# Exobiologia

Nucleossíntese, Formação e Evolução Estelar

Prof. Kepler
Departamento de Astronomia do Instituto de Física
UFRGS

http://astro.if.ufrgs.br/astrobiok.htm

# Propriedades de ser vivo

| **Nascimento e morte** |
| --- |
| Absorção e excreção |
| Dinâmica molecular |
| Reprodução |
| Resposta a estímulos |
| Evolução |

metabolismo

Ameba: 1 célula, $10^{19}$ átomos: C,H,O,N,P,S
Célula: 100 trilhões de átomos
Corpo humano: 100 trilhões de células

# Corpo humano

| | | |
|---|---|---|
| $H_1$ | **$4.22x10^{27}$ átomos=63%** | |
| $O_8$ | 1.61 | 24% |
| $C_6$ | 0.80 | 12% |
| $N_7$ | 0.039 | 6% |
| $Ca_{20}$ | 0.016 | 2,4% |
| $P_{15}$ | 0.0096 | 1,4% |
| $S_{16}$ | 0.0026 | 0,4% |
| $Na_{11}$ | 0.026 | 0,4% |
| $K_{19}$ | 0.0022 | 0,033% |
| $Cl_{17}$ | 0.0016 | 0,033% |
| $Mg_{12}$ | 0.00047 | 0,007% |
| $Si_{14}$ | 0.00039 | |
| $F_9$ | 0.000083 | |
| $Fe_{26}$ | 0.000045 | |
| $Zn_{30}$ | 0.000021 | |

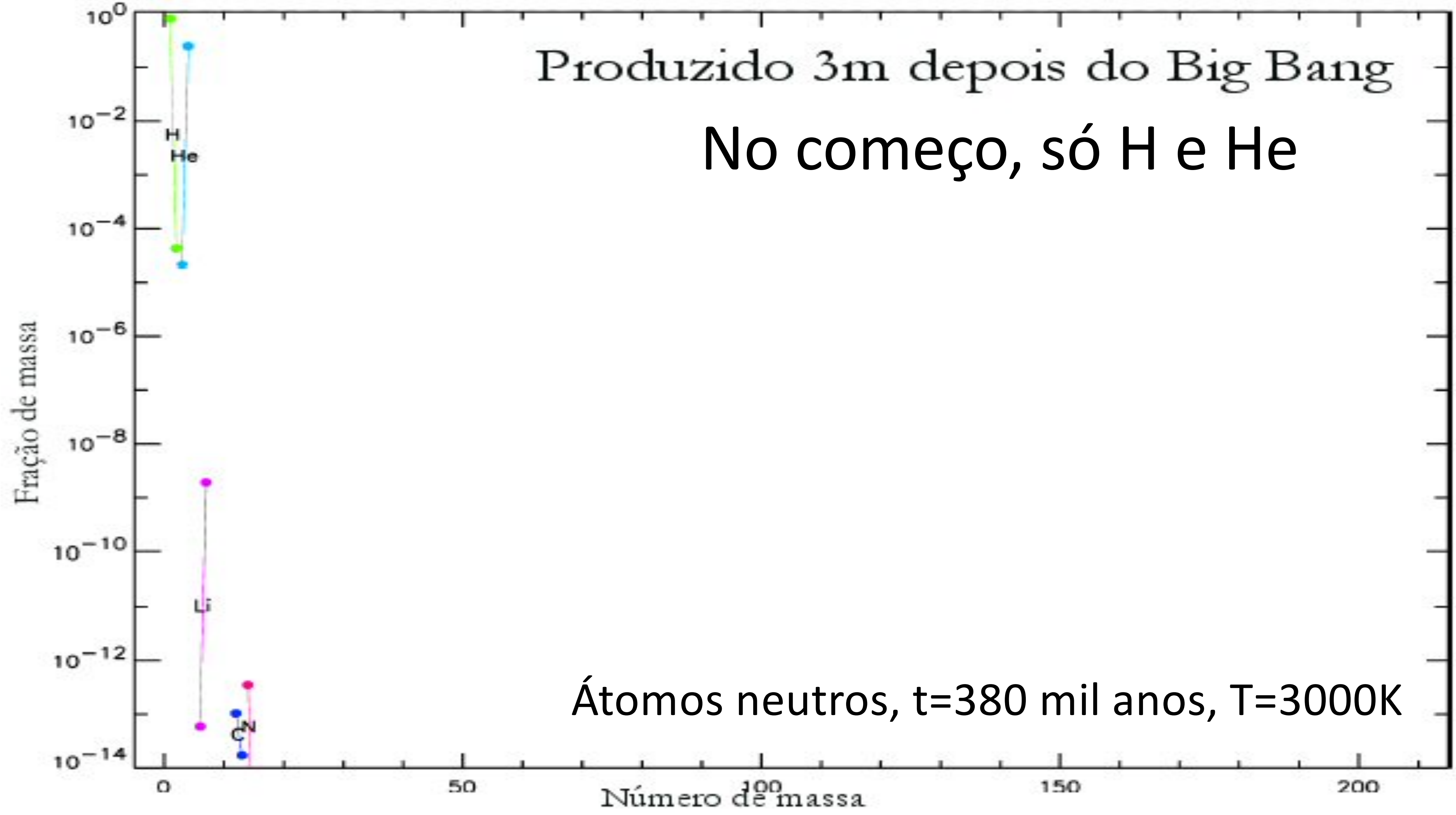
| | |
|---|---|
| $Rb_{37}$ | $2.2x10^{21}$ átomos=0,000033% |
| Sr | 2.2 |
| Br | 2 |
| Al | 1 |
| Cu | 0,7 |
| Pb | 0,3 |
| B | 0,2 |
| Mn | 0,1 |
| Ni | 0,1 |
| Li | 0,1 |
| Ba | 0,08 |
| I | 0,05 |
| Sn | 0,04 |
| $Au_{79}$ | 0,02 |
| $Zr_{40}$ | 0,02 |

| | |
|---|---|
| $Co_{27}$ | $2x10^{19}$ átomos |
| Ce | 0,7 |
| Hg | 0,6 |
| Ar | 0,6 |
| Cr | 0,6 |
| Mo | 0,3 |
| Se | 0,3 |
| Be | 0,3 |
| Va | 0,08 |
| $U_{92}$ | 0,02 |
| $Ra_{88}$ | 0,000000008 |

| 2 Atoms | | 3 Atoms | | 4 Atoms | 5 Atoms | 6 Atoms | 7 Atoms |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CH | CP | $H_2O$ | $N_2O$ | $NH_3$ | $HC_3N$ | $CH_3OH$ | $CH_3CHO$ |
| CN | NH | $HCO^+$ | MgCN | $H_2CO$ | HCOOH | $CH_3CN$ | $CH_3CCH$ |
| $CH^+$ | SiN | HCN | $H_3{}^+$ | HNCO | $CH_2NH$ | $NH_2CHO$ | $CH_3NH_2$ |
| OH | $SO^+$ | OCS | SiCN | $H_2CS$ | $NH_2CN$ | $CH_3SH$ | $CH_2CHCN$ |
| CO | $CO^+$ | HNC | AlNC | $C_2H_2$ | $H_2CCO$ | $C_2H_4$ | $HC_5N$ |
| $H_2$ | HF | $H_2S$ | SiNC | $C_3N$ | $C_4H$ | $C_5H$ | $C_6H$ |
| SiO | $N_2$ | $N_2H^+$ | HCP | HNCS | $SiH_4$ | $CH_3NC$ | $c\text{-}C_2H_4O$ |
| CS | $CF^+$ | $C_2H$ | CCP | $HOCO^+$ | $c\text{-}C_3H_2$ | $HC_2CHO$ | $CH_2CHOH$ |
| SO | PO | $SO_2$ | AlOH | $C_3O$ | $CH_2CN$ | $H_2C_4$ | $C_6H^-$ |
| SiS | $O_2$ | HCO | $H_2O^+$ | $l\text{-}C_3H$ | $C_5$ | $C_5S$ | $CH_3NCO$ |
| NS | AlO | HNO | $H_2Cl^+$ | $HCNH^+$ | $SiC_4$ | $HC_3NH^+$ | $HC_5O$ |
| $C_2$ | $CN^-$ | $HCS^+$ | KCN | $H_3O^+$ | $H_2CCC$ | $C_5N$ | |
| NO | $OH^+$ | $HOC^+$ | FeCN | $C_3S$ | $CH_4$ | $HC_4H$ | |
| HCl | $SH^+$ | $SiC_2$ | $HO_2$ | $c\text{-}C_3H$ | HCCNC | $HC_4N$ | |
| NaCl | $HCl^+$ | $C_2S$ | $TiO_2$ | $HC_2N$ | HNCCC | $c\text{-}H_2C_3O$ | |
| AlCl | SH | $C_3$ | CCN | $H_2CN$ | $H_2COH^+$ | $CH_2CNH$ | |
| KCl | TiO | $CO_2$ | SiCSi | $SiC_3$ | $C_4H^-$ | $C_5N^-$ | |
| AlF | $ArH^+$ | $CH_2$ | $S_2H$ | $CH_3$ | CNCHO | HNCHCN | |
| PN | $NS^+$ | $C_2O$ | HCS | $C_3N^-$ | HNCNH | $SiH_3CN$ | |
| SiC | | MgNC | HSC | $PH_3$ | $CH_3O$ | | |
| | | $NH_2$ | NCO | HCNO | $NH_3D^+$ | | |
| | | NaCN | | HOCN | $H_2NCO^+$ | | |
| | | | | HSCN | $NCCNH^+$ | | |
| | | | | HOOH | $CH_3Cl$ | | |
| | | | | $l\text{-}C_3H^+$ | | | |
| | | | | HMgNC | | | |
| | | | | HCCO | | | |
| | | | | CNCN | | | |

# Moléculas já detectadas no espaço

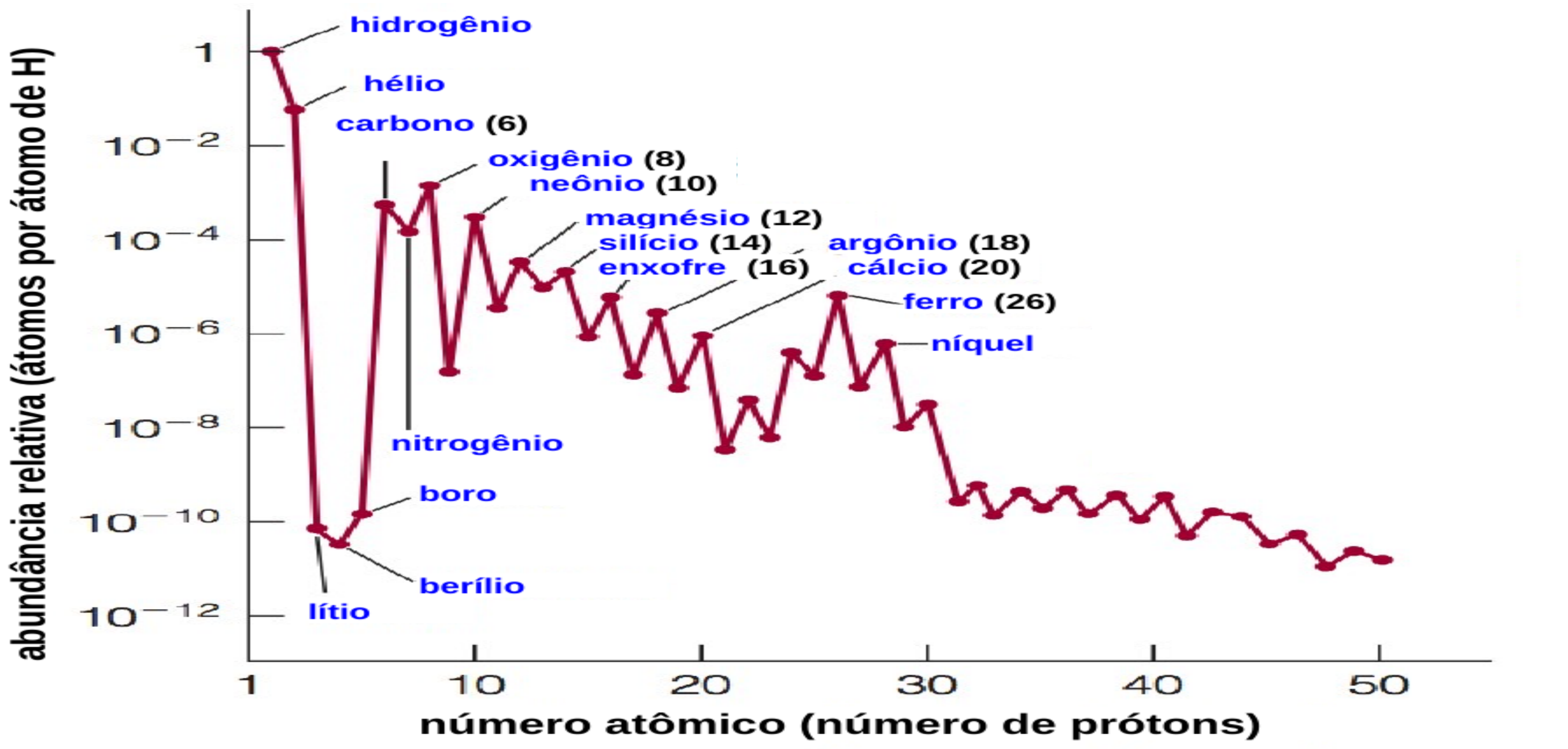
| 8 Atoms | 9 Atoms | 10 Atoms | 11 Atoms | 12 Atoms | 13 Atoms | Fullerenes |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $HCOOCH_3$ | $CH_3OCH_3$ | $(CH_3)_2CO$ | $HC_9N$ | $C_6H_6$ | $c\text{-}C_6H_5CN$ | $C_{60}$ |
| $CH_3C_3N$ | $CH_3CH_2OH$ | $HO(CH_2)_2OH$ | $CH_3C_6H$ | $n\text{-}C_3H_7CN$ | | $C_{60}{}^+$ |
| $C_7H$ | $CH_3CH_2CN$ | $CH_2CH_2CHO$ | $CH_3CH_2OCHO$ | $i\text{-}C_3H_7CN$ | | $C_{70}$ |
| $CH_3COOH$ | $HC_7N$ | $CH_3C_5N$ | $CH_3COOCH_3$ | | | |
| $H_2C_6$ | $CH_3C_4H$ | $CH_3CHCH_2O$ | | | | |
| $CH_2OHCHO$ | $C_8H$ | $CH_3OCH_2OH$ | | | | |
| $HC_6H$ | $CH_3CONH_2$ | | | | | |
| $CH_2CHCHO$ | $C_8H^-$ | | | | | |
| $CH_2CCHCN$ | $CH_2CHCH_3$ | | | | | |
| $NH_2CH_2CN$ | $CH_3CH_2SH$ | | | | | |
| $CH_3CHNH$ | $HC_7O$ | | | | | |
| $CH_3SiH_3$ | | | | | | |




No começo, só H e He

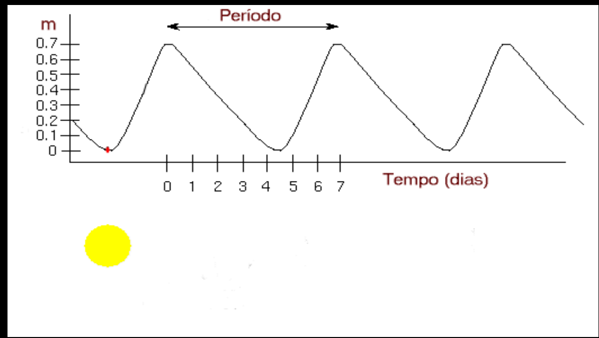
Átomos neutros, t=380 mil anos, T=3000K

# Composição química no Sistema Solar: 4,5 G anos

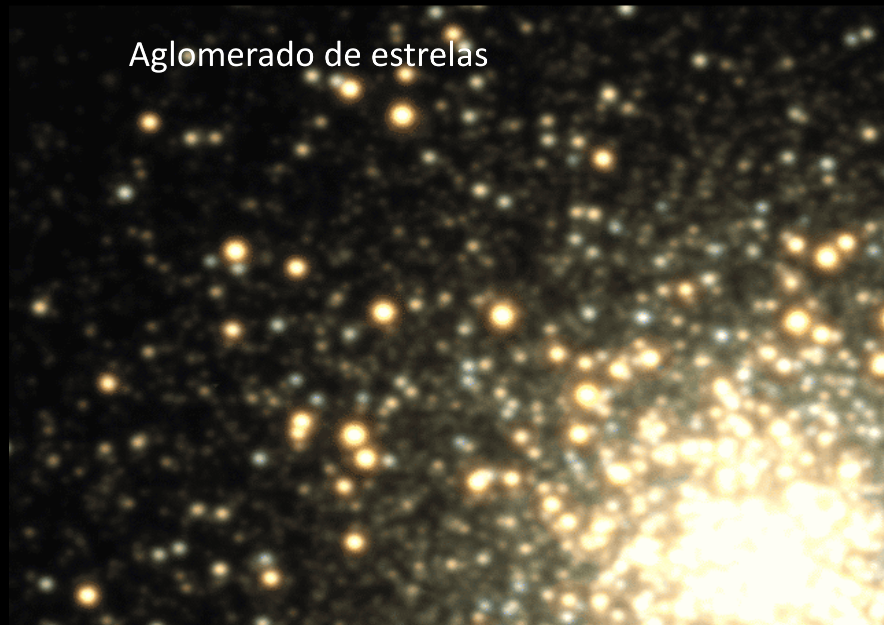



Localizando o planeta Terra no Universo
Universo Observável
Superaglomerado
Grupo local
de Galaxias
Via Láctea
Sistema Solar
Planeta Terra

# Edwin Hubble 1929

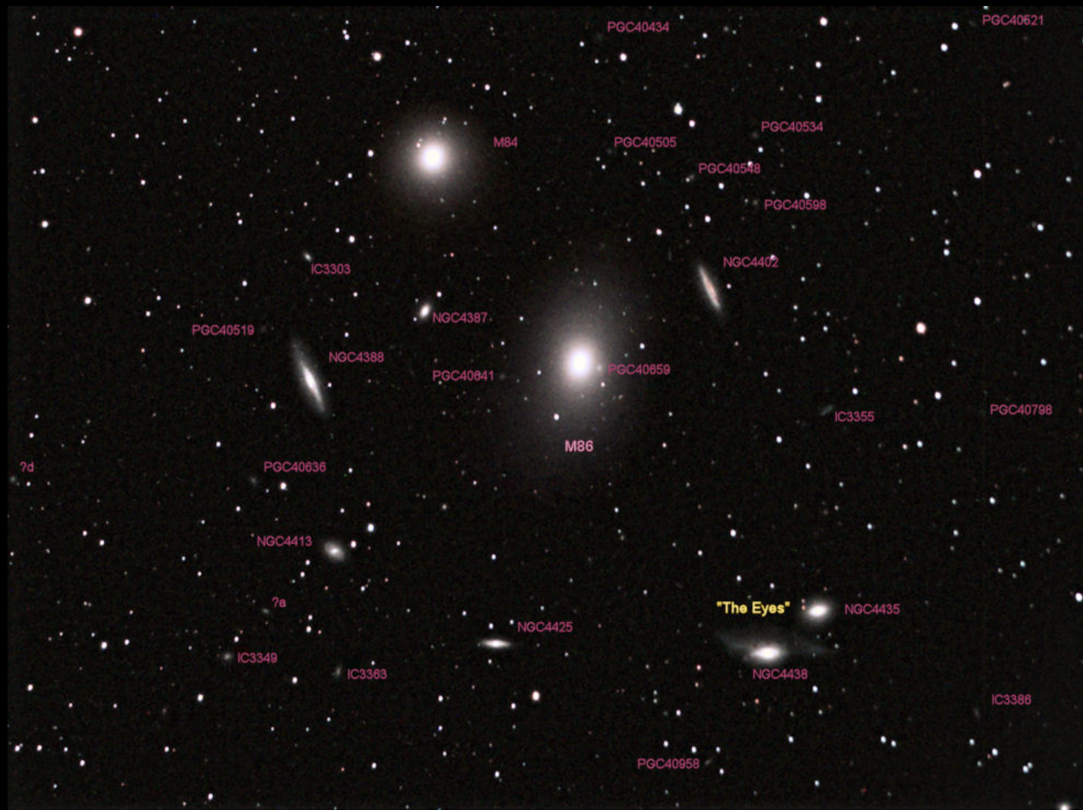




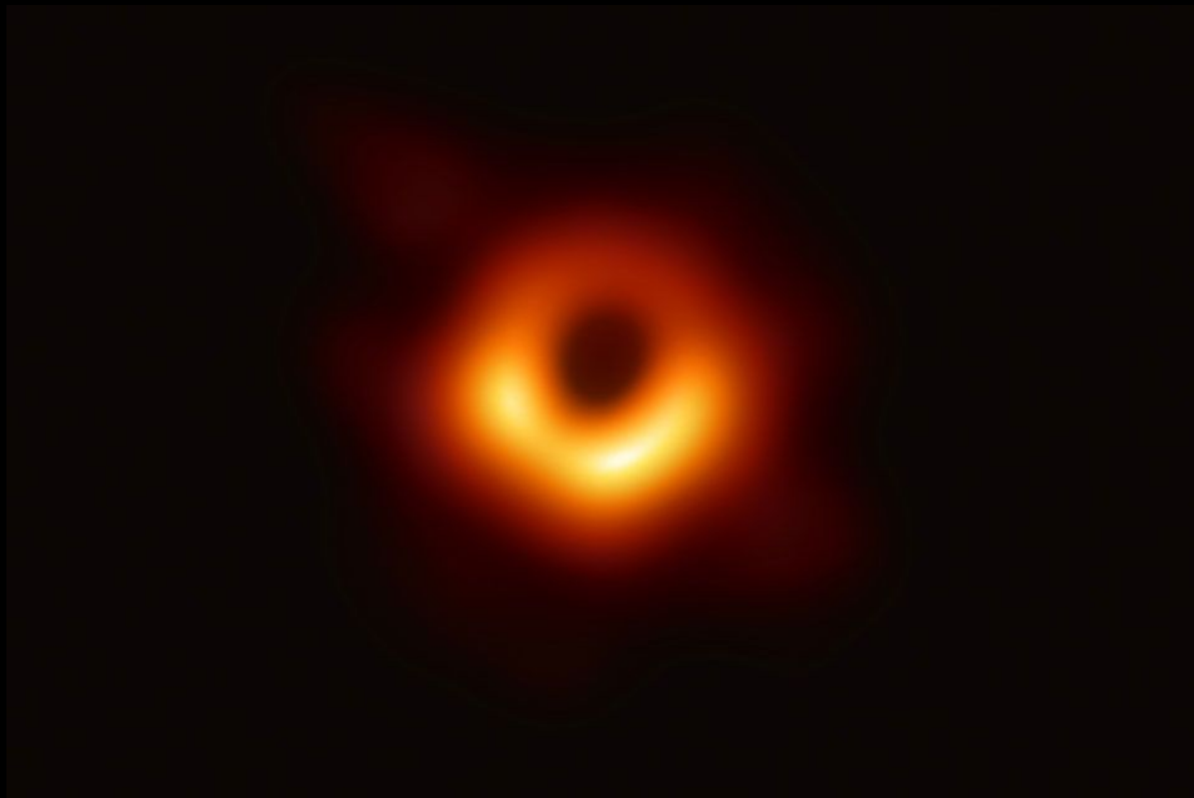
# Aglomerado de Virgem

- O Aglomerado de Virgem,
- a  60 milhões de
- anos-luz.

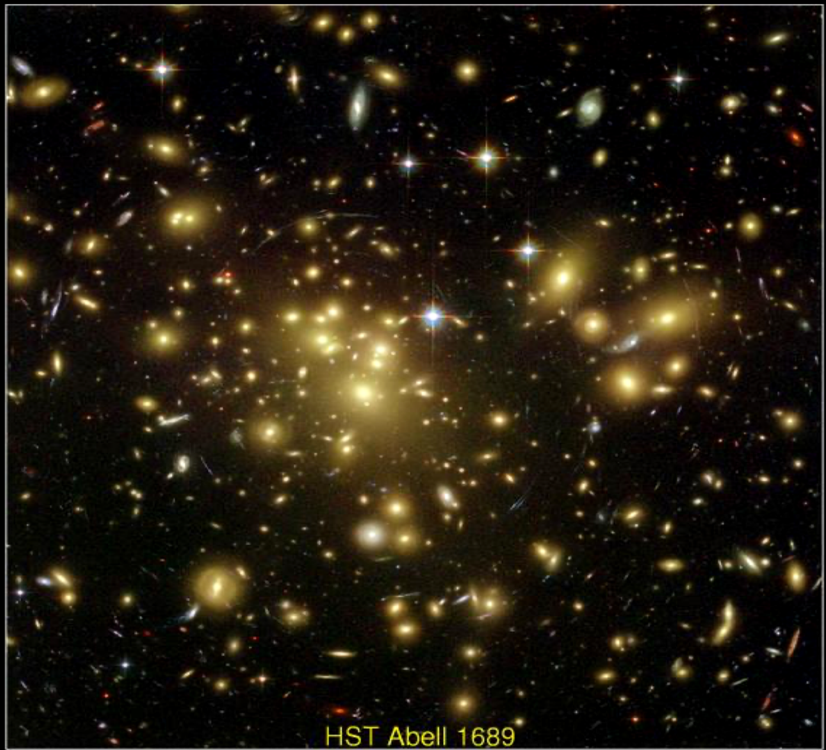
- Contem mais de
- 2000 galáxias e é o centro do
- super-aglomerado
- local



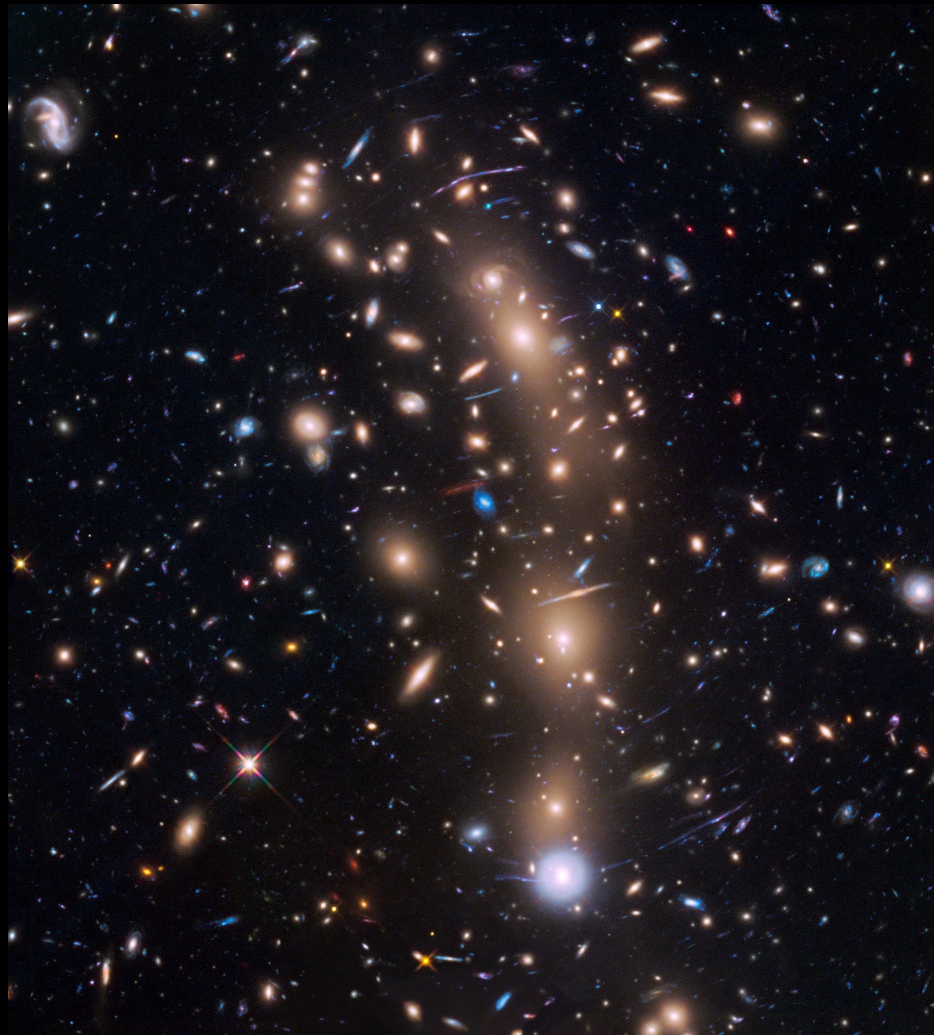
# Buraco Negro em M87



# Aglomerados de Galáxias

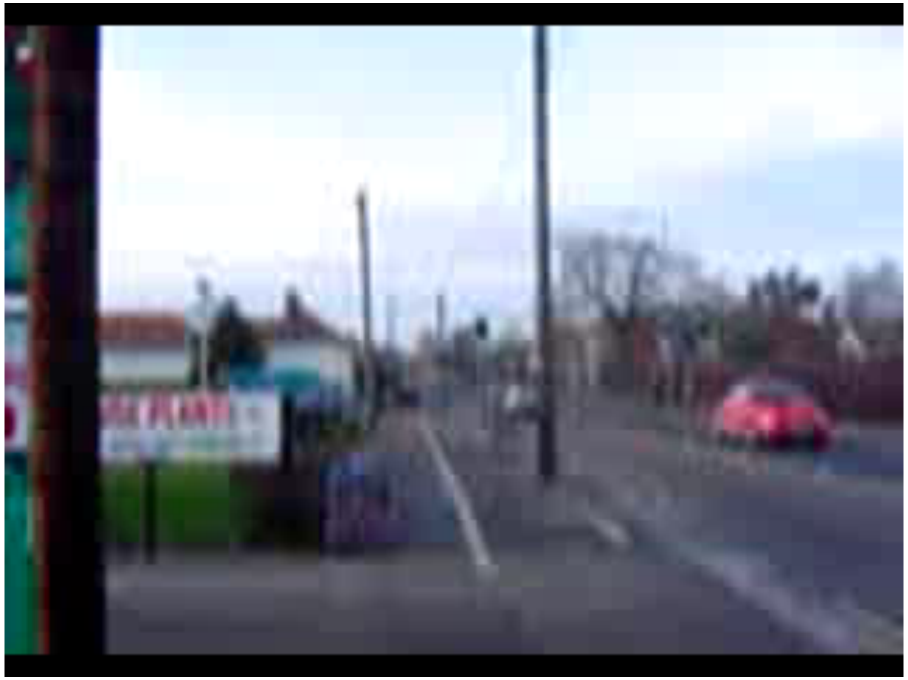


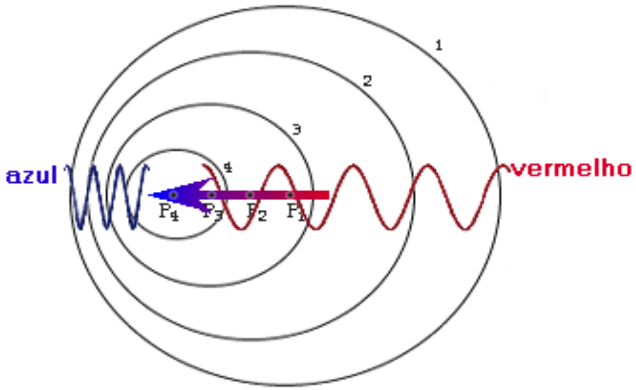

z=0,1842



MACS J0416.1-2403 z=0,396

# Efeito Doppler

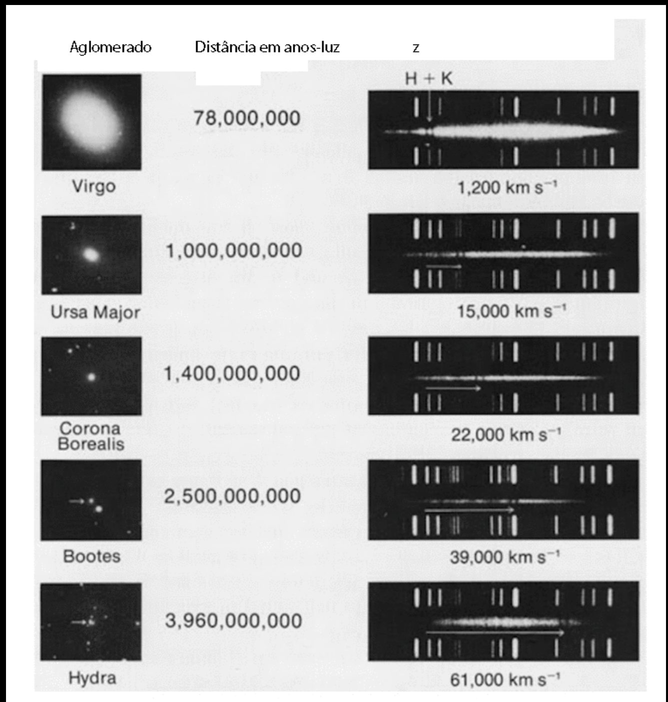


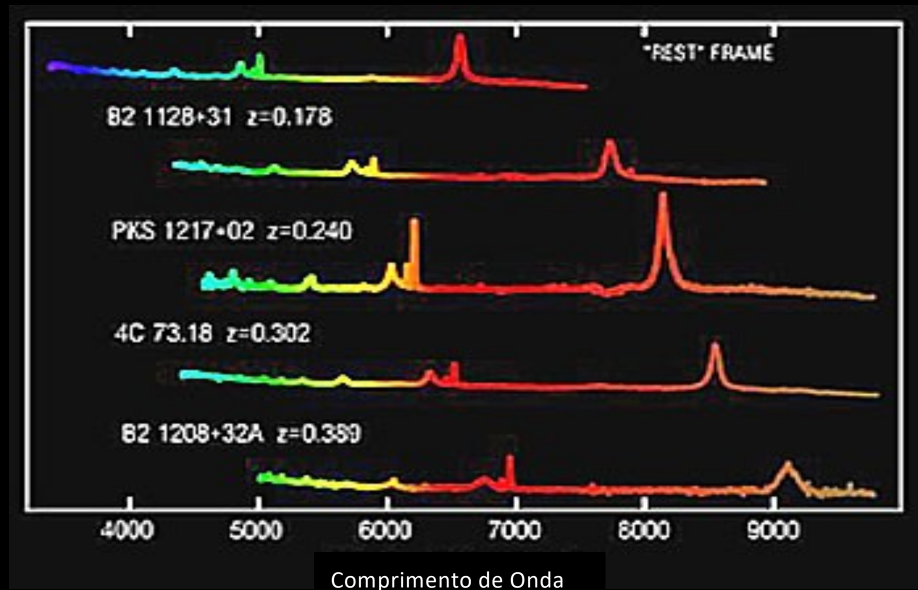



$$z \equiv \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c}\cos\theta \left( \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} \right)^{1/2}$$

Medindo deslocamento para o vermelho:

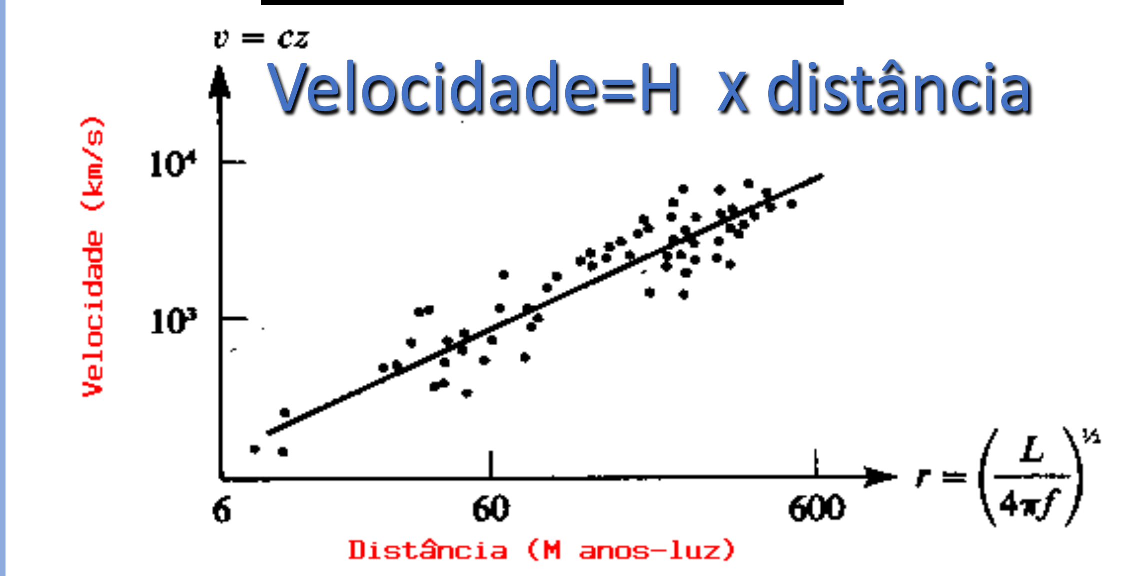
efeito Doppler

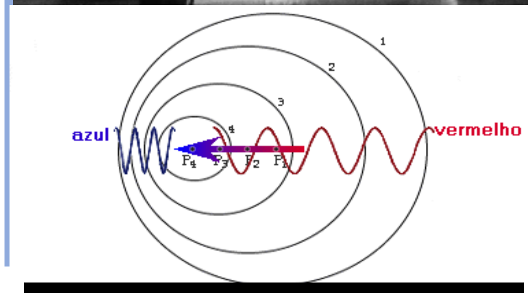


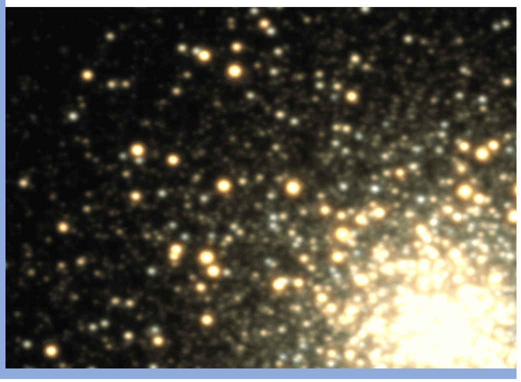



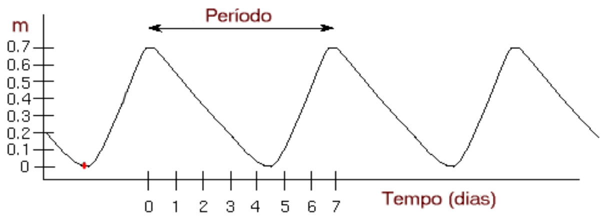

**Deslocamento para o vermelho z:** $\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$

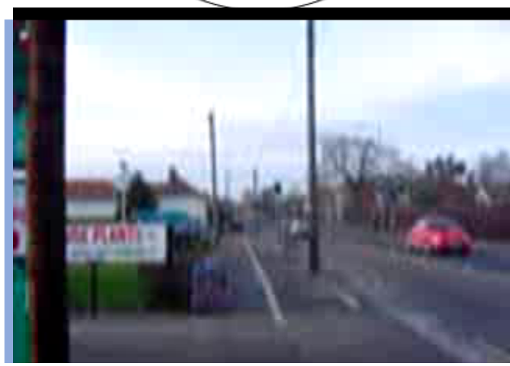
# Edwin Hubble 1929



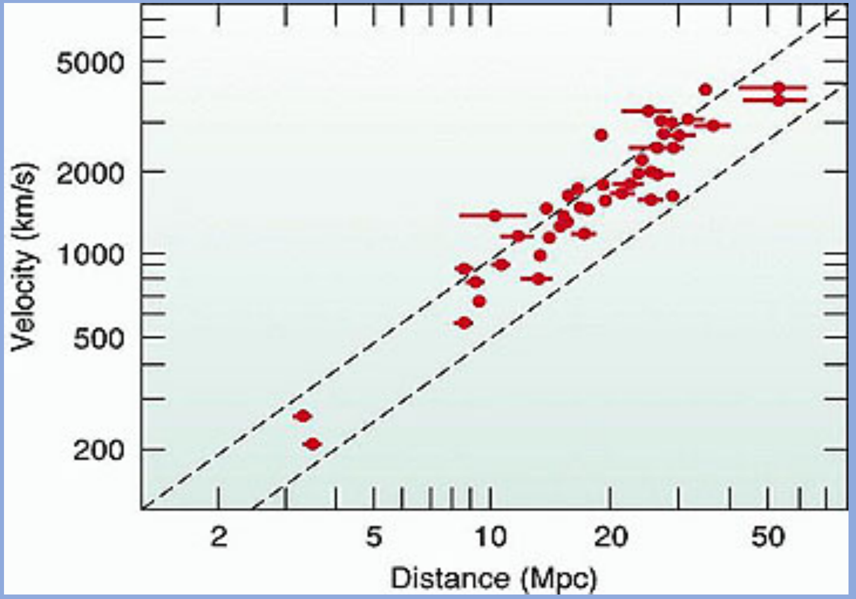
# Métodos de determinação de distâncias Astronômicas

- 
- Lei de Hubble

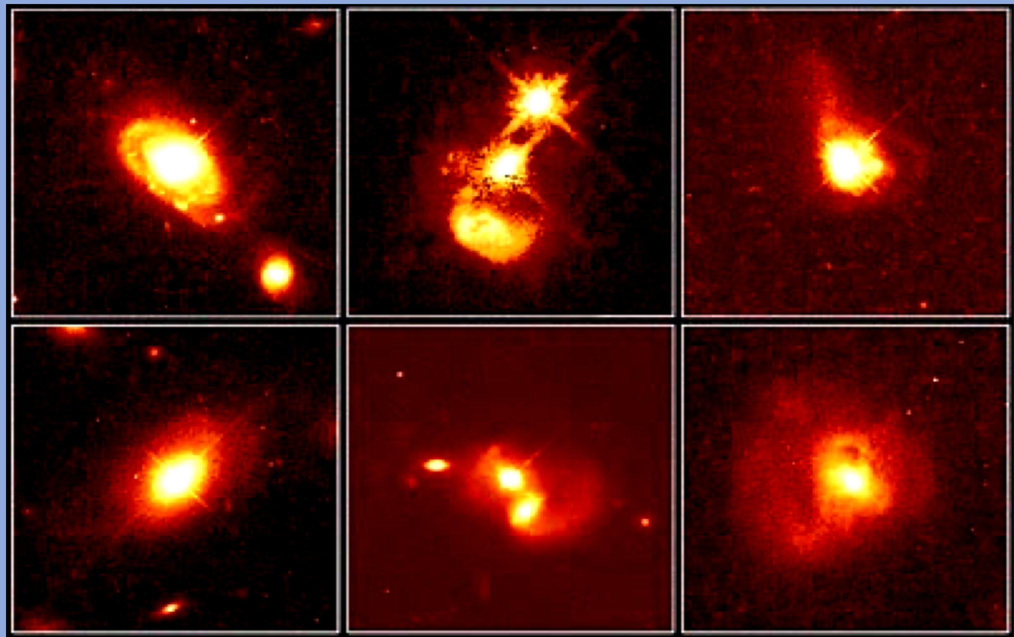
$$v(km/s) = H\left(\frac{km/s}{Mpc}\right) \times d(Mpc)$$

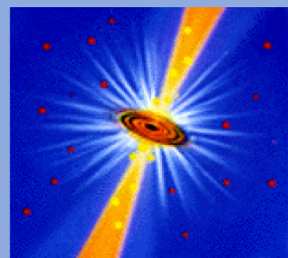
$$d(Mpc) = \frac{v}{H}$$

H=67,4 km/s/Mpc



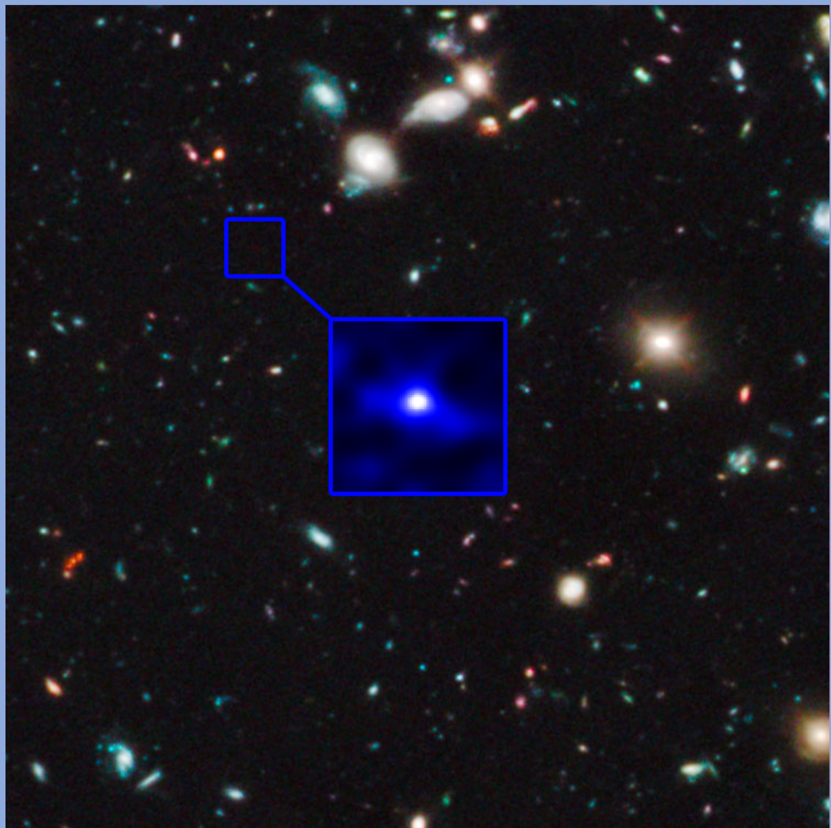
# Quasares = galáxias com buraco negro central acretando massa

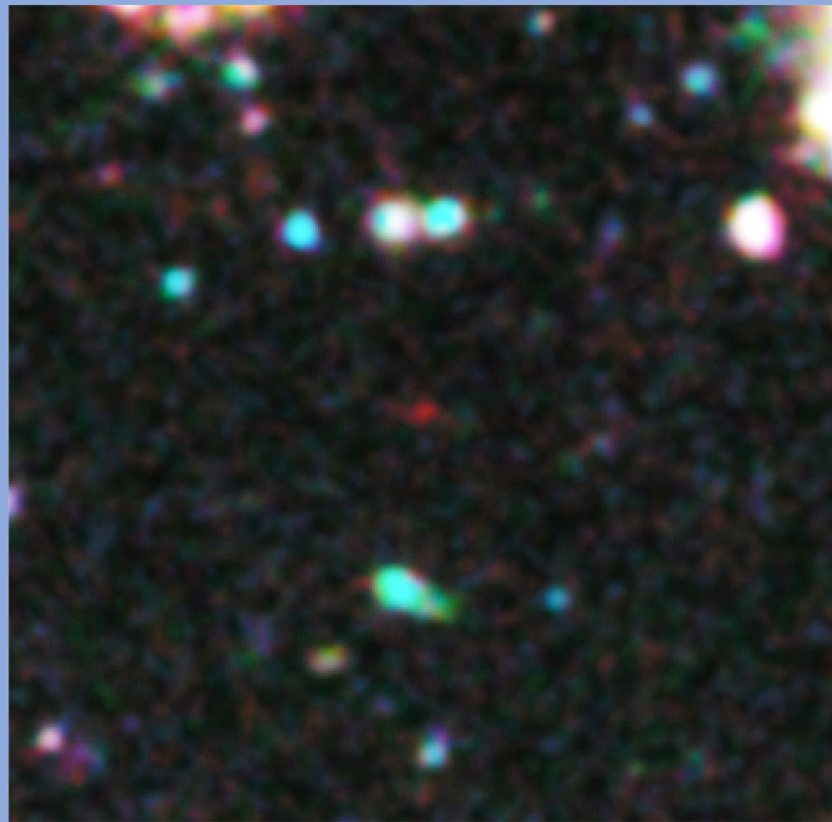




# $z=\Delta\lambda/\lambda=11{,}9$   d =13,42 bilhões de anos-luz

HST UDFj-39546284





Bouwens et al.  2013, Astrophysical Journal, 765, L16B

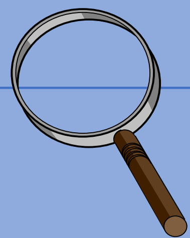
# Big Bang

# Expansão

Velocidade=H x distância

Velocidade= distância/Tempo

**Tempo = 1/H**

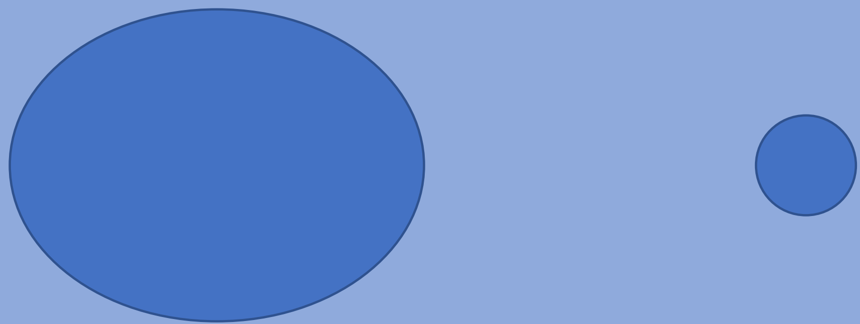


**H = 67,4 km/s/Mpc ➡ Tempo= 13,8 bilhões de anos**

1 Mpc = 3,26 M anos-luz = $3 \times 10^{19}$ km

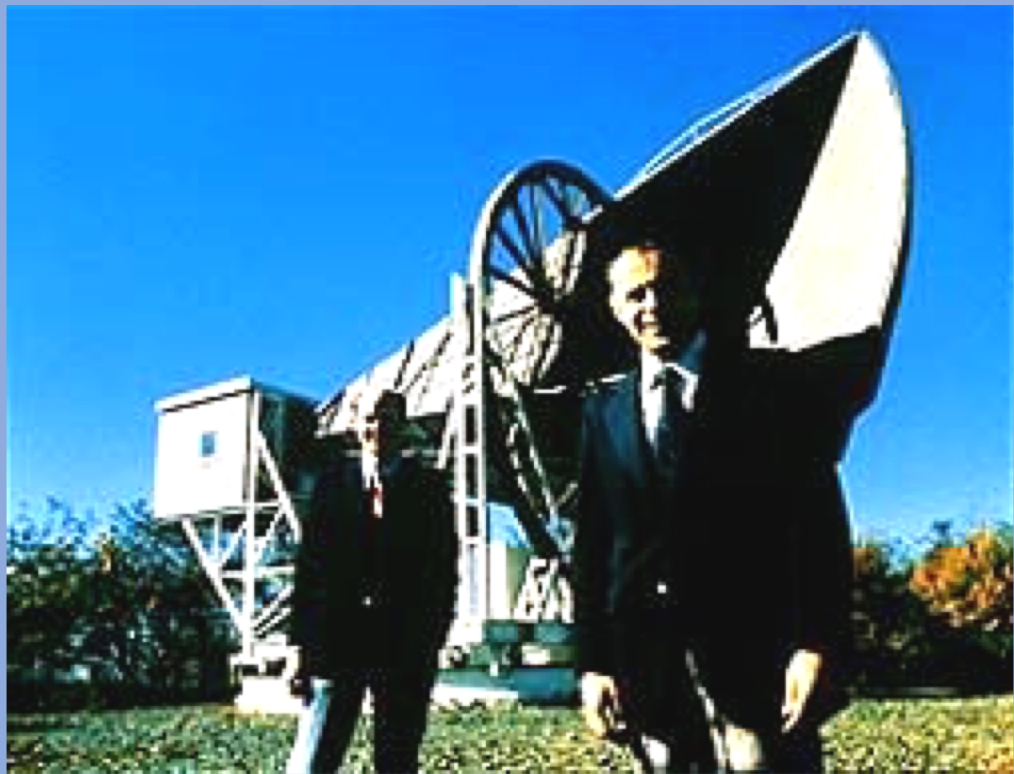
$P=NkT$

O Universo era quente quando pequeno



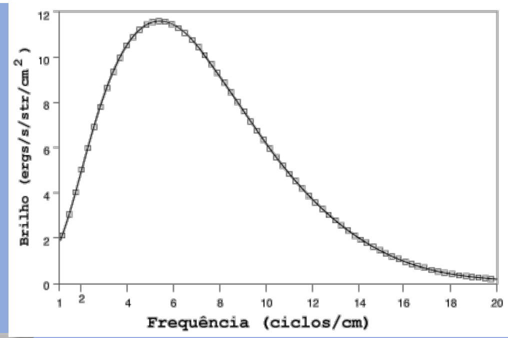
$3/2\ kT = \frac{1}{2} mv^2$

# Arno Penzias e Robert Wilson 1964



Holmdel, NJ
Nobel 1978

# Radiação do Fundo do Universo




E=kT
T=3K

**George Gamow**

**Robert Herman & Ralph Alpher**

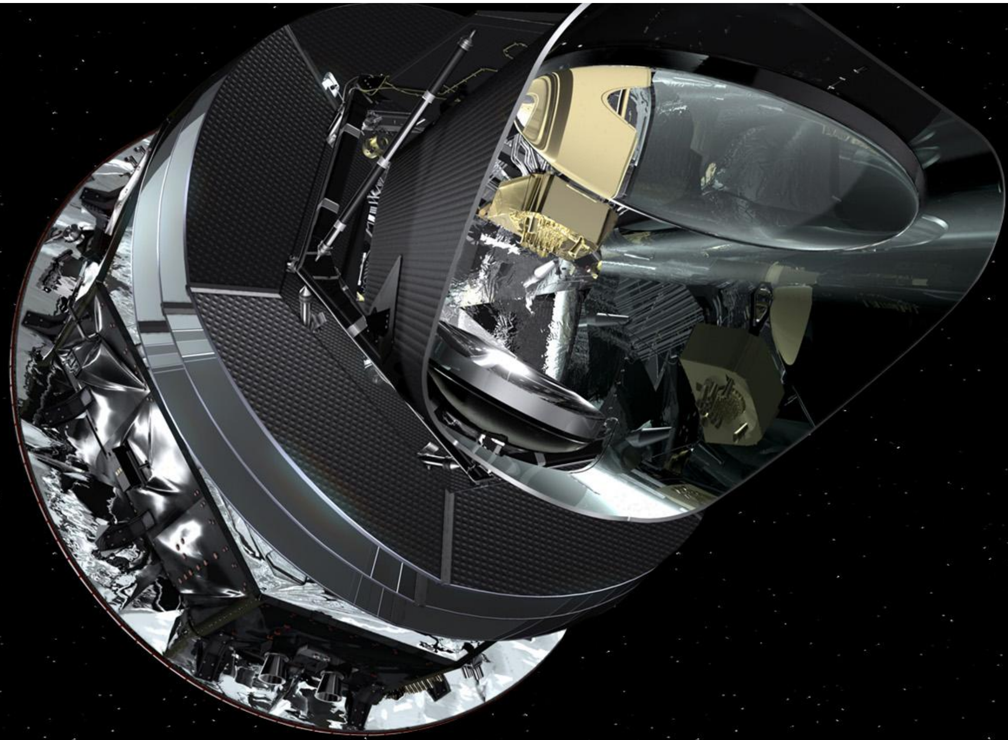
**1948**

A&A 594, A1 (2016)
DOI: 10.1051/0004-6361/201527101

**Volume 594 (October 2016) A&A, 594 (2016) A1**

Astronomy & Astrophysics
Special feature

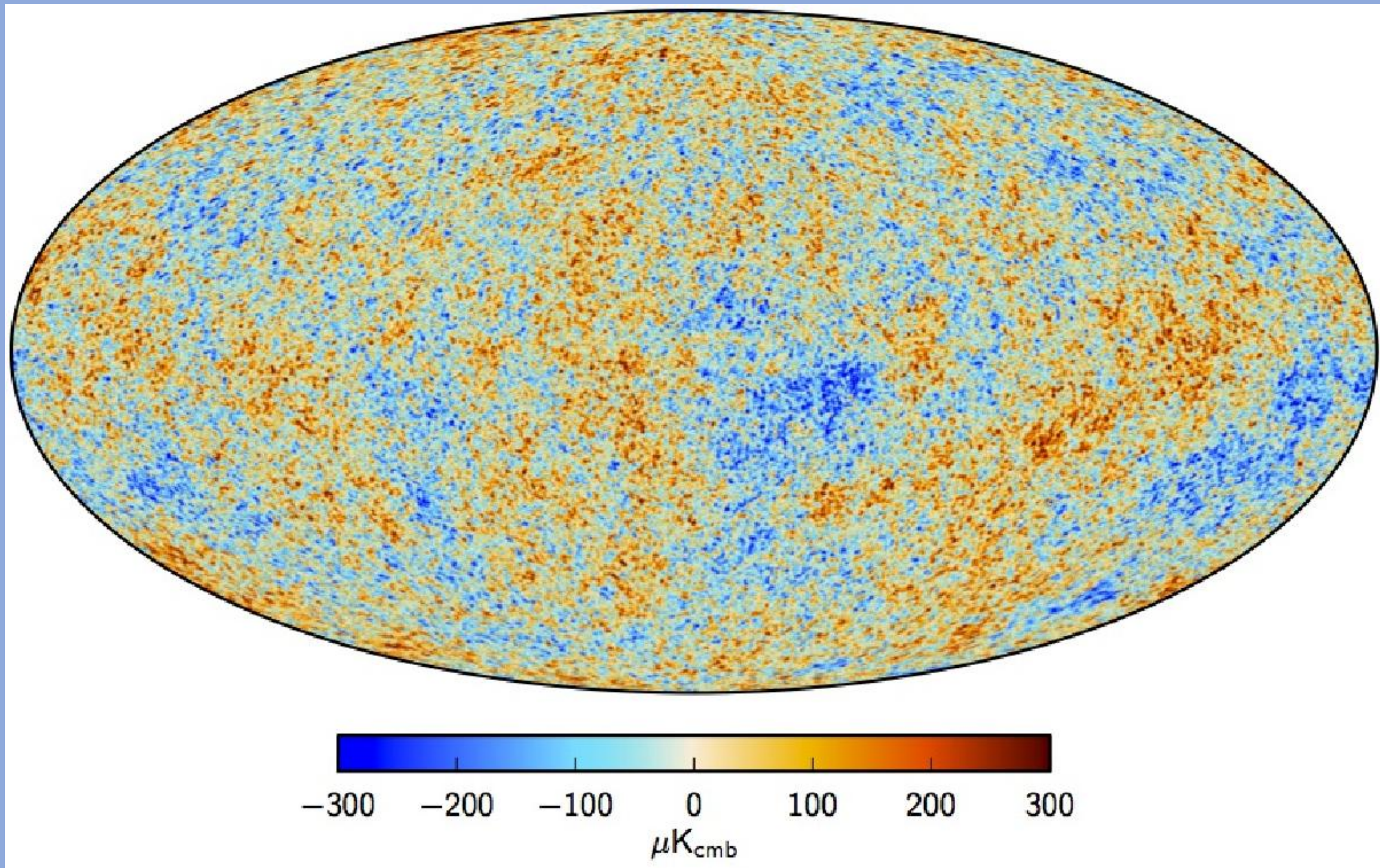
## *Planck* 2015 results



Satélite Planck ESA 2009-2012
Idade=(13,75±0,08) bilhões

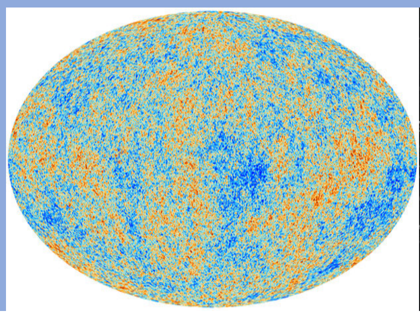
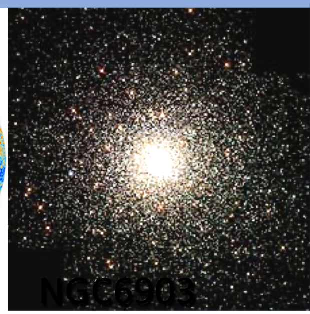
# Planck 2018

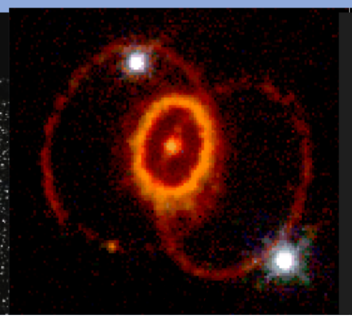
2009: T= 2,723K

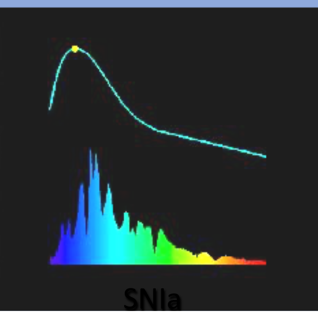


# Idade do Universo em 2020

- Espectro da Radiação do Fundo do Universo =(13,80±0,02)Ganos
- Taxa de Expansão do Universo - Idade: 1/H = (13 ± 1) Ganos
- Cúmulos Globulares - Idade: (13,2 ± 1,5) Ganos
- Decaimento Radiativo - Idade: (12,5 ± 3) Ganos
- Esfriamento das Anãs Brancas - Idade: (12,7 ± 0,7) Ganos
- Distância às Supernovas Tipo I - Idade: 13.0 ±1.2 (0.72/h)Ga,$\Lambda$



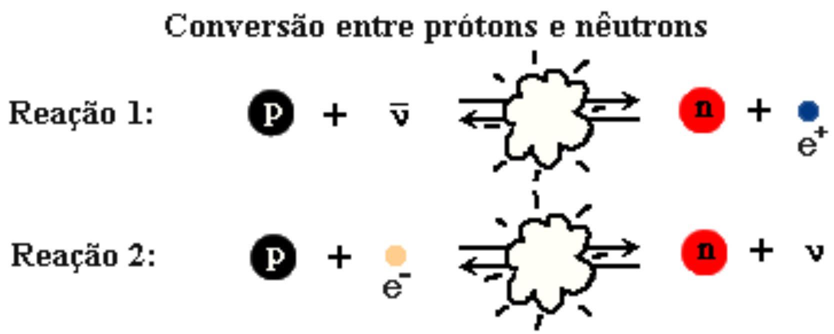



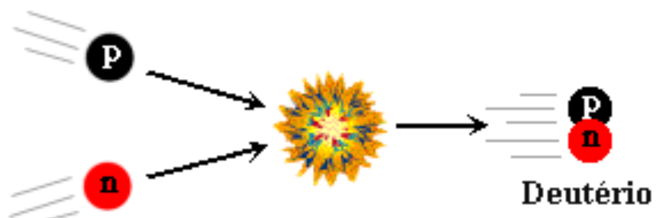
Conservação de energia: com a expansão do Universo, a temperatura T cai com o tempo t

$$T = \frac{1}{q^{1/4}}\left(\frac{3c^2}{32\pi G a}\right)^{1/4} t^{-\frac{1}{2}}$$

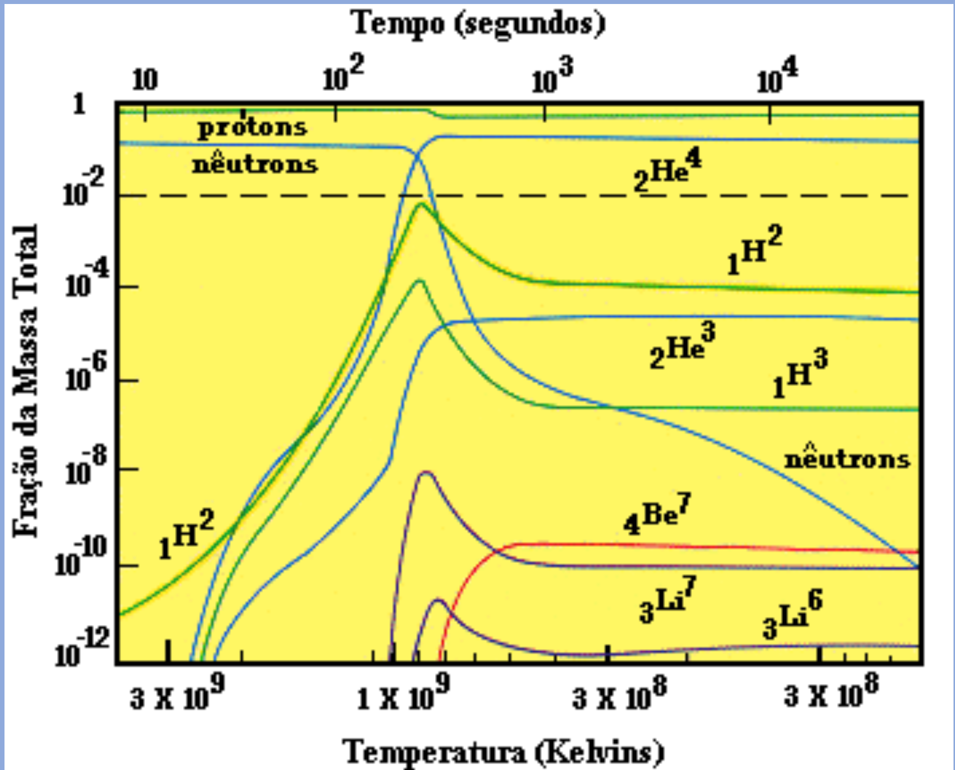
q=fração de formação de pares
a=constante de Stefan-Boltzmann
k=constante de Boltzmann

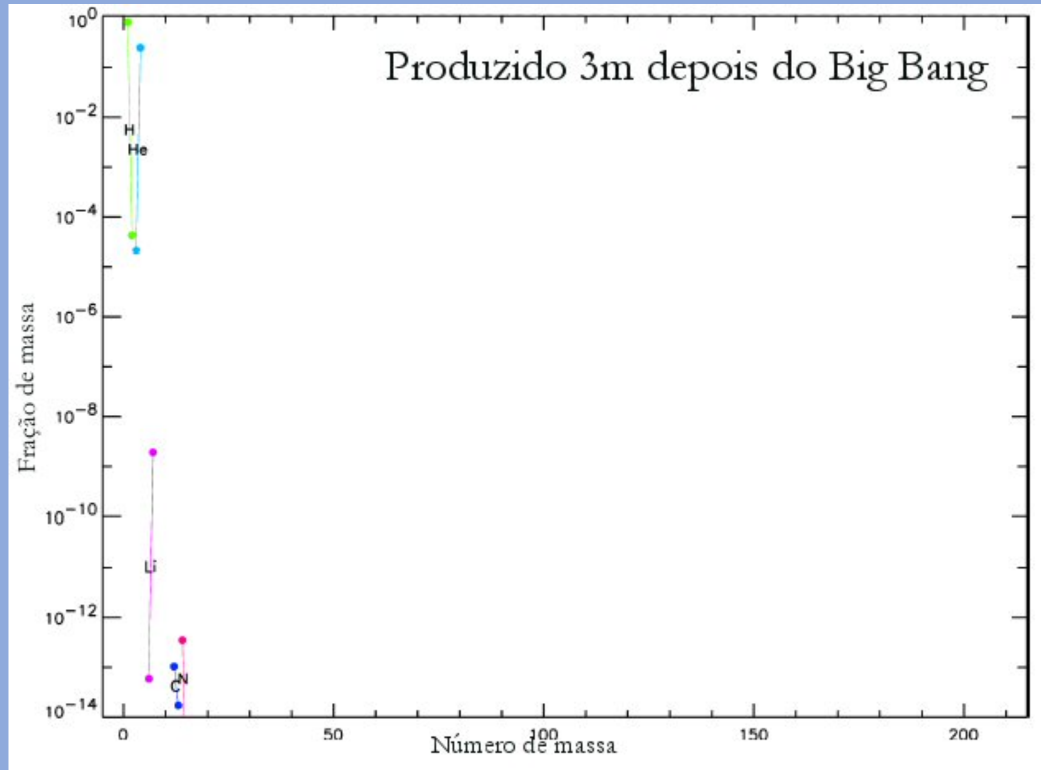
t=0,02$\mu$s depois do Big Bang: kT=2$m_{próton}$ = destruição de protons para tempos menores
0,7s =2$m_{elétron}$
3m46s (T=900 MK) -> 4m H=p -> deutério (p+n) -> He = após os 4m, frio para formar núcleos mais pesados



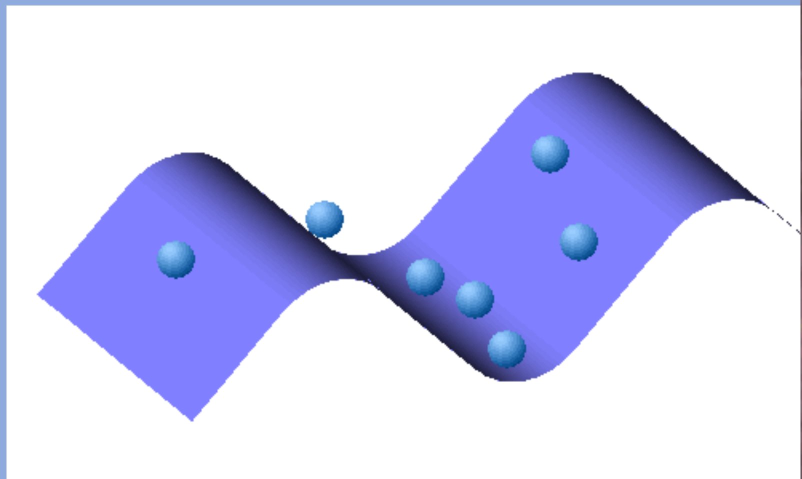



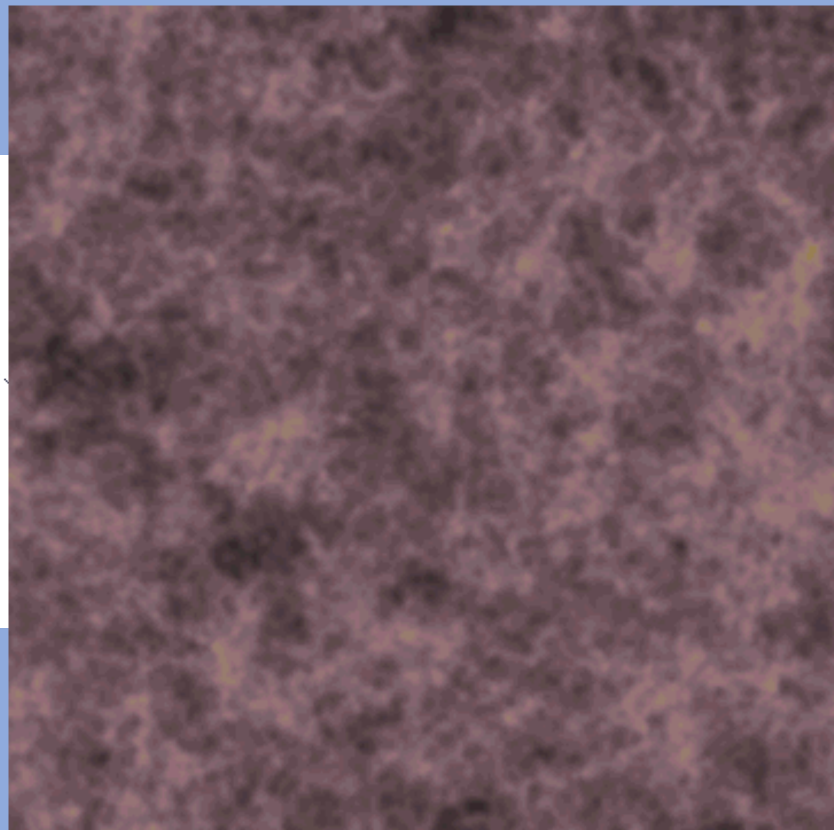
# Átomos neutros, só aos t=380 mil anos, T=3000K



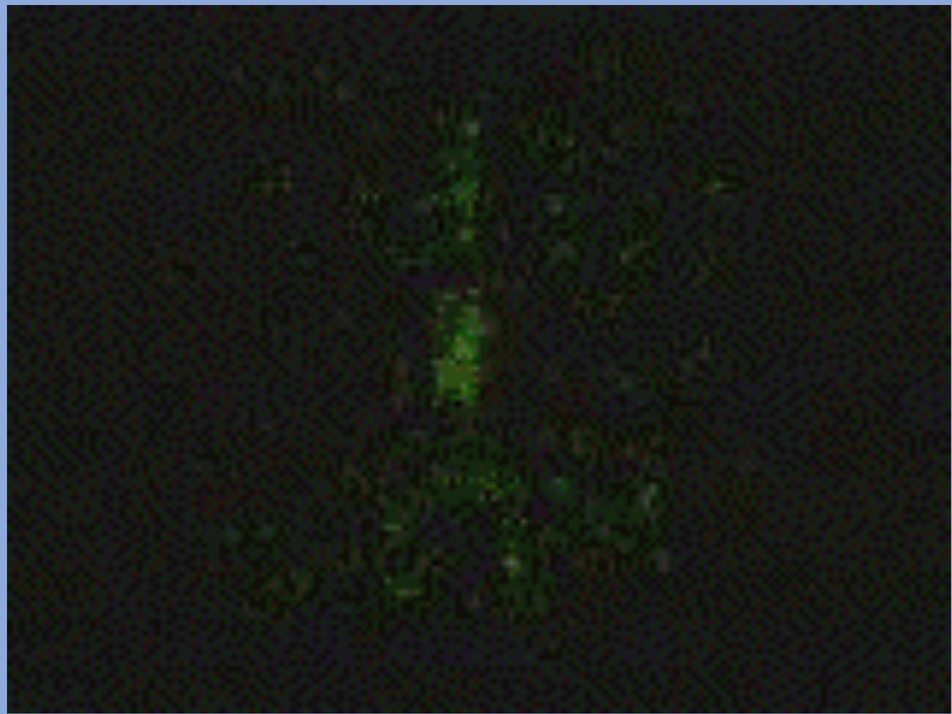



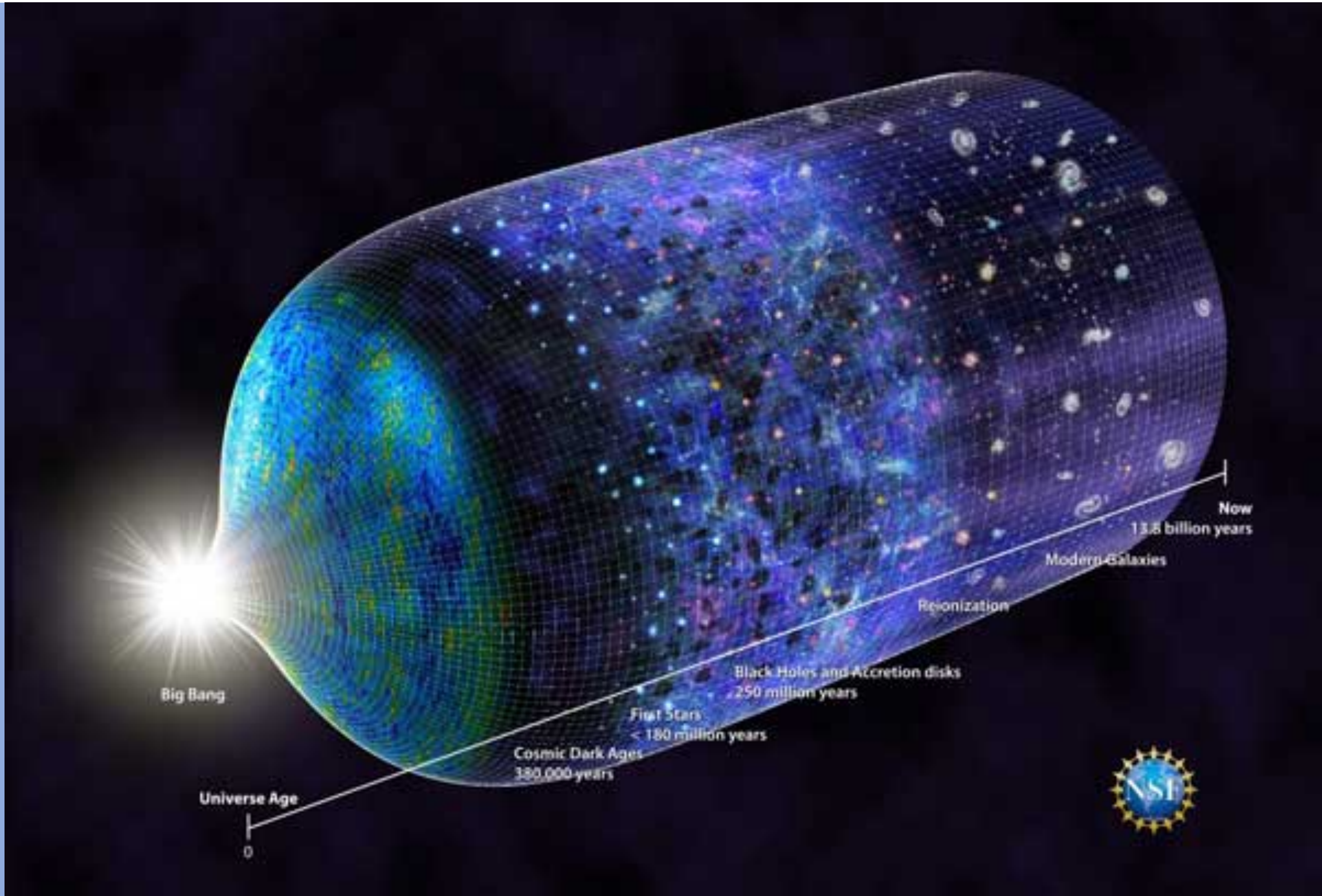
# Instabilidade gravitacional



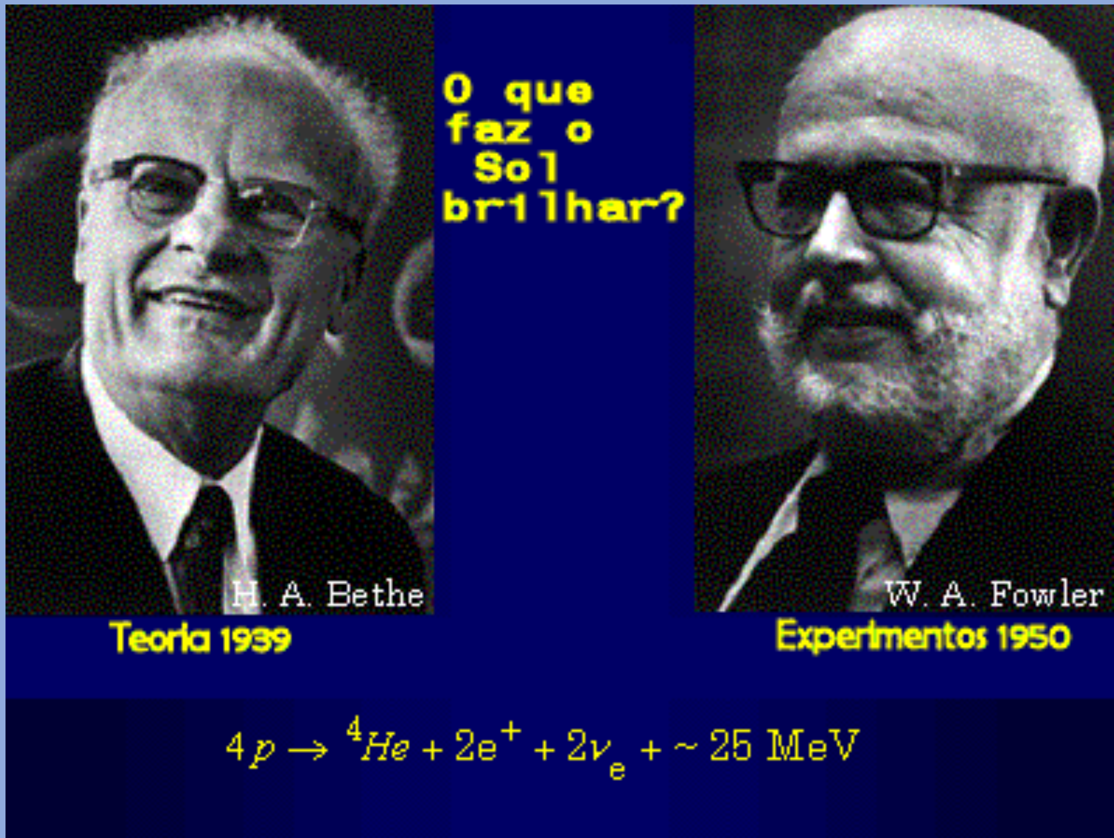


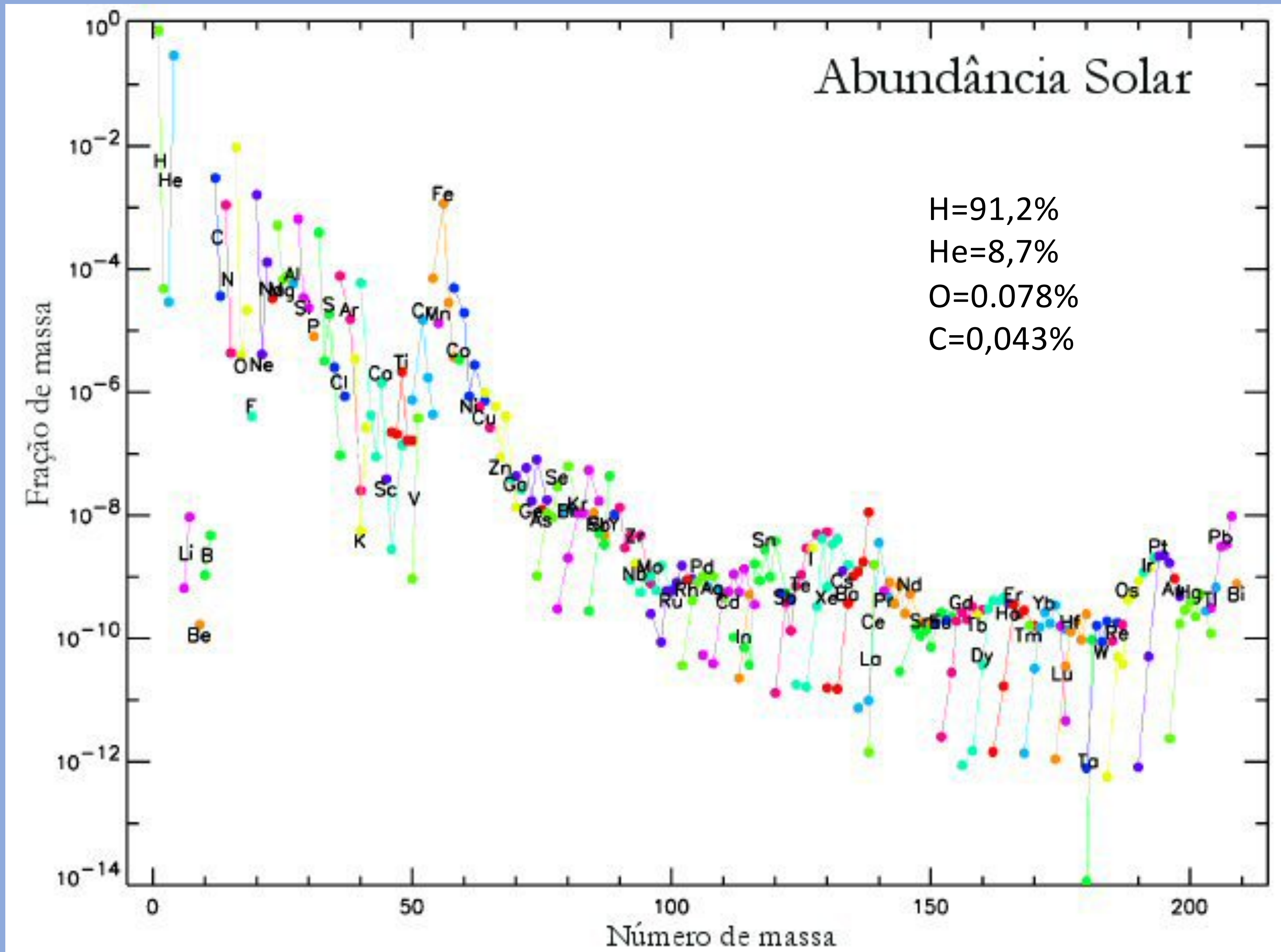
Primeiras estrelas se formam aos 380 milhões de anos
Galáxias depois de 1 bilhão de anos




Big Bang
Universe Age
0
Cosmic Dark Ages
380,000 years
First Stars
< 180 million years
Black Holes and Accretion disks
250 million years
Reionization
Modern Galaxies
Now
13.8 billion years

# Todos os outros elementos se formam dentro das estrelas

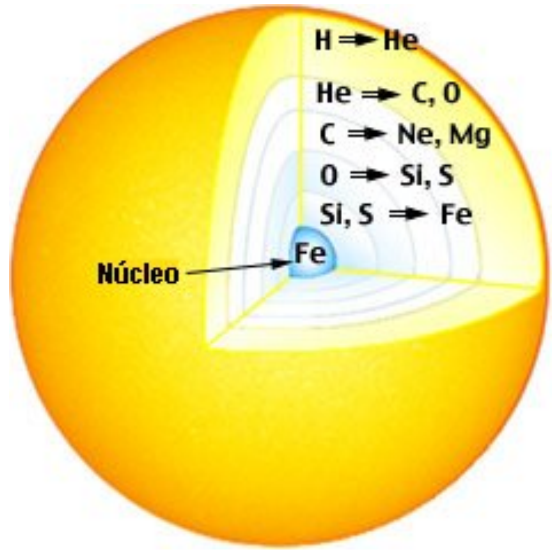




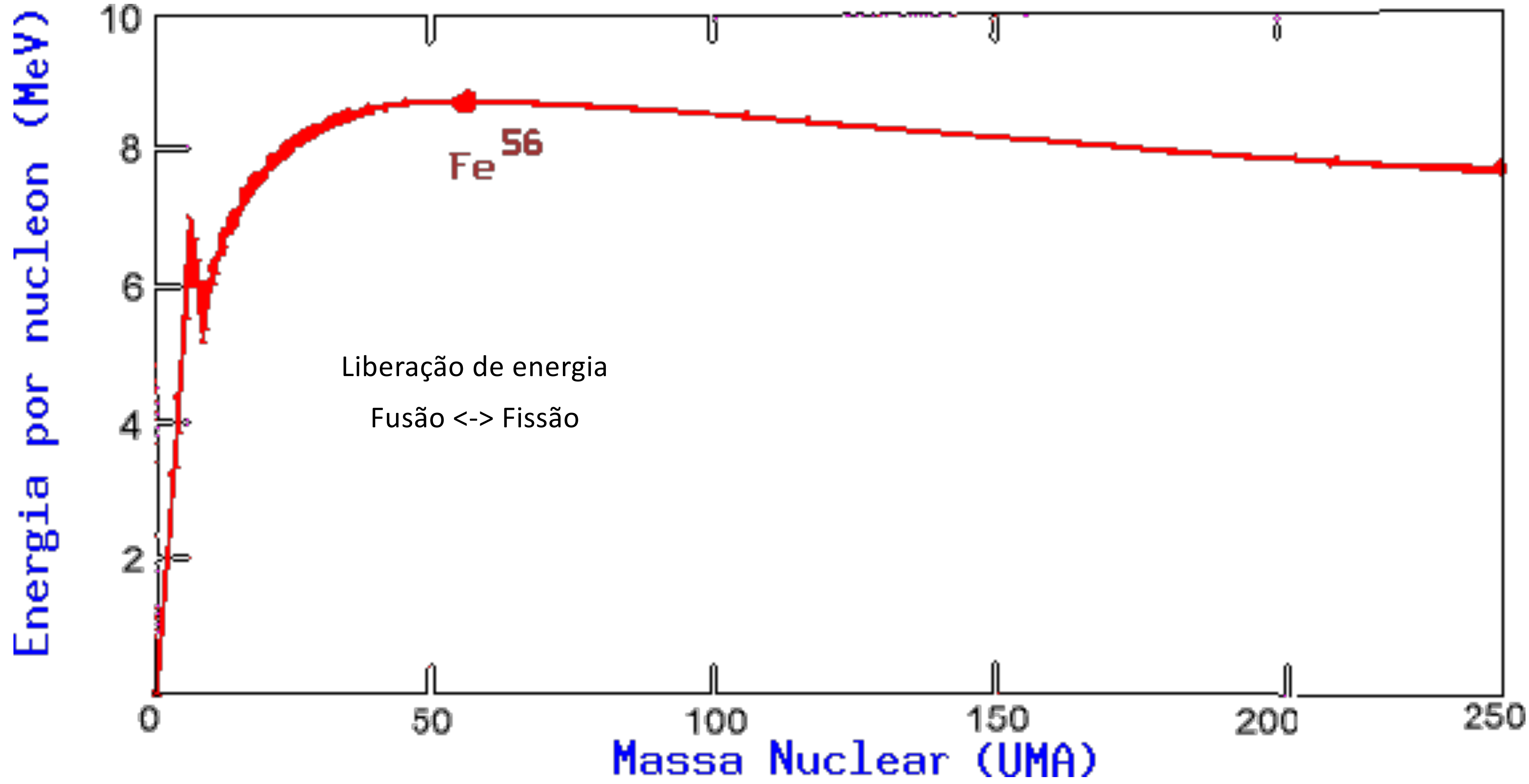

Desde a formação das estrelas mais velhas, somente 10% da massa de H pode ter sido convertida em He


Fotosfera
Núcleo
Queima de
hidrogênio

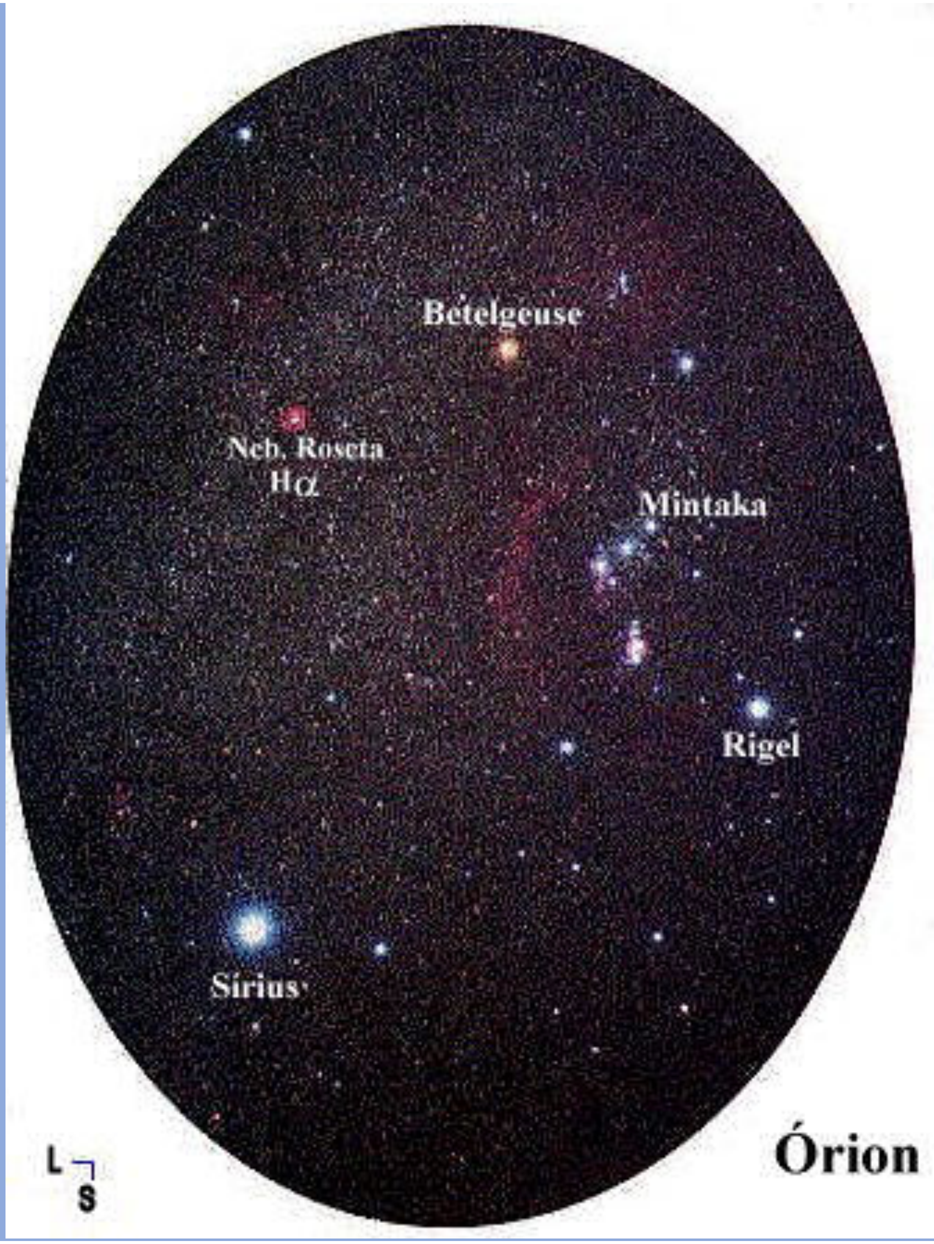

Fotosfera
Queima de
hidrogênio
nesta
camada
Núcleo
Núcleo de
Hélio


H → He
He → C, O
C → Ne, Mg
O → Si, S
Si, S → Fe
Fe
Núcleo

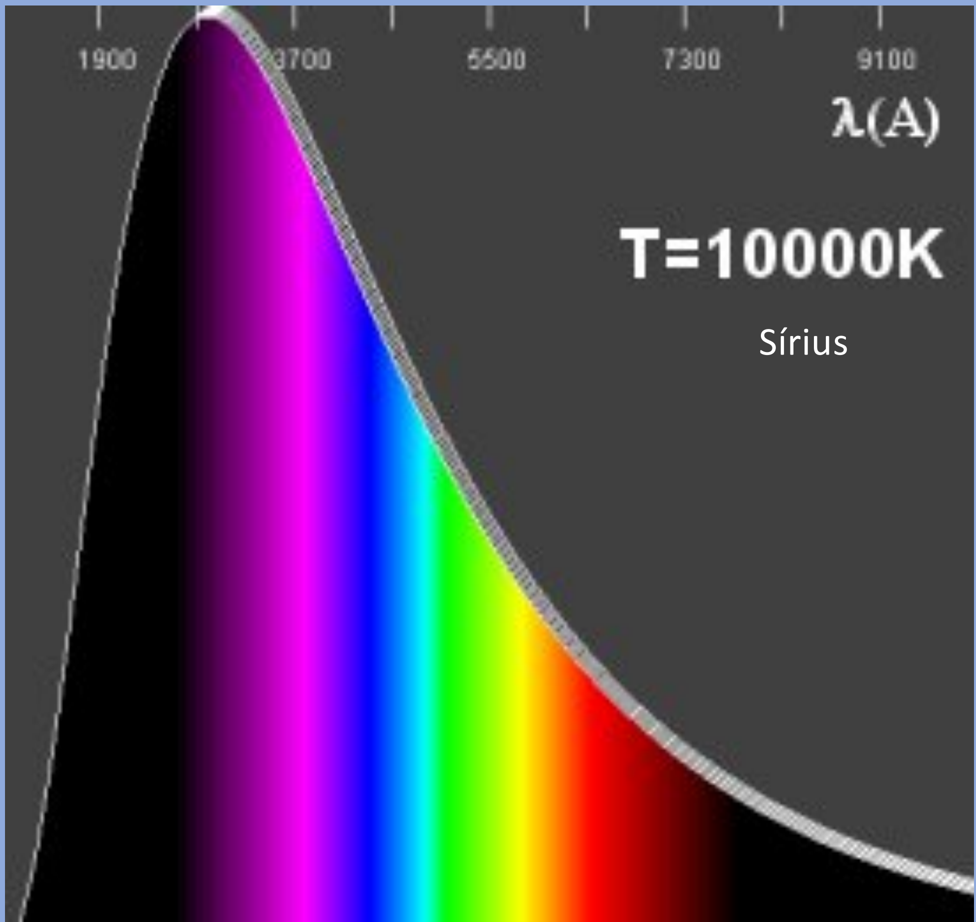
# Energia Nuclear de Ligação

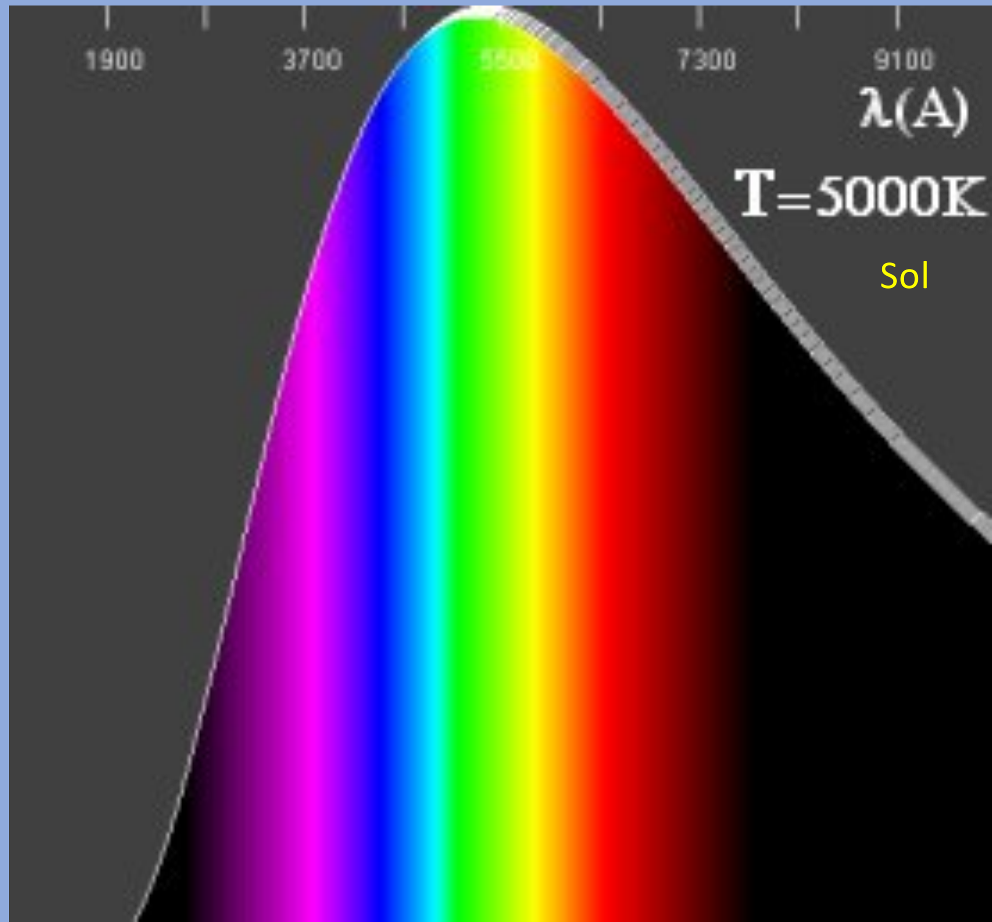


Estrelas têm diferentes massas e temperaturas

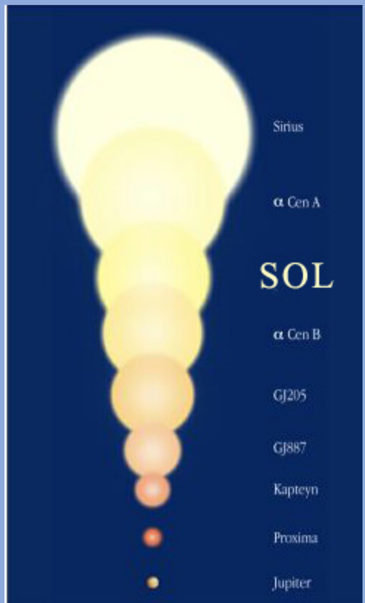


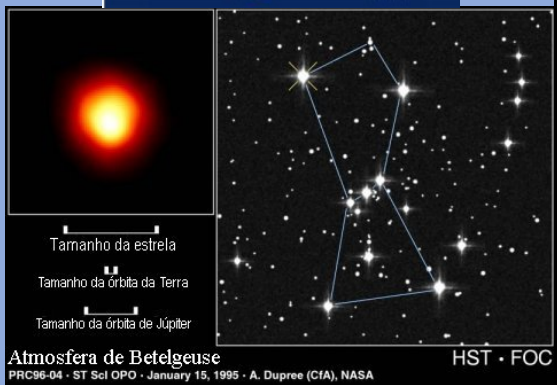
Cor é diretamente proporcional à temperatura: $\lambda_{max}T = 5400\mathring{A} \times 5400K$ Lei de Wien

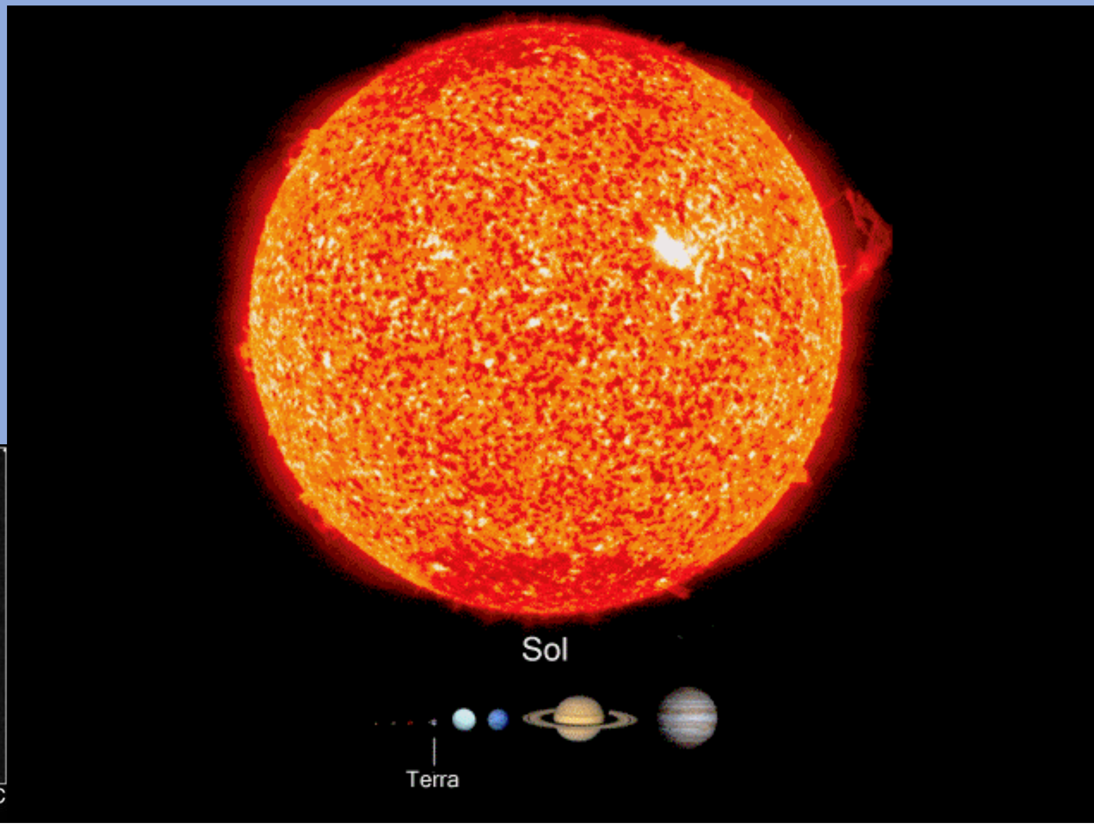


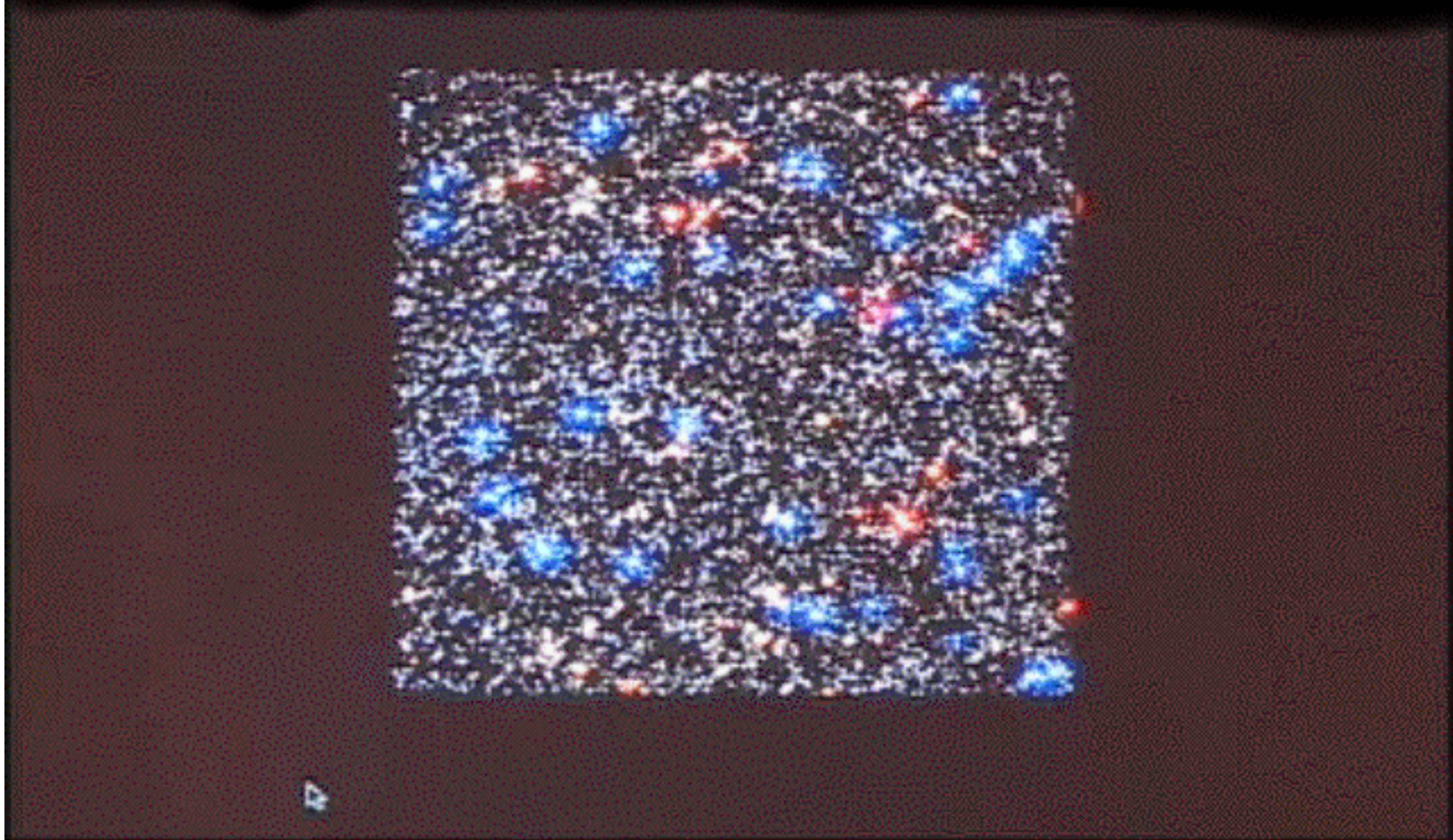
# Estrelas de todos os tamanhos

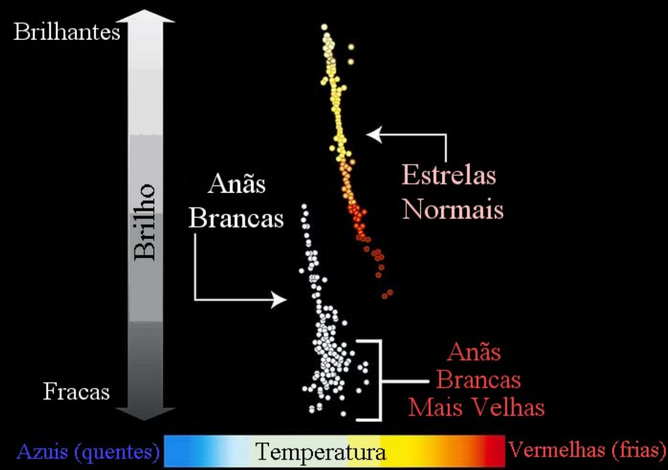


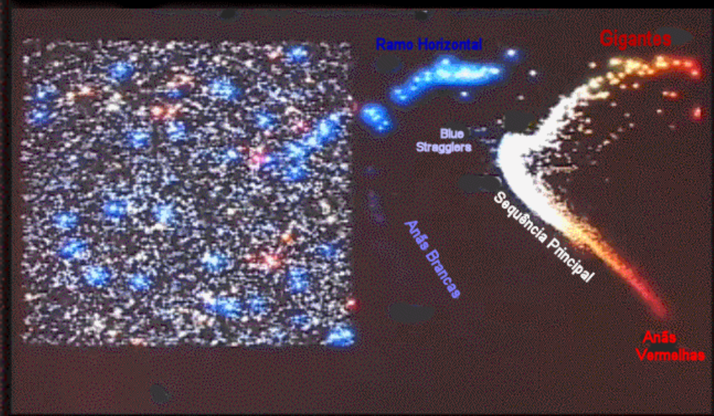



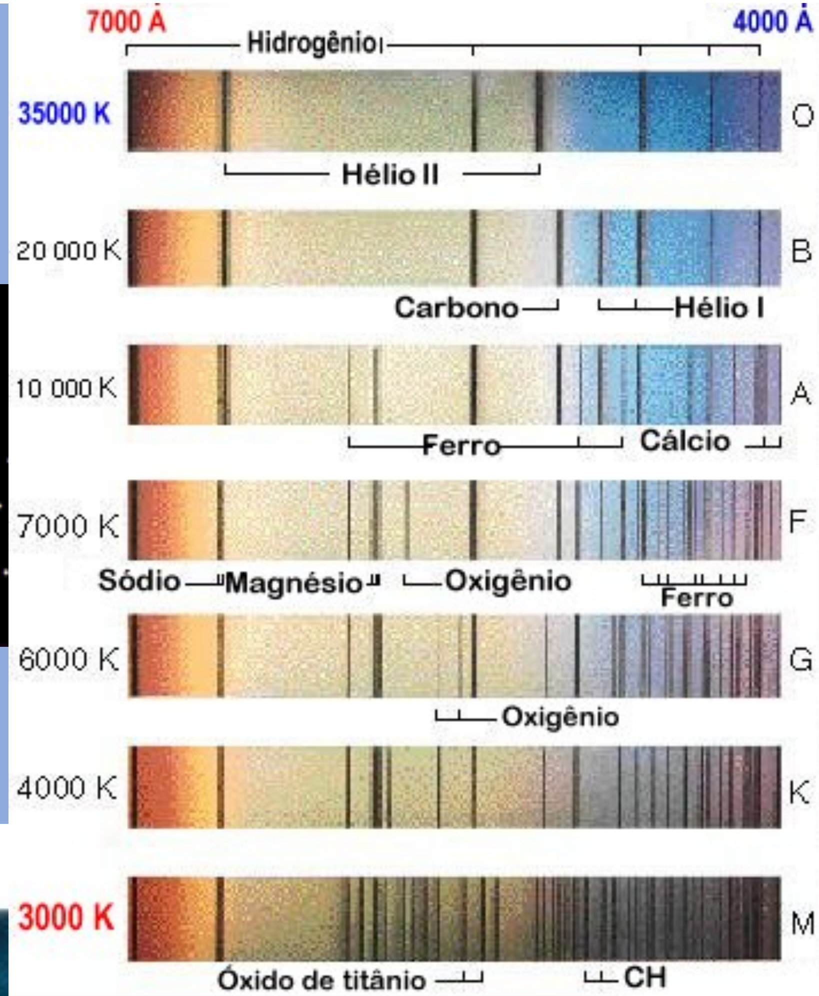
# Aglomerado Globular

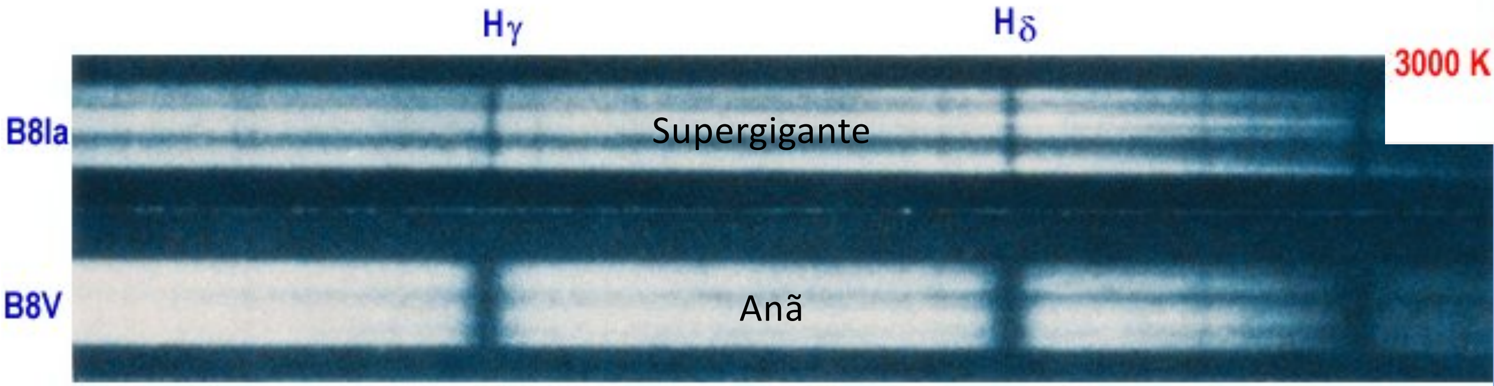




# Espectro

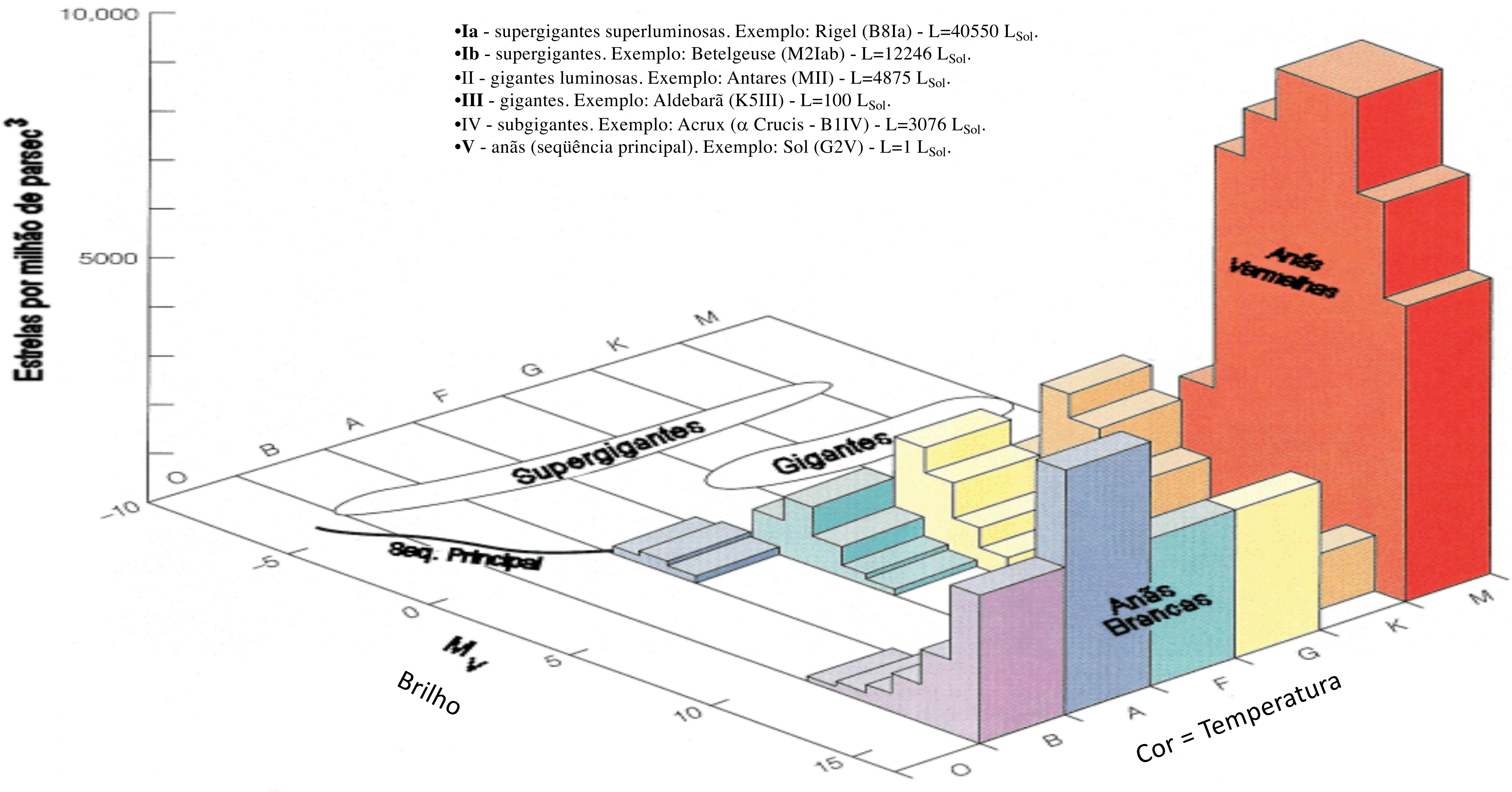


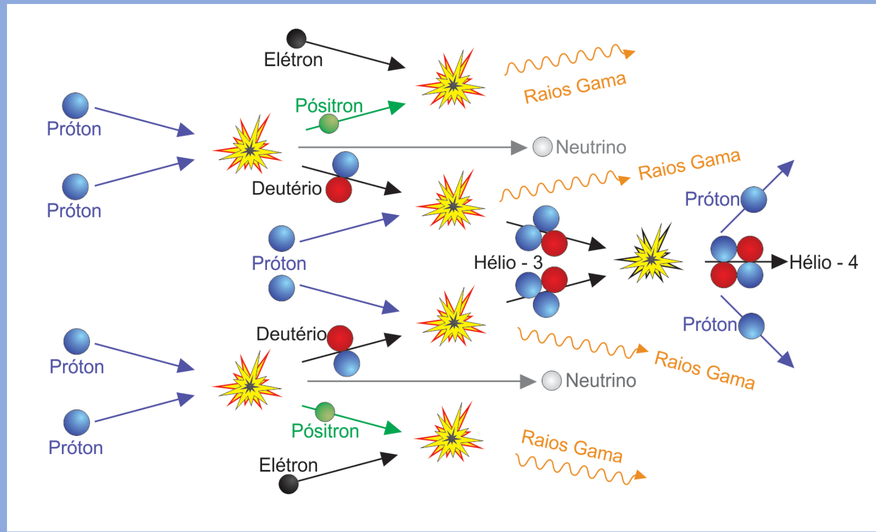




Diferenças de ionização e excitação por diferentes temperaturas, e não por diferentes composições!

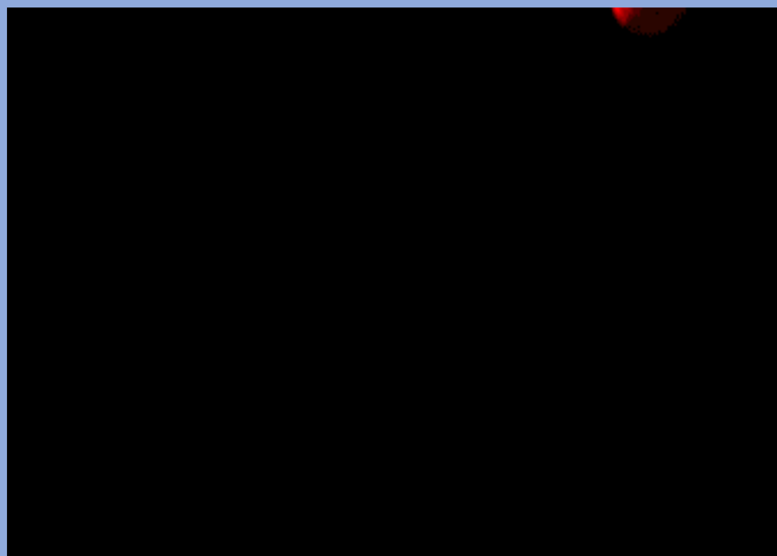
# Histograma do número relativo de estrelas próximas ao Sol

- **Ia** - supergigantes superluminosas. Exemplo: Rigel (B8Ia) - L=40550 $L_{Sol}$.
- **Ib** - supergigantes. Exemplo: Betelgeuse (M2Iab) - L=12246 $L_{Sol}$.
- II - gigantes luminosas. Exemplo: Antares (MII) - L=4875 $L_{Sol}$.
- **III** - gigantes. Exemplo: Aldebarã (K5III) - L=100 $L_{Sol}$.
- IV - subgigantes. Exemplo: Acrux (α Crucis - B1IV) - L=3076 $L_{Sol}$.
- **V** - anãs (seqüência principal). Exemplo: Sol (G2V) - L=1 $L_{Sol}$.

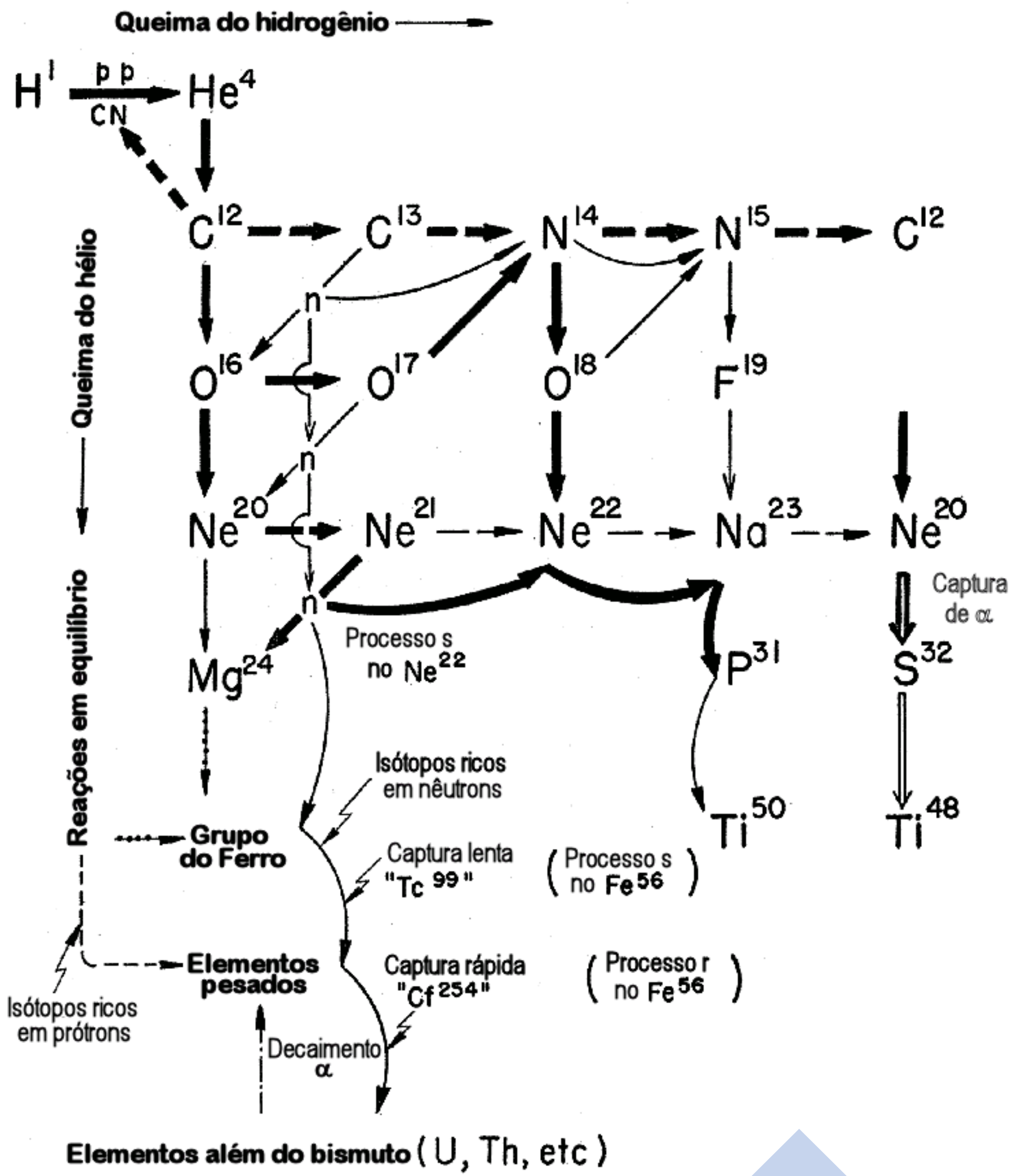





4H -> He

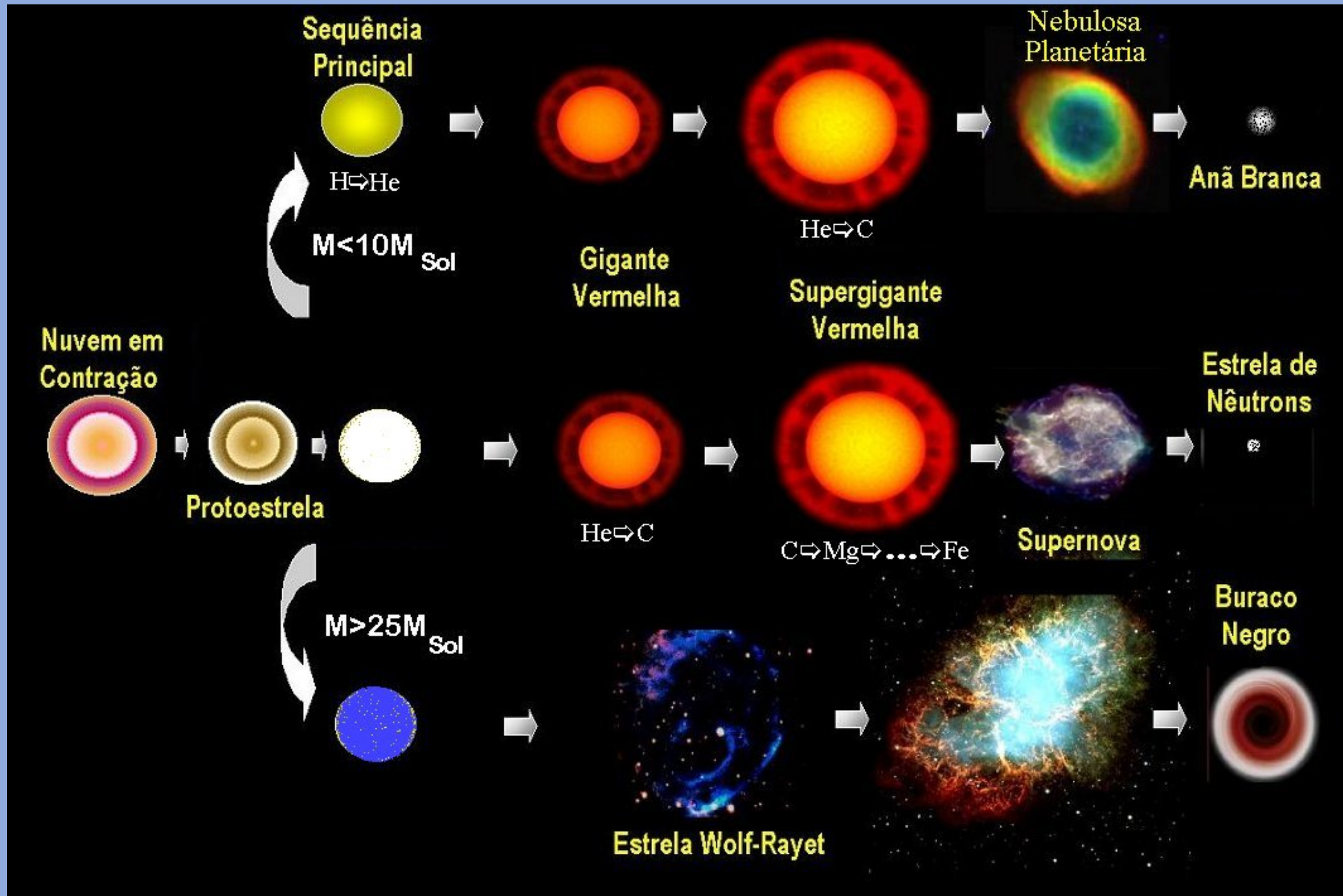


$3He^4$ -> $C^{12}$



Queima do hidrogênio
H1
p p
CN
He4
C12
C13
N14
N15
C12
n
O16
O17
O18
F19
n
Ne20
Ne21
Ne22
Na23
Ne20
n
Captura de α
Mg24
Processo s no Ne22
P31
S32
Queima do hélio
Reações em equilíbrio
Isótopos ricos em nêutrons
Ti50
Ti48
Grupo do Ferro
Captura lenta "Tc 99"
(Processo s no Fe56)
Elementos pesados
Captura rápida "Cf254"
(Processo r no Fe56)
Isótopos ricos em prótrons
Decaimento α
Elementos além do bismuto (U, Th, etc)

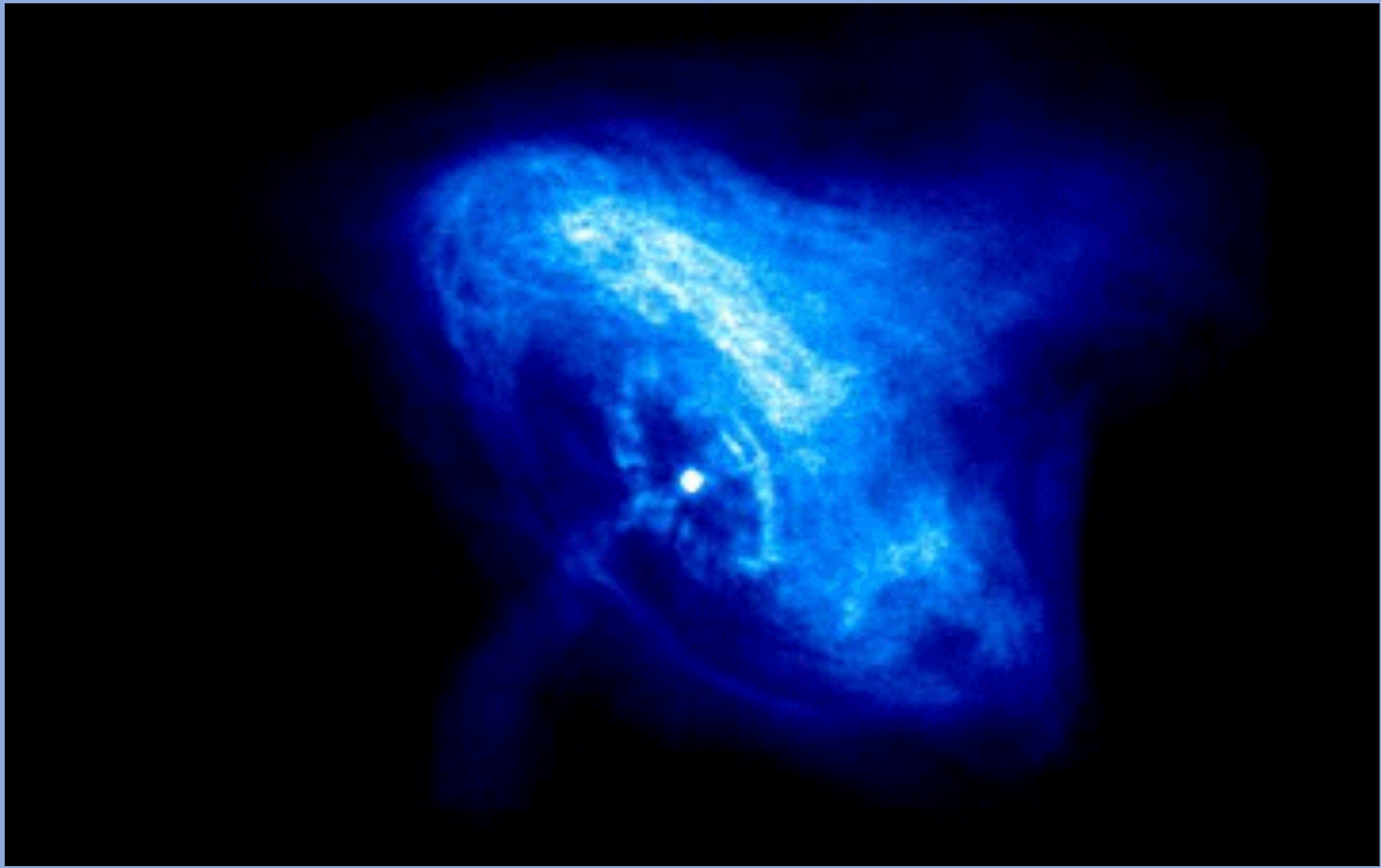
# Evolução estelar



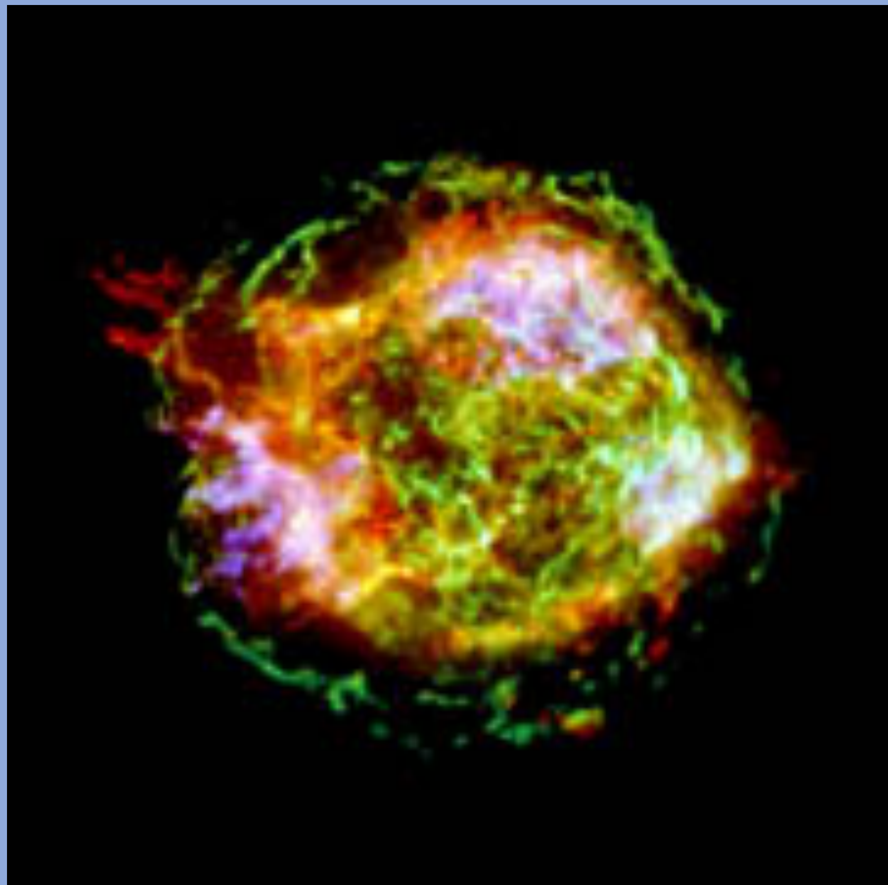
# Anãs Brancas

# Pulsar de 1054

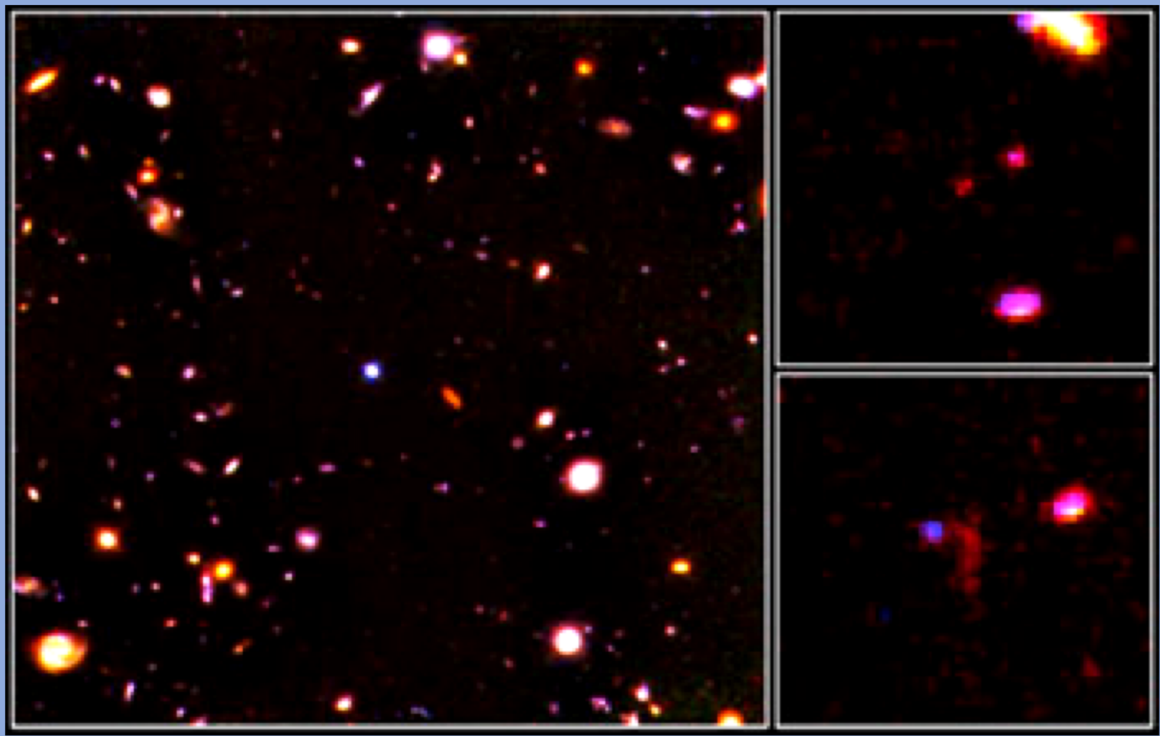
Nobel 1974: Antony Hewish (1924-)



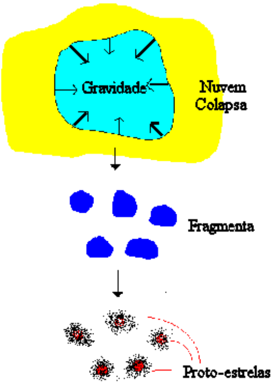
# Explosão de supernova

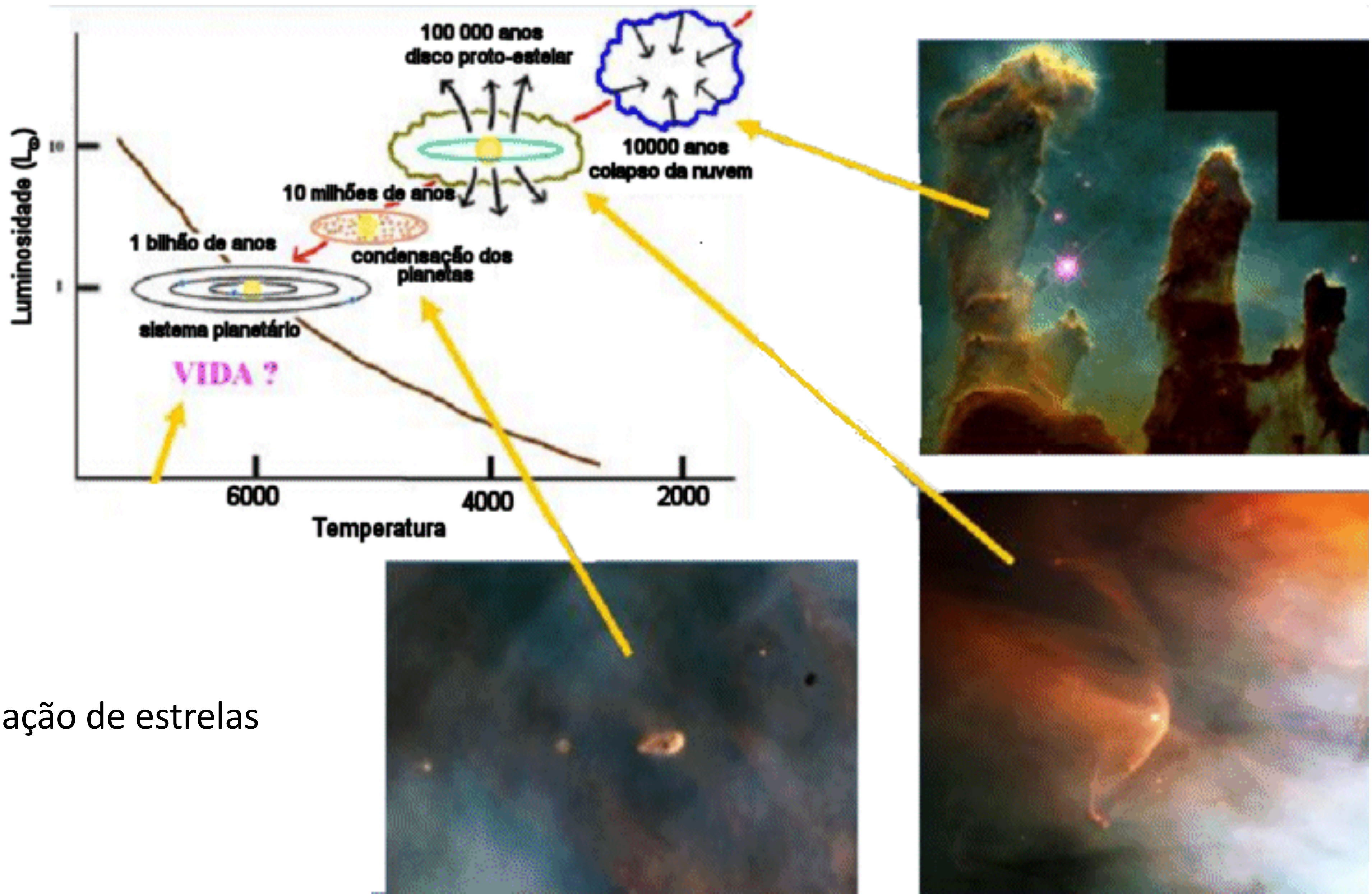


HST: Galáxias formaram-se 1 Gano depois do Big-Bang



# Região de Formação de Estrelas em Órion



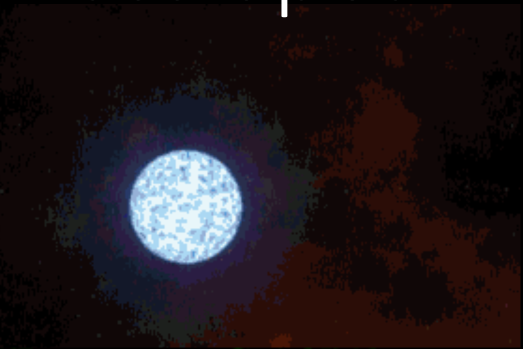


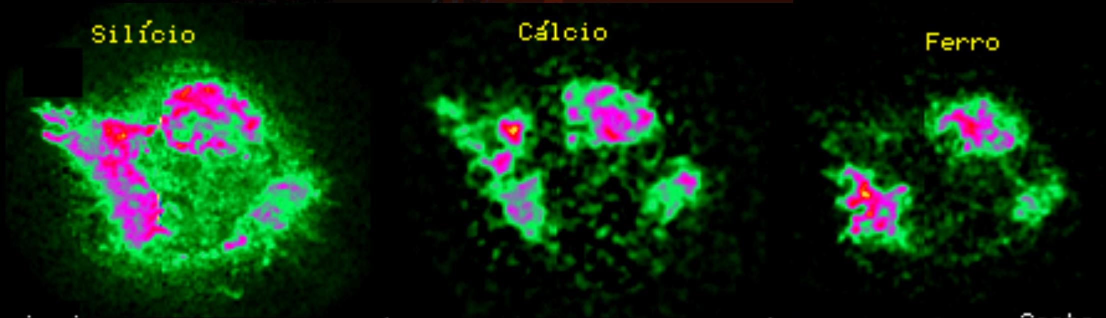

Formação de estrelas

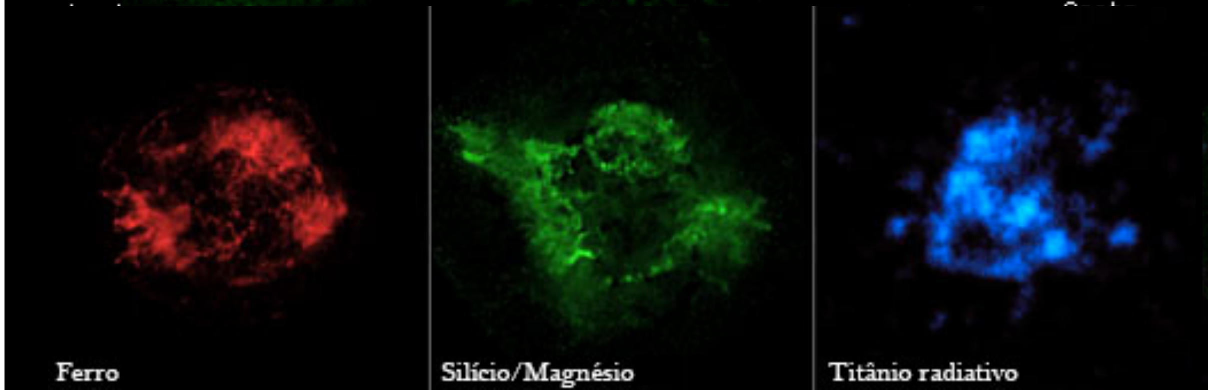
$$IMF \equiv N(\mathcal{M}) \propto \mathcal{M}^{-2,35}$$

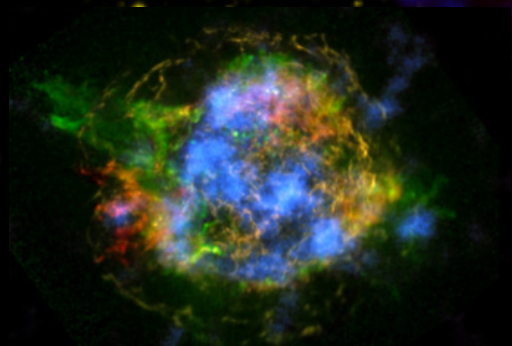
-nascem 300 estrelas de 1 MSol
para cada uma estrela de 10MSol
-300 estrelas de 10 Msol
para cada uma estrela de
100MSol.

# SNIa: Cassiopea A

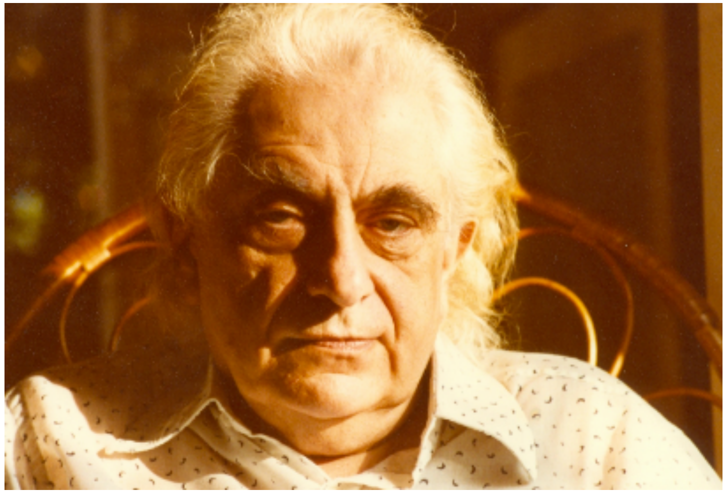




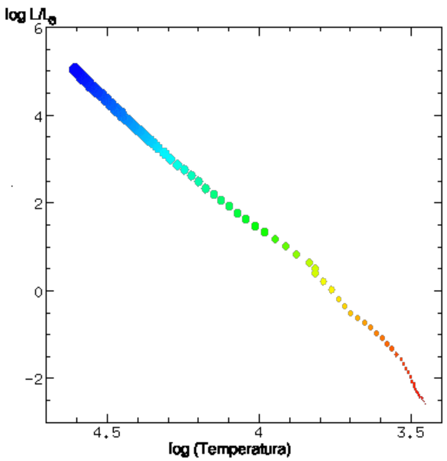



# Tempo de vida das estrelas



Em 1942, o pernambucano Mário Schenberg (1914-1940),
indiano Subrahmanyan Chandrasekhar (1910-1995)
somente **10% da massa de uma estrela alcança T>8 milhões de K**, necessário para transformar H em He.

A massa do He é 7/1000 menor do que a massa de 4H
a massa do Fe é 1/1000 menor do que a de 14He




$E = \Delta m\, c^2$

$L = 4\pi R^2 \sigma T^4 \;\alpha\; \mathcal{M}^3$

$$\tau_{SP} = \frac{1}{(\mathcal{M}/\mathcal{M}_\odot)^2} 10^{10} \text{anos}$$

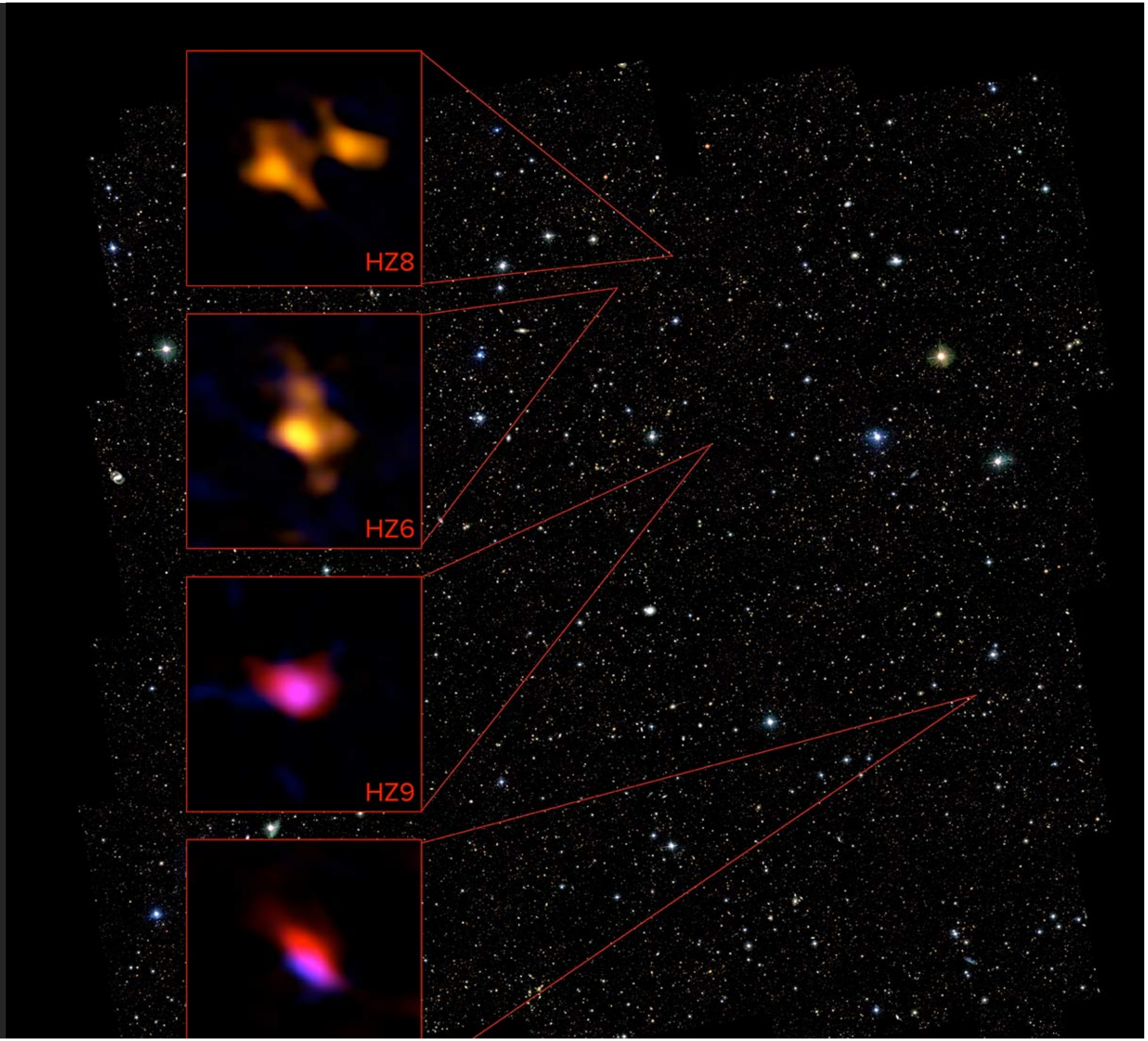
10 bilhões de anos para $1M_{Sol}$
100 milhões de anos para $10M_{Sol}$
**1 milhão de anos para $100M_{Sol}$**

# ALMA: Atacama Large Millimeter Array$_{2011}$

66 antenas
$\lambda$=0,3->9 mm
Máximo de emissão das regiões de formação estelar

2013: linhas de CO depois de 2 bilhões de anos do Big Bang

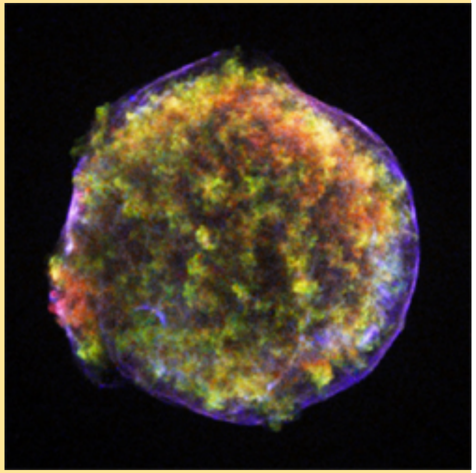
2015: so C em 1 bilhão de anos



**Os elementos químicos são gerados por fusão nuclear no interior das estrelas, até o Fe.**

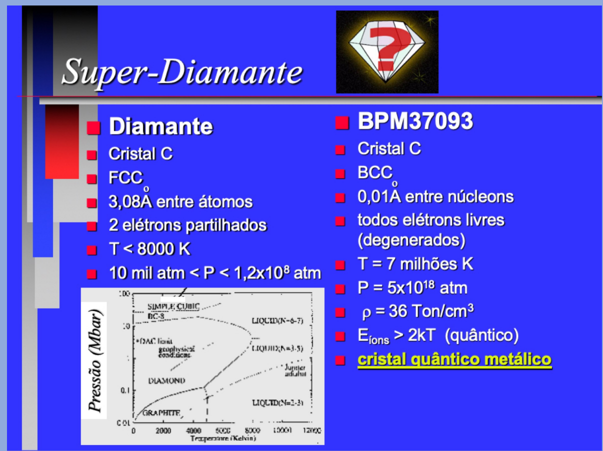
**Elementos mais pesados que o Fe gerados por acréscimo de neutrons,**
**são ejetados nas explosões de supernovas, ou coalescência de estrelas de neutrons.**

**Há perdas contínuas de massa durante a evolução das estrelas,**
**produzindo a evolução química do Universo, e gerando o carbono e outros elementos**
**que mais tarde colapsam formando planetas terrestres e até seres humanos.**



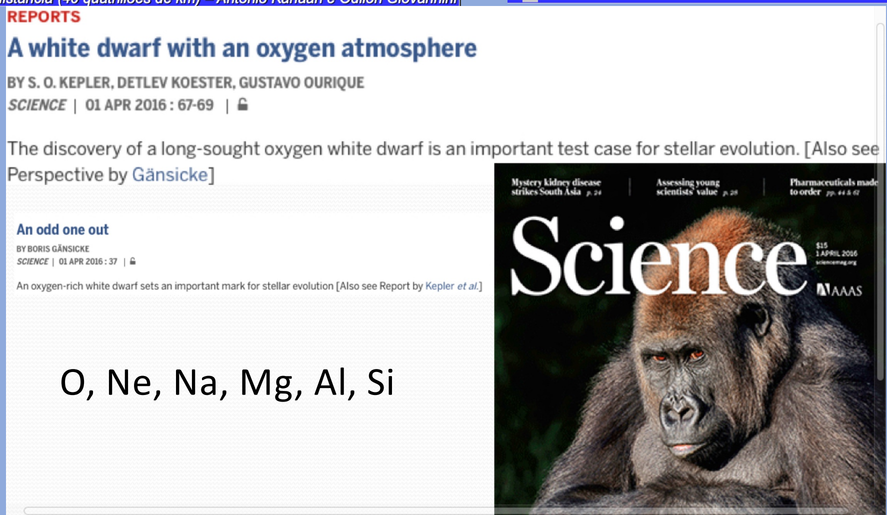
| Massa Inicial | Objeto Compacto | Massa Final |
|---|---|---|
| até 10 $M_{Sol}$ | Anã Branca | Menor que 1,4 $M_{Sol}$ |
| 10 a 25 $M_{Sol}$ | Estrela de Nêutrons | 1,4 $M_{Sol}$ |
| acima de 25 $M_{Sol}$ | Buraco Negro | 5 a 13 $M_{Sol}$ |

# Anãs Brancas



$MgSiO_4$


REPORTS

**A white dwarf with an oxygen atmosphere**

BY S. O. KEPLER, DETLEV KOESTER, GUSTAVO OURIQUE

*SCIENCE* | 01 APR 2016 : 67-69 |

The discovery of a long-sought oxygen white dwarf is an important test case for stellar evolution. [Also see Perspective by Gänsicke]

**An odd one out**

BY BORIS GÄNSICKE

*SCIENCE* | 01 APR 2016 : 37 |

An oxygen-rich white dwarf sets an important mark for stellar evolution [Also see Report by Kepler *et al.*]



O, Ne, Na, Mg, Al, Si