



INSTITUTO FEDERAL

Sul de Minas Gerais

Campus Avançado Três Corações

UNIVERSO DO INÍCIO AO FIM



PROJETO DESMISTIFICANDO A ASTRONOMIA

GUSTAVO HENRIQUE SILVA

IGOR MANOEL SOUZA COSTA

ORIENTADOR: PROF. DR. SEBASTIÃO MAURO FILHO

O QUE SABEMOS SOBRE O UNIVERSO?

- É eterno ou teve um início?
- Finito ou infinito?
- Como a matéria está distribuída nele?
- Qual é o seu destino? Terá um fim?

COSMOLOGIA É A CIÊNCIA QUE ESTUDA A EVOLUÇÃO DO UNIVERSO.

Hubble Ultra Deep Field

- Em 2004, o Hubble nos revelou um universo extremamente povoado por galáxias longínquas.
- Há 10.000 galáxias apenas nesta imagem.
- Imagem na faixa do óptico.



Crédito: Nasa e StSci.

Equações de campo da Relatividade Geral

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R + \Lambda g_{\mu\nu} = 8\pi G T_{\mu\nu}$$

Geometria do
espaço-tempo

Matéria + energia

PARA DESCREVERMOS A EVOLUÇÃO DO
UNIVERSO PRECISAMOS DE UMA TEORIA
DO CAMPO GRAVITACIONAL

Previsões

- Buracos negros.
- Ondas gravitacionais.
- Redshift gravitacional.
- Lentes gravitacionais.

MODELO COSMOLÓGICO DE EINSTEIN

1917

- Einstein postulou que o universo era eterno e estático (não há expansão e nem contração).
- Para evitar o colapso gravitacional do universo, introduziu a constante cosmológica (Λ) nas equações de campo.
- Este modelo é instável sob pequenas perturbações (demonstração de Eddington).

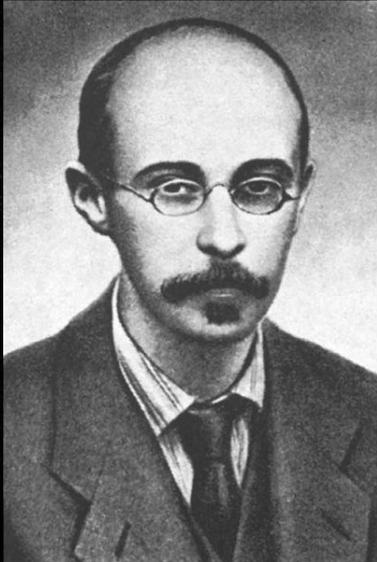
Λ : a constante cosmológica desempenha o papel de uma força contrária à gravidade (repulsão).

Até 1923: Todo o universo era entendido apenas como a Via Láctea.



SOLUÇÕES COSMOLÓGICAS

1922-23



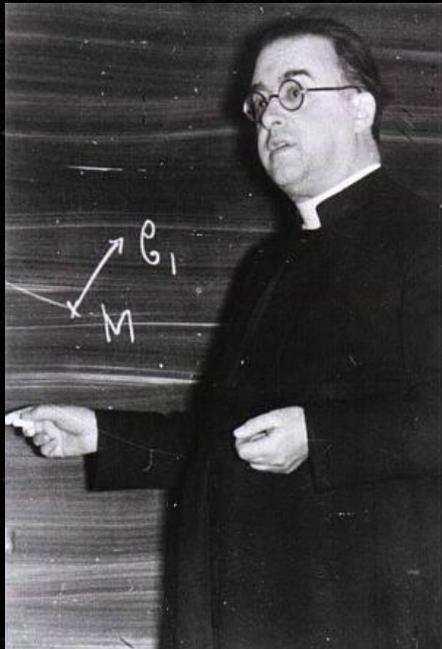
Alexander Friedmann
(1888-1925)

- Matemático e cosmólogo russo.
- 1922-23: habilidoso com a matemática, encontrou uma série de soluções para as equações de Einstein.
- Algumas delas descrevem o universo em expansão, indo contra o modelo cosmológico de Einstein.

“A solução de Friedmann de um universo não estático, ainda que correta matematicamente, dificilmente pode ter algum sentido físico.”
(Albert Einstein)

MODELO DO ÁTOMO PRIMORDIAL

1927



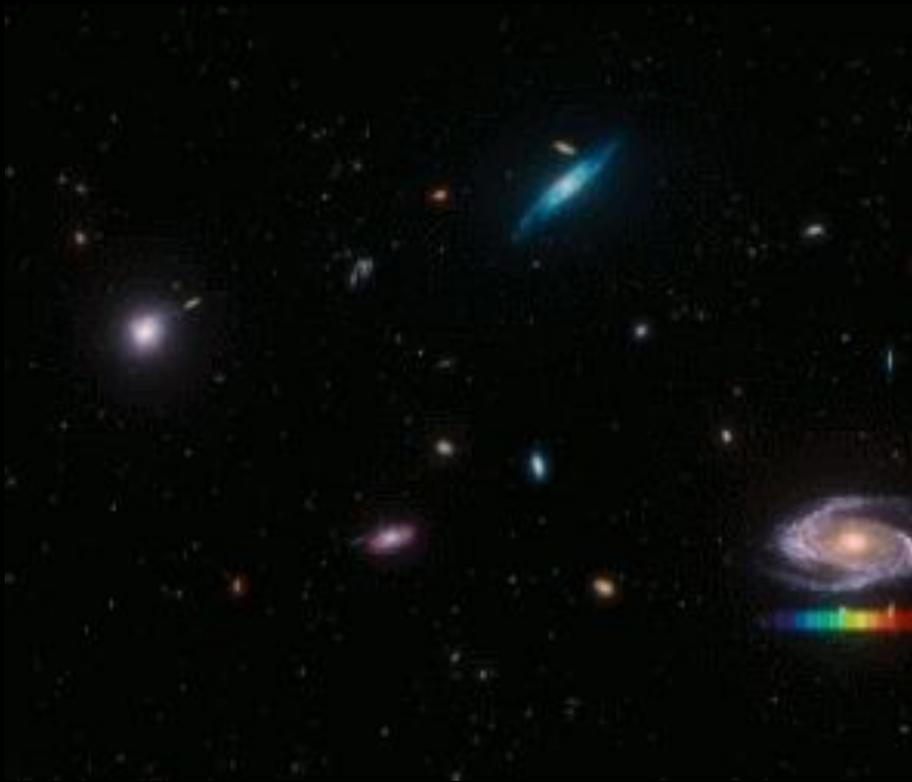
Georges Lemaître
(1894-1966)

- Padre e físico belga.
- 1927: encontra soluções para as equações de Einstein em que o universo está em expansão.
- 1931: desenvolve o modelo cosmológico do Átomo primordial (base do Big Bang).

“Seus cálculos estão corretos, mas a sua física é abominável.”

(Albert Einstein)

OBSERVAÇÕES DE HUBBLE



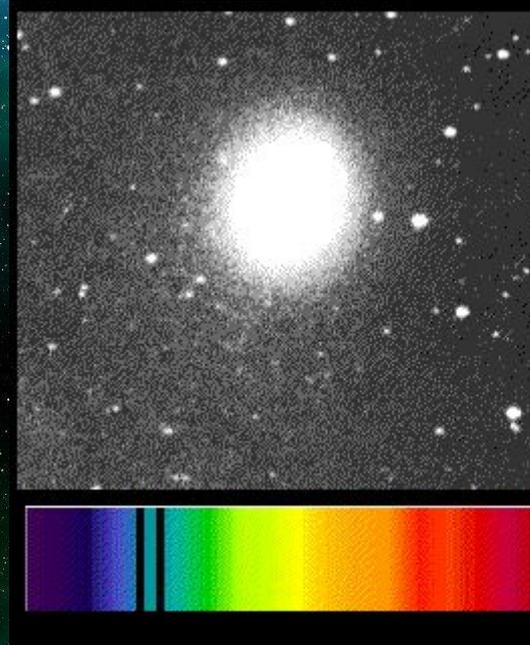
- **1923:** Hubble descobre a existência de galáxias.
- **Analisa o espectro de diversas galáxias do grupo local.**
- **Percebe que os espectros apresentam um deslocamento para o vermelho.**
- **1929:** Conclui que o universo está em expansão.

LEI DE HUBBLE

$$V = H_0 \cdot d$$

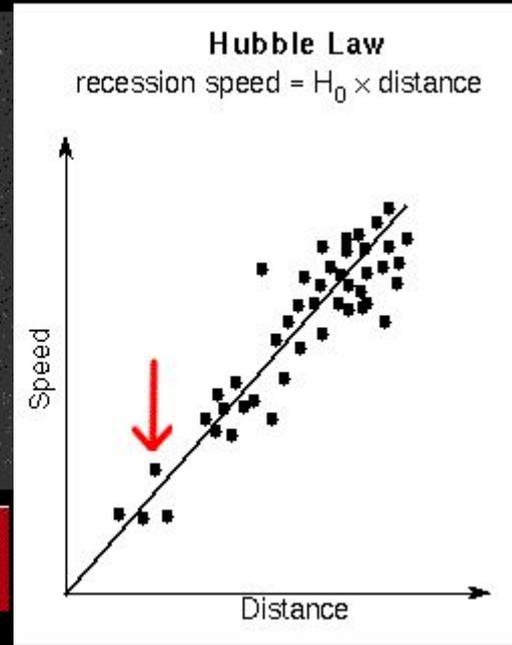
- **V**: velocidade de recessão.
- **H₀**: constante de Hubble.
- **d**: distância entre a galáxia e o observador.

Quanto mais longe a galáxia está da Terra, mais rapidamente ela se afasta de nós.



RedShift

As linhas espectrais se deslocam em direção ao vermelho (grande comprimento).





A. Einstein e G. Lemaître
(1933)

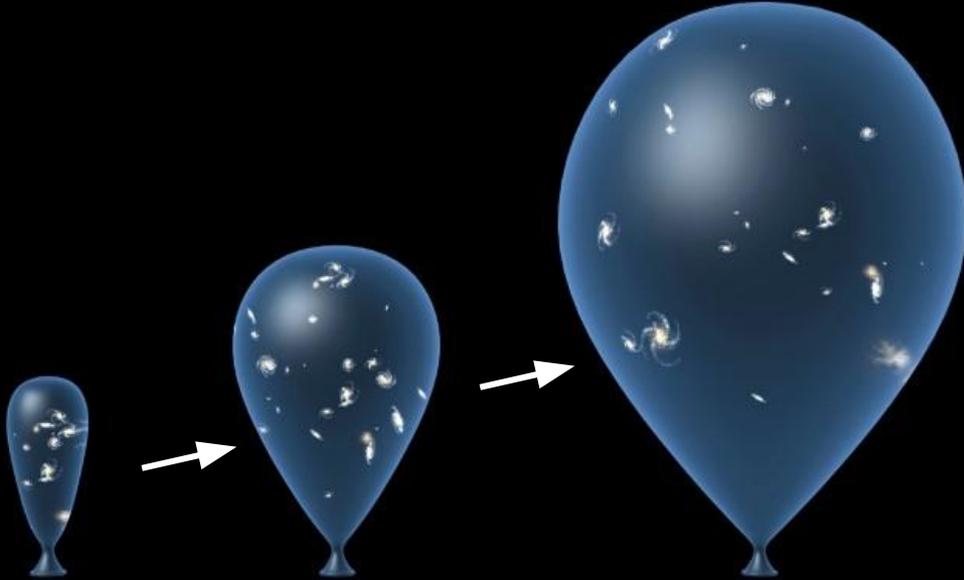
**“A CONSTANTE COSMOLÓGICA FOI
O MAIOR ERRO DA MINHA
CARREIRA.”**

(Teria dito Einstein à Gamow após ter conhecimento das observações de Hubble)

**“ESTA É A MAIS BELA E
SATISFATÓRIA EXPLICAÇÃO PARA
A CRIAÇÃO QUE JÁ OUVI.”**

(Einstein após ouvi Lemaître apresentar seu modelo cosmológico do Átomo Primordial)

COMO DESCREVER A EVOLUÇÃO DO UNIVERSO?



**Se hoje o universo está em
expansão, ele deveria ser
incrivelmente pequeno em um
passado bastante remoto.**

MODELO COSMOLÓGICO PADRÃO

PRINCÍPIO COSMOLÓGICO

O Universo é homogêneo e isotrópico em grandes escalas.



MÉTRICA DE FRIEDMANN, LEMÂÎTRE, ROBERTSON E WALKER (FLRW)

$$ds^2 = -dt^2 + a(t)^2 \left(\frac{dr^2}{1 - kr^2} + r^2 d\theta^2 + r^2 \sin^2 \theta d\phi^2 \right)$$

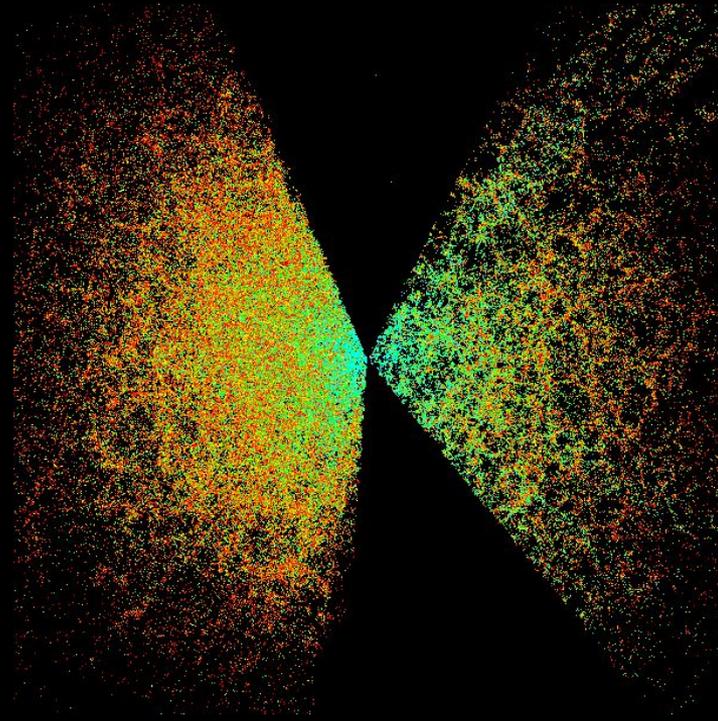
HOMOGENEIDADE E ISOTROPIA DO UNIVERSO

HOMOGÊNEO:

significa que em grandes escalas do universo, a densidade média de matéria-energia é a mesma em todos os lugares.

ISOTRÓPICO:

significa que em qualquer direção que se observa o universo, em grande escala, ele apresenta as mesmas propriedades.



SDSS - III map of the universe

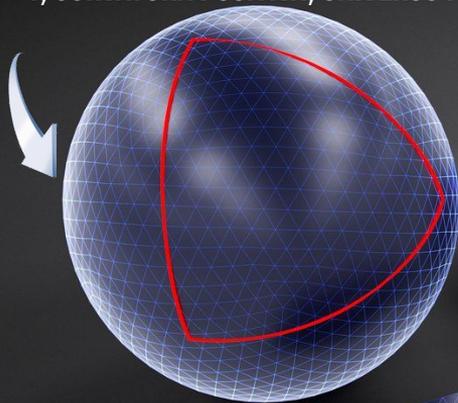
Crédito: M. Blanton and the Sloan Digital Sky Survey

GEOMETRIA DO UNIVERSO

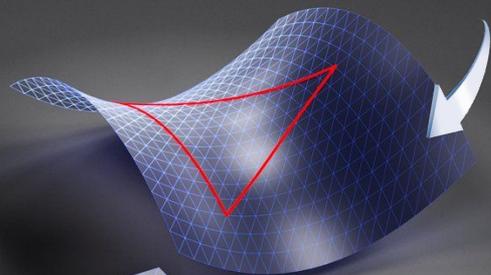
PELO PRINCÍPIO COSMOLÓGICO DEDUZ-SE QUE A CURVATURA DO UNIVERSO DEVE SER CONSTANTE.

Os dados obtidos da radiação cósmica de fundo indicam que nosso universo é aproximadamente plano em grandes escalas.

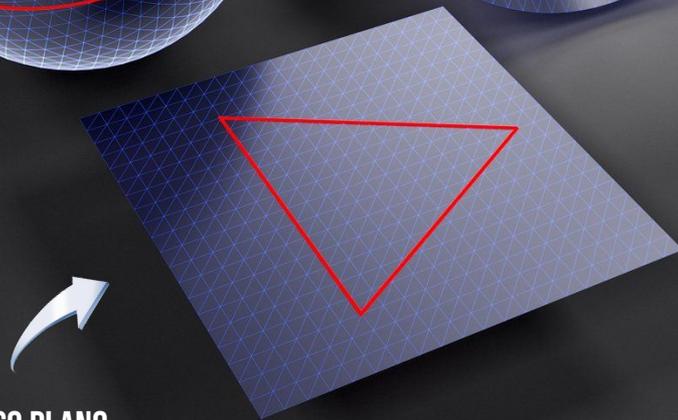
$K = 1$; CURVATURA POSITIVA, UNIVERSO FECHADO.



$K = -1$; CURVATURA NEGATIVA, UNIVERSO ABERTO.



$K = 0$; UNIVERSO PLANO



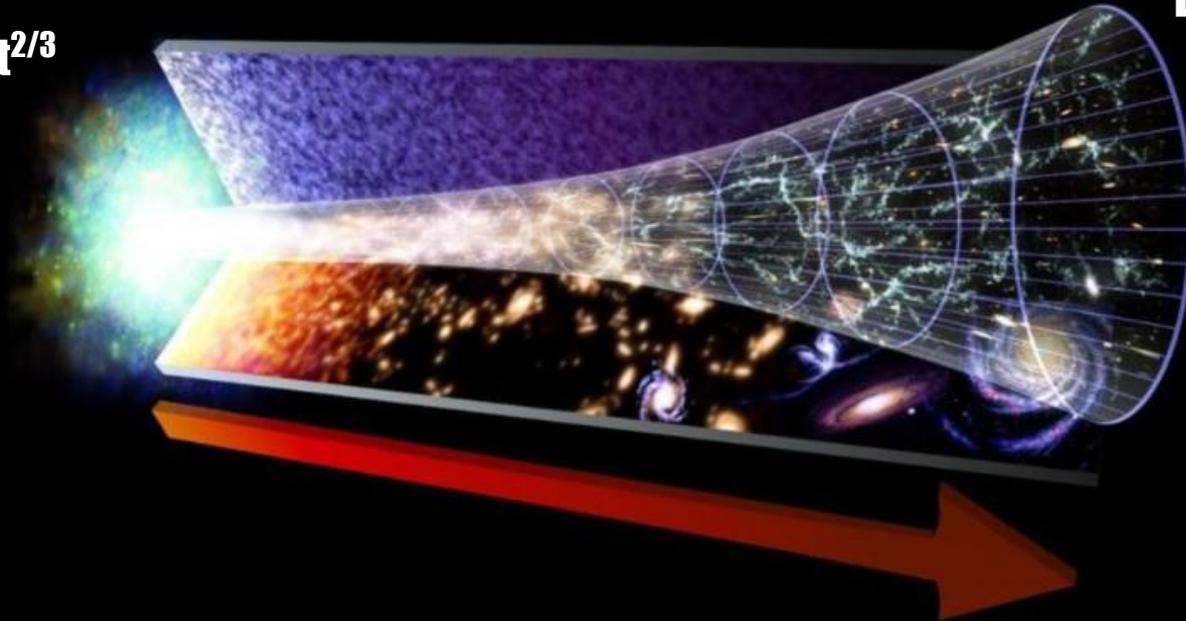
ERAS EVOLUTIVAS: SOLUÇÕES COSMOLÓGICAS (K = 0)

Universo primordial:

$$a(t) \sim t^{2/3}$$

**Era dominada pela
energia escura**

$$a(t) \sim e^{(\sqrt{\Lambda/3}).t}$$



IDADE DO UNIVERSO:

ESTIMATIVA DA IDADE MÍNIMA

Lei de Hubble:

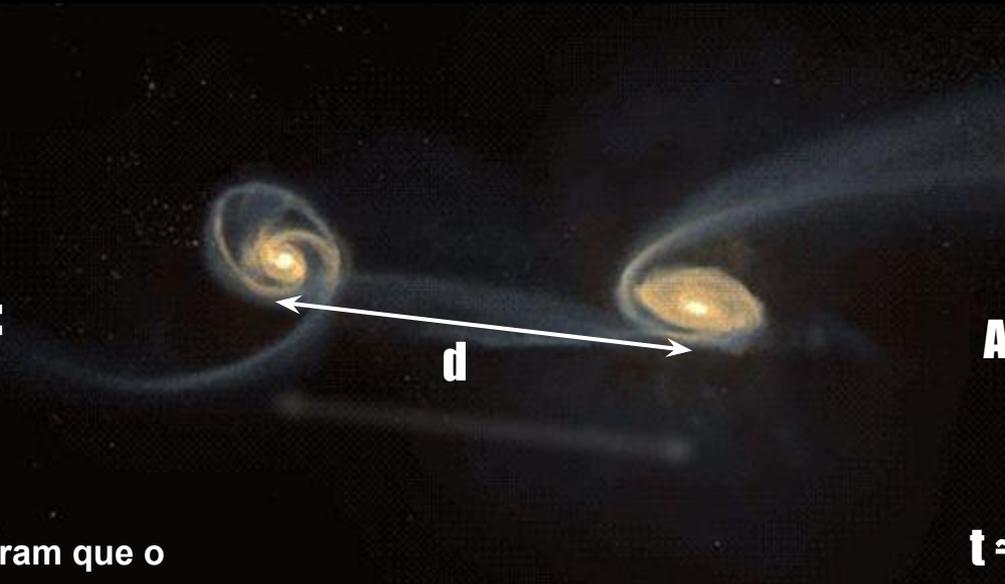
$$V = H_0 \cdot d$$

Velocidade média:

$$V = d/t$$

Medidas recentes encontraram que o valor da constante de Hubble é:

$$H_0 = 72 \text{ km}/(\text{s.Mpc})$$



Idade mínima:

$$t = 1/H_0$$

A partir da constante de Hubble encontramos:

$t \approx 13,7$ bilhões de anos

EVOLUÇÃO TÉRMICA DO UNIVERSO

**1º Lei da
Termodinâmica:**

$$\Delta U = Q - \tau$$

**O universo está em expansão
adiabática:**

$$\Delta U = -\tau$$

- $\tau > 0$: devido a expansão.
- Então $\Delta U < 0$ (temperatura do universo está diminuindo).

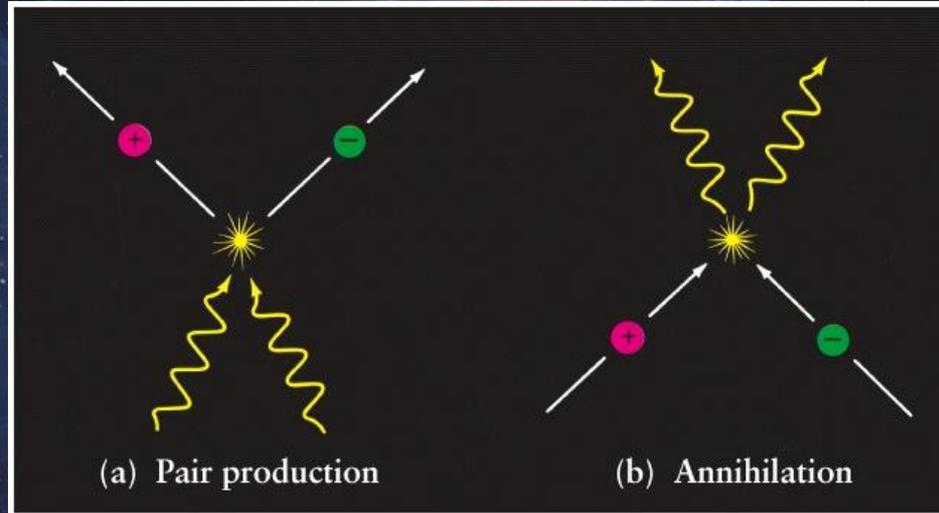
CRIAÇÃO DE MATÉRIA: TEMPERATURA NECESSÁRIA

Energia de repouso
das partículas:

$$E = m.c^2$$

Energia média
dos fótons:

$$\langle E \rangle \sim KT$$

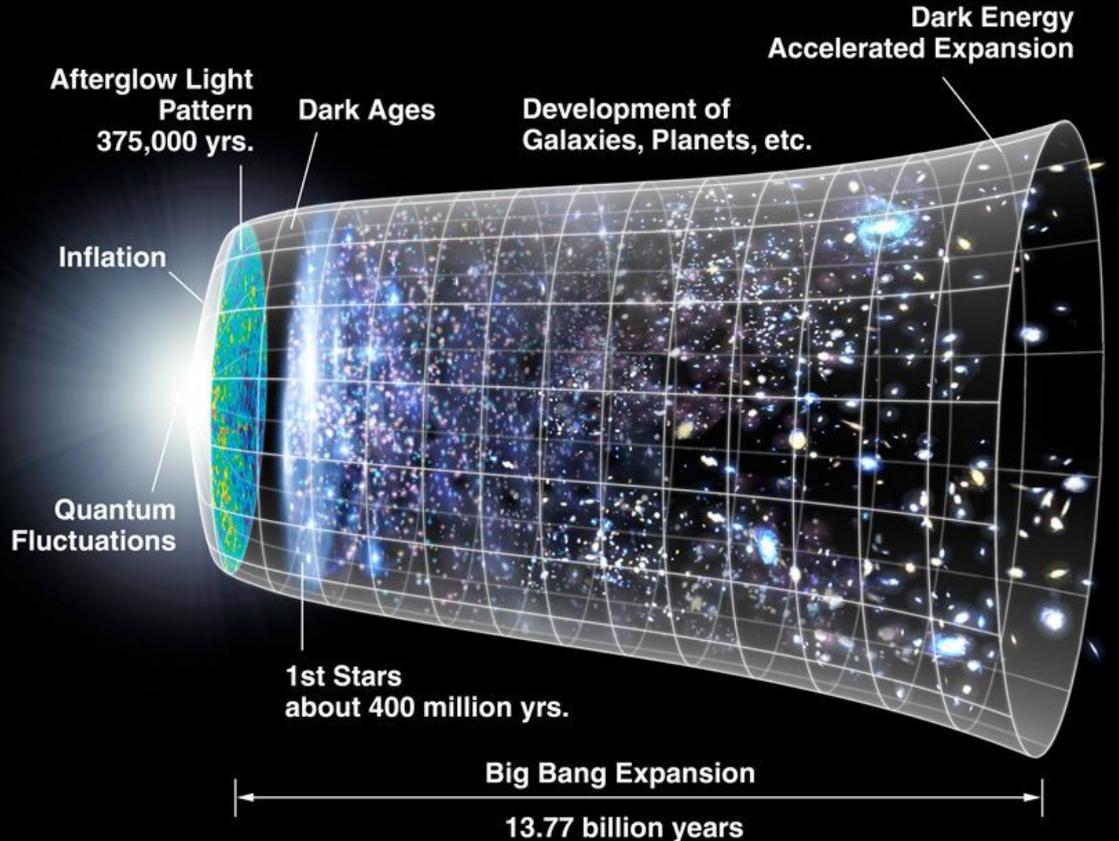


Temperatura em que
ocorre a criação de
matéria

$$T \geq 2m.c^2 / K$$

$$T \geq 10 \text{ trilhões } ^\circ\text{C}$$

MODELO DO BIG BANG



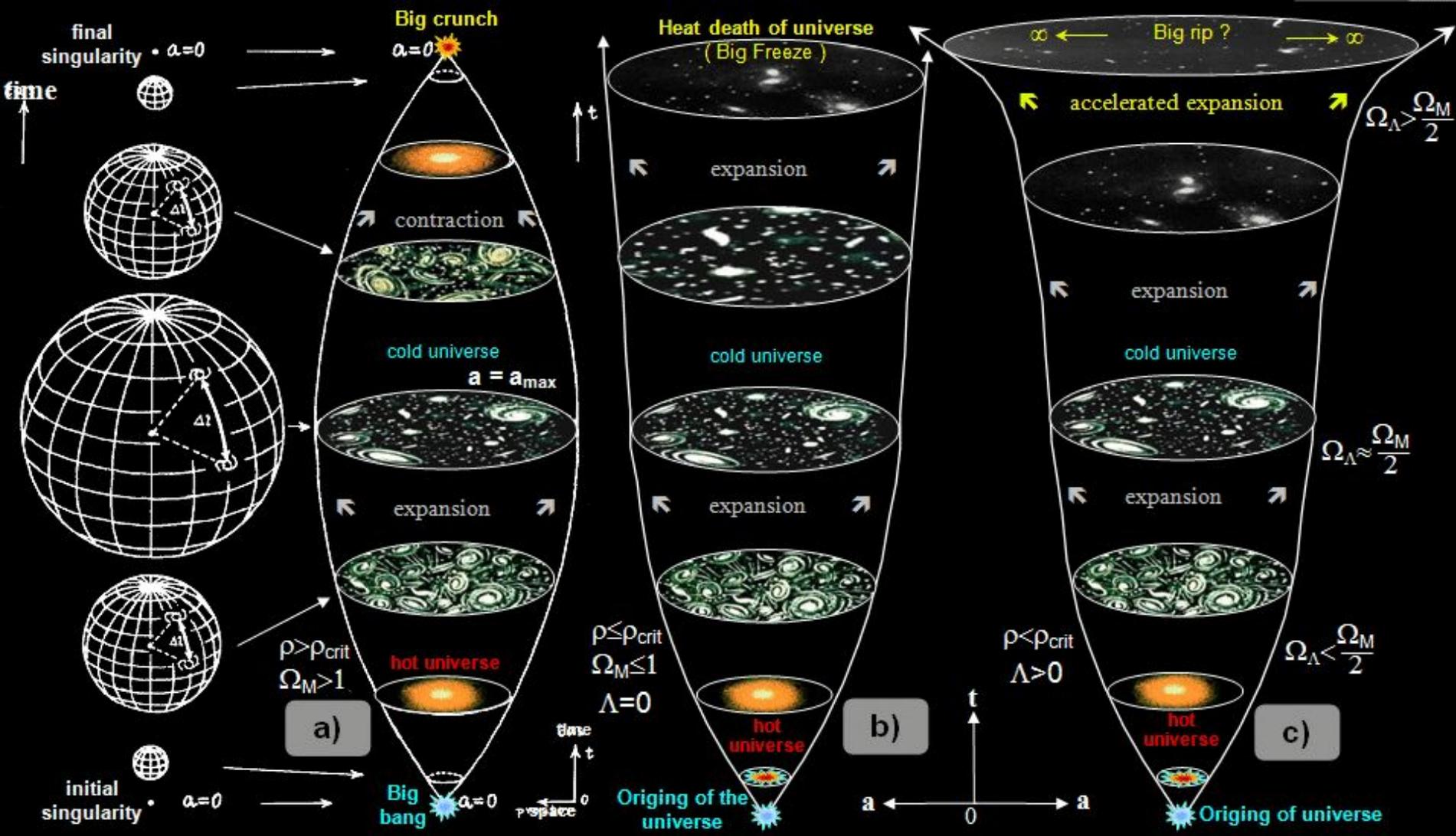
- Daqui a alguns bilhões de anos, com a expansão acelerada do Universo, devido a energia escura, estaremos ilhados em nossa galáxia, já que as demais estarão tão afastadas que qualquer corpo que ainda estiver perto de nós será impossível de enxergar.



**TIMELAPSE
OF THE
ENTIRE UNIVERSE**



FIM DO UNIVERSO?





OBRIGADO!

UNIVERSO DO INÍCIO AO FIM

Referências

[Introdução a Astronomia INPE 2018](#)

<https://www.space.com/universe-first-stars-older-than-thought.html>

<https://revistagalileu.globo.com/Ciencia/Espaco/noticia/2018/03/do-big-bang-ate-voce-em-um-minuto-uma-brevissima-historia-do-universo.html>

<https://www.bbc.com/portuguese/geral-57608371>

<https://www.youtube.com/watch?v=y6rdvz9U-ao>

<https://www.youtube.com/watch?v=Qxmfo8BvExI>

Fonte das imagens e vídeos

- **HUBBLE ULTRA DEEP FIELD**
<https://esahubble.org/images/heic0611b/>
- **SDSS - III MAP OF THE UNIVERSE**
<https://www.sdss.org/science/>
- **EXPANSÃO DO UNIVERSO (MODELO DO BIG BANG)**
<https://www.science.org/content/article/dark-energy-illusion>
- **TIMELAPSE OF THE ENTIRE UNIVERSE**
<https://youtu.be/TBikbn5XJhg>