



# Astrofísica Geral

## Tema 22: O Big Bang

Alexandre Zabet

# Índice

Modelos cosmológicos

Expansão do universo

Big Bang

Evidências do Big Bang

Bibliografia



# Índice

Modelos cosmológicos

Expansão do universo

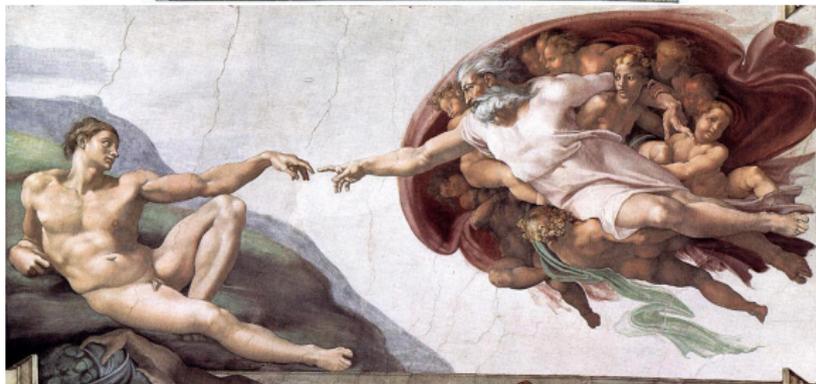
Big Bang

Evidências do Big Bang

Bibliografia



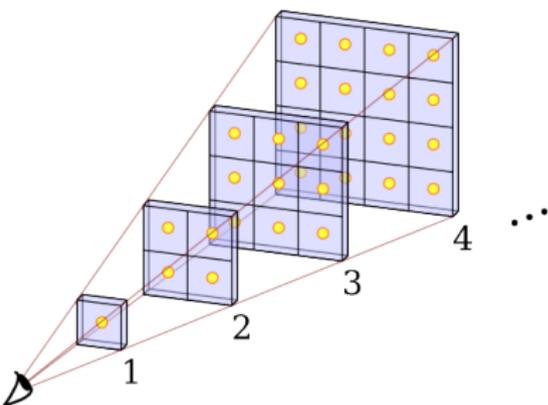
# Cosmologia



Não confunda: Criação com Estrutura e Evolução do Universo.



# Paradoxo de Olbers

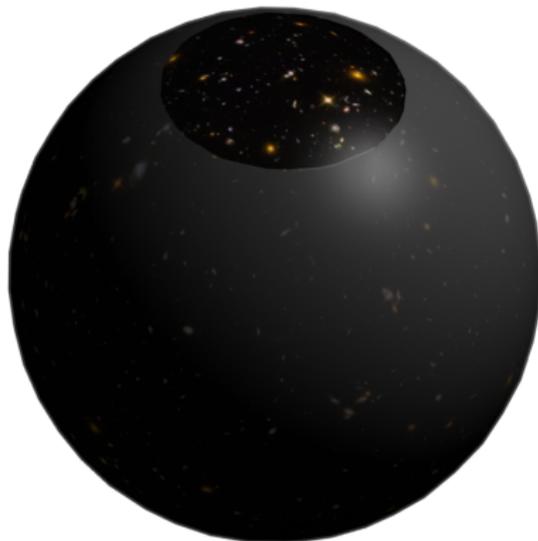


- ▶ Heinrich Olbers (1758 – 1840)
  - ▶ Não foi o primeiro
- ▶ Solução: Edgar Allan Poe e Kelvin
- ▶ O universo **observável** é finito
- ▶ **Restrição** aos modelos cosmológicos!

O número de estrelas aumenta com o quadrado da distância, assim como decai o brilho delas. Por que o céu não brilha como uma estrela?



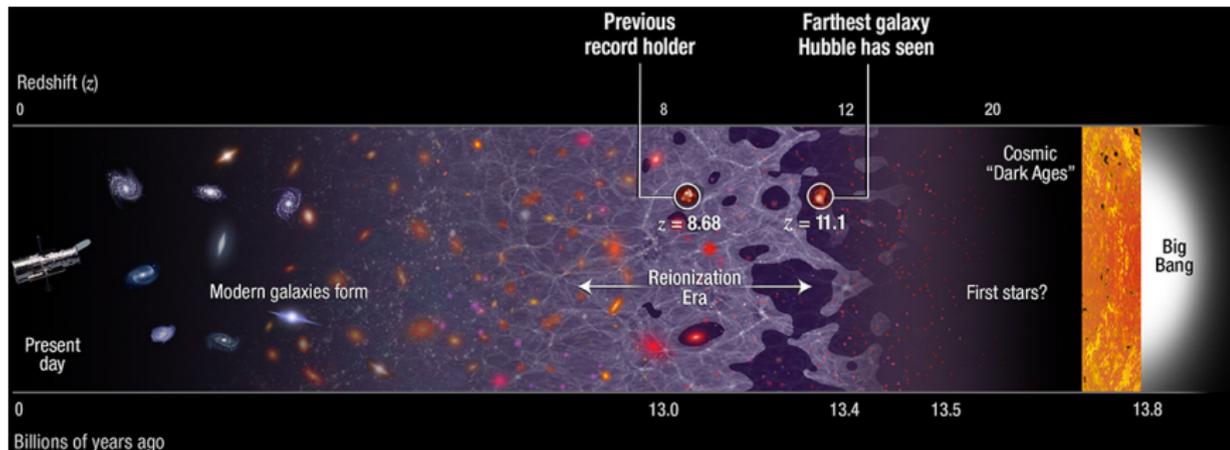
# Universo observável



Universo observável: não somos capazes de observar todo o universo. Mas isso não nos impede de estimar parâmetros para todo ele, como a curvatura, por exemplo.



# Universo observável



Em 2016 a NASA divulgou a descoberta de GN-z11, a galáxia mais distante já observada. Sua luz levou 13.4 Gyr para chegar até nós, foi emitida quando o universo tinha apenas 400 Myr. O objeto está em  $z = 11.1$ .



# Universo observável



Essa figura representa mais corretamente o que significa o Universo Observável. Hoje o diâmetro do Universo Observável é de 93 Gly.



# Índice

Modelos cosmológicos

Expansão do universo

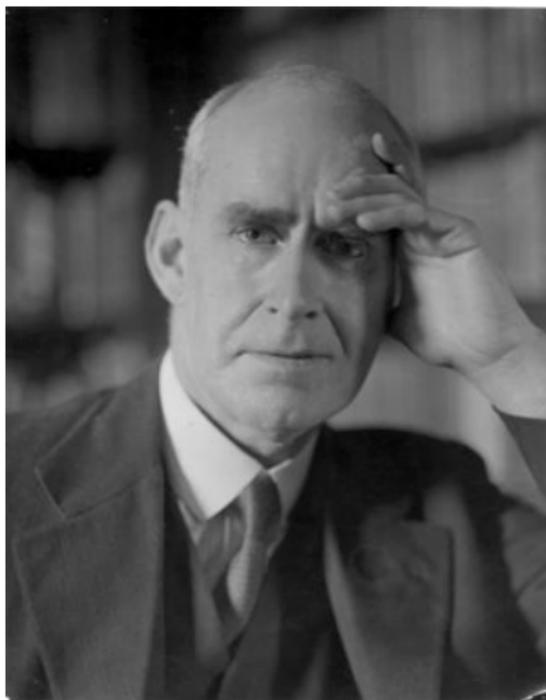
Big Bang

Evidências do Big Bang

Bibliografia



## O problema do redshift das galáxias



1924: Eddington observa que das 41 galáxias observadas por Vesto Slipher, 36 tinham desvio para o vermelho! Coincidência? Viés?



# O problema do redshift das galáxias

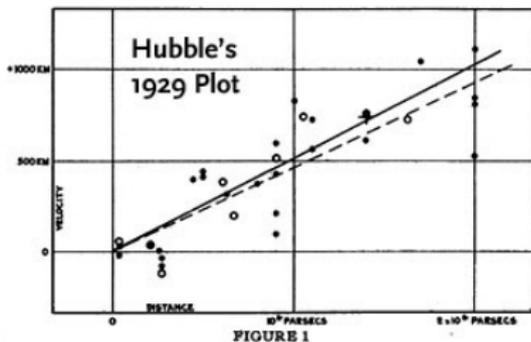
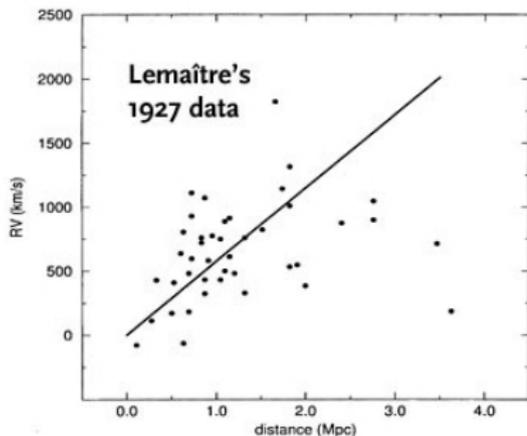


Pe Georges Lemaître, SJ, (1894 – 1966)

- ▶ Aluno de Eddington (Cambridge) & Shapley (Harvard)
- ▶ 1927: Solução das eq. de Einstein
  - ▶ Densidade varia no tempo
  - ▶ Constante cosmológica
  - ▶ Raio do universo aumenta
  - ▶ Sem início ( $t_0 = -\infty$ )
  - ▶ Propôs o redshift como **cosmológico**
  - ▶ Calculou a constante (de Hubble!): 625 km/s/Mpc
  - ▶ **Publicou em francês!**
  - ▶ Eddington não leu
  - ▶ Einstein: "Seus cálculos são corretos, mas sua física é abominável".



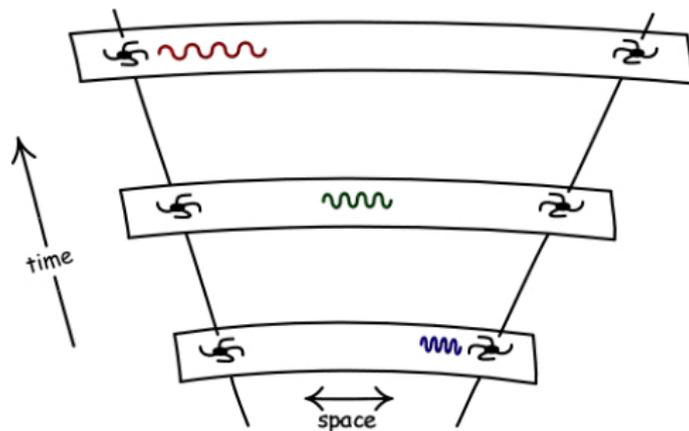
# Redshift cosmológico



Lemaître descobriu a expansão do universo 2 anos antes de Hubble e a interpretou corretamente. Hubble não soube interpretar o redshift sistemático das galáxias em termos cosmológicos.



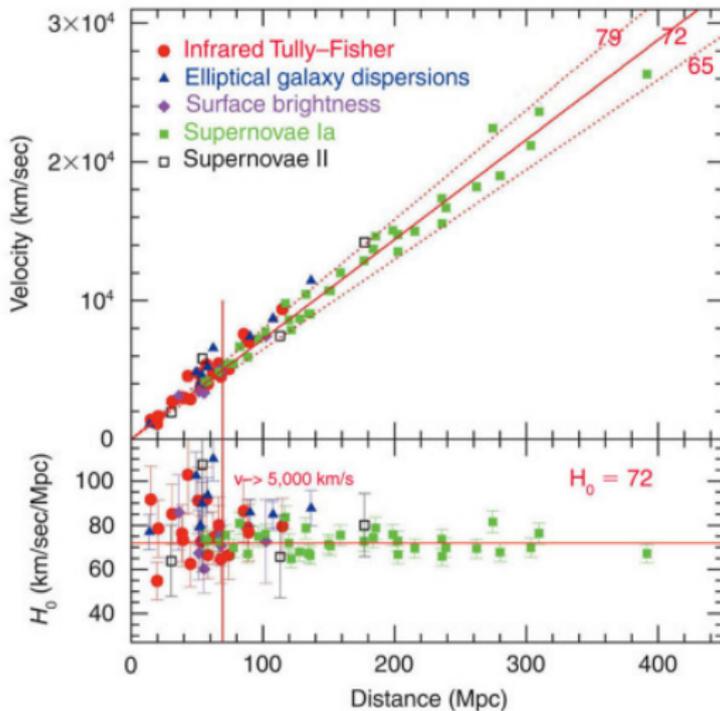
## Redshift cosmológico



Redshift por efeito doppler é diferente de redshift cosmológico por expansão do universo. No primeiro caso, depois da onda ser emitida, o desvio para o vermelho não muda mais. No segundo caso, o desvio em um momento é o valor acumulado para todas as taxas de expansão do universo até aquele instante.



# Lei de Hubble



Lei de Hubble:  $v = H_0 d$ . A constante de Hubble varia no tempo.



# Tempo de Hubble

- ▶ A constante de Hubble tem unidade de  $km/s/Mpc$
- ▶ Ou seja, tempo:  $\frac{km}{s} \frac{1}{Mpc}$
- ▶ Podemos calcular o tempo de Hubble invertendo a constante:
- ▶  $T_H = \frac{1}{H_0} = \frac{1}{72 \frac{s}{km}} Mpc$
- ▶  $1 Mpc = 3.086 \times 10^{19} km$
- ▶  $T_H = \frac{1}{H_0} = \frac{3.086 \times 10^{19}}{72} s$
- ▶  $\therefore T_H = 13.58$  bilhões de anos



# Índice

Modelos cosmológicos

Expansão do universo

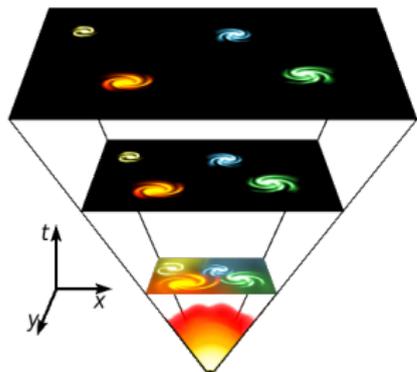
**Big Bang**

Evidências do Big Bang

Bibliografia



# O dia sem ontem

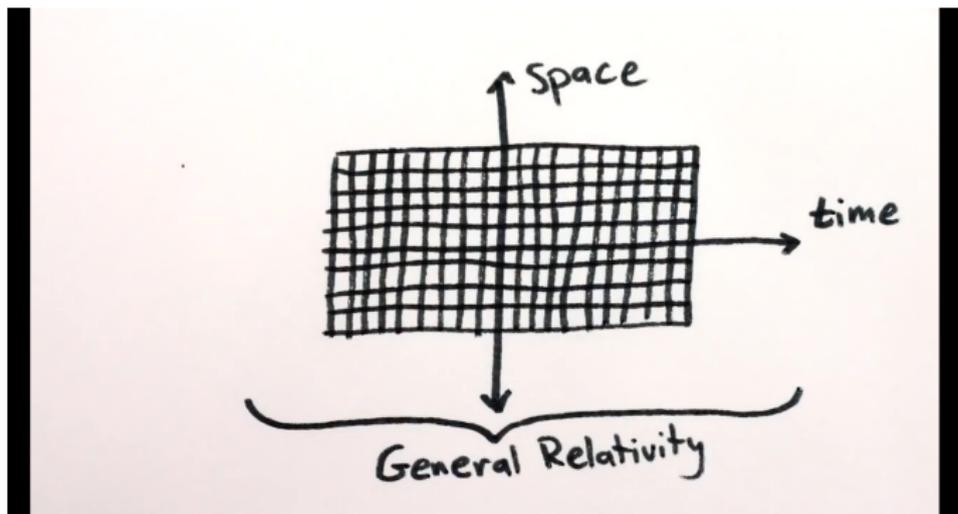


O universo surgiu de um estado inicial muito quente e denso.

- ▶ 1931: Lemaitre, MNRAS e Nature (*annus mirabilis*)
  - ▶ Átomo primordial
  - ▶ Rápida expansão, estagnação e expansão acelerada
  - ▶ Formação de galáxias
  - ▶ Mecânica quântica para explicar a explosão inicial!
- ▶ Ideia rejeitada por Eddington e Einstein



# A expansão do universo



<https://www.youtube.com/watch?v=q3MWRvLndzs>

Video: A expansão do universo e a Teoria do Big Bang



# Começo $\neq$ Criação

[A hipótese do Átomo Primordial é] “inspirada no dogma da criação, e totalmente injustificada desde o ponto de vista físico”.

(Einstein)



# Começo $\neq$ Criação

[A hipótese do Átomo Primordial é] “inspirada no dogma da criação, e totalmente injustificada desde o ponto de vista físico”.

(Einstein)

“A noção de um começo do universo é repugnante para mim”.

(Eddington, que era um Quaker muito praticante!)



## Começo $\neq$ Criação

[A hipótese do Átomo Primordial é] “inspirada no dogma da criação, e totalmente injustificada desde o ponto de vista físico”.

(Einstein)

“A noção de um começo do universo é repugnante para mim”.

(Eddington, que era um Quaker muito praticante!)

“Se essa sugestão estiver correta, o começo do universo aconteceu um pouco antes do começo do espaço e do tempo. Tal começo do universo está suficientemente distante da ordem atual da natureza para não ser totalmente repugnante.”

(Lamaitre, Nature, 1931)



## Começo $\neq$ Criação

“Nós podemos falar desse evento como um começo. Eu não digo uma criação. Fisicamente é um começo no sentido de que se alguma coisa aconteceu antes, ela não tem influência observável no comportamento do nosso universo, assim como qualquer característica da matéria antes desse começo foi completamente perdida na extrema contração no zero teórico. Qualquer pre-existência do universo tem um caráter metafísico. Fisicamente, tudo acontece como se o zero teórico fosse realmente o começo. A questão de se isso foi realmente um começo ou uma criação, uma coisa começando do nada, é uma questão filosófica que não pode ser estabelecida por considerações físicas ou astronômicas.”

(citado por Godart and Heller, Cosmology of Lemaître.)



# Índice

Modelos cosmológicos

Expansão do universo

Big Bang

Evidências do Big Bang

Bibliografia



# Pilares do Big Bang



- ▶ Expansão do universo
- ▶ Nucleosíntese primordial
- ▶ Radiação cósmica de fundo



# Nucleosíntese primordial

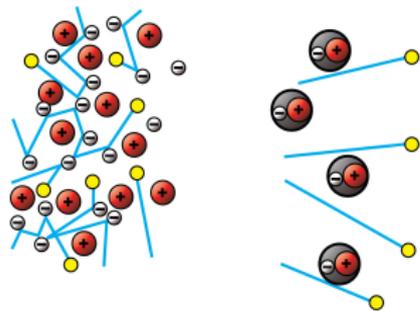


Ralph Alpher, George Gamow e Hans Bethe.

- ▶ Tese de doutorado do Alpher (paper em 1948)
- ▶  $T = 10$  bilhões de  $^{\circ}\text{C}$ . H: 25 %, He: 15 %
- ▶  $\alpha\beta\gamma$
- ▶ Cadeias de reação nuclear detalhadas (e testáveis)



# Radiação cósmica de fundo

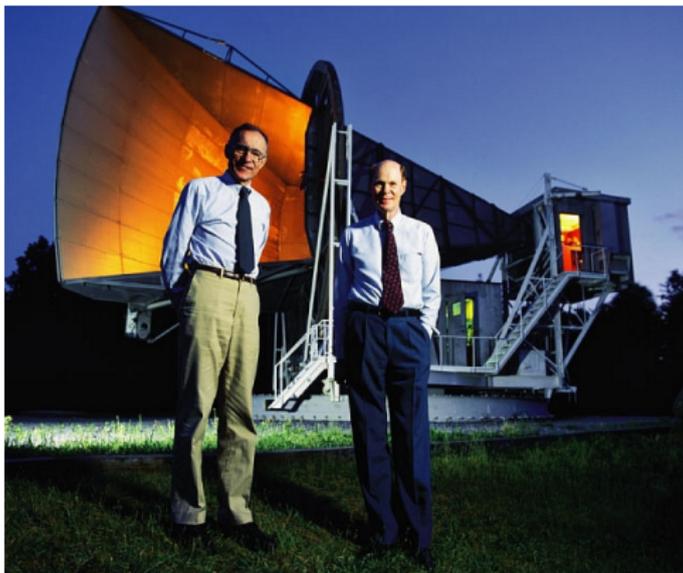


A Radiação Cósmica de Fundo foi gerada no momento em que houve a Recombinação das partículas fundamentais gerando os átomos primordiais.

- ▶ Alpher e Hermann (1948)
  - ▶ Ignorados
- ▶ 380 mil anos
- ▶  $T_{hoje} = 5 \text{ K}$  (redshift cosmológico)



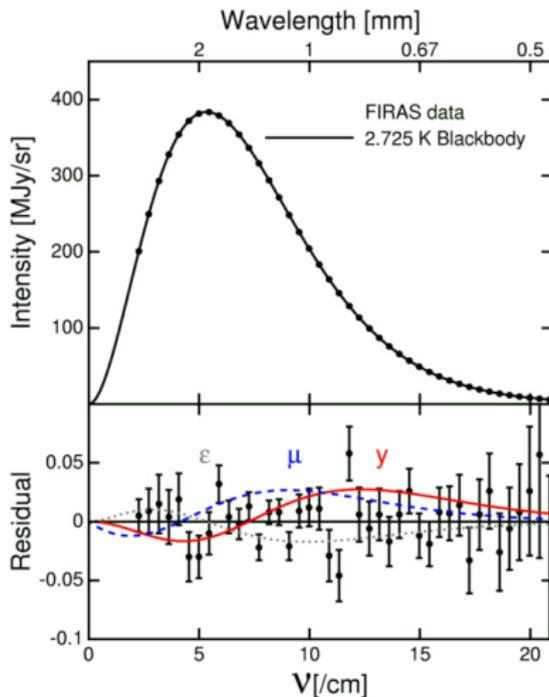
## Radiação cósmica de fundo



Arno Penzias e Robert Wilson detectaram a CBR em 1964. Ganharam o Prêmio Nobel em 1978.



# Radiação cósmica de fundo



Medida do espectro da Radiação Cósmica de Fundo feita pelo satélite COBE. A curva de corpo negro é tão perfeita que as barras de erro nem são visíveis.



# História da Teoria do Big Bang

## Jean-Pierre Luminet: Lemaître's Big Bang

### Períodos da Cosmologia Relativística:

- ▶ Inícios (1917-1927):
  - ▶ Primeiros modelos relativísticos de universo
  - ▶ Sem dados experimentais
- ▶ Desenvolvimento (1927-1945):
  - ▶ Interpretação correta dos redshifts cosmológicos
  - ▶ Melhor compreensão dos efeitos da Relatividade Geral
- ▶ Consolidação (1945-1965):
  - ▶ Previsão da Nucleosíntese Primordial
- ▶ Aceitação (1965-1980):
  - ▶ Triunfo sobre o Modelo Estático



# História da Teoria do Big Bang

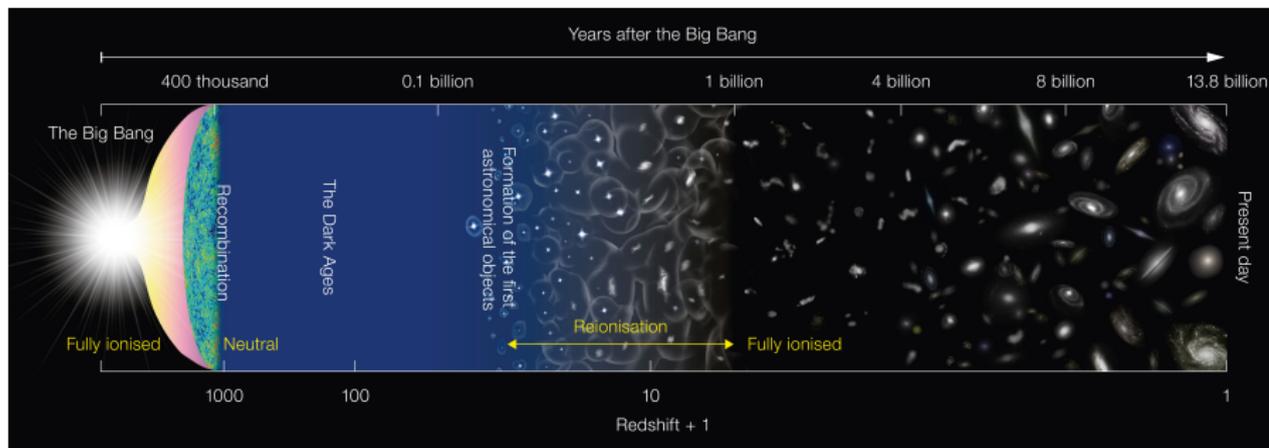
## Jean-Pierre Luminet: Lemaître's Big Bang

### Períodos da Cosmologia Relativística:

- ▶ Inícios (1917-1927):
- ▶ Desenvolvimento (1927-1945):
- ▶ Consolidação (1945-1965):
- ▶ Aceitação (1965-1980):
- ▶ Ampliação (1980-1998):
  - ▶ Descrição das primeiras fases do Big Bang
    - ▶ Energia de altas energias
    - ▶ Efeitos quânticos
- ▶ Cosmologia de precisão (1998-hoje):
  - ▶ Medição dos Parâmetros cosmológicos fundamentais (Tema 24)



# Eras do Big Bang



Este diagrama mostra os principais marcos da evolução do Universo desde o Big Bang, há cerca de 13,8 bilhões de anos atrás. O esquema não se encontra em escala. O Universo estava num estado neutro 400 mil anos após o Big Bang e assim se manteve até que a radiação emitida pela primeira geração de estrelas começou a ionizar o hidrogênio. Após várias centenas de milhões de anos, o gás do Universo encontrava-se completamente ionizado. (Crédito: NAOJ & ESO).



# Índice

Modelos cosmológicos

Expansão do universo

Big Bang

Evidências do Big Bang

Bibliografia



## Fontes para estudo

- ▶ O céu que nos envolve, capítulo 10
- ▶ Curso de Astronomia II do Prof. Steiner, aulas 17 a 22
- ▶ Astronomia Extragaláctica, Gastão Lima Neto, cap 2
- ▶ Seção “Cosmologia” em <http://astro.if.ufrgs.br/>



REALIZAÇÃO

