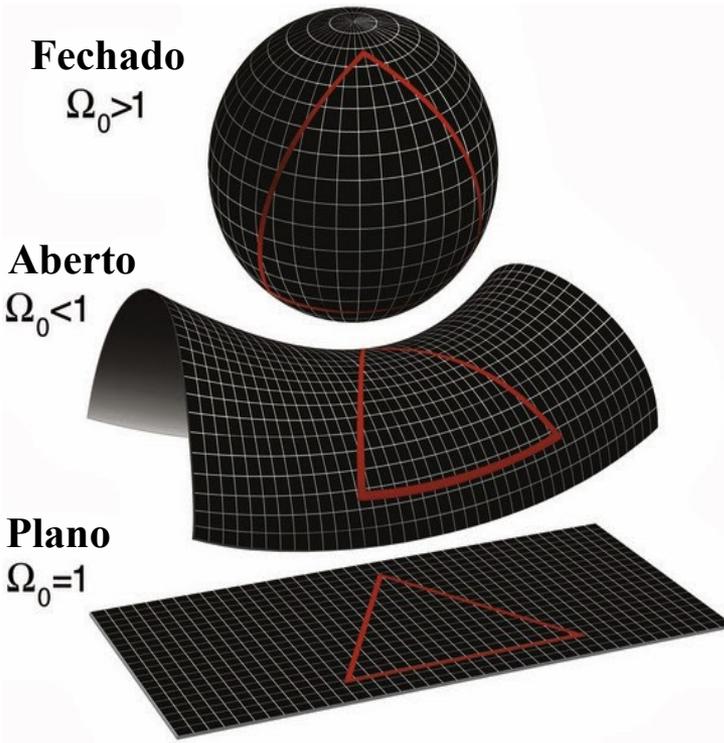


Experimentos recentes que tentam decodificar os sinais impressos na RCFM, que representariam o “eco” dos primeiros instantes da formação do Universo, e medidas de intensidade da radiação em diferentes frequências mais precisas, fora da atmosfera, foram realizadas pelos **satélites Cobe (1992), Wmap (2003) e Planck (2013)...**

O espectro do fundo de microondas medido pelos Satélites é muito bem descrito por corpo negro com  $T \sim 2,726 \pm 0,01$  K.



# Como verificar a previsão da Geometria do Universo com dados observacionais do Wmap?



$\Omega < 1 \Rightarrow \theta_c < 1^\circ$     $\Omega = 1 \Rightarrow \theta_c \simeq 1^\circ$     $\Omega > 1 \Rightarrow \theta_c > 1^\circ$

aberto          plano          fechado

$\Omega \equiv \frac{\text{Energy in the Universe}}{\text{Energy required for flatness}} = 1.005 \pm 0.007 \text{ today}$

Adrienne Erickcek

O tamanho físico das flutuações é o tamanho do horizonte da superfície de último espalhamento – onde os fótons se desacoplam da matéria

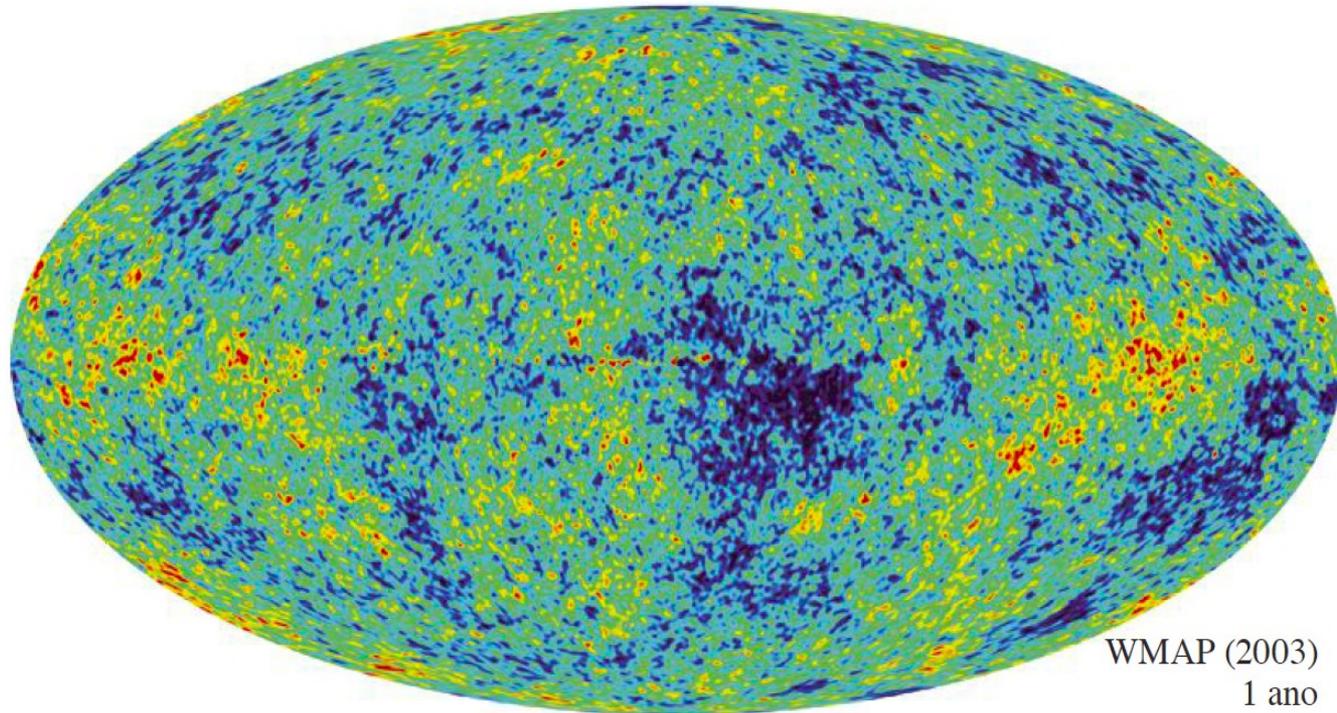
A geometria do Universo determina o tamanho angular das flutuações

**Universo Plano...!!**



# Radiação Cósmica de Fundo de Microondas

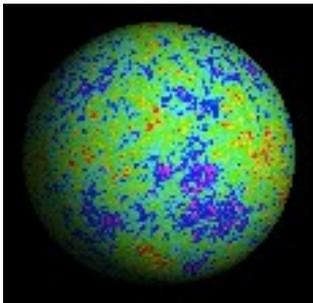
**Wmap** mostra que as flutuações são mínimas e **compatíveis** com um **Universo Plano**



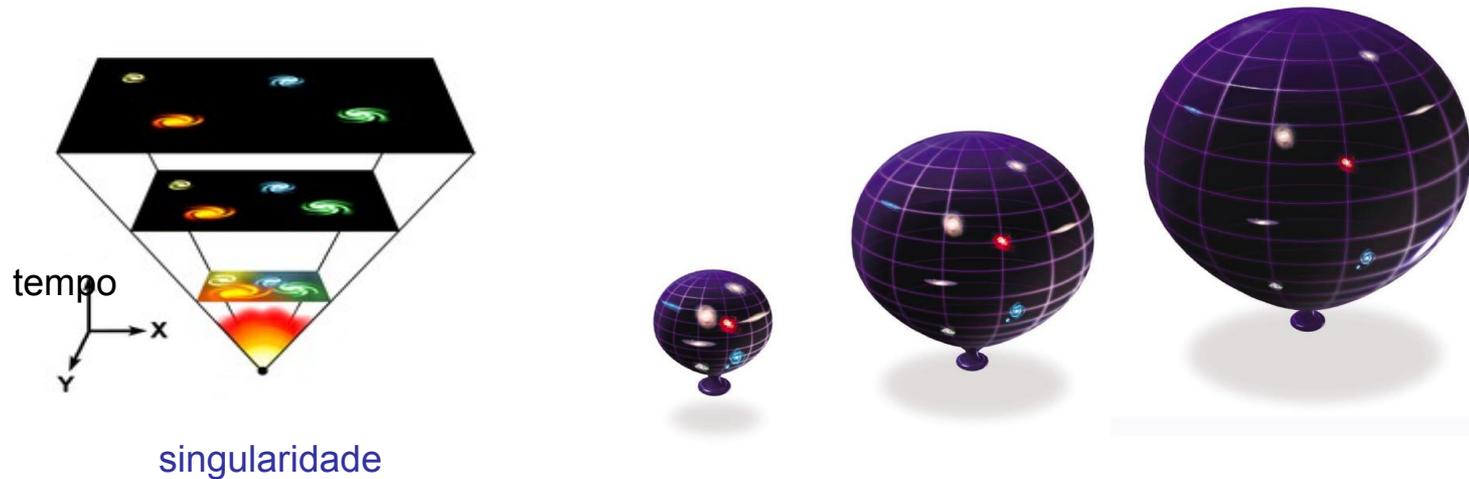
Mapa de todo o céu da variação da temperatura da Radiação Cósmica de Fundo em Micro-ondas (RCFM).

$$\Delta T/T \sim 10^{-5}$$

Flutuações de  
densidade



Como vimos anteriormente, a detecção da Radiação Cósmica de Fundo representa uma das maiores evidências do Big Bang e nos remete a um cenário que descreveria a evolução do Universo seguindo o raciocínio que segue....



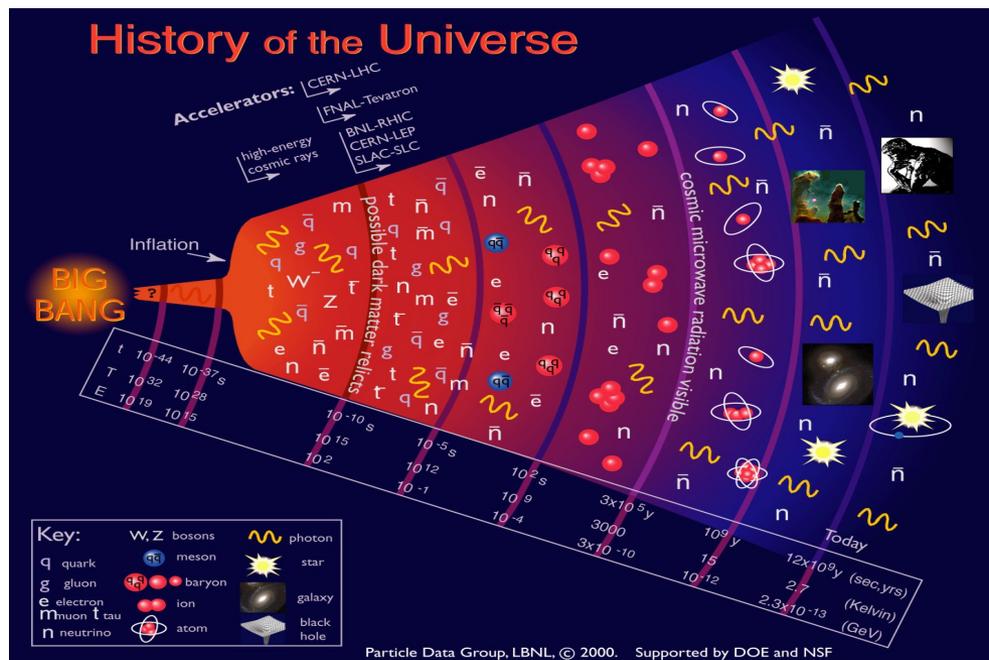
No Modelo do Big Bang, a **origem do Universo** está associada a uma **Singularidade (início - "ponto zero")**, uma previsão matemática que resulta das equações da Relatividade Geral de Einstein, onde o Universo surge, o volume seria zero e as condições físicas seriam extremas: a densidade e temperatura seriam infinitas.

Esta singularidade seria responsável pelo início do espaço-tempo, e que com a expansão ocorreria a transformação da **energia inicial em criação da matéria**, ocorrido a uns 13,7 bilhões de anos.

Desde então o Universo estaria se expandindo, transformando radiação em matéria, e desacoplando as 4 forças da natureza – gravidade, força eletromagnética, força fraca e forte

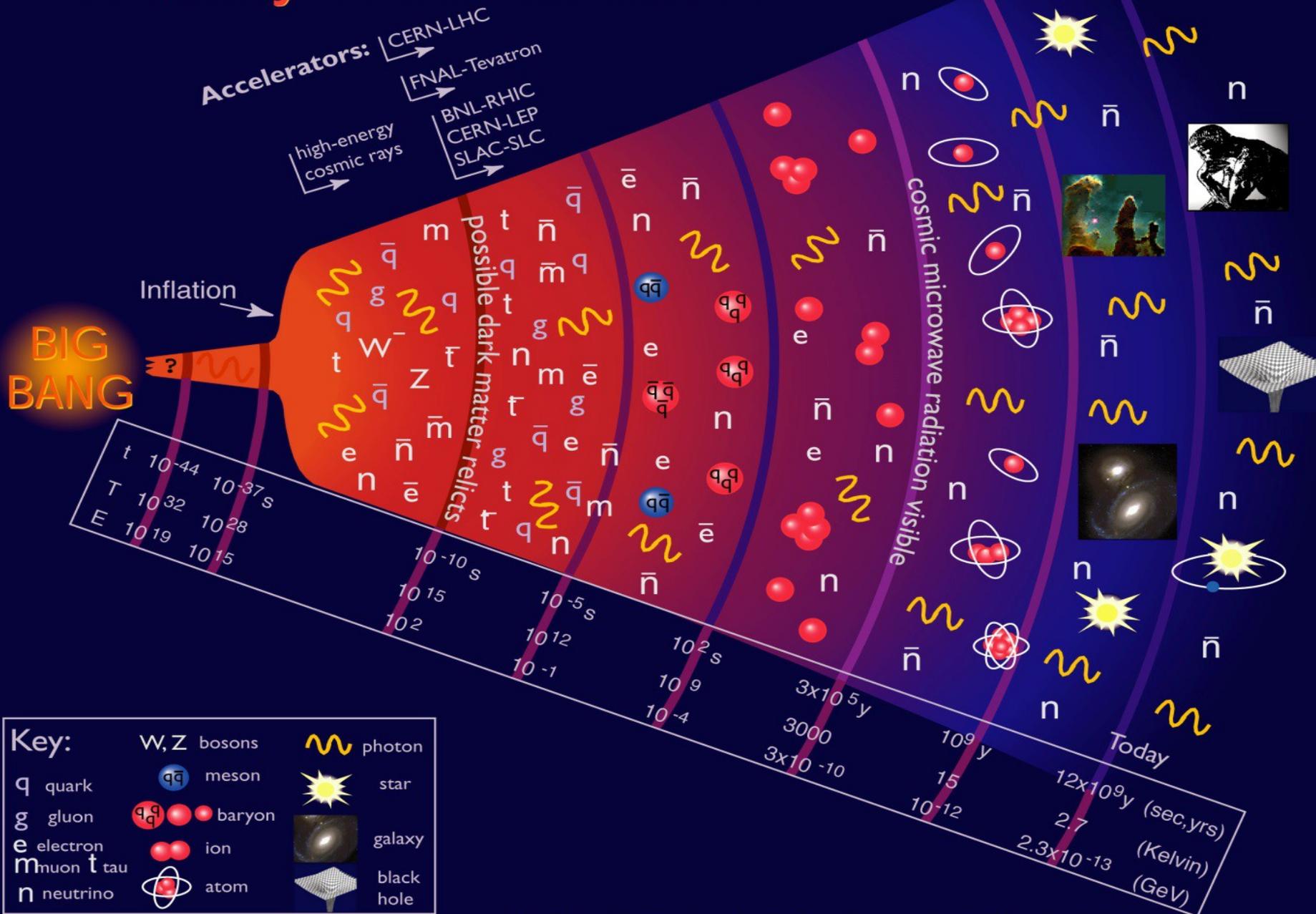
# Cenário da História de Evolução Térmica do Universo

Conforme o Universo se expande a temperatura diminui e a densidade também. Como consequência, vão ocorrer fenômenos que estão diretamente relacionados com a diminuição da temperatura, caracterizando assim uma **história térmica do Universo**, uma evolução, portanto, que resulta em diferentes fases, caracterizando as 4 Eras de Evolução do Universo que veremos a seguir



$$E=mc^2$$

# History of the Universe



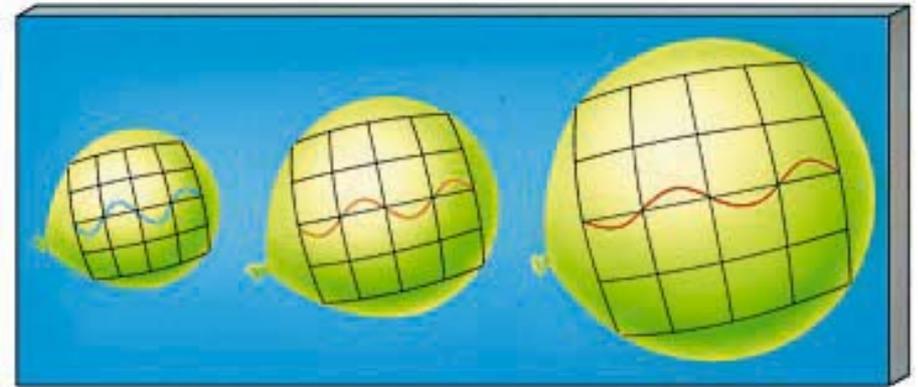
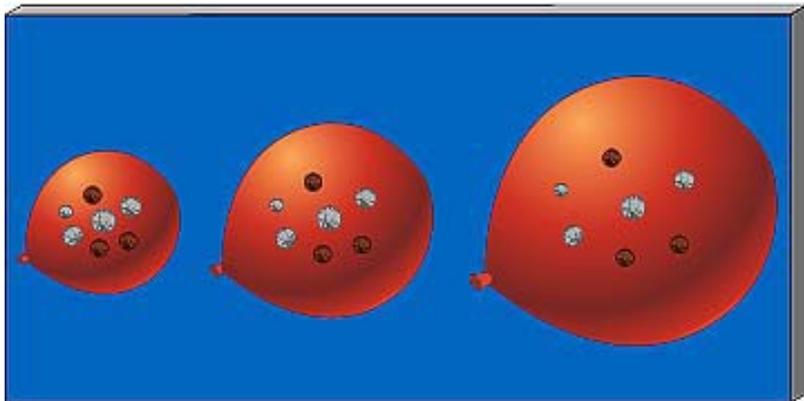
# Uma das consequências da expansão do Universo

→ **Efeito Doppler**

Galáxias “fixas” em um sistema de coordenadas

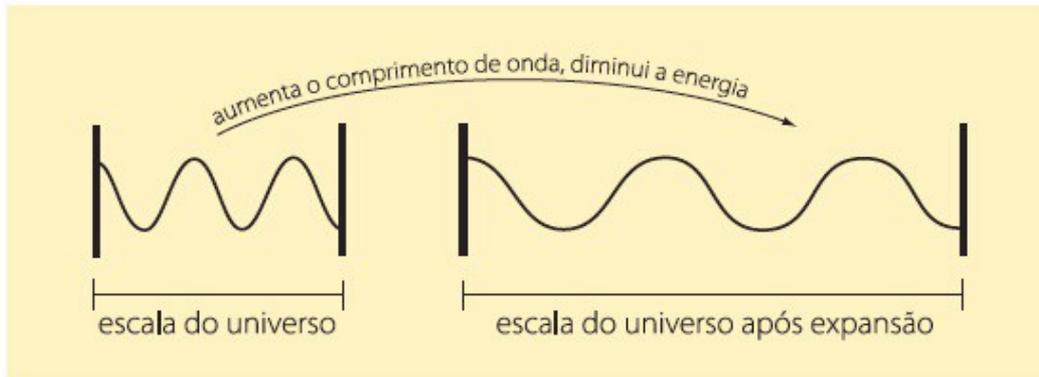
Galáxias se afastam umas das outras devido a expansão do Universo

Deslocamento p/ vermelho- **redshift** –  **$z$** , se deve à **expansão do Universo** que modifica sistematicamente o comprimento de onda da radiação enquanto esta se movimenta pelo espaço



# Redshift Cosmológico

Este fenômeno dá origem ao desvio para o vermelho cosmológico.



O comprimento de onda da radiação eletromagnética aumenta proporcionalmente a expansão do Universo.

# Grandes Eras na Evolução do Universo

Tempo Cósmico	Era	Evento
0	Singularidade	Big-Bang
até $10^{-43}$ s	Era de Planck	(ainda desconhecida)
até $10^{-6}$ s	Era dos Hádrons	Criação das partículas pesadas
até 1 segundo	Era dos Léptons	Criação das partículas leves
1 minuto	Era da Radiação	Formação de hélio e Deutério
10 mil anos	Era da Matéria	A matéria torna-se predominante
300 mil anos	Desacoplamento	O Universo torna-se transparente
1 bilhão de anos		Começa a formação das galáxias
3 bilhões de anos		Começa a aglomeração das galáxias
4 bilhões de anos		Formação das primeiras estrelas
15,5 bilhões de anos		Inicia-se a formação do Sol
20 bilhões de anos		Época atual

# O Big-Bang (BB)

...a origem

1973 Tryon propõe que a origem do BB poderia estar associada a flutuações quânticas do vácuo...!

→ O vácuo<sup>#</sup> aqui seria associado a fonte mínima de energia...

→ **A matéria se origina de flutuações do vácuo quântico.**

→ Seria uma combinação de matéria-antimatéria; partícula-anti-partícula

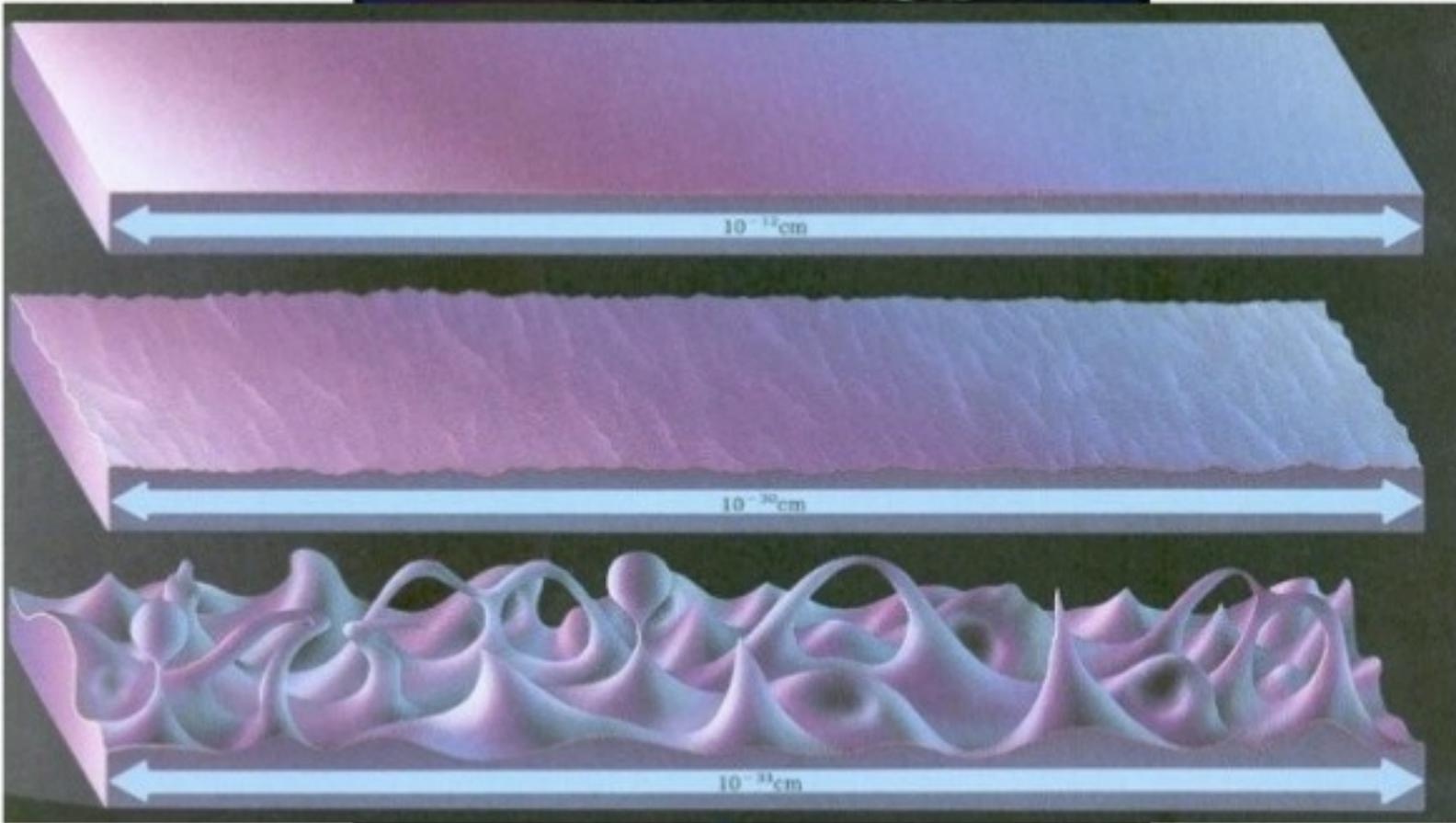
(vejam vídeo) → <https://www.dailymotion.com/video/xuh17e>

---

# É possível que corpos celestes extremos possam atuar diretamente sobre o vácuo quântico, produzindo energias capazes de interferir até com fenômenos astrofísicos. Um exemplo poderia ser estrela de nêutrons, que “acordariam” o vácuo quântico.

Uma equipe de físicos afirma ter conseguido gerar coisas desse "**nada**" quântico. Eles fizeram com que um vácuo quântico gerasse fótons reais, ou seja, no senso comum, que eles emitissem luz do nada.





## Era de Planck

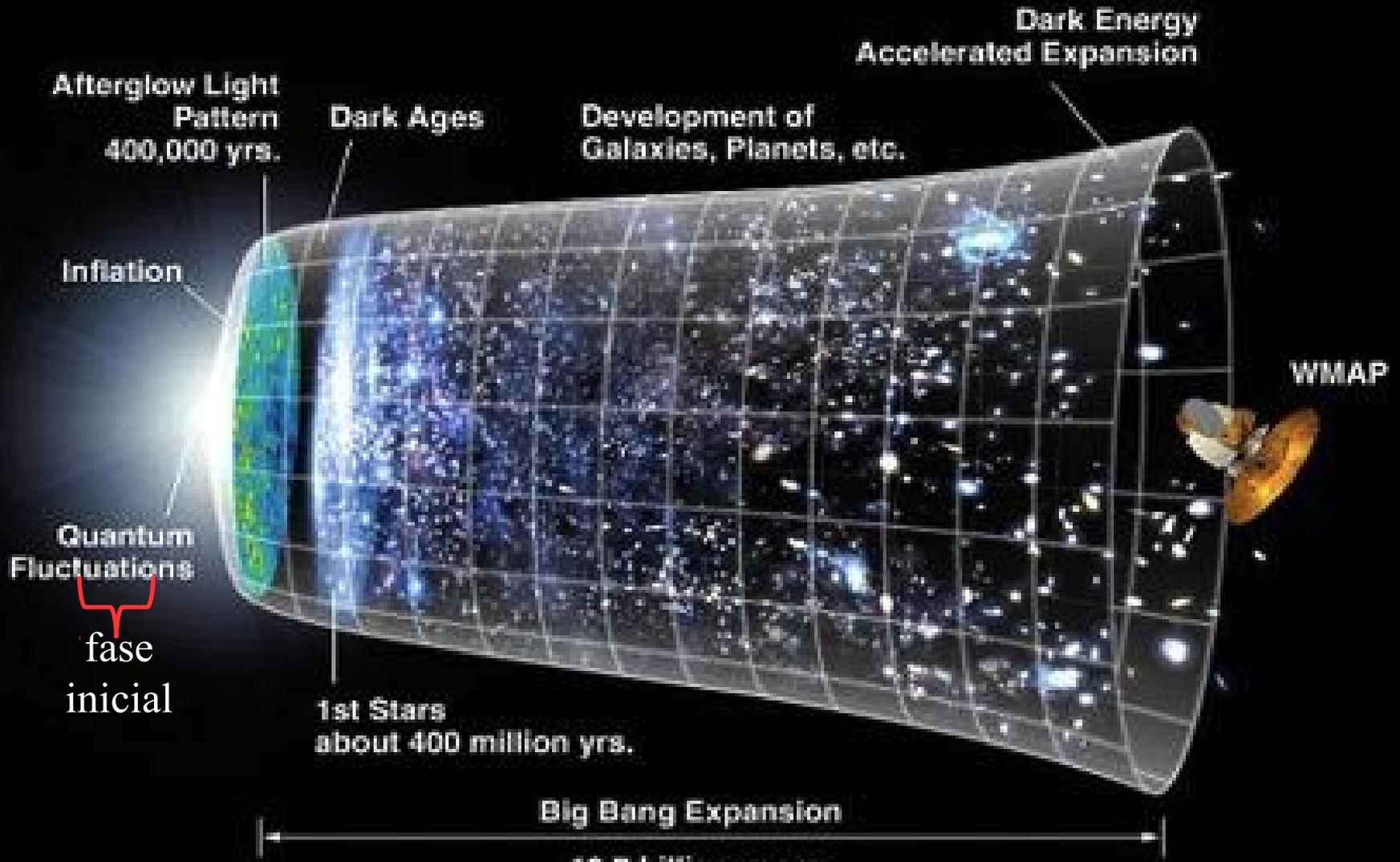
**0 até  $10^{-43}$  segundos**

Não sabemos muito sobre esta Era...já que a Teoria da Gravitação da Relatividade Geral é incapaz de descreve-la, pois não consegue incluir os efeitos quânticos.

Sabemos que era uma fase onde o Universo se encontrava MUITO quente e denso, e que dominou a evolução enquanto a idade era inferior a  $T \leq 10^{-43}$  segundos, o **Tempo de Planck**.

**Nesta fase** o Universo se expandiu e atingiu uma dimensão da ordem de  **$1,6 \times 10^{-43}$  cm**

Até aqui estaríamos descrevendo a fase inicial da evolução do Universo...  
Vamos tentar entender agora as outras fases...



## A Era da Inflação

No começo dos anos 80 os cosmologistas descobriram que as **teorias de unificação** previam a existência uma superforça, onde as forças fracas, forte e eletromagnética coexistiam, e que tinham uma **implicação extraordinária se aplicadas ao começo do Universo.**

Aproximadamente  **$10^{-34}$  s após o Big Bang**, as temperaturas caem abaixo de  **$10^{28}$  K** e as forças básicas da natureza se reorganizam: o Universo, por um período de tempo muito curto, entra em um **estado instável, de alta densidade de energia**, que os físicos chamam de "**falso vácuo**"

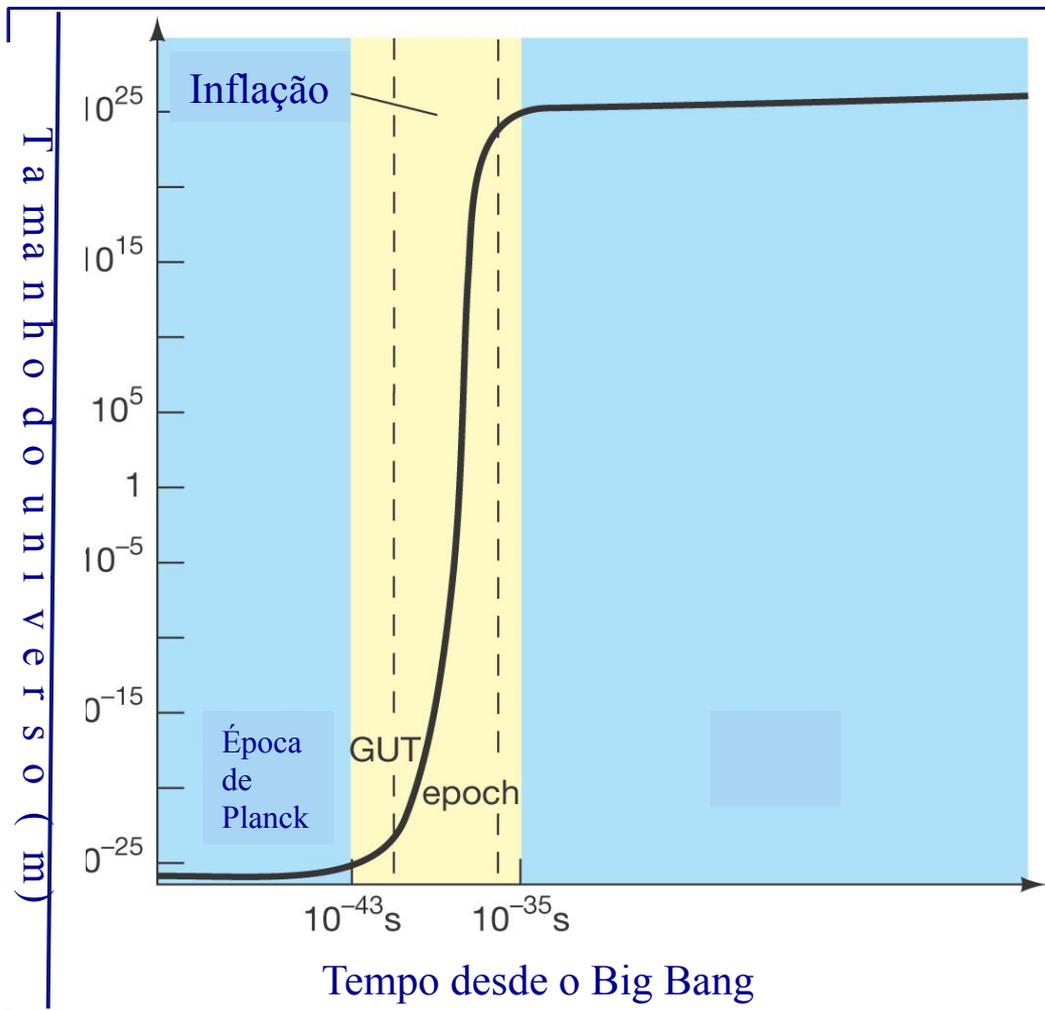
O **falso vácuo** decai e durante esta fase teria ocorrido uma transição onde um processo de **liberação de energia do calor latente**, teria separado a **força gravitacional das outras forças da natureza – força fraca, forte, eletromagnética. As 4 forças que conhecemos hoje seria unificada nesta fase.**

Segundo a **TRG o vácuo teria a propriedade de acelerar o Universo**, exercendo pressão negativa, onde a **gravidade teria nesta fase um caráter repulsivo!**

Este período de grande expansão cósmica foi conhecido como a **Época da Inflação.**

# A Era da Inflação

O Universo retornou para o estado de "vácuo verdadeiro" e a inflação parou.



O episódio inteiro durou somente  $10^{-32}$  s, mas durante este tempo o **Universo aumentou em tamanho por um fator de  $10^{50}$**  (ver próximo slide).

O vácuo então retoma a normalidade e o Universo retoma também sua expansão relativamente lenta, tendo seu movimento desacelerado pela gravidade.

A Teoria da Inflação propõe que **as galáxias teriam sido formadas a partir de sementes geradas no período inflacionário.**



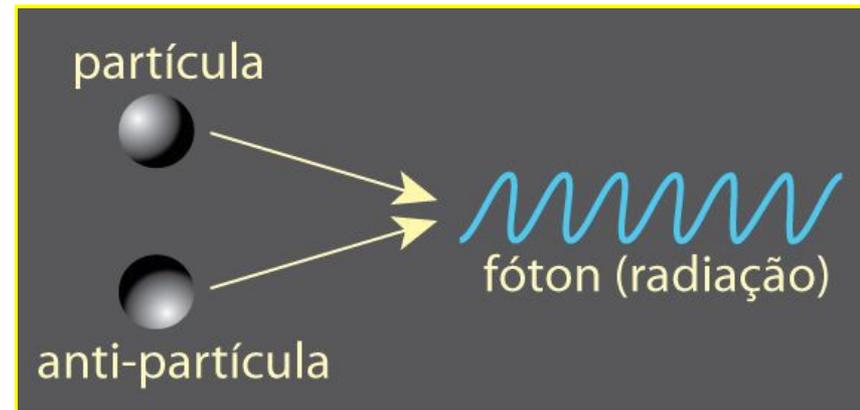
## Aniquilação da Anti-matéria

Após a fase de inflação, o Universo continuou a expandir e a resfriar, mas em ritmo mais lento.

Quando o universo era muito quente e denso, os fótons podiam produzir um par de partículas de matéria e antimatéria que se aniquilavam e eram produzidos continuamente e tudo estava em equilíbrio.

Quando o **Universo esfria** o equilíbrio se perde e ocorre uma assimetria cujo resultado é que a antimatéria é virtualmente erradicada.

1 em cada bilhão de partículas sobrevive.



$T = 0,00000000001$  segundos (tem 9 zeros depois da vírgula.....!!!)

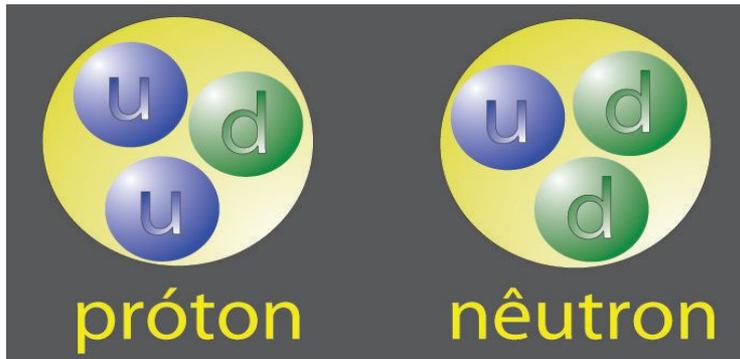
Universo ainda é MUITO quente e denso

# Bariogênese

...formação de partículas massivas : protons e neutrons → via quarks

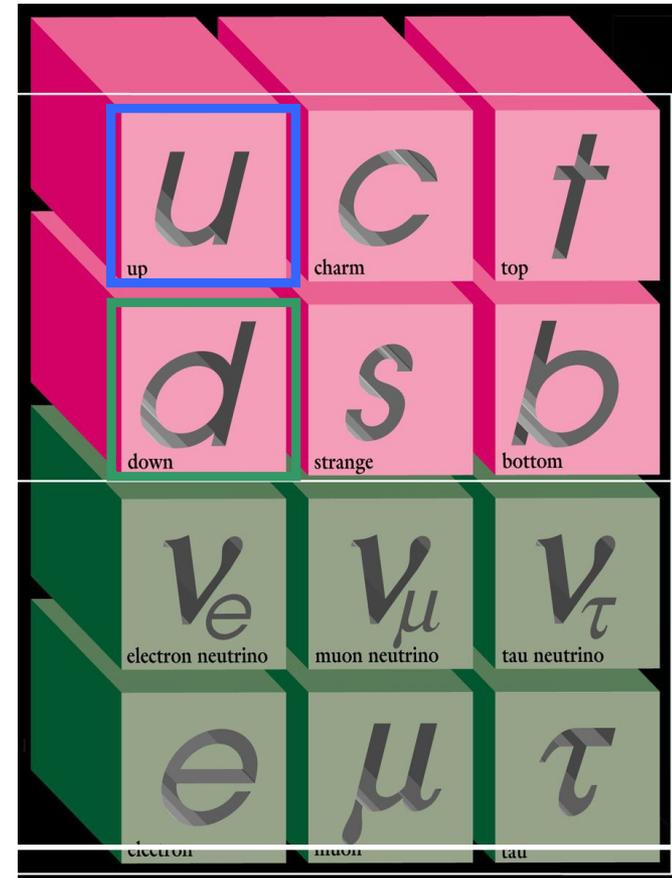
Quarks são **partículas fundamentais** da natureza que formam todos os hádrons (partículas compostas por quarks).

Grupos de 3 quarks formam bárions. Os dois bárions mais conhecidos são: nêutrons e prótons. Esta época é chamada de **Bariogênese** (formação de bárions – partículas massivas).



Quarks

Léptons



Exemplo de Lépton: o elétron

T= 0,00001 segundos (tem 4 zeros depois da vírgula)

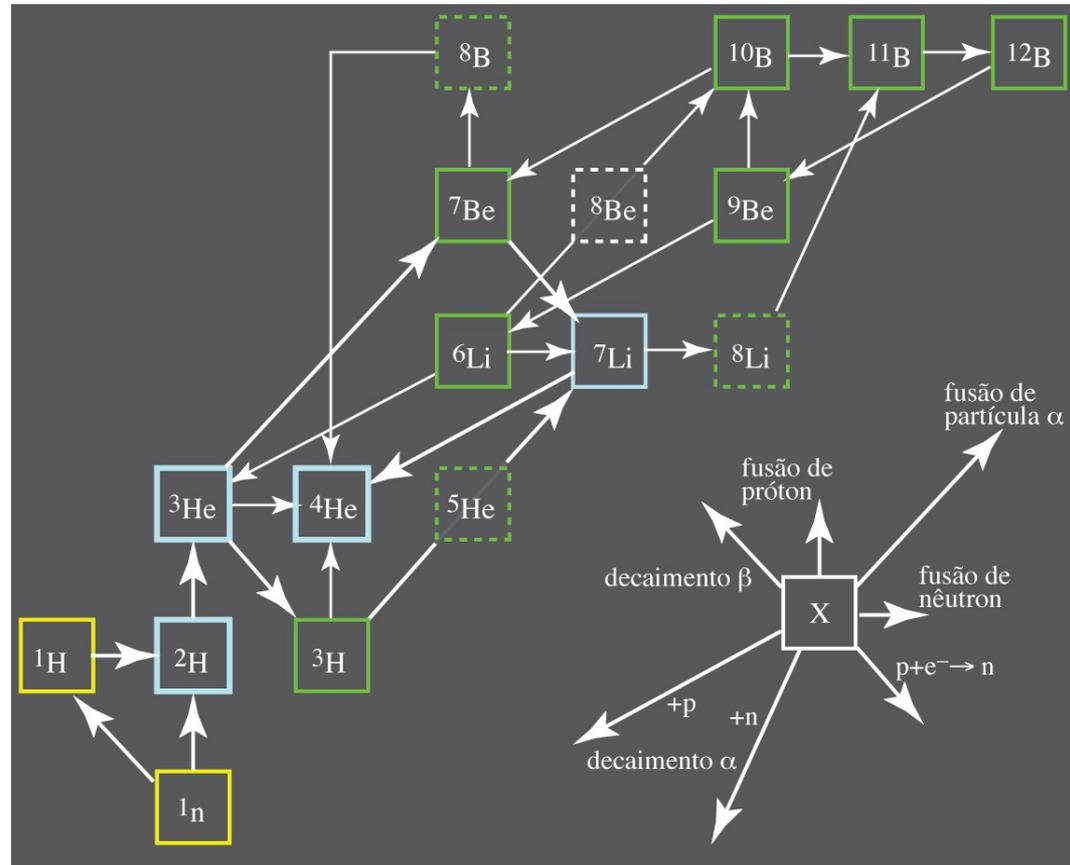
Universo ainda é MUITO quente e denso

# Nucleossíntese Primordial

Nucleossíntese significa produção de núcleos atômicos a partir da fusão termonuclear de núcleos mais leves.

Formam-se os elementos leves: **deutério, hélio, lítio, berílio e boro.**

número de prótons



número de nêutrons

Ocorre entre 1 segundo e 5 minutos  
Termina quando  $T \sim 1$  bilhão de graus, densidade  $\sim$  água

# Formação dos Átomos Neutros

Enquanto os átomos estão ionizados, o Universo é opaco à radiação.

Quando o universo se esfria, ele se torna transparente.

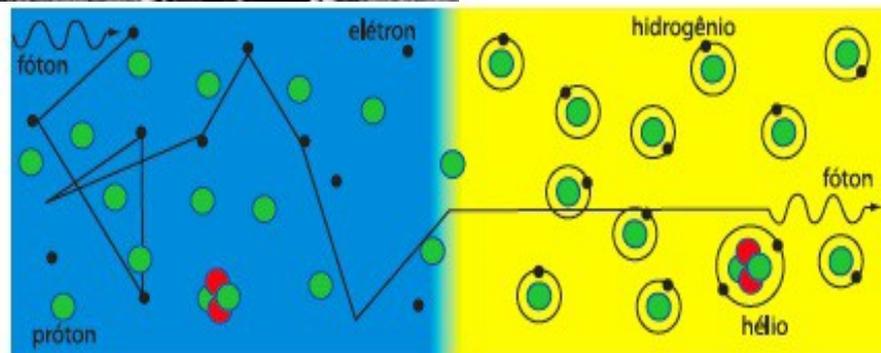
Origem da **radiação cósmica de fundo**, hoje, com 3K.

Prevista desde os anos  
1950.



Observada em 1964:  
Prêmio Nobel em  
1978 para Arno  
Penzias e Robert  
Wilson

Recombinação



$t \sim 400.000$  anos

$T \sim 3000$  graus,

densidade  $\sim 10.000$  átomos/cm<sup>3</sup>

passagem do tempo  $\longrightarrow$

# Era da Recombinação

...formação dos átomos neutros

A radiação cósmica de fundo se forma a  $T \sim 3000\text{K}$ , mas hoje medimos  $2,725\text{ K}$  devido a expansão do Universo. Lembrem-se que o Gamov previu este valor no Modelo dele....

A esta temperatura não há mais fótons com energia suficiente para manter a matéria ionizada, então os núcleos começam a capturar e reter os elétrons.

Os átomos se tornaram neutros e o Universo fica transparente para a radiação. Esta fase é chamada de **Era da Recombinação**.

Ocorre em  $t = 400.000$  anos

$T \sim 3000$  graus, densidade  $\sim 10.000$  átomos/cm<sup>3</sup>

# Idade das trevas

Passada a época da Recombinação, o Universo entrou em uma fase em que não havia qualquer fonte de luz, a chamada **Idade das Trevas**.

Há apenas a **radiação cósmica de fundo**, no infravermelho



idade das trevas

entre 400 mil e 400 milhões de anos

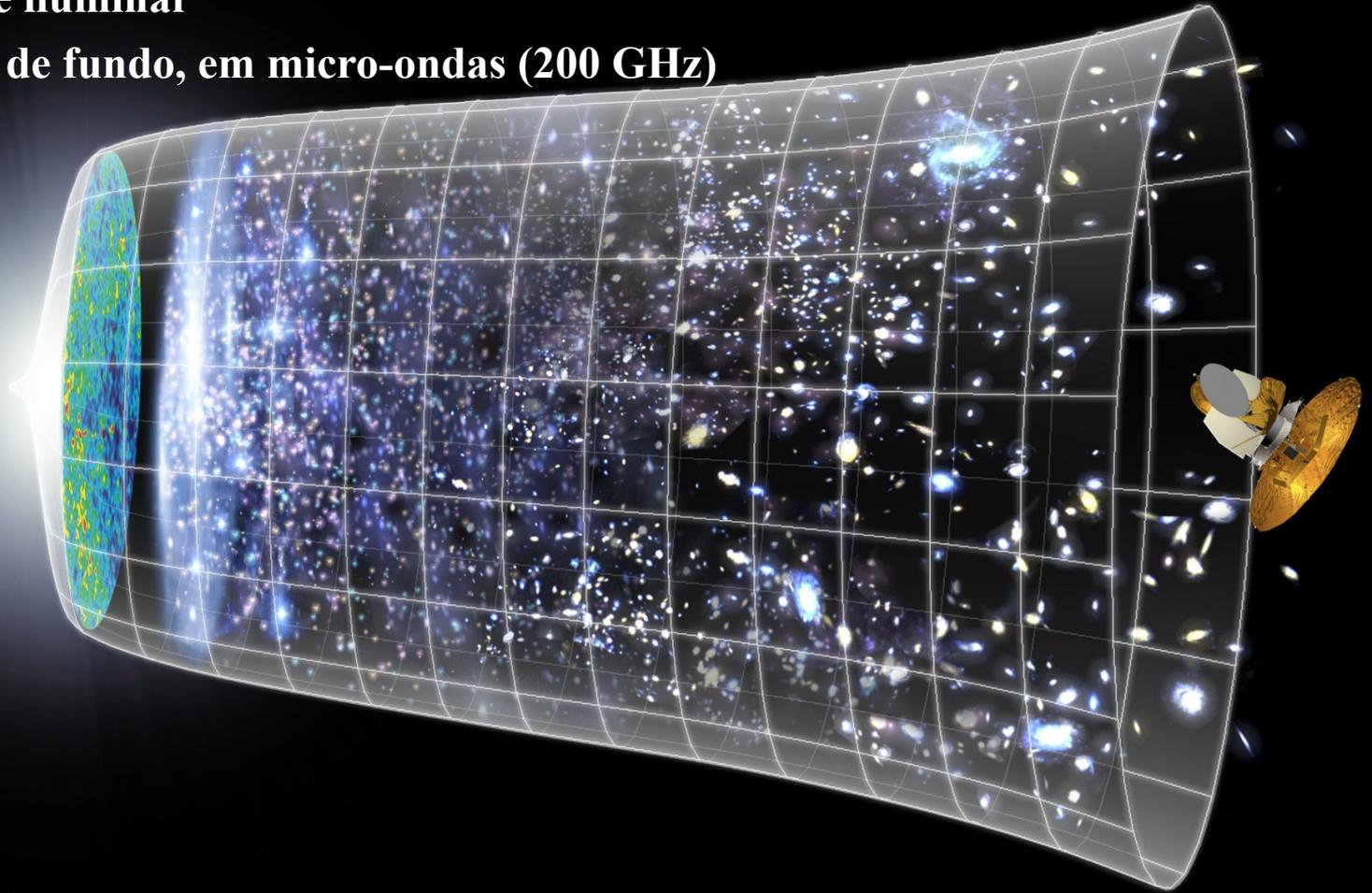
Foi nessa época que se formou a teia cósmica traçada pela matéria escura.

Fim da idade das trevas:  $T \sim 30 \text{ K}$ , densidade  $\sim 10 \text{ átomos/m}^3$

# Formação das estrelas, galáxias, planetas...

**Universo volta a se iluminar**

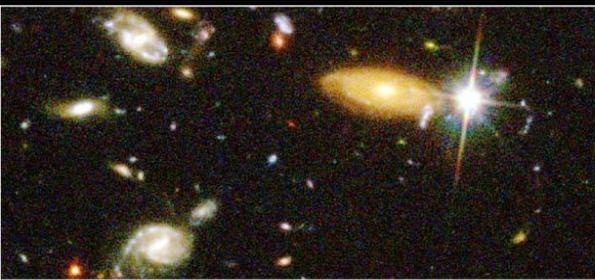
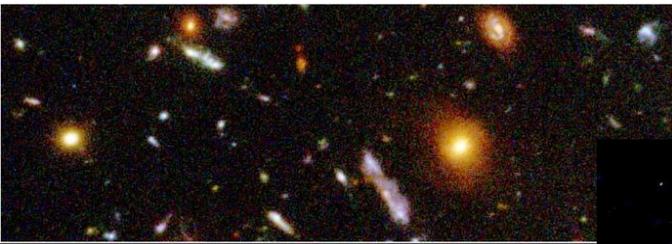
**Radiação cósmica de fundo, em micro-ondas (200 GHz)**



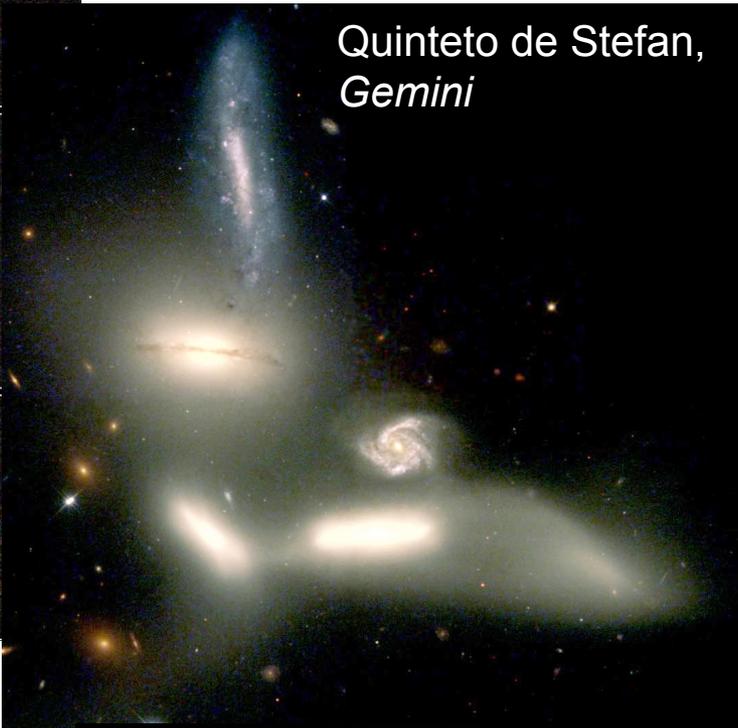
Entre 400 milhões de anos até hoje

$T \sim 2,725$  K, densidade  $\sim 1$  átomo/ 1000 litros

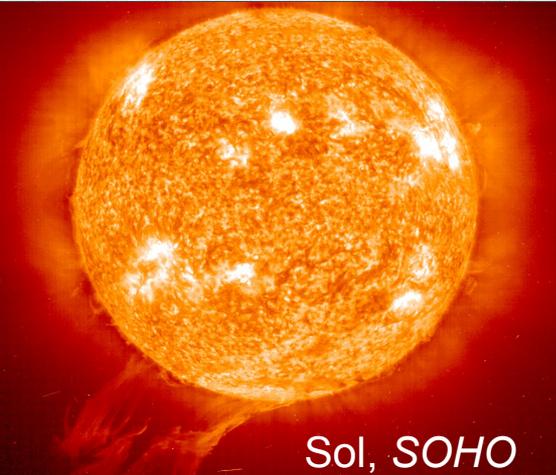
# Formação das estrelas, galáxias, planetas...



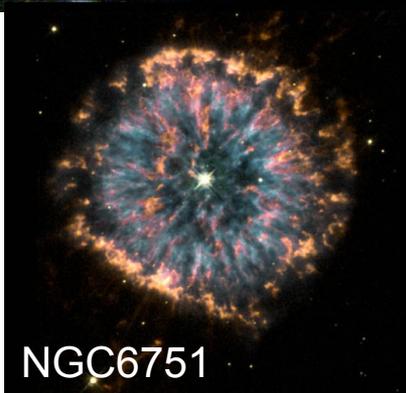
Campo profundo  
do *Hubble*



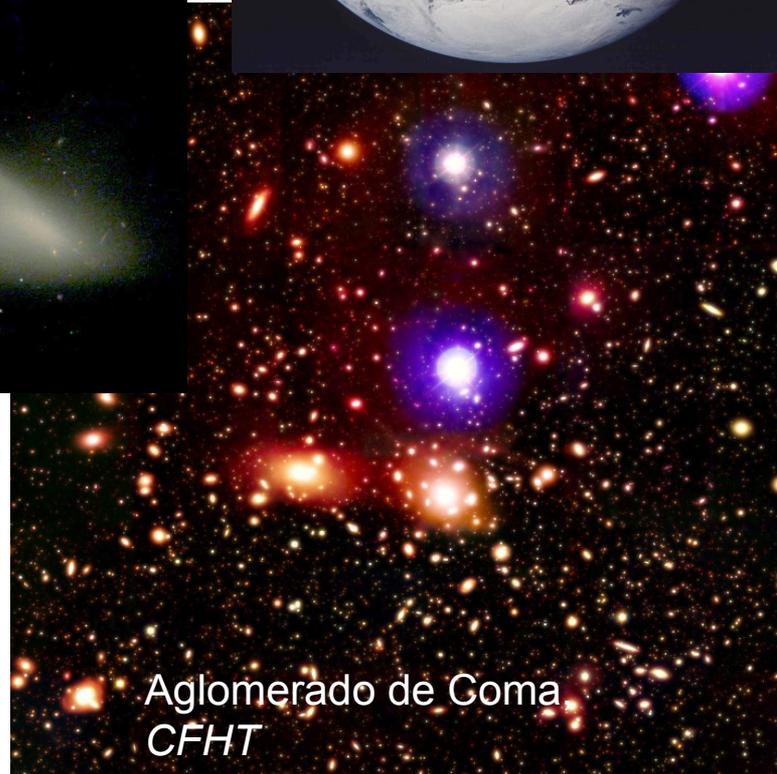
Quinteto de Stefan,  
*Gemini*



Sol, *SOHO*



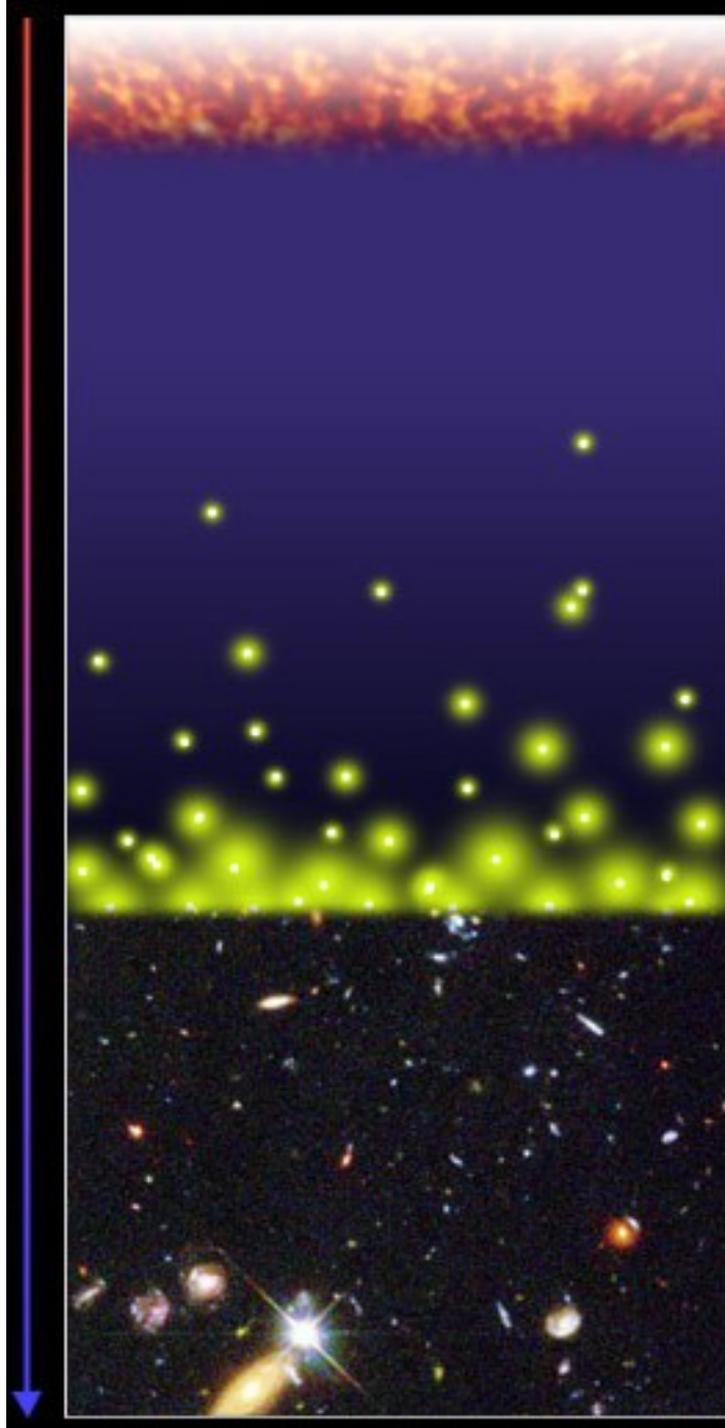
NGC6751



Aglomerado de Coma  
*CFHT*

- Radiação cósmica de fundo se forma.

- Quasares e galáxias conhecidos mais distantes.



## Big Bang

Recombinação  
400 mil de anos após o Big Bang

“Idade das trevas”

1<sup>as</sup> estrelas e Quasares  
400 milhões de anos

“Renascimento” cósmico

Fim da idade das trevas  
universo reionizado  
1 bilhão de anos

Galáxias evoluem

Sistema Solar se forma  
9 bilhões de anos

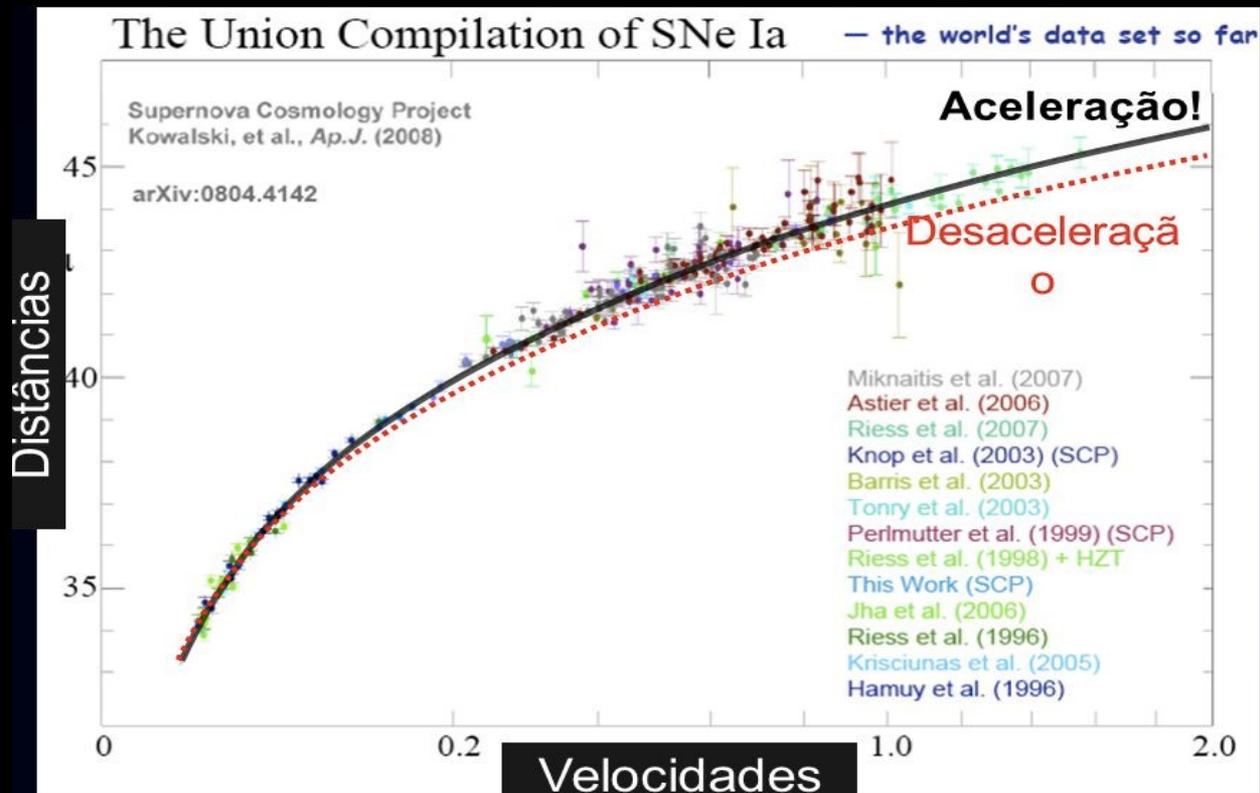
**Nós, hoje 13,7 bilhões de anos**

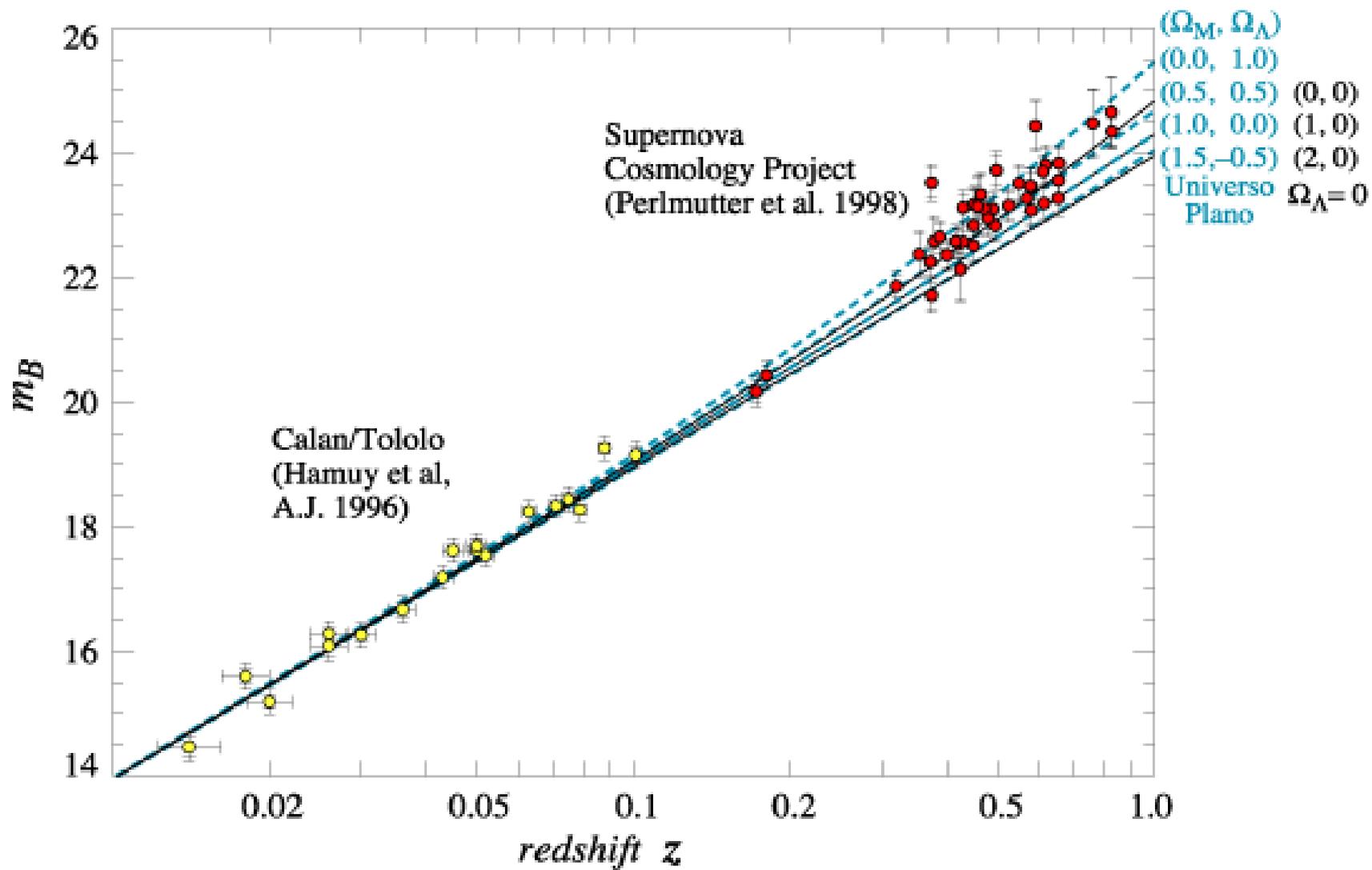
Mas recentemente descobriu-se que o Universo está em  
“Expansão Acelerada” ...!

Lembrem-se dos observáveis previstos no slide 34  
Entre eles....”parâmetro de desaceleração”

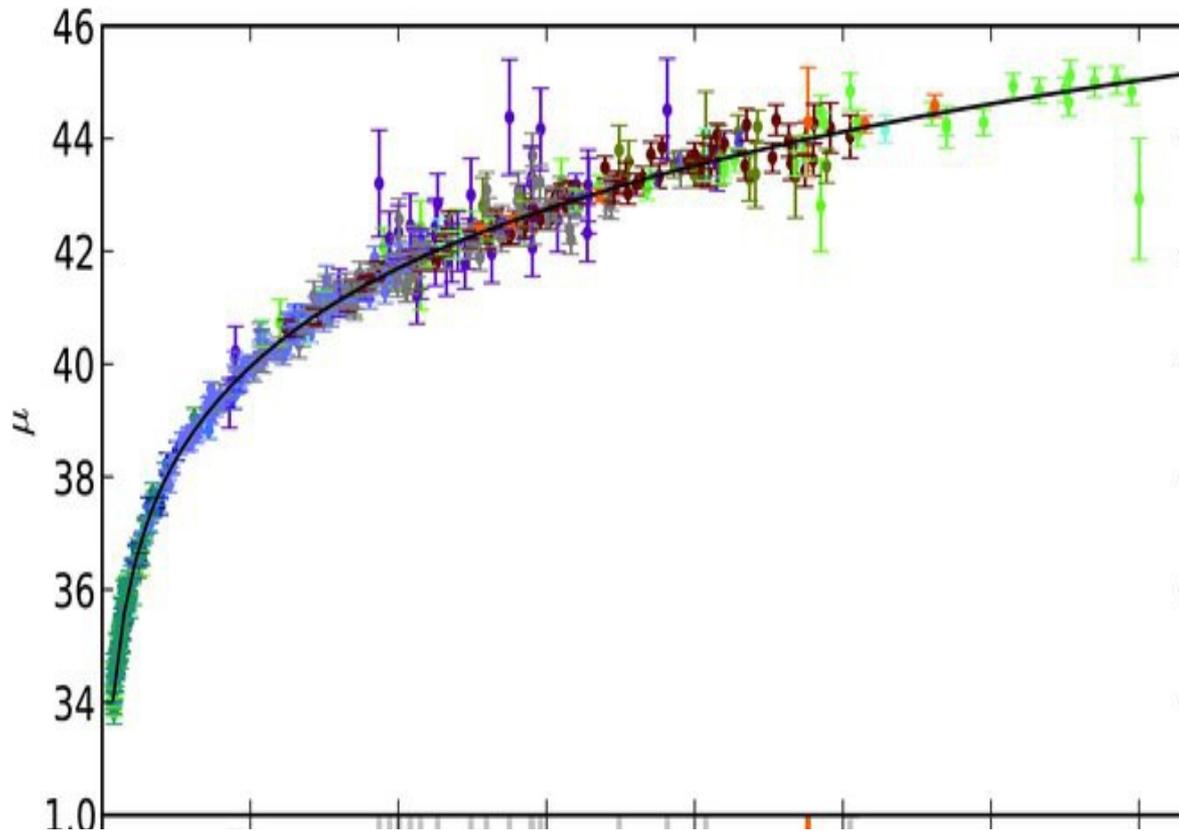
Supernovas de tipo Ia são eventos relacionados com "explosão" de uma anã branca em sistemas binários, resultando em uma luminosidade razoavelmente constante e poderoso traçador de distância cosmológica.

A fig. abaixo mostra os resultados das medidas e a comparação com modelos de Universo em **expansão** desacelerada e **acelerada**, indicando que este último se ajusta melhor aos dados

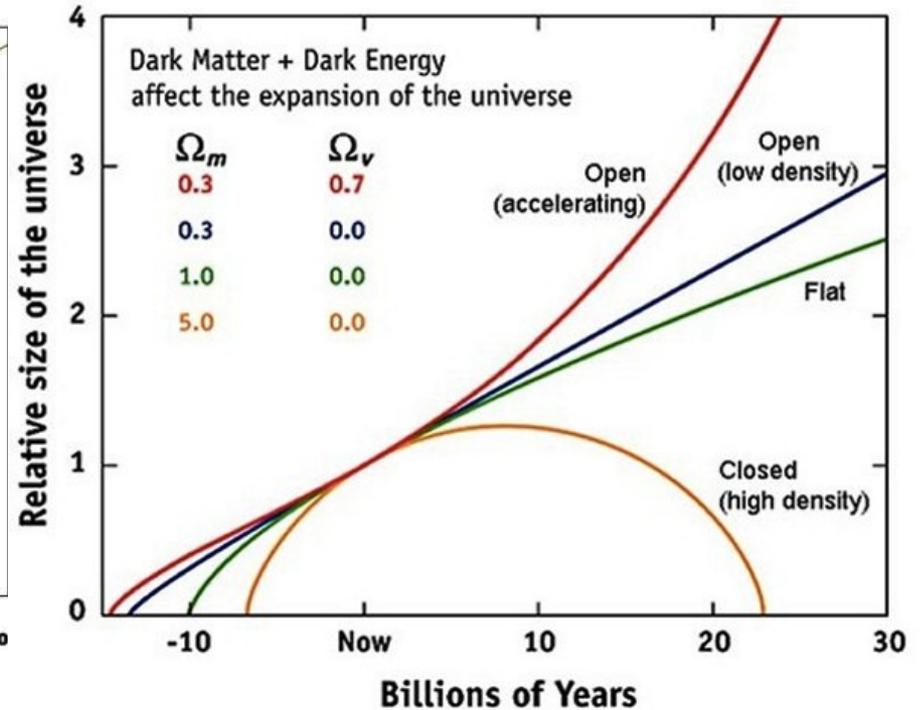
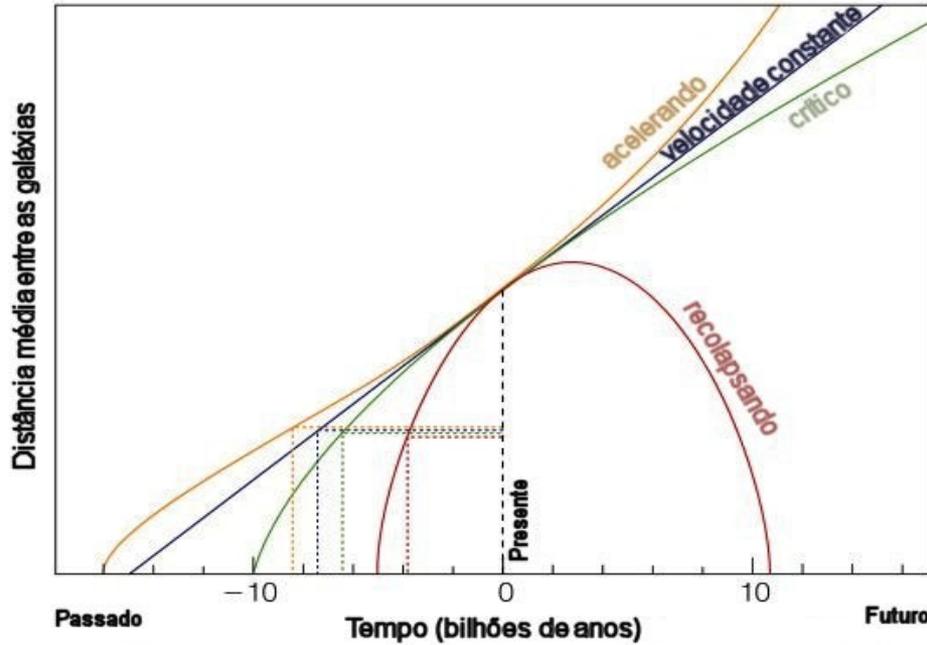




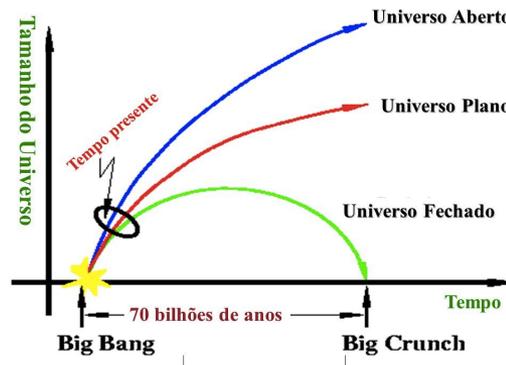
# Inclusão de mais dados



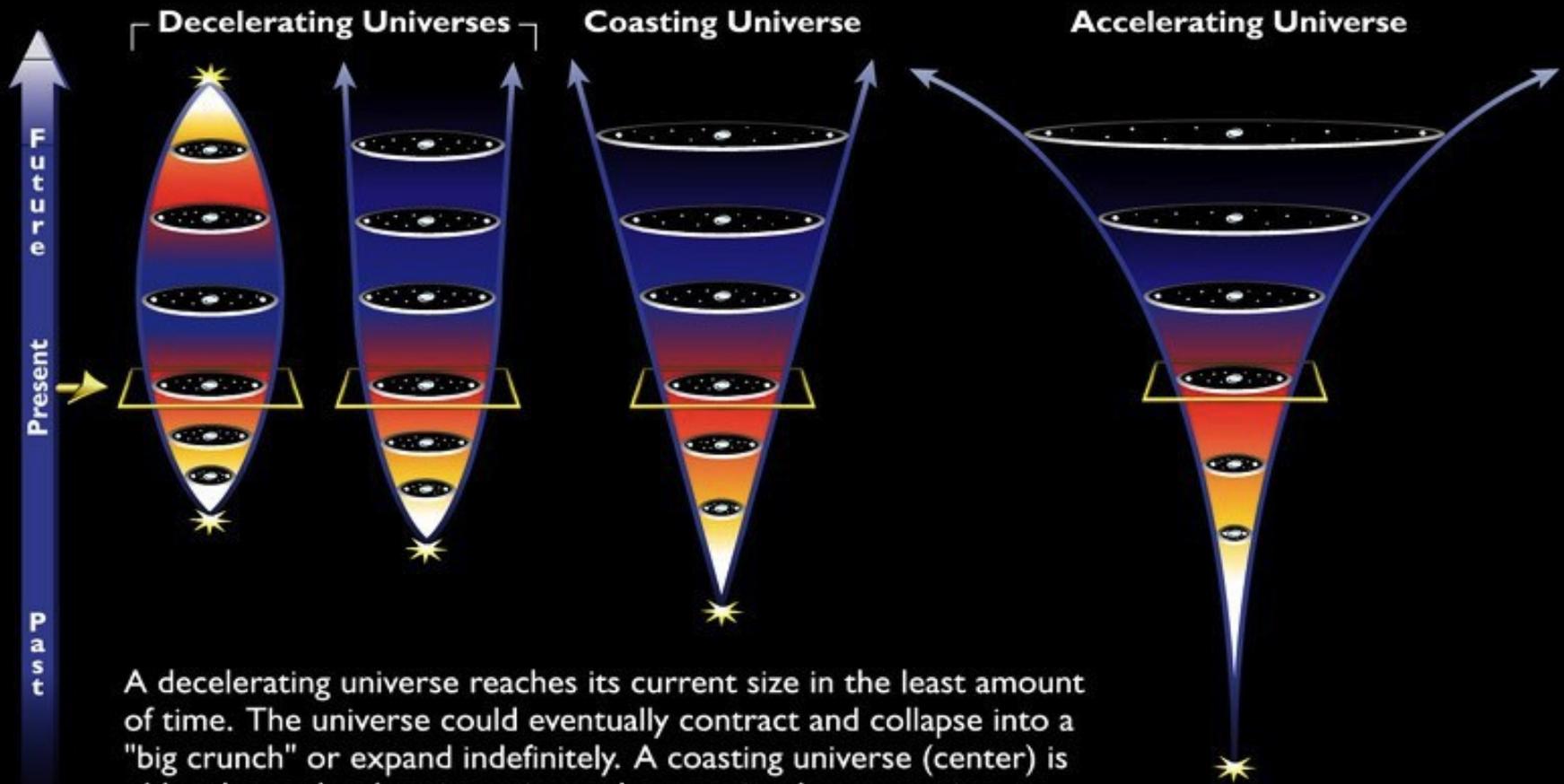
As previsões do futuro da expansão do Universo são alteradas comparadas aquelas que vimos no slide 3 e reproduzida abaixo ...e agora já com previsão de expansão acelerada



slide 3



# Possible Models of the Expanding Universe



A decelerating universe reaches its current size in the least amount of time. The universe could eventually contract and collapse into a "big crunch" or expand indefinitely. A coasting universe (center) is older than a decelerating universe because it takes more time to reach its present size, and expands forever. An accelerating universe (right) is older still. The rate of expansion actually increases because of a repulsive force that pushes galaxies apart.

A **densidade de matéria-energia** pode ser dividida em três grandes categorias: **matéria, radiação e energia escura.**

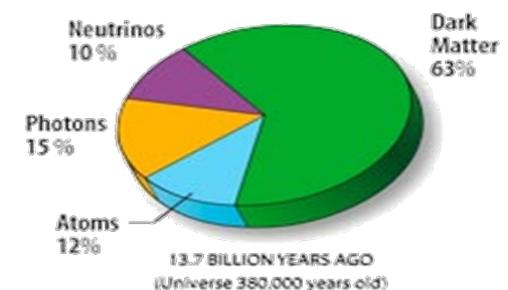
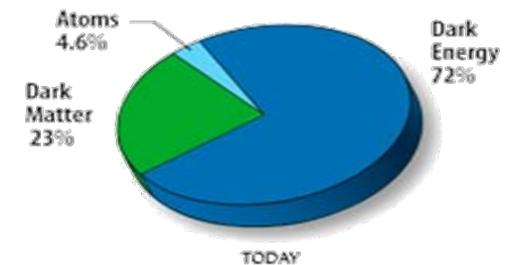
A **densidade atual total de matéria**,  $\rho_{0M}$ , é composta da **matéria bariônica usual e da matéria escura.** A contribuição para o parâmetro de densidade atual é  $\Omega_{0M} = \rho_{0M}/\rho_{0c} \sim 0,3$ .

A **densidade atual contida da radiação**  $\rho_{0R}$  é praticamente desprezível assim como a de seu correspondente parâmetro de densidade  $\Omega_{0R} = \rho_{0R}/\rho_{0c} \sim 0,04 \rightarrow \Omega_{0R} = 0$

A densidade atual da energia escura é usualmente representada pela chamada constante cosmológica  $\Lambda$  e a sua contribuição  $\Omega_{0\Lambda} \sim 0,7$ .

Assim, contabilizando a contribuição de cada componente esboçada anteriormente, temos no total, segundo o atual modelo de concordância cósmica,

$$\Omega_{0M} + \Omega_{0R} + \Omega_{0\Lambda} = \Omega_0 = 1$$

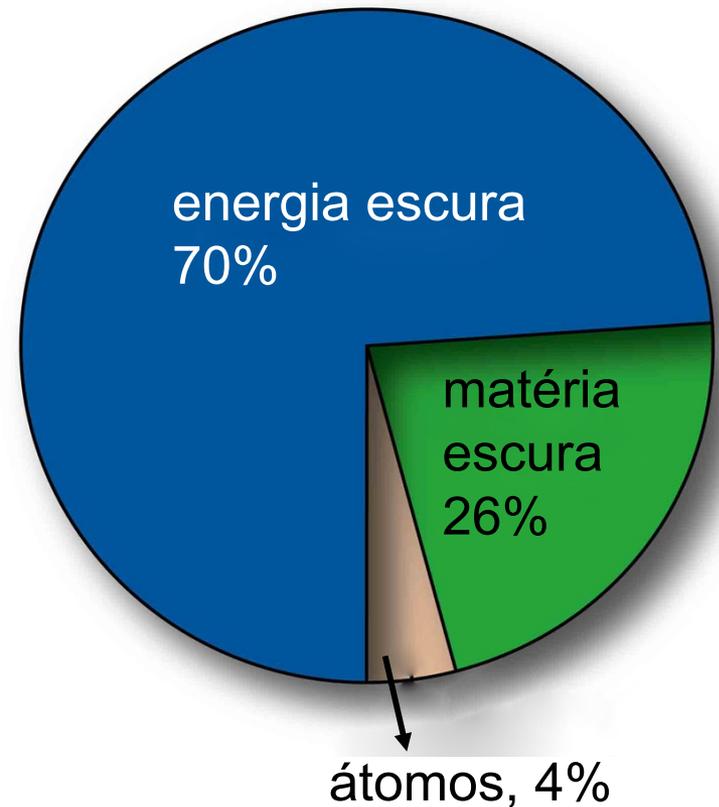


Valores representados percentualmente das contribuições de densidade de átomos, matéria escura e energia escura

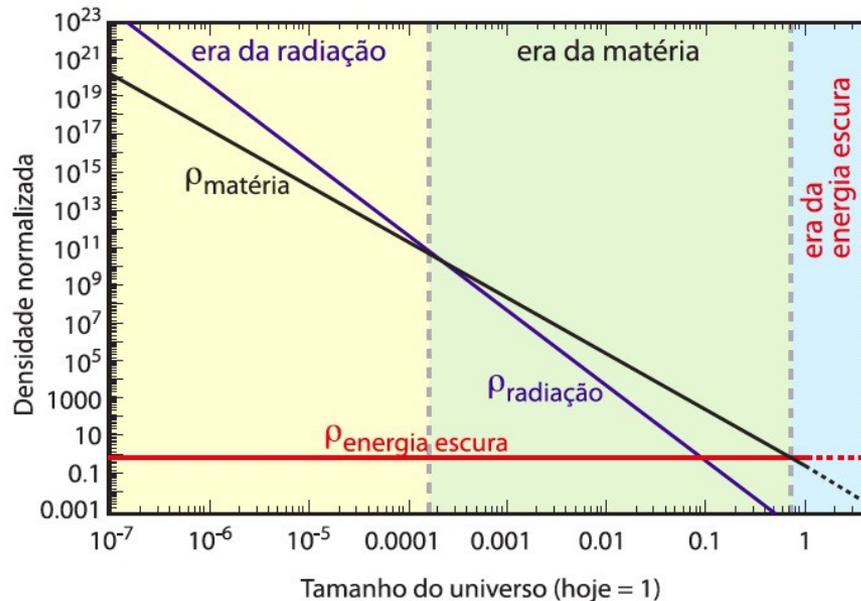
# Conteúdo do Universo

Matéria escura + Energia Escura correspondem a 96% da energia total.

O Universo parece estar se expandindo com velocidade ( $v$ ) = velocidade de escape ( $v_e$ ), implicando em uma interpretação de que continuará se expandindo para sempre....!



# Domínios da densidade de radiação, matéria e energia escura

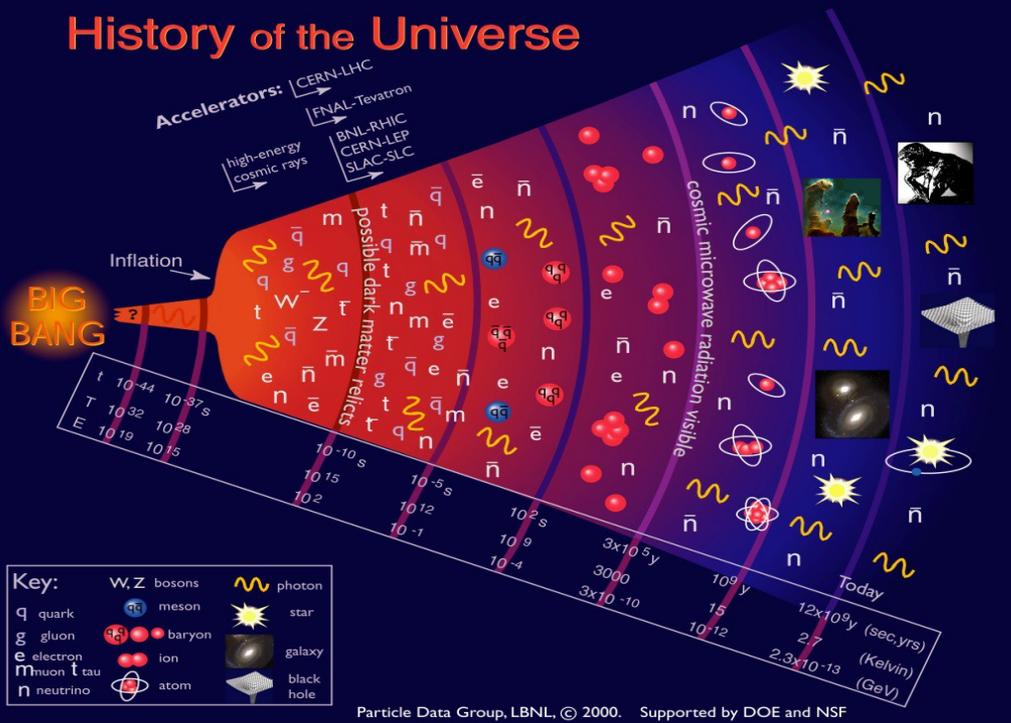


Evolução da densidade ( $\rho$ ) das três principais componentes do Universo: radiação, matéria (escura e bariônica), e energia escura.

As Eras são definidas pela intersecção da reta representando a densidade de matéria com a densidade de radiação e a densidade de energia escura.

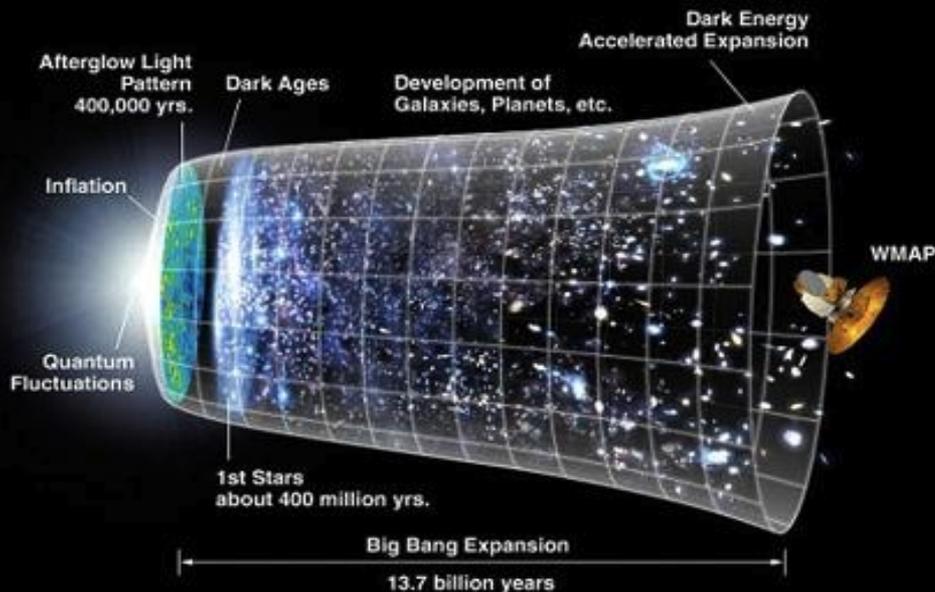
A densidade da radiação depende da quarta potência da temperatura da radiação. Como no passado a temperatura de radiação era muito maior, concluímos que próximo ao Big-Bang o termo de radiação era responsável pela contribuição dominante naquele período.

# History of the Universe



**TABLE 27-1** Major Epochs in the History of the Universe

EPOCH	TIME (after Big Bang)	DENSITY (kg/m <sup>3</sup> )	TEMP. (K)	MAINEVENTS
<b>Radiation Era</b>				
Planck	0 s	∞	∞	Unknown physics; quantum gravity
	10 <sup>-43</sup> s	10 <sup>95</sup>	10 <sup>32</sup>	
GUT	10 <sup>-35</sup> s	10 <sup>75</sup>	10 <sup>27</sup>	Strong, weak, and electromagnetic forces unified
	10 <sup>-10</sup> s	10 <sup>16</sup>	10 <sup>12</sup>	
Hadron	10 <sup>-4</sup> s	10 <sup>16</sup>	10 <sup>12</sup>	Heavy and light particles all in thermal equilibrium
	10 <sup>2</sup> s	10 <sup>4</sup>	10 <sup>9</sup>	
Lepton	10 <sup>2</sup> s	10 <sup>4</sup>	10 <sup>9</sup>	Only light particles still in thermal equilibrium. Neutrinos decouple.
	10 <sup>3</sup> yr (= 3 × 10 <sup>10</sup> s)	10 <sup>-13</sup>	6 × 10 <sup>4</sup>	
Nuclear	10 <sup>2</sup> s	10 <sup>4</sup>	10 <sup>9</sup>	Deuterium and helium formed by fusion of protons and neutrons during first 1000 s.
	10 <sup>3</sup> yr (= 3 × 10 <sup>10</sup> s)	10 <sup>-13</sup>	6 × 10 <sup>4</sup>	
<b>Matter Era</b>				
Atomic	10 <sup>3</sup> yr (= 3 × 10 <sup>10</sup> s)	10 <sup>-13</sup>	6 × 10 <sup>4</sup>	Matter begins to dominate. Atoms form. Electromagnetic radiation decouples.
	10 <sup>6</sup> yr (= 3 × 10 <sup>13</sup> s)	10 <sup>-19</sup>	10 <sup>3</sup>	
Galactic	10 <sup>9</sup> yr (= 3 × 10 <sup>16</sup> s)	3 × 10 <sup>-25</sup>	10	Galaxies and larger-scale structure form.
	>10 <sup>10</sup> yr (= 3 × 10 <sup>17</sup> s)	10 <sup>-26</sup>	3	
Stellar	>10 <sup>10</sup> yr (= 3 × 10 <sup>17</sup> s)	10 <sup>-26</sup>	3	All galaxies have formed. Stars continue to form.



# Resumo dos principais eventos na evolução do Universo

## Fonte:

Maria de Fátima Oliveira Saraiva, Kepler de Souza Oliveira Filho & Alexei Machado Müller

Idade Cósmica	Temperatura	Eventos Marcantes
$< 10^{-43}$ s	$> 10^{32}$ K	<i>Big Bang</i> . Unificação das 4 forças. Era de Planck.
$10^{-43}$ s	$10^{32}$ K	Tempo de Planck. Gravidade se separa das outras forças. Era das GUT's (Teoria da Grande Unificação das forças nucleares forte e fraca e da força eletromagnética).
$10^{-35}$ s	$10^{28}$ K	Força nuclear forte se separa da força eletrofraca.
$10^{-32}$ s	$10^{27}$ K	Era da inflação. Universo se expande rapidamente.
$10^{-10}$ s	$10^{15}$ K	Era da radiação. Forças eletromagnética e fraca se separam.
$10^{-7}$ s	$10^{14}$ K	Era das partículas pesadas (era hadrônica). A colisão de fótons dá origem aos prótons, aos antiprótons, aos quarks e aos antiquarks.
$10^{-1}$ s	$10^{12}$ K	Era das partículas leves (era leptônica). Fótons retêm energia suficiente apenas para construir partículas leves como elétrons e pósitrons.
3 min	$10^{10}$ K	Era da nucleossíntese. Prótons e elétrons interagem para formar nêutrons. Prótons e nêutrons formam núcleos de deutério, de hélio, e pequena quantidade de lítio e de berílio. Todos os átomos encontram-se ionizados.
$380 \times 10^3$ anos	$10^3$ K	Era da recombinação. Os elétrons se unem aos núcleos para formarem os átomos. A radiação pode fluir livremente pelo espaço. (O Universo fica transparente.)
$1 \times 10^8$ anos	20 K	Formação das galáxias.
$10 \times 10^8$ anos	3 K	Era presente. Formação do Sistema Solar. Desenvolvimento da vida.

# História Térmica do Universo

Evento	Idade	$z$	$T$ (K)	$kT$
Hoje	$13,7 \times 10^9 h_{70}^{-1}$ anos	0	2,725	$2,35 \times 10^{-4}$ eV
Equipartição E. Escura–Matéria	$9,95 \times 10^9 h_{70}^{-1}$ anos	0,326	3,61	$3,1 \times 10^{-4}$ eV
Fim da reionização	$\sim 0,92 \times 10^9 h_{70}^{-1}$ anos	$\sim 6$	$\sim 19,0$	$1,6 \times 10^{-3}$ eV
Início da reionização	$\sim 0,18 \times 10^9 h_{70}^{-1}$ anos	$\sim 20$	$\sim 57$	$4,9 \times 10^{-3}$ eV
Desacoplamento dos fótons	$0,4 \times 10^6 h_{70}^{-1}$ anos	1100	3000	0,26 eV
Recombinação	$2,7 \times 10^5 h_{70}^{-1}$ anos	1400	3800	0,33 eV
Equipartição Matéria–Radiação	$58 \times 10^3 h_{70}^{-1}$ anos	$3400 h_{70}^2$	$9200 h_{70}^2$	$0,8 h_{70}^2$ eV
Nucleossíntese	1–500 s	$2,5 \times 10^8$ – $5,5 \times 10^9$	$7 \times 10^8$ – $15 \times 10^9$	0,06–1,3 MeV
Aniquilação de $e^+$ Desacoplamento dos neutrinos	1 s	$5,5 \times 10^9$	$15 \times 10^9$	1,3 MeV
Transição quark–hádron	$5 \times 10^{-6}$ s	$4 \times 10^{12}$	$10^{13}$	1 GeV
Unificação eletro-frac Bariogênese?	$5 \times 10^{-10}$ s	$4 \times 10^{14}$	$10^{15}$	100 GeV
GUT/Inflação	$5 \times 10^{-33}$ s	$4 \times 10^{26}$	$10^{27}$	$10^{14}$ GeV
Época de Planck Desacopl. dos grávitons	$2 \times 10^{-43}$ s	$10^{32}$	$3 \times 10^{32}$	$2 \times 10^{19}$ GeV

# Teoria da Relatividade Geral

...espaço-tempo

...gravitação como deformação do espaço-tempo

....Buracos negros

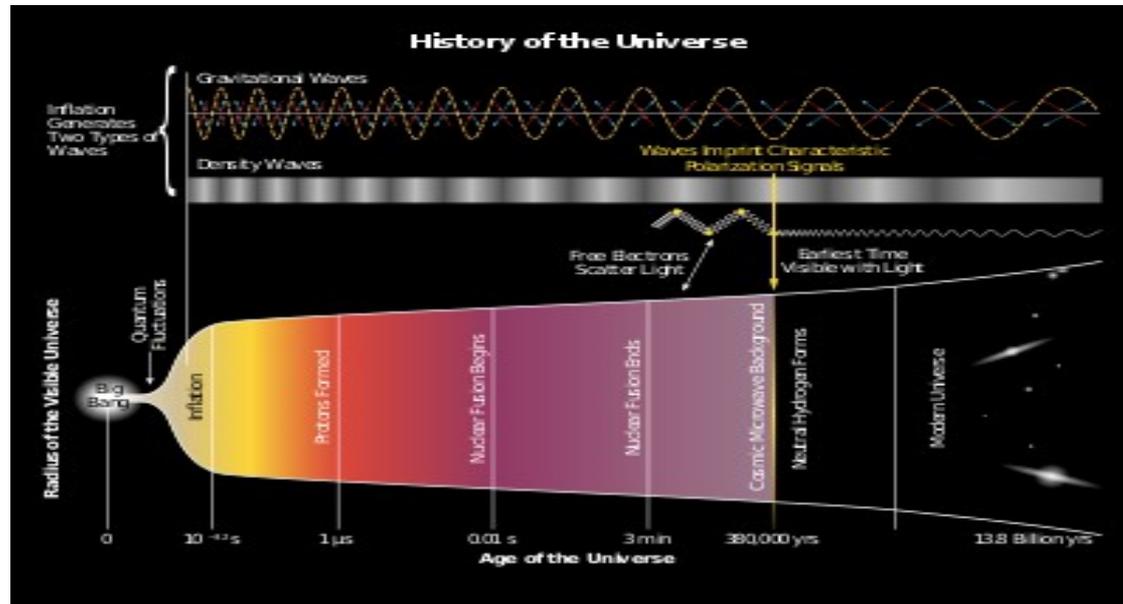
„Ondas gravitacionais

...e outras previsões

para Max Born.....,

“o maior feito do pensamento humano sobre a natureza, a mais impressionante combinação de penetração filosófica, intuição física e habilidade matemática”...

# Como as ondas gravitacionais podem contribuir para melhor entendimento do Universo?



Hoje temos acesso a evolução do Universo via radiação eletromagnética, até o limite do Universo observável. Isto implica em termos acesso a evolução do Universo até o limite de 380 mil anos de idade. Não temos acesso ao que aconteceu antes, desde o big bang até a formação das primeiras partículas, e as fases iniciais de evolução.

As ondas gravitacionais podem nos dar acesso além do nosso Universo observável, e em princípio, não tem nada que nos impeça de chegar a estes limites pelas ondas gravitacionais. Teríamos então a possibilidade de ter acesso ao início de formação e evolução do Universo. É uma nova Era!

Então já conhecemos a origem e destino do universo? **Não !**

...só uma boa noção

O que acontece no Big Bang?

Pode haver algo antes do Big Bang?...e aí já estaríamos fora da proposta da cosmologia....

Como se formaram e onde estão as primeiras estrelas?

Como se formaram as galáxias?

**Qual será o destino do universo?...energia do vácuo? Quintessência?**

O que é “matéria escura”? O que é “energia escura”?

Como as Ondas Gravitacionais podem contribuir para este Cenário ?

...mas até aqui sabemos que....

....moléculas e átomos destas moléculas em nosso corpo podem ser rastreadas até o núcleo incandescente das estrelas que explodiram e lançaram os elementos para a Galáxia, enriquecendo nuvens gasosas primitivas com a química da vida....

....estamos conectados entre nós biologicamente..., à Terra químicamente..., e ao Universo atômicamente ...

Tyson

# Outras visões

...ainda especulativas

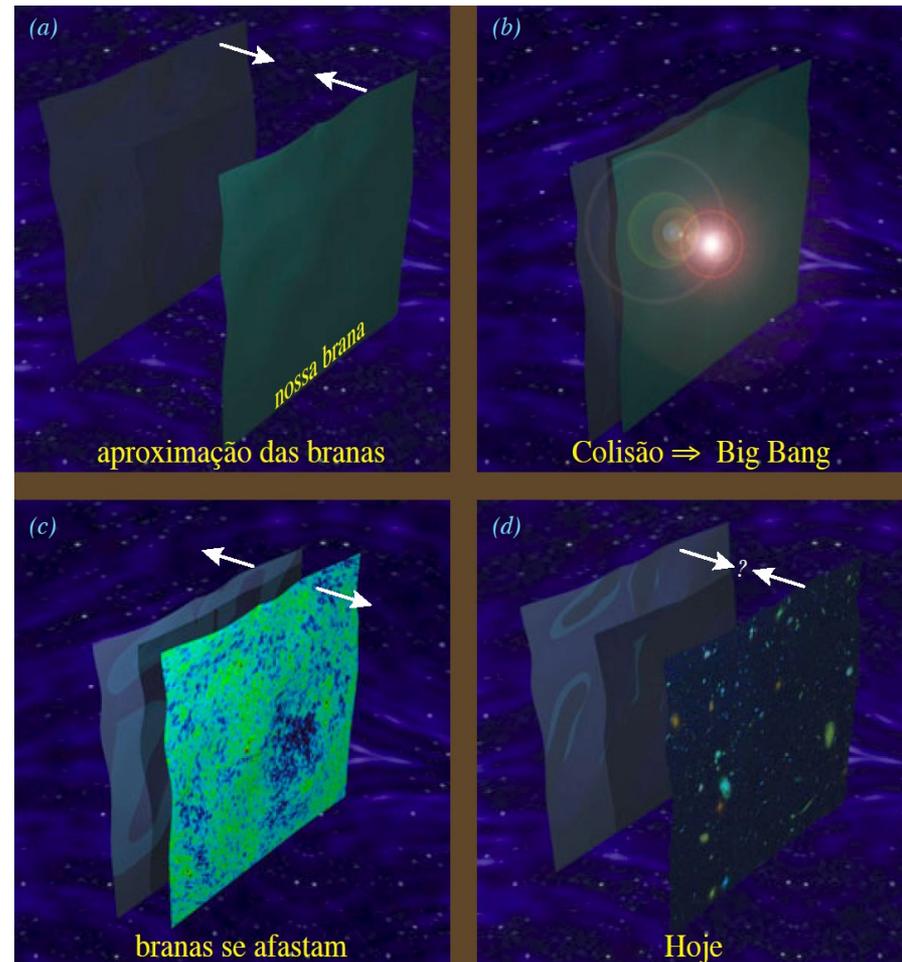
A Teoria de Tudo precisa combinar a teoria de Relatividade Geral (gravitação) com a teoria quântica.

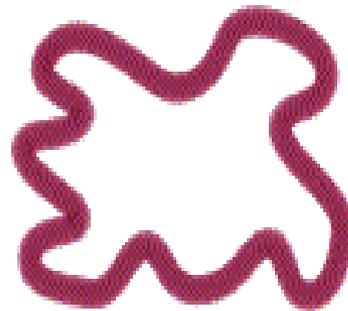
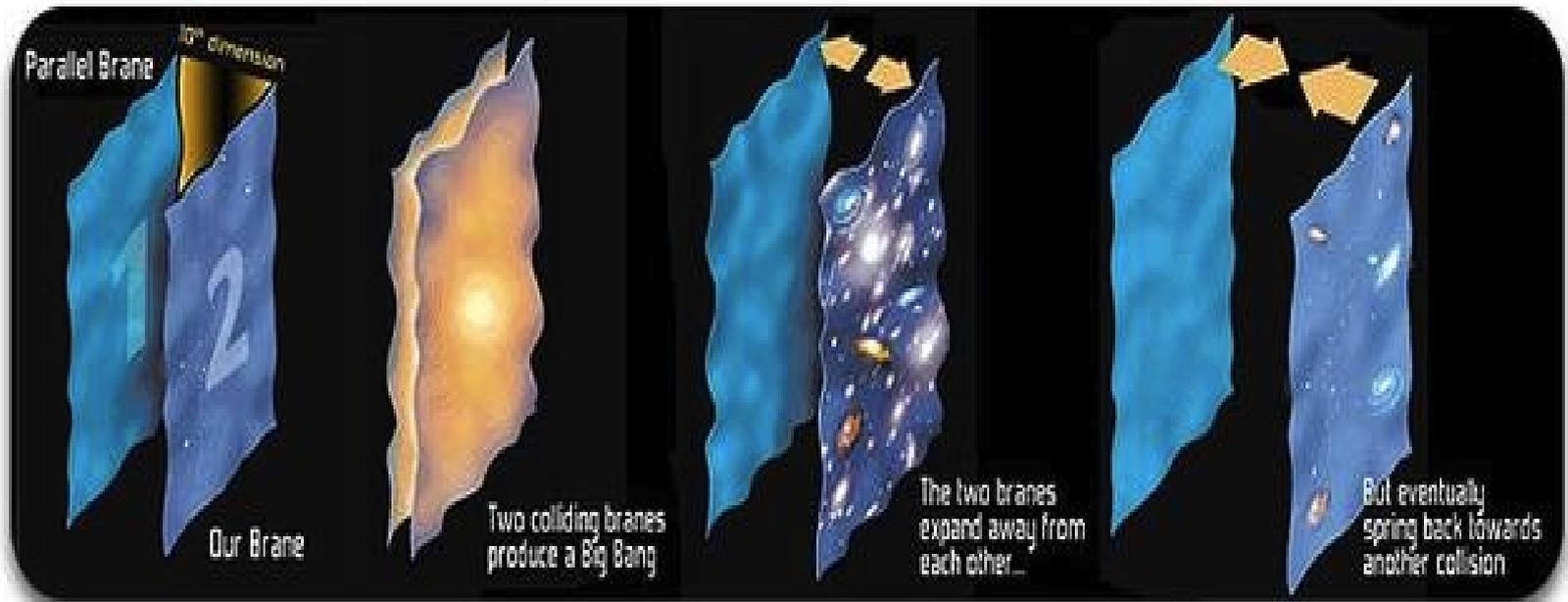
A mais promissora teoria no momento é a de supercordas (superstrings), proposta originalmente pelo físico inglês Walter Bannerman Kibble (1933-)

- Necessita 10 dimensões espaciais.
- Descreve as partículas elementares como modos de vibração, cordas unidimensionais fechadas que vibram. O conjunto de cordas formam os quarks, elétrons, neutrinos, etc.

Nosso universo estaria confinado em uma membrana (“brana”).

O Big Bang seria o resultado de uma colisão de branas.





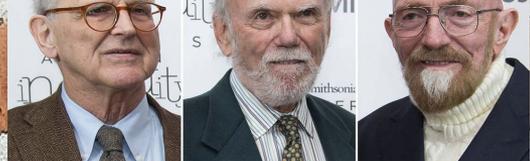
Partículas elementares como modos de vibração, cordas



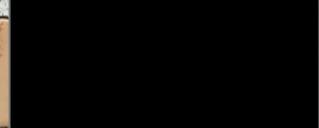
Boson de Riggs



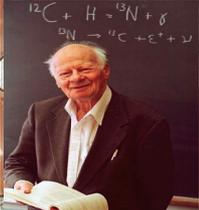
Duracos negros



Ondas Gravitacionais



Penias & Wilson



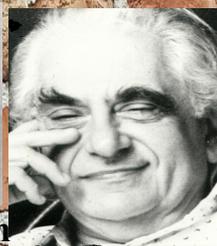
Bethe



Lemaitre



Friedmann



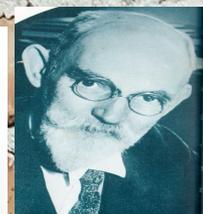
Schenberg



Henrietta Leavit



Alan Gut



De Sitter



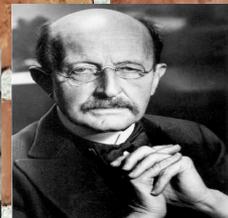
Fizeau



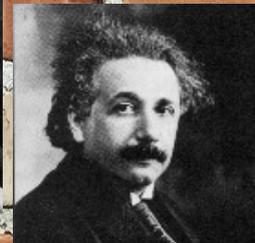
Doppler



Slipper



Planck



Einstein



Bohr



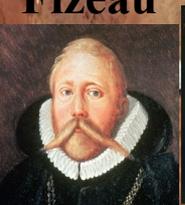
Hertzprung



Boltzman



Stefan



Tycko Brahe



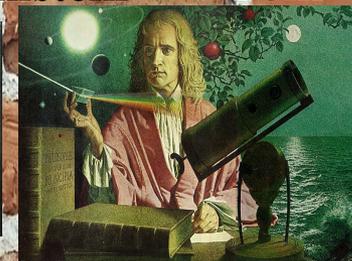
Kepler



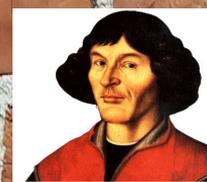
Galileu



Roemer



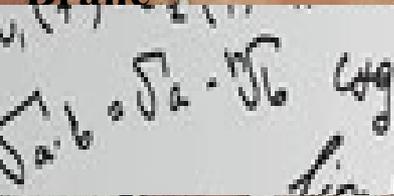
Newton



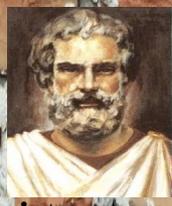
Copérnic



Fraunhoffer

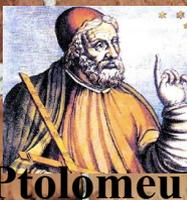


Babilônio



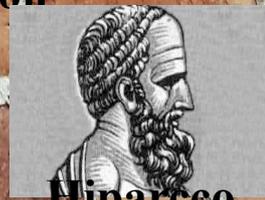
Aristareo

Egípcios



Ptolomeu

Chineses



Hiparceo

Maias



Gregos

## Bibliografia

“Introdução À Cosmologia” - Ronaldo E. de Souza (ed. Edusp)

“Astronomia e Astrofísica” - Kepler & Maria de Fátima

Recomendo ver o vídeo que consta no site da disciplina intitulado :

“Radiação Cósmica de Fundo”

Recomendo também o artigo

“A energia escura e o destino do Universo” – Mário Lívio

<http://ife.org.br/energia-escura-destino-universo-mario-livio/?print=pdf>

Matéria e anti-matéria podem ser criadas do Nada →

<https://www.dailymotion.com/video/xuh17e>

Luz é gerada é partir do nada

Todas as ref. podem ser encontradas no site da disciplina....

Fim

Bom Natal e um Ano  
Novo abundante de  
curiosidades