

Estrelas e sua Evolução

(#31_2da parte)

Jorge Meléndez, baseado
no Prof. R. Boczko

IAG-USP

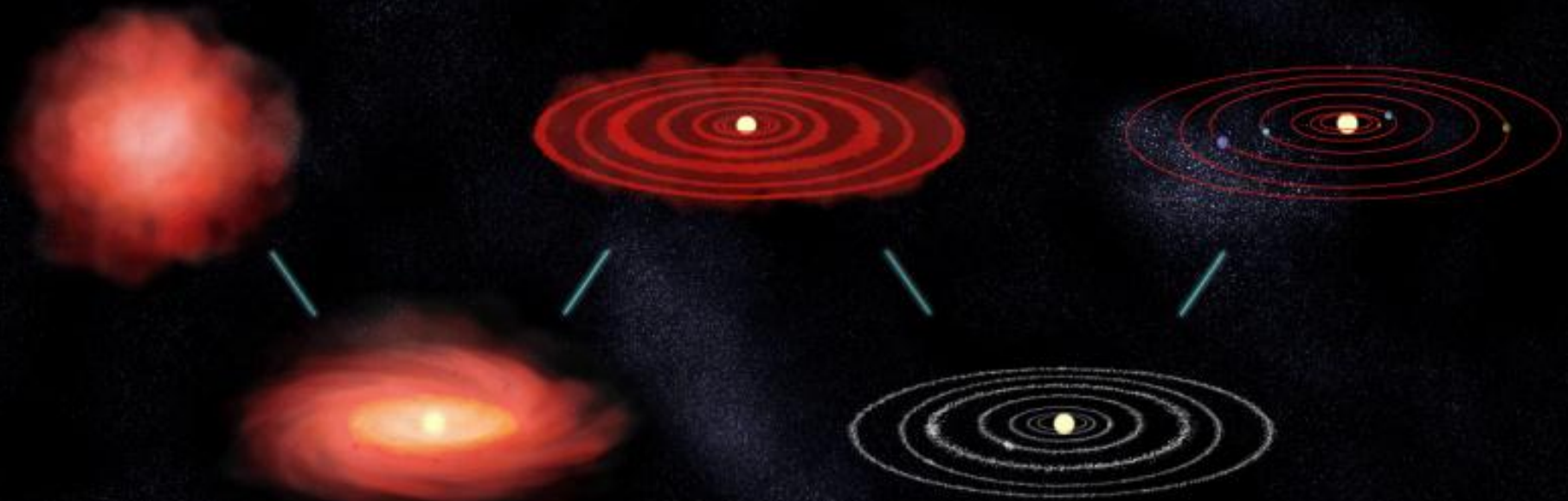
Aulas 1, 2, 3:

(3, 4, 10 Agosto 2011)

**Evolução de Estrelas
de baixa massa
(< 8 Massa_Sol)**

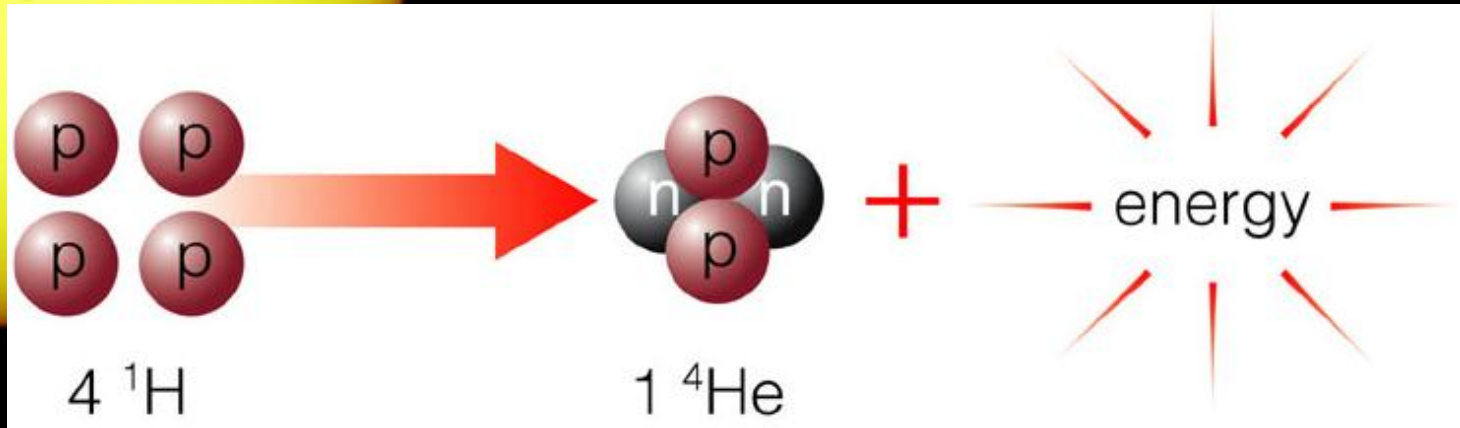
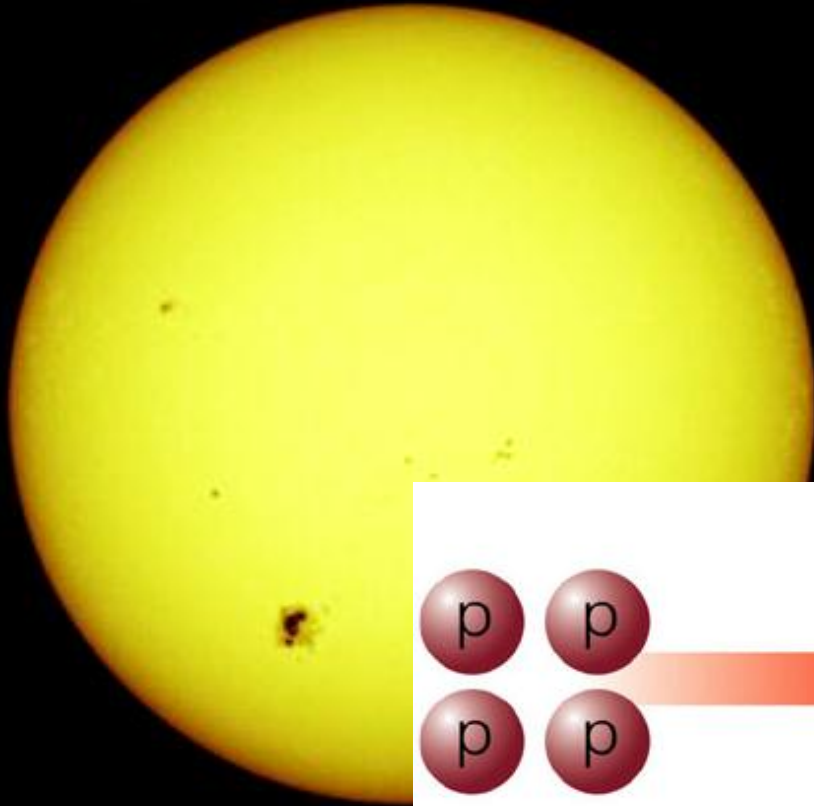
RESUMO: Evolução de Estrelas de baixa massa (< 8 Massa_Sol)

1. Formação do Sol e sistema solar a partir de uma nuvem



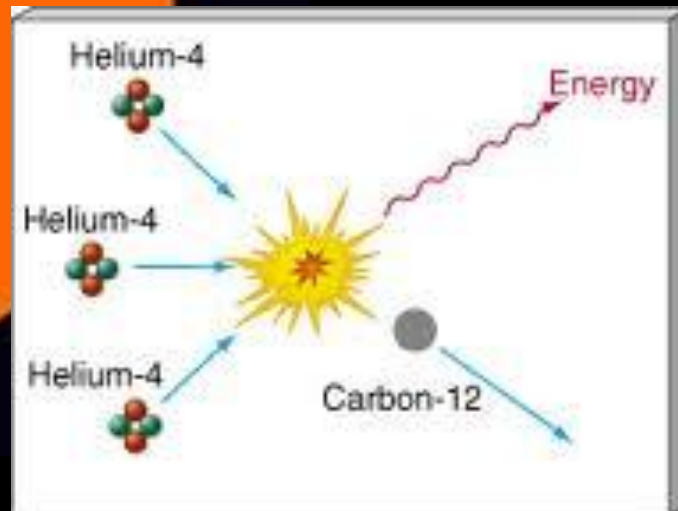
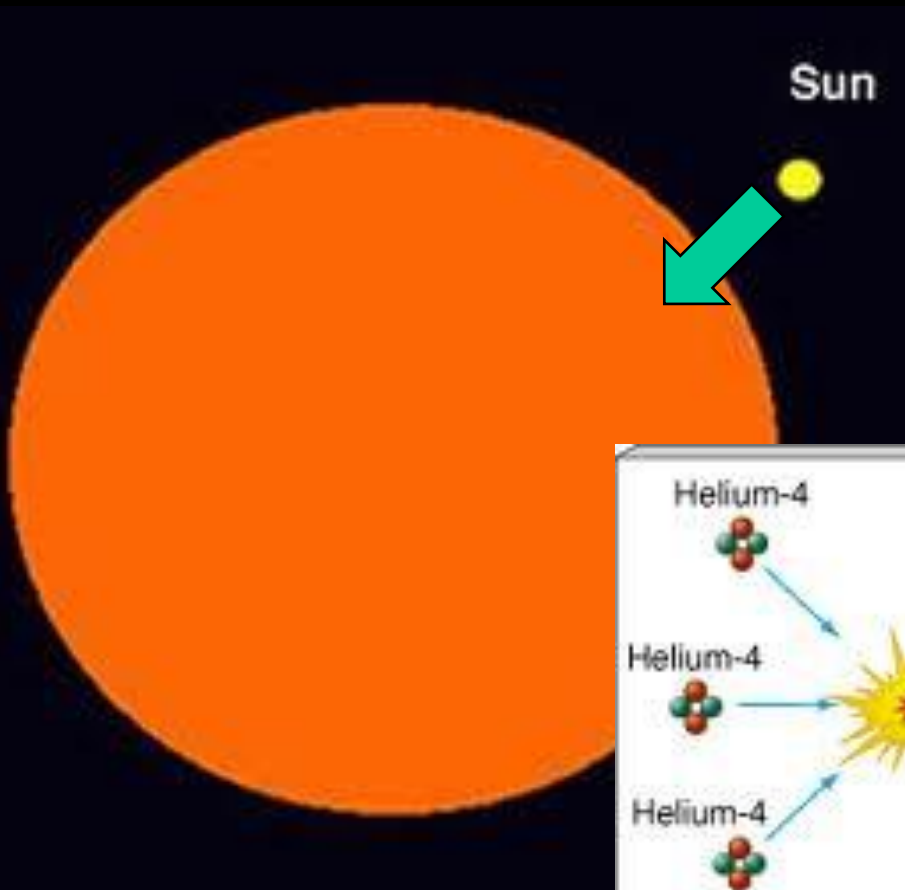
RESUMO: Evolução de Estrelas de baixa massa (< 8 Massa_Sol)

2. Vida do Sol na sequência principal:
10 000 milhões de anos



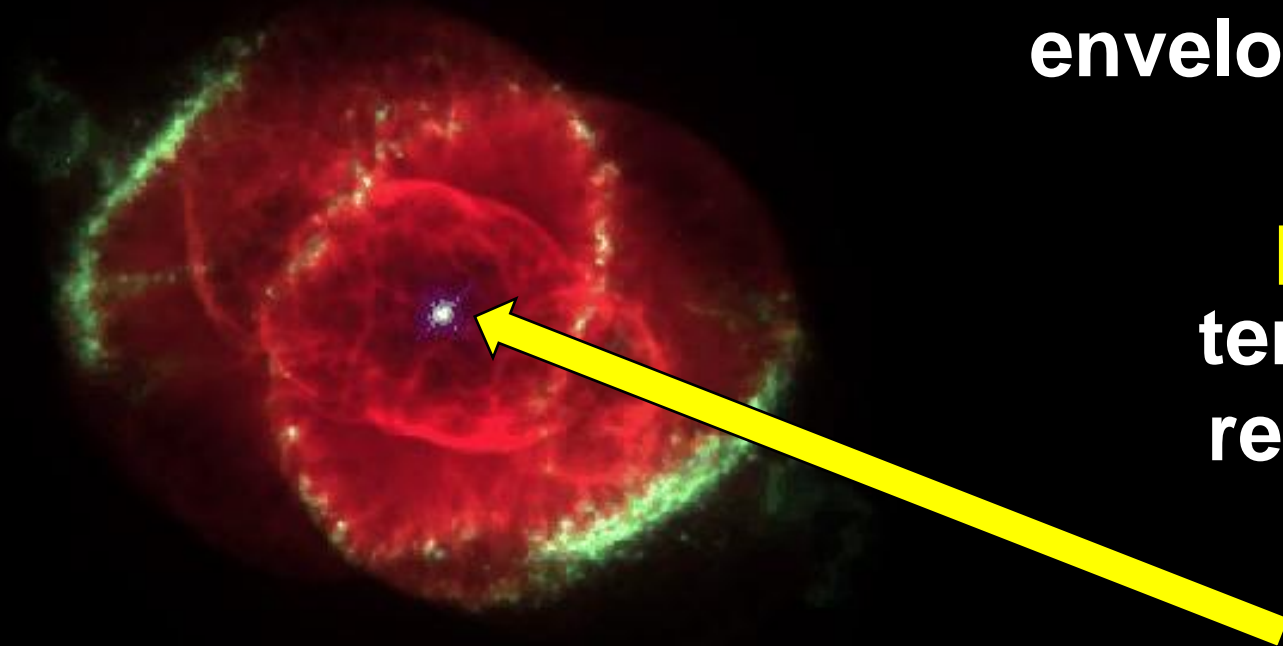
RESUMO: Evolução de Estrelas de baixa massa (< 8 Massa_Sol)

3. Após a sequência principal (fim do H no núcleo) o Sol transformar-se-á em **gigante vermelha**, a qual pode fundir **He em C**



RESUMO: Evolução de Estrelas de baixa massa ($< 8 \text{ Massa_Sol}$)

4. Finalmente o envelope e ejetado (**nebulosa planetaria**) e teremos como remanescente central uma **anã branca**



RESUMO: Evolução de Estrelas de baixa massa (< 8 Massa_Sol)

Degenerate matter
(helium, carbon or other
possible reaction
products)

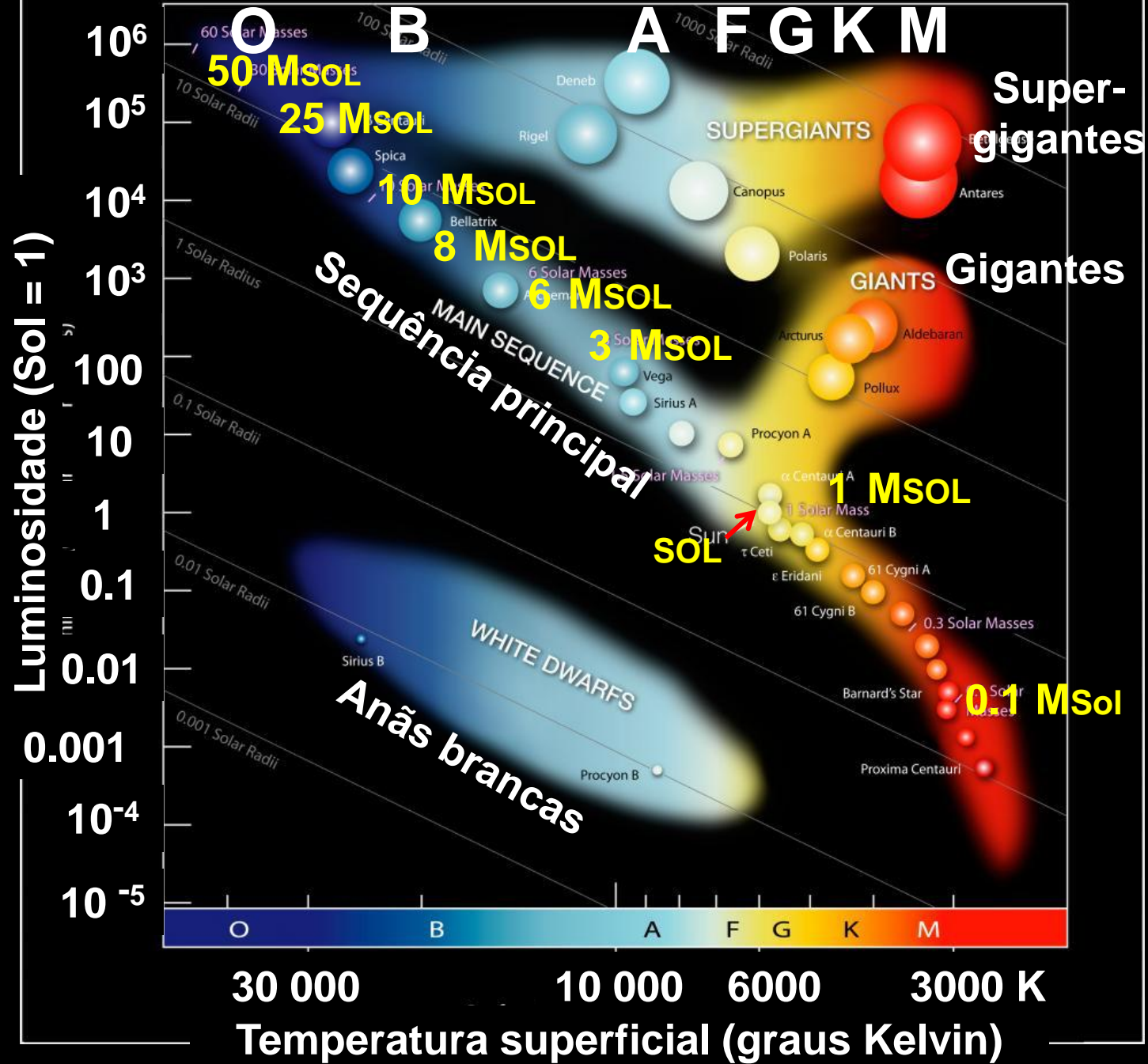
Normal gas
(50 km thick)



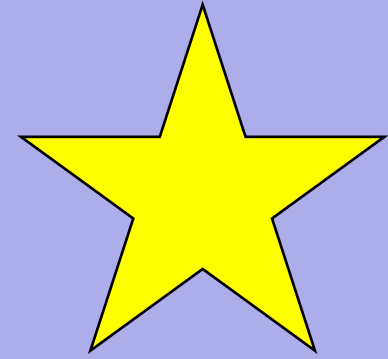
$$P \neq nkT / V$$

5. A **anã branca** é um objeto de He e C em condições extremas, suportado pela **pressão de degenerescência**

Diagrama H-R (Hertzsprung - Russell)



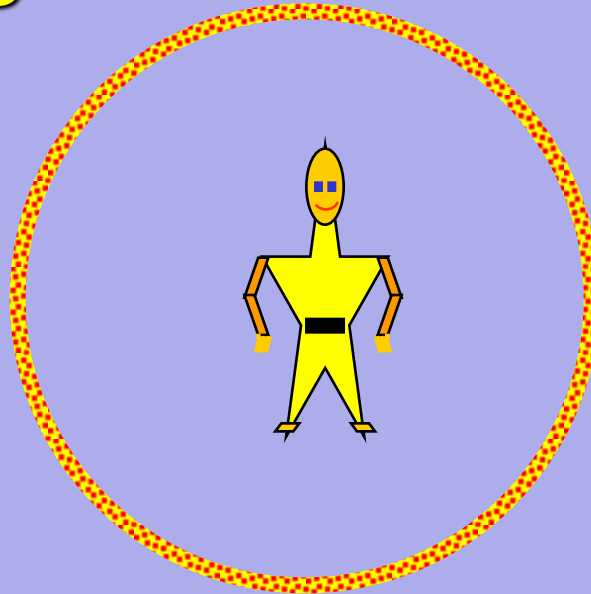
Evolução de uma estrela de massa intermediária



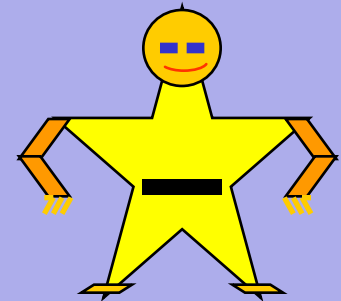
Classificação de estrelas segundo sua massa



**Baixa massa
< 8 M Sol**

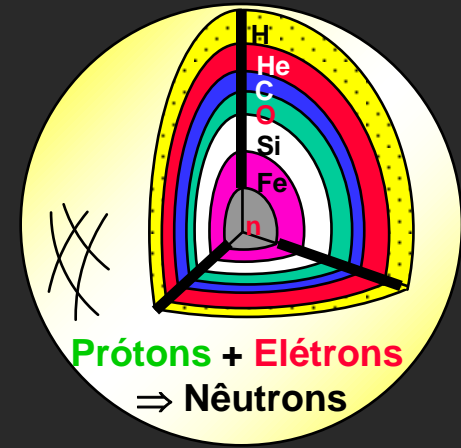
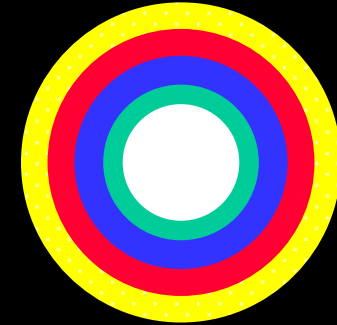
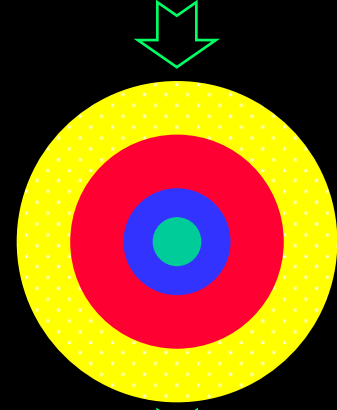
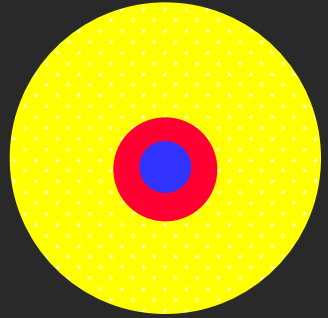
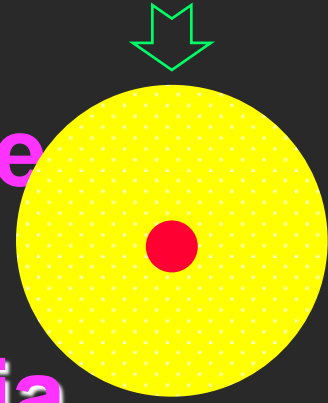
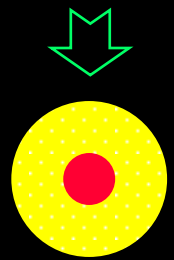


**Massa intermediária
~ 8-25 M sol**



**Alta massa
> 25 Massa solar**

Evolução de estrelas: massa intermediária



Tipos de Reações de Fusão

Exotérmicas



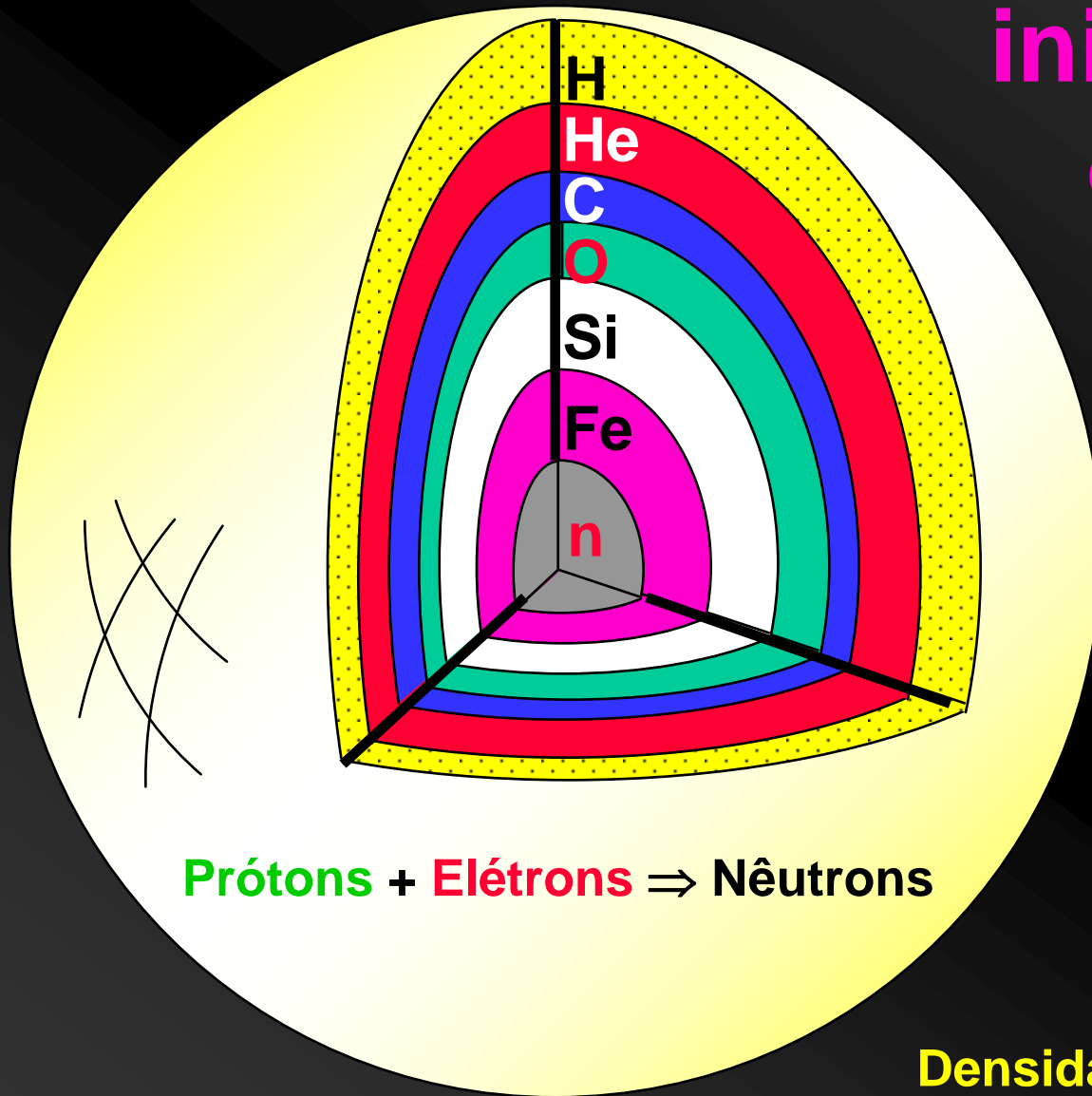
Liberação
de energia

Endotérmicas



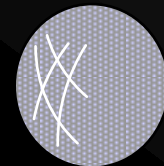
Absorção
de energia

Estrutura inicial de uma estrela de nêutrons



Prótons + Elétrons \Rightarrow Nêutrons

Estrela de nêutrons



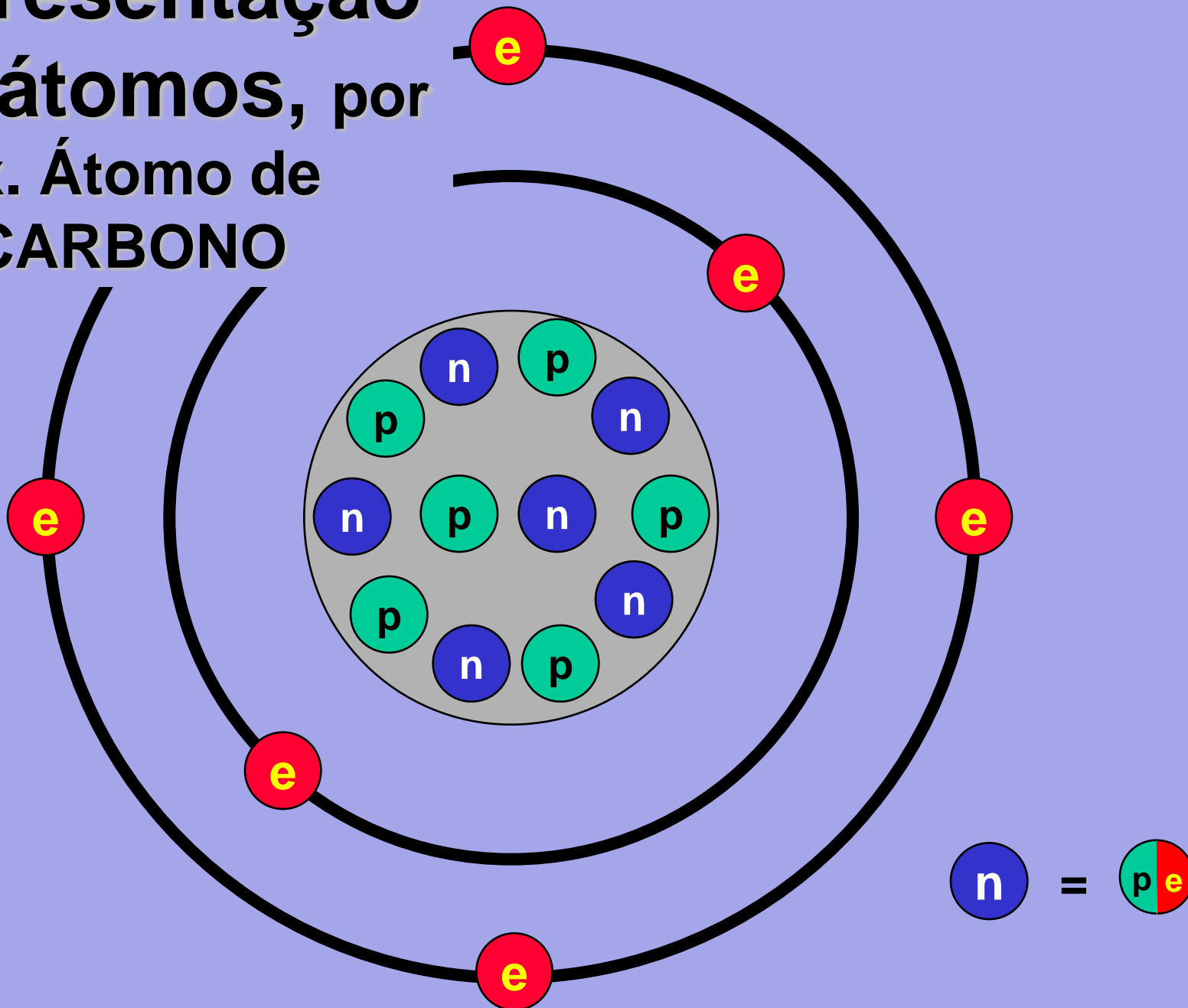
Raio \approx dezenas de km
Densidade \approx bilhões de ton/cm³

Reações de nucleossíntese estelar

Geração de energia por fusão nuclear

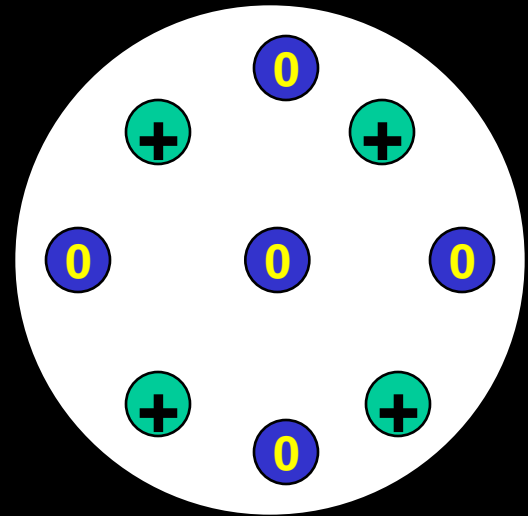
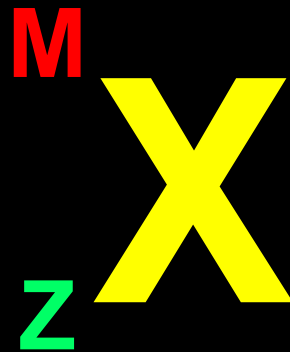
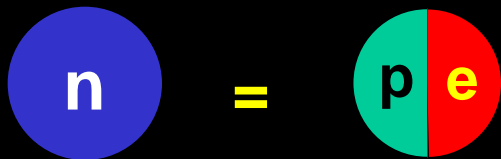


Representação dos átomos, por ex. Átomo de CARBONO



Representação de um elemento químico **X**

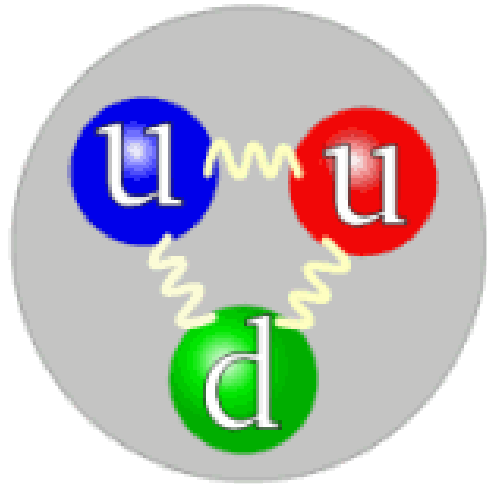
M = Número de Massa = **Z** + Nêutrons



Z = Número de Prótons

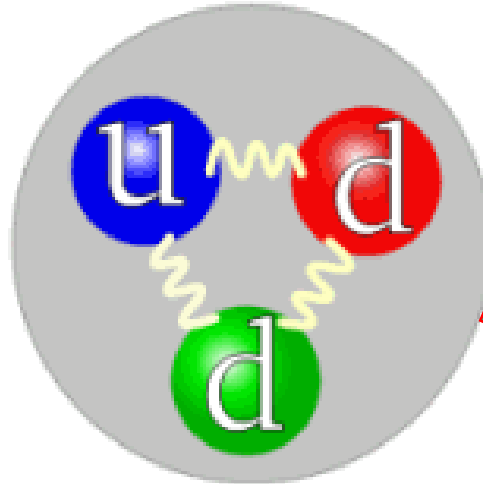
Próton e nêutron: são formados por quarks “u”e “d”

PRÓTON



Proton

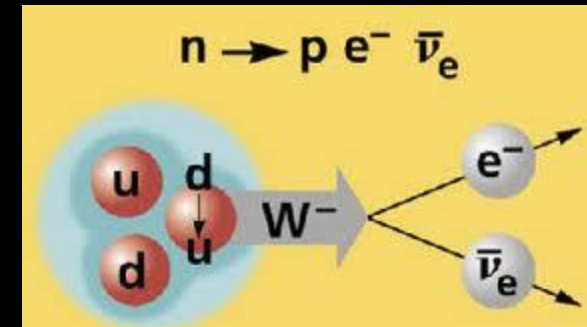
NÊUTRON



Neutron



Quark composition of a proton and a neutron (diagrams from Wikipedia)

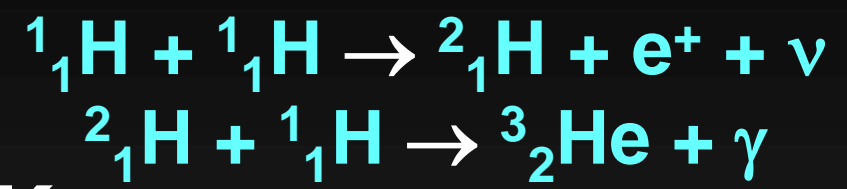


Partículas elementares

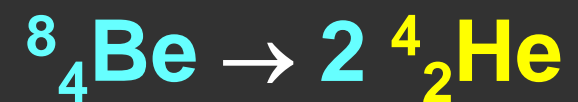
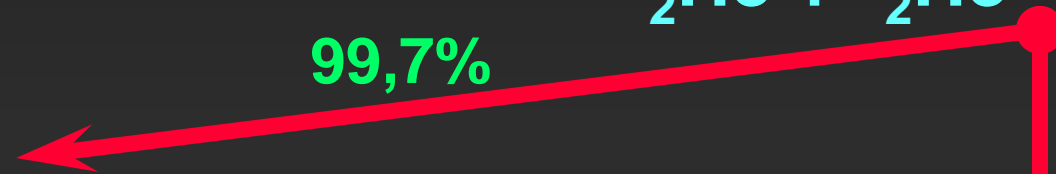
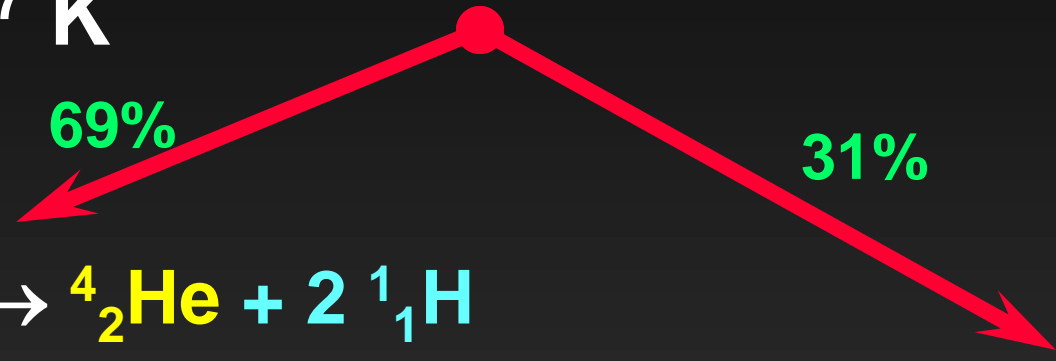
Férmions Bósons

	2.4 MeV $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ u up	1.27 GeV $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ c charm	171.2 GeV $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ t top	0 0 1 γ photon
Quarks	4.8 MeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ d down	104 MeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ s strange	4.2 GeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ b bottom	0 0 1 g gluon
	<2.2 eV 0 $\frac{1}{2}$ ν_e electron neutrino	<0.17 MeV 0 $\frac{1}{2}$ ν_μ muon neutrino	<15.5 MeV 0 $\frac{1}{2}$ ν_τ tau neutrino	91.2 GeV 0 1 Z⁰ weak force
Leptons	0.511 MeV -1 $\frac{1}{2}$ e electron	105.7 MeV -1 $\frac{1}{2}$ μ muon	1.777 GeV -1 $\frac{1}{2}$ τ tau	80.4 GeV ± 1 1 W[±] weak force
				Bosons (Forces)

Cadeia próton-próton gerando He



Para $T > 10^7 \text{ K}$



Cadeia CNO gerando He



99,7%



0,3%



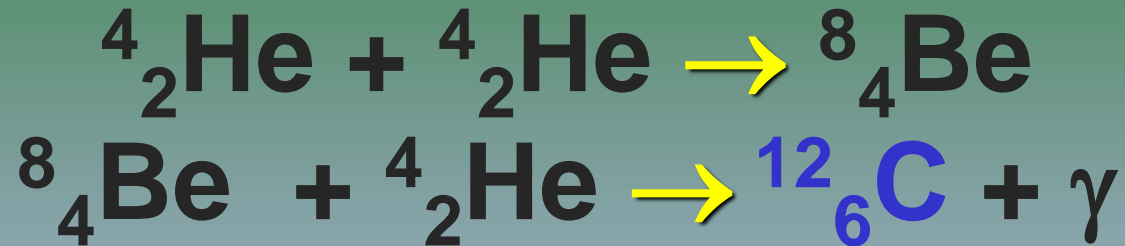
Processo triplo alfa gerando **C**

Para $T > 10^8$ K



O processo triplo alfa é pouco provável ...

Para $T > 10^8$ K



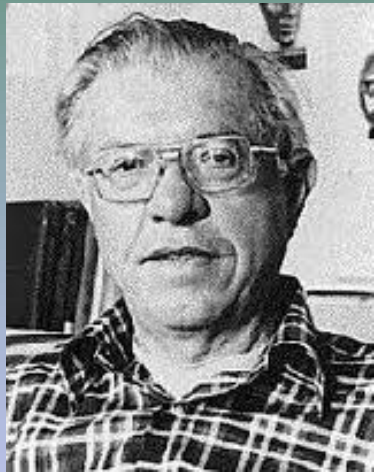
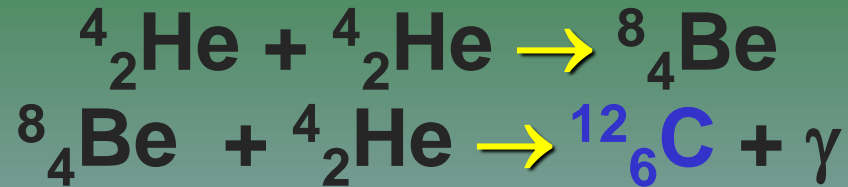
o ${}^8\text{Be}$ produzido durante a primeira etapa é muito instável e decai outra vez em dois núcleos de hélio em $2,6 \cdot 10^{-16}$ s



1953: Fred Hoyle previu o estado de ressonância de ${}^{12}\text{C}$ a uma energia de 7,68MeV

O processo triplo alfa é pouco provável ...

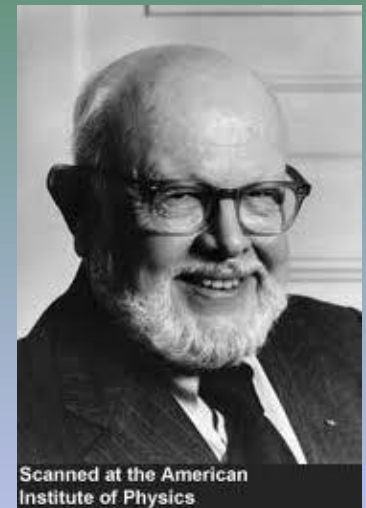
Para $T > 10^8$ K



1953: Fred Hoyle previu o estado de ressonância de ${}^{12}\text{C}$ a uma energia de 7,65MeV



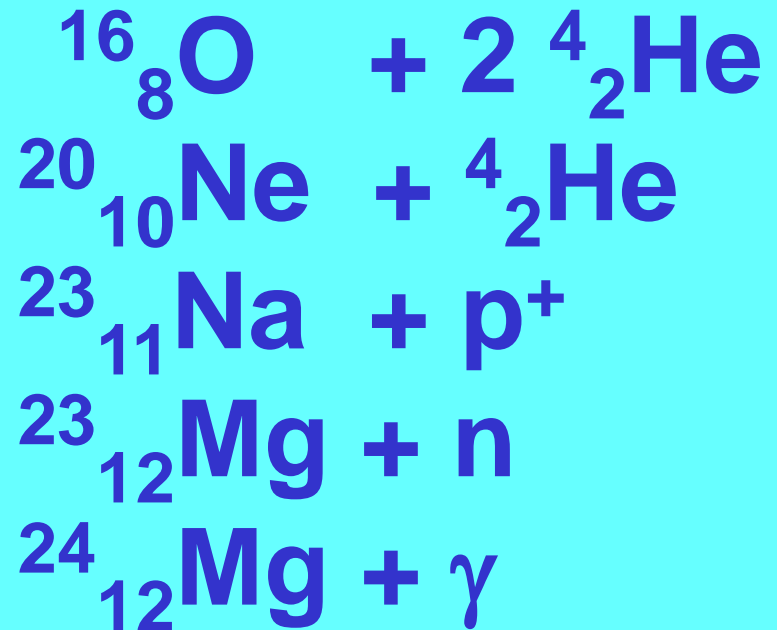
Professor Ulf-G. Meibner explicou teoricamente a ressonância em Maio 2011



Pouco tempo depois William Fowler comprovou experimentalmente a ressonância (Caltech)

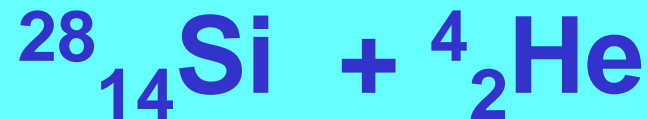
Reações C-C

$T > 6 \times 10^8 \text{ K}$



Reações O-O

$T > 10^9 \text{ K}$



Processos Alfa



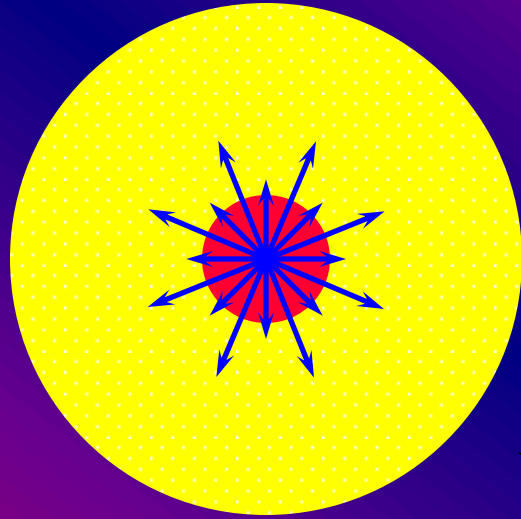
Morte violenta de uma estrela

Modelos:

- Fusão violenta do carbono
- Colapso gravitacional do núcleo

Modelo I:
Fusão violenta do carbono
(estrelas de baixa massa)

Estrela Supernova I



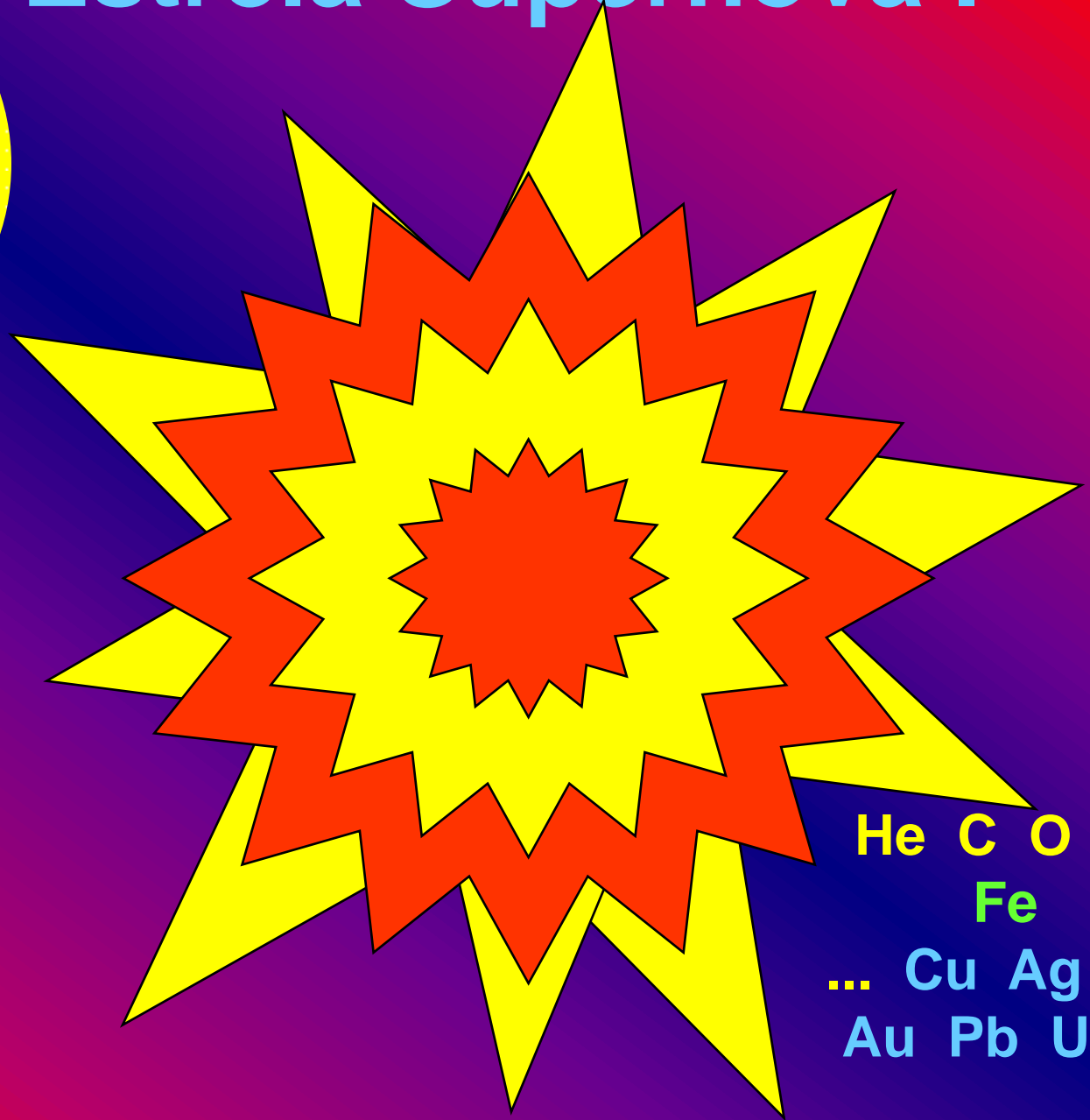
Carbono



**Elementos
mais
pesados**



**Explosão
catastrófica**



He C O Si
Fe
... Cu Ag Pt
Au Pb U ...

Limite de Chandrasekhar para anãs brancas: 1.4 massa do SOL



Supernovas de tipo Ia são explosões de estrelas de baixa massa em **SISTEMAS BINARIOS**



Supernovas de tipo Ia são explosões de estrelas de baixa massa em **SISTEMAS BINARIOS**



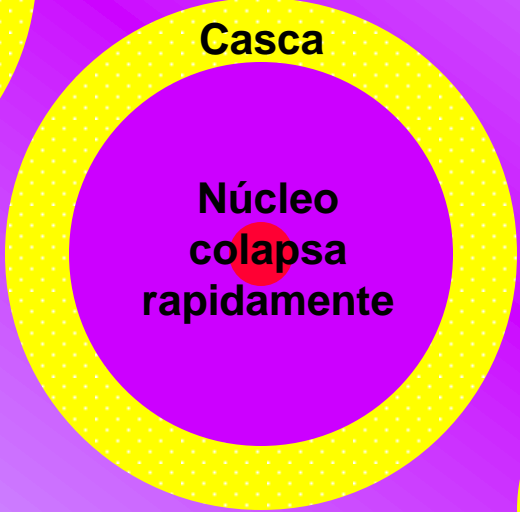
Modelo II: Colapso do núcleo

Supernova gerada por colapso do núcleo

Neutrinos drenando energia do núcleo rico em Ferro



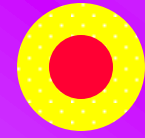
Elementos mais pesados



Casca cai em queda livre sobre o núcleo



Casca atinge o núcleo



Imagens de supernovas e de remascentes de supernovas

Galáxia
parecida com a
Nossa Galáxia

Supernova 1987A

(Grande Nuvem de Magalhães)



Remanescente de Supernova

凡十一日没三年三月乙巳出東南方大中祥符四年正月丁丑見南斗魁前天禧五年四月丙辰出軒轅前星西北大如桃速行經軒轅太星入太微垣掩右執法犯次將歷屏星西北凡七十五日入濁没明道元年六月乙巳出東北方近濁有芒彗至丁巳凡十三日没至和元年五月己丑出天關東南可數寸歲餘稍没熙寧二年六月丙辰出箕度中至七月丁卯犯箕乃散三年十一月丁未出天囷元祐六年十一月辛亥出參度中犯掩側星壬子犯九游星十二月癸酉入奎至七年三月辛亥乃散紹興八年五月守婁

宋史志卷九

Visão atual da
supernova vista
pelos chineses
em 1054

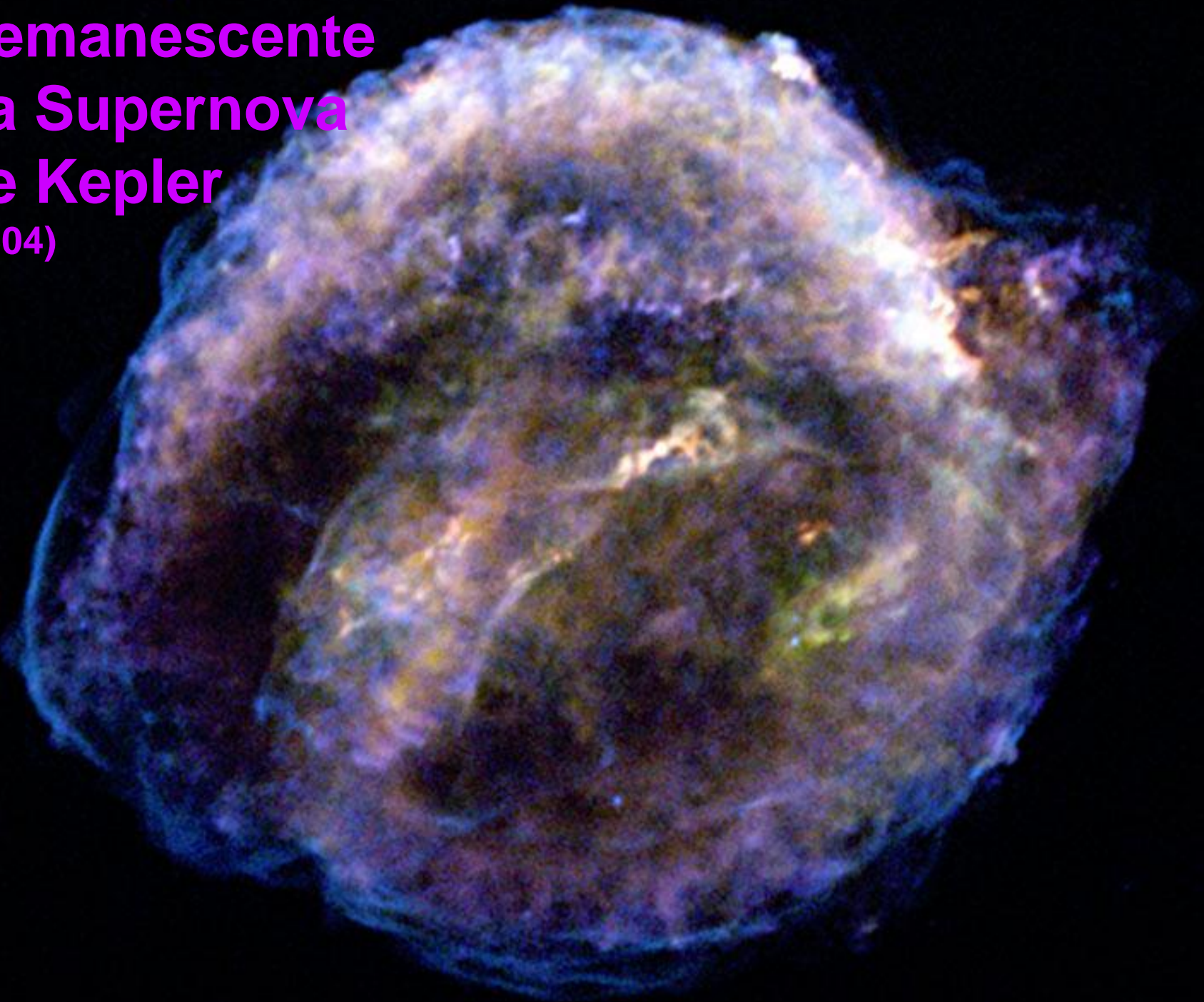
Nebulosa do Caranguejo
(Constelação do Touro)



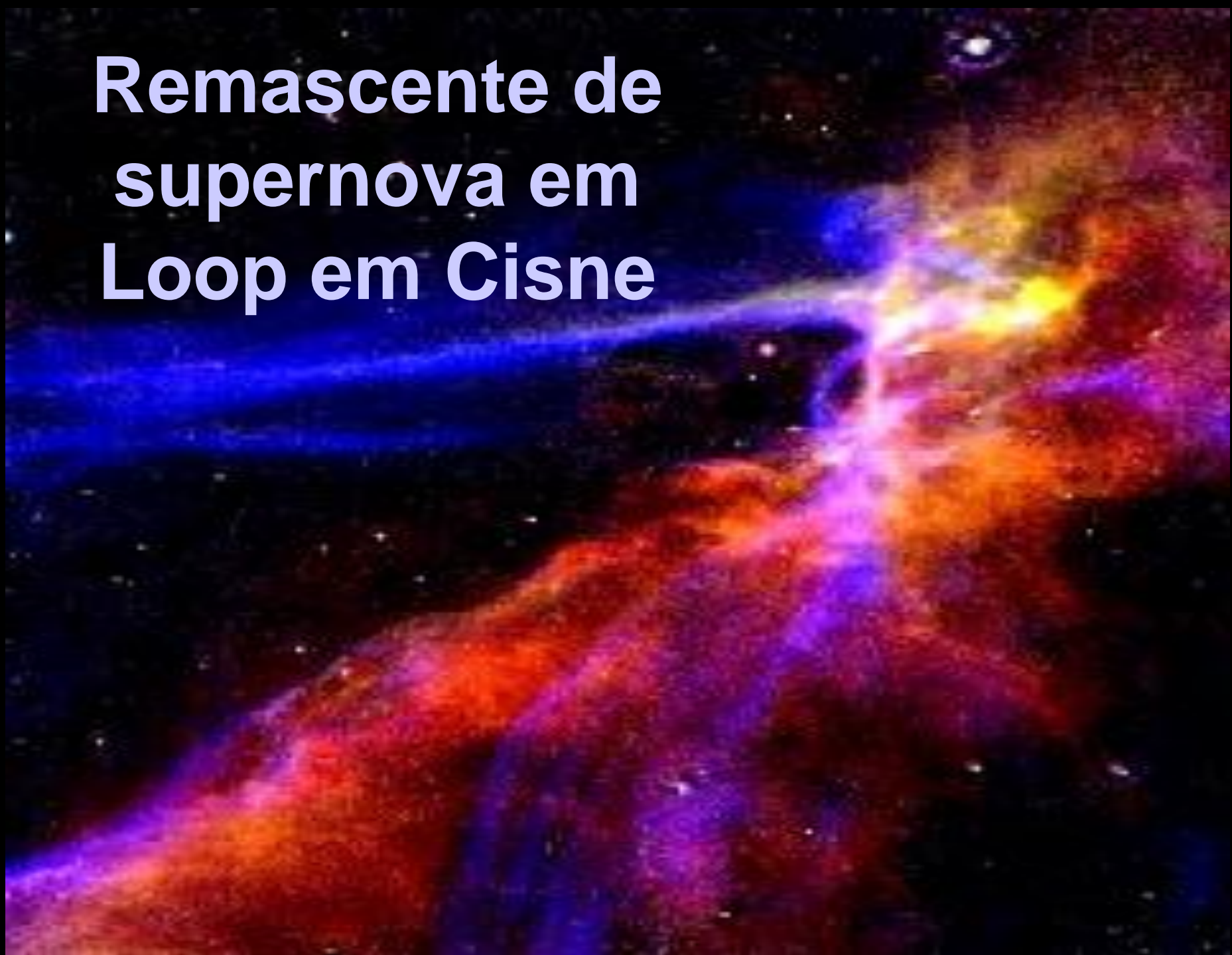
Nebulosa do Caranguejejo



**Remanescente
da Supernova
de Kepler
(1604)**



Remascente de supernova em Loop em Cisne



Remanescente de supernova W89

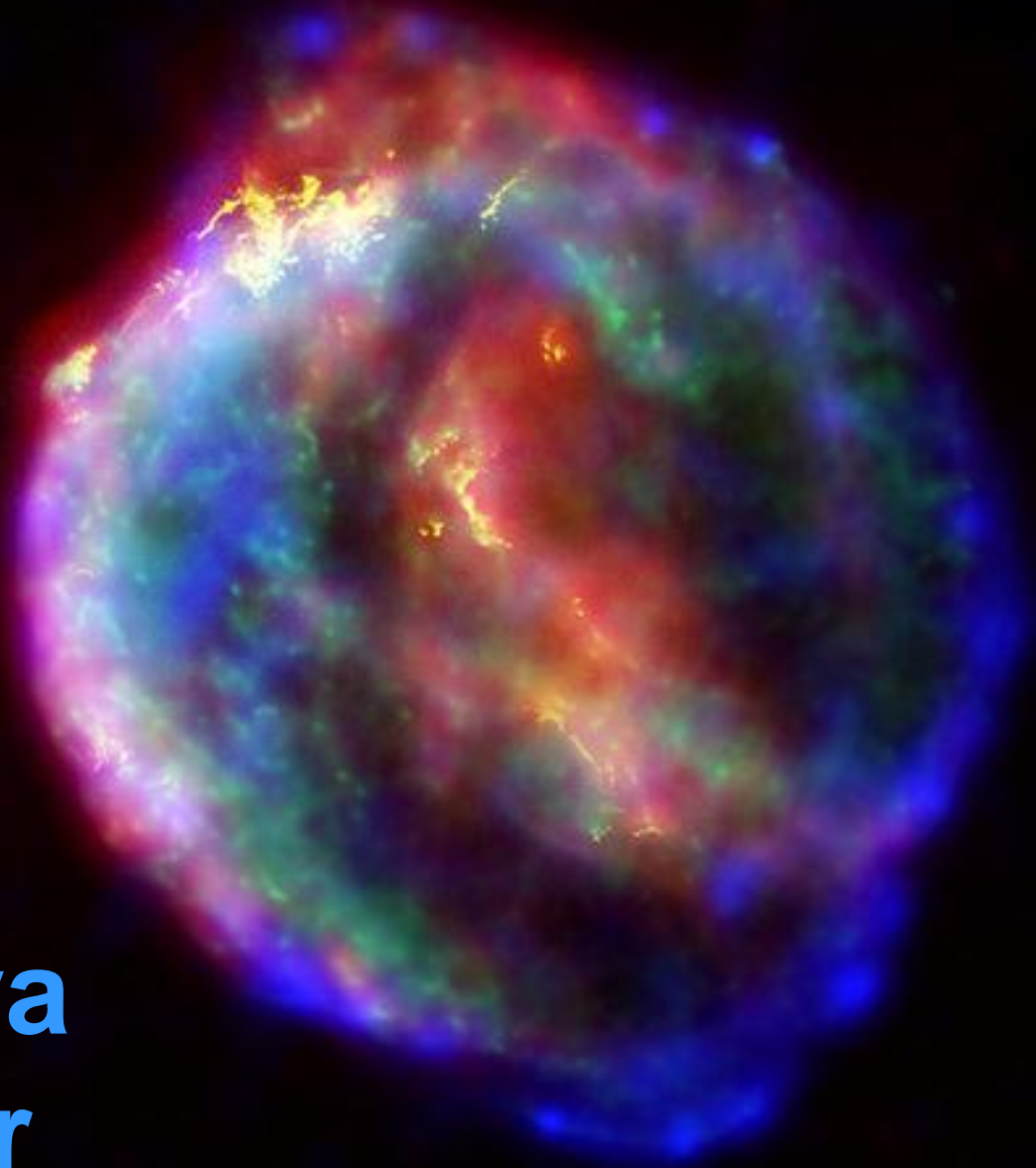


Cassiopeia A

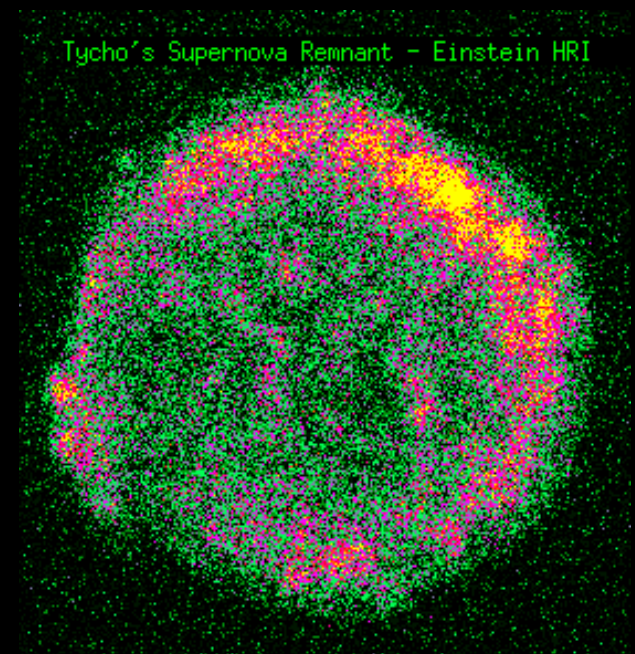


Supernova de Kepler

(observada em 1604)



Supernova de Tycho Brahe



Observação em RX

Remanescente de Supernova (Vela)



Supernova (NGC 7331)



Antes



Depois

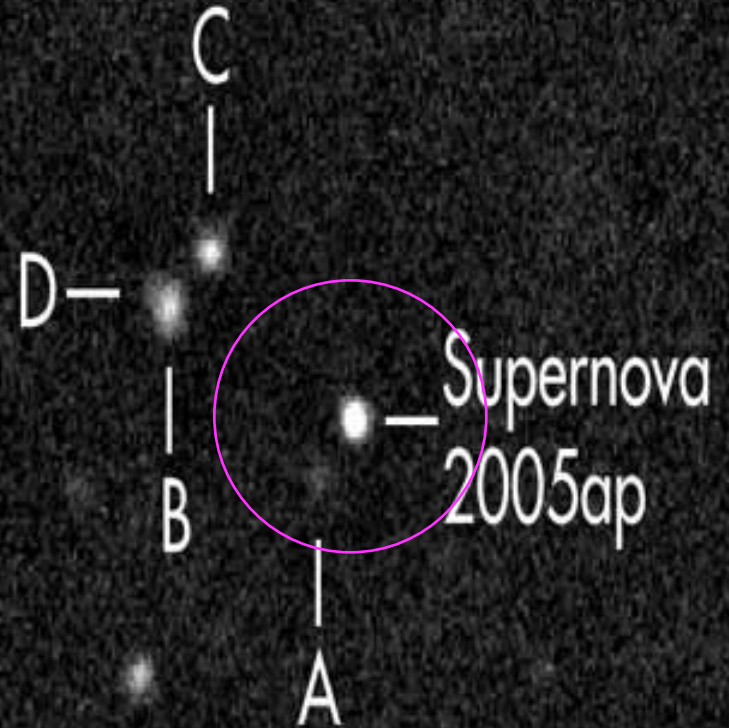
Supernova



Supernova 2005 ap



SDSS December 21, 2004



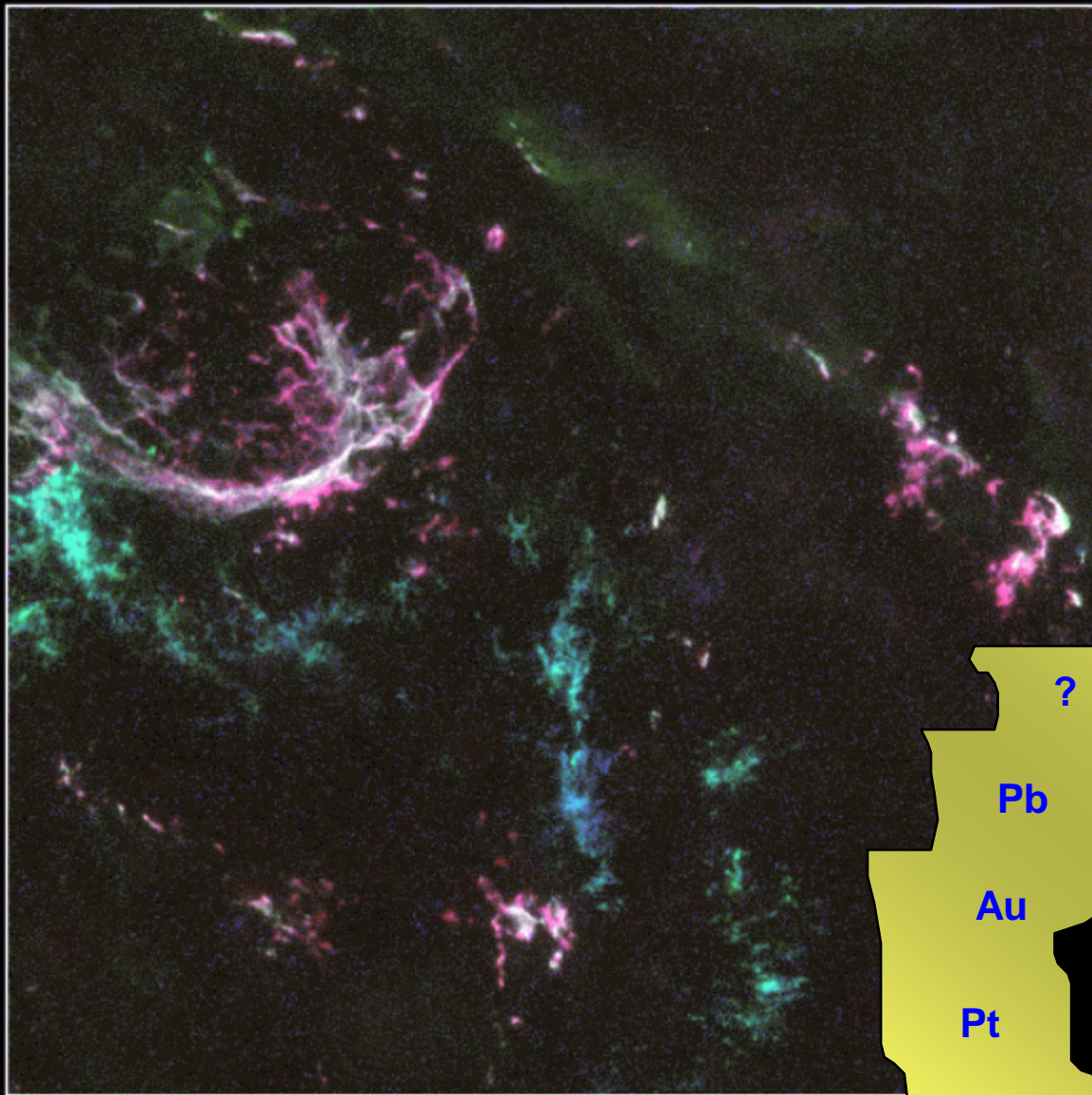
A supernova mais brilhante já observada.
Foi visível num entorno de 5 B a.l.
Supernova tipo II
Redshift: 0,28

HET March 7, 2005

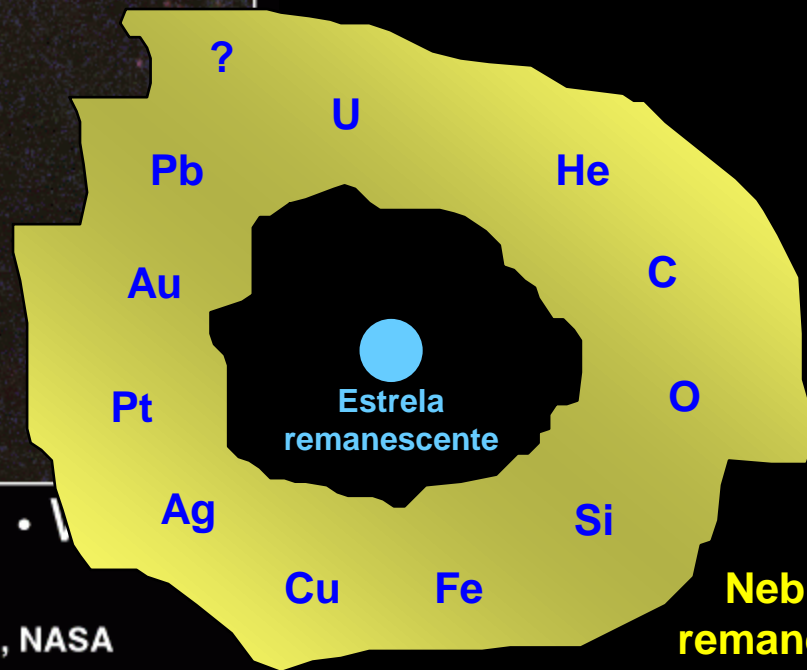
Constelação do Cisne



Remanescente de Supernova



Remanescente de supernova



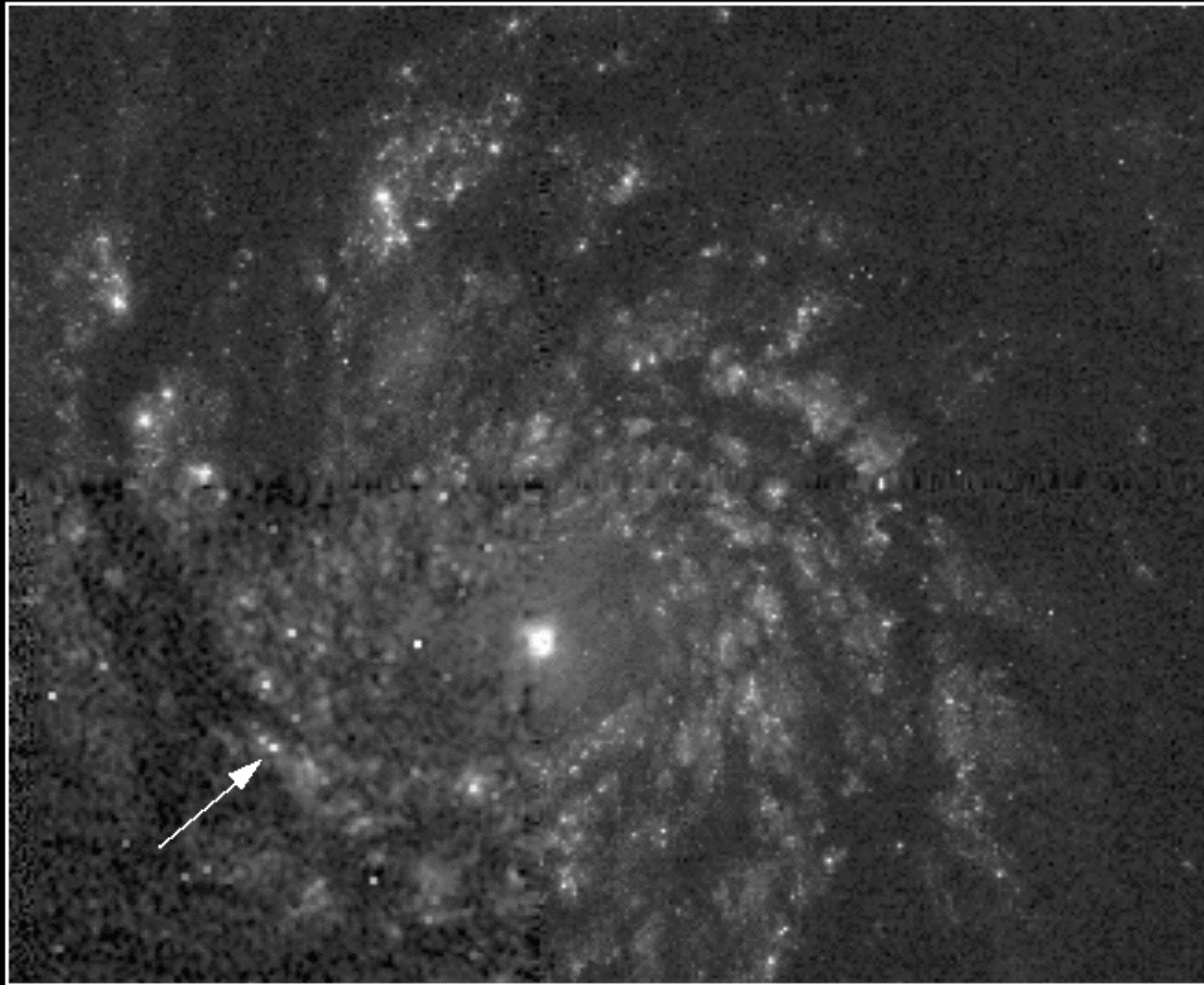
N132D
SN Remnant in LMC

HST · V

PF95-13 · ST Scl OPO · April 10, 1995 · J. Morse (ST Scl), NASA

**Nebulosa
remanescente**

Supernova Near Nucleus of Galaxy M51



Hubble Space Telescope • Wide Field Planetary Camera 2



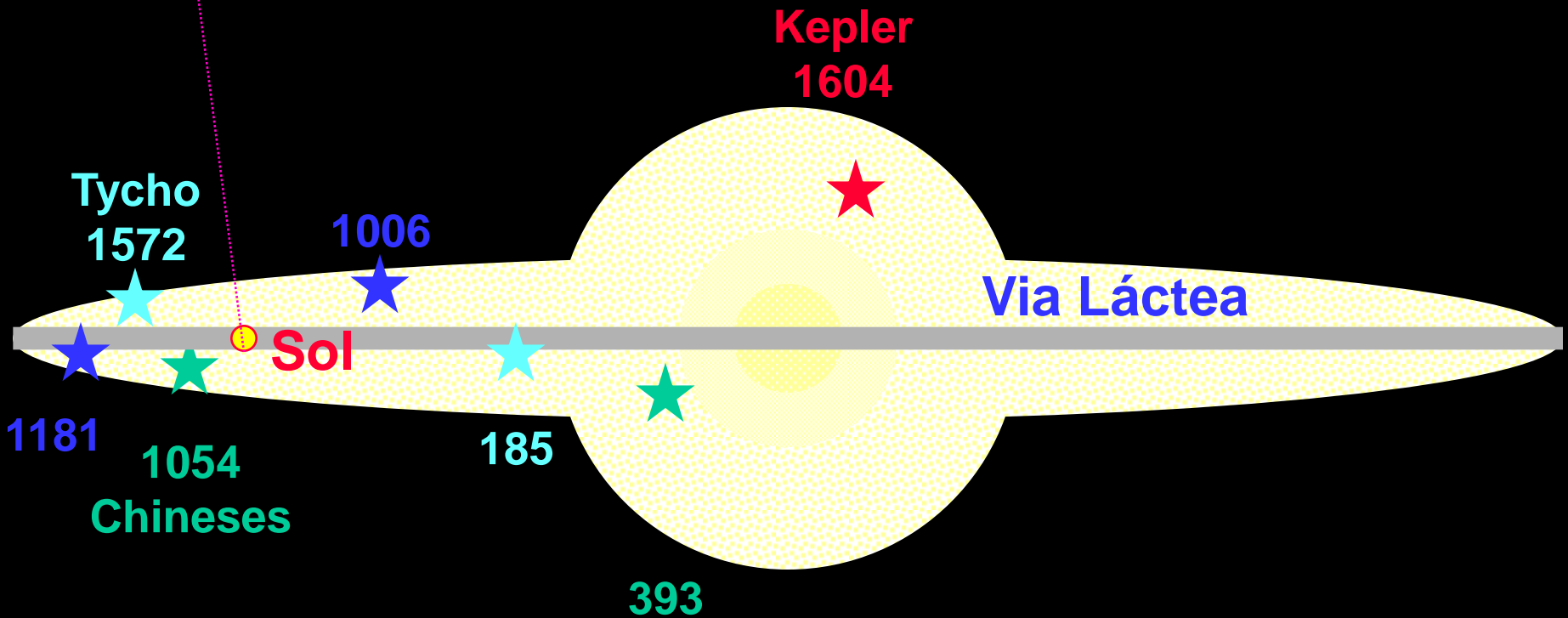
Supernova extragaláctica



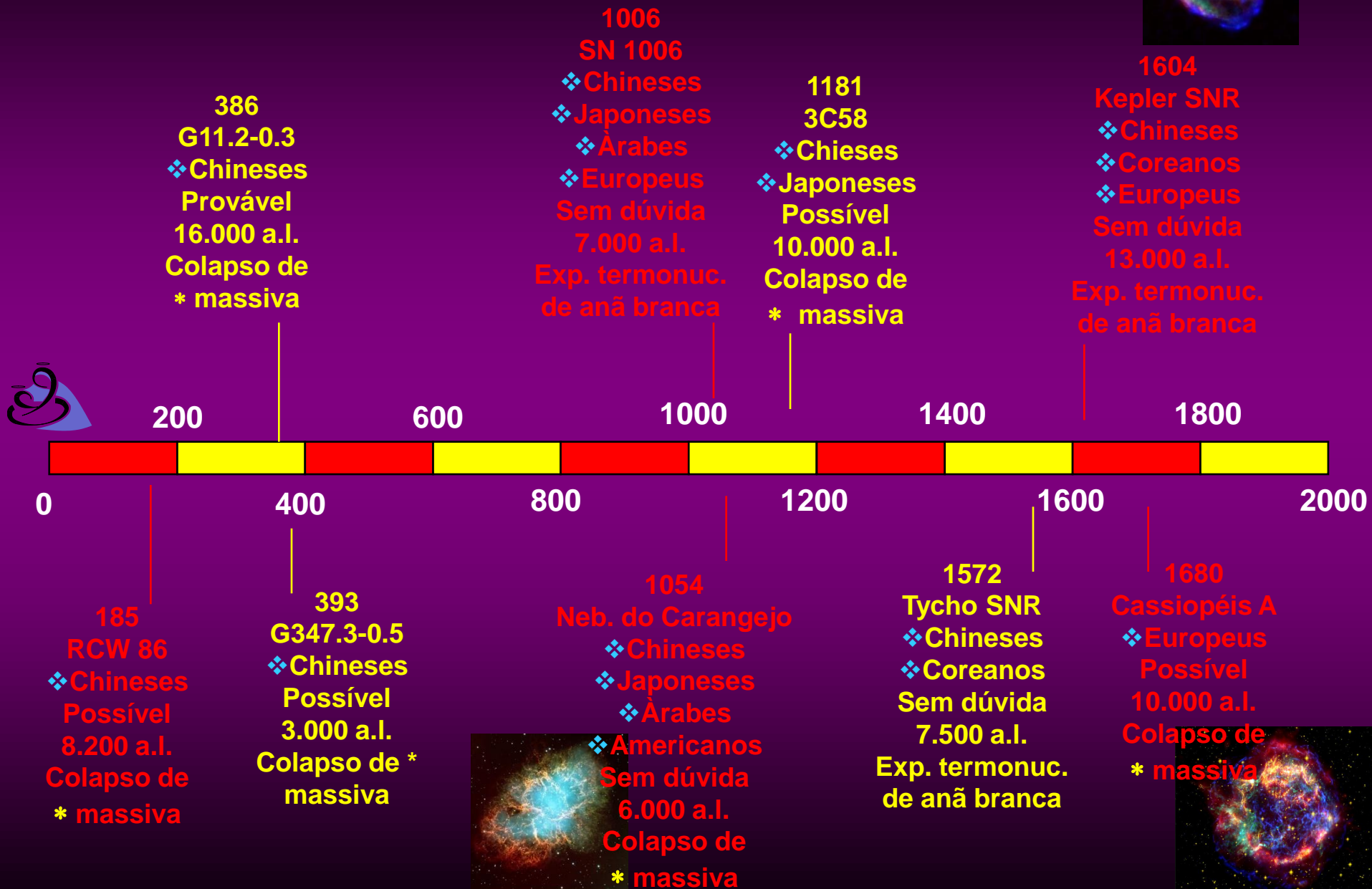
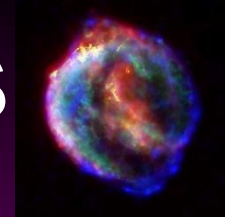
Grande Nuvem
de Magalhães
(**SN 1987 A**)

Supernovas “próximas”

160 000
anos-luz

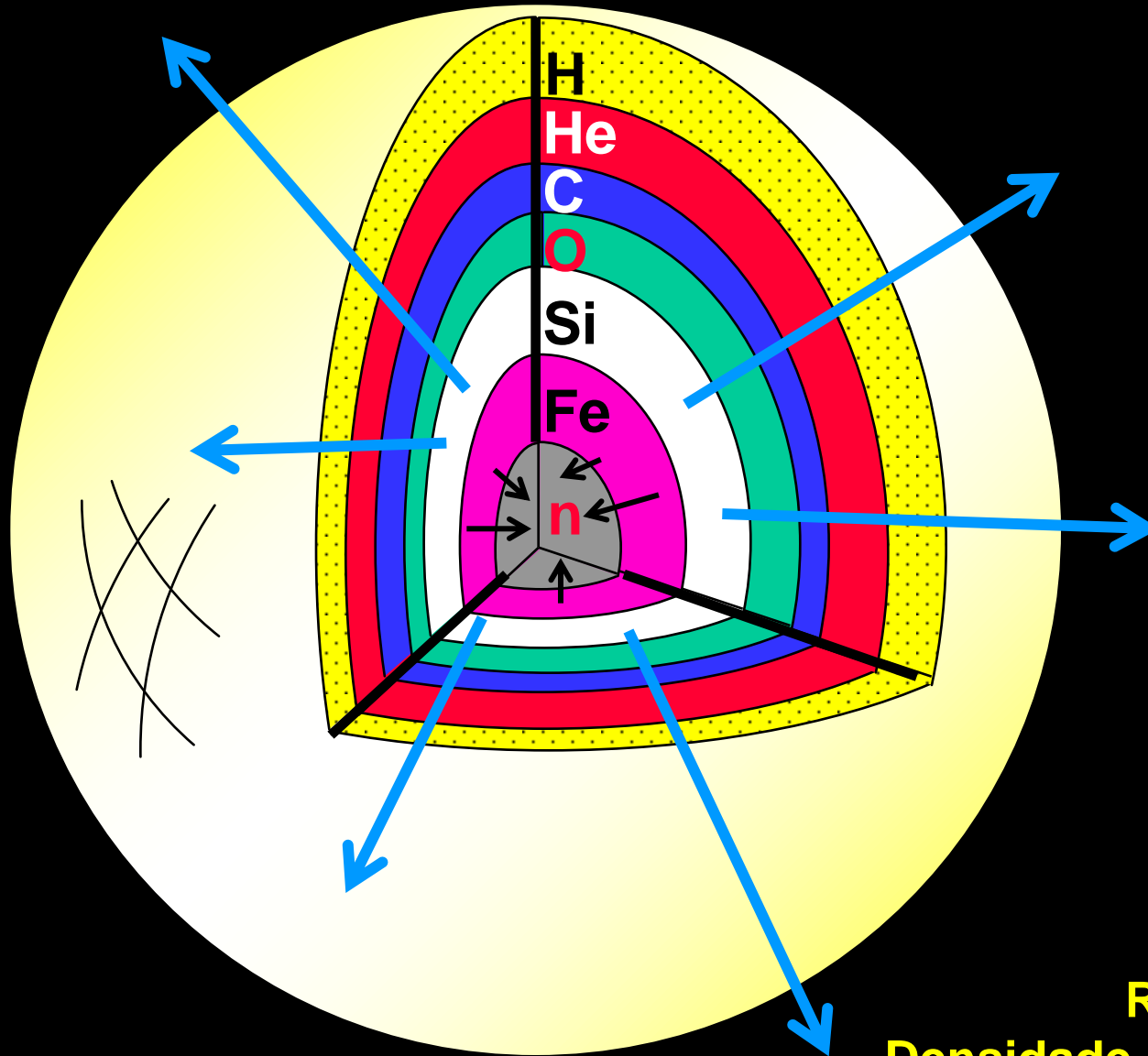


Supernovas históricas



Restos de Explosão Supernova

Remanescente supernova

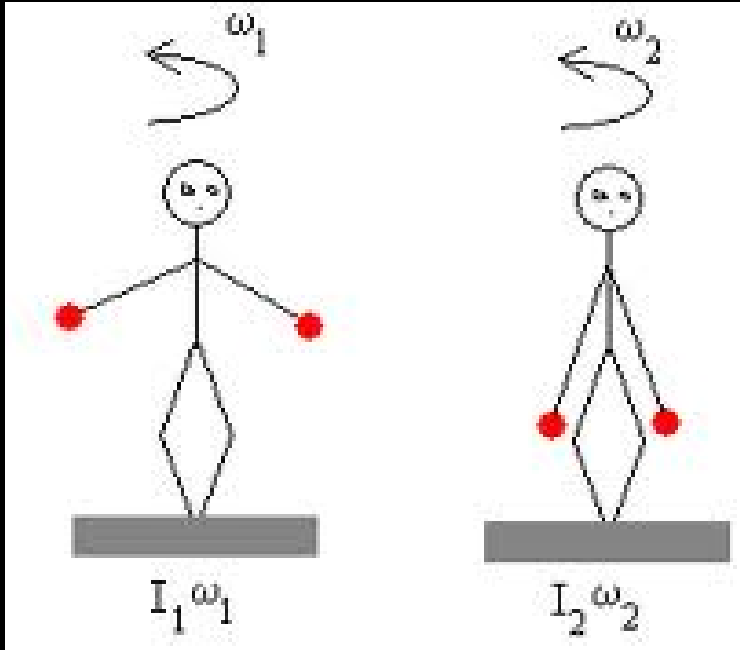


**Estrela de
nêutrons**



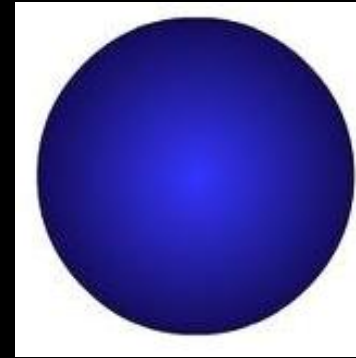
**Raio \approx dezenas de km
Densidade \approx bilhões de ton/cm³**

Conservação do momento angular L



$$L = I_1 \omega_1 = I_2 \omega_2$$

Em estrelas ...



m : massa
R : raio
T : período

Inertia of rotation
for a sphere is

$$I = \frac{2}{5} m R^2$$

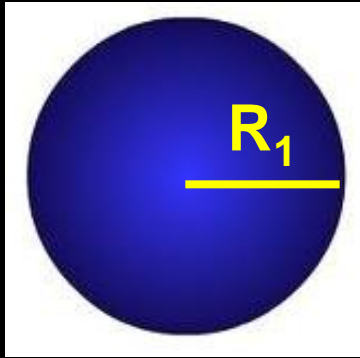
Angular momentum
of a sphere is

$$\vec{L} = I \vec{\omega} = I \frac{2\pi}{T}$$

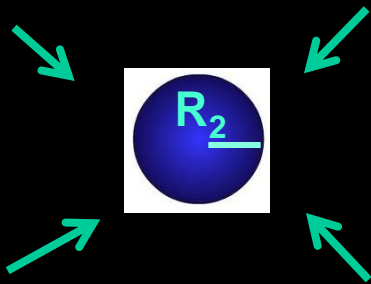
Período de Rotação T de uma estrela de nêutrons

$$I = \frac{2}{5} m R^2$$

$$\vec{L} = I \vec{\omega} = I \frac{2\pi}{T}$$



$$L_1 = I_1 \omega_1$$



$$L_2 = I_2 \omega_2$$

$$L_1 = L_2$$

$$I_1 \omega_1 = I_2 \omega_2$$

$$\cancel{\frac{2}{5} m_1 R_1^2 \omega_1} = \cancel{\frac{2}{5} m_2 R_2^2 \omega_2}$$

$$R_1^2 \omega_1 = R_2^2 \omega_2$$

$$\cancel{R_1^2 \frac{2\pi}{T_1}} = \cancel{R_2^2 \frac{2\pi}{T_2}}$$

$$R_1^2 / T_1 = R_2^2 / T_2$$

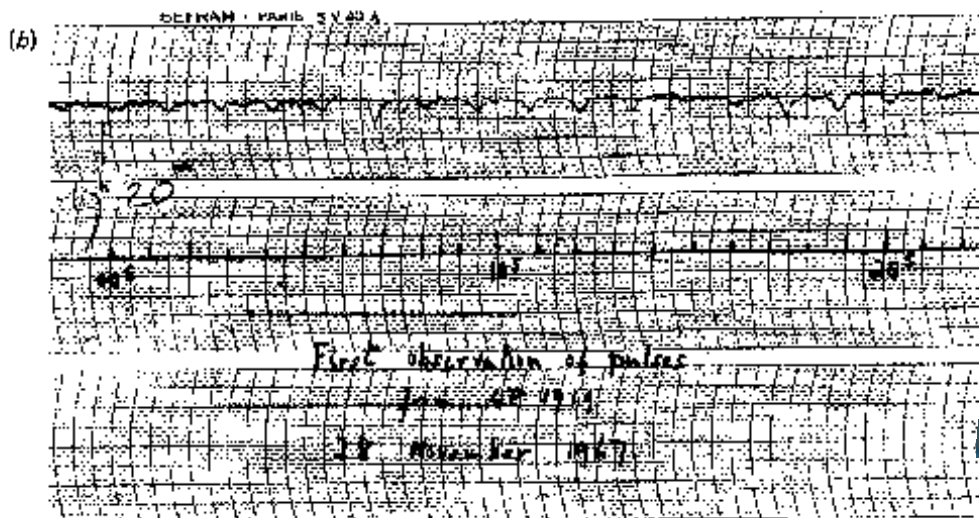
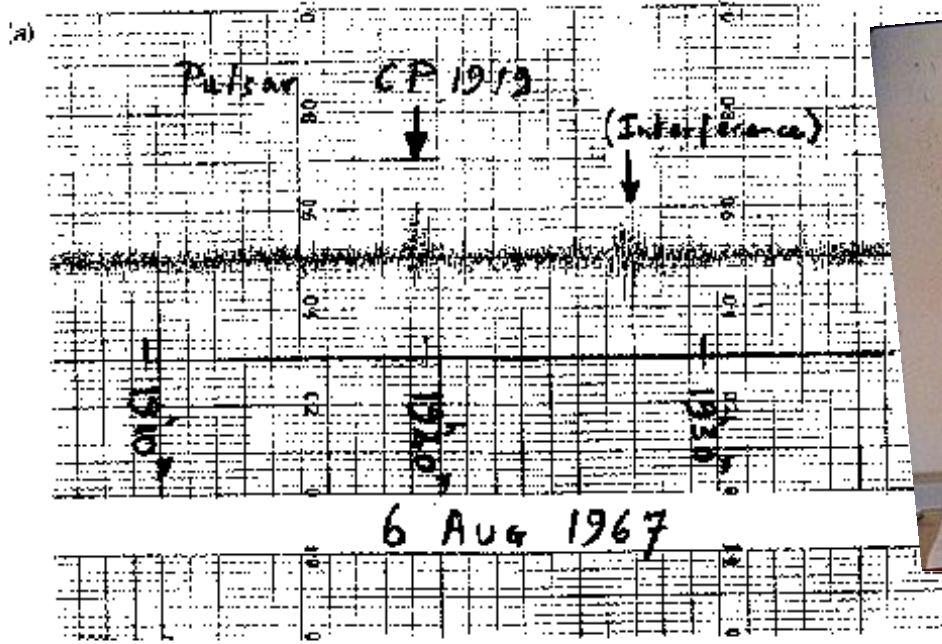
$$T_2 = T_1 (R_2 / R_1)^2$$

Estrela de nêutrons: objeto compacto, alta rotação, campo magnético forte



Estrela de nêutrons e Pulsares

Jocelyn Bell (1943 -)



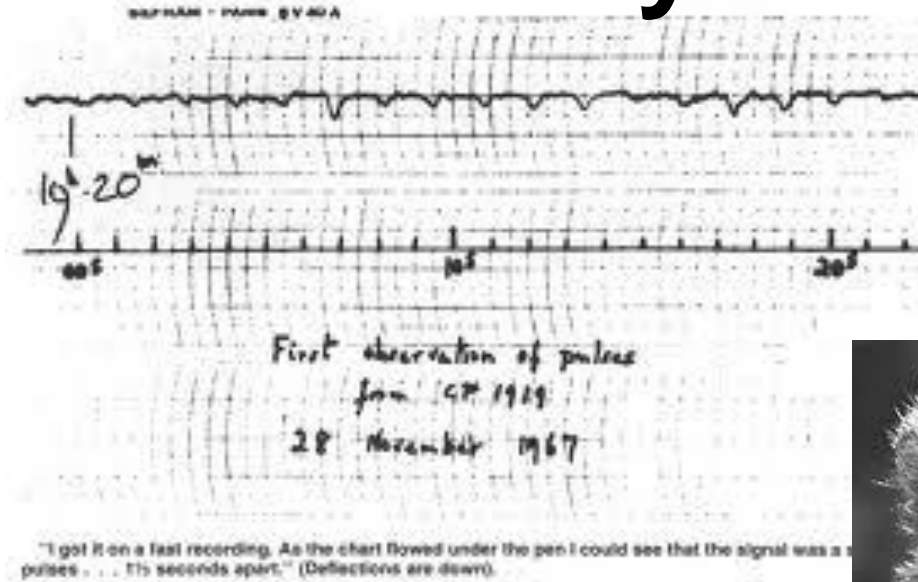
Jocelyn Bell & Antony Hewish



LGM: little green man

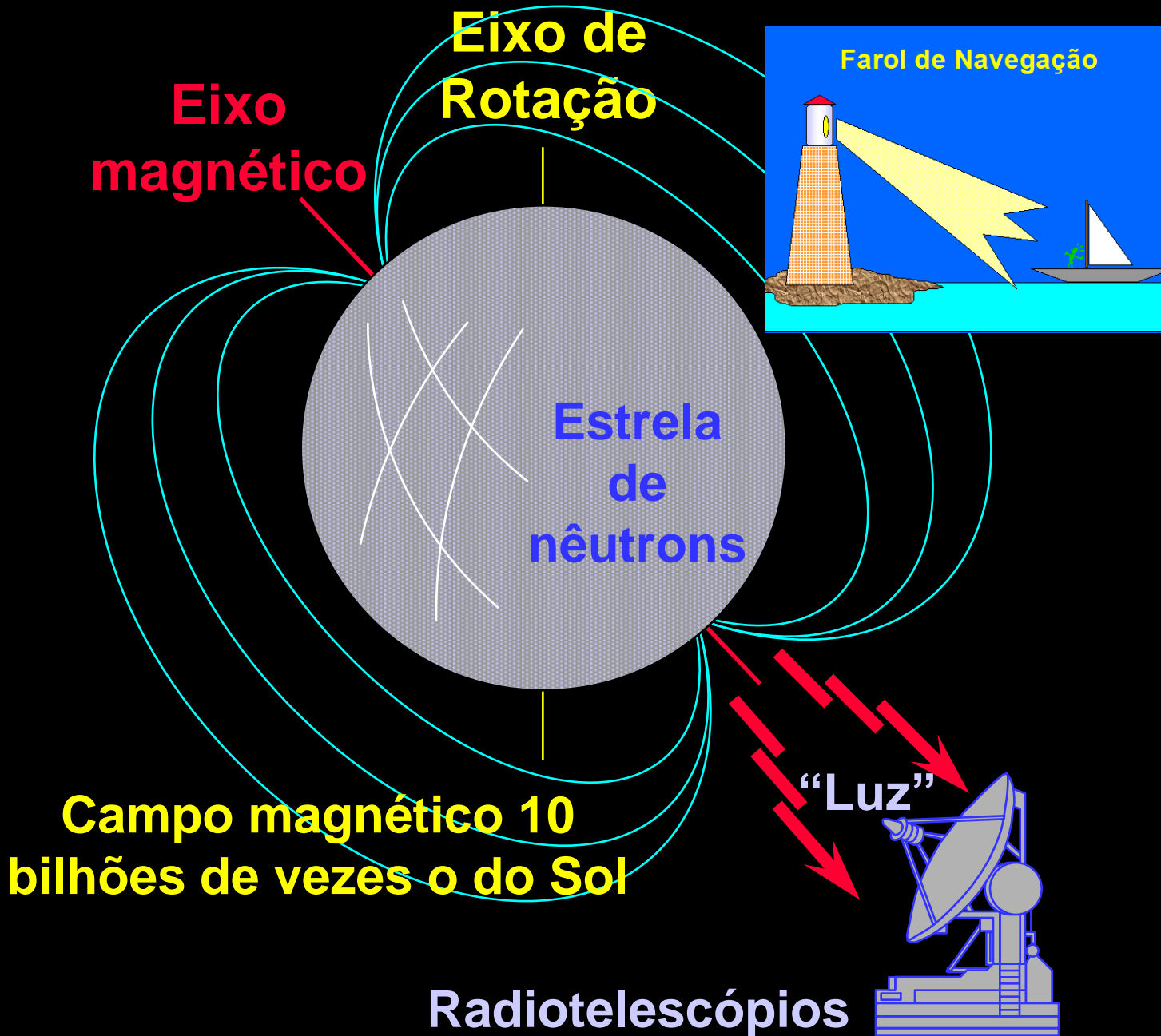


Jocelyn Bell achou outras fontes em 1967: they cannot be LGM

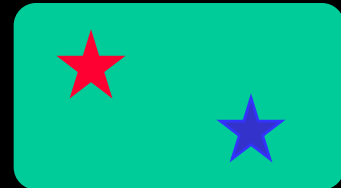
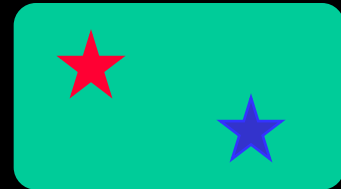


**Descoberta
Pulsares:
Nobel Física
1974**

Pulsar



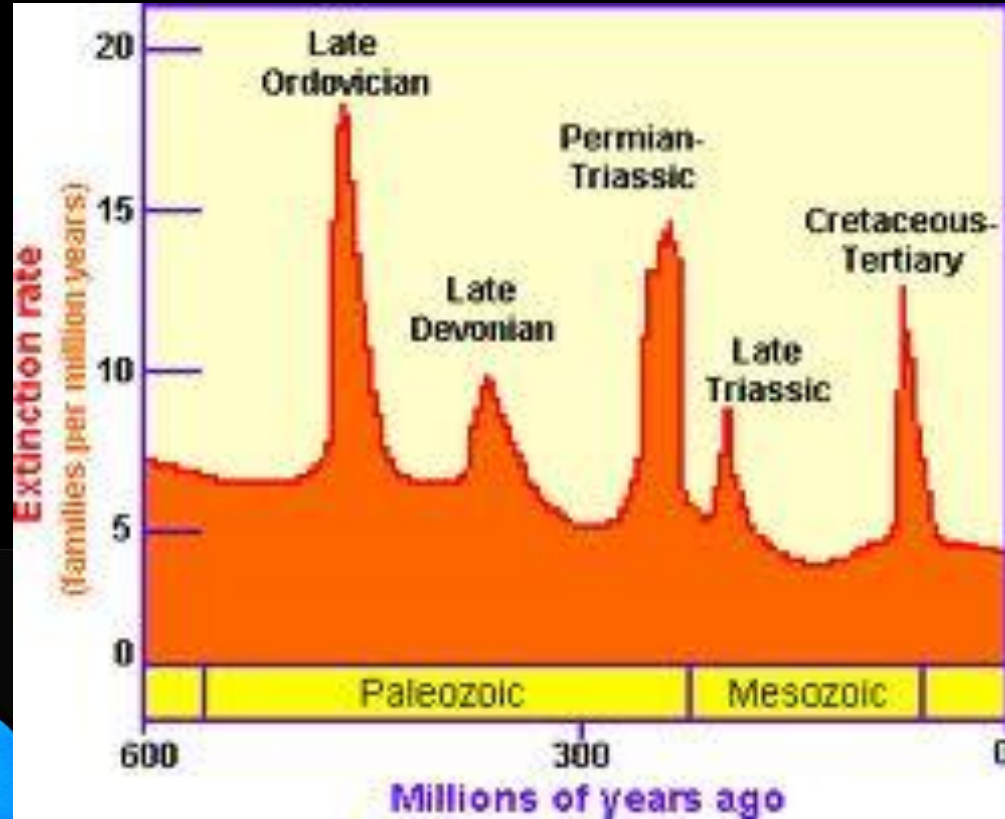
“Visão”



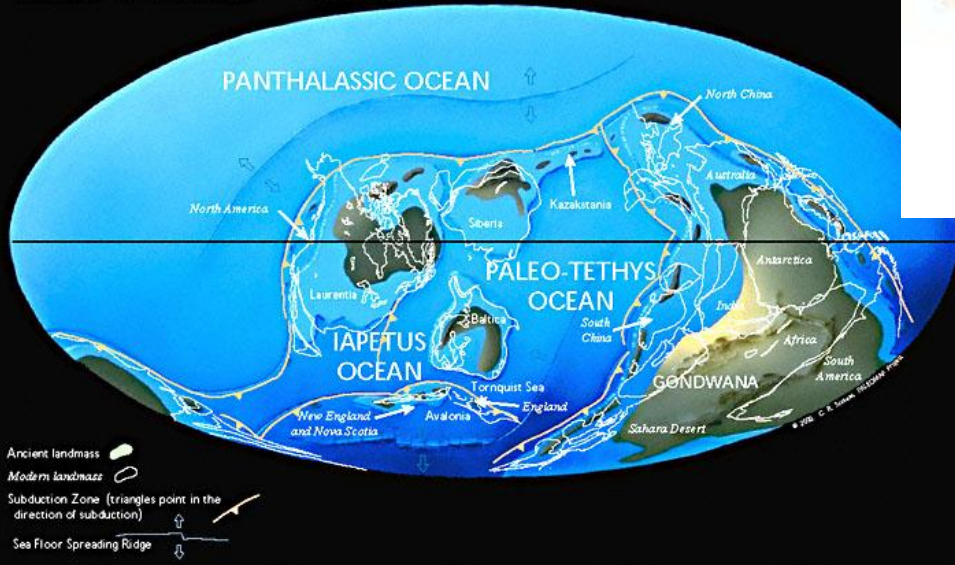
Descobertos em 1967

Processos de extinção em massa de seres vivos

Extinção no Período Ordoviciano, há 450 milhões de anos



Middle Ordovician 458 Ma

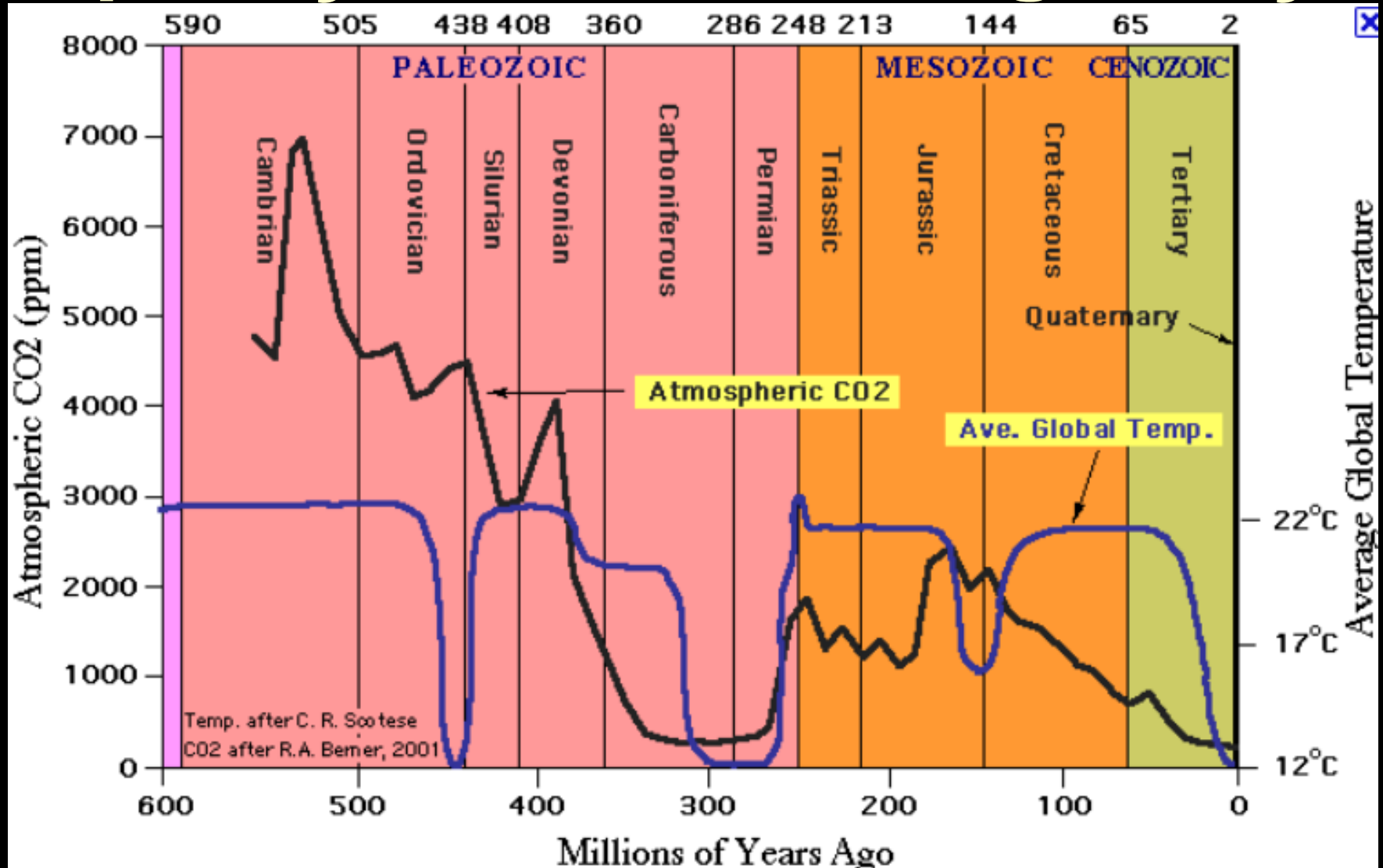


SN e extinções em massa: efeitos de raios-gamma causados por uma Hipernova a < 6000 a.I.

Os raios gama podem dividir o nitrogênio molecular (N_2) em átomos de N, que reagem com o oxigênio molecular (O_2), para formar óxido de nitrogênio (NO), o qual destrói o ozono (O_3) e produz dióxido de nitrogênio (NO_2), que por sua vez reage com os átomos de O para voltar a formar óxido de nitrogênio (NO), o que significa mais destruição de ozono.

**Poderia ser responsável pela extinção
ocorrida no Período Ordoviciano, há 450
milhões de anos, matando 60% dos
invertebrados marinhos.**

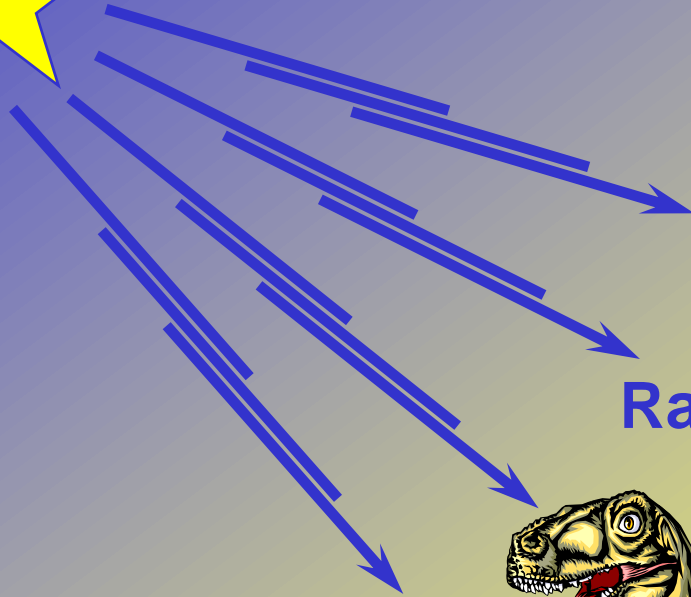
Explicação alternativa: glaciação



Extinção dos Dinossauros

(65 milhões de anos atrás)

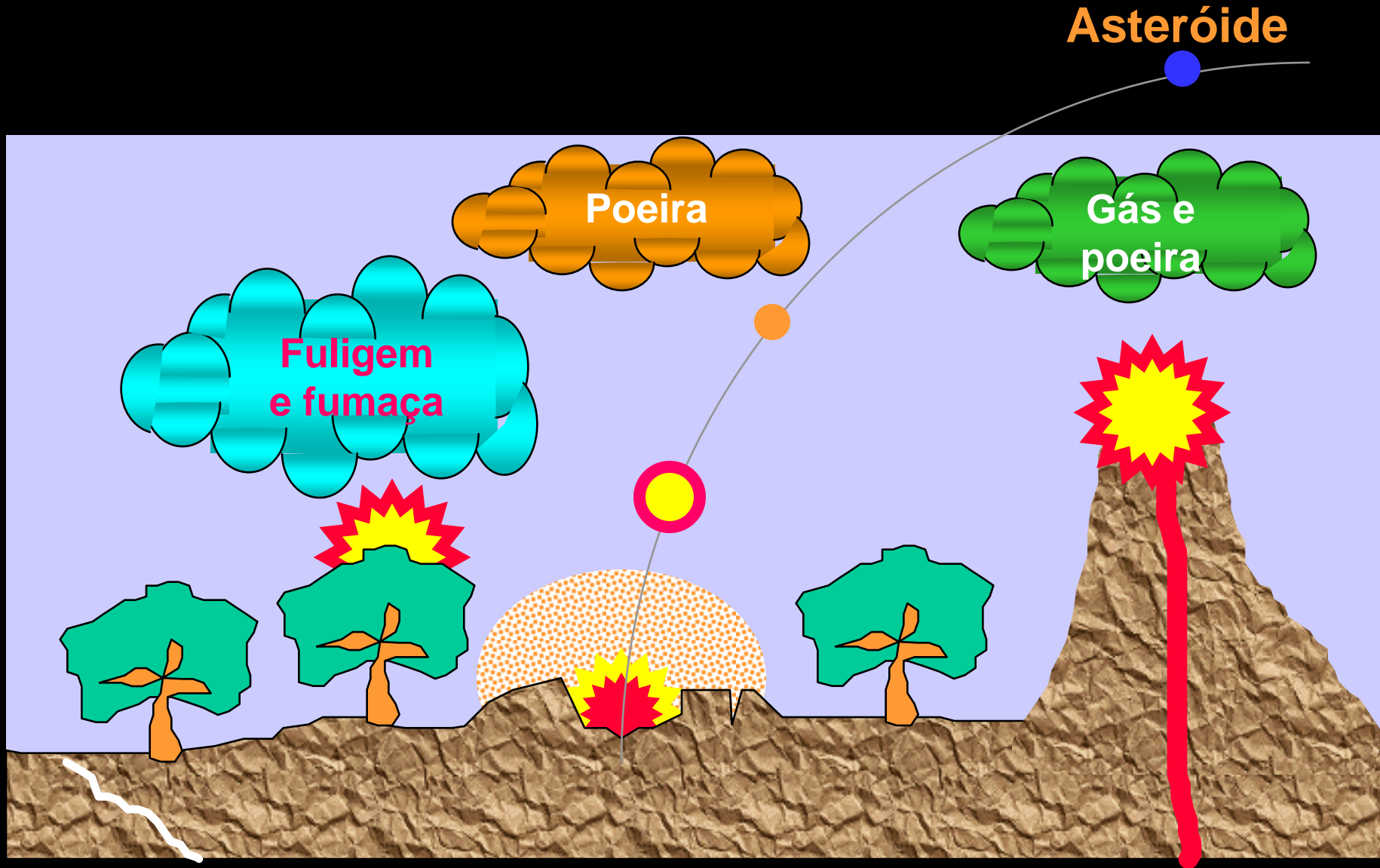
Supernova



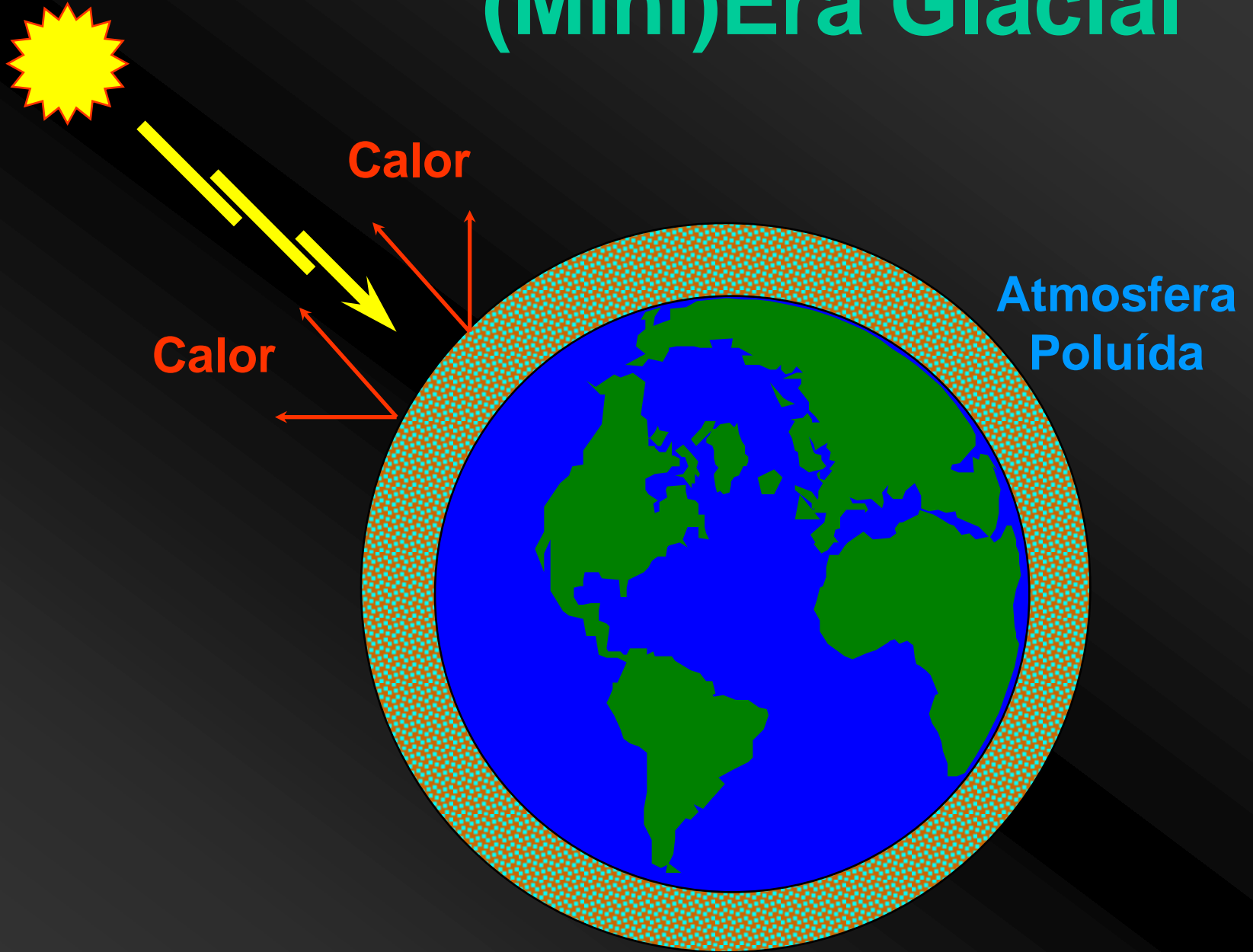
Raios X



Choque de asteróide com a Terra



(Mini)Era Glacial



Colisões catastróficas na Terra

Formação da Lua há 4.5 Giga-anos

Extinção dos
dinossauros há 65
milhões de anos

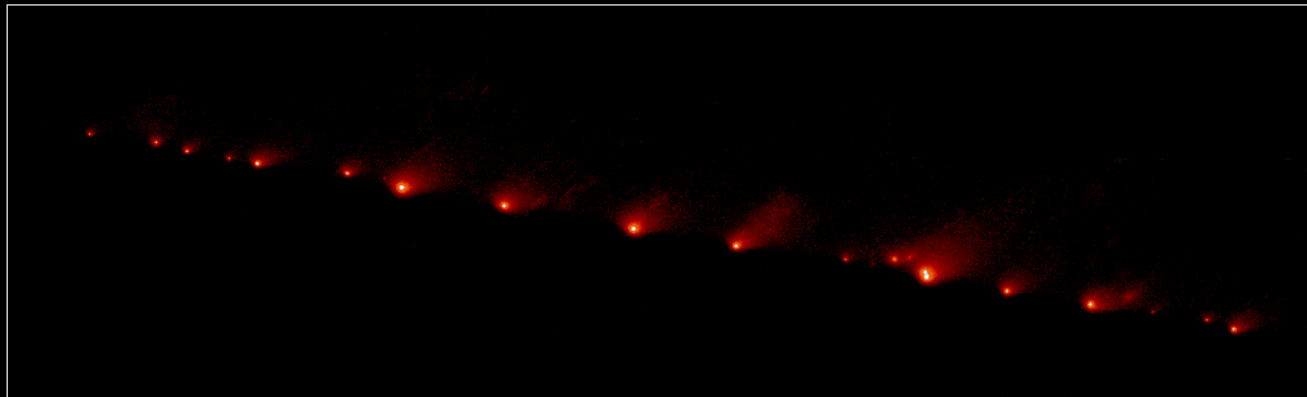


From **July 16 through July 22, 1994**, pieces of an object designated as Comet P/Shoemaker-Levy 9 collided with Jupiter

Cometa Shoemaker-Levy 9 em colisão com Jupiter

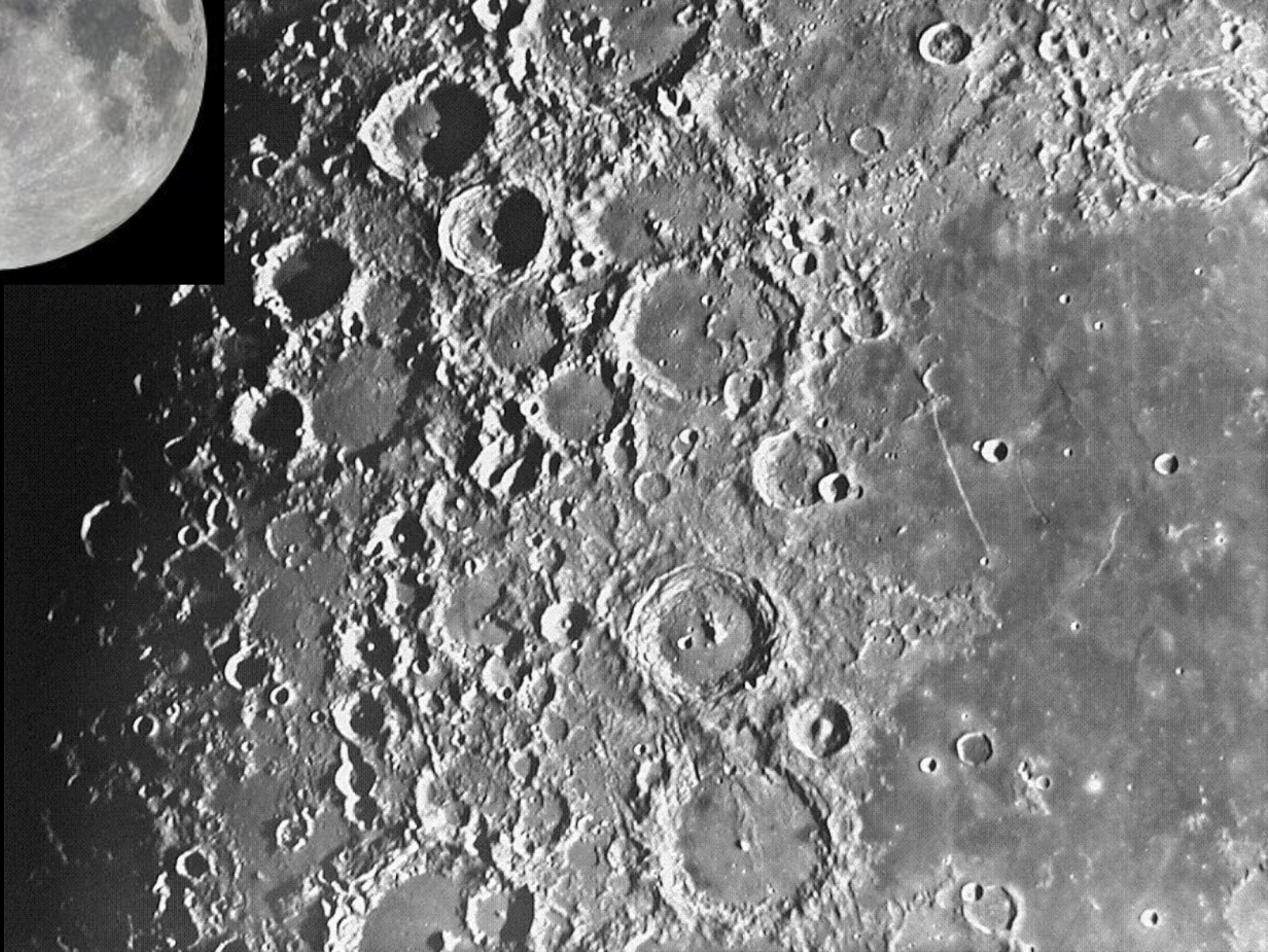


Comet P/Shoemaker-Levy 9 (1993e) • May 1994



Hubble Space Telescope • Wide Field Planetary Camera 2

Crateras na Lua

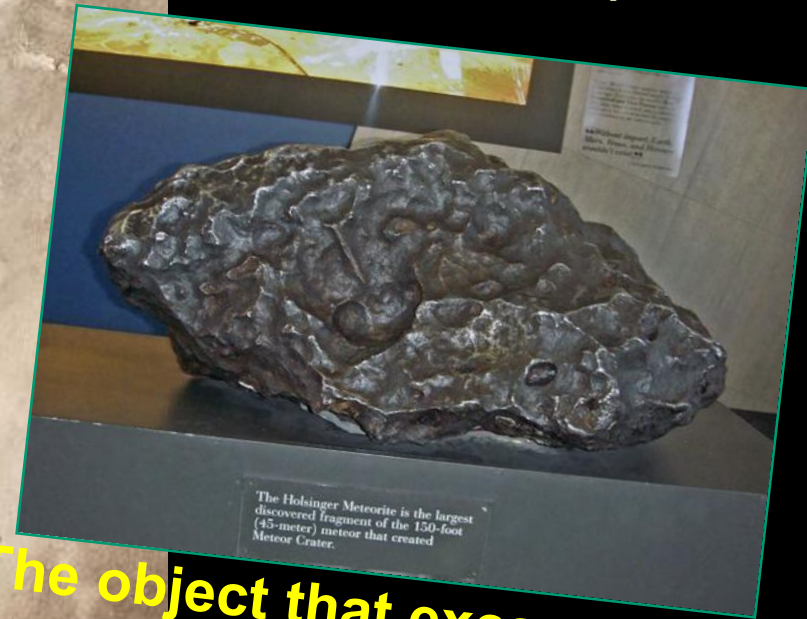
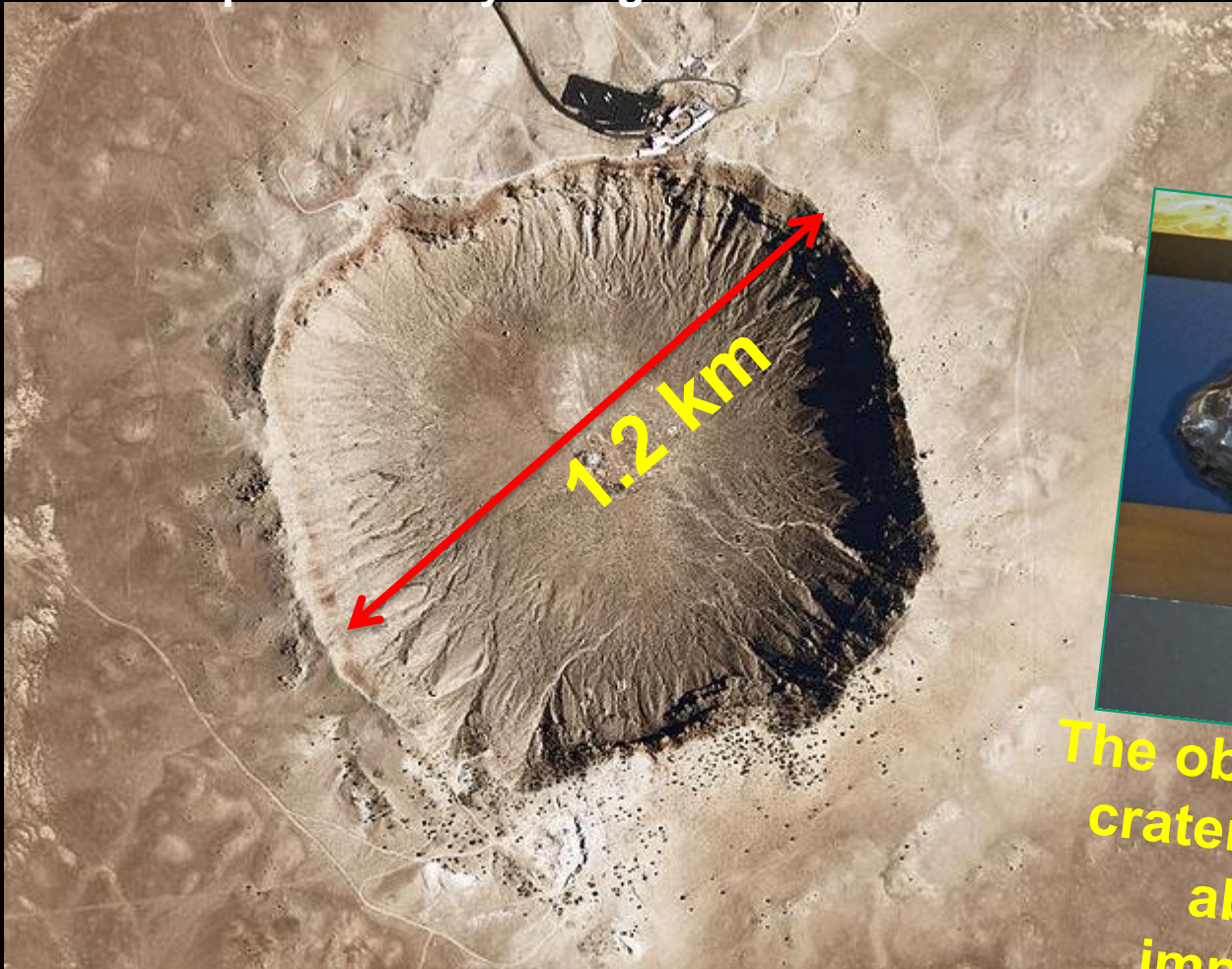


Barringer Crater, Arizona, U.S.A.

In 1903, Daniel Barringer suggested that the crater had been produced by a large iron-metallic meteorite

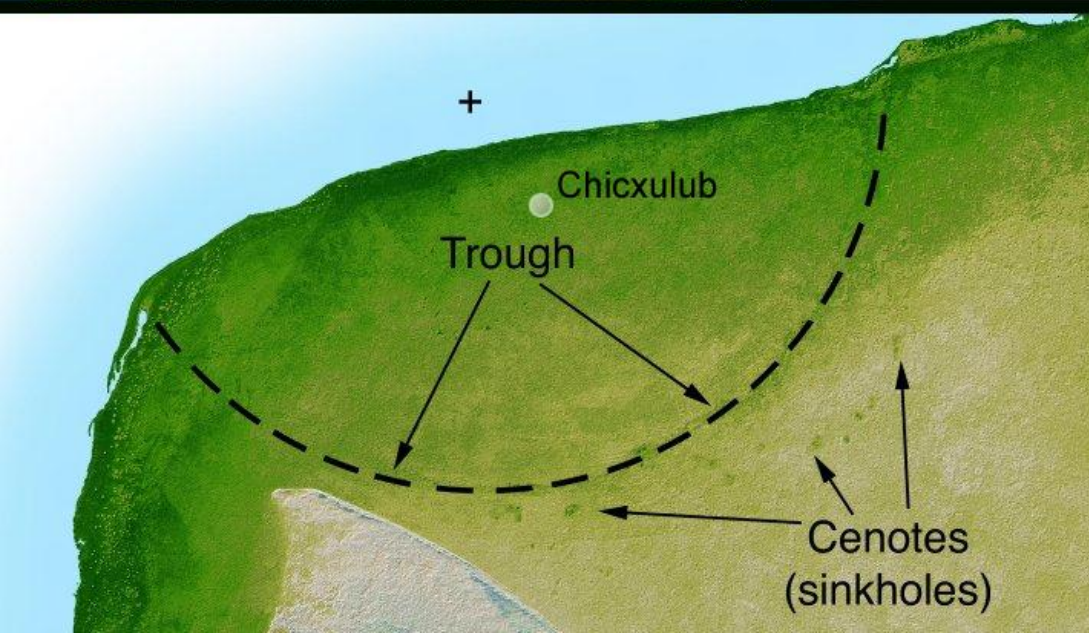
Only in 1960 Eugene Shoemaker confirmed that the crater is due to an extraterrestrial impact on the Earth's surface

Shoemaker found the mineral stishovite, a rare form of silica found only where quartz-bearing rocks have been severely shocked by an instantaneous overpressure

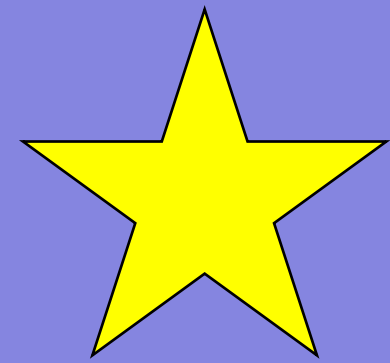


The object that excavated the crater was a Ni-Fe meteorite about 50 meters across, impacting at several km/s

Asteróide há 65 milhões de anos



Evolução de uma estrela de alta massa

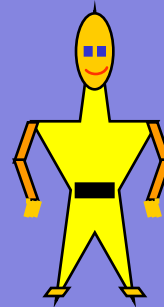


Classificação de estrelas segundo sua massa



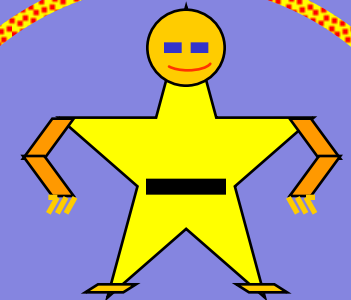
Baixa Massa

< 8 Massas solares



Massa intermediária

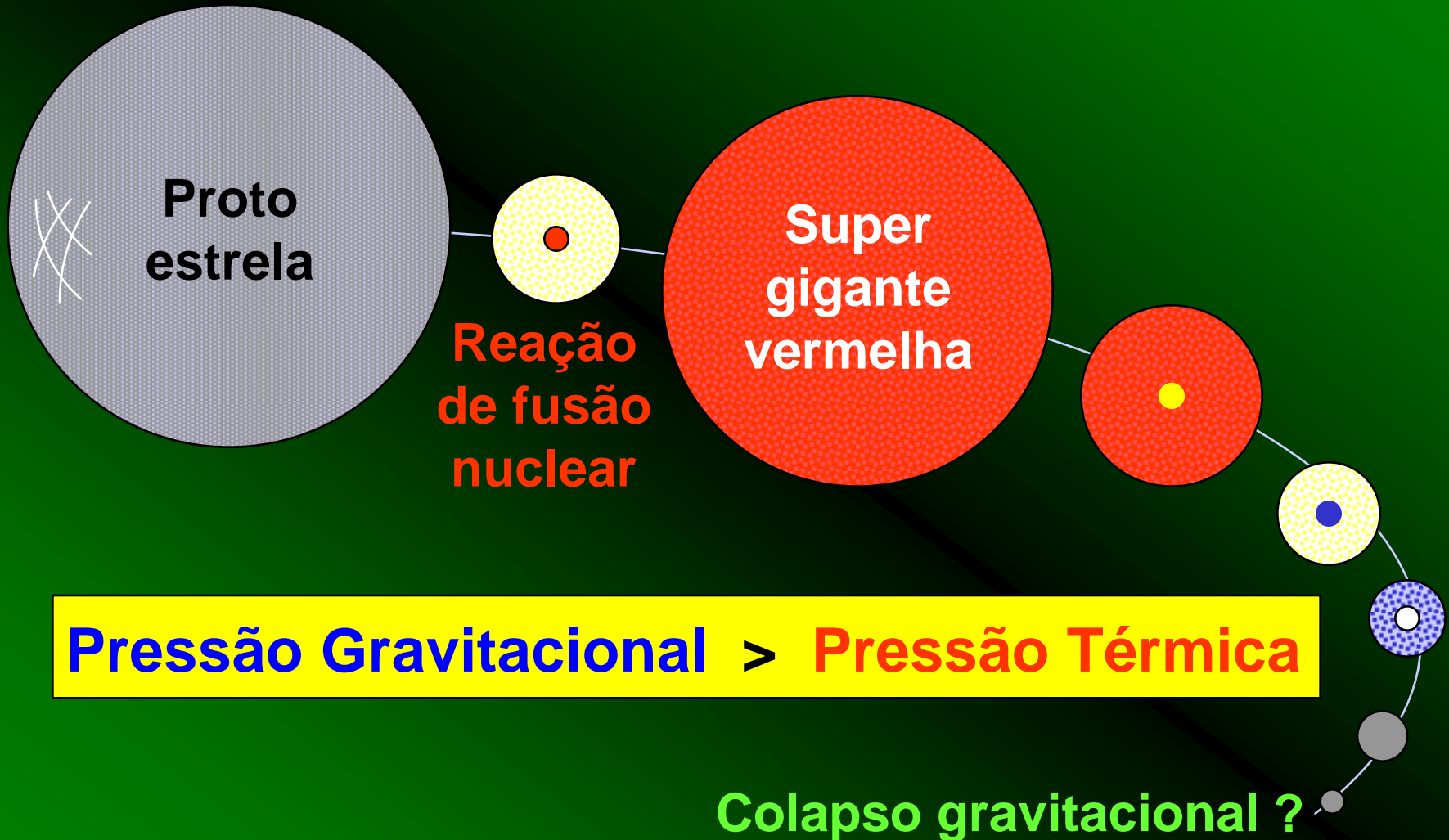
~ 8-25 Massas solares



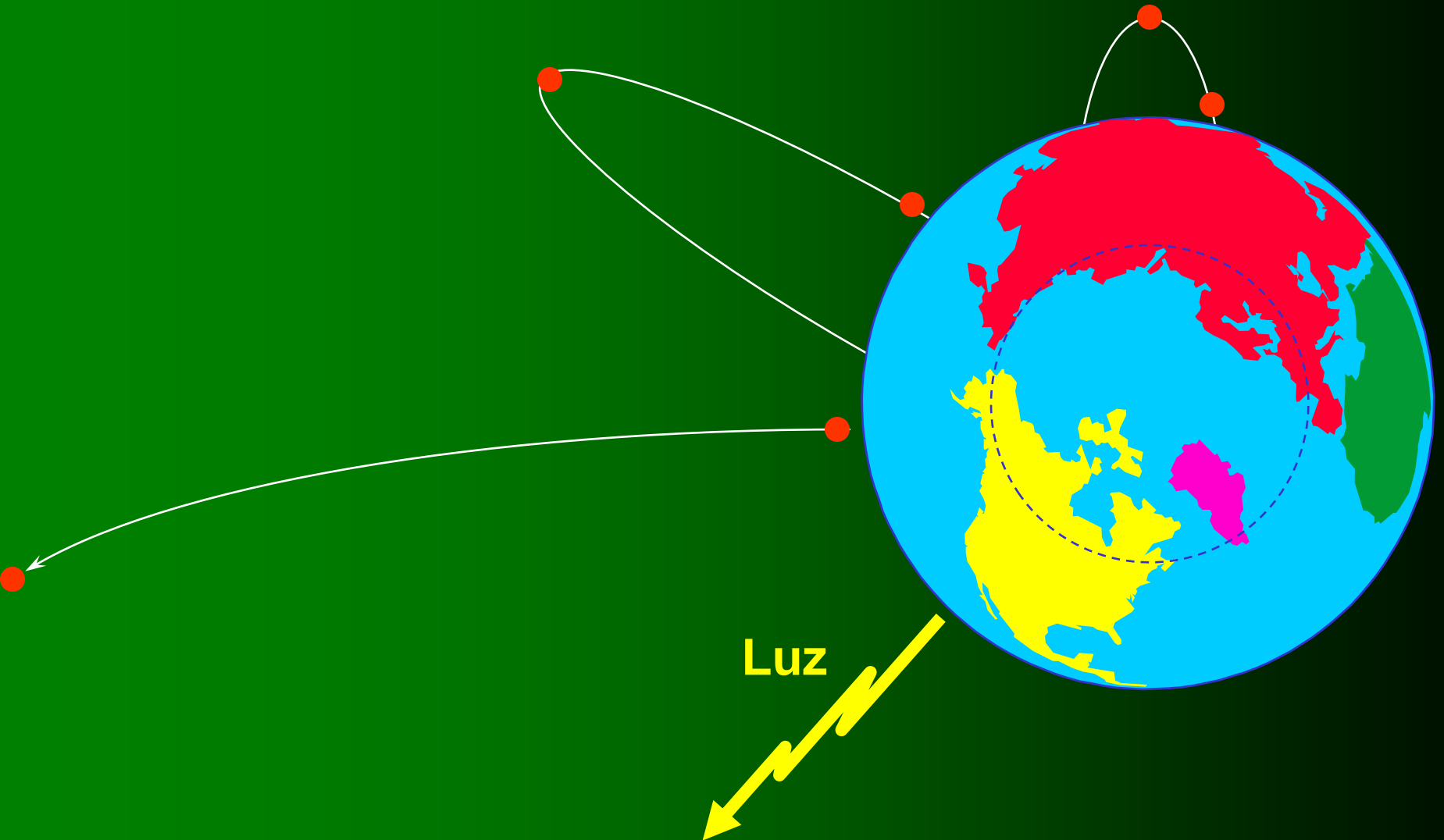
Alta massa

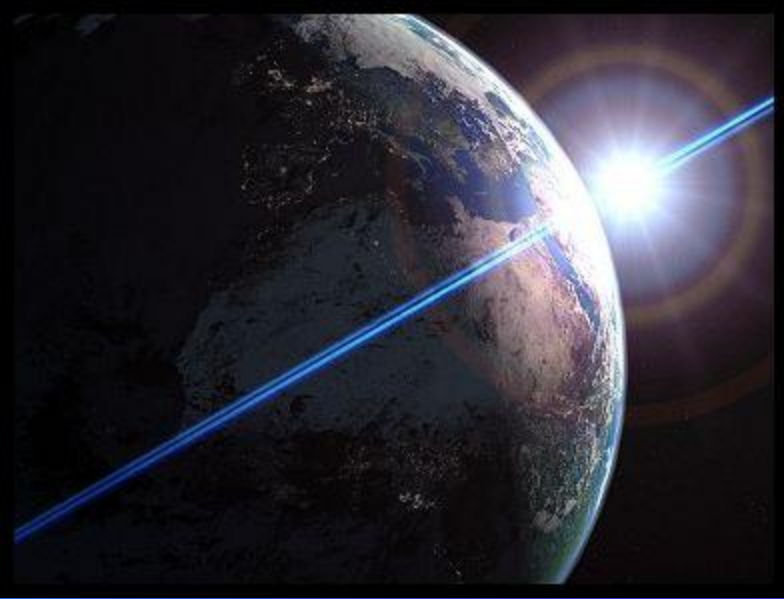
> 25 M Sol

Evolução de uma estrela de alta massa

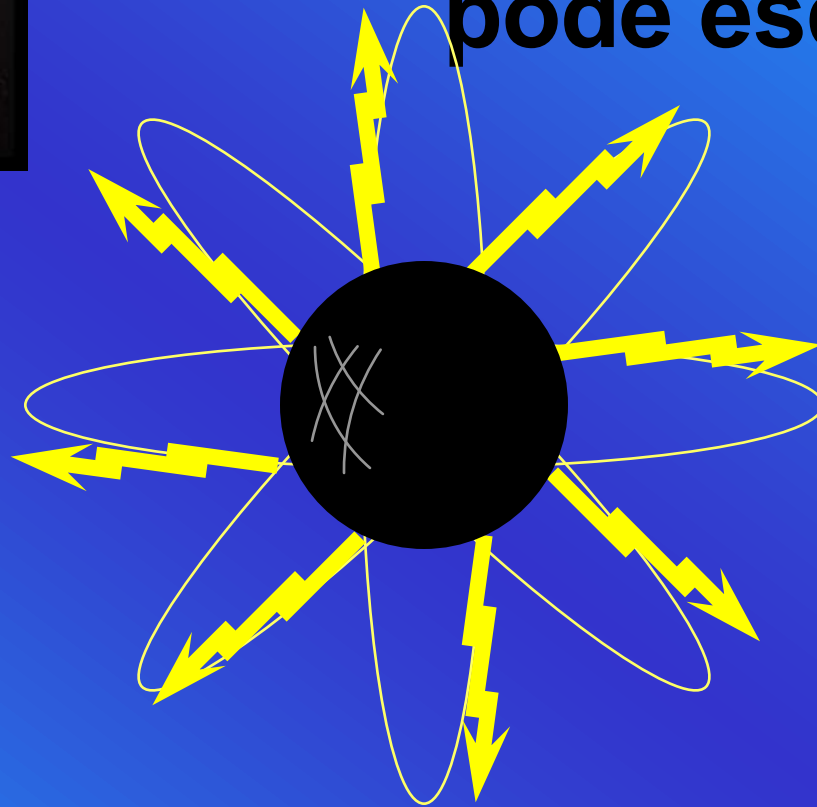


Lançamento de corpos num campo gravitacional





**Estrela
Colapsada:
nem mesmo a luz
pode escapar**

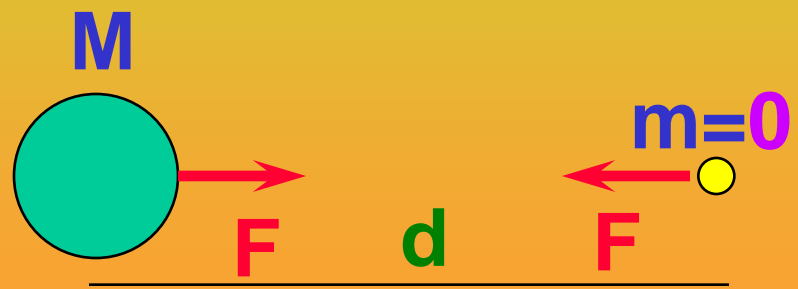


Lei da atração gravitacional




$$F = G M m / d^2$$

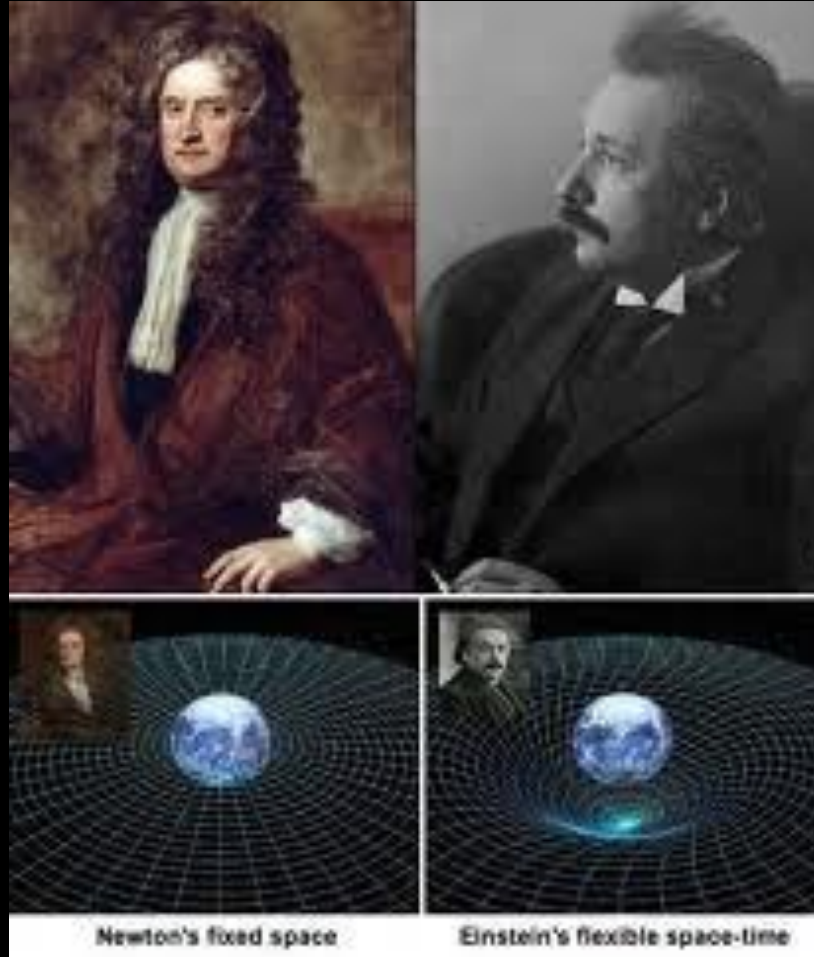
M,m = massas dos corpos envolvidos
d = distância entre as massas
F = força de atração gravitacional



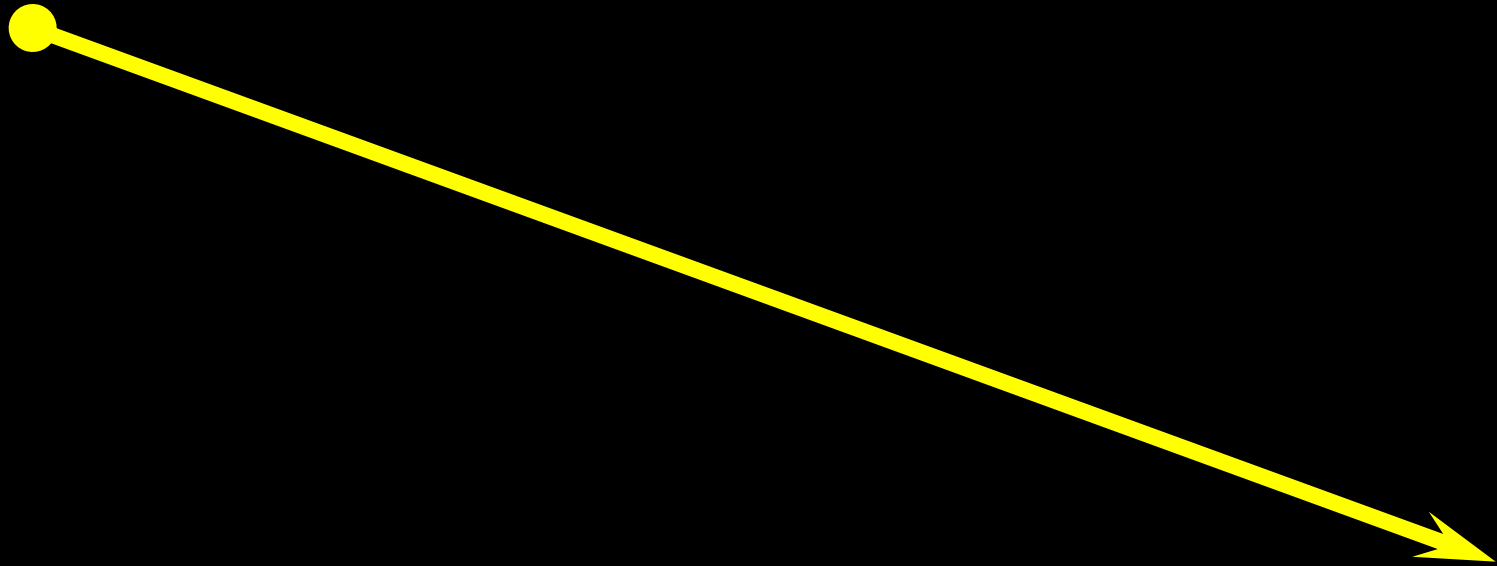
$$F = G M 0 / d^2$$

$F = 0$!?!  Não há força de atração!

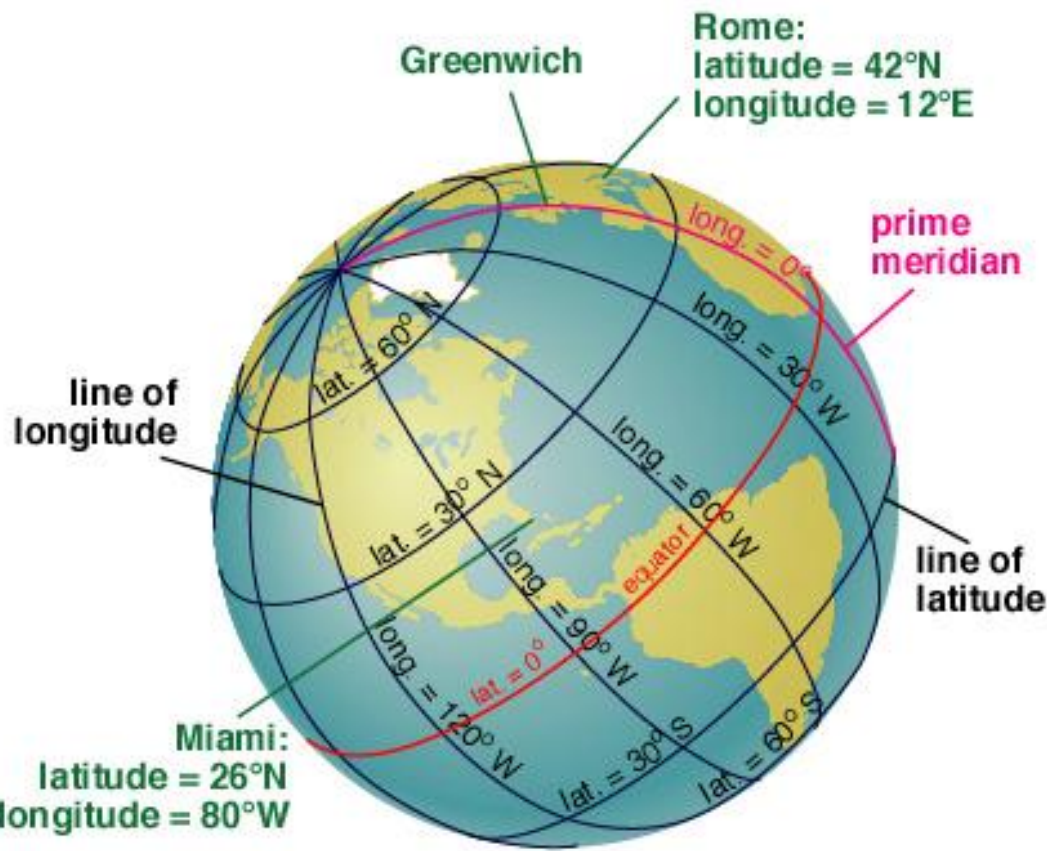
Reformulando a gravitação universal



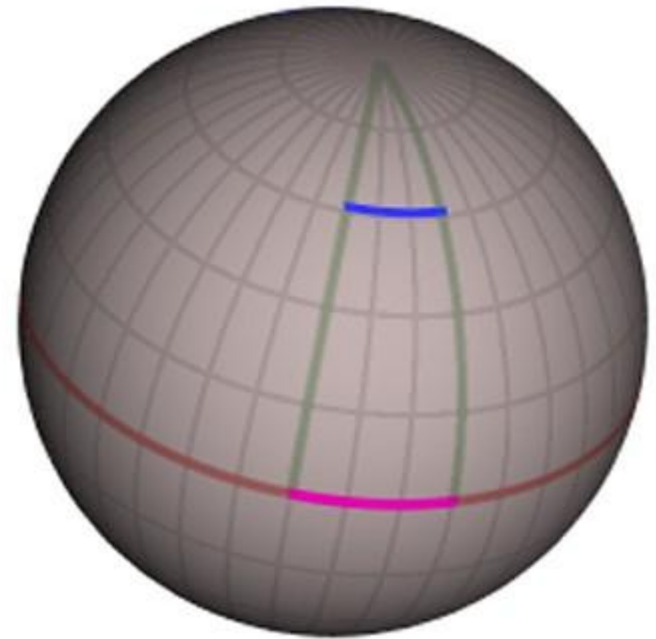
**Qual a menor distância entre
dois pontos?**



A Geodésica é a curva de menor comprimento que une dois pontos



Copyright © Addison Wesley

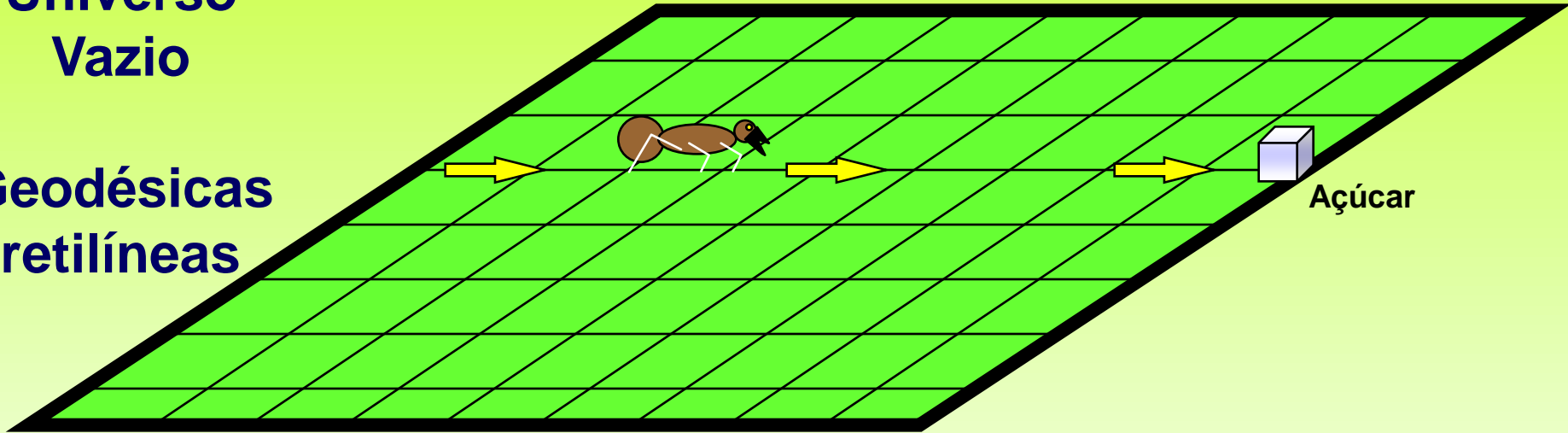


A geodesic is the shortest path between two points in curved space

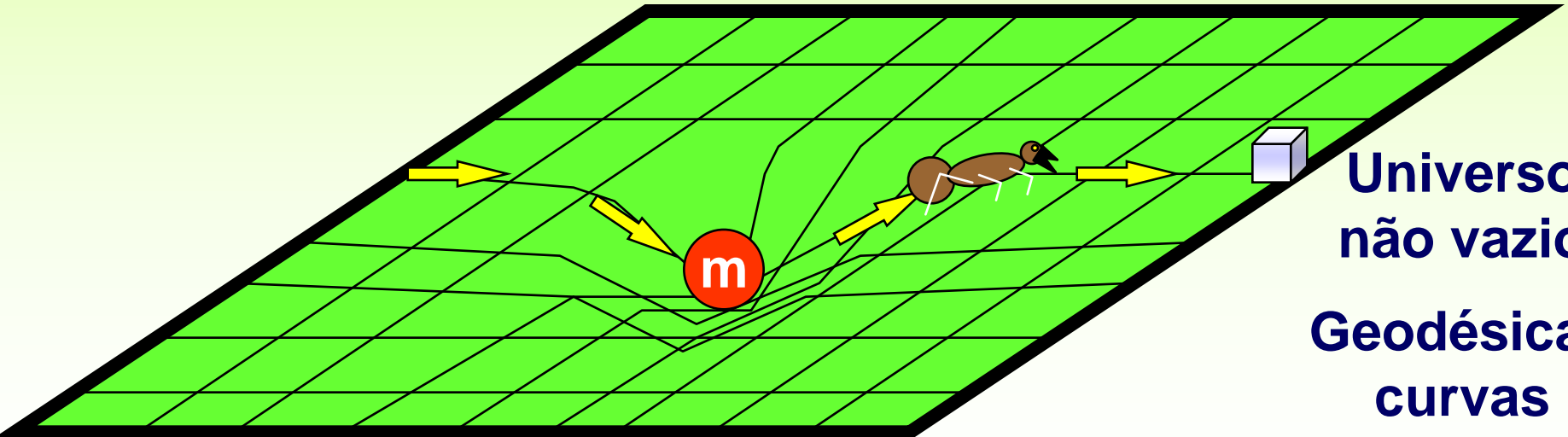
Curvatura do Universo

Universo
Vazio

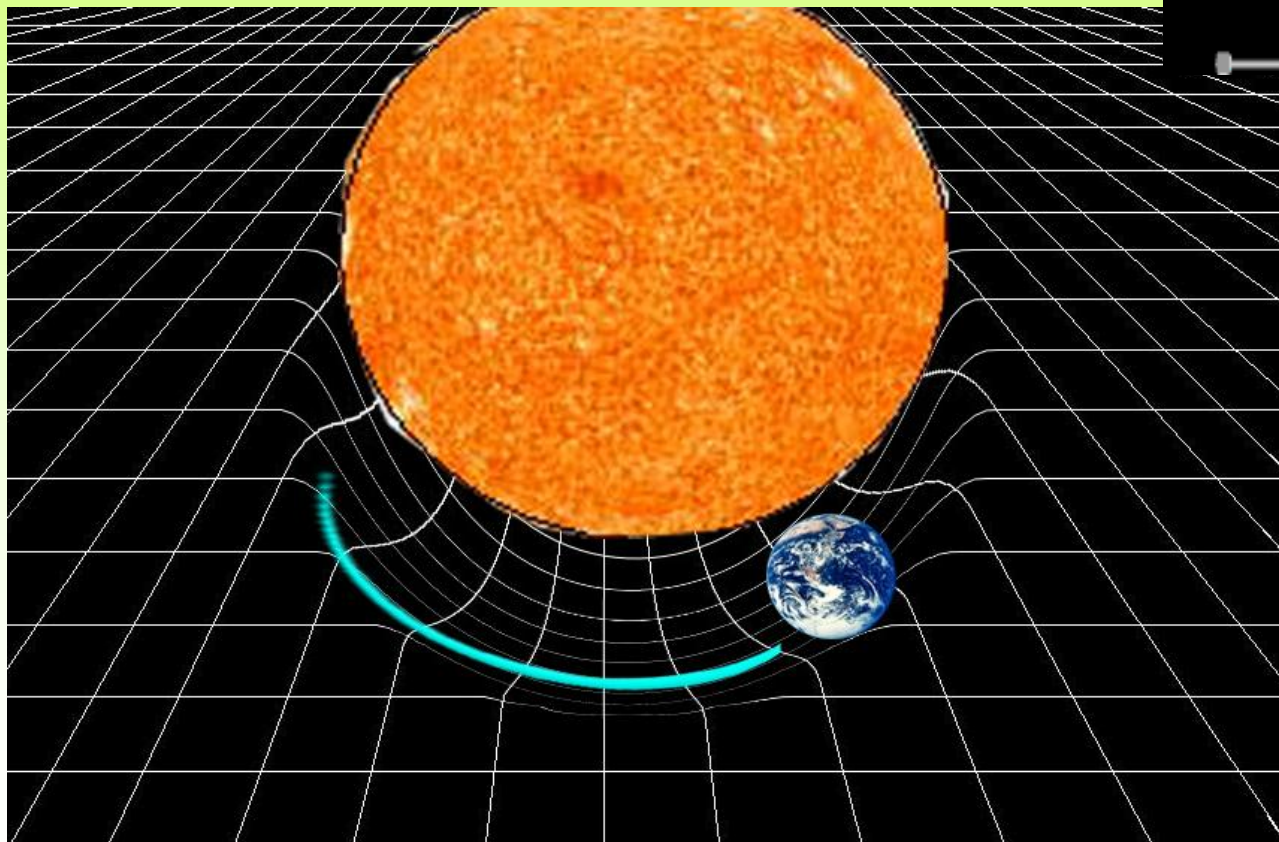
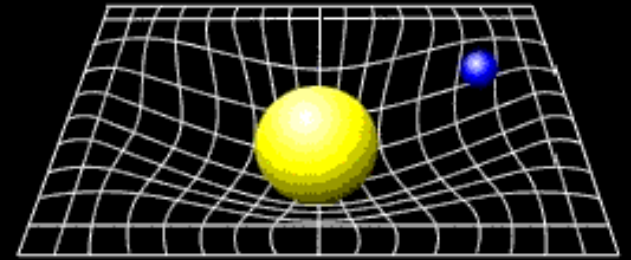
Geodésicas
retilíneas



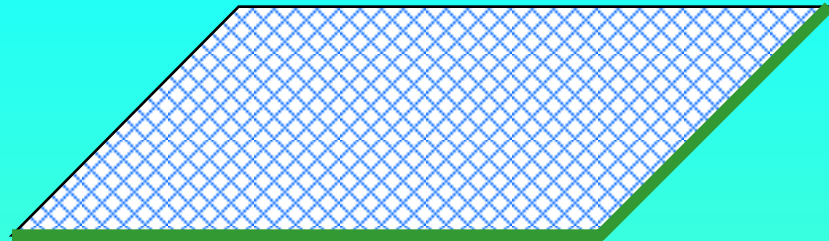
Universo
não vazio
Geodésicas
curvas



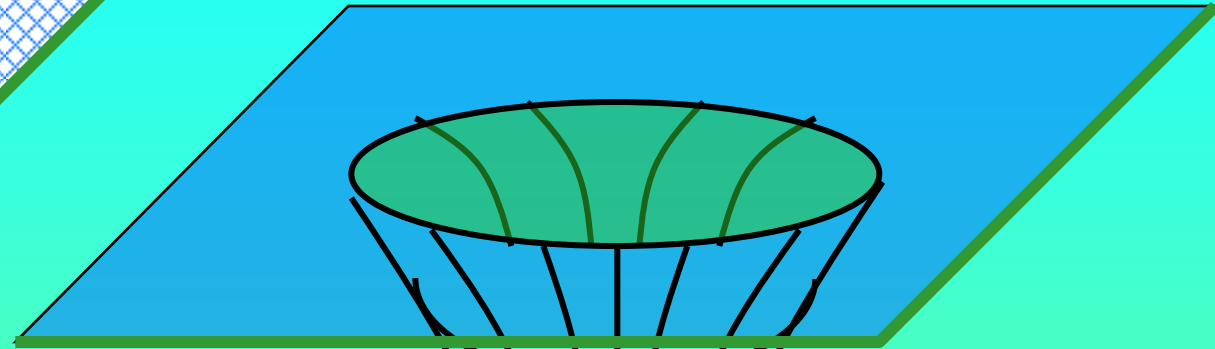
Movimento da Terra em volta do Sol



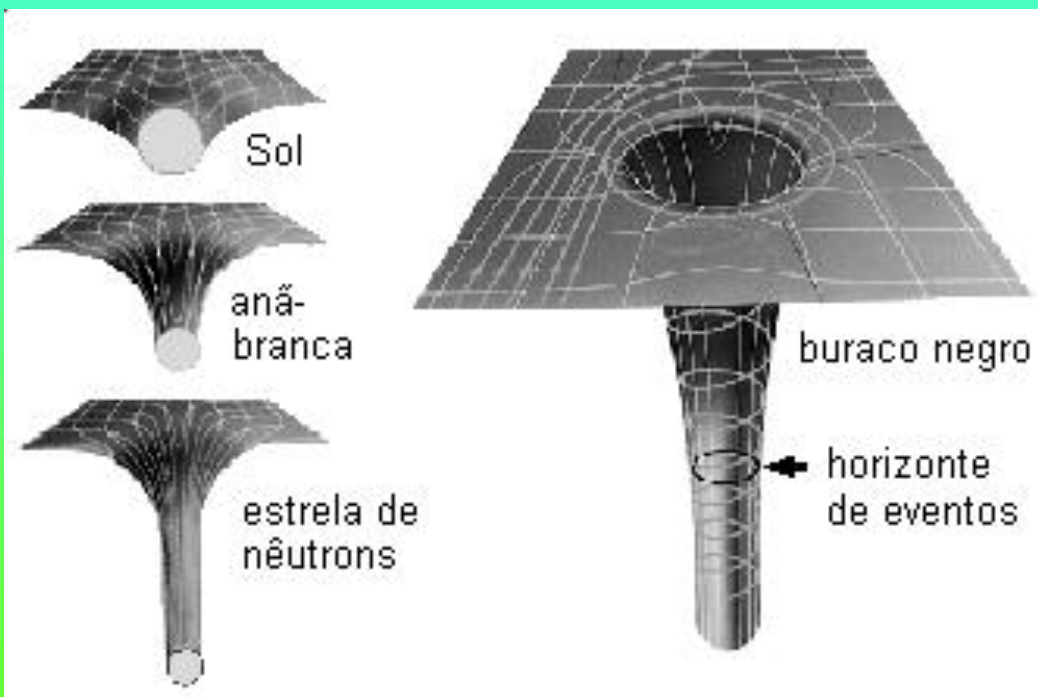
Representação geométrica de um Buraco Negro



Geodésicas num espaço vazio



Geodésicas nas proximidades de um Buraco Negro



Sol

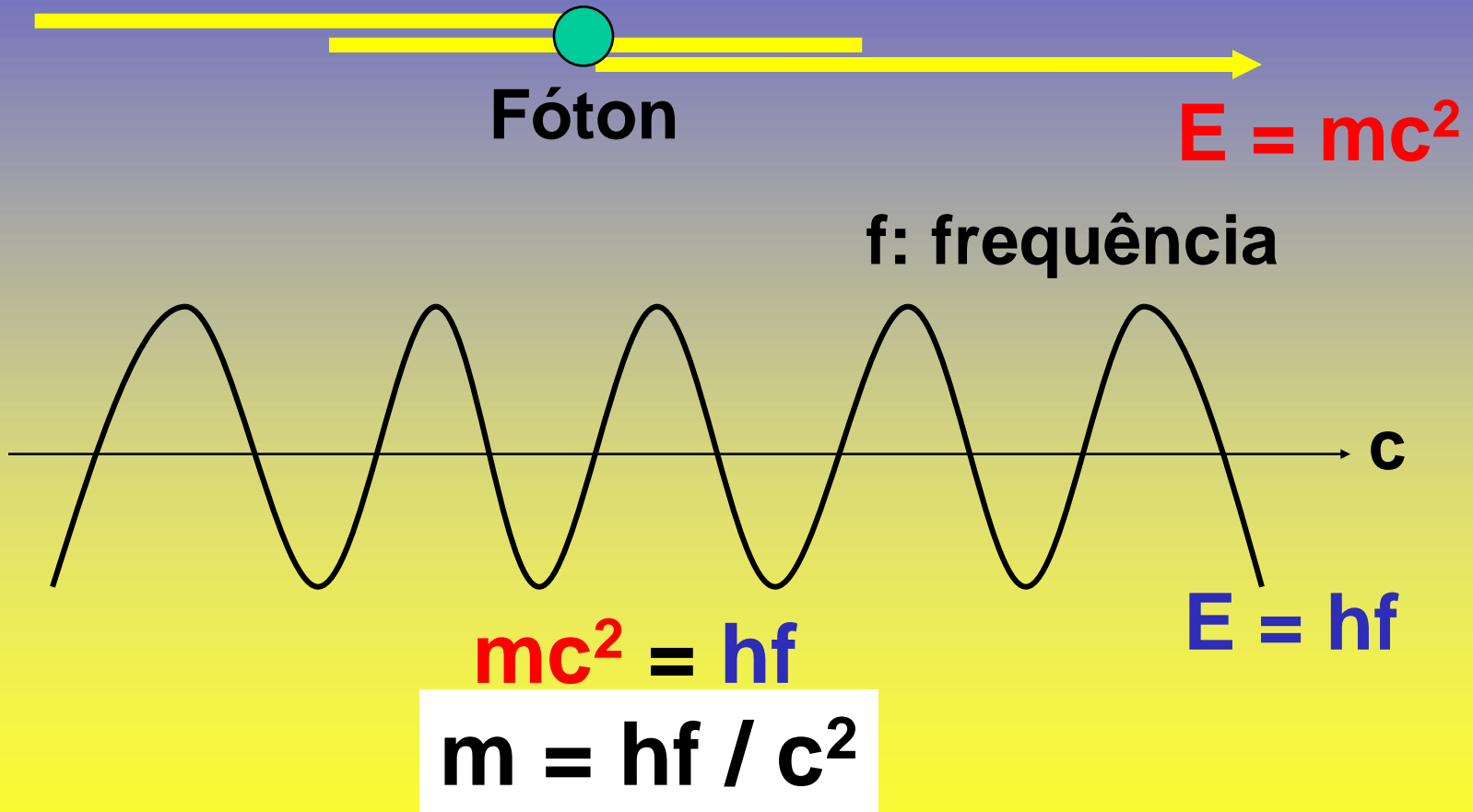
anã-branca

estrela de nêutrons

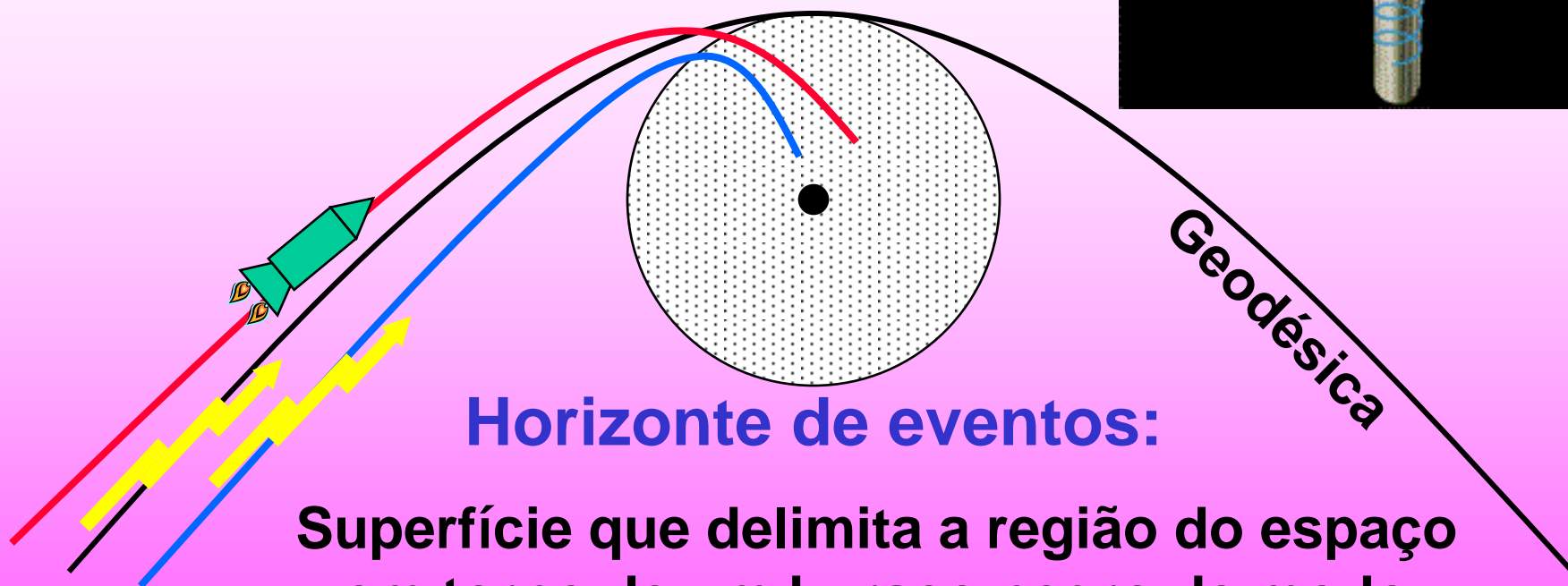
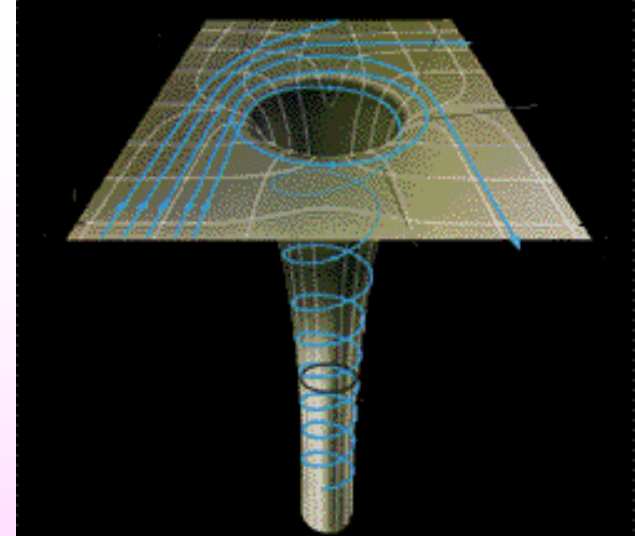
buraco negro

← horizonte de eventos

'Massa' de um fóton



Horizonte de eventos



Horizonte de eventos:

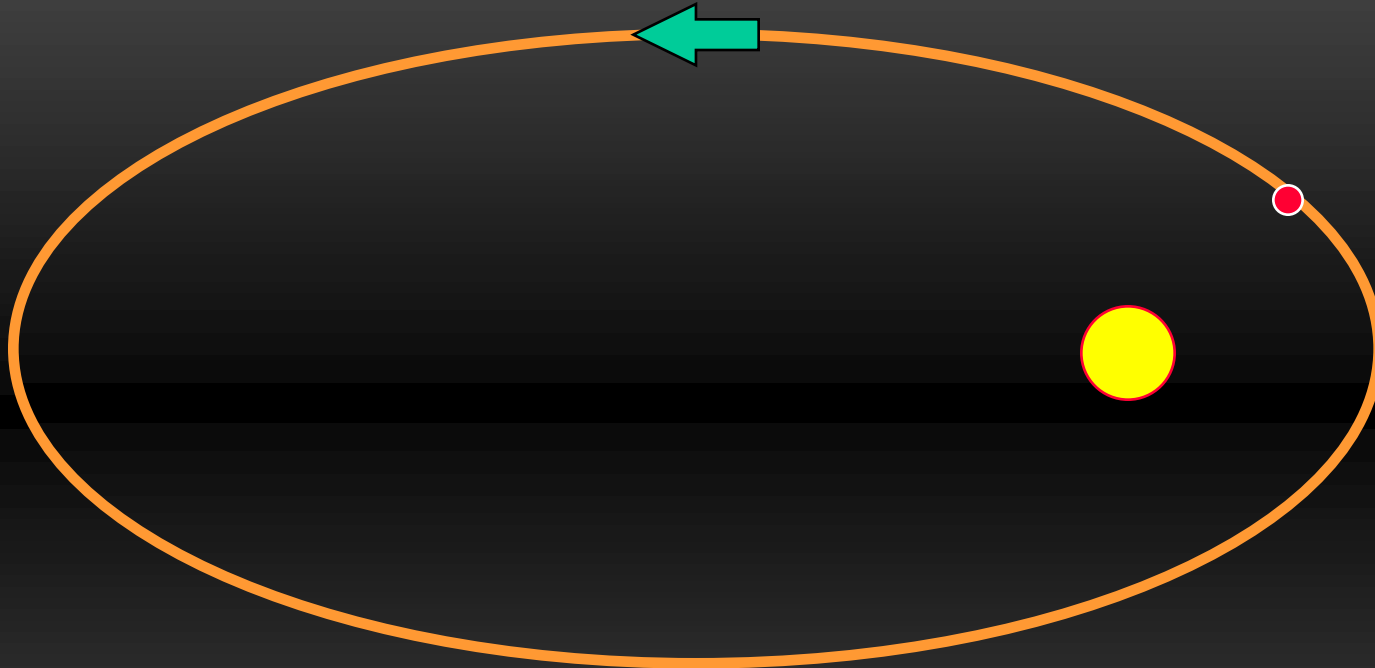
Superfície que delimita a região do espaço em torno de um buraco negro de modo que qualquer corpo (ou mesmo a Luz) que nele penetre, não pode mais dele sair

Detecção de Buracos Negros

**Se não é possível ver um
Buraco Negro,
como saber que ele existe ?**

Primeira Lei de Kepler

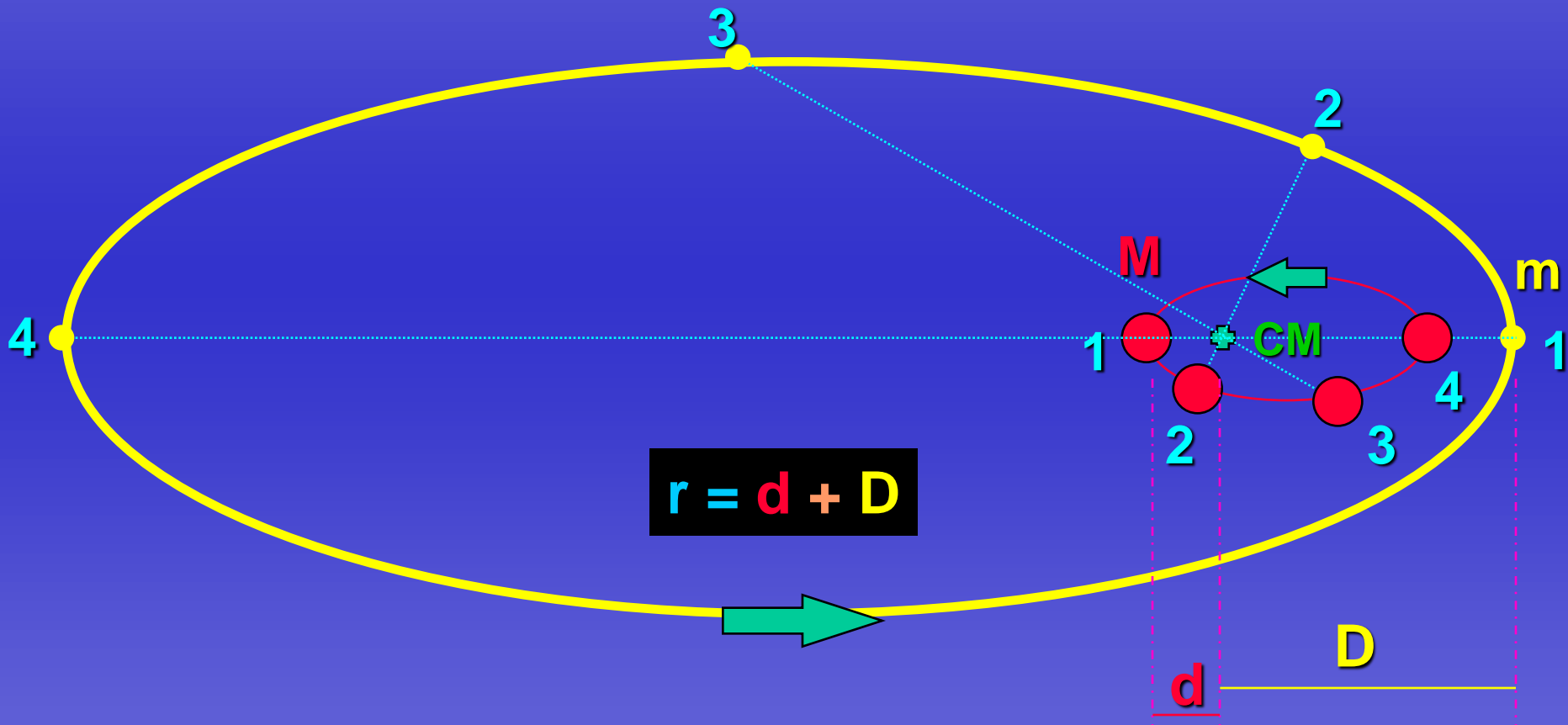
(1571 - 1630)



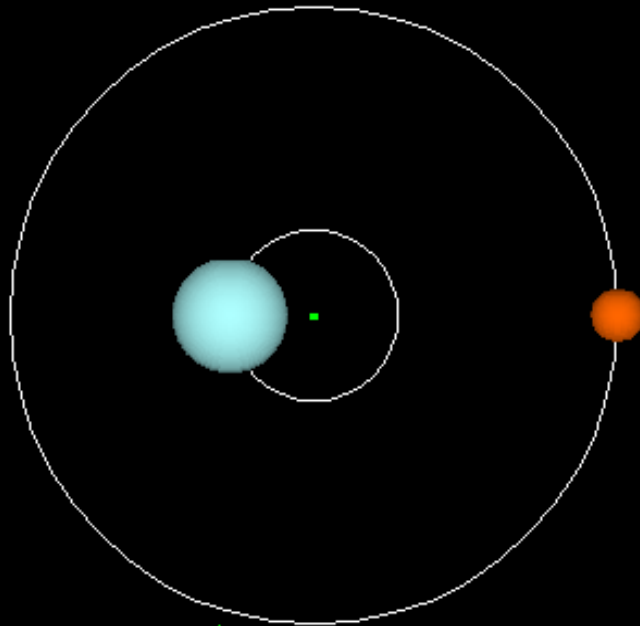
Um corpo ligado a outro, gravitacionalmente, gira em torno dele numa órbita elíptica.

Movimento em torno do Centro de Massa Comum

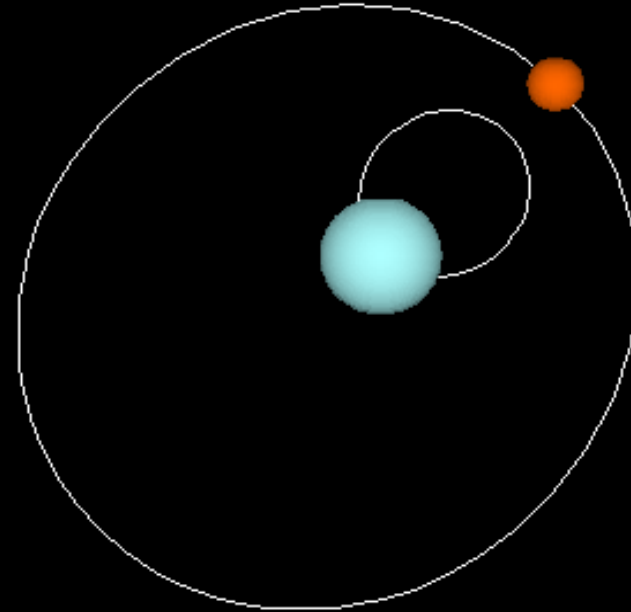
$$M d = m D$$



Orbita de estrelas binarias



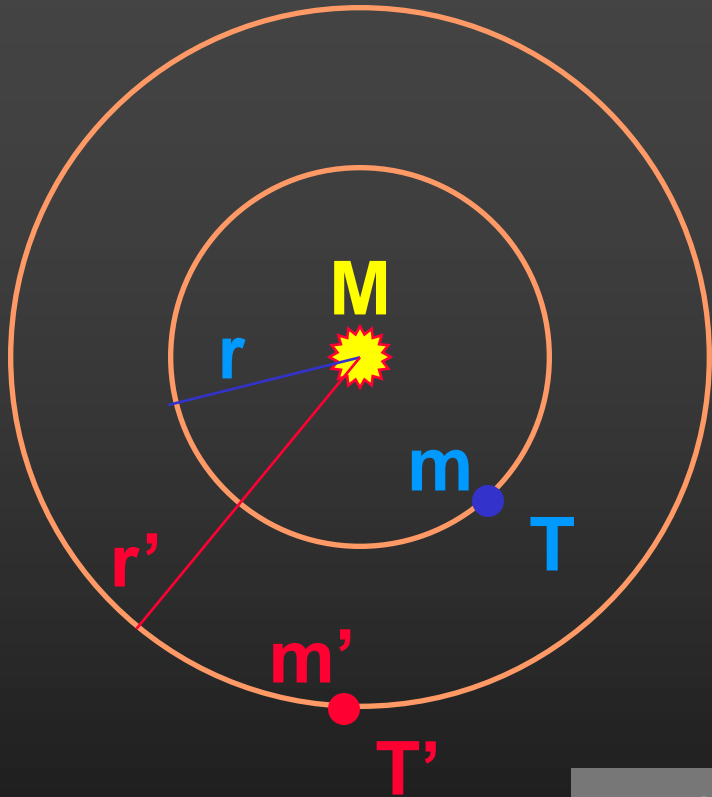
$M1/M2=3.6; e=0.0$



$M1/M2=3.6; e=0.4$

Em ambos exemplos a massa da estrela azul é 3.6 vezes maior que a vermelha

Terceira Lei de Kepler



Expressão aproximada de Kepler

$$\left(\frac{r}{r'} \right)^3 = \left(\frac{T}{T'} \right)^2$$

$$r^3 = k T^2$$

Expressão correta:

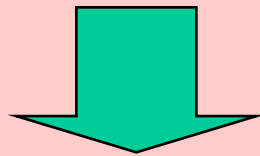
$$r^3 = \left[\frac{G}{4\pi^2} \right] (M + m) T^2$$

Massas das estrelas de Sistemas Binários

$$r = d + D$$

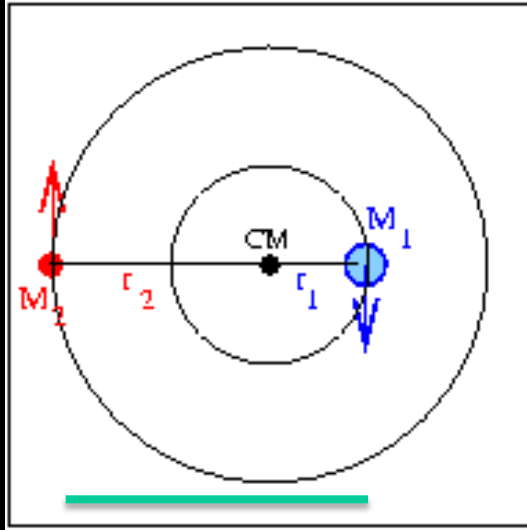
$$r^3 = [G/(4\pi^2)] (M + m) T^2$$

$$M d = m D$$



M , m

Massas das estrelas de Sistemas Binários



$$r = r_1 + r_2$$

$$r = d \times \alpha$$

$$(M_1 + M_2) = \frac{(d \times \alpha)^3}{P^2}$$

Para M em massas solares e períodos P em anos.

d : distância à Terra

α : semi-eixo maior das *s

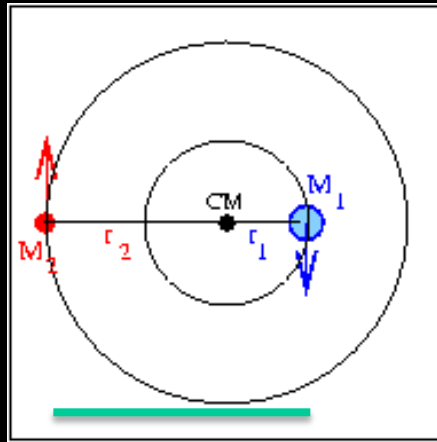
$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{r_2}{r_1}$$



M_1, M_2

Exemplo: Sirius A e B

Sírius A e Sírius B formam um sistema binário cuja órbita relativa tem semi-eixo maior de $7,5''$. A distância do Sol a Sírius é de $2,67$ pc. O período orbital do sistema é de 50 anos. A razão $r_2/r_1=2$.



$$r = r_1 + r_2$$

$$(M_1 + M_2) = \frac{(d \times \alpha)^3}{P^2}$$

$P = 50$ anos

$d : 2,67$ parsecs

$\alpha : 7.5''$

$r_2/r_1=2$

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{r_2}{r_1}$$

a) Qual é a massa do sistema?

$$(M_A + M_B)50^2 = (7,5'' \times 2,67\text{pc})^3$$

$$(M_A + M_B) = \frac{8030.03}{2500} = 3,2M_\odot.$$

b) Se a distância de Sirius B ao centro de massa é o dobro da distância de Sirius A ao centro de massa, qual é a massa de cada estrela?

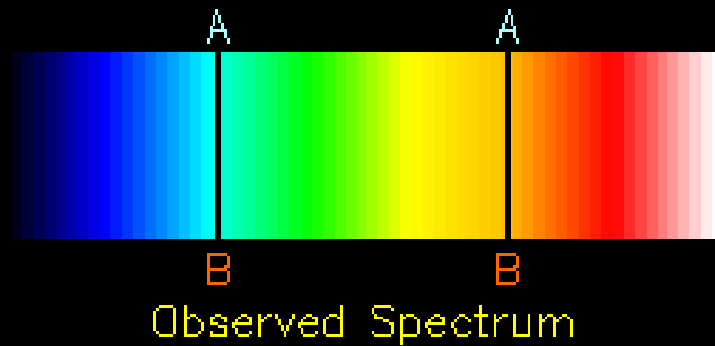
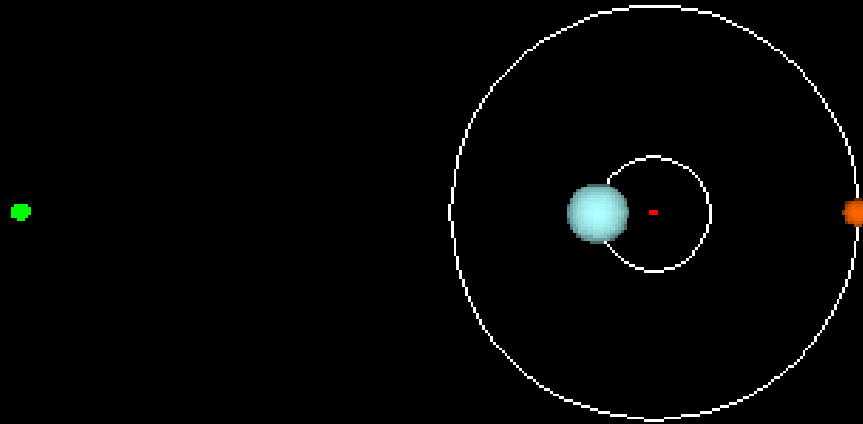
$$\frac{M_A}{M_B} = \frac{r_B}{r_A} = 2$$

$$(M_A + M_B) = 2M_B + M_B = 3,2M_\odot.$$

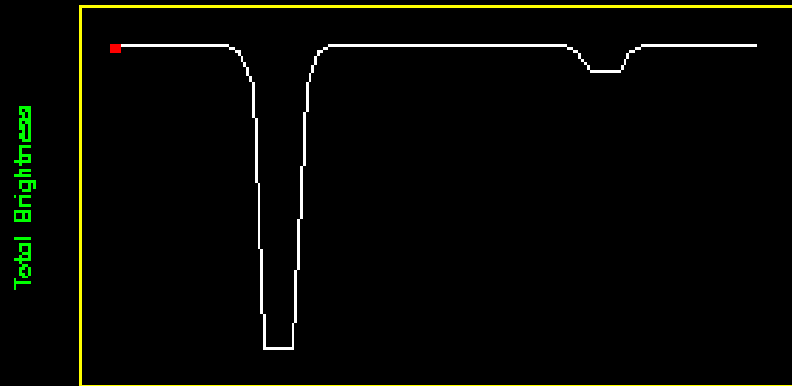
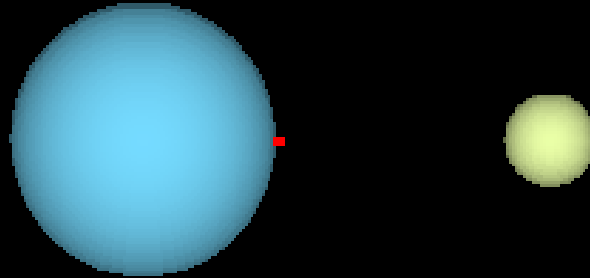
$$3M_B = 3,2 M_{\text{sol}}$$

$$M_B = 1,07M_\odot \rightarrow M_A = 2,13M_\odot.$$

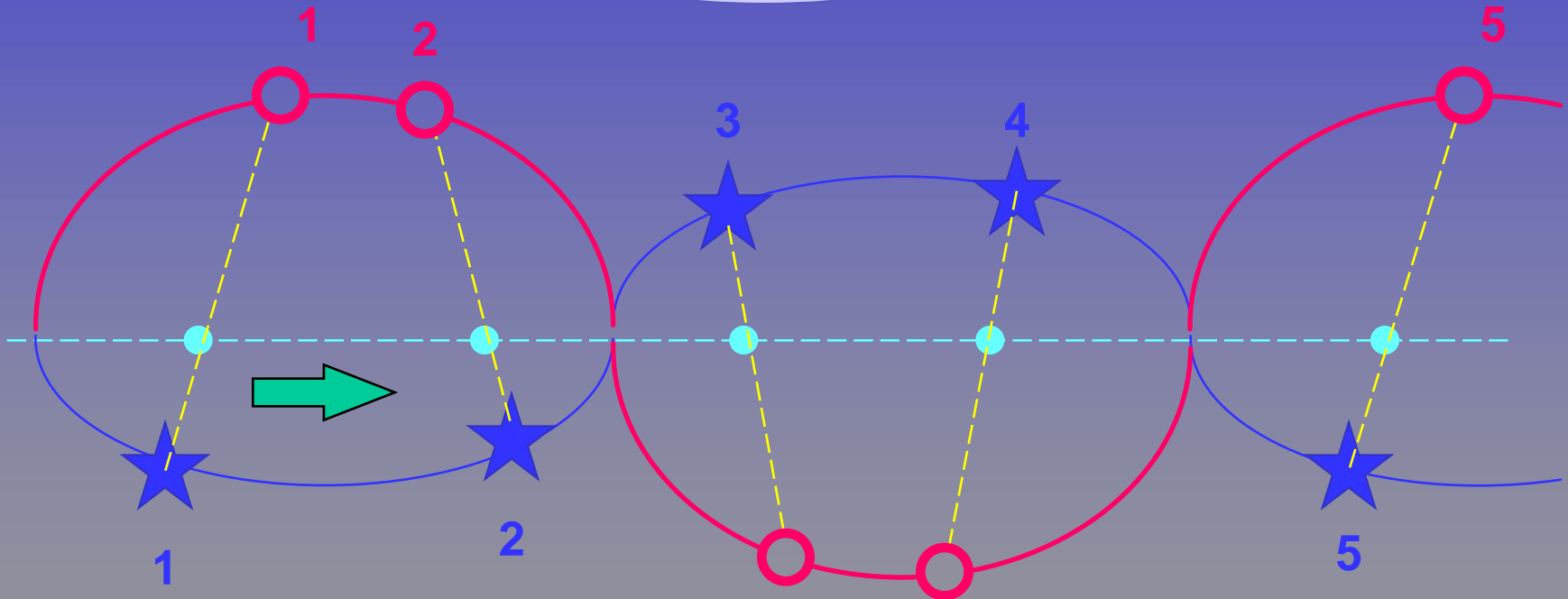
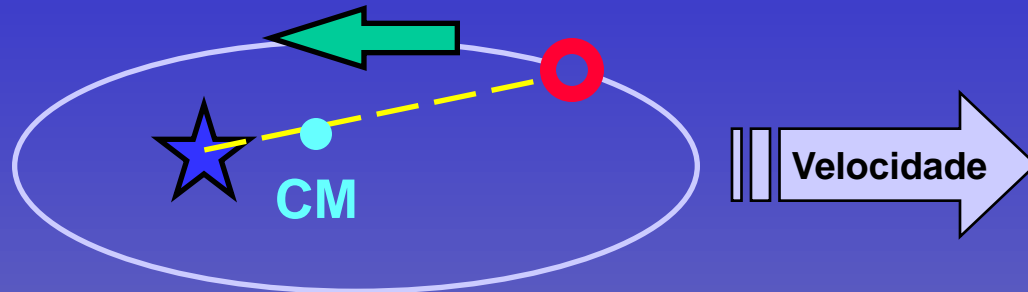
Binárias espectroscópicas



Binárias eclipsantes



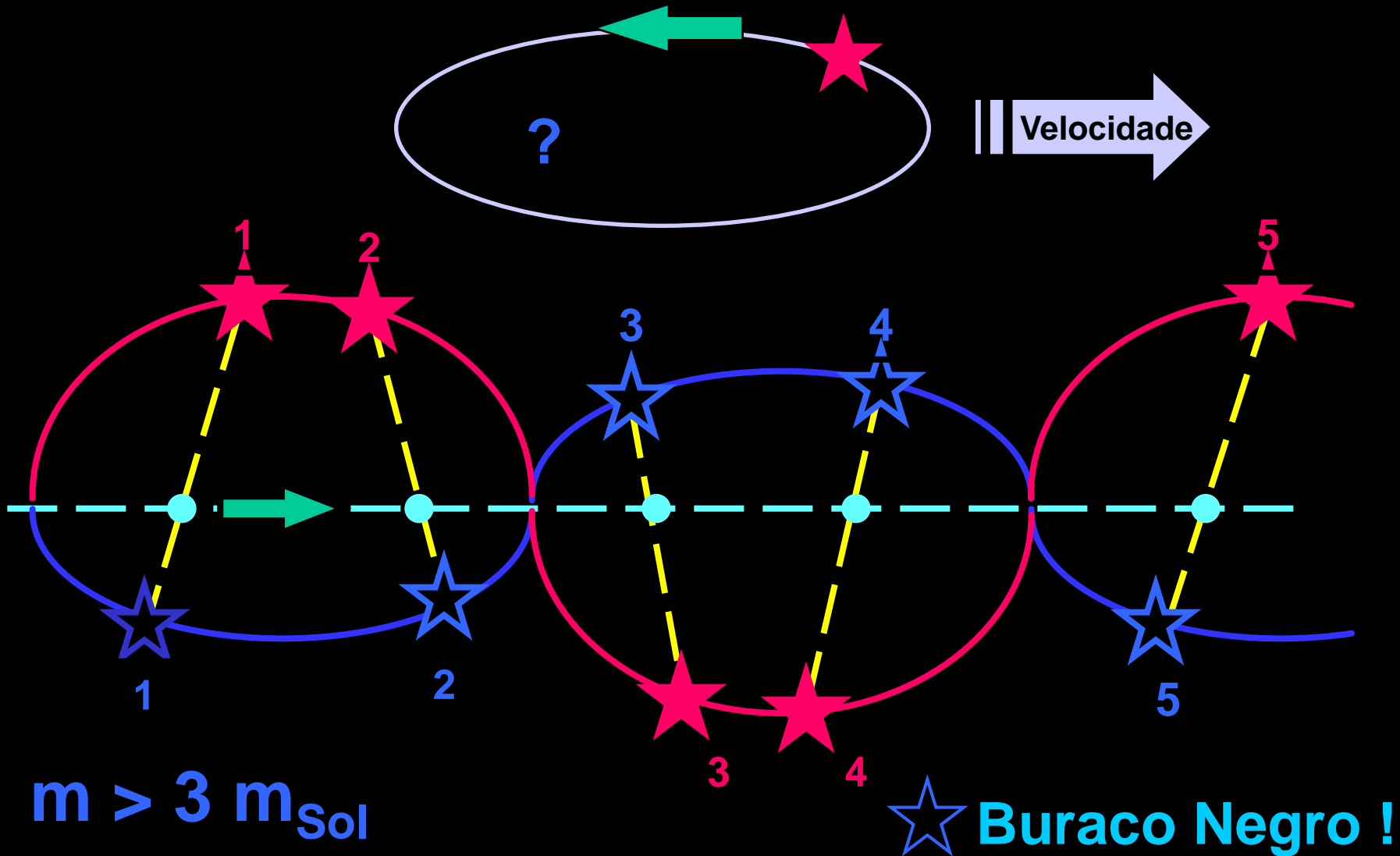
Sistema Planetário



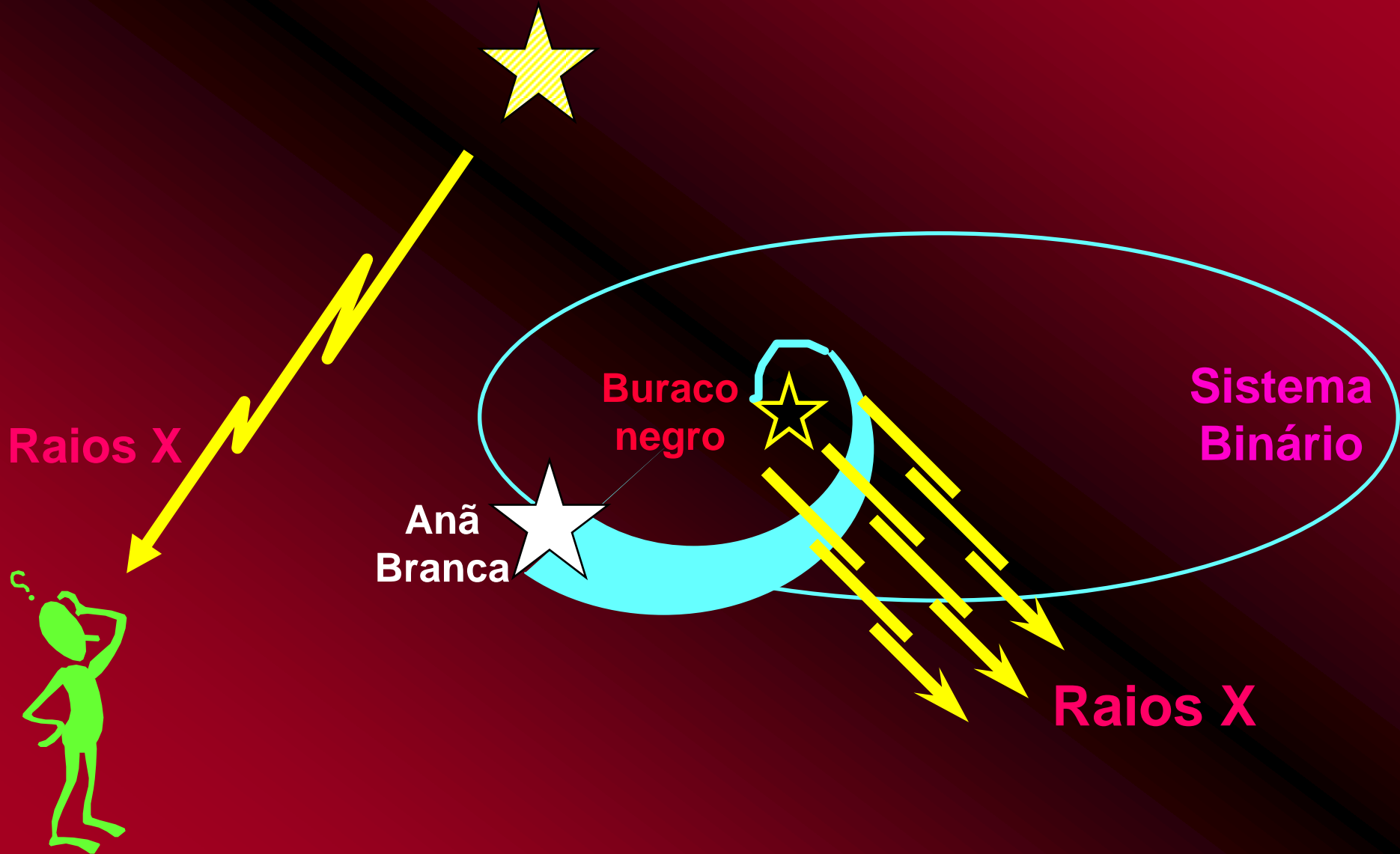
$m \lll m_{\text{Sol}}$

○ Planeta !

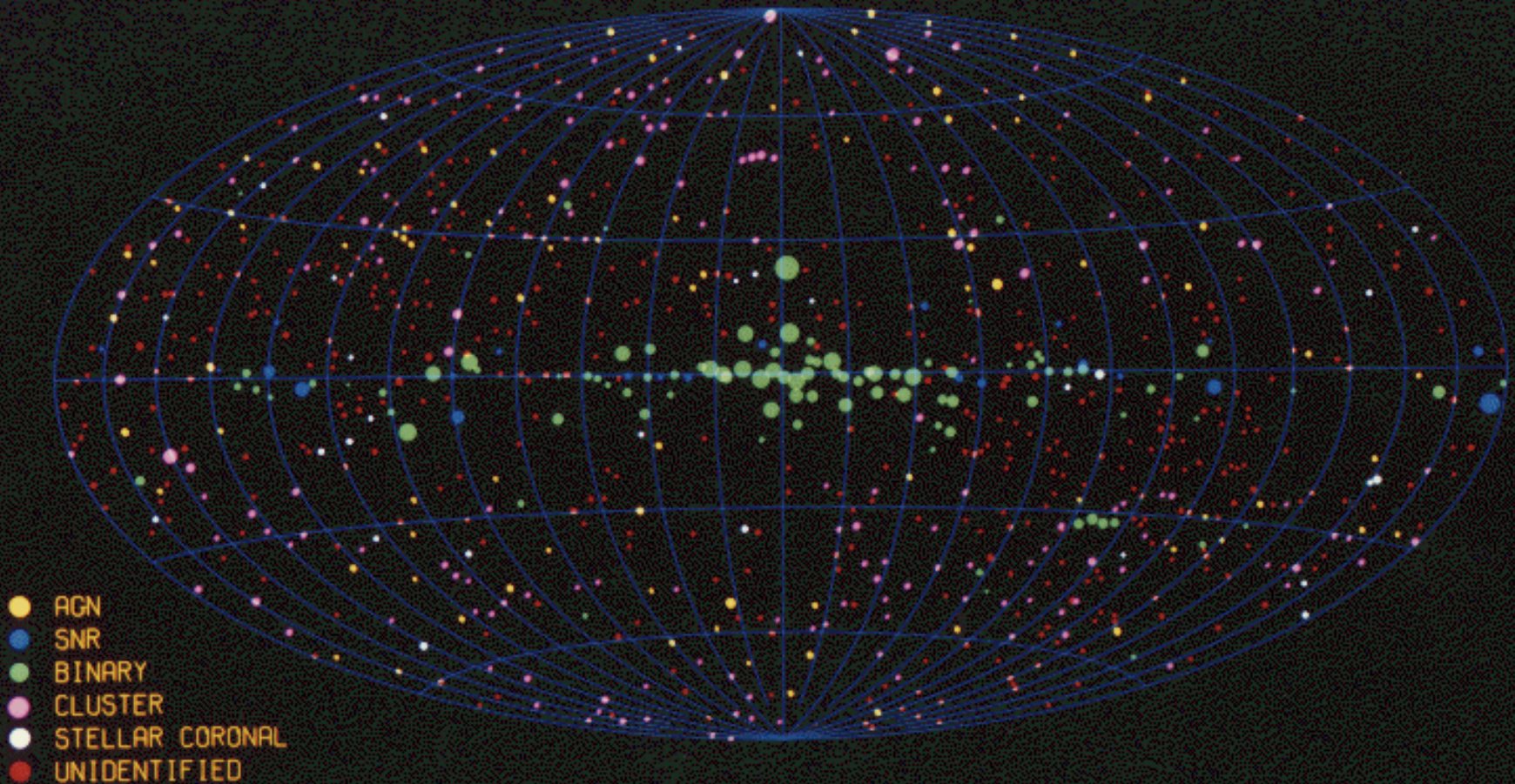
Sistema Binário de estrelas



Fontes de Raios X

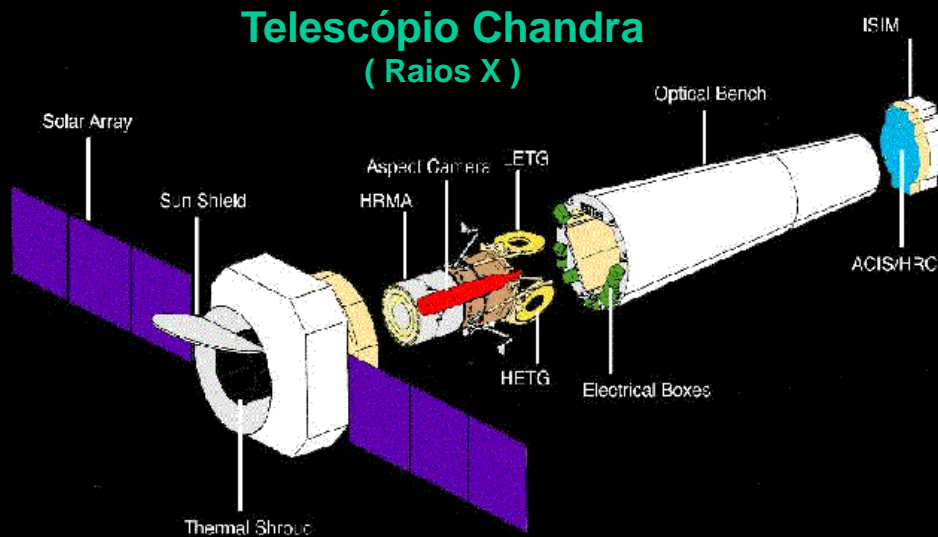


HEAO A-1 ALL-SKY X-RAY CATALOG
NAVAL RESEARCH LABORATORY



Fontes de Raios-X

1. Mission and Observatory Description

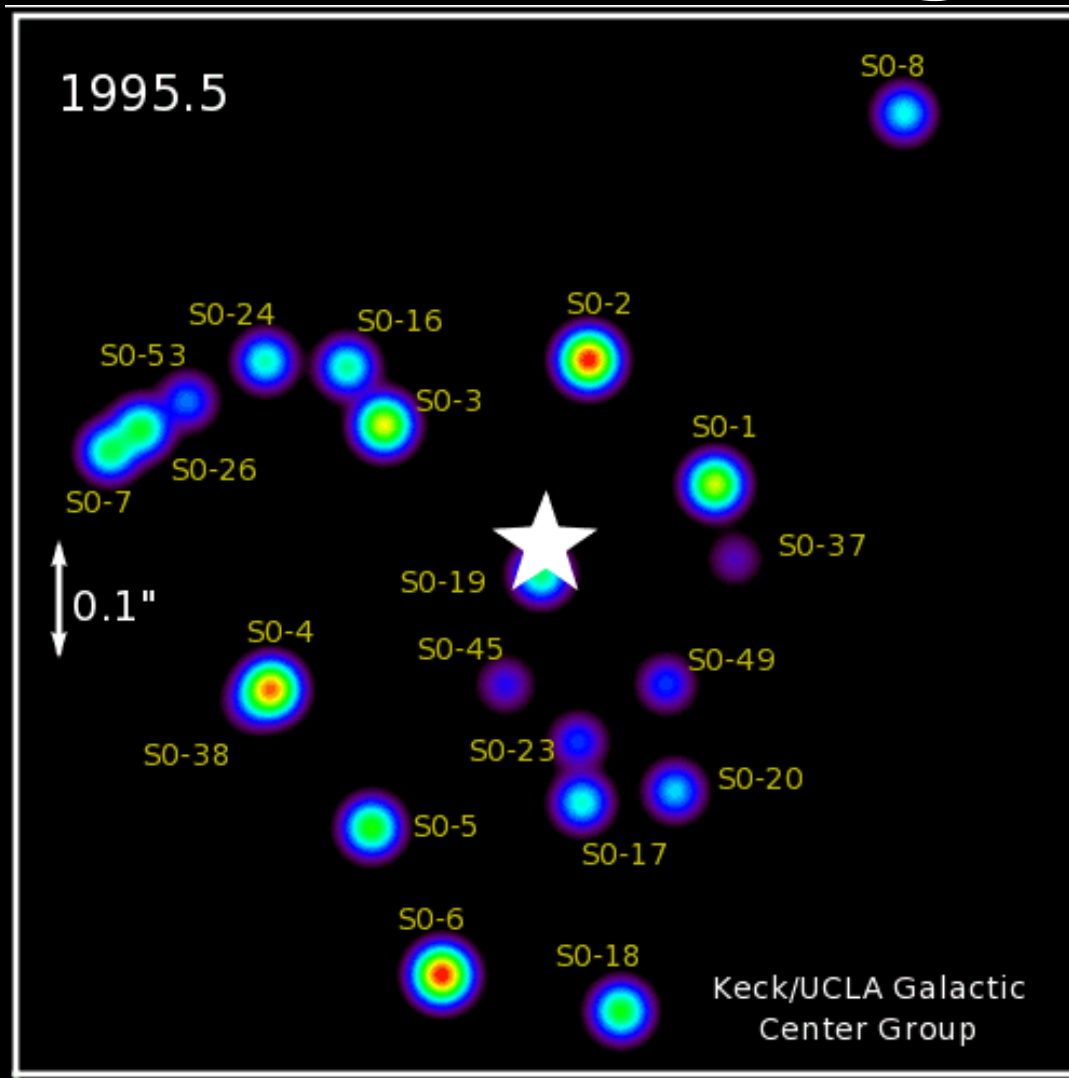


Fontes de raios-X no centro da Galáxia

Foto em raios-X do Centro Galáctico



Buraco negro no centro da nossa galáxia

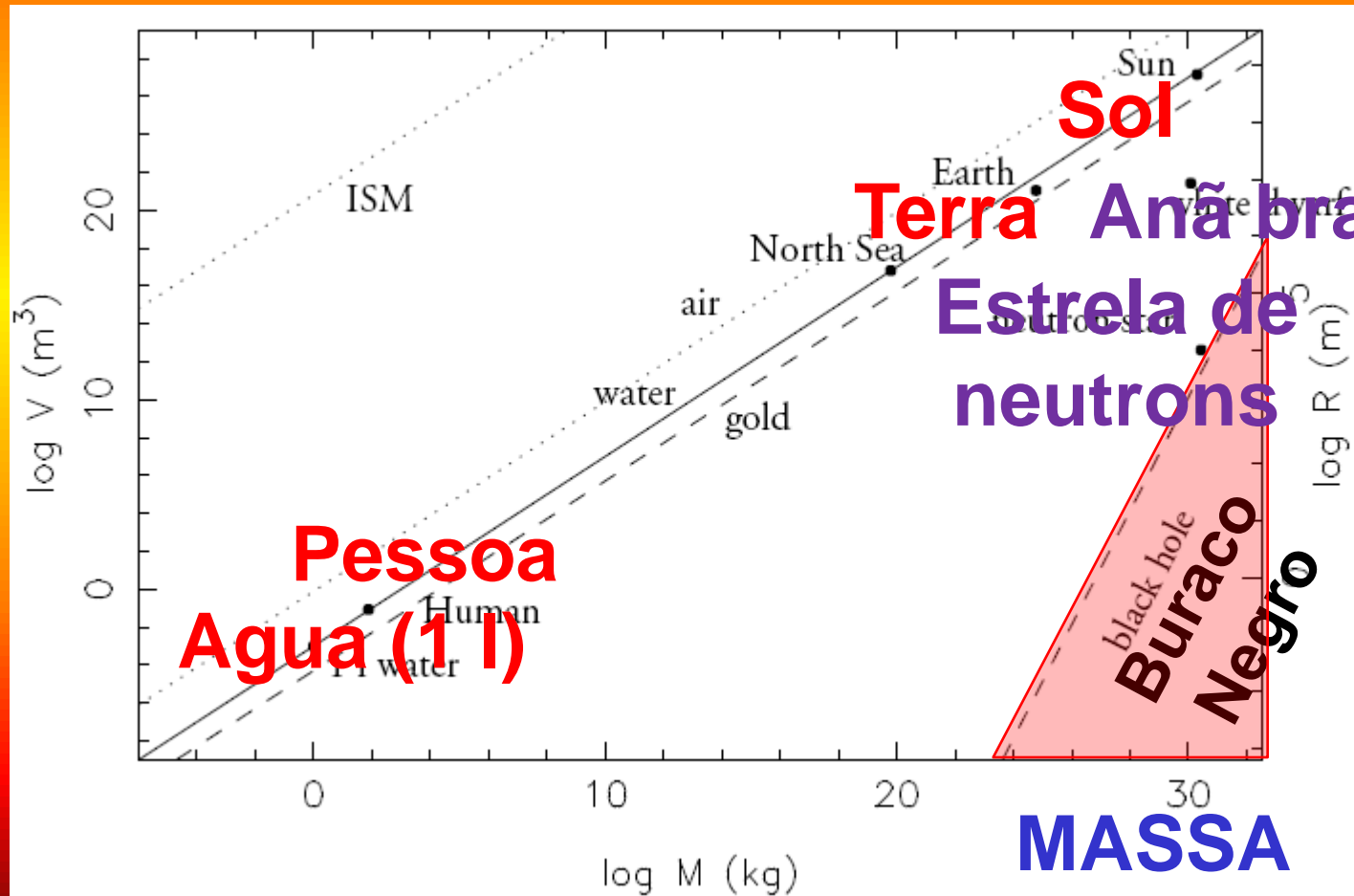


These orbits, and a simple application of Kepler's Laws, provide the best evidence for a supermassive black hole, which has a mass of **4 million times the mass of the Sun**. Especially important are the stars S0-2, which has an orbital period of only 15.78 years, and S0-16, which comes a mere 90 A.U. from the black hole

Será que a Terra poderá vir a ser um buraco negro?

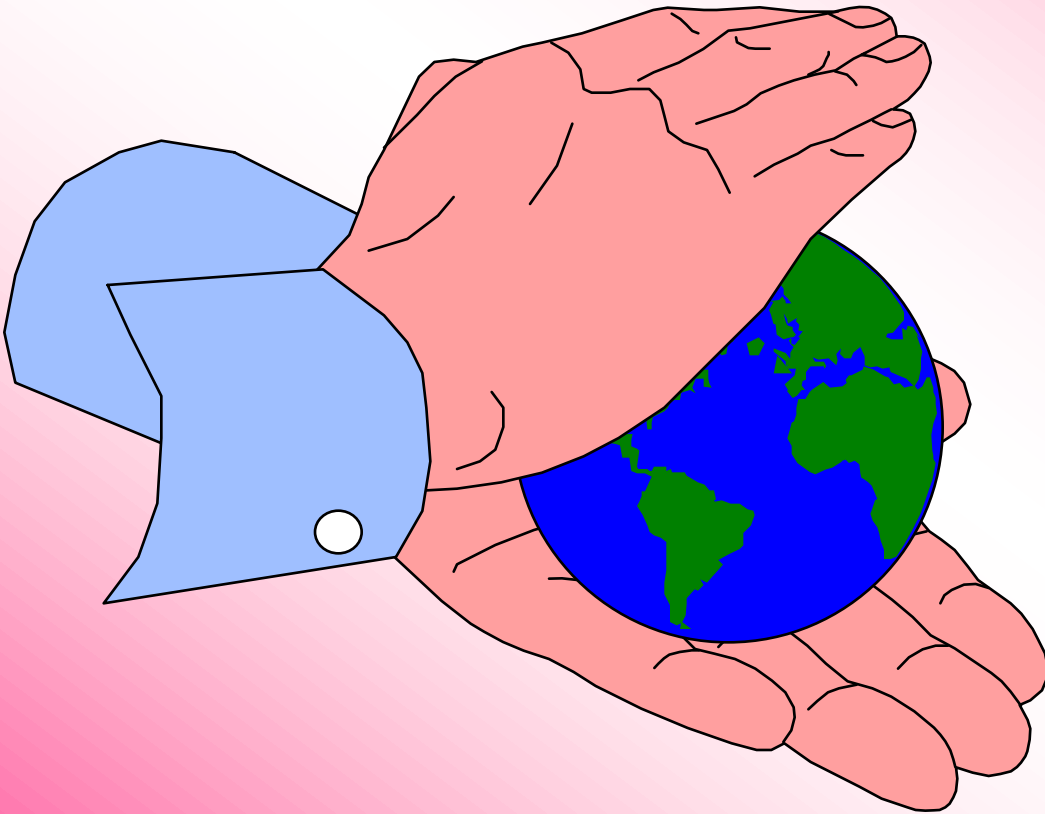
Não!

VOLUME



MASSA

Fabricar um Buraco Negro !



**Buraco
Negro Terra**

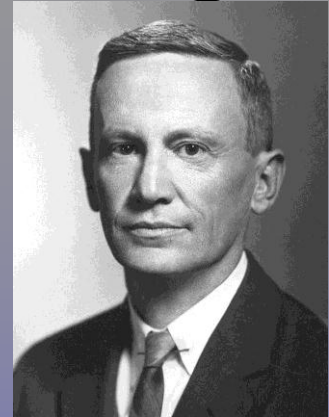
Para se tornar um Buraco Negro



R=?

Raio de Schwarzschild:

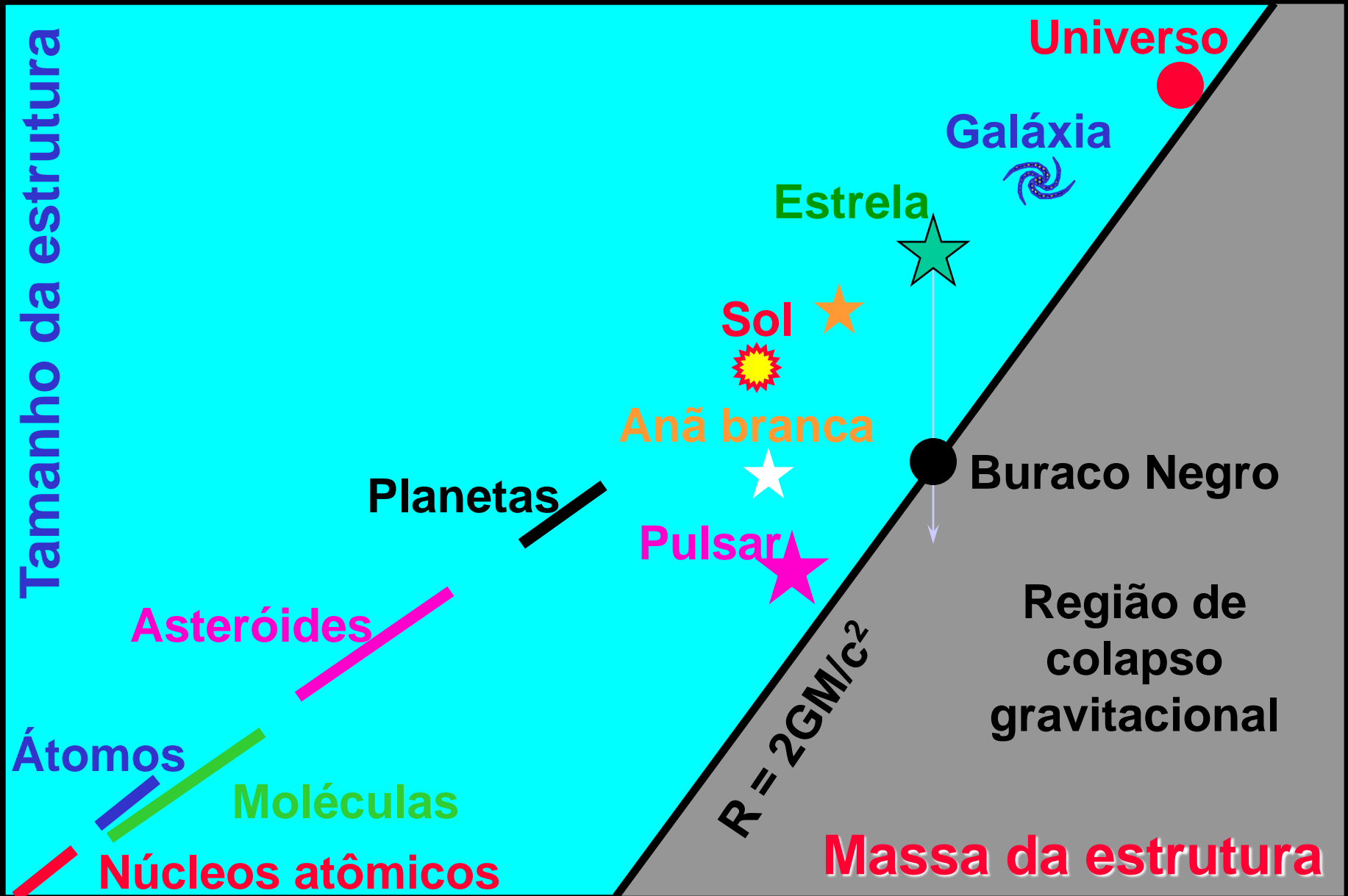
$$R = (2GM) / c^2$$



Schwarzschild

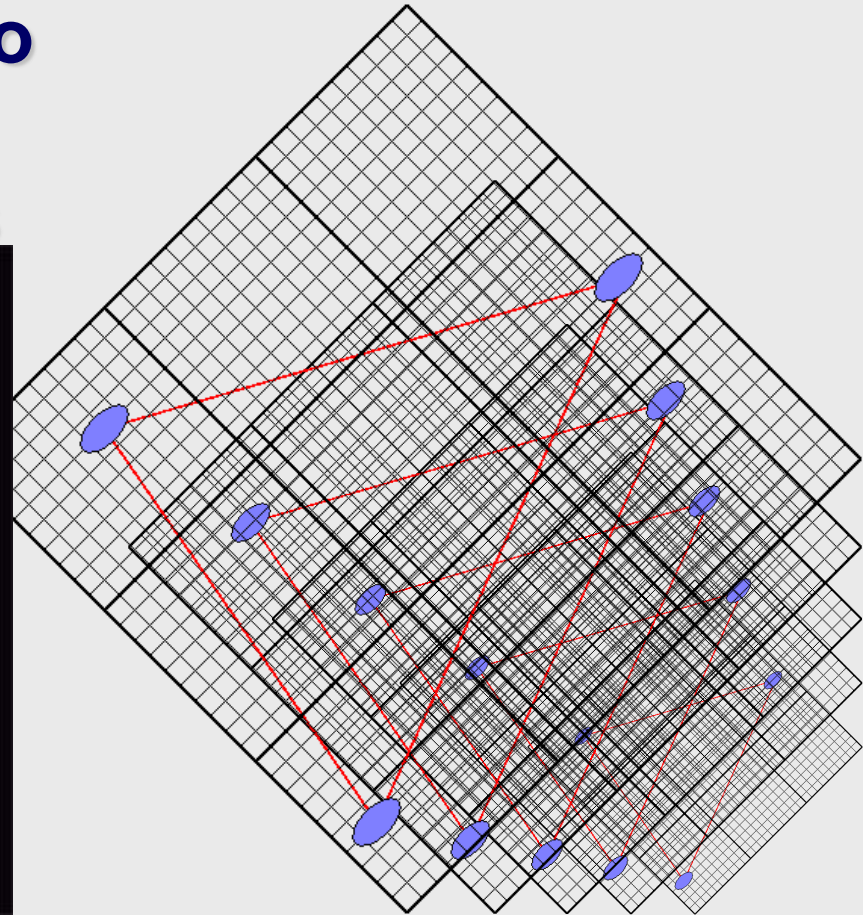
Corpo / sistema	Massa	Raio	Densid.
	$M_{\text{Sol}} = 2 \times 10^{30} \text{ kg}$		g/cm^3
Terra	$3 \times 10^{-6} M$	1 cm	10^{27}
Sol	1 M	3 km	10^{16}
Estrela Pesada	10 M	30 km	10^{14}
Galáxia	$10^{11} M$	0,03 AL	10^{-6}
Universo	?	?	?

Relação entre tamanho e massa



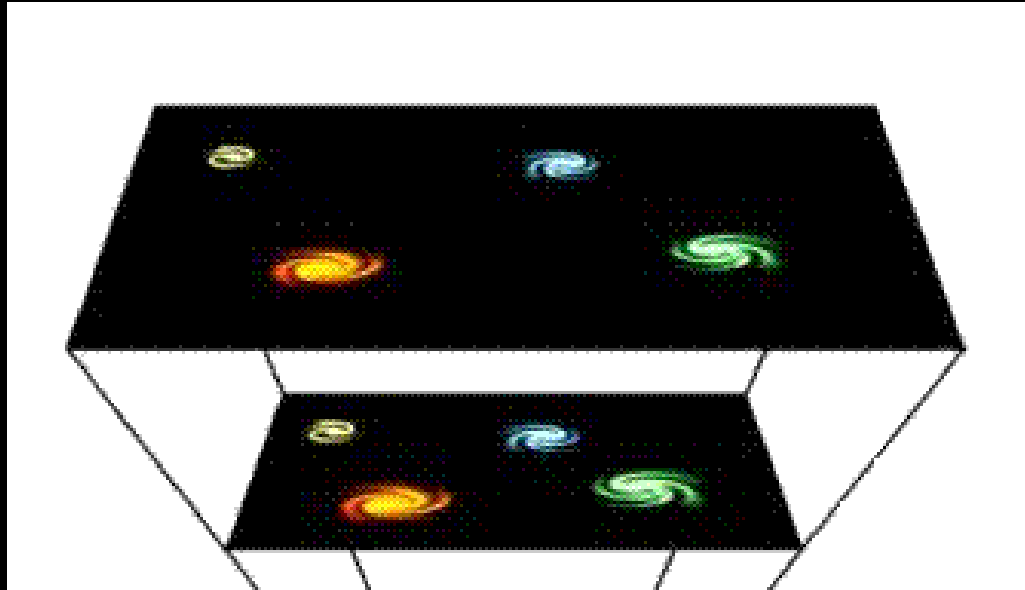
A expansão cosmológica

As galáxias estão se separando umas das outras

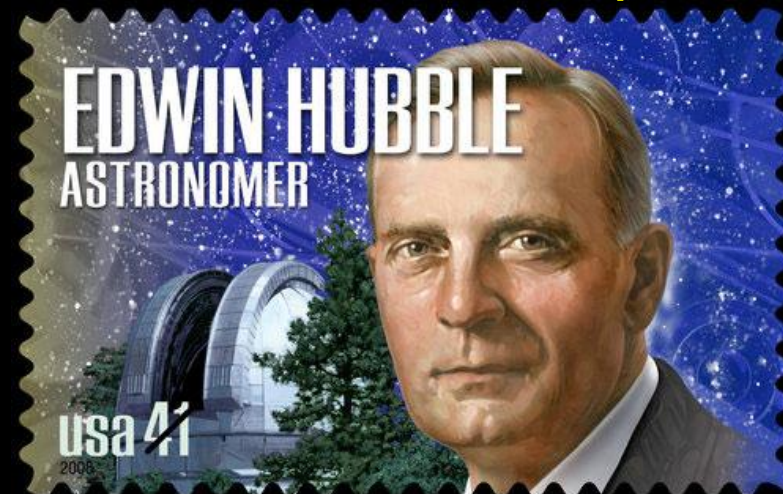
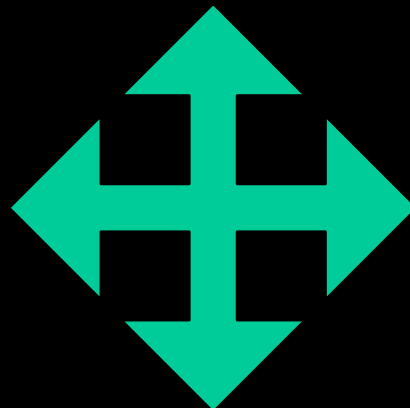


Expansão do Universo:

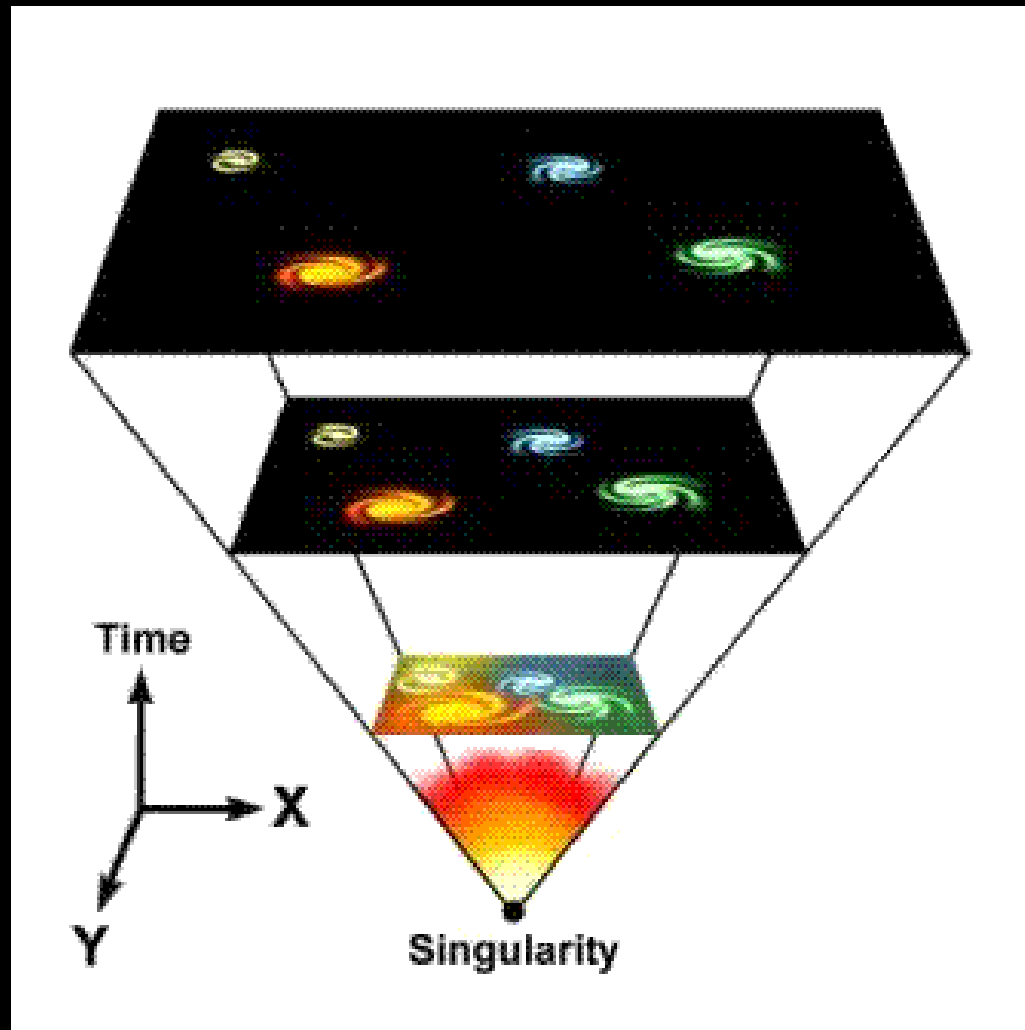
as galáxias estão se separando umas das outras



Em 1929 , Edwin Hubble mostrou que o Universo está em expansão



Expansão do Universo



O Universo começou com uma grande explosão (*big bang*)



Evolução do Universo

Há 13.7 Giga-anos

THE BIG BANG THEORY

TIME BEGINS

ONE SECOND

PRESENT DAY

Time	10^{-43} sec.	10^{-32} sec.	10^{-6} sec.	3 min.	300,000 yrs.	1 billion yrs.	15 billion yrs.
Temperature		10^{27} °C	10^{13} °C	10^8 °C	$10,000$ °C	-200°C	-270°C

1 The cosmos goes through a superfast "inflation," expanding from the size of an atom to that of a grapefruit in a tiny fraction of a second

2 Post-inflation, the universe is a seething, hot soup of electrons, quarks and other particles

3 A rapidly cooling cosmos permits quarks to clump into protons and neutrons

4 Still too hot to form into atoms, charged electrons and protons prevent light from shining; the universe is a superhot fog

5 Electrons combine with protons and neutrons to form atoms, mostly hydrogen and helium. Light can finally shine

6 Gravity makes hydrogen and helium gas coalesce to form the giant clouds that will become galaxies; smaller clumps of gas collapse to form the first stars

7 As galaxies cluster together under gravity, the first stars die and spew heavy elements into space; these will eventually form into new stars and planets

NOTE: The numbers in cosmology are so great and the numbers in subatomic physics are so small that it is often necessary to express them in exponential form. Ten multiplied by itself, or 100, is written as 10^2 . One thousand is written as 10^3 . Similarly, one-tenth is 10^{-1} , and one-hundredth is 10^{-2} .

Source: *The Birth of the Universe*; *The Kingfisher Young People's Book of Space*

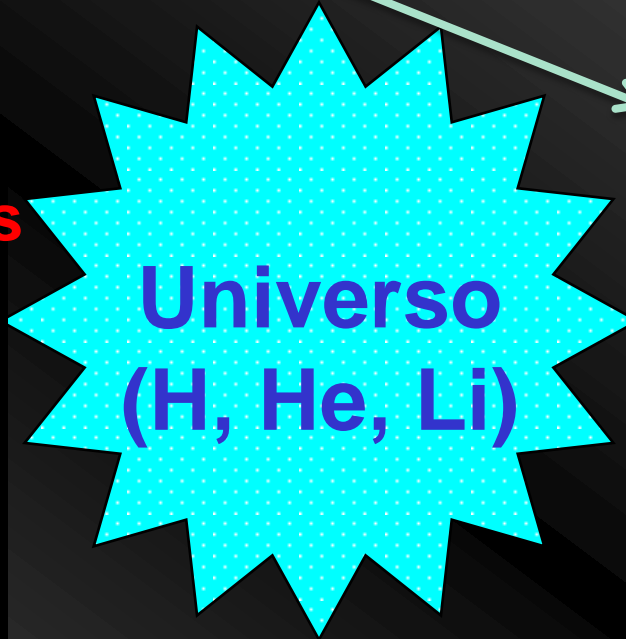
TIME Graphic by Ed Gabel

Instantes iniciais do Universo

Universo primordial



TEMPO



Universo
(H, He, Li)

Apenas os elementos leves foram formados nos primeiros minutos após a Big Bang

Férmions

Bósons

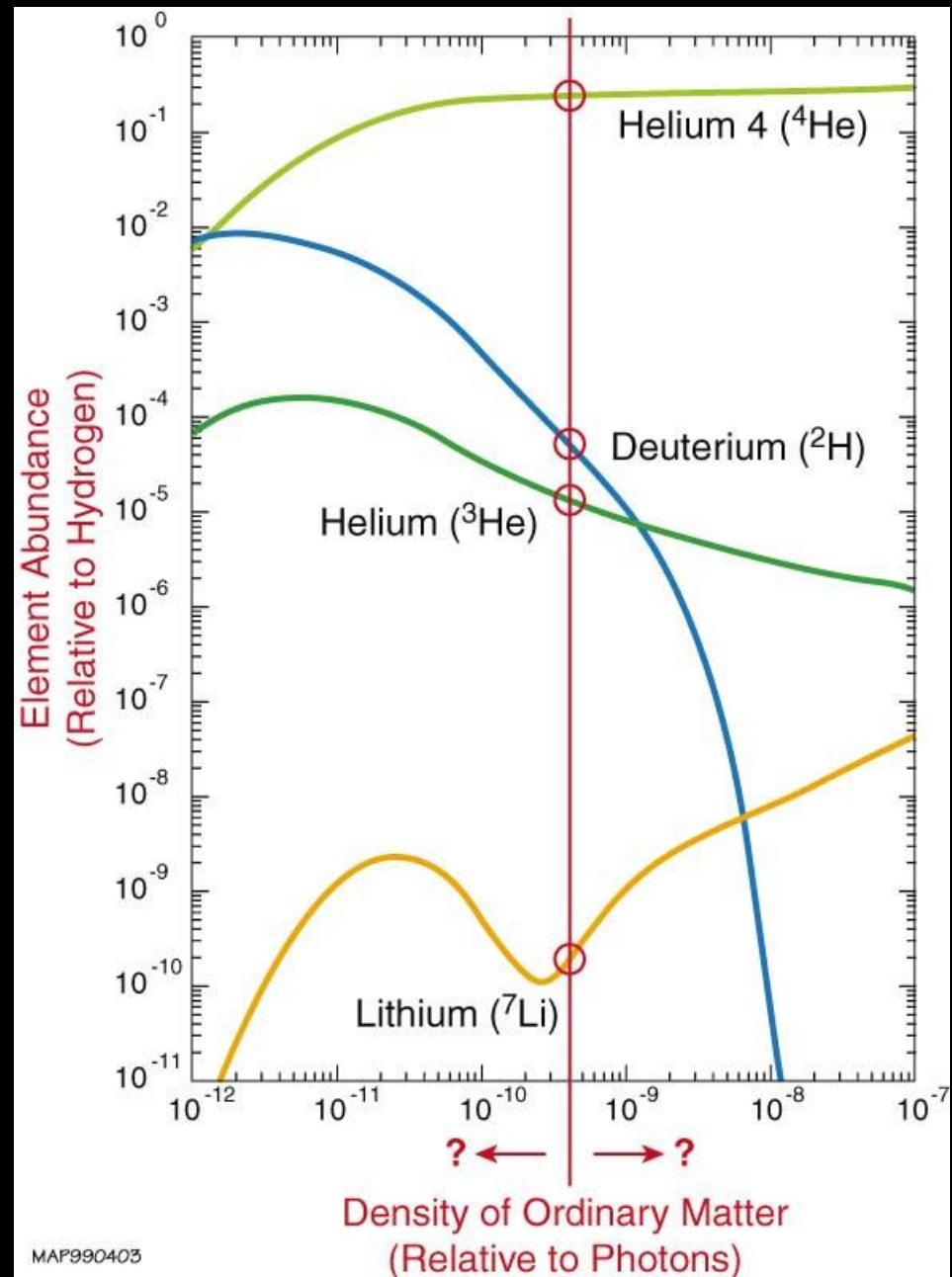
2.4 MeV $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ u up	1.27 GeV $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ c charm	171.2 GeV $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ t top	0 0 1 γ photon
4.8 MeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ d down	104 MeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ s strange	4.2 GeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ b bottom	0 0 1 g gluon
<2.2 eV 0 $\frac{1}{2}$ ν_e electron neutrino	<0.17 MeV 0 $\frac{1}{2}$ ν_μ muon neutrino	<15.5 MeV 0 $\frac{1}{2}$ ν_τ tau neutrino	91.2 GeV 0 1 Z weak force
0.511 MeV -1 $\frac{1}{2}$ e electron	105.7 MeV -1 $\frac{1}{2}$ μ muon	1.777 GeV -1 $\frac{1}{2}$ τ tau	80.4 GeV ± 1 1 W[±] weak force

Quarks

Leptons

Bosons (Forces)

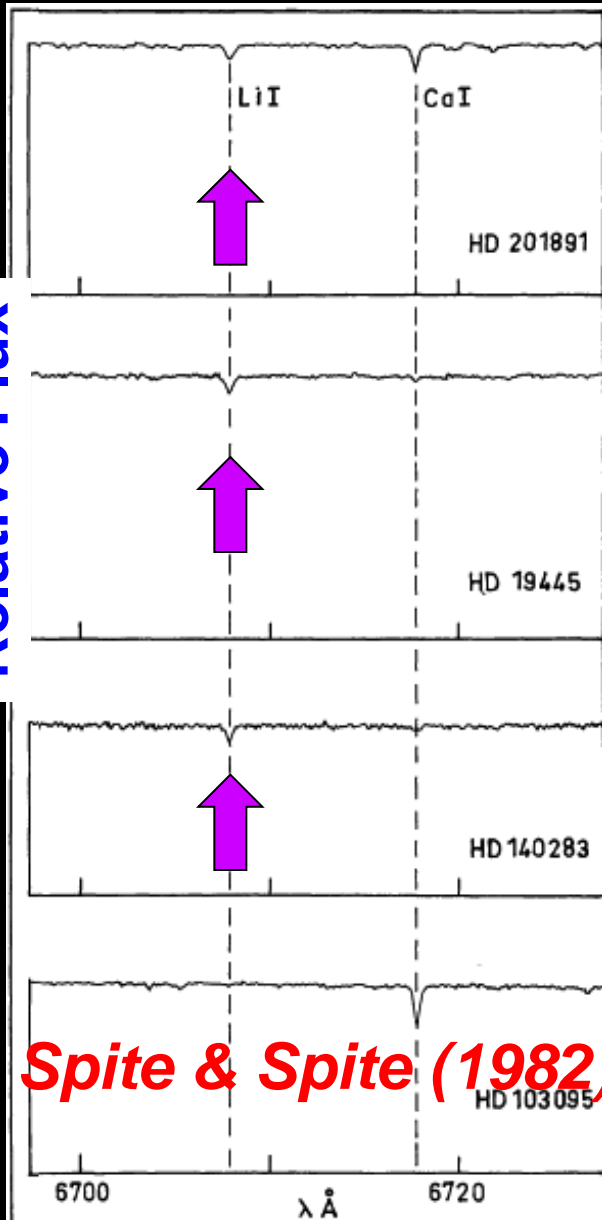
Apenas os
elementos leves
 ^1H , ^2H , ^3He , ^4He ,
 ^7Li se formaram
logo após o Big
Bang



credits: NASA

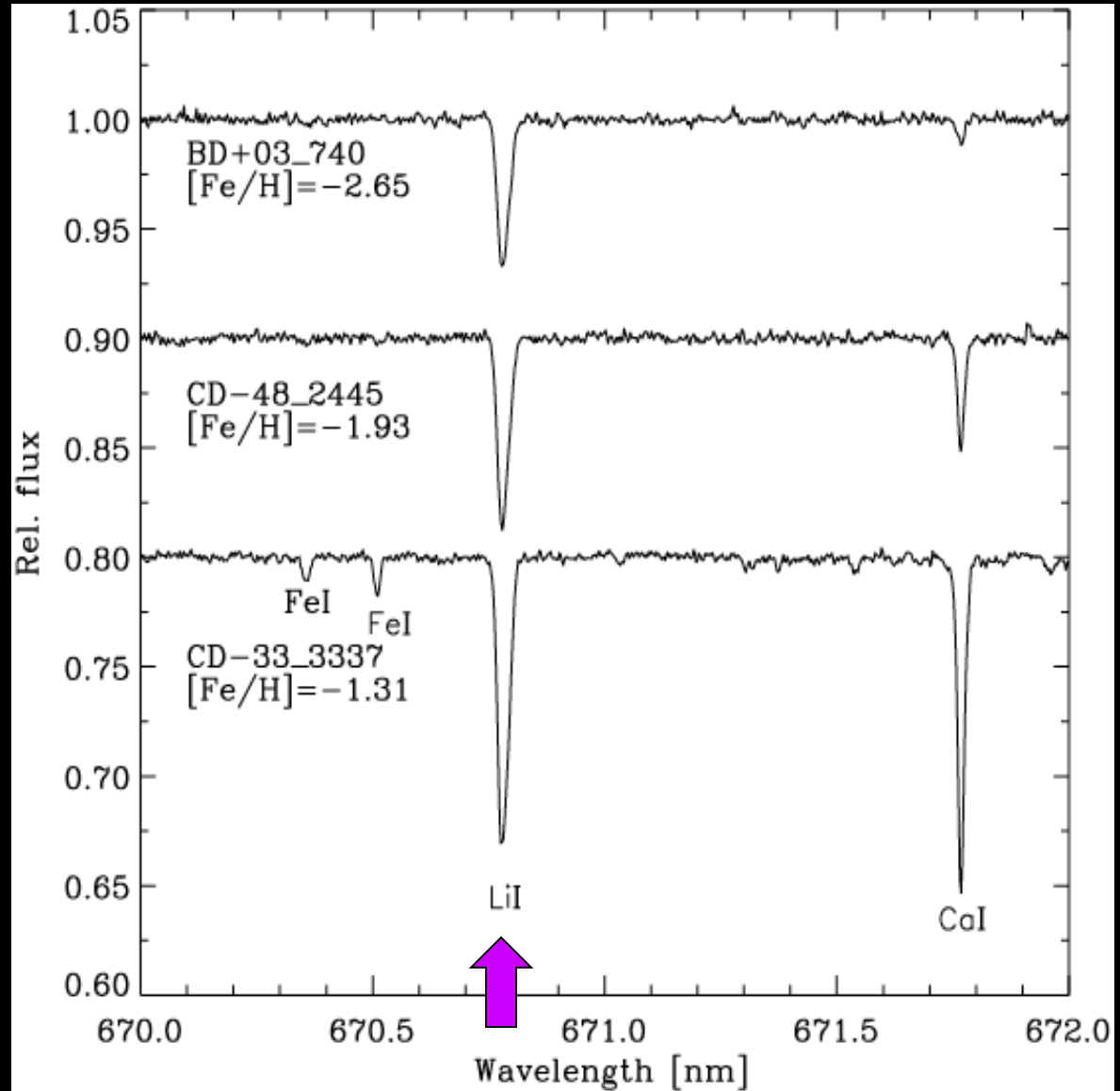
Is relic Li observed in metal-poor stars?

Relative Flux



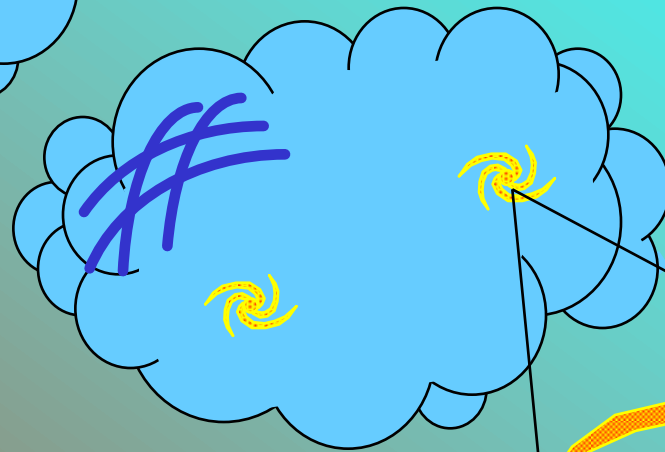
Spite & Spite (1982)

Wavelength



Asplund et al. (2006)

Formação de galáxias por fragmentação



Galáxias

Galáxia de Andrômeda



Aglomerado de galáxias



Hubble Deep Field

HST WFPC2

ST ScI, OPO, January 15, 1996, B. Williams and the HDF Team (ST ScI) and NASA

Do Big Bang à Vida



Escalas de tempo

Big Bang:
13,7 Giga-anos

Formação de
primeiras estrelas
na Nossa Galáxia há
12-12,5 Giga-anos



Formação da
Terra e do Sol
há **4.6 Giga-anos**



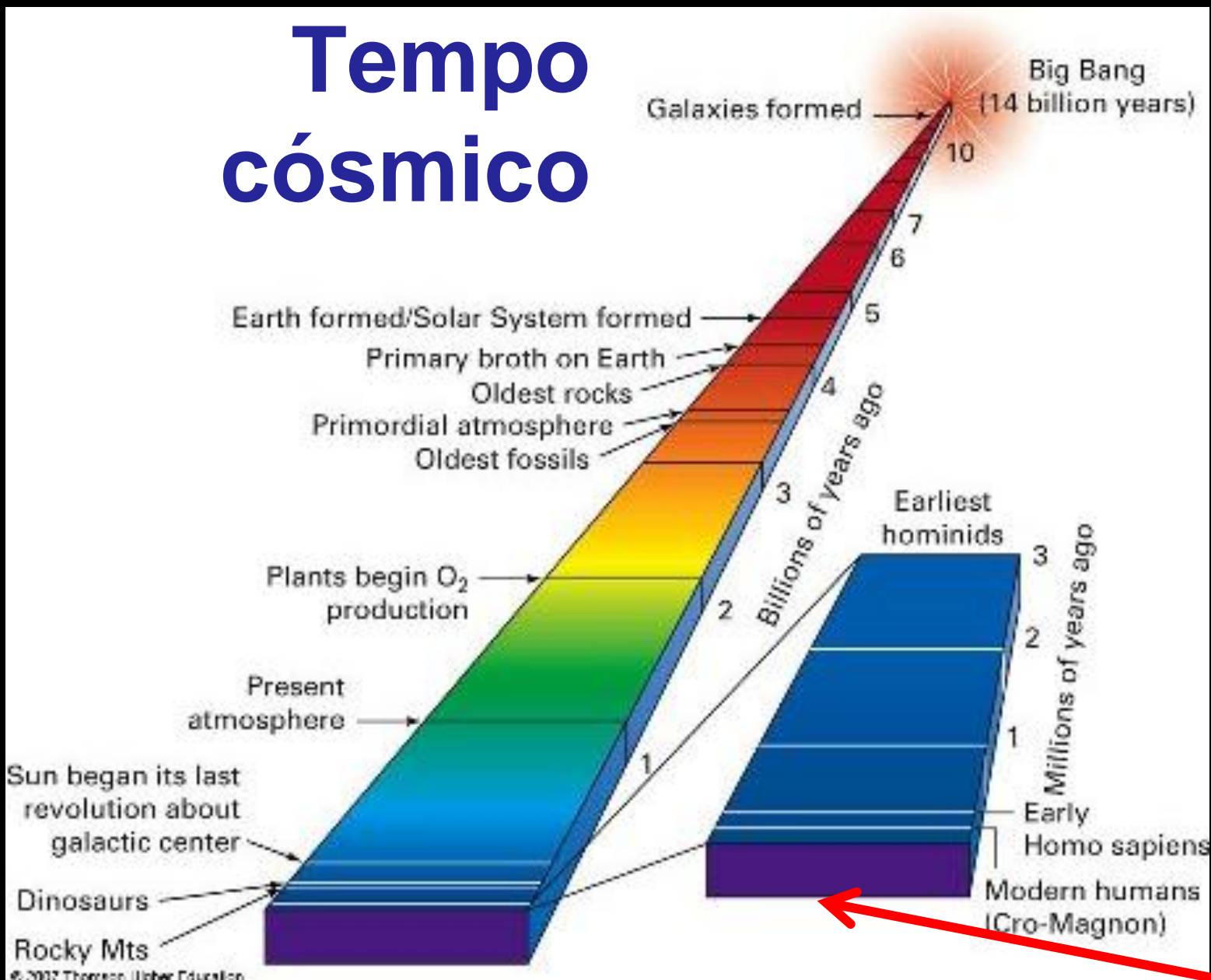
Terra



**Nossa civilização tem
aprox. 10 000 anos,
apenas um instante na
história do Universo**

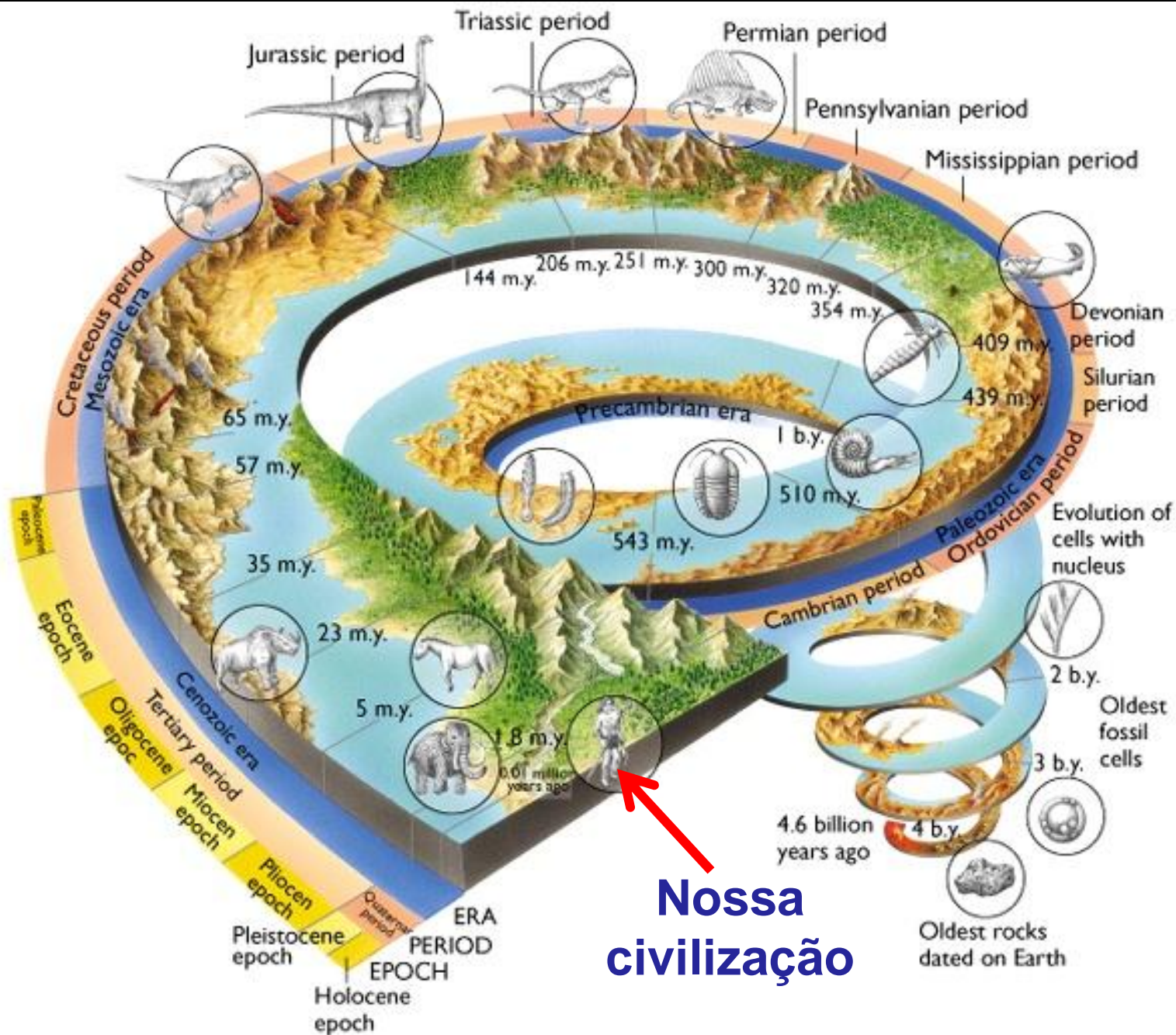


Tempo cósmico



Nossa civilização

Escalas de tempo desde a origem da Terra



**Nossa
civilização**

Se a idade do Universo fosse de 1 ano ...

Agricultura ~ há 23 segundos

Civilizações ~ há 10 segundos

Descoberta do Brasil ~ há 1 segundo

Lei da gravitação universal ~ há 0,7 segundos

Computadores pessoais ~ há 0,07 segundos

Internet ~ há 0,05 segundos

Twitter ~ há 0,01 segundos



EVOLUÇÃO QUÍMICA

H, He, Li no Big Bang



Periodic Table of the Elements

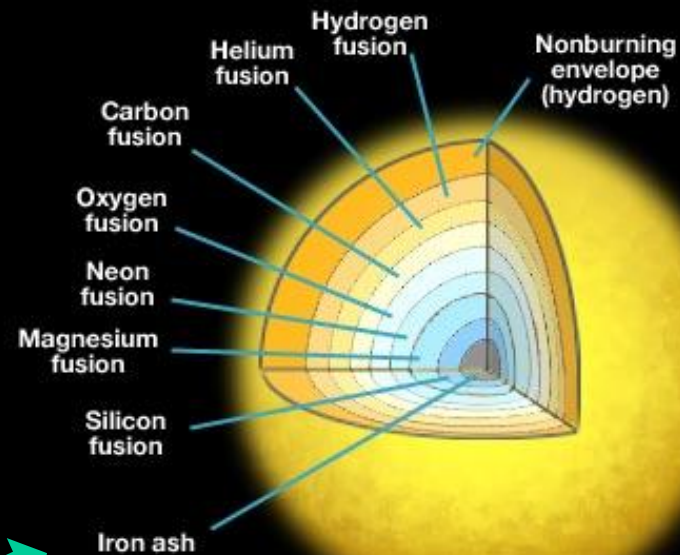
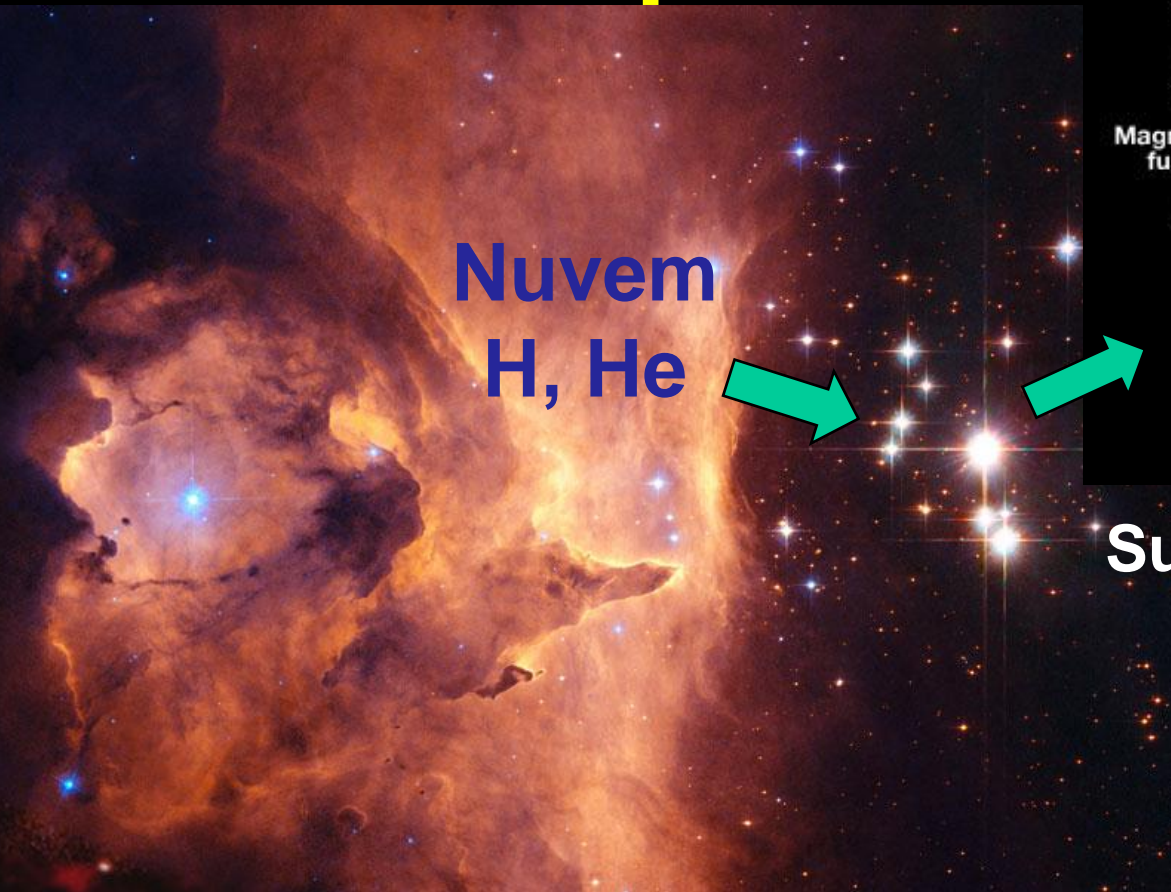
1A	1	H	IA	2	10	He	0																													
2	3	Li	4	5	6	7	8	9	10	11A	12	13	14	15	16	17	18																			
3	11	12	IIIB	IVB	VB	VIB	VIIB	— VII —	IIB	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36									
4	19	20	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
5	37	38	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	
6	55	56	*La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	
7	87	88	+Ac	Rf	Ha	Sg	Ns	Hs	Mt	110	111	112	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113			

* Lanthanide Series	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
+ Actinide Series	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

Formação de Galaxias do gás primordial de H, He



Formação de primeiras estrelas e elementos químicos

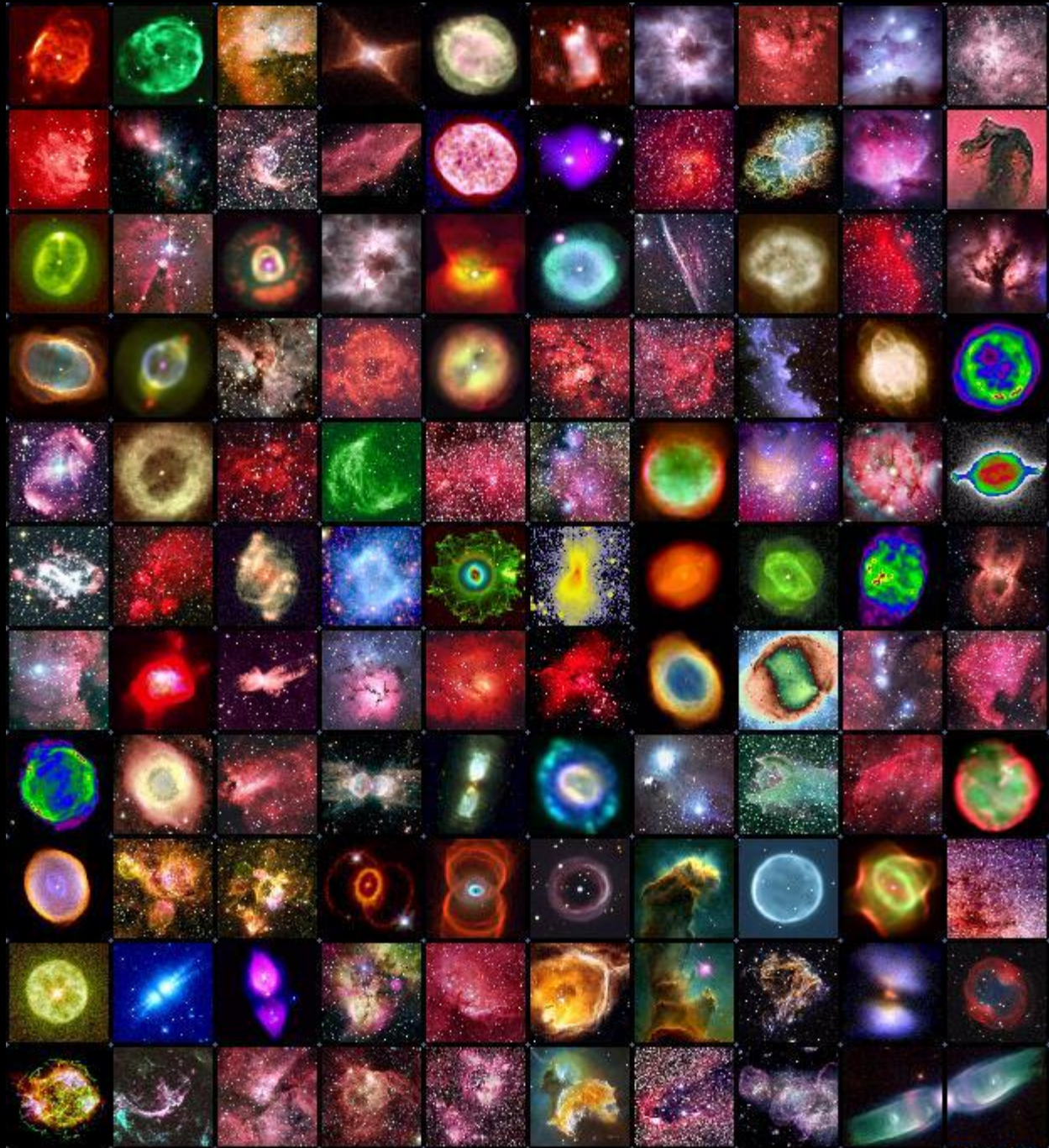


Supernova rica em metais

A green arrow points from the star diagram down to the supernova image.

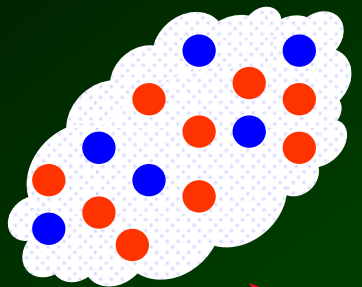


Nebulosas: Nascimento e Morte



Formação contínua de estrelas

Meio interestelar



Matéria ejetada rica em metais

Estrela



Alta Massa

Buraco negro



Baixa Massa



Anã Branca

Massa escura



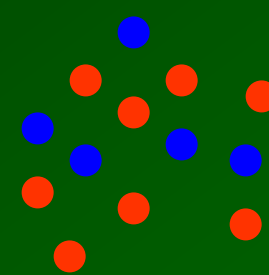
Estrela de nêutrons



Massa Intermediária



Super-nova



Após 12 bilhões de anos, apenas **2%** do gás em nossa Galáxia é “**metais**”, o resto (**98%**) é **H e He**

GALAXIA LA VIA LACTEA

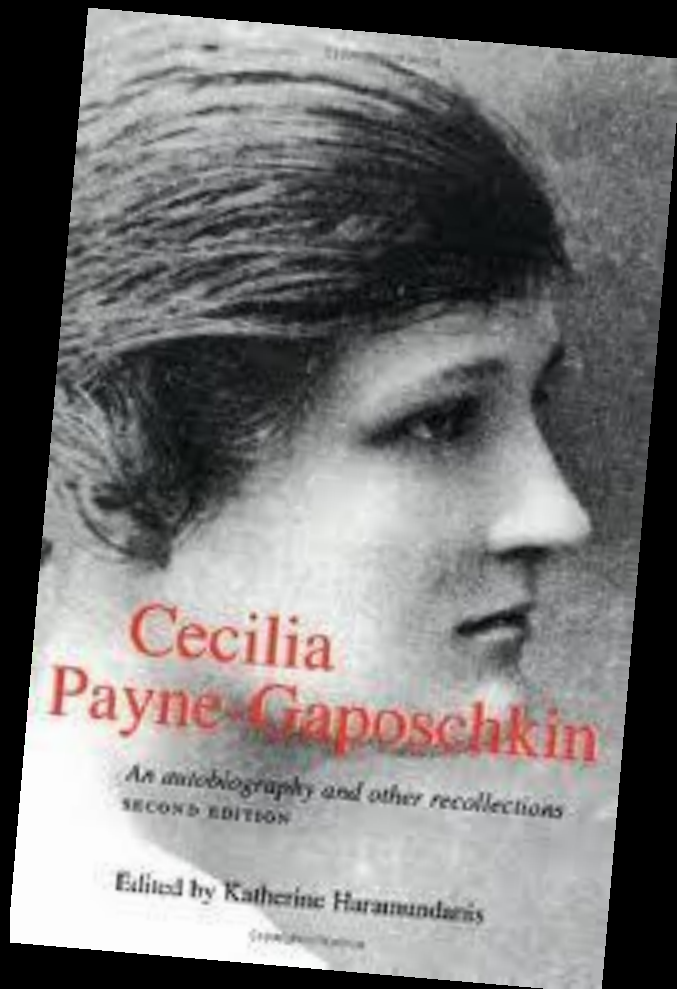


Nuestro sistema solar

Composição química de estrelas:

Cecilia Payne-Gaposchkin

(May 10, 1900 – December 7, 1979)



1919: Botânica, Física e Química em Cambridge (UK)

1922: iniciar estudos de astronomia nos Estados Unidos (Harvard)

1925: Tese de doutorado

H e He são os elementos mais abundantes em estrelas

A handwritten signature of Cecilia Payne Gaposchkin in black ink on a white background. The signature is written in a cursive, flowing style.

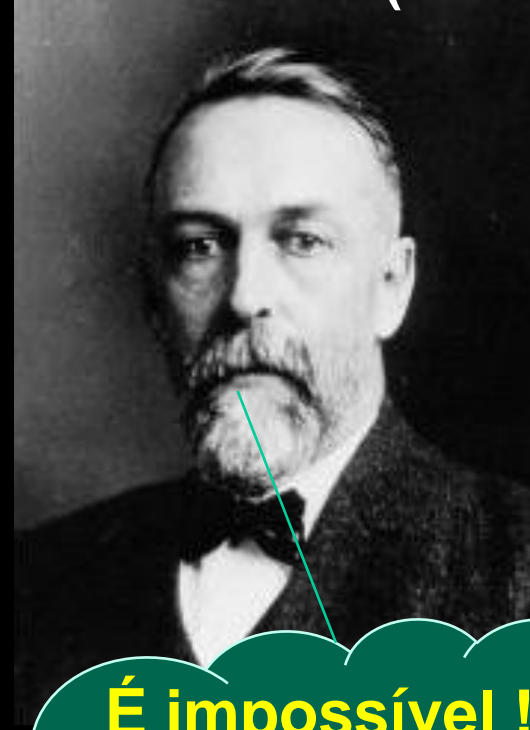


**Shapley: diretor do Harvard observatory
(supervisor da Cecilia Payne)**



Cecilia foi praticamente obrigada a mencionar na tese de doutorado que seus resultados sobre a alta abundância de H e He poderiam estar errados

Professor Russell (Princeton)



**É impossível !,
o Sol NÃO é
composto majormente
de H e He**

4 anos depois Russell publicou um paper anunciando que o Sol é majormente H ...

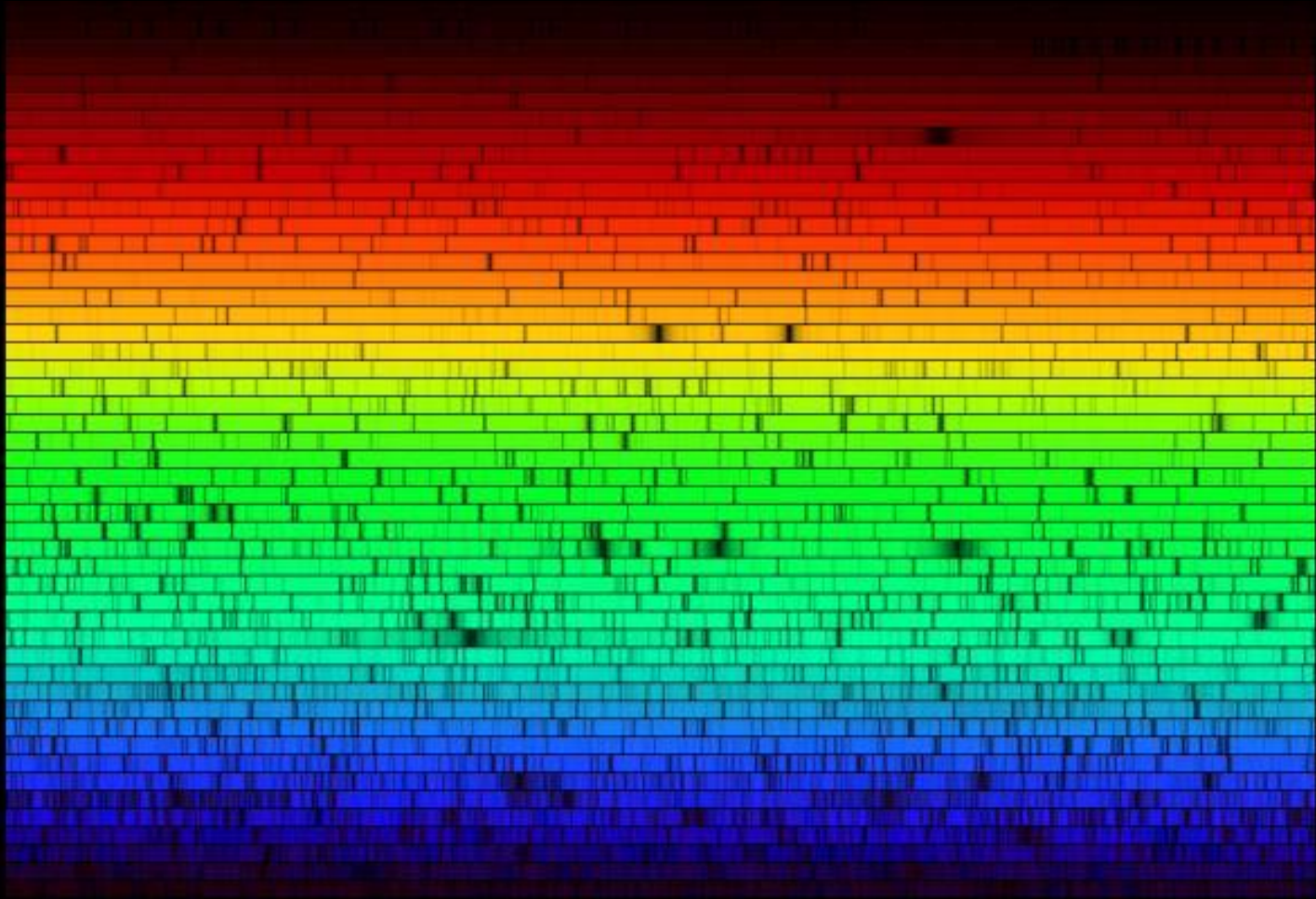
Cecilia Payne, uma astrônoma brilhante mas injustiçada

“PROBLEMAS”:

- Mulher
- Jovem (doutorado aos 25 anos, em 1925)
- Excepcionalmente brilhante
- Foi obrigada a mudar de área
- Foi subestimada ...
- Contratada apenas como assistente
- Foi nomeada Professora apenas em 1956



Composição química de estrelas



Beatriz Barbuy (IAG/USP)

pioneira no Brasil no estudo da
composição química de estrelas

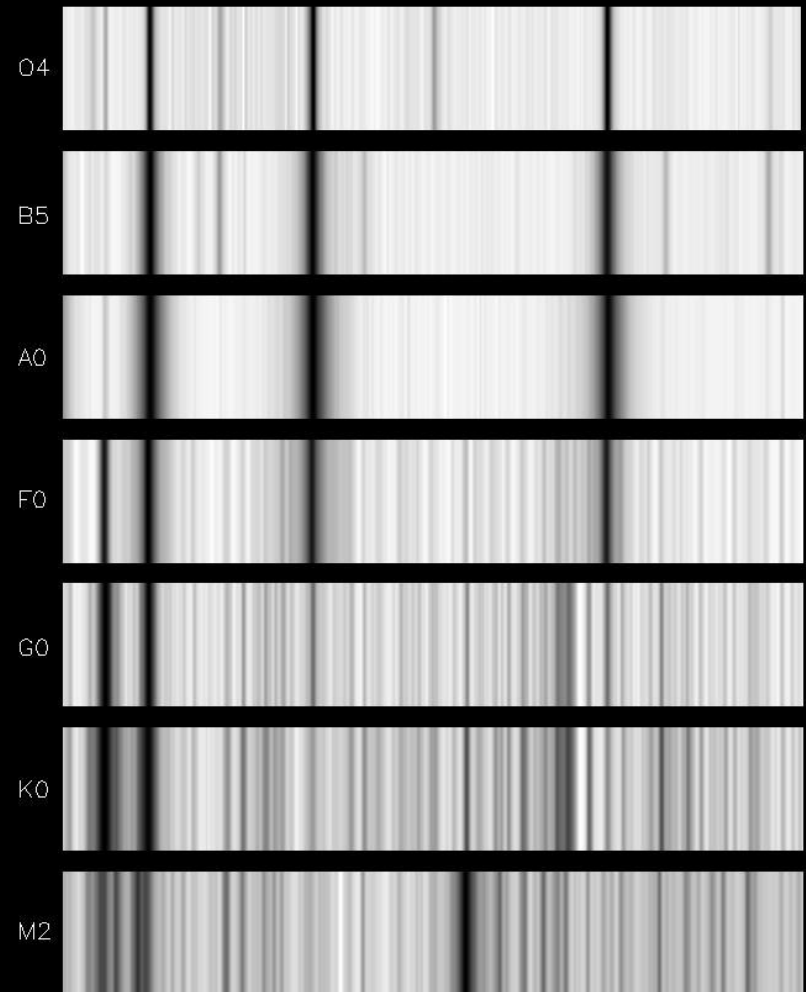


Tabela Periódica dos Elementos

1 1A H Hidrogênio 1.00794	2 IIA He Hélio 4.002602											13 IIIA B Boro 10.811	14 IVA C Carbono 12.0107	15 VA N Nitrogênio 14.00674	16 VIA O Oxigênio 15.9994	17 VIIA F Flúor 18.9984032	18 VIIIA Ne Neônio 20.1797
3 Li Lítio 6.941	4 Be Berílio 9.012182											5 B Boro 10.811	6 C Carbono 12.0107	7 N Nitrogênio 14.00674	8 O Oxigênio 15.9994	9 F Flúor 18.9984032	10 Ne Neônio 20.1797
11 Na Sódio 22.989770	12 Mg Magnésio 24.3050	3 IIIB	4 IVB	5 VB	6 VIB	7 VIIB	8	9 VIIIB	10	11 IB	12 IIB	13 Al Alumínio 26.981538	14 Si Silício 28.0855	15 P Fósforo 30.973761	16 S Enxofre 32.066	17 Cl Cloro 35.453	18 Ar Argônio 39.948
19 K Potássio 39.0983	20 Ca Cálcio 40.078	21 Sc Escândio 44.955910	22 Ti Titânio 47.887	23 V Vanádio 50.9415	24 Cr Cromo 51.9961	25 Mn Manganês 54.938049	26 Fe Ferro 55.8457	27 Co Cobalto 58.933200	28 Ni Níquel 58.6934	29 Cu Cobre 63.546	30 Zn Zinco 65.409	31 Ga Gálio 69.723	32 Ge Germânio 72.64	33 As Arsênio 74.92160	34 Se Selênio 78.96	35 Br Bromo 79.904	36 Kr Criptônio 83.798
37 Rb Rubídio 85.4678	38 Sr Estrôncio 87.62	39 Y Ítrio 88.90585	40 Zr Zircônio 91.224	41 Nb Nióbio 92.90638	42 Mo Molibdênio 95.94	43 Tc Técncio (98)	44 Ru Rutênio 101.07	45 Rh Ródio 102.90550	46 Pd Paládio 106.42	47 Ag Prata 107.8682	48 Cd Cádmio 112.411	49 In Índio 114.818	50 Sn Estanho 118.710	51 Sb Antimônio 121.760	52 Te Telúrio 127.60	53 I Iodo 126.90447	54 Xe Xenônio 131.293
55 Cs Césio 132.90545	56 Ba Bário 137.327	57 to 71	72 Hf Háfânio 178.49	73 Ta Tântalo 180.9479	74 W Tungstênio 183.84	75 Re Rênio 186.207	76 Os Ósmio 190.23	77 Ir Írídio 192.217	78 Pt Platina 195.078	79 Au Ouro 196.96655	80 Hg Mercúrio 200.59	81 Tl Tálio 204.3833	82 Pb Chumbo 207.2	83 Bi Bismuto 208.98038	84 Po Polônio (209)	85 At Astató (210)	86 Rn Radônio (222)
87 Fr Frâncio (223)	88 Ra Rádio (226)	89 to 103	104 Rf Ruterfórdio (261)	105 Db Dúbnio (262)	106 Sg Seabórgio (266)	107 Bh Bóhrio (264)	108 Hs Hássio (269)	109 Mt Meitnério (268)	110 Ds Darmstádio (271)	111 Rg Roentgênio (272)	112 Uub Ununbium (285)	113 Uut Ununtrium (284)	114 Uuq Ununquádmio (289)	115 Uup Ununpentium (288)	116 Uuh Ununhexium (292)	117 Uus Ununseptium	118 Uuo Ununoctium

- Metais alcalinos
- Metais alcalinos-terrosos
- Metais de transição
- Lantanídeos
- Actinídios
- Outros metais
- Não-Metais
- Gases nobres
- Sólidos
- Líquidos
- Gases
- Sintético

Massas atômicas em parênteses são aquelas do isótopo mais estável ou comum.

Direitos autorais de design © 1997 Michael Dayah (michael@dayah.com). <http://www.dayah.com/periodic/>

Nota: Os números de subgrupo 1-18 foram adotados em 1984 pela International Union of Pure and Applied Chemistry (União Internacional de Química Pura e Aplicada). Os nomes dos elementos 112-118 são os equivalentes latinos desses números.

57 La Lantânio 138.9055	58 Ce Cério 140.116	59 Pr Praseodímio 140.90765	60 Nd Neodímio 144.24	61 Pm Promécio (145)	62 Sm Samário 150.36	63 Eu Európio 151.964	64 Gd Gadolínio 157.25	65 Tb Térbio 158.92534	66 Dy Disprósio 162.500	67 Ho Hólmio 164.93032	68 Er Érbio 167.259	69 Tm Túlio 168.93421	70 Yb Ítrbio 173.04	71 Lu Lutécio 174.967
89 Ac Actínio (227)	90 Th Tório 232.0381	91 Pa Protactínio 231.03588	92 U Urânio 238.02891	93 Np Netúnio (237)	94 Pu Plutônio (244)	95 Am Americio (243)	96 Cm Cúrio (247)	97 Bk Berquílio (247)	98 Cf Califórnia (251)	99 Es Einstênio (252)	100 Fm Férmio (257)	101 Md Mendelévio (258)	102 No Nobélio (259)	103 Lr Laurêncio (262)

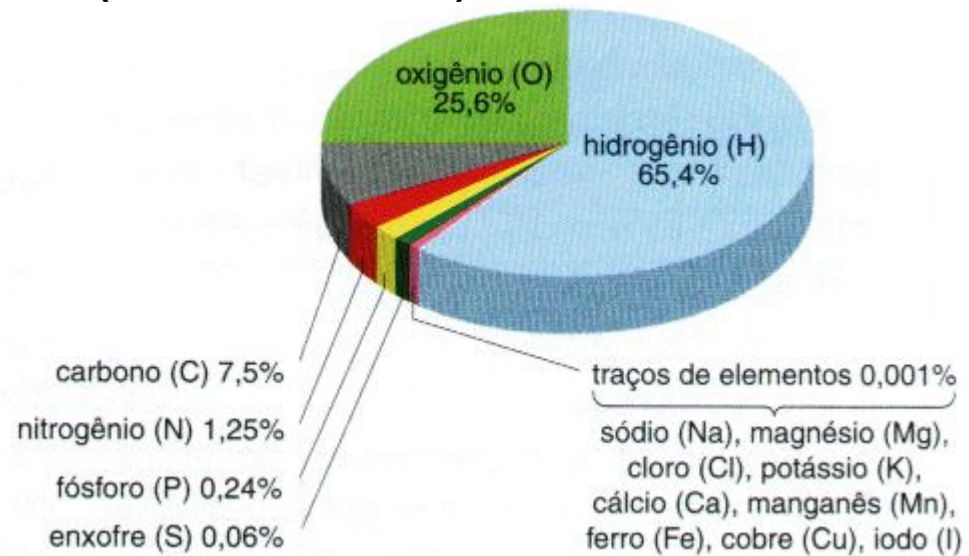


Composição química do Ser Humano

Matéria prima:

- ◆ Hidrogênio do *Big Bang*
- ◆ Pedacos de estrelas que explodiram!

In % (number of atoms)

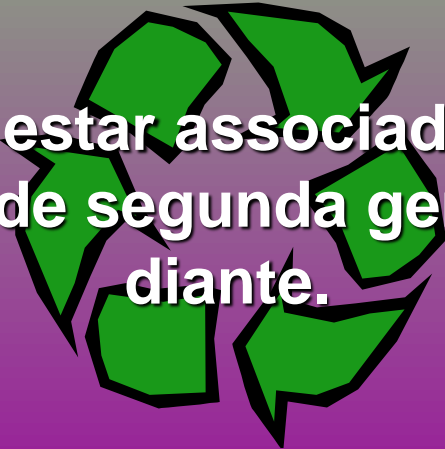


Condição para o desenvolvimento de vida num sistema planetário

Como os organismos vivos exigem elementos pesados,

isso significa que os sistemas planetários em que eles podem se desenvolver

devem estar associados com estrelas de segunda geração em diante.



Hodge 301 in the Tarantula Nebula



Formação de estrelas de segunda geração

E ... a vida ?

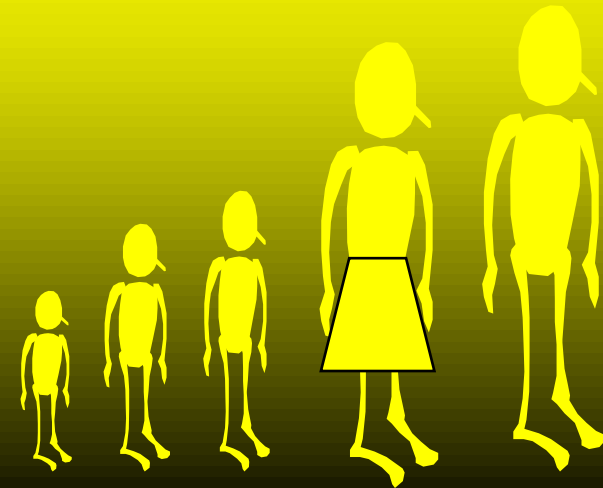
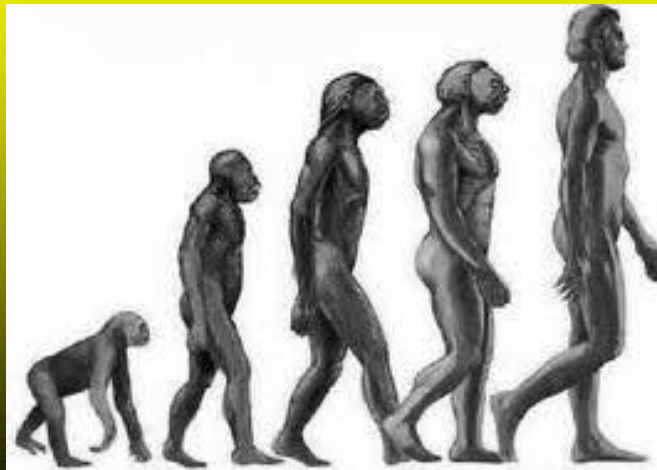
Como surgiu na Terra ?

Vida

Uma definição de ser vivo:

Um ser vivo é aquele que consegue:

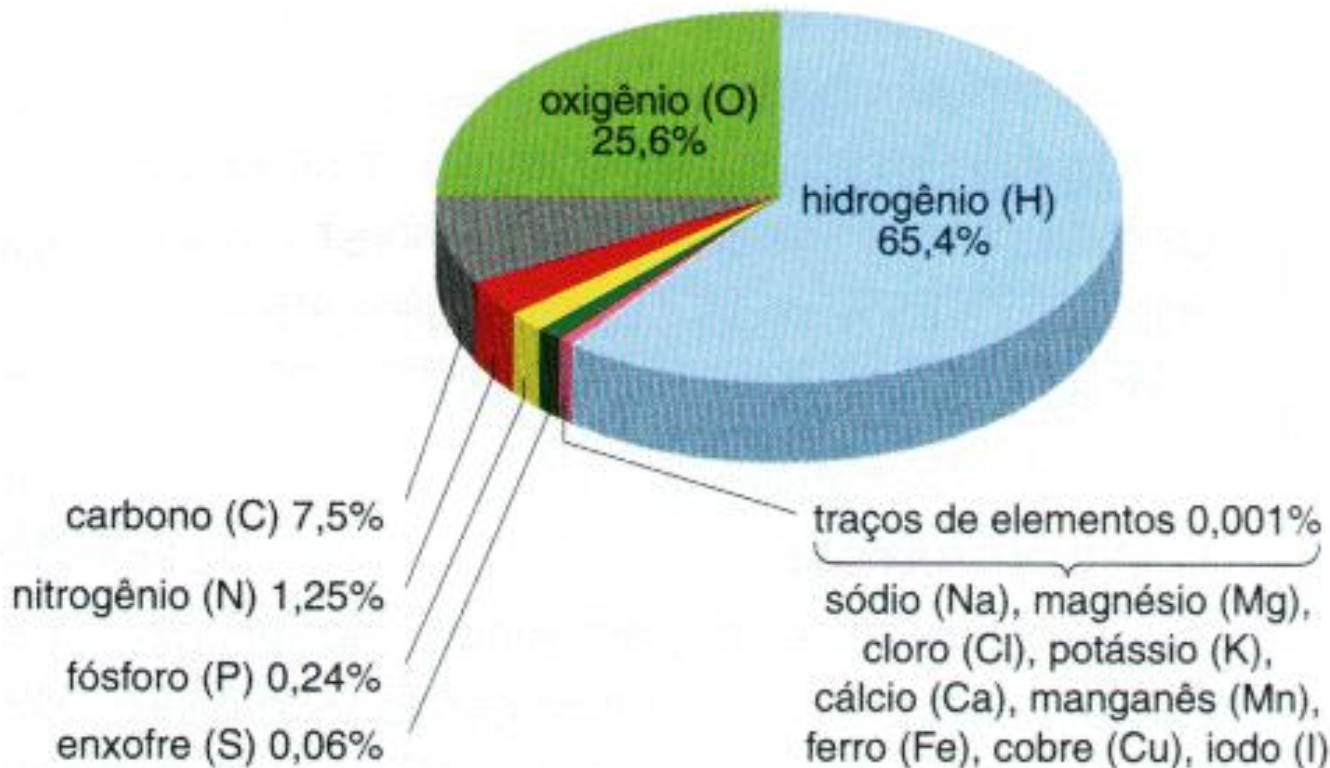
- **perpetuar a espécie**
- **Darwinian evolution**



Elementos químicos básicos da vida: “biogenic elements”

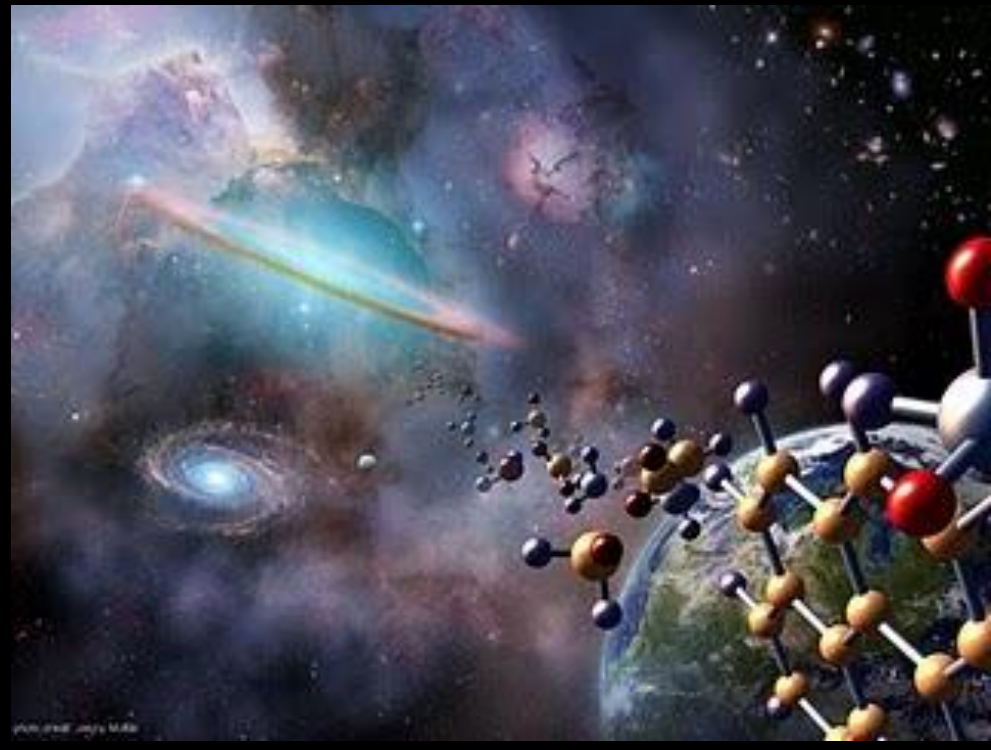
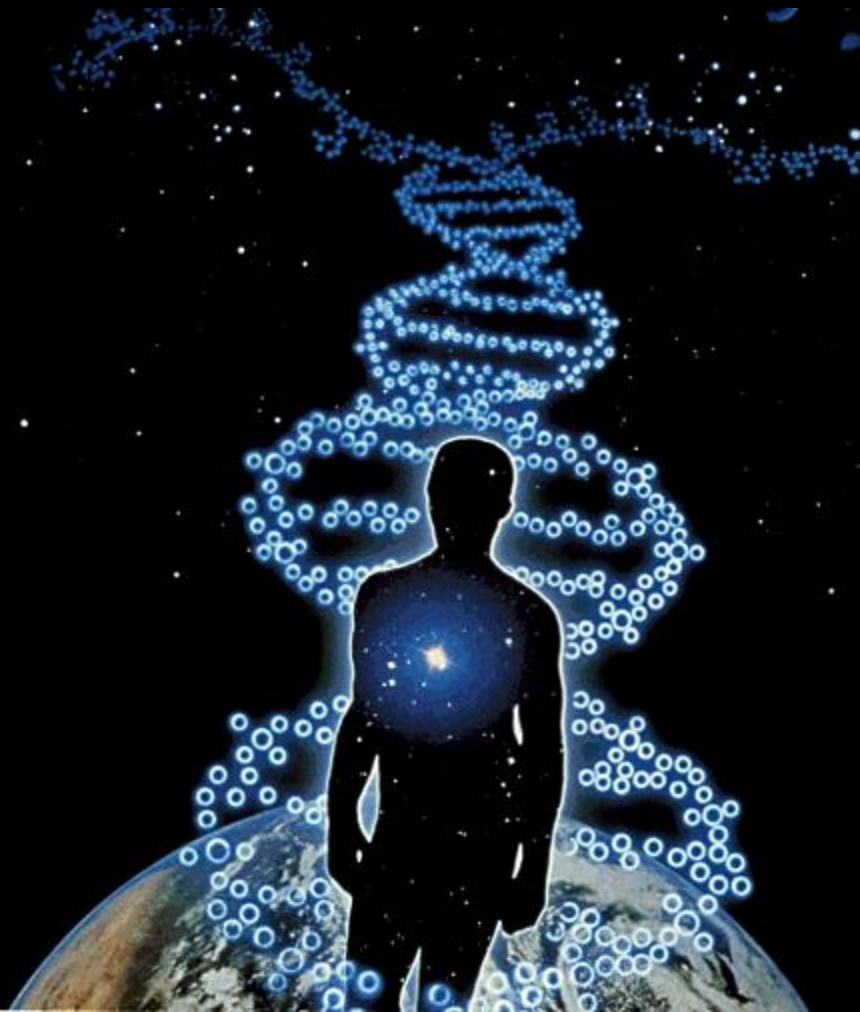


In % (number of atoms)



Hydrogen
Carbon
Nitrogen
Oxygen
Sulfur
Phosphorus

Será que os Terráqueos são, mesmo, originários da Terra ?



Moléculas interestelares



Algumas moléculas
interestelares,
fundamentais para a
vida, já detectadas

C_2H_5OH
 $(CH_3)_2O$
 C_2H_5CN
 $HC_{13}N$
 CH_3CHO
 CH_3C_2H
 $HCOOH$

$HC_{11}N$, HC_9N , HC_5N
 CH_3OH (álcool metílico)
 CH_3CH_2CN
 $HCOOCH_3$
 CH_4 (metano)
 NH_3 (amoníaco)
 H_2O (água)
 H_2CO (formol)
 C_2H_2 (acetileno)
 CO (monóxido de Carbono)
 H_2 , C_2 , OH , CH
 CH_3NH_2 , HNO , CN
 OCS , $HNCS$, SO_2



Vida trazida à Terra?

Panspermia:
A vida surgiu em
diferentes
locais e foi
espalhada
pelo Universo.

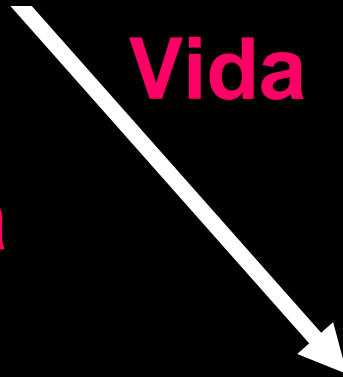
Vida



Vida



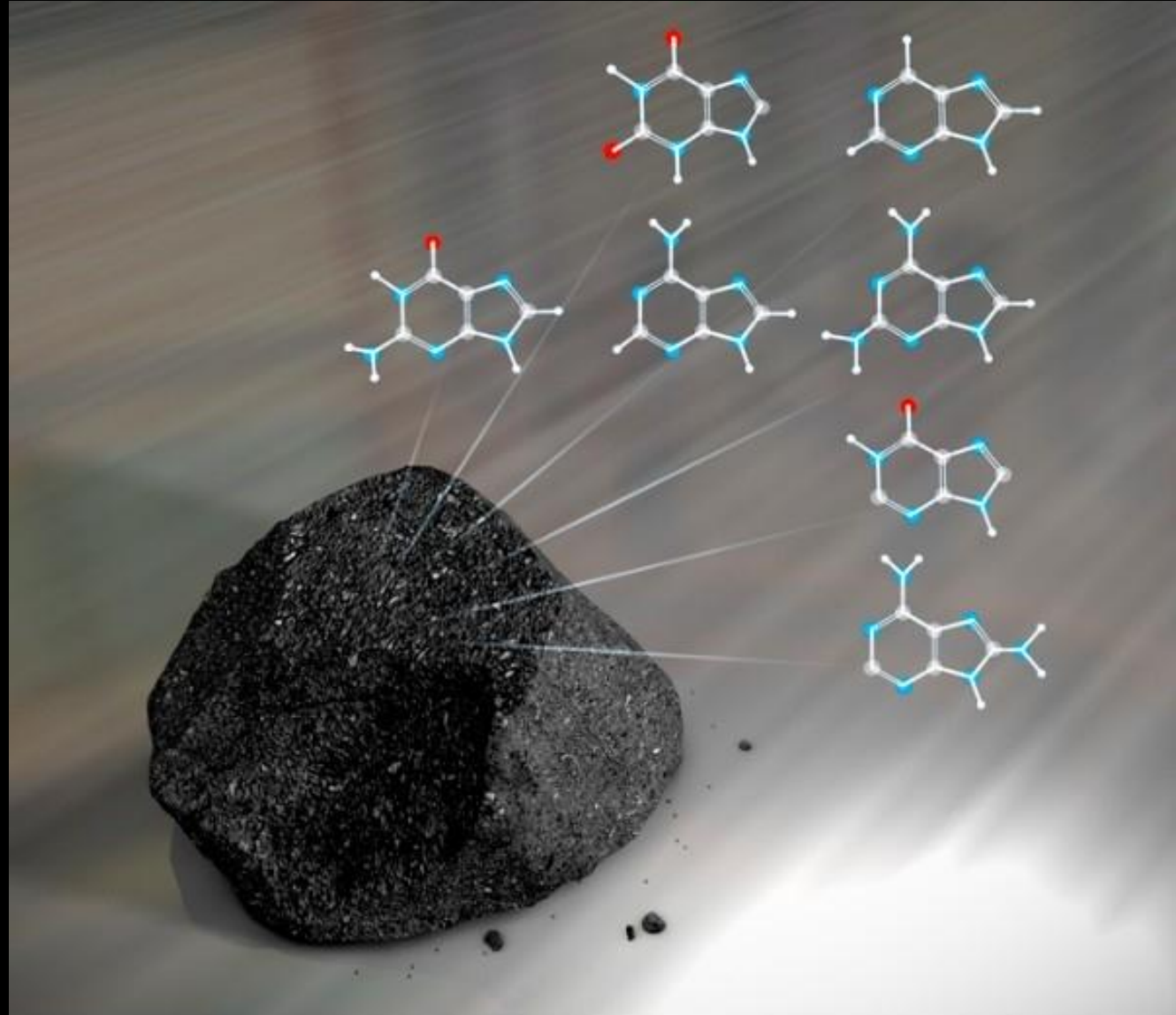
Vida



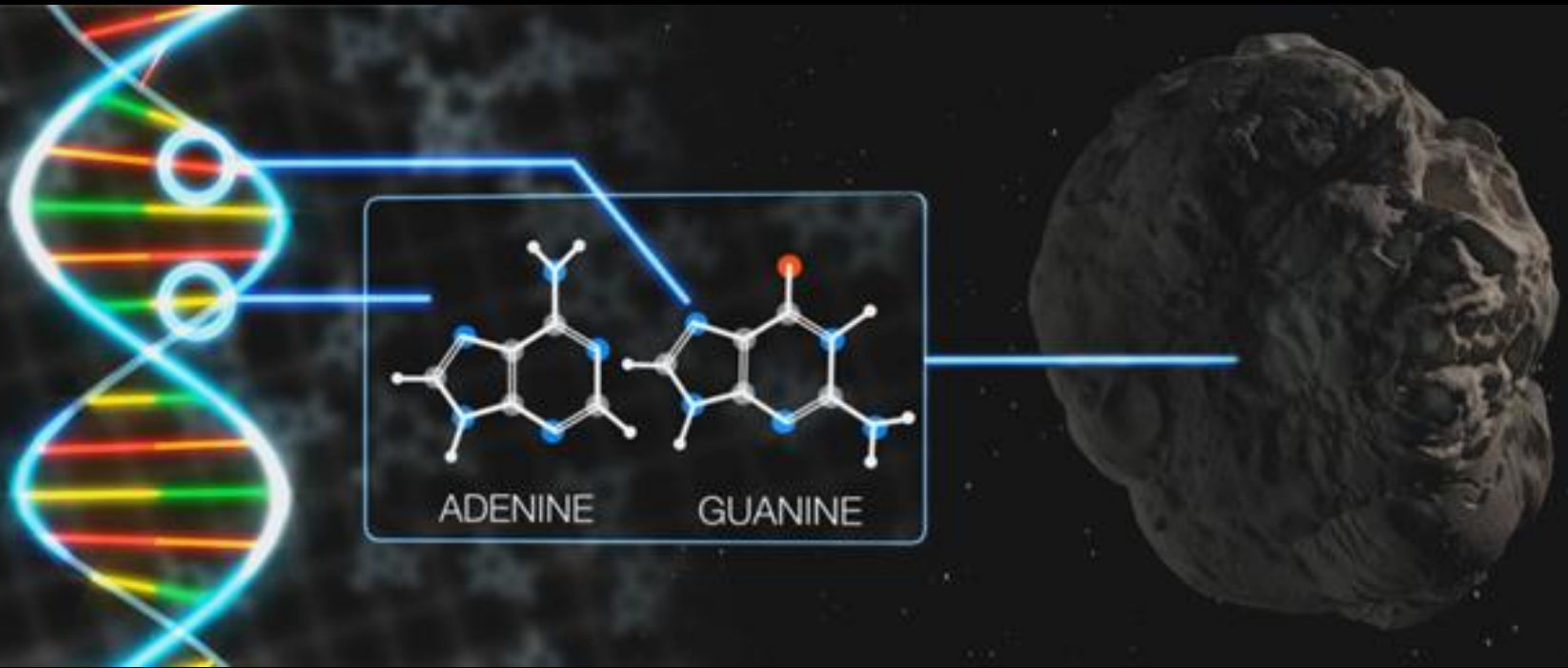
Nasa acha componentes básicos de DNA em meteoritos (8/agosto/2011)

Folha

13/8/2011



Tal vez alguns componentes básicos do DNA foram formados no espaço e podem ter chegado à Terra em meteoritos



Meteoritos podem ter ajudado a desenvolver a vida na Terra