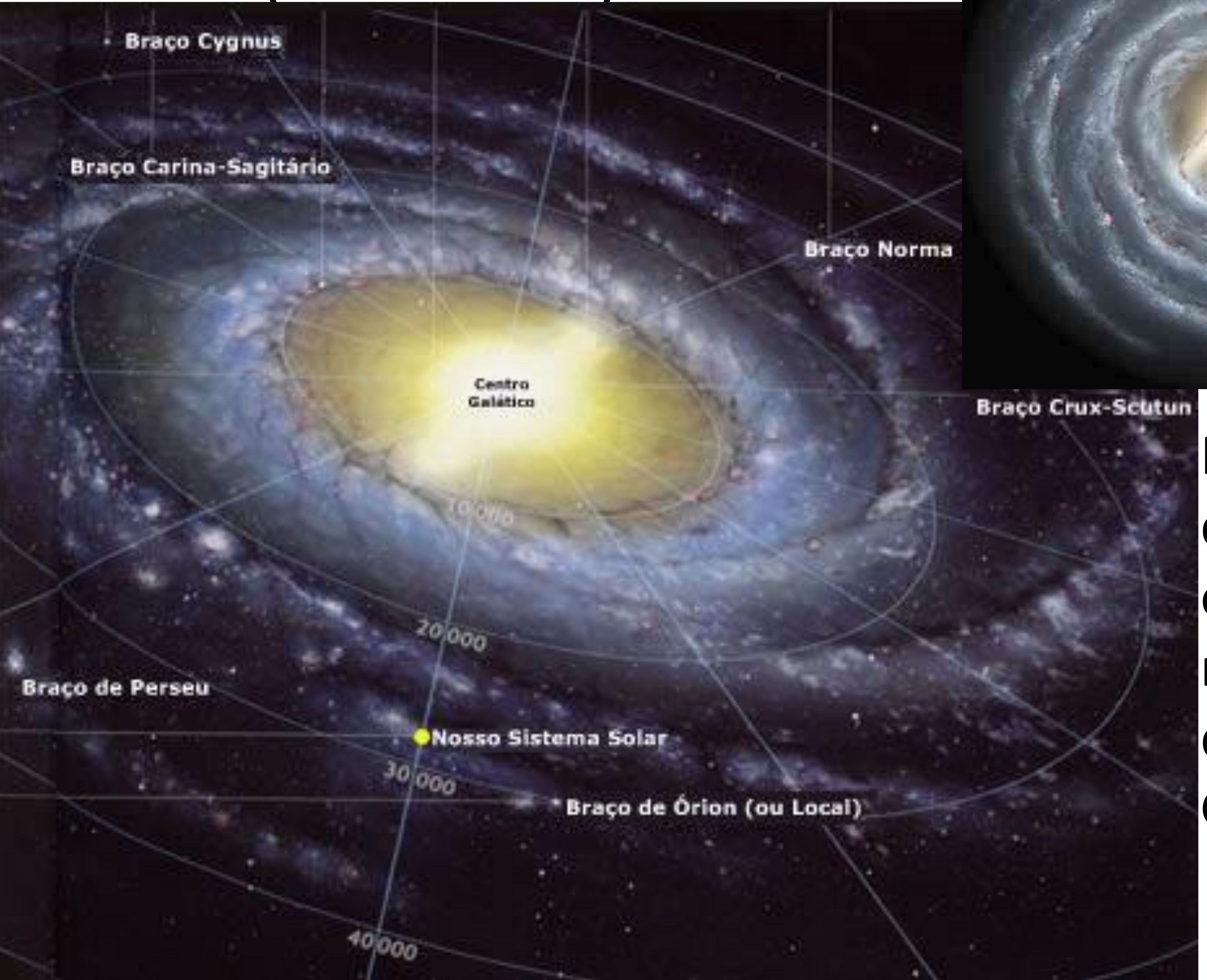
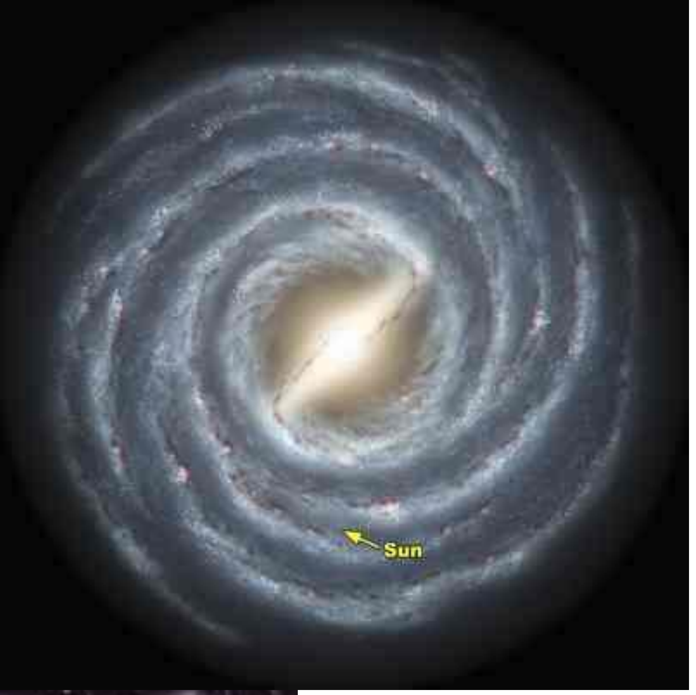
Evolução Estelar II

Prof. Jorge Meléndez
Departamento de Astronomia, IAG/USP

AGA 0205 – Elementos de Astronomia
2013-B

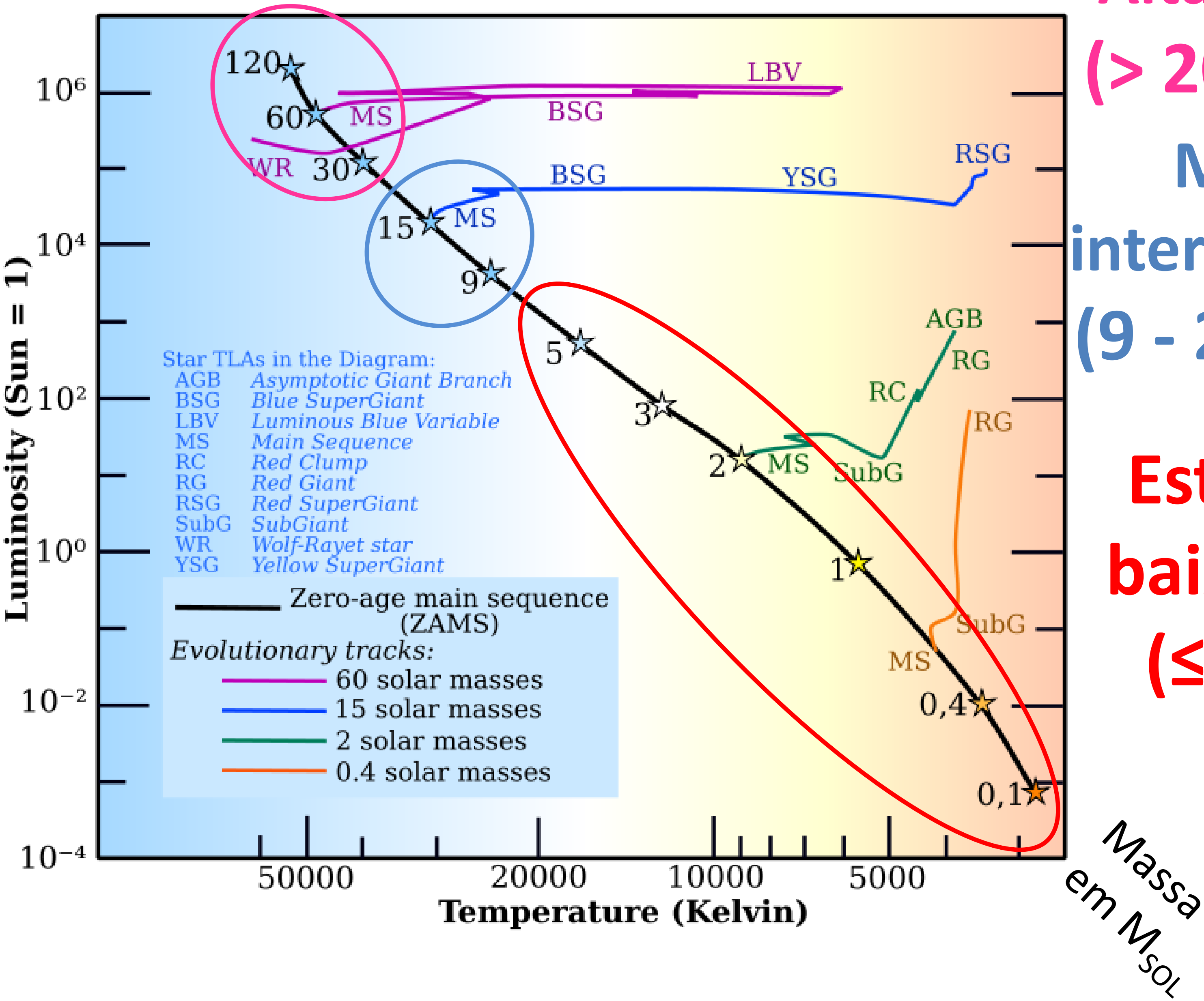
Representação de nossa Galáxia (Via Láctea)





Formação de estrelas no disco da Galáxia

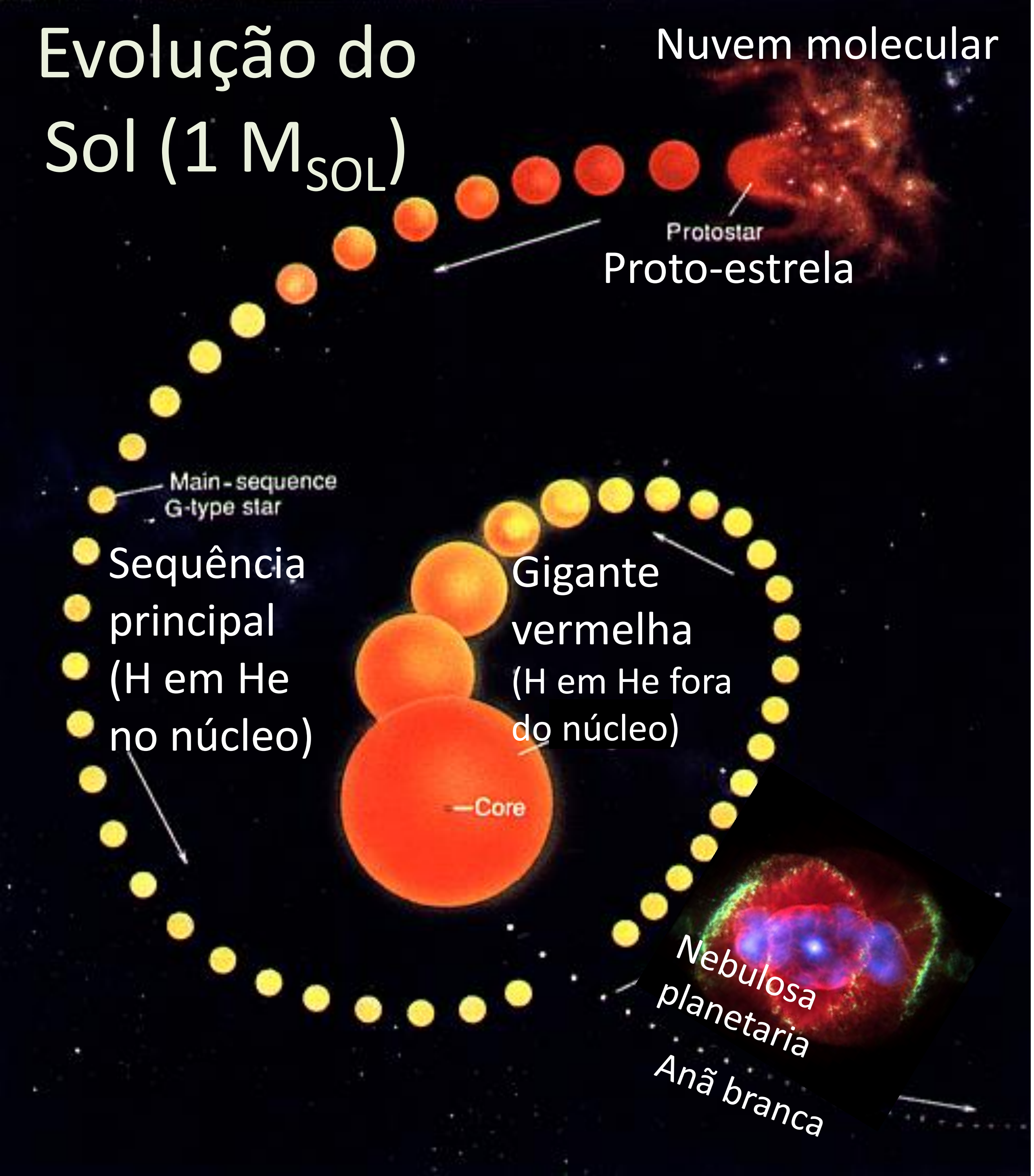
A evolução depende da massa



Alta massa ($> 20\ M_{SOL}$)

Massa intermediária ($9 - 20\ M_{SOL}$)

Estrelas de baixa massa ($\leq 8\ M_{SOL}$)

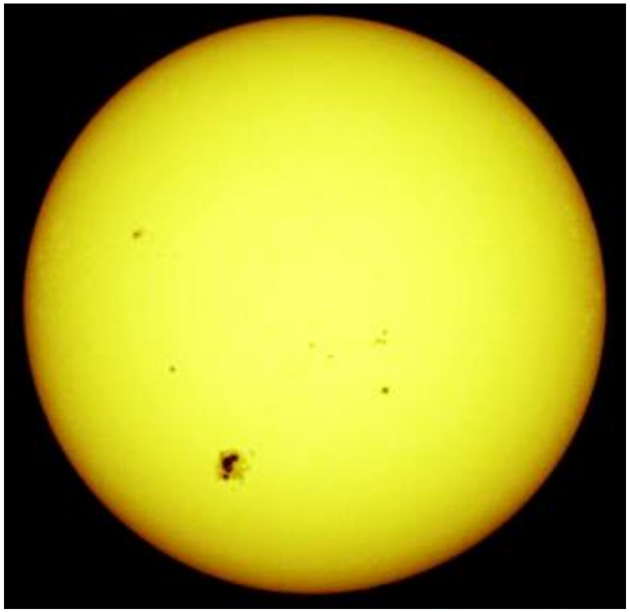


Resumo sobre a evolução de estrelas de baixa massa (< $8M_{SOL}$)

RESUMO: Evolução de Estrelas de baixa massa (< 8 M_{SOL})

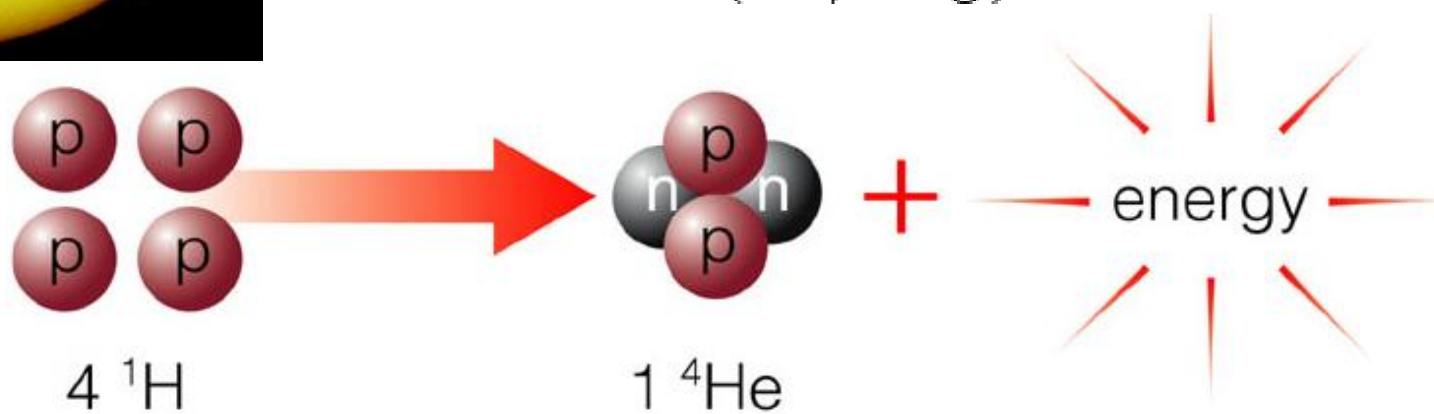
1. Formação do Sol e sistema solar a partir de uma nuvem

RESUMO: Evolução de Estrelas de baixa massa (< 8 M_{SOL})

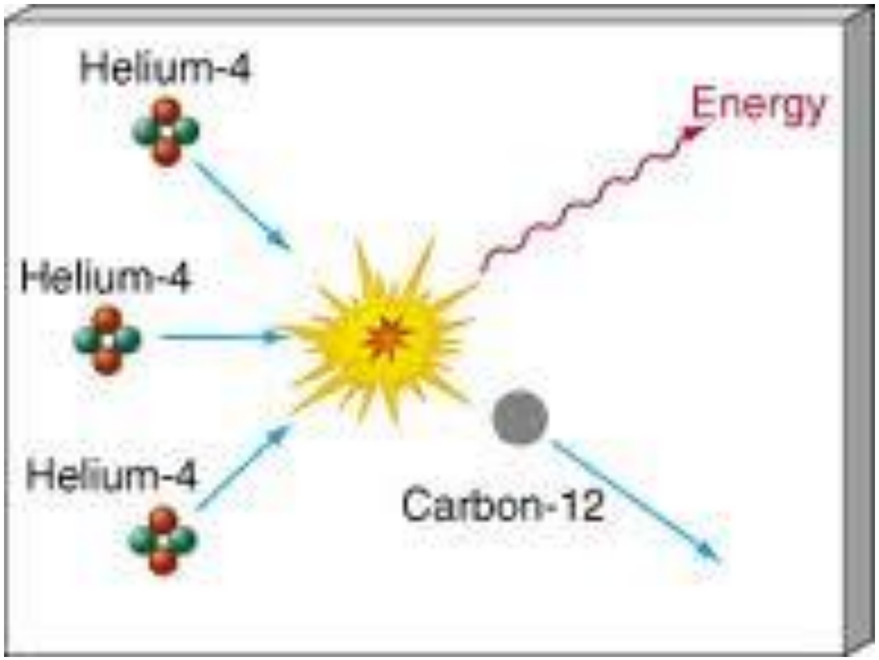


2. Vida do Sol na sequência principal: 10 000 milhões de anos

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

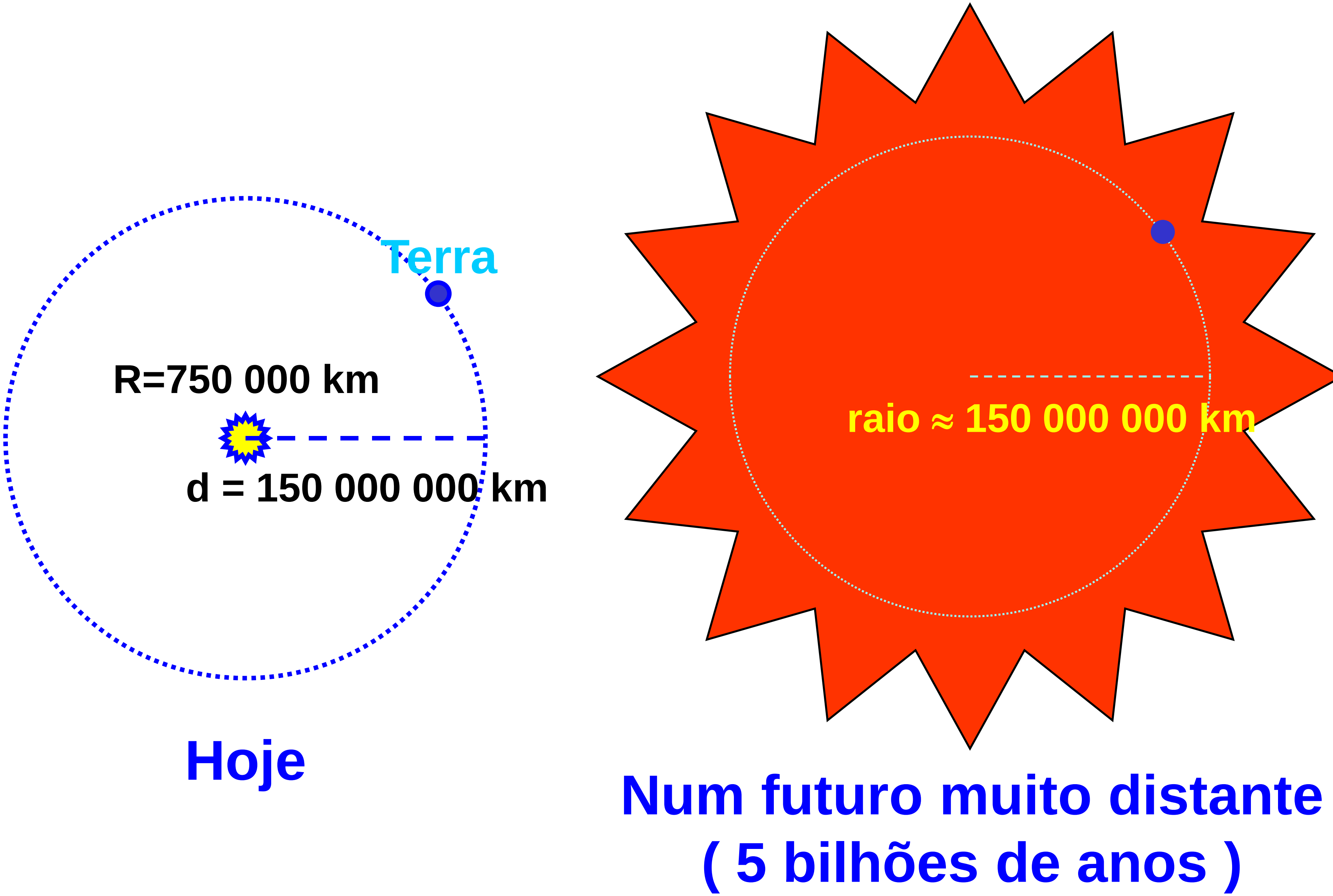


RESUMO: Evolução de Estrelas de baixa massa (< 8 M_{SOL})

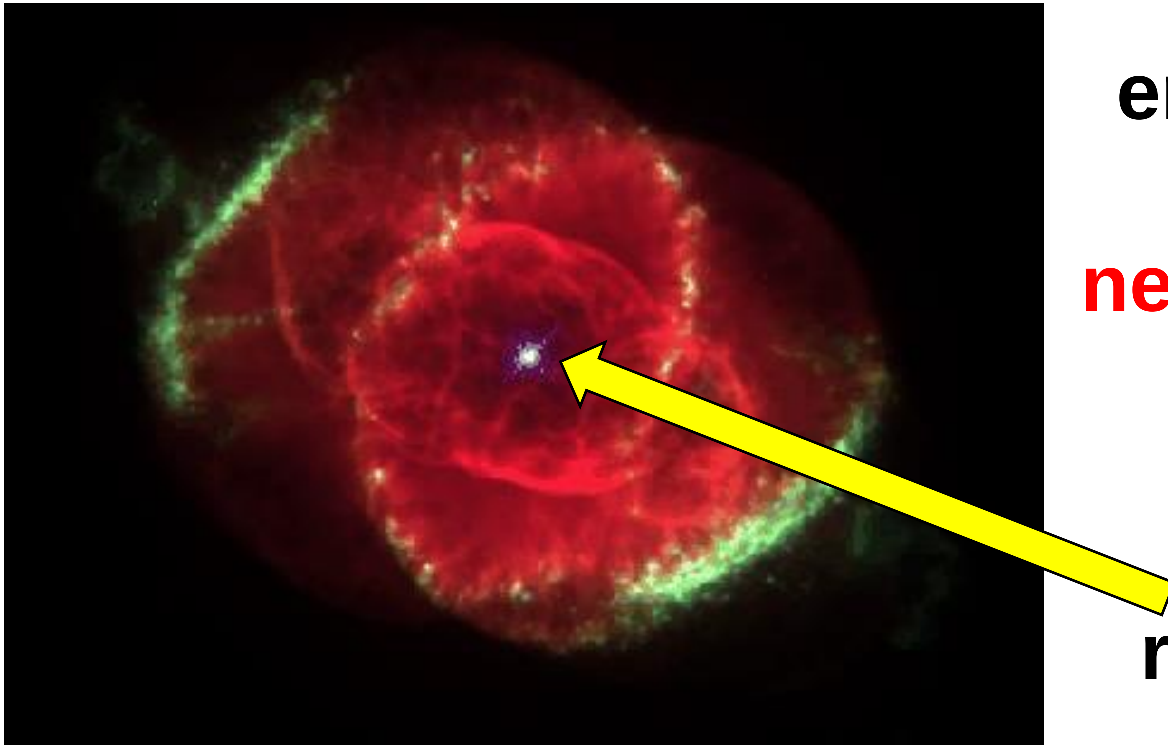


3. Após a sequência principal (fim do H no nucleo) o Sol transformar-se-á em gigante vermelha, a qual pode fusionar He em C

A gigante vermelha Sol



RESUMO: Evolução de Estrelas de baixa massa (< 8 M_{SOL})

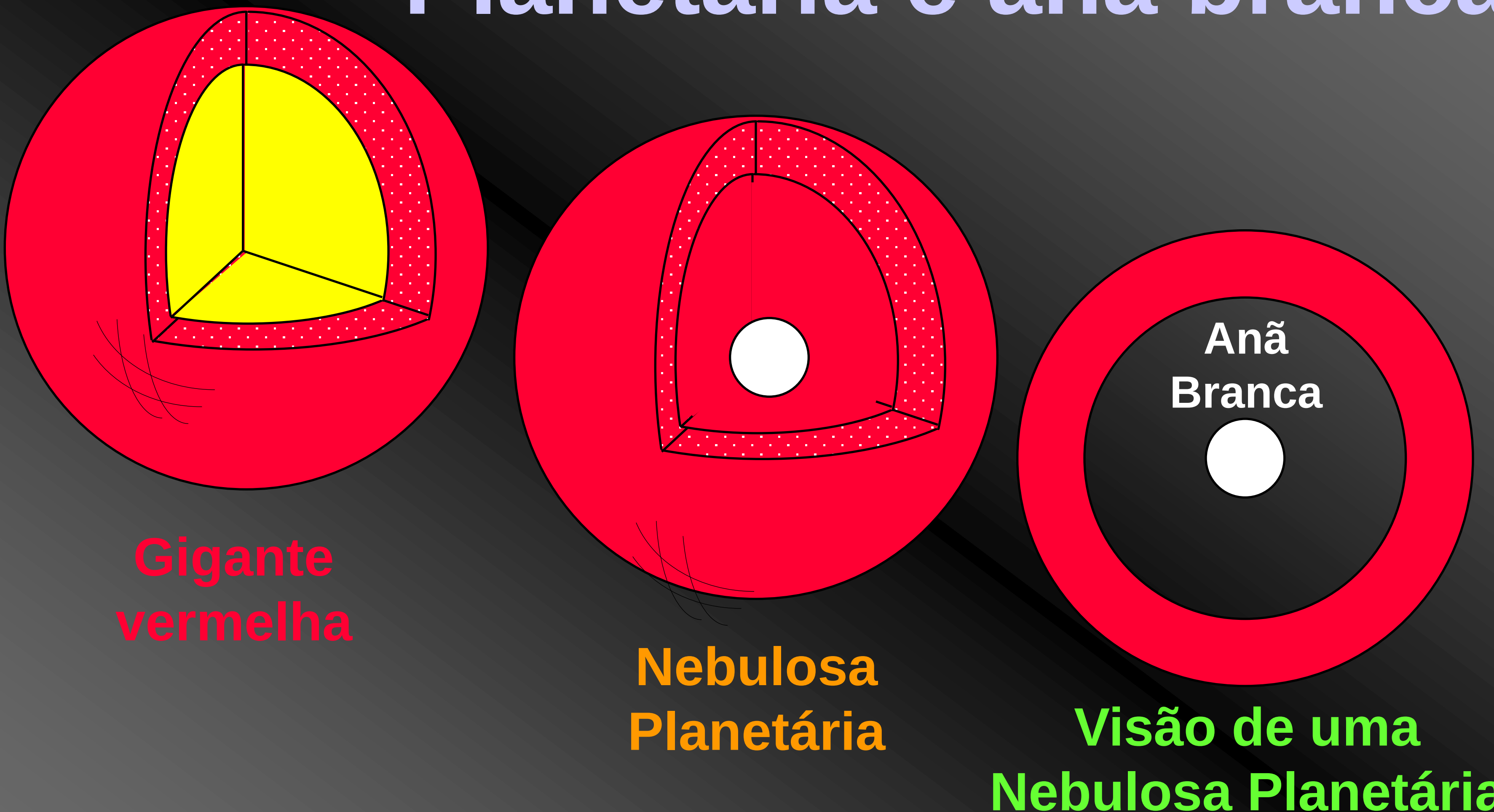


Nebulosa Olho de gato

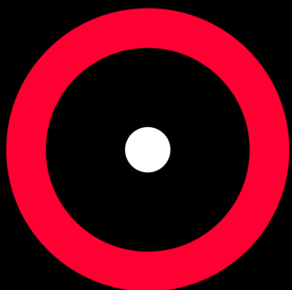
4. Finalmente o envelope e ejetado formando uma nebulosa planetária

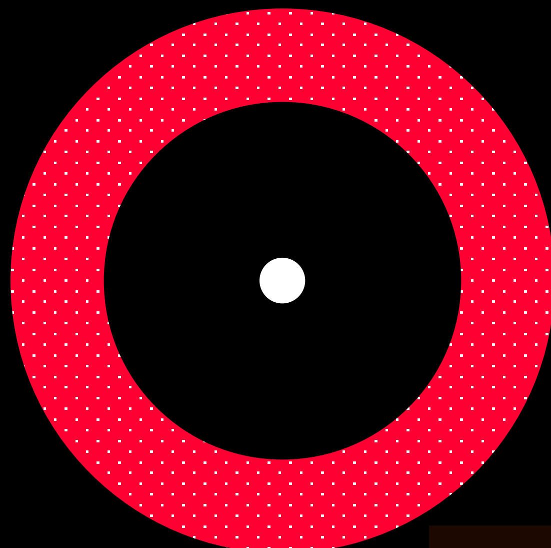
Na parte central teremos como remanescente uma anã branca

Evolução para Nebulosa Planetária e anã branca



Evolução para Anã Branca





Gases que vão se espalhar pelo meio interestelar

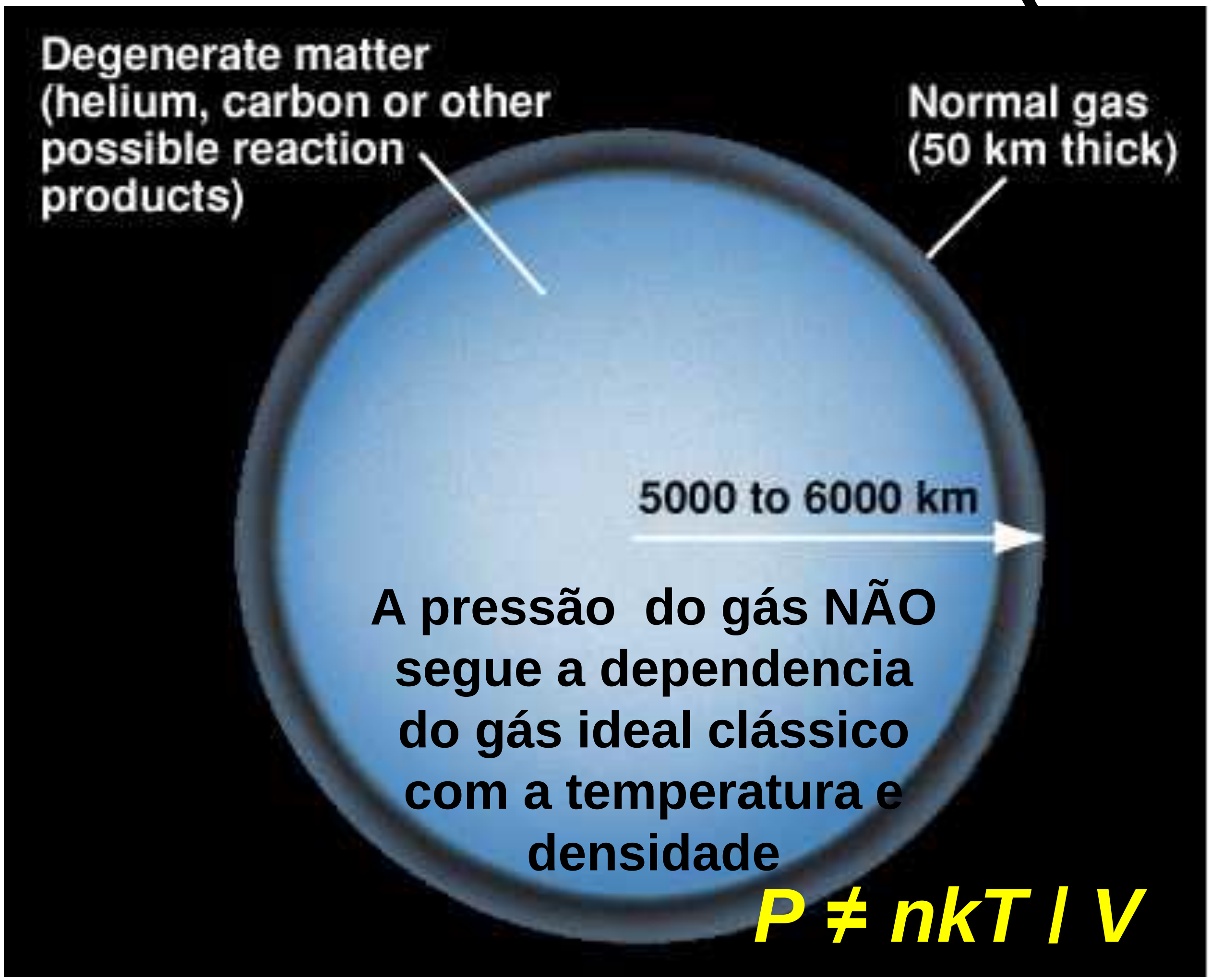
Ocorre:

- Expansão da Casca
- Contração do núcleo

Anã
Branca
Visão de uma
Nebulosa Planetária
Nebulosa Planetária do Anel
(Constelação da Lira)

Nebulosas planetárias

RESUMO: Evolução de Estrelas de baixa massa (< 8 M_{SOL})



A pressão do gás NÃO segue a dependencia do gás ideal clássico com a temperatura e densidade

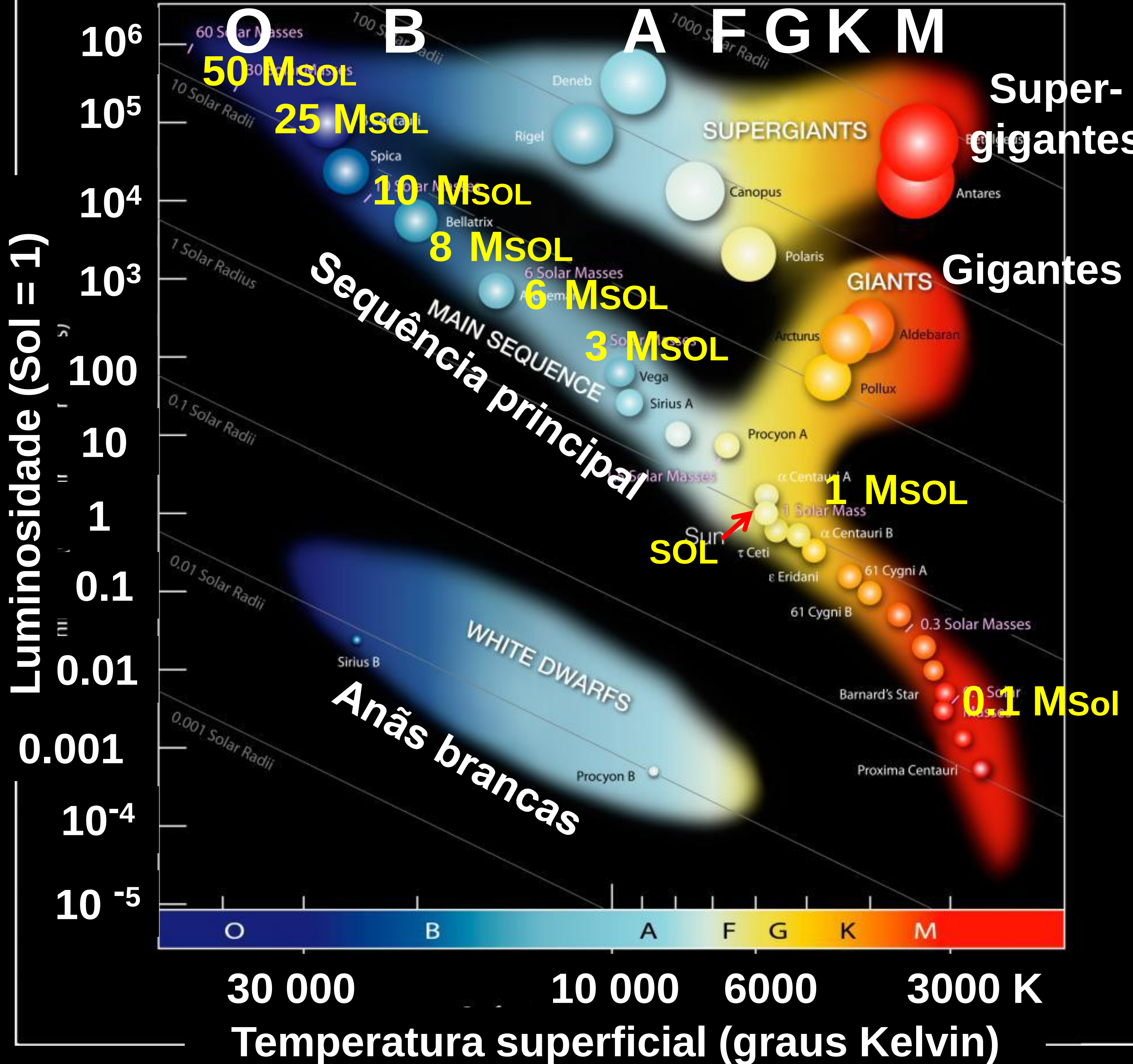
P ≠ nkT / V

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

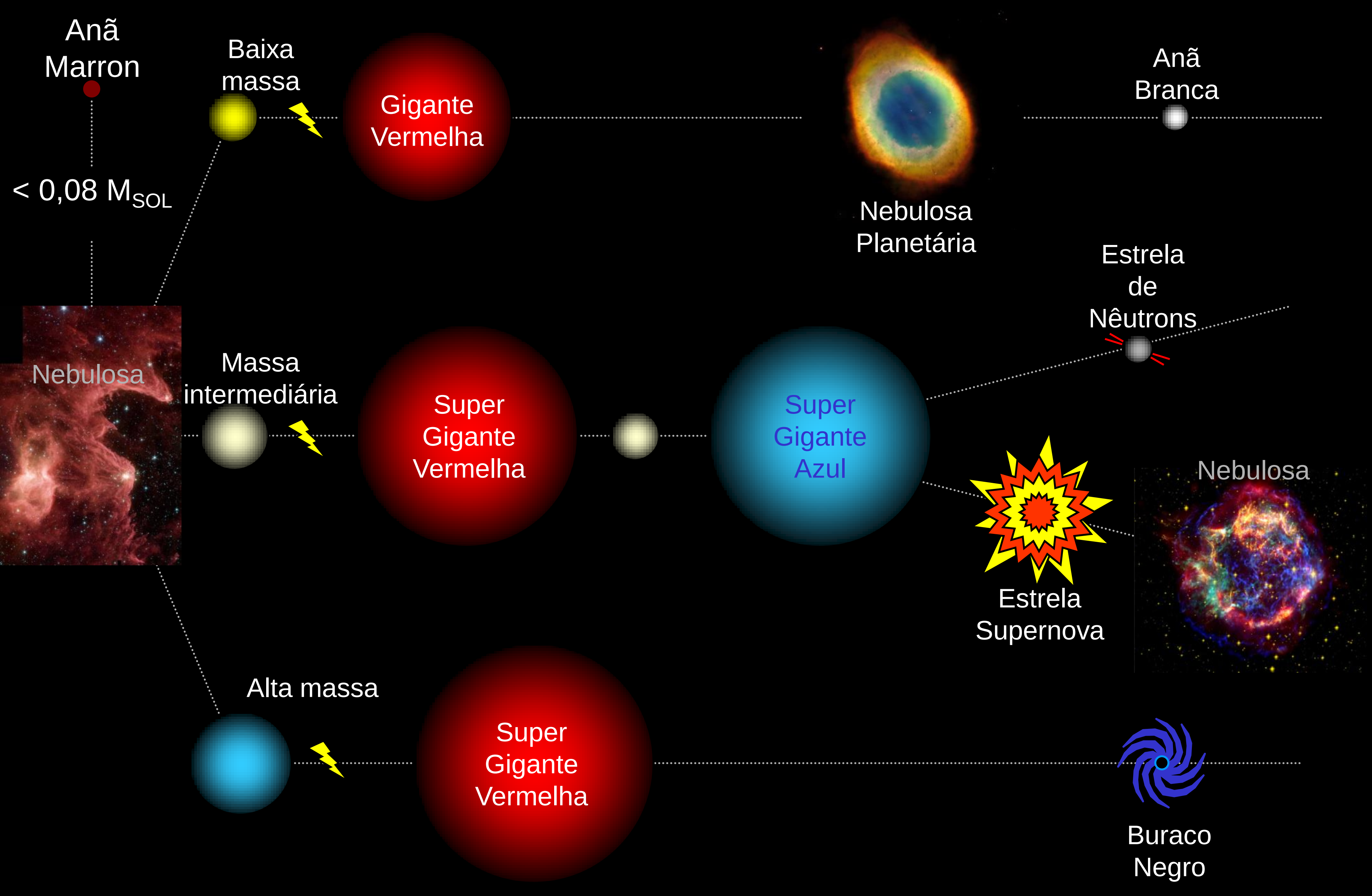
$$\sigma_x \sigma_p \geq \frac{\hbar}{2}$$

Posição . Velocidade

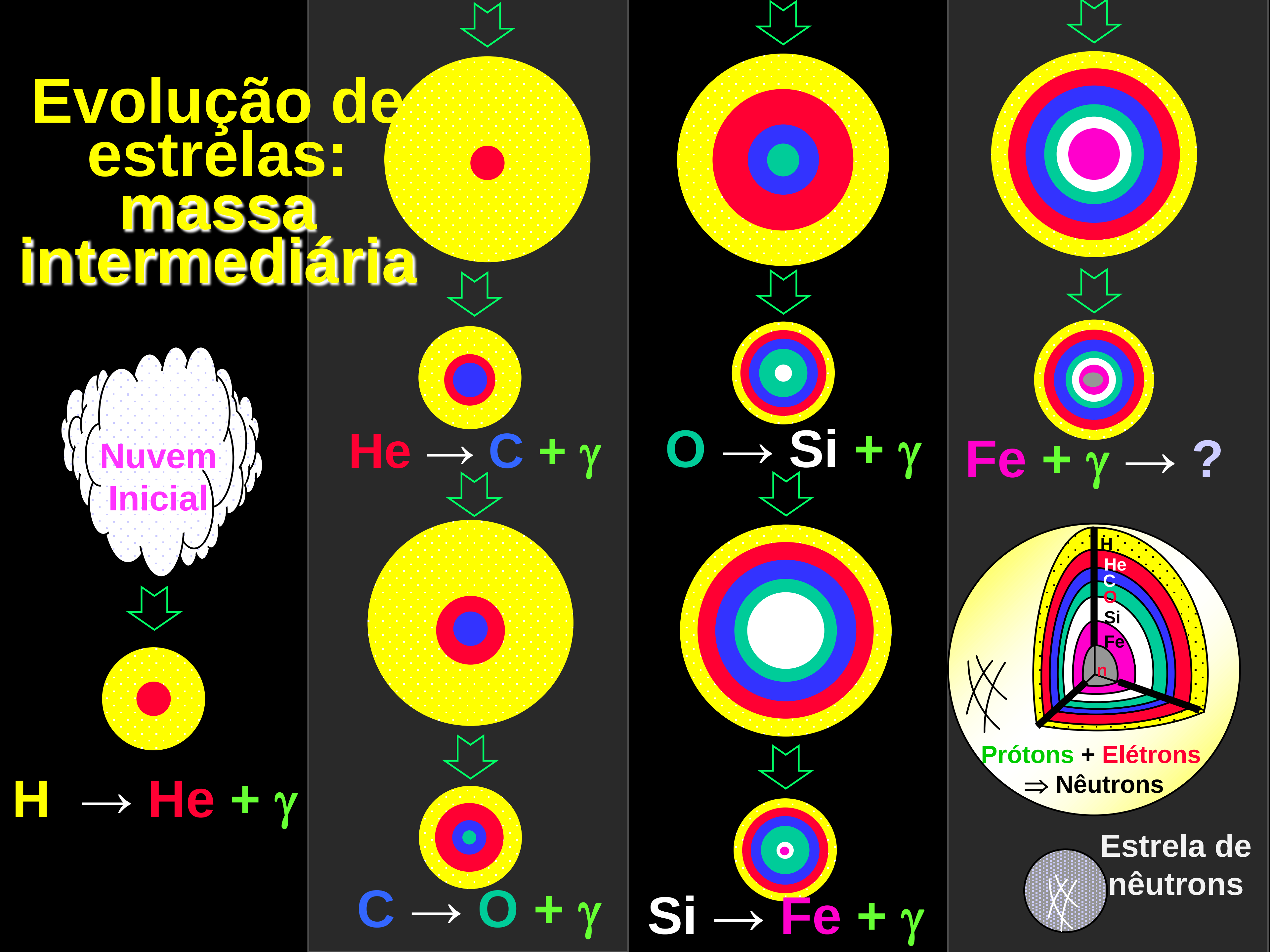
Diagrama H-R (Hertzsprung - Russell)



Evolução de uma estrela segundo sua massa



Evolução de estrelas de massa intermediária (**9 - 20 M_{SOL}**)


Evolução de estrelas: massa intermediária
Nuvem Inicial
H → He + γ
He → C + γ
C → O + γ
O → Si + γ
Si → Fe + γ
Fe + γ → ?
H
He
C
O
Si
Fe
n
Prótons + Elétrons
⇒ Nêutrons
Estrela de nêutrons

Tipos de Reações de Fusão

Exotérmicas

$$A + B \rightarrow X + Energia$$

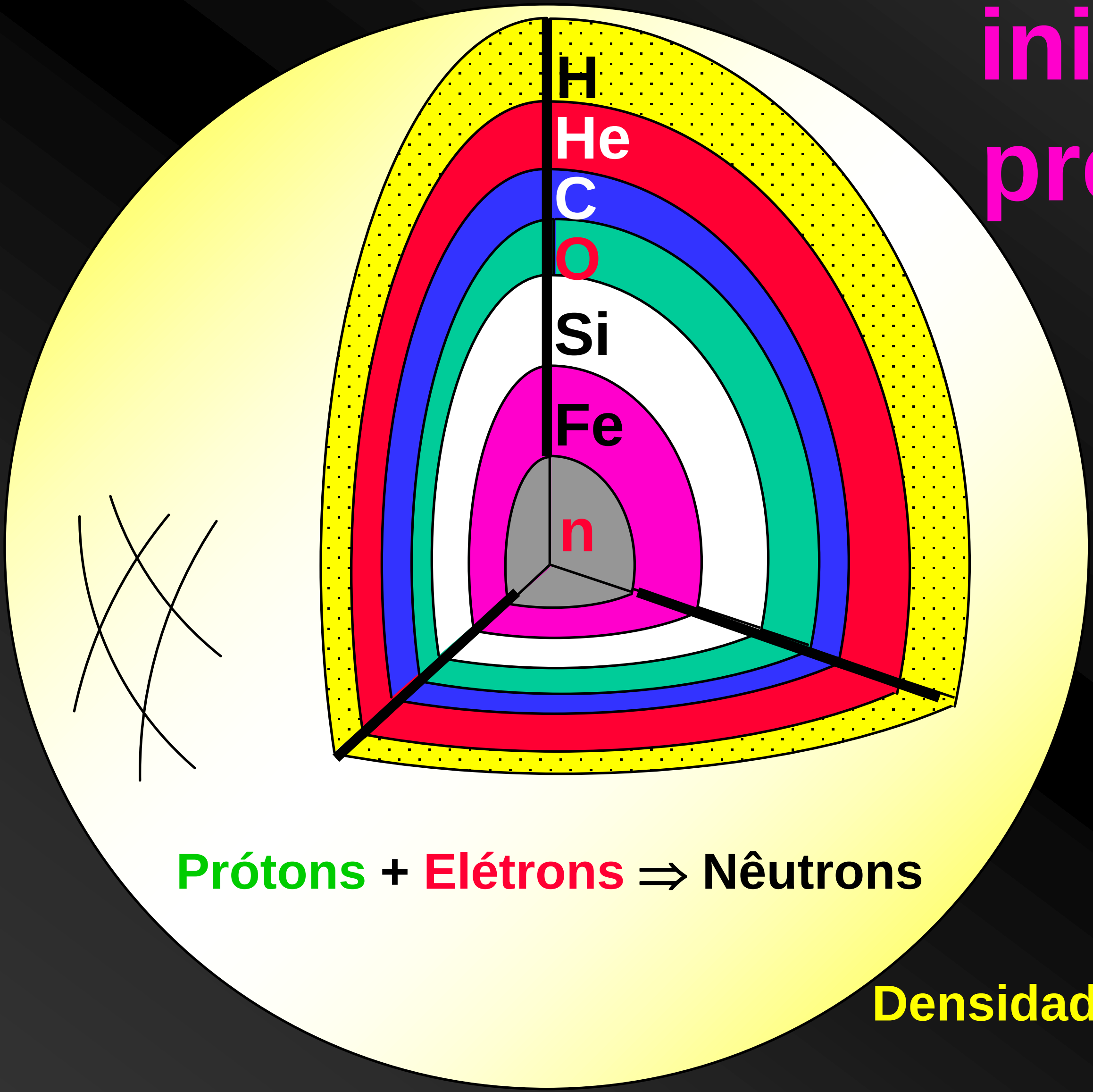
Liberação de energia

Endotérmicas

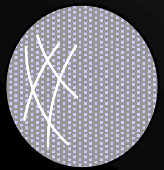
$$A + B + Energia \rightarrow X$$

Absorção de energia

Estrutura inicial de uma pre-estrela de nêutrons



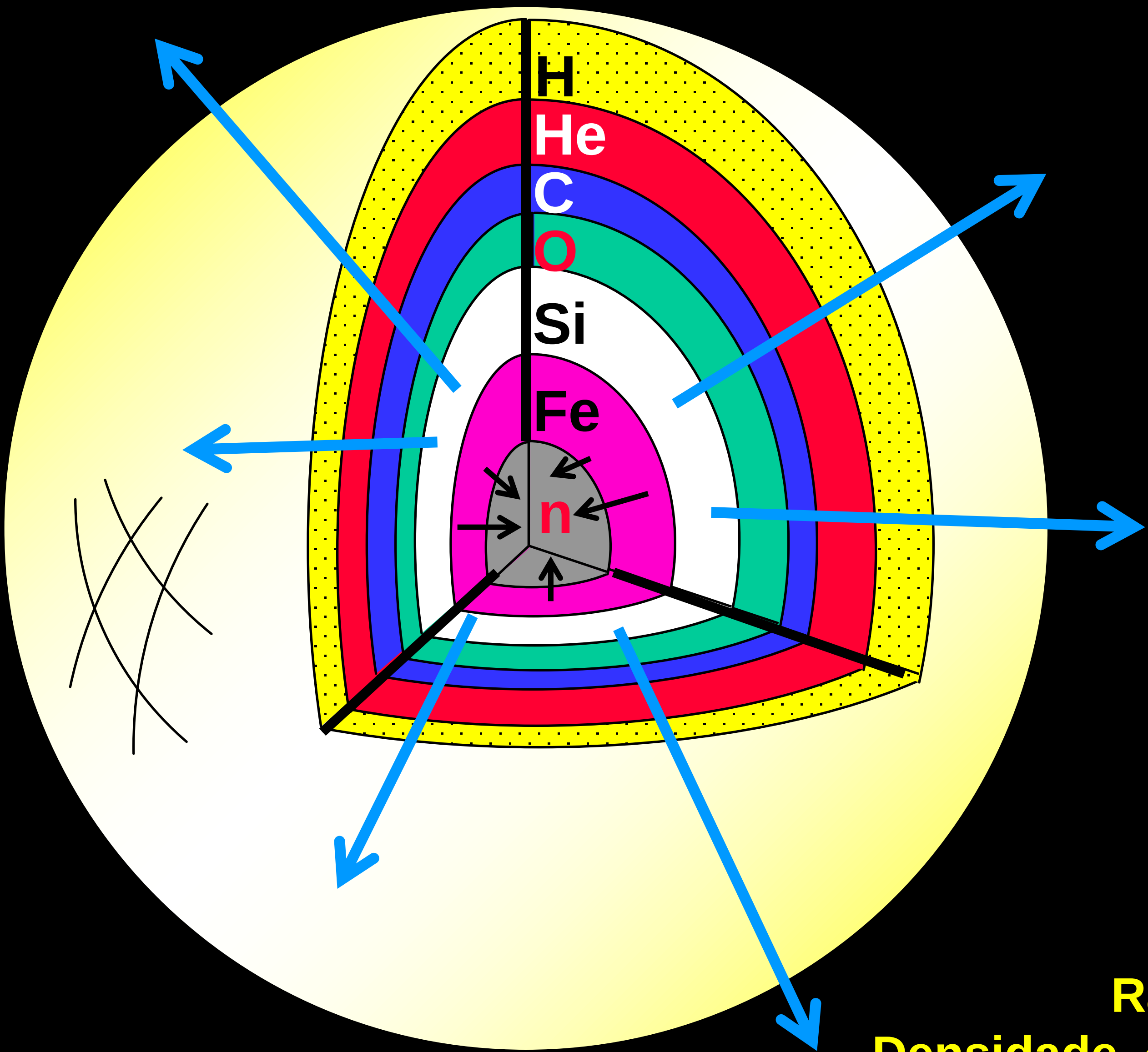
Estrela de nêutrons

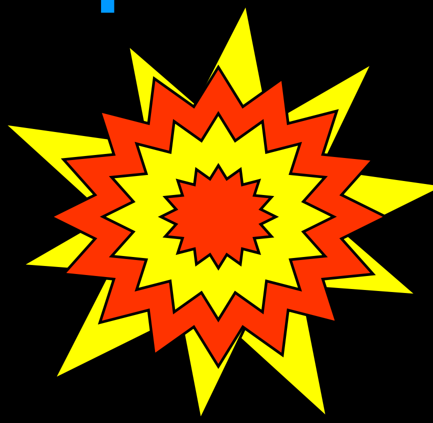


Raio ≈ dezenas de km

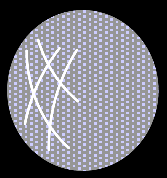
Densidade ≈ bilhões de ton/cm^3

Remanescente supernova



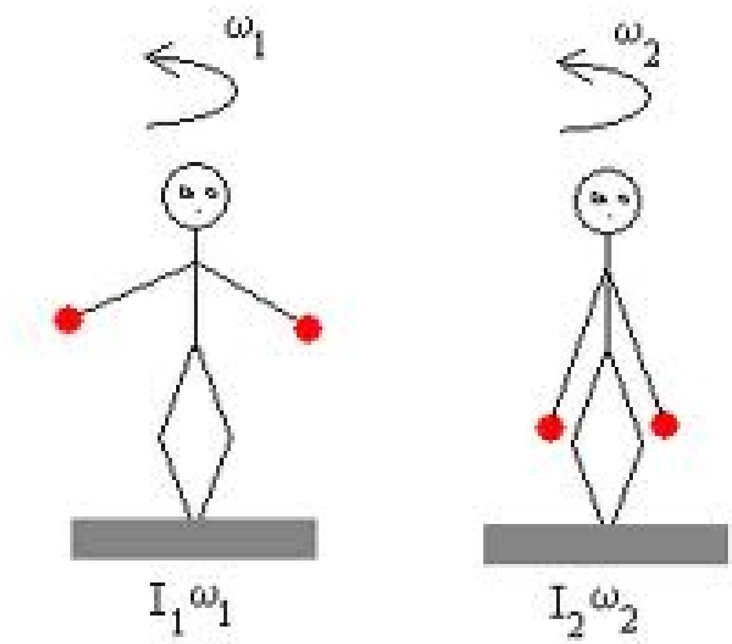


Estrela de nêutrons



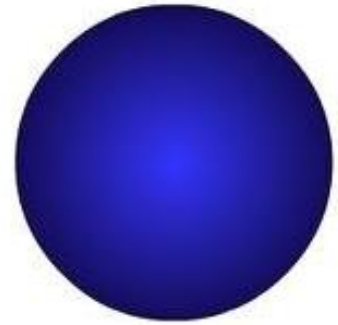
Raio ≈ dezenas de km
Densidade ≈ bilhões de ton/cm^3

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 $I = \frac{2}{5}mR^2$

Angular momentum of a sphere is $\vec{L} = I\vec{\omega} = I\frac{2\pi}{T}$

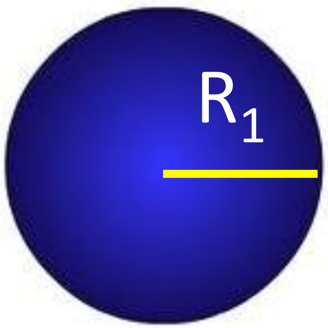
$$L = 2/5\ m\ R^2\ \omega$$

$$L = 4/5\pi\ m\ R^2\ /\ T$$

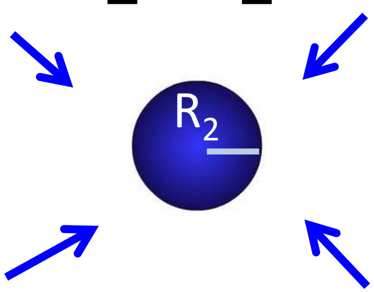
Período de Rotação T de uma estrela de nêutrons

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

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



$L_1 = I_1\,\omega_1$



$L_2 = I_2\,\omega_2$

$$L_1 = L_2$$

$$I_1\,\omega_1 = I_2\,\omega_2$$

$$2/5\ m_1 R_1^2 \omega_1 = 2/5\ m_2 R_2^2\,\omega_2$$

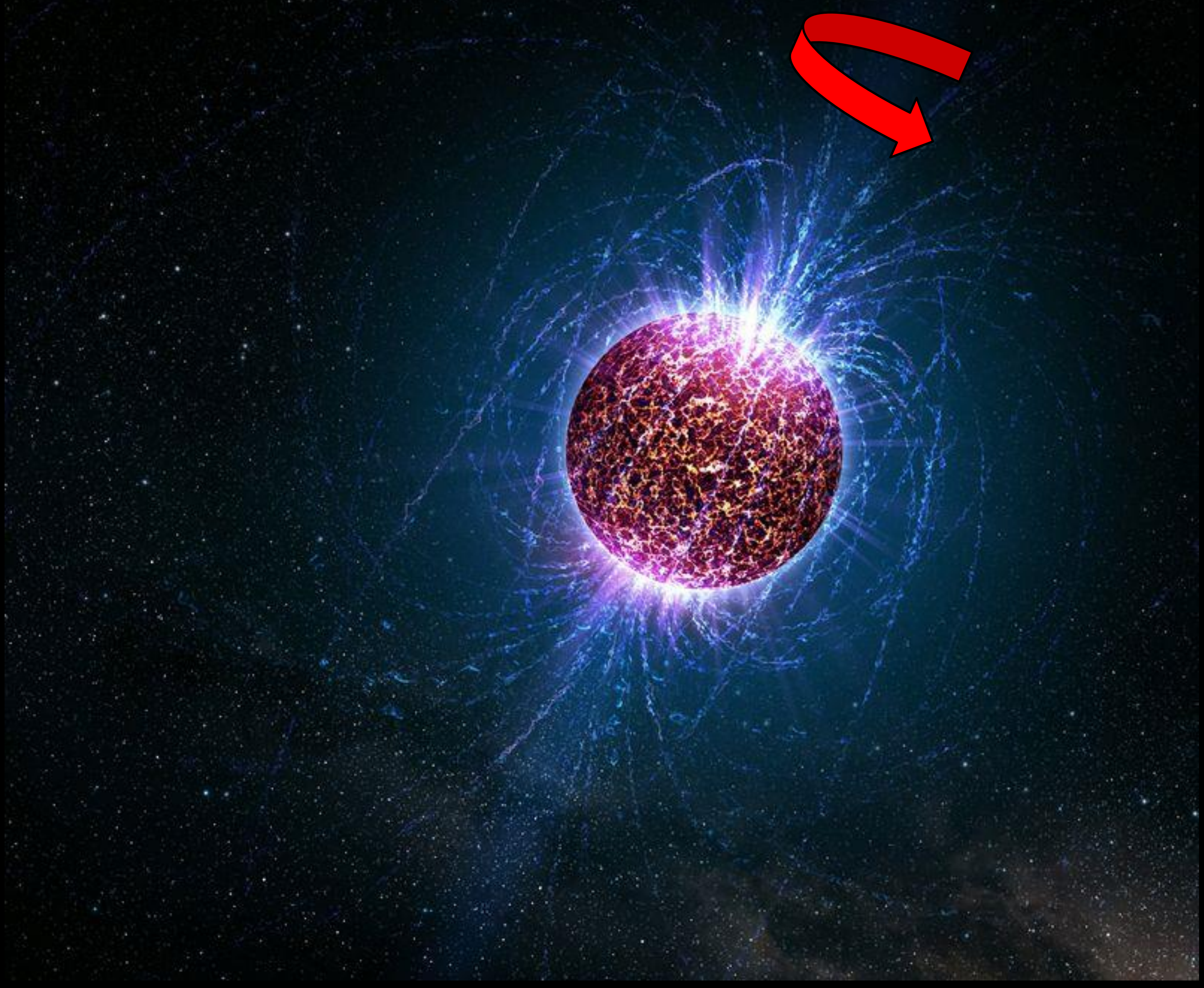
$$R_1^2 \omega_1 = R_2^2\,\omega_2$$

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

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

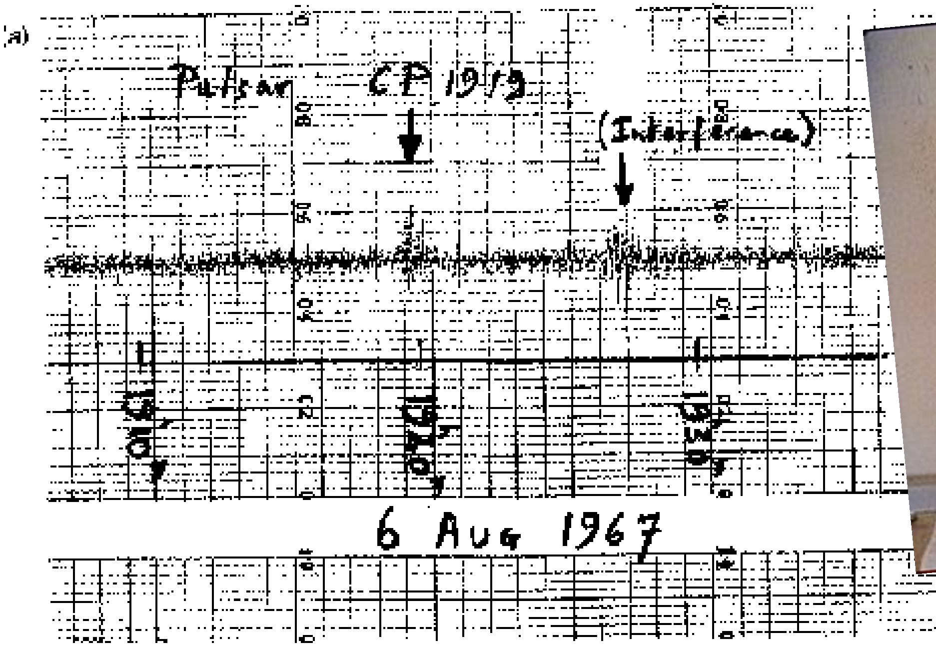
$$T_2 = T_1\,(R_2 / R_1)^2$$

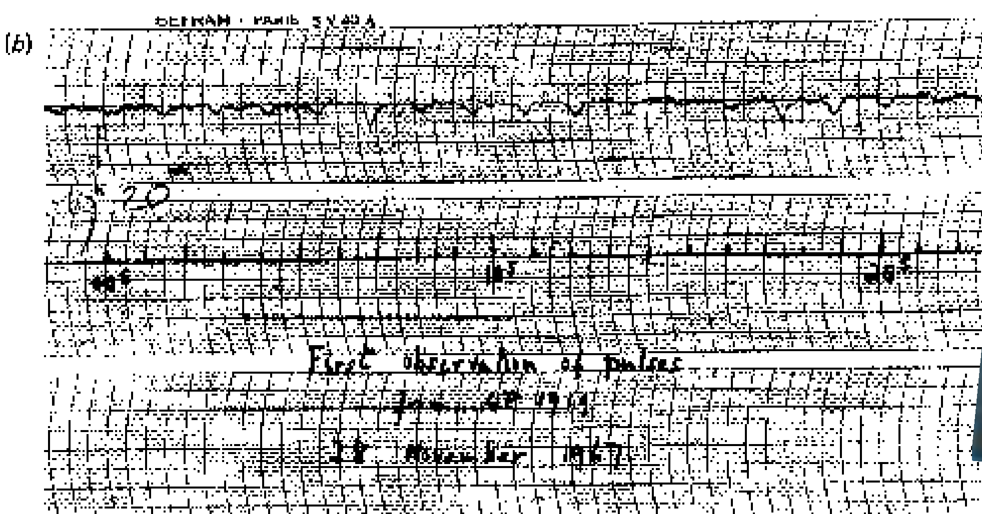
Estrela de nêutrons: objeto compacto, alta rotação, campo magnético forte



Estrela de nêutrons e Pulsares

Jocelyn Bell (1943 -)

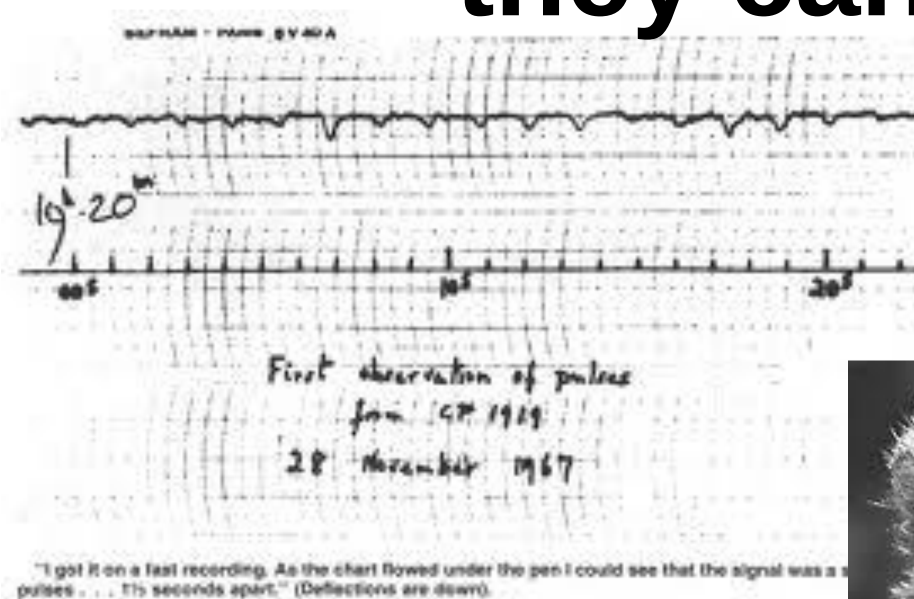




Jocelyn Bell & Antony Hewish

LGM: little green man

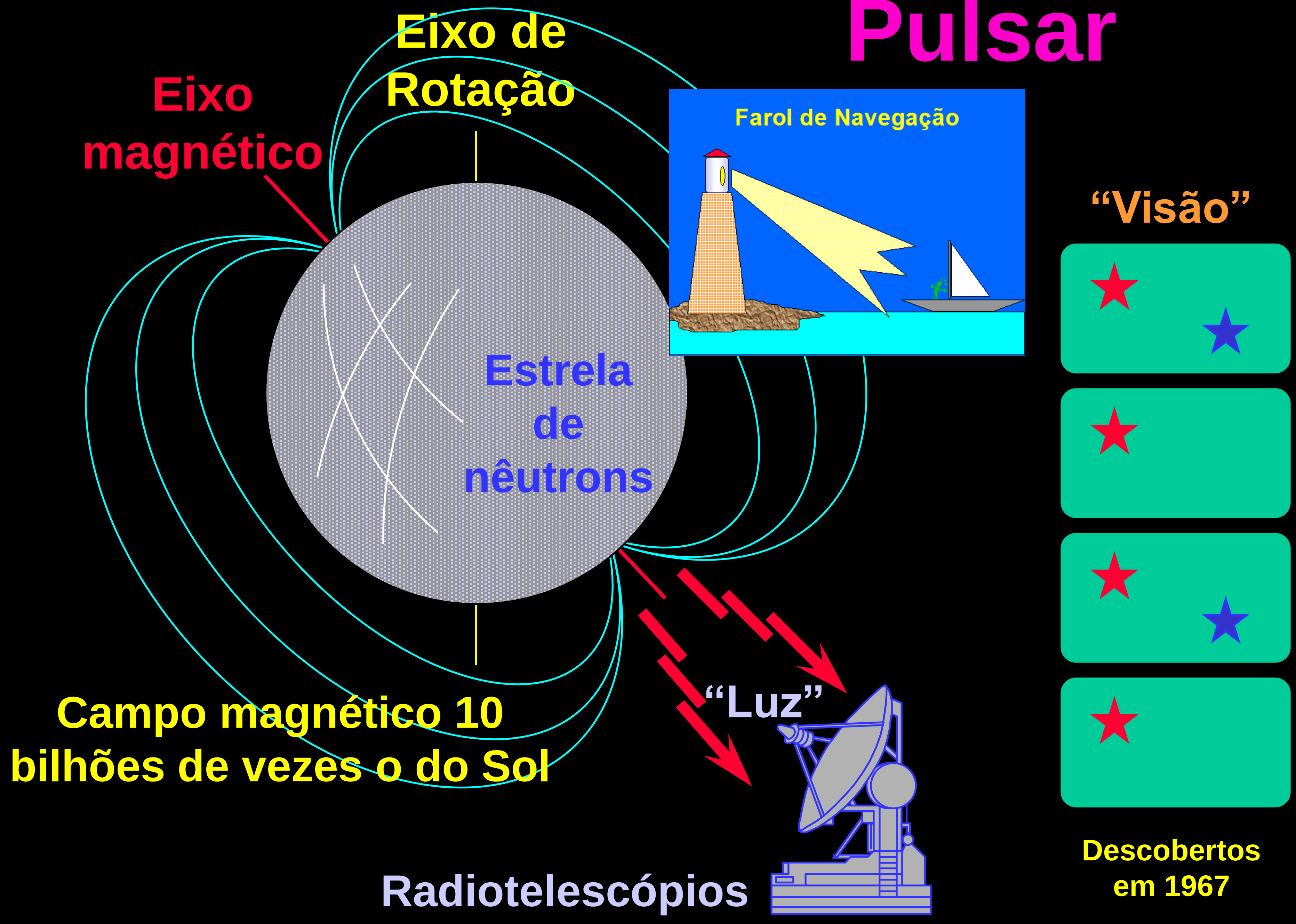
Jocelyn Bell achou outras fontes em 1967: they cannot be LGM



Descoberta Pulsares:

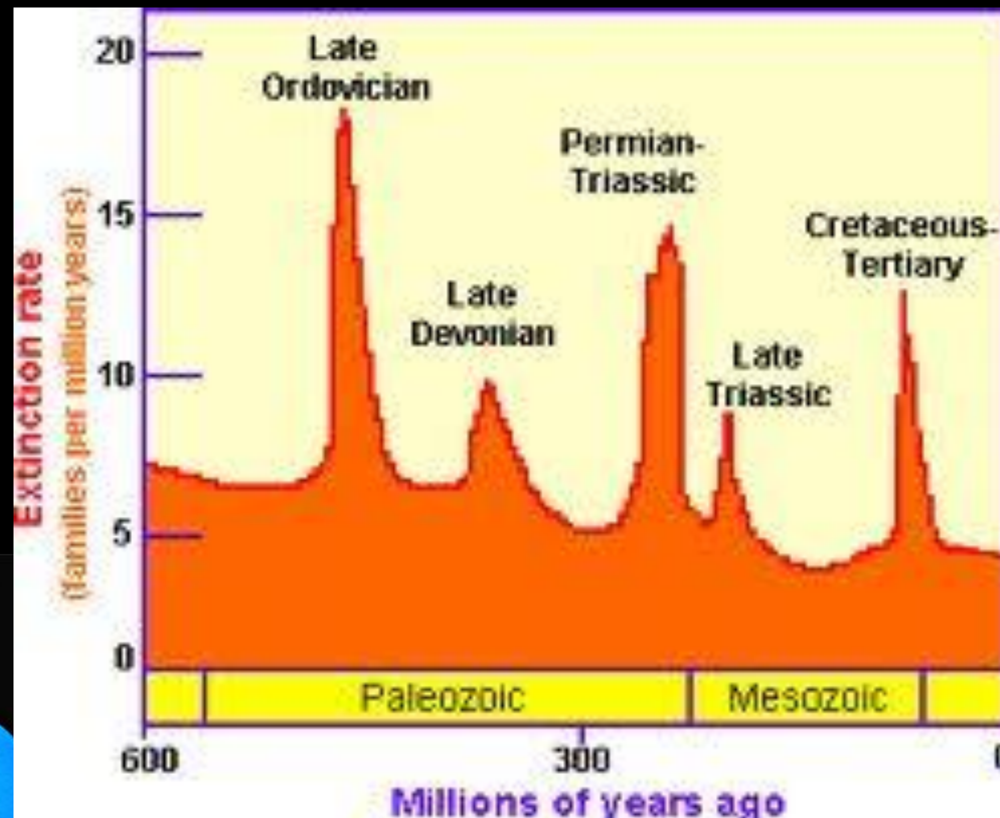
Nobel Física 1974

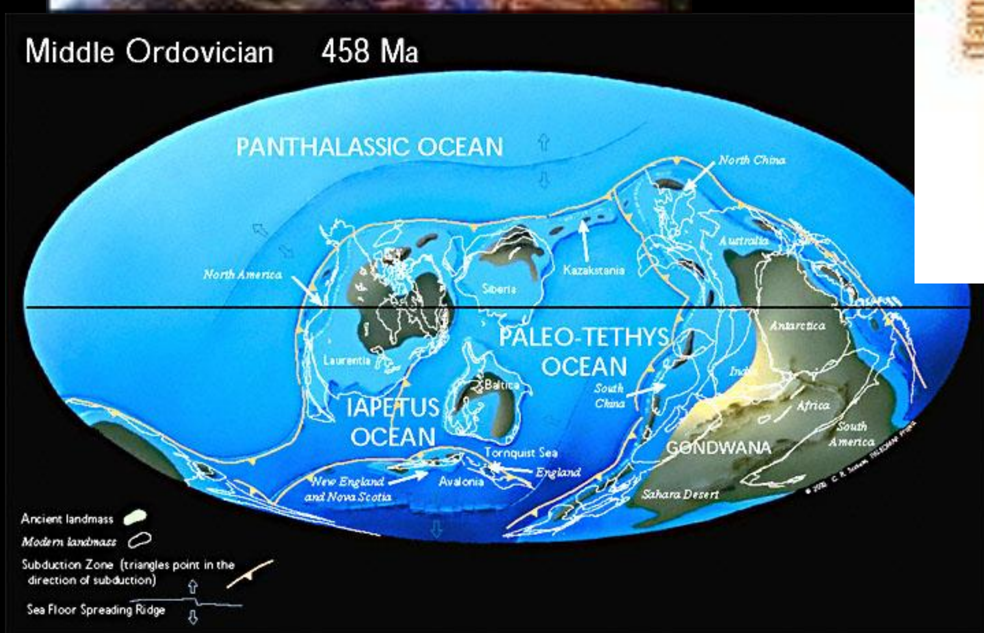
Pulsar


Eixo de
Rotação
Eixo
magnético
Farol de Navegação
"Visão"
Estrela
de
nêutrons
Campo magnético 10
bilhões de vezes o do Sol
"Luz"
Radiotelescópios
Descobertos
em 1967

Processos de extinção em massa de seres vivos

Extinção no Período Ordoviciano, há 450 milhões de anos





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

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.

É improvável uma detonação de uma supernova a meros 30 parsecs daqui. Mesmo a essa pequena distância, uma parcela das bactérias pôde resistir, mostrando que extinguir a vida completamente pode ser bem difícil.

www1.folha.uol.com.br/ciencia/1173433-bacterias-sobreviveriam-a-explosao-de-estrela-diz-estudo.shtml

LOGOUT

ASSINE A FOLHA

ATENDIMENTO

FOLHA DE S.PAULO
★ ★ ★ UM JORNAL A SERVIÇO DO BRASIL
QUARTA-FEIRA, 24 DE OUTUBRO DE 2012 10H08

ciência

23/10/2012

23/10/2012 - 05h00

Bactérias sobreviveriam a explosão de estrela, diz estudo

SALVADOR NOGUEIRA
COLABORAÇÃO PARA A **FOLHA**

Cientistas recriaram em laboratório os efeitos de uma supernova --detonação explosiva de uma estrela gigante-- para saber se a vida seria capaz de aguentá-los. Aparentemente, ao menos no que diz respeito à radiação produzida, a resposta é sim, com um pouco de sorte, é claro.

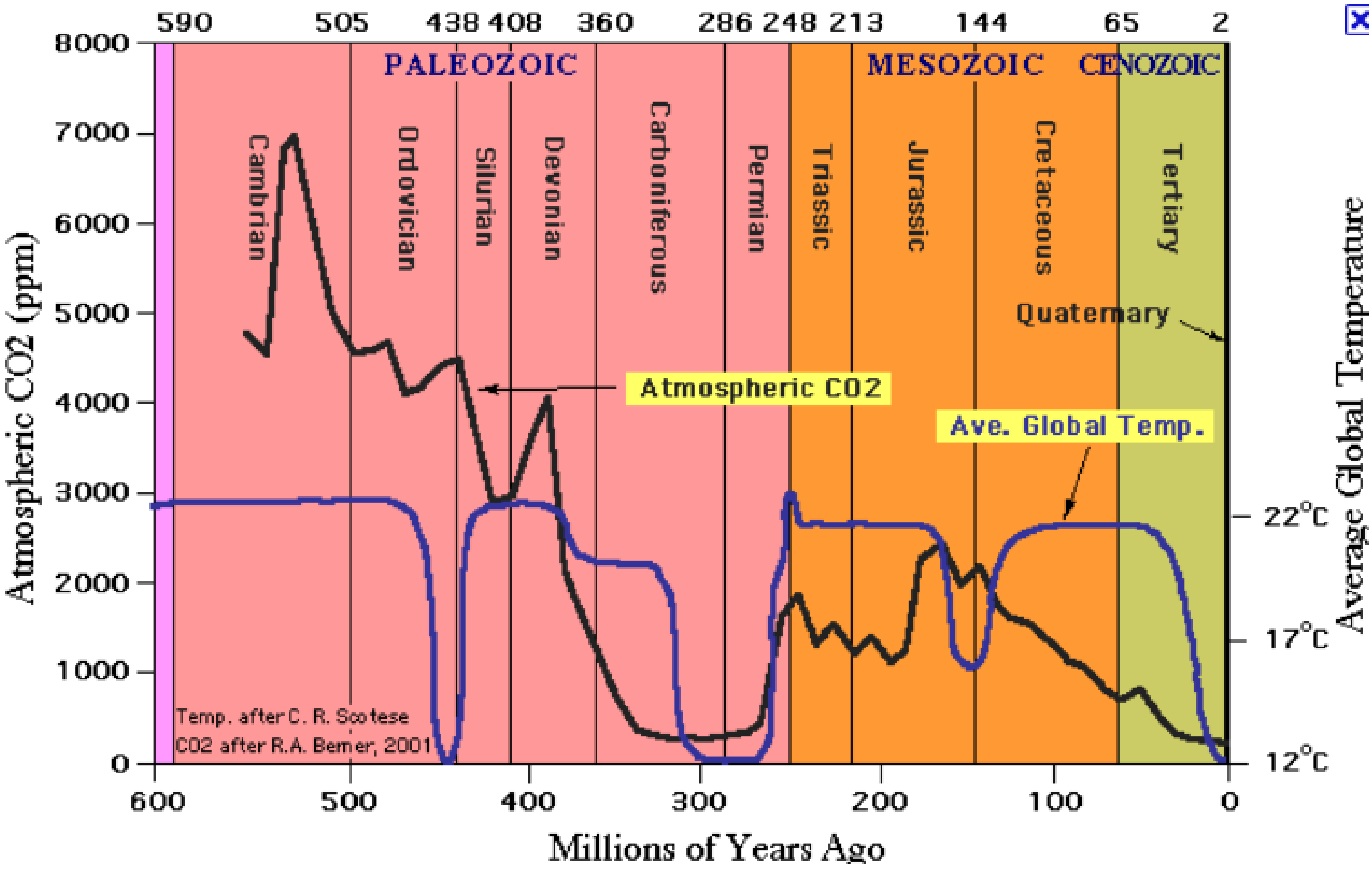
O estudo foi apresentado na 37ª reunião anual da Sociedade Astronômica Brasileira, que ocorreu em Águas de Lindoia (interior de SP).

A bactéria escolhida foi a Deinococcus radiodurans, famosa por sua notável resistência à radiação.

BOA NOTÍCIA

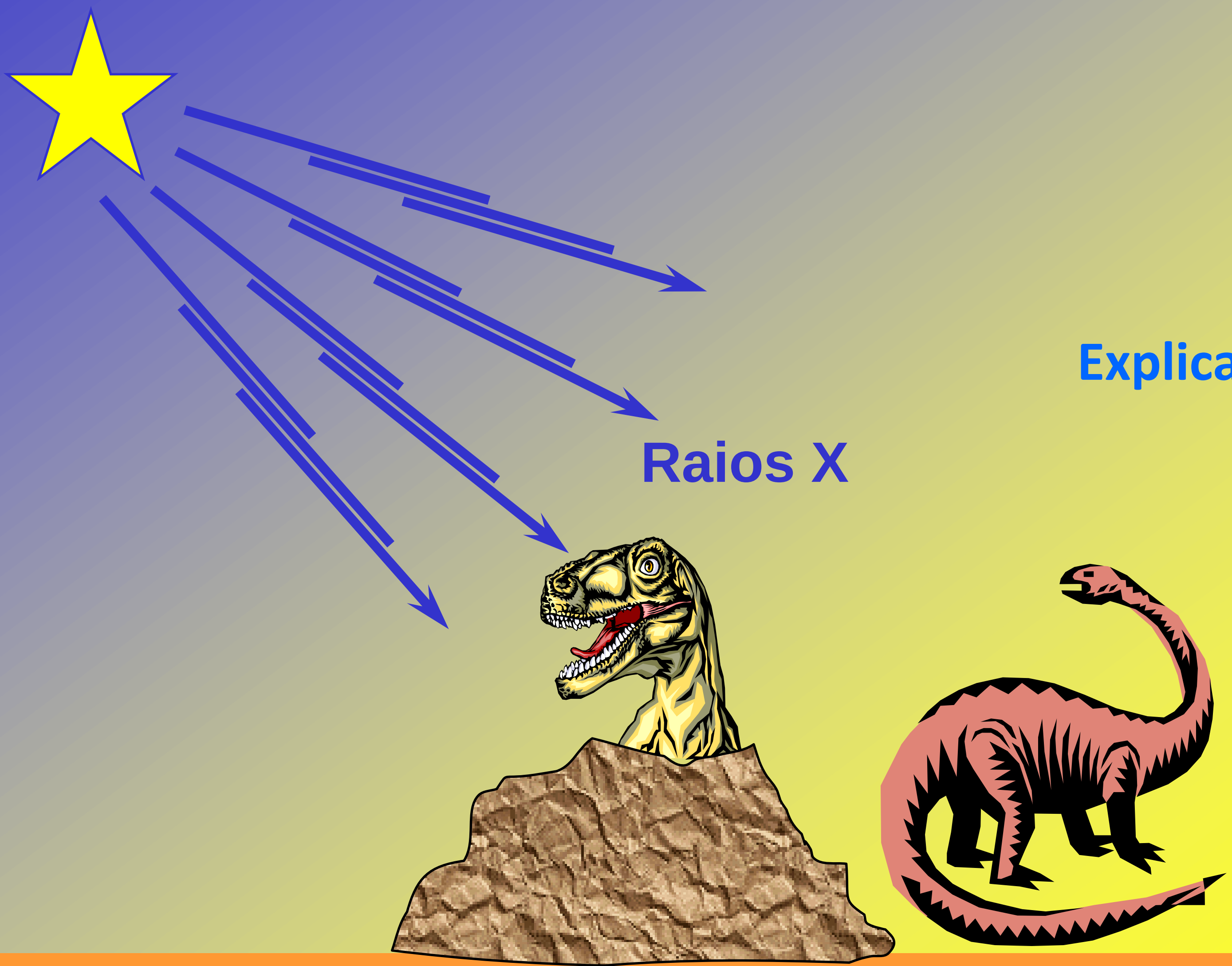
E a boa notícia é que elas resistiram --ou pelo menos uma parte delas. "Uma supernova estando até cerca de 30 parsecs de distância conseguiria matar 90% de uma população dos organismos mais radiorresistentes que conhecemos", diz Galante.

Explicação alternativa: glaciação

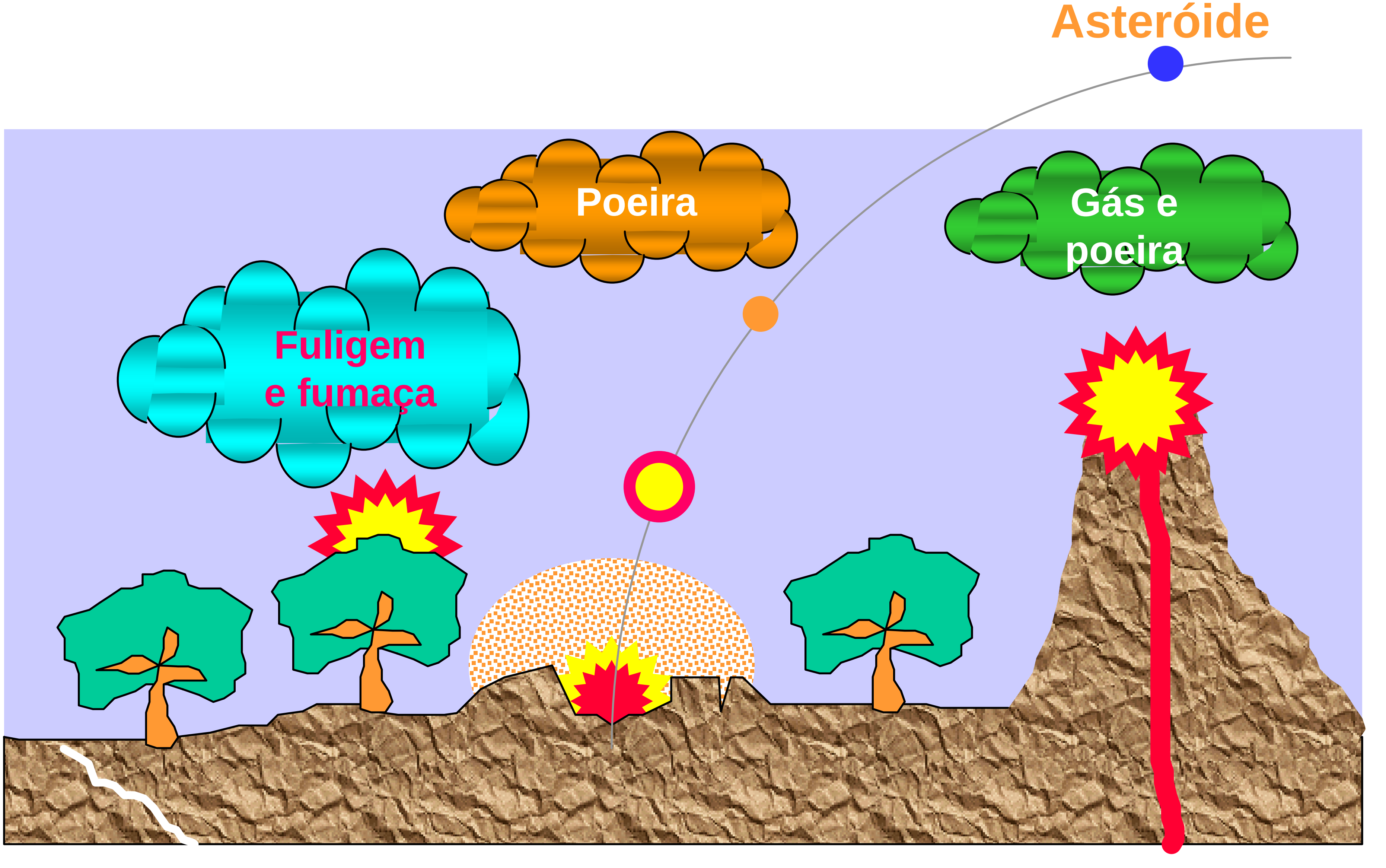


Extinção dos Dinossauros

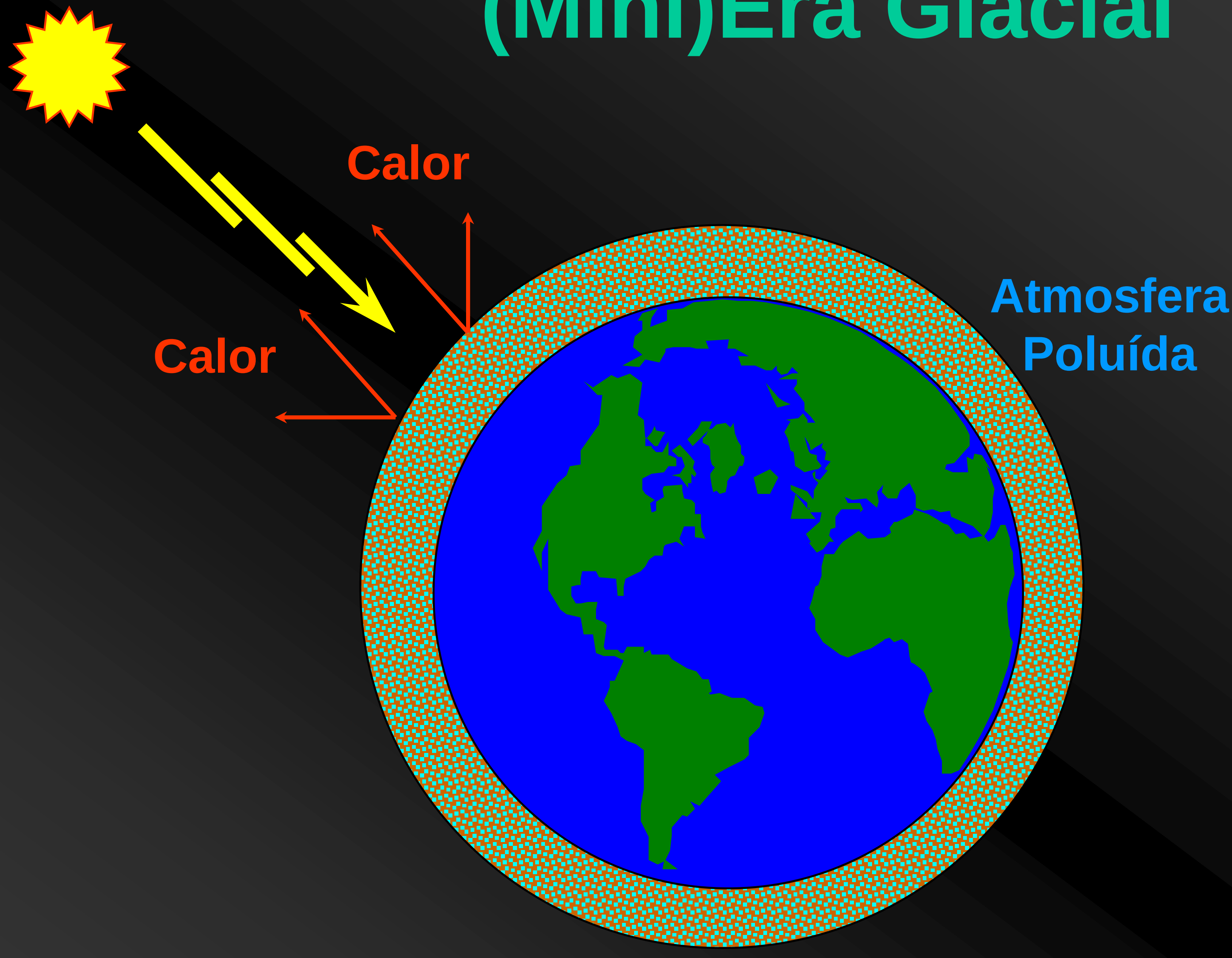
(65 milhões de anos atrás)



Choque de asteróide com a Terra (explicação mais aceita)



(Mini)Era Glacial



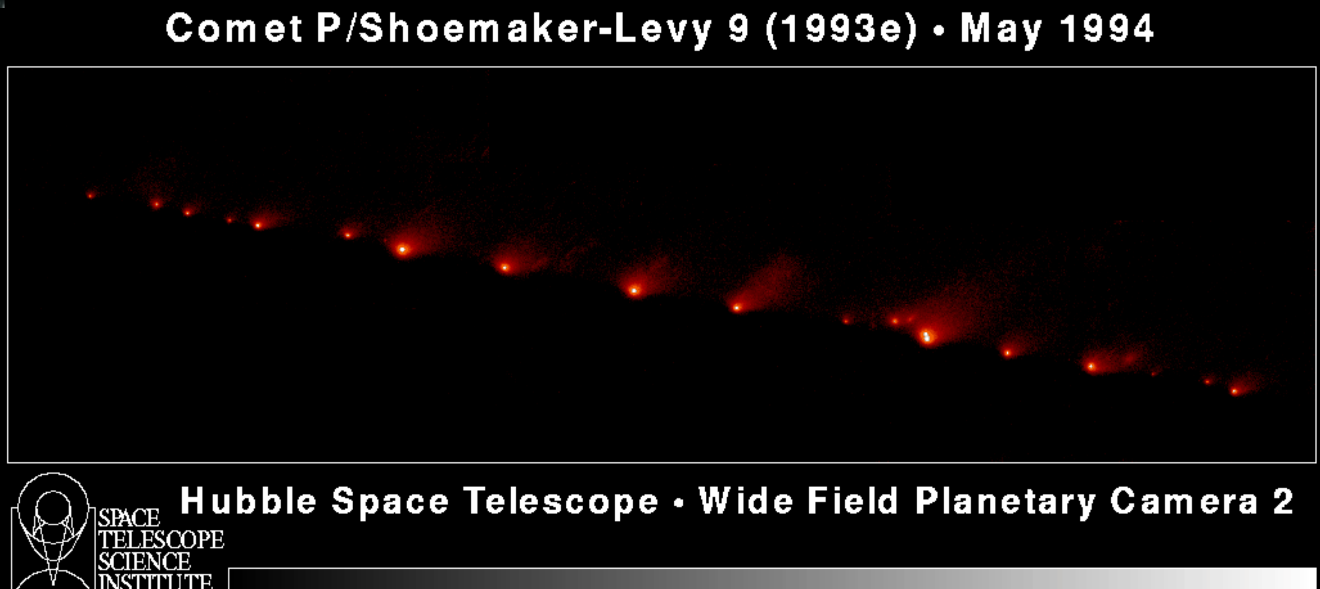
Colisões catastróficas na Terra

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



Impacto de asteroide registrado por astrônomo amador no 10/setembro/2012


NATIONAL GEOGRAPHIC
Inspiring people to care about the planet since 1888 | Learn More »
HOME VIDEO PHOTOGRAPHY ANIMALS ENVIRONMENT TRAVEL ADV
Daily News | The Magazine | Maps | Science | Education | Games | Events | Blogs | M

NATIONAL GEOGRAPHIC Daily News

Home Animals Ancient Energy Environment Travel/Cultures Space/Tech Water Weird Ne

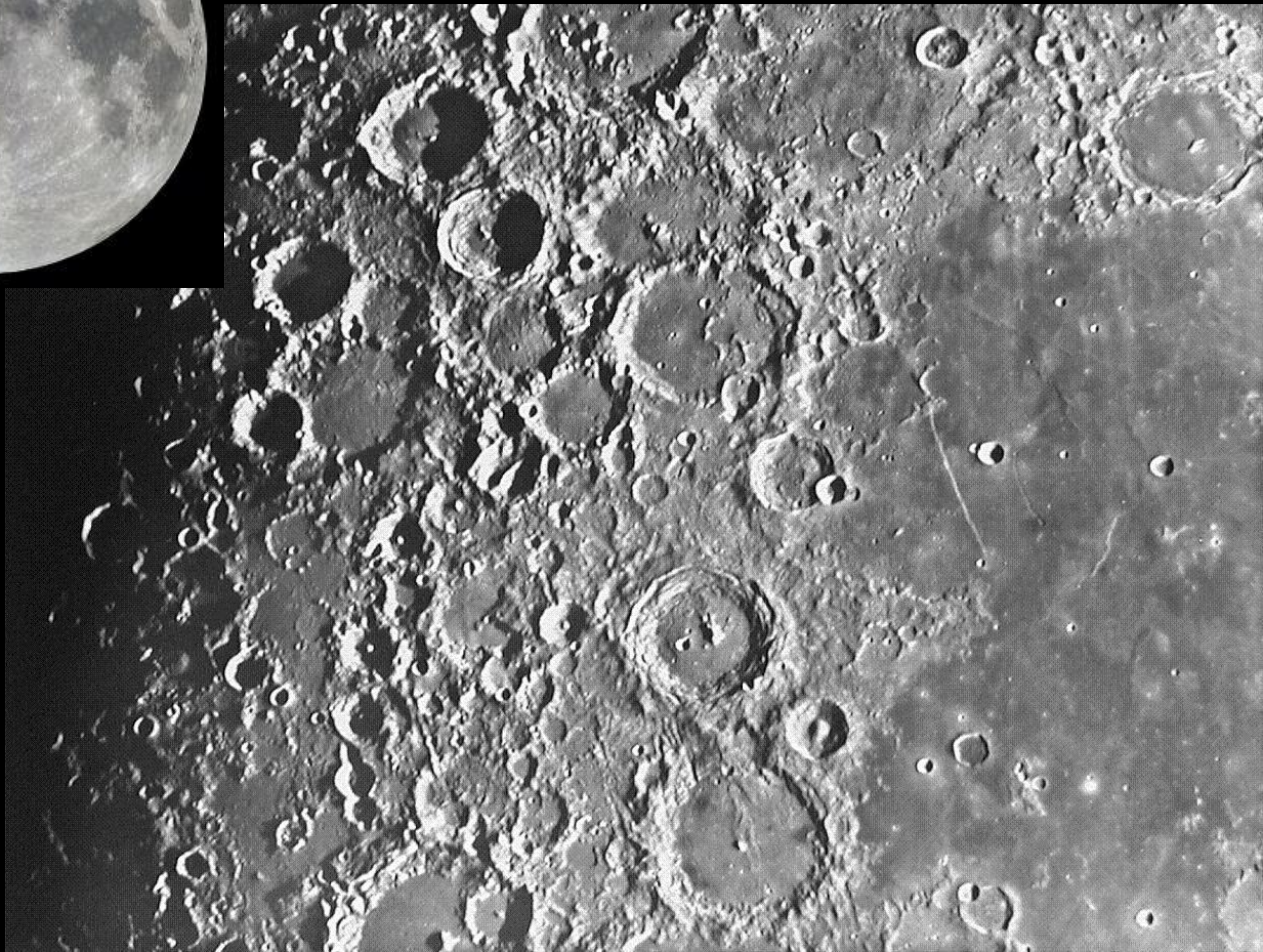
Jupiter Explosion Spotted by Amateur Astronomers

"I observed an explosion on Jupiter this morning!"

The bright flash—captured on amateur video—lasted roughly two seconds.

Video: http://www.universetoday.com/97310/watch-jupiter-get-hit-in-the-original-hd-video/

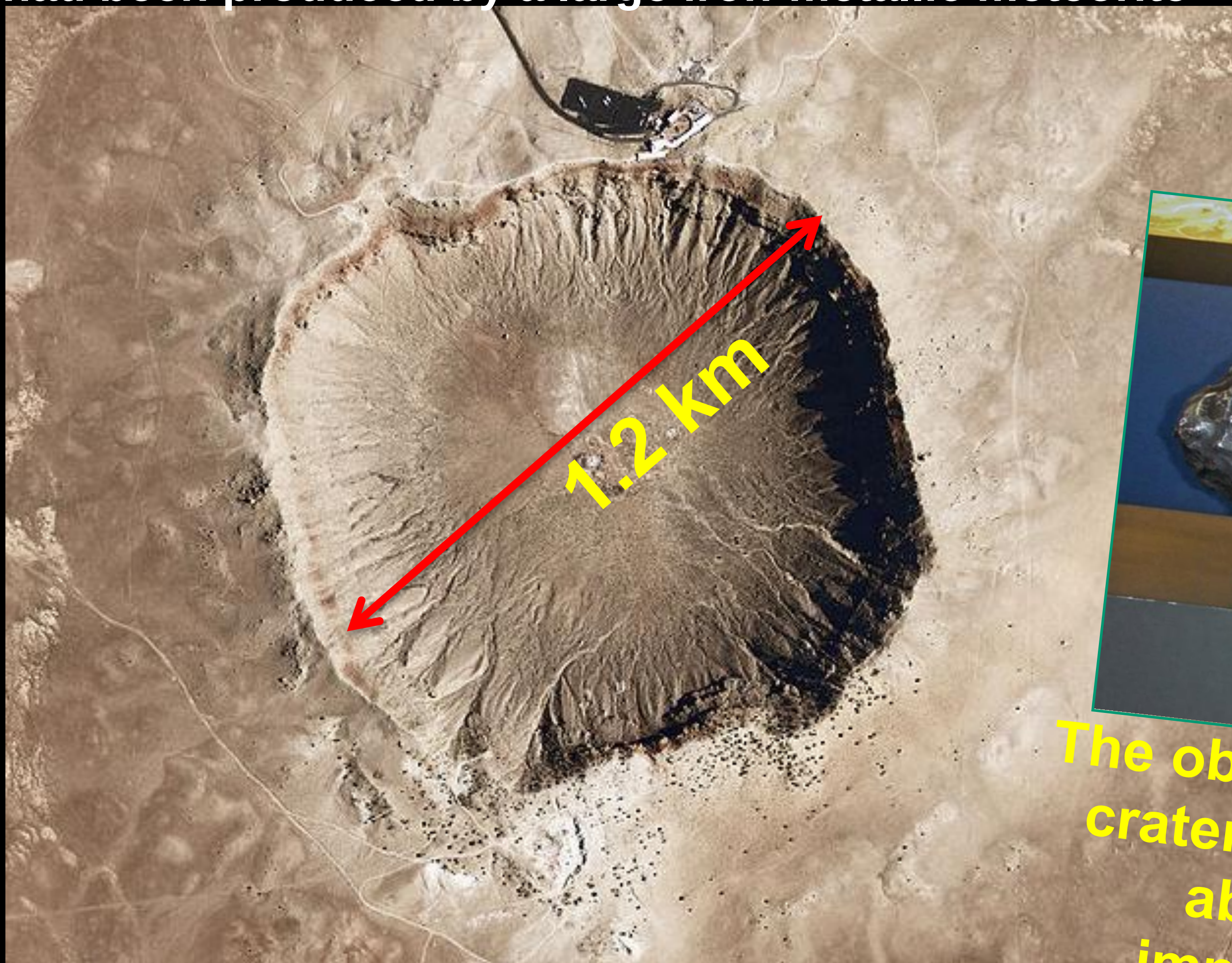
Crateras na Lua



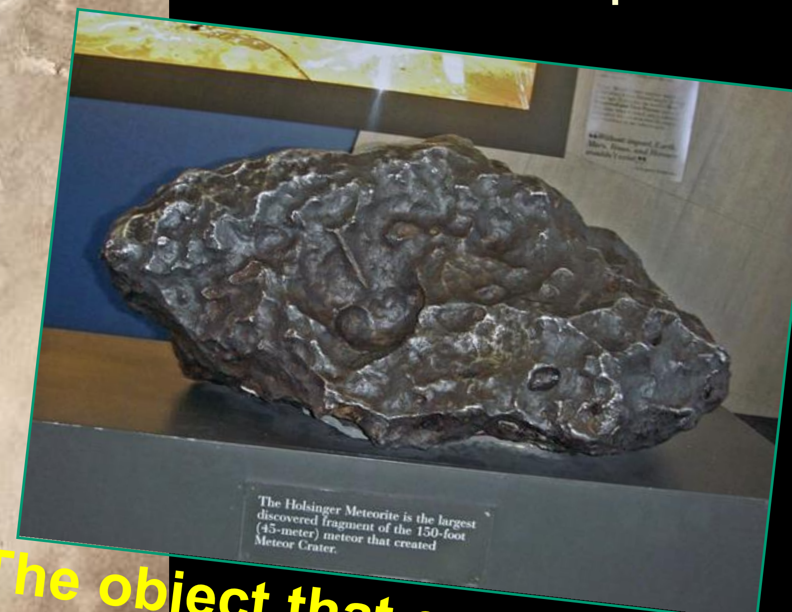
Barringer Crater, Arizona, U.S.A.

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

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



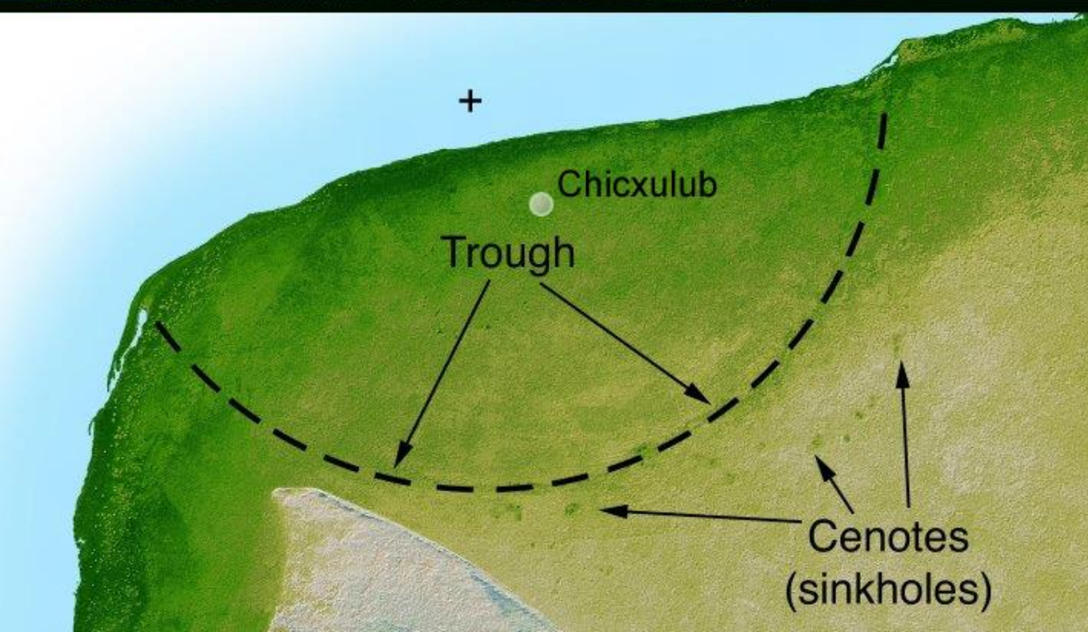
Shoemaker found the mineral stishovite, a rare form of silica found only where quartz-bearing rocks have been severely shocked by an instantaneous overpressure



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

Radar topography reveals the 180km diameter ring of the crater



Double impact killed dinosaurs?

www.bbc.co.uk/news/science-environment-11112417

BBC News Sport Weather Travel

NEWS SCIENCE & ENVIRONMENT

27 August 2010 Last updated at 16:36 GMT

By Howard Falcon-Lang
Science reporter, BBC News

The dinosaurs were wiped out 65 million years ago by at least two space impacts, rather than a single strike, a new study suggests.

Previously, scientists had identified a huge impact crater in the Gulf of Mexico as the event that spelled doom for the dinosaurs.

Now evidence for a second impact in Ukraine has been uncovered.

This raises the possibility that the Earth may have been bombarded by a whole shower of space rocks.

Double trouble for dinosaurs: Did more than one asteroid or comet strike cause their demise?

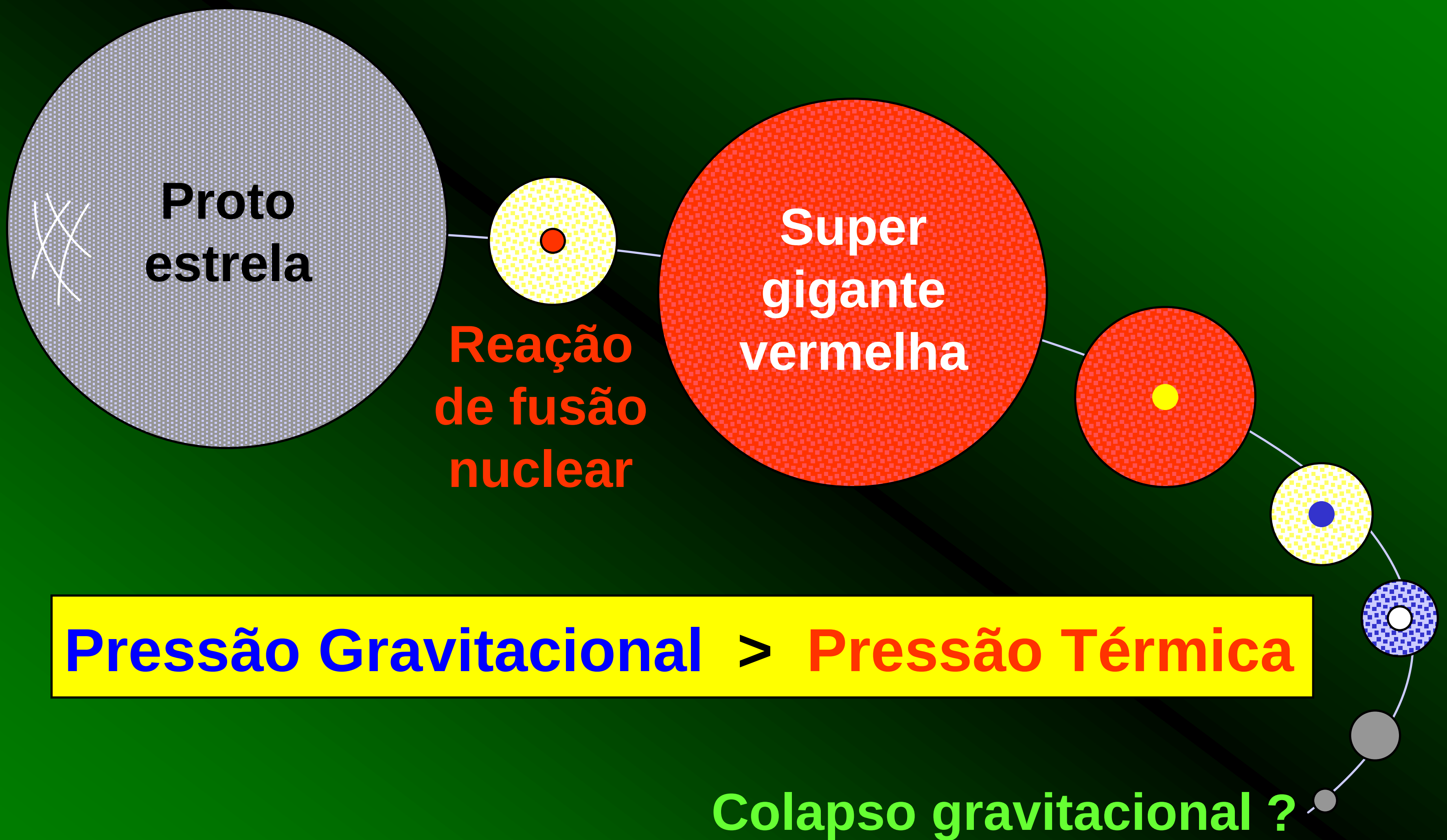
The new findings are published in the journal Geology by a team lead by Professor David Jolley of Aberdeen University, UK.

When first proposed in 1980, the idea that an asteroid or comet impact had killed off the dinosaurs proved hugely controversial. Later, the discovery of the Chicxulub Crater in the Gulf of Mexico was hailed as "the smoking gun"

The Boltysh (Ukraine) and Chicxulub (Mexico) impacts did not happen at exactly the same time. They struck several thousand years apart

Evolução de uma estrela de alta massa ($> 20\ M_{SOL}$)

Evolução de uma estrela de alta massa

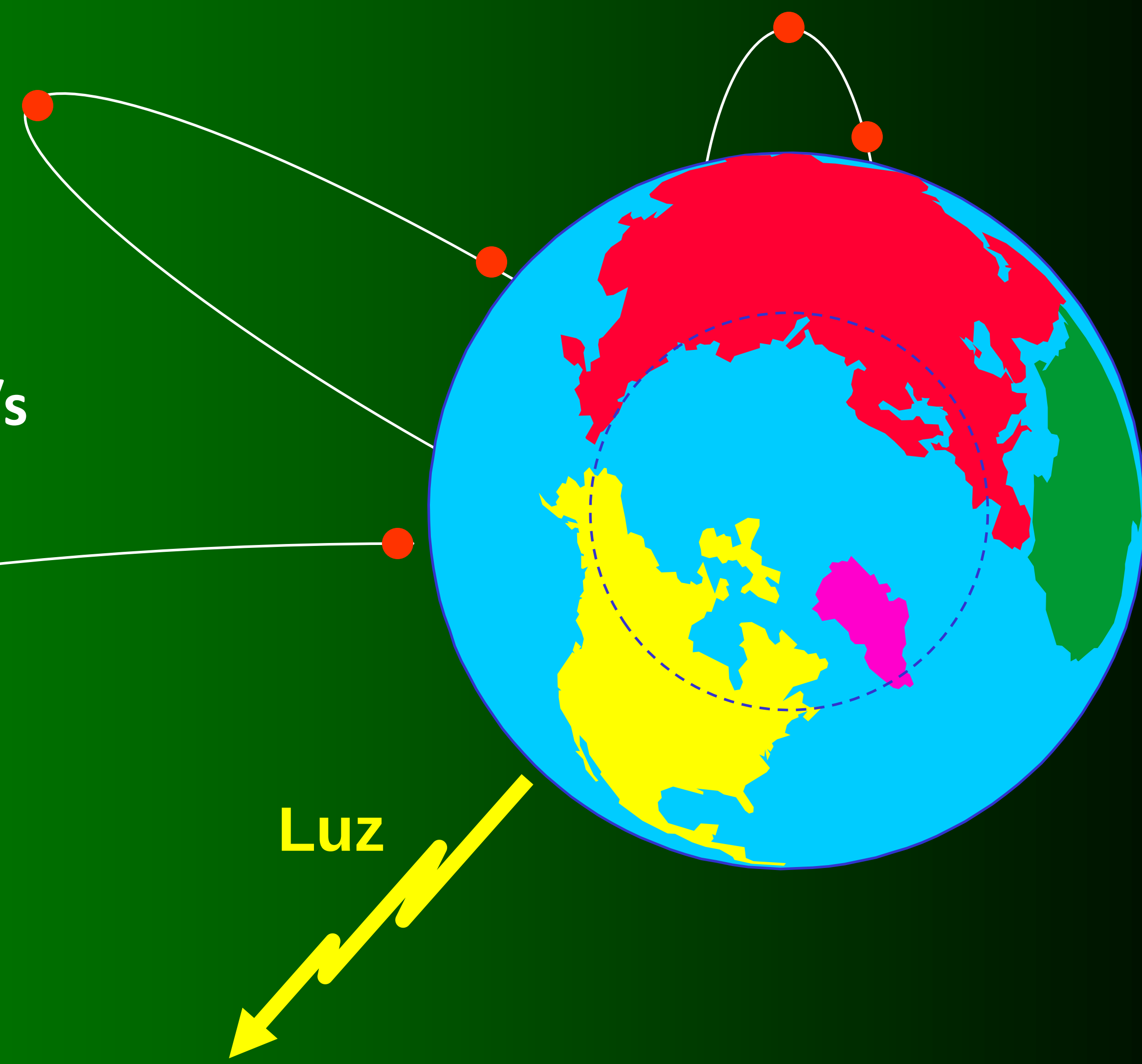


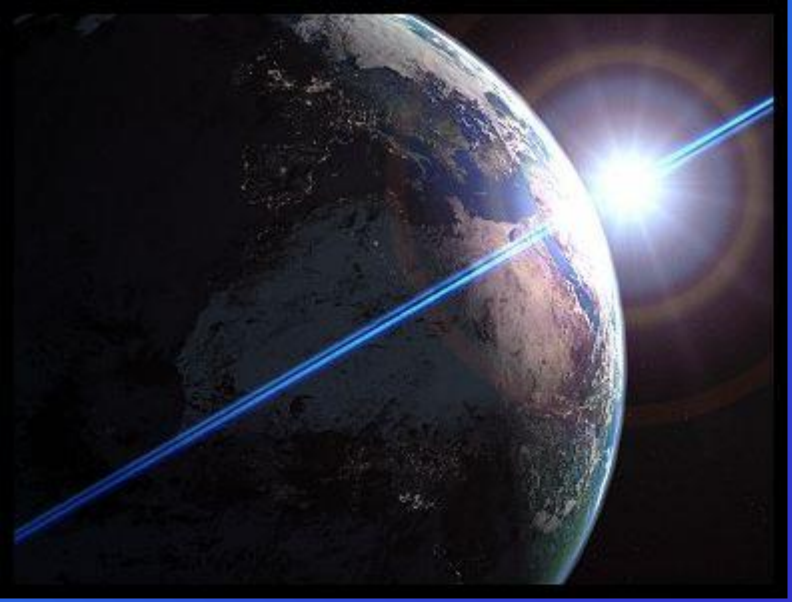
Lançamento de corpos num campo gravitacional

$$v_e = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$$

For Earth, about 11km/s

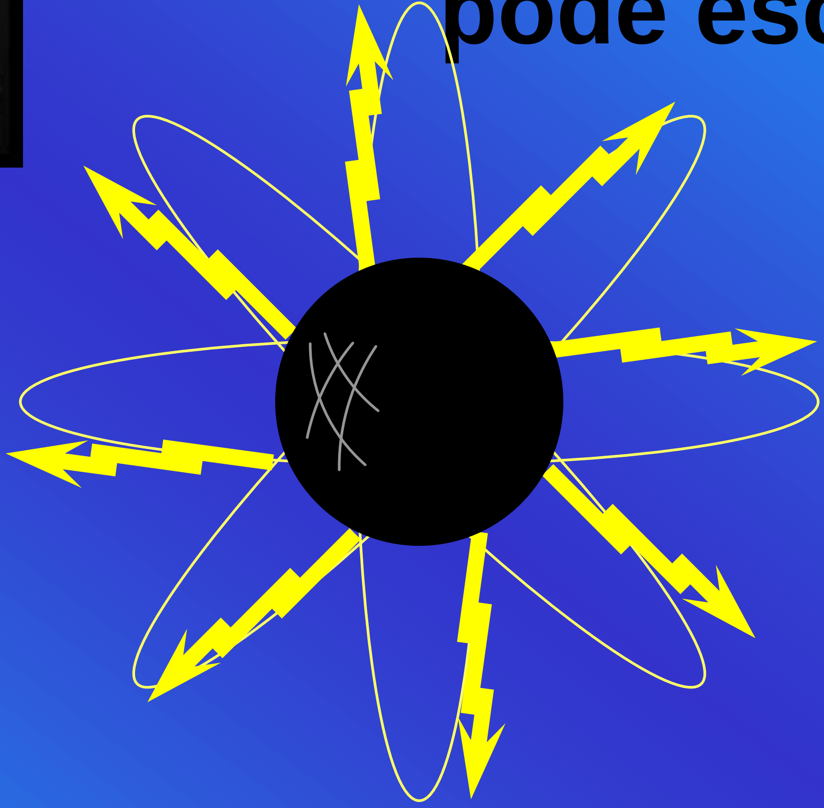
Sun : 618 km/s





Estrela Colapsada:

nem mesmo a luz pode escapar



Lei da atração gravitacional

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

M,m = massas dos corpos envolvidos

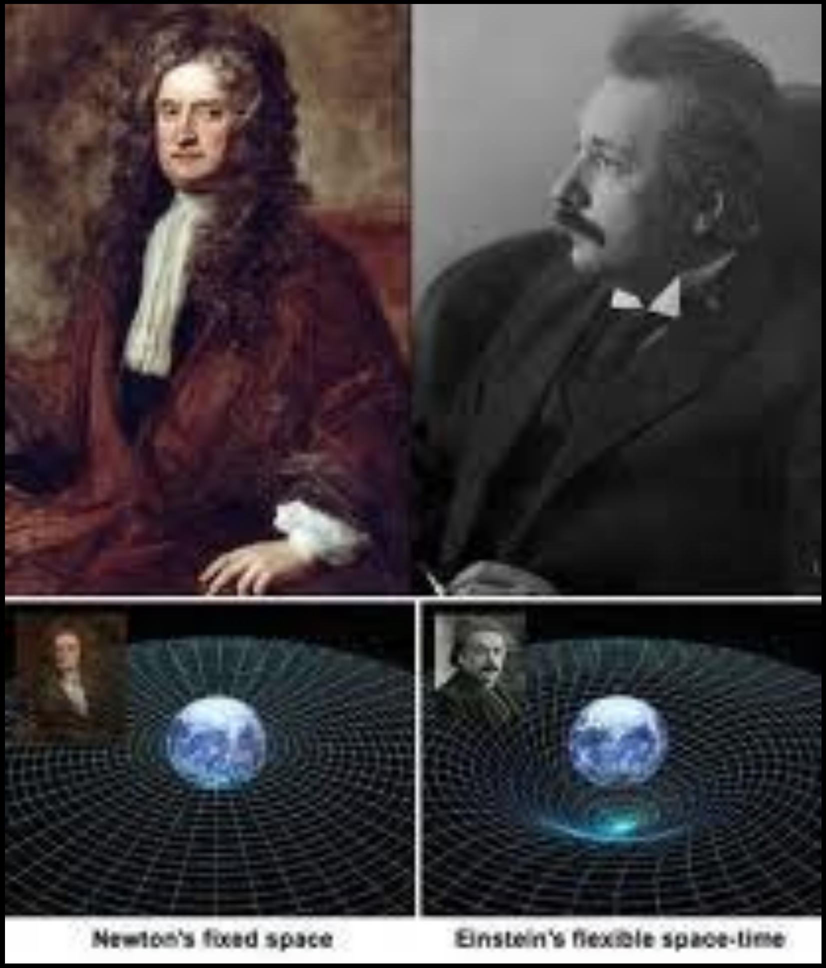
d = distância entre as massas

F = força de atração gravitacional

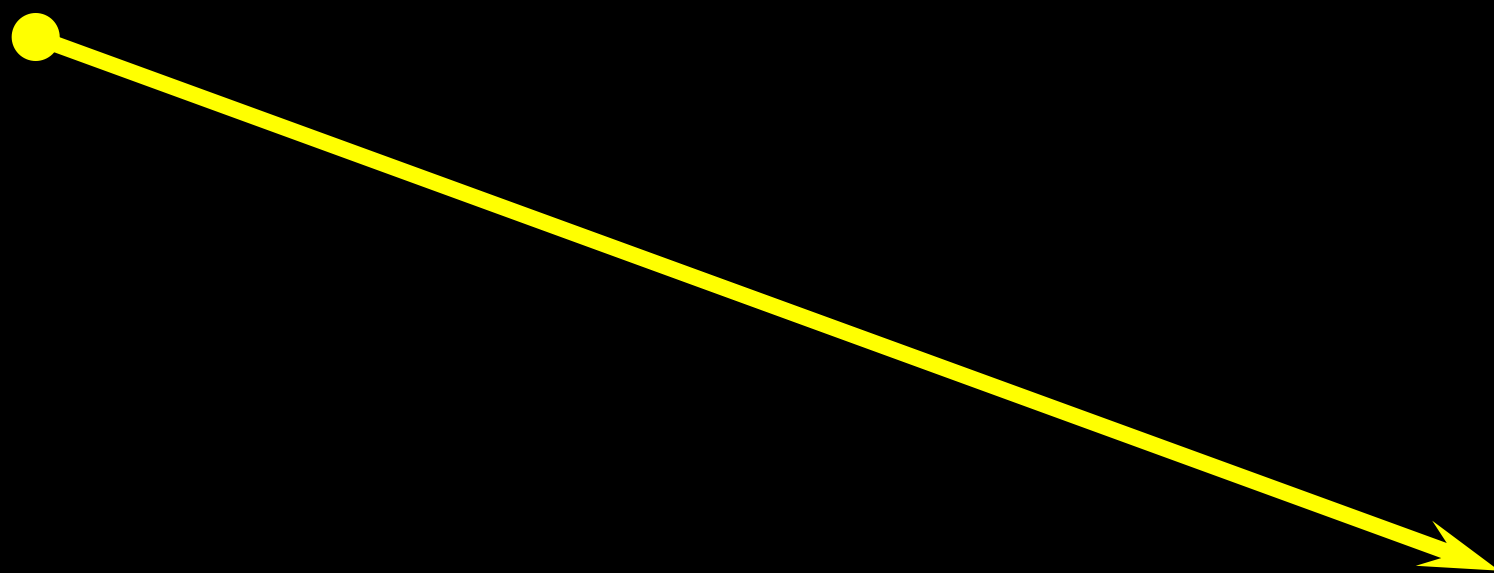
$$F = G\,M\,0\,/\,d^2$$

F = 0 !?! → Não há força de atração!

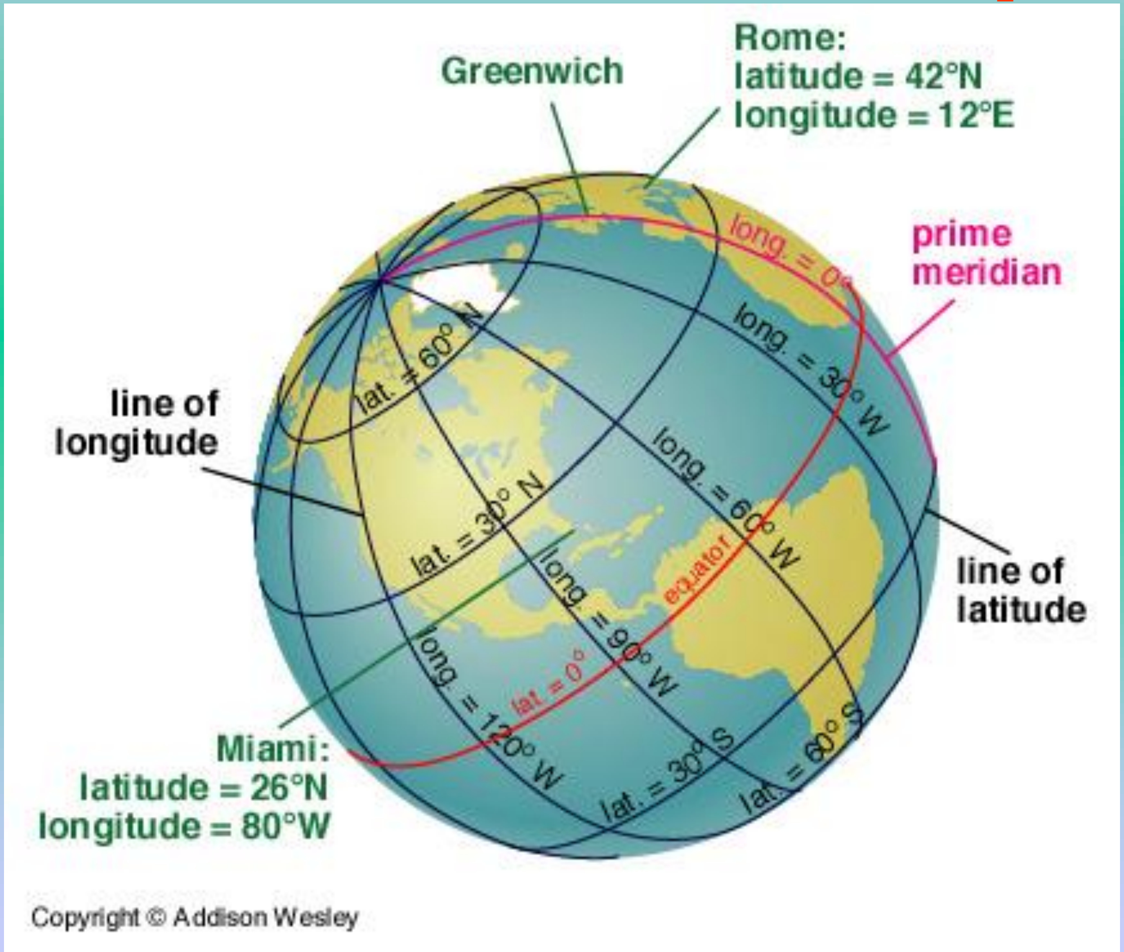
Reformulando a gravitação universal

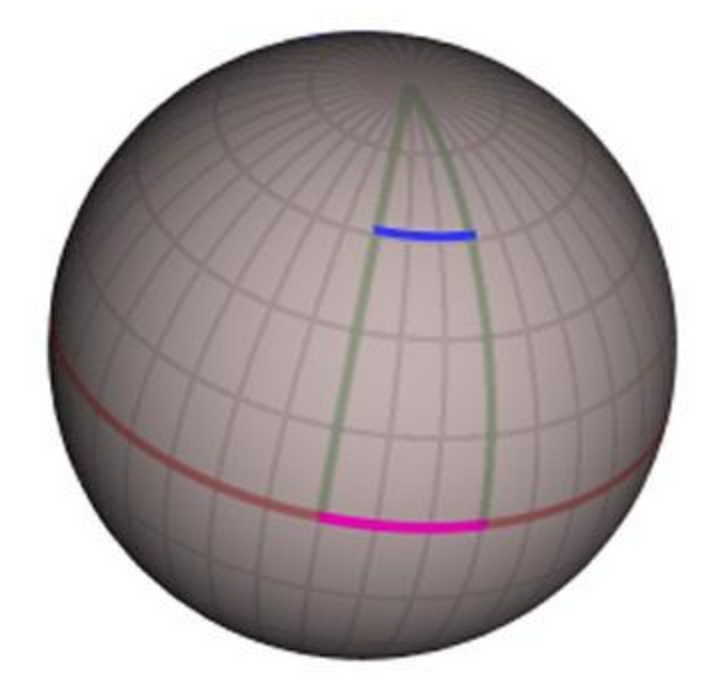


Qual a menor distância entre dois pontos?



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



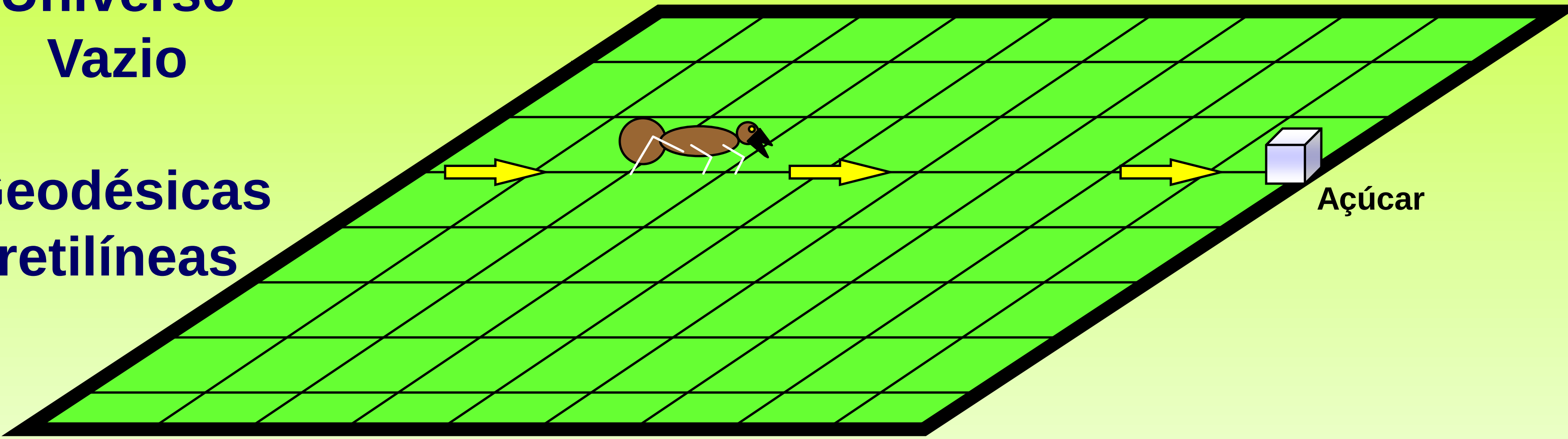


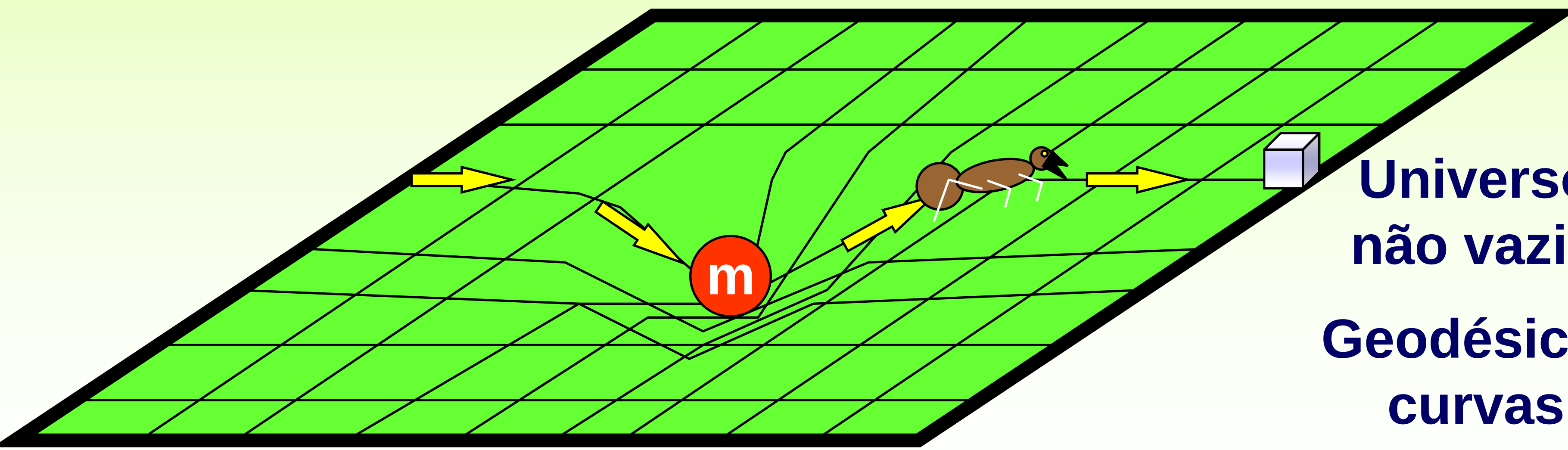
A geodesic is the shortest path between two points in curved space

Curvatura do Universo

Universo
Vazio

Geodésicas
retilíneas

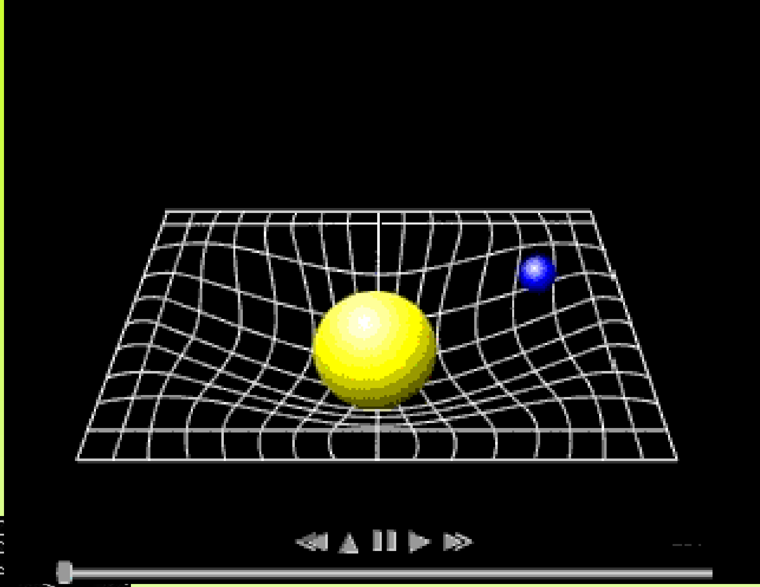


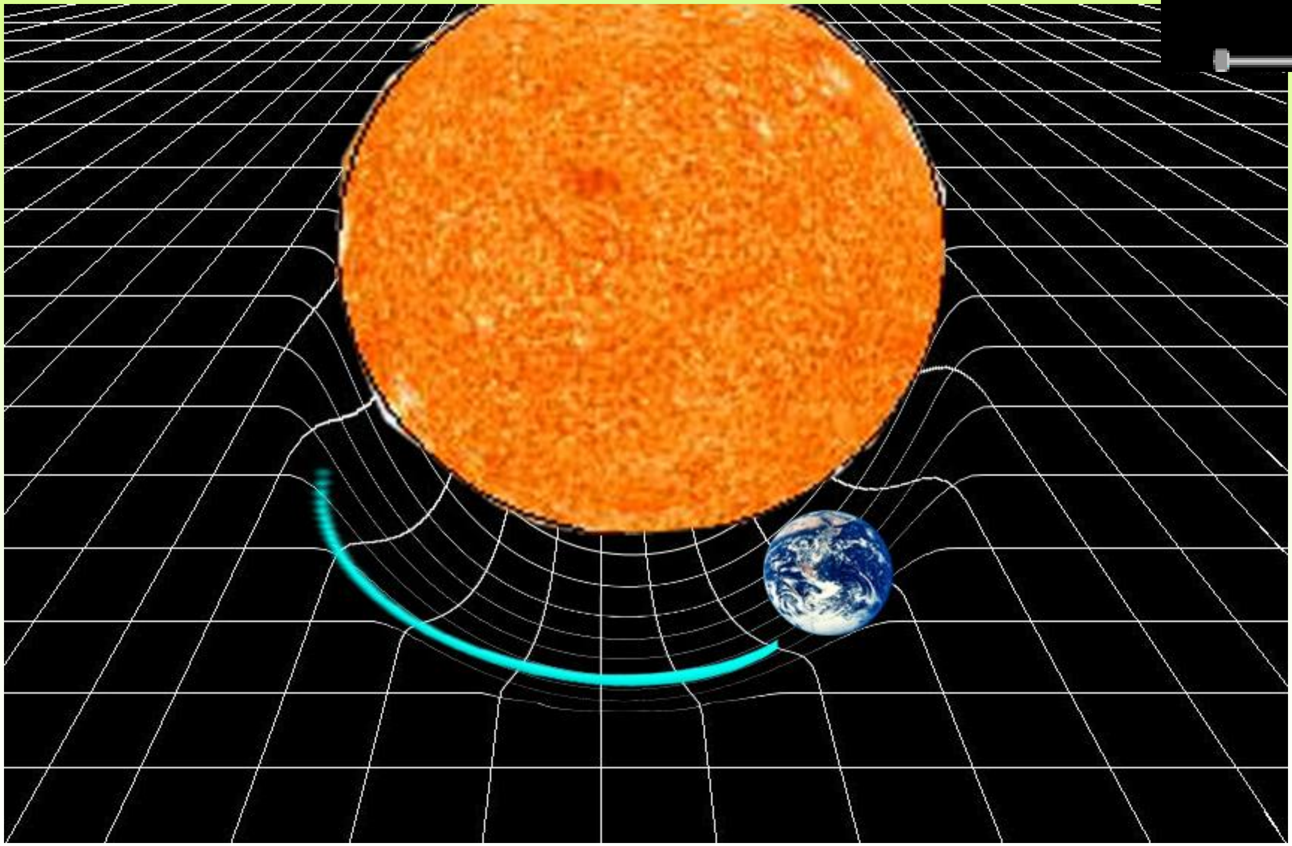


Universo
não vazio

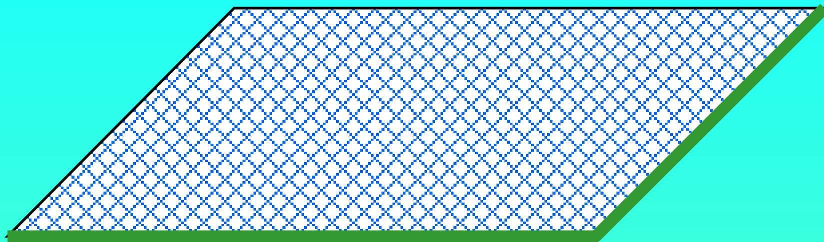
Geodésicas
curvas

Movimento da Terra em volta do Sol

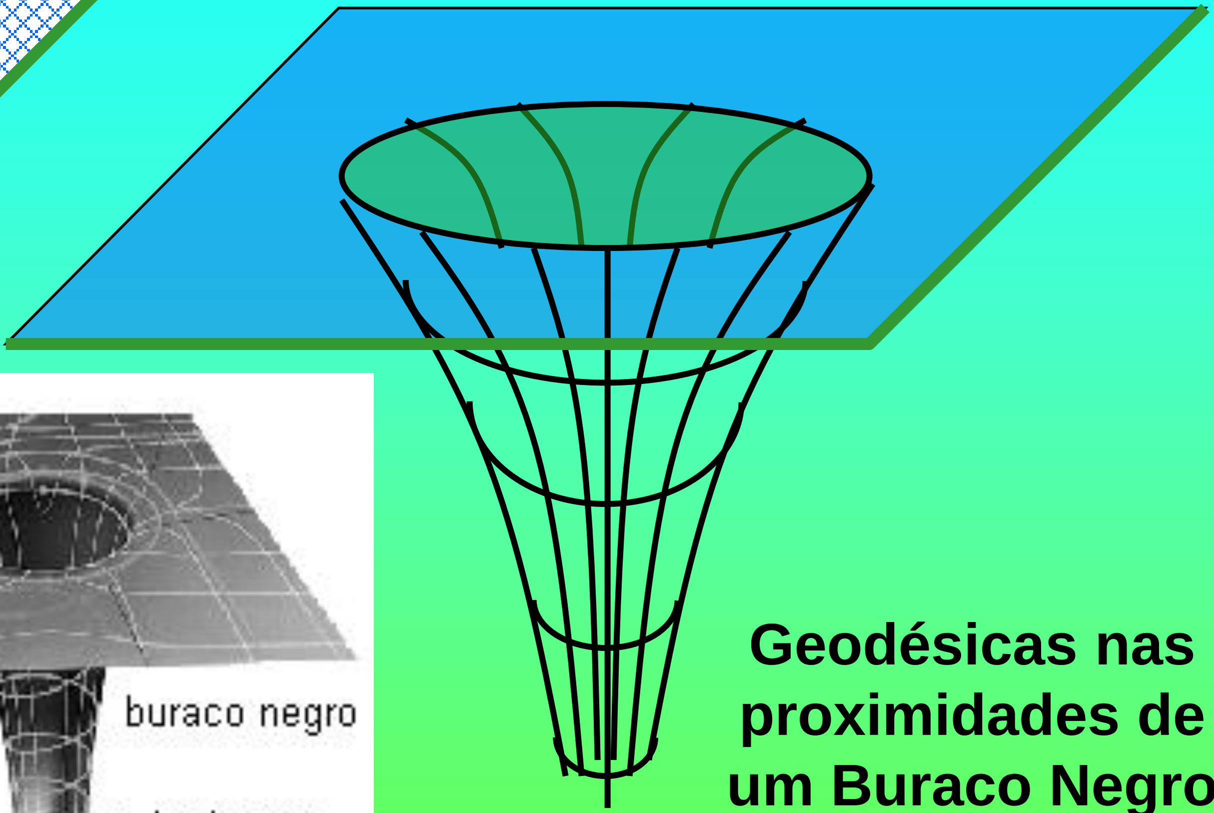




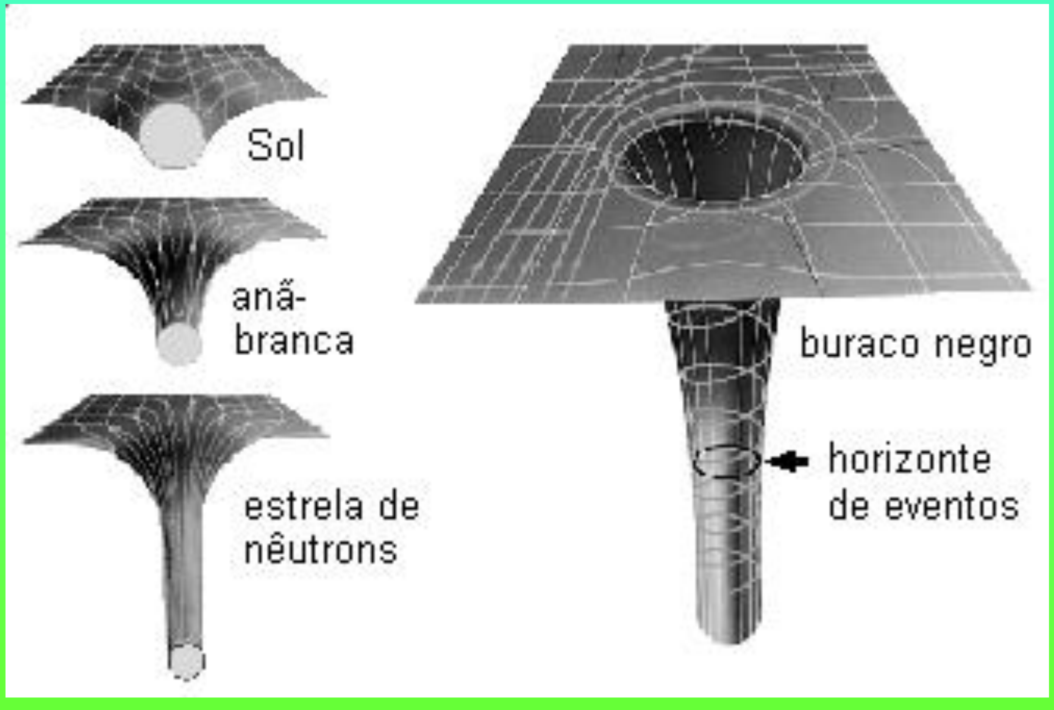
Representação geométrica de um Buraco Negro



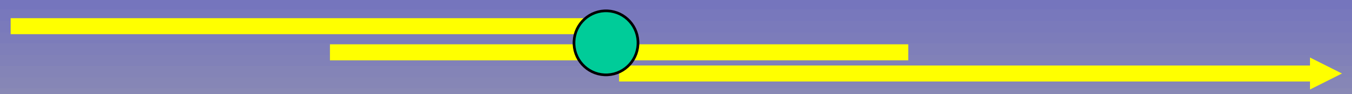
Geodésicas num espaço vazio



Geodésicas nas proximidades de um Buraco Negro



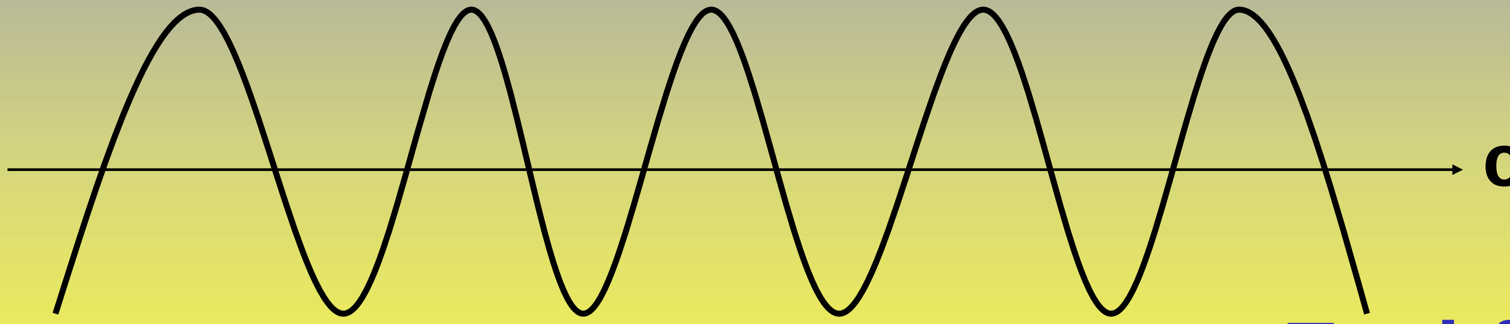
‘Massa’ de um fóton



Fóton

$E = mc^2$

f: frequência

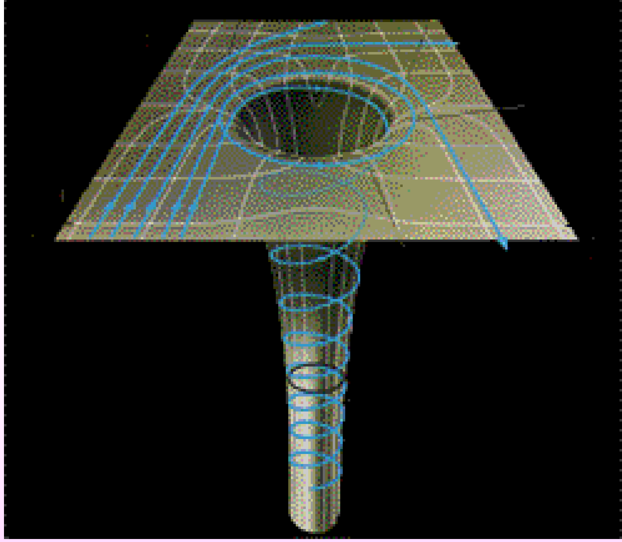


$E = hf$

$mc^2 = hf$

$m = hf / c^2$

Horizonte de eventos



Horizonte de eventos:

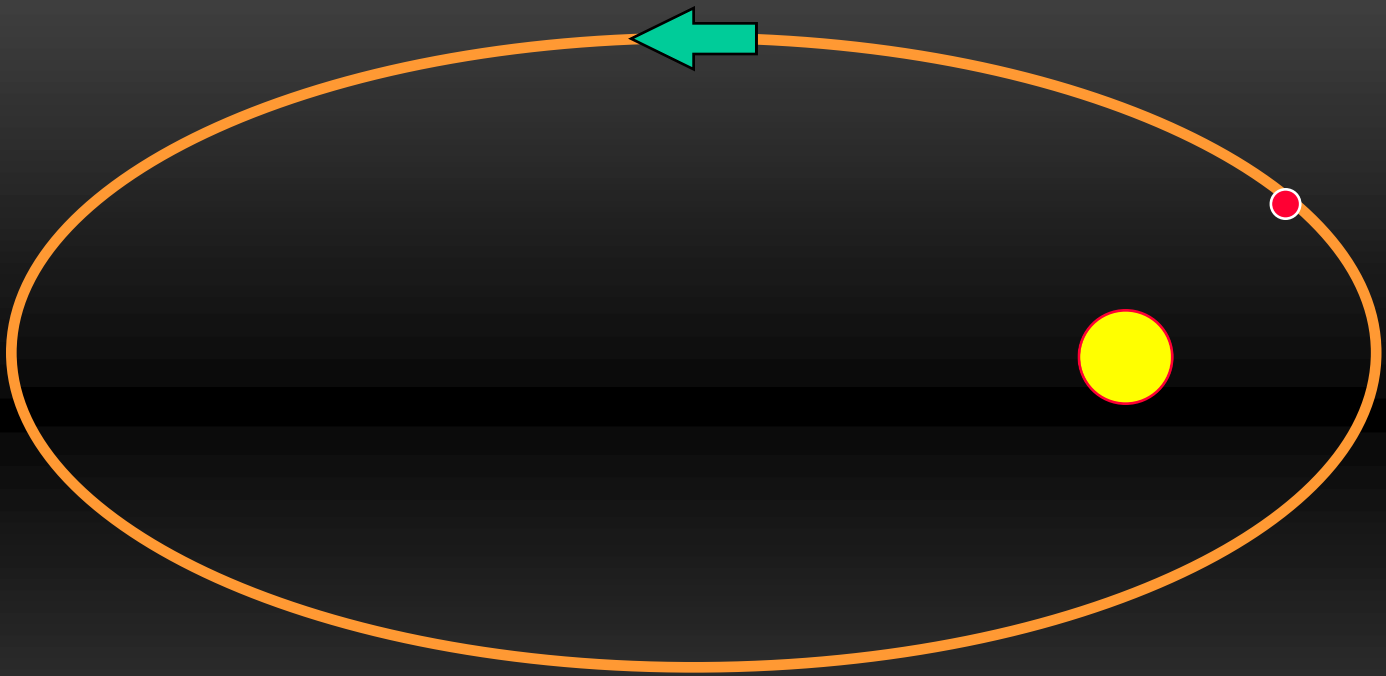
Superfície que delimita a região do espaço em torno de um buraco negro de modo que qualquer corpo (ou mesmo a Luz) que nele penetre, não pode mais dele sair

Detecção de Buracos Negros

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

Primeira Lei de Kepler

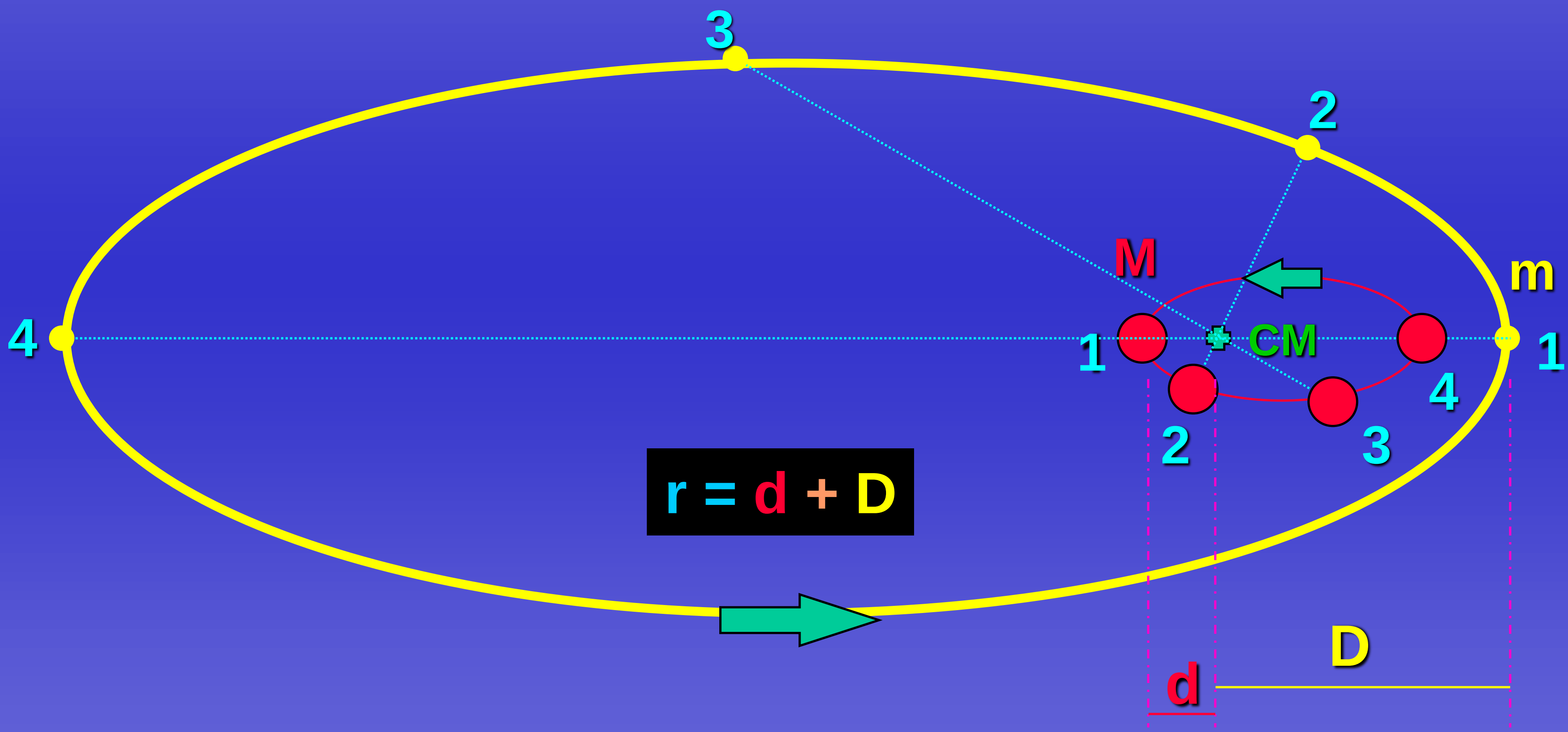
(1571 - 1630)



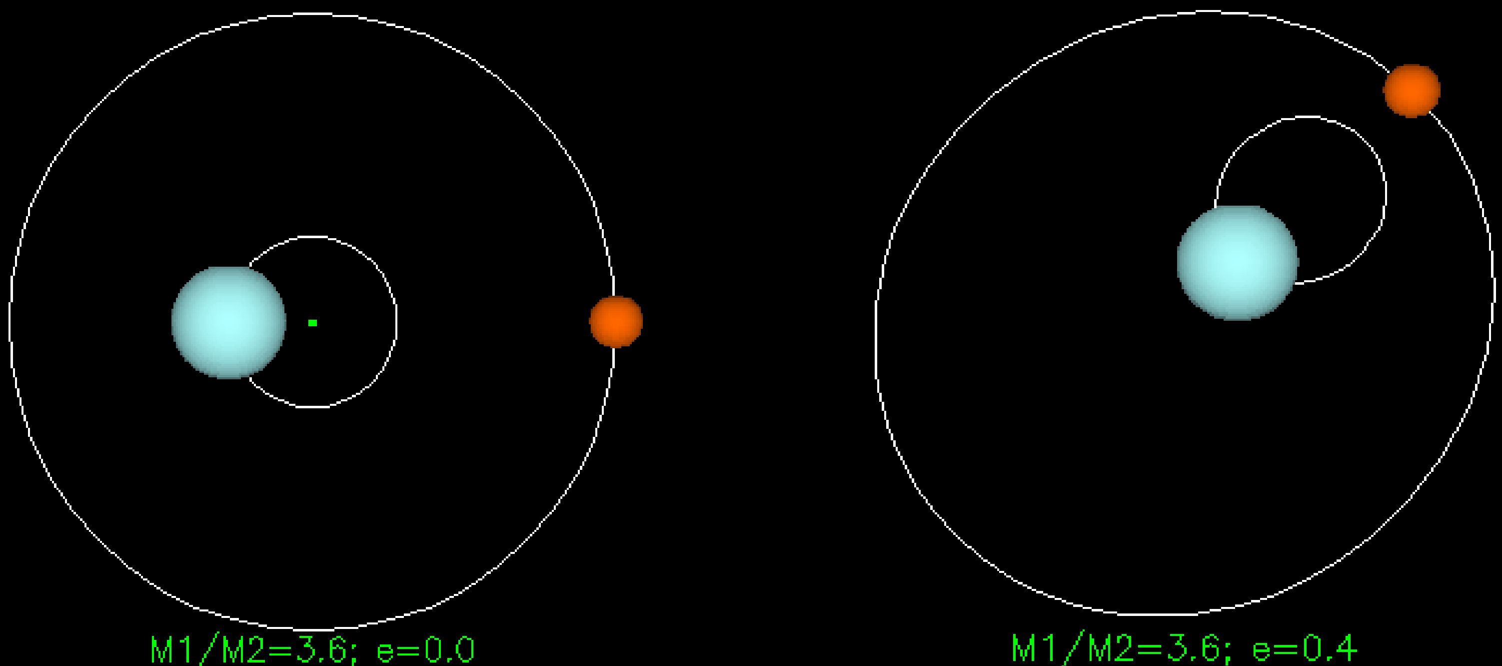
Um corpo ligado a outro, gravitacionalmente, gira em torno dele numa órbita elíptica.

Movimento em torno do Centro de Massa Comum

$M\,d = m\,D$

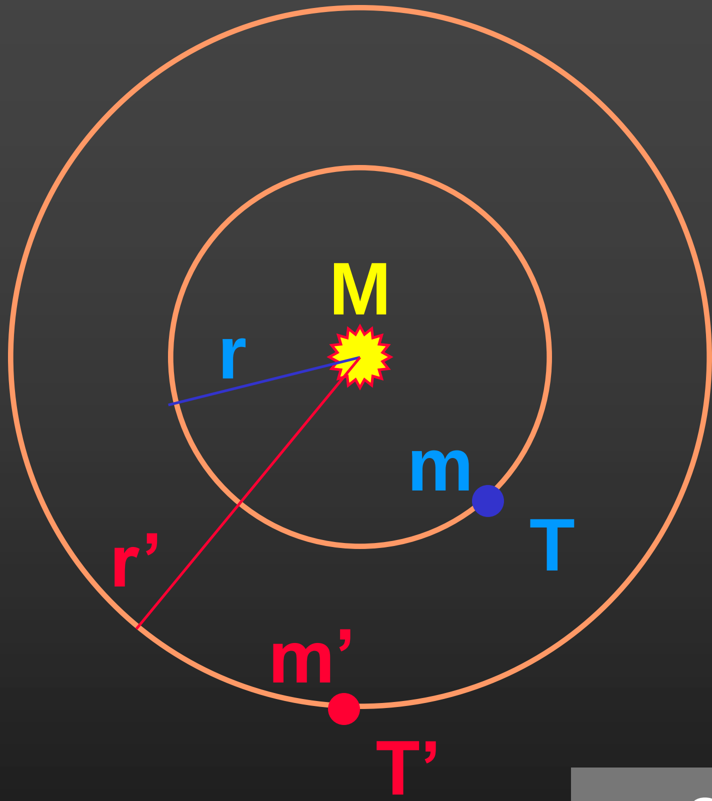


Orbita de estrelas binarias



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

Terceira Lei de Kepler



Expressão aproximada de Kepler

$$(r / r')^3 = (T / T')^2$$

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

Expressão correta:

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

Massas das estrelas de Sistemas Binários

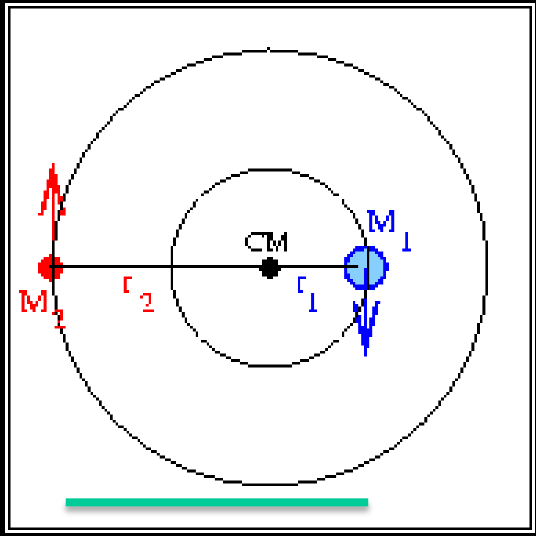
$$r = d + D$$

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

$$M d = m D$$

$$M, m$$

Massas das estrelas de Sistemas Binários



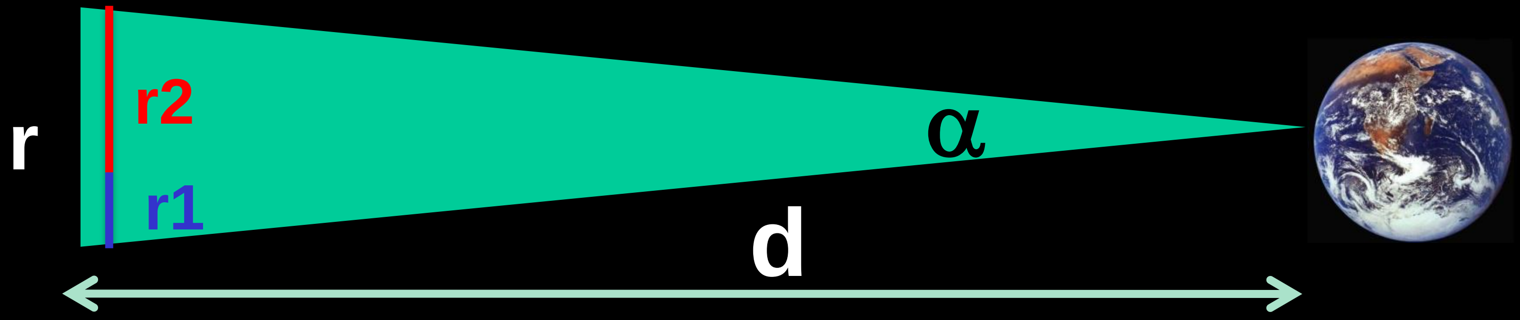
$$(M_1 + M_2) = \frac{(\mathbf{d} \times \alpha)^3}{P^2}$$

Para M em massas solares e períodos P em anos.
d : distância à Terra
α : ângulo do semi-eixo maior das estrelas

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

$$r = r_1 + r_2$$

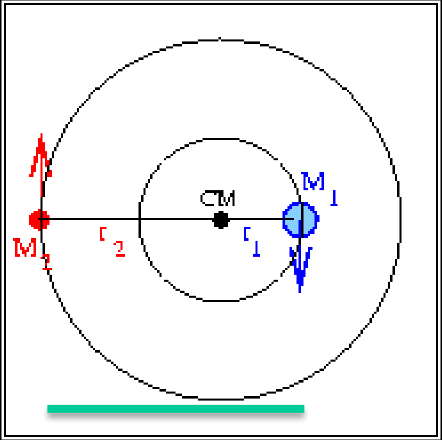
$$r = d \times \alpha$$



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 $r_2/r_1=2$.



$$r = r_1 + r_2$$

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

P = 50 anos
d : 2,67 parsecs
α: 7.5 ”
$r_2/r_1=2$

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

a) Qual é a massa do sistema?

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

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

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 e cada estrela?

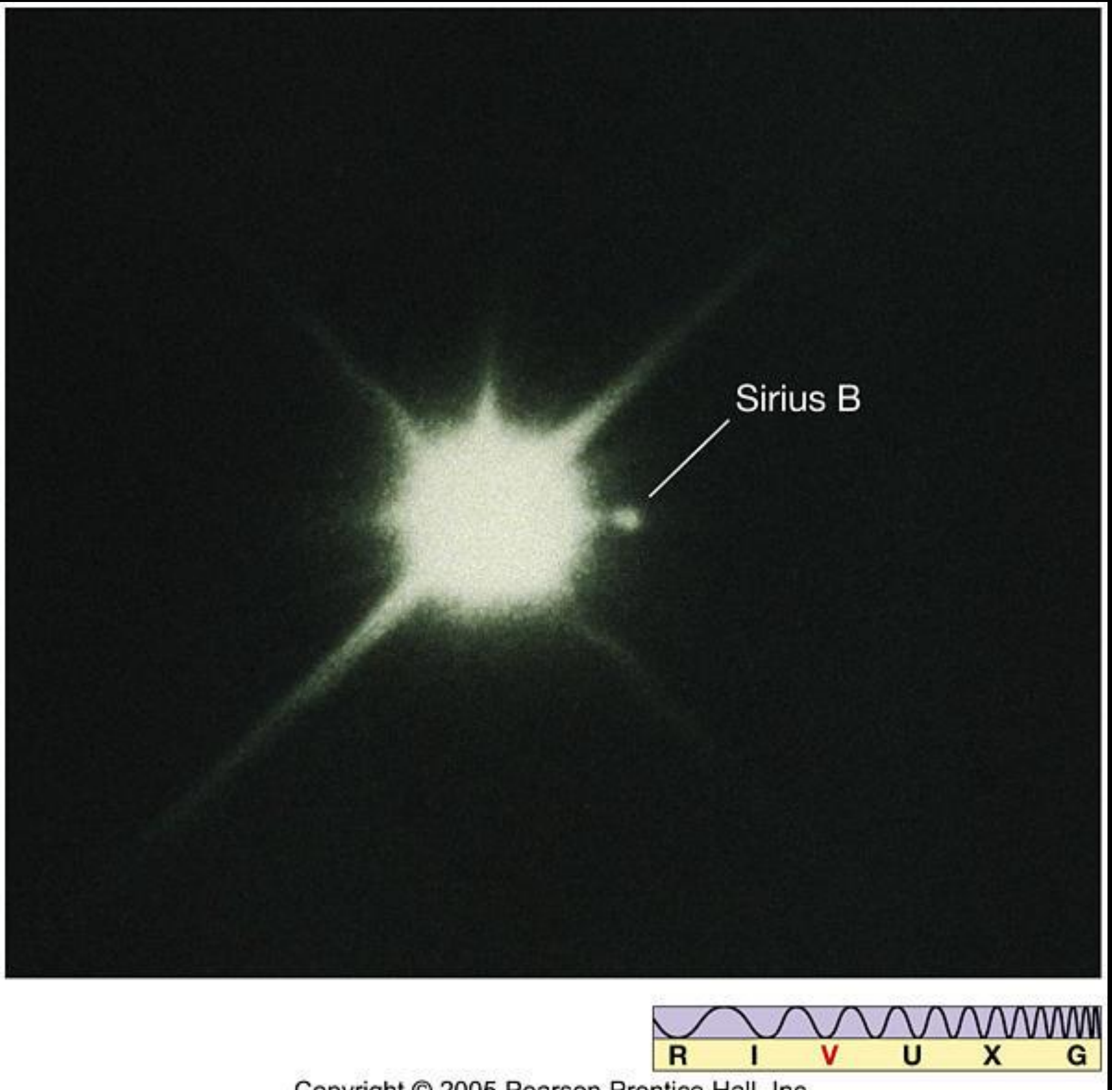
$$\frac{M_A}{M_B} = \frac{r_B}{r_A} = 2$$

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

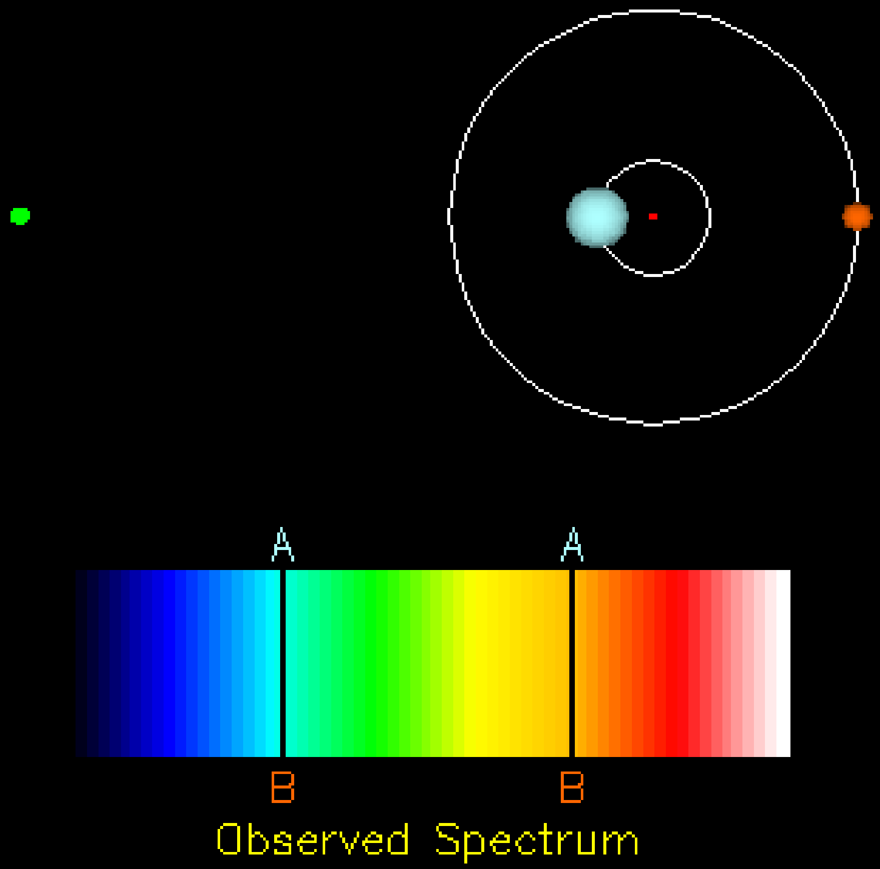
$3M_B$ = 3,2 Msol

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

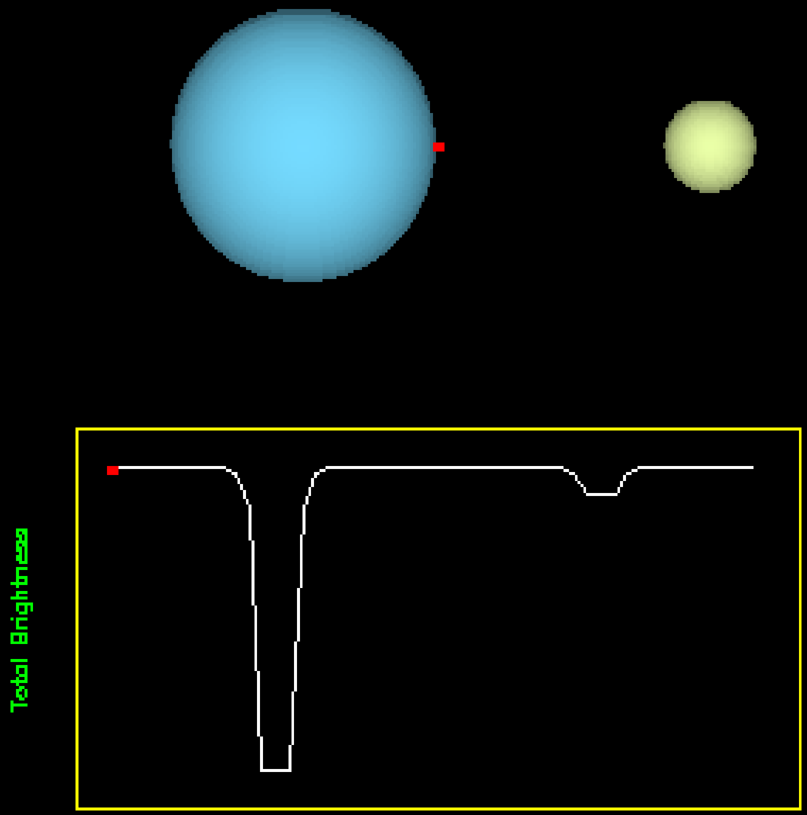
Sirius A e B



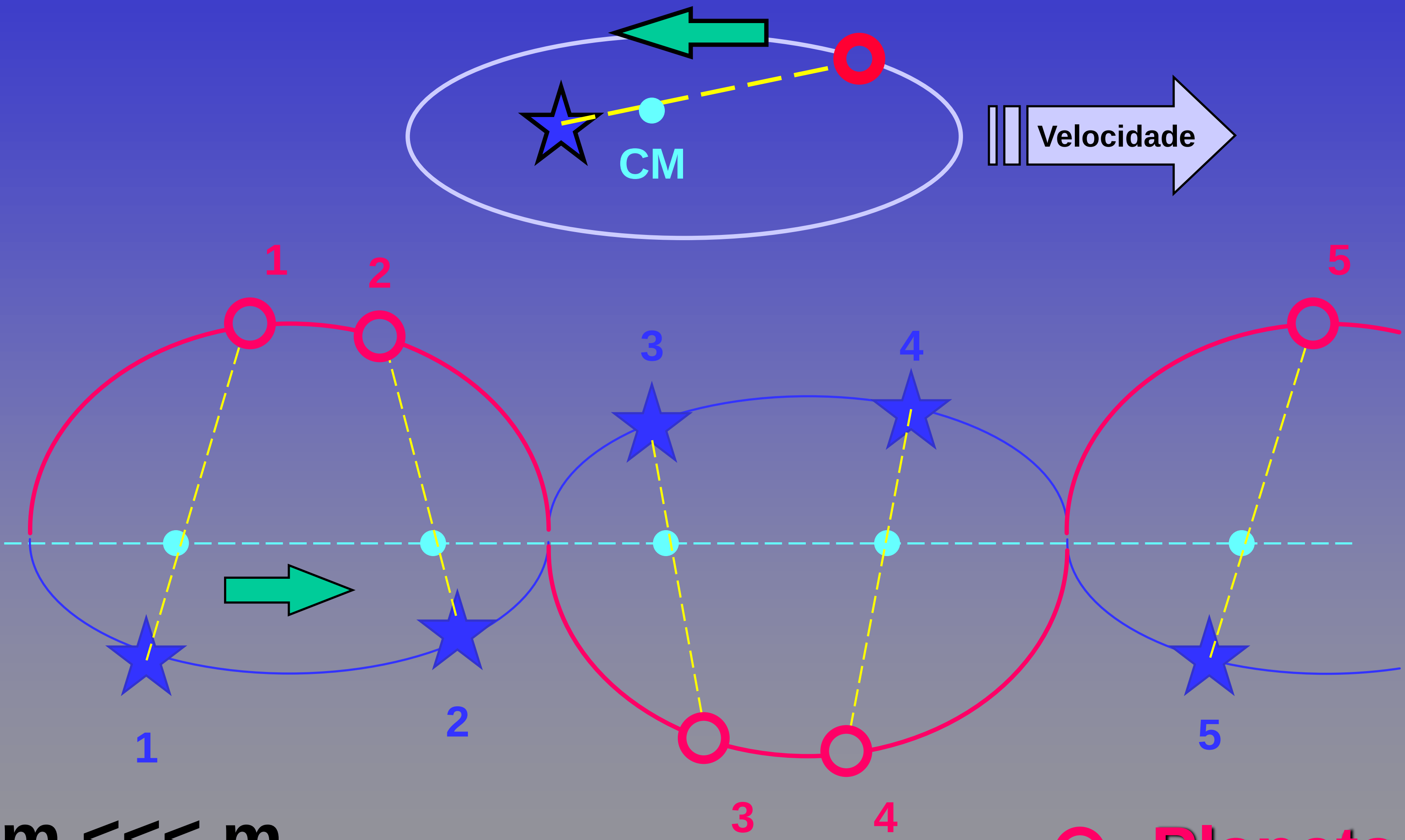
Binárias espectroscópicas



Binárias eclipsantes



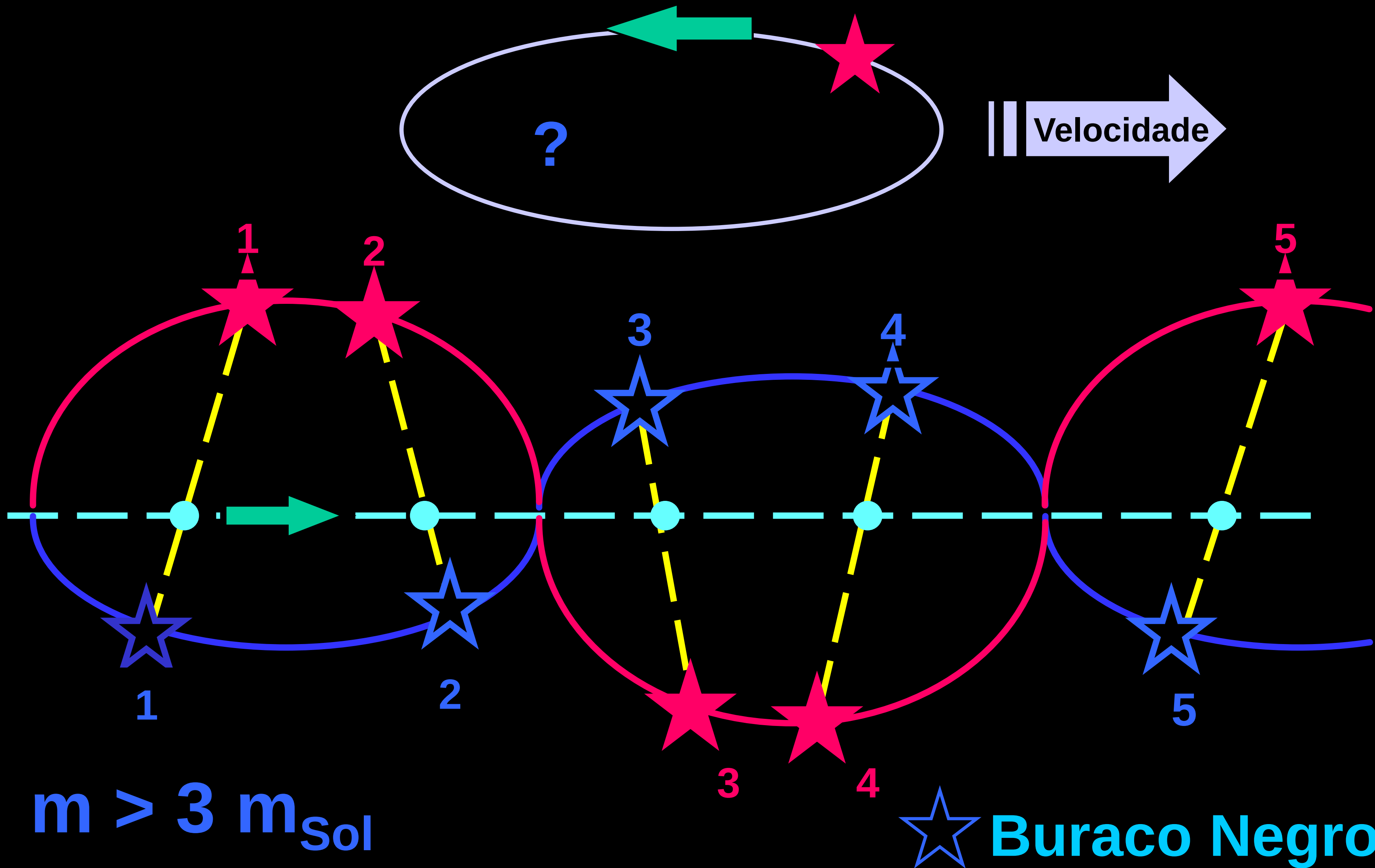
Sistema Planetário



$m <<< m_{Sol}$

○ **Planeta !**

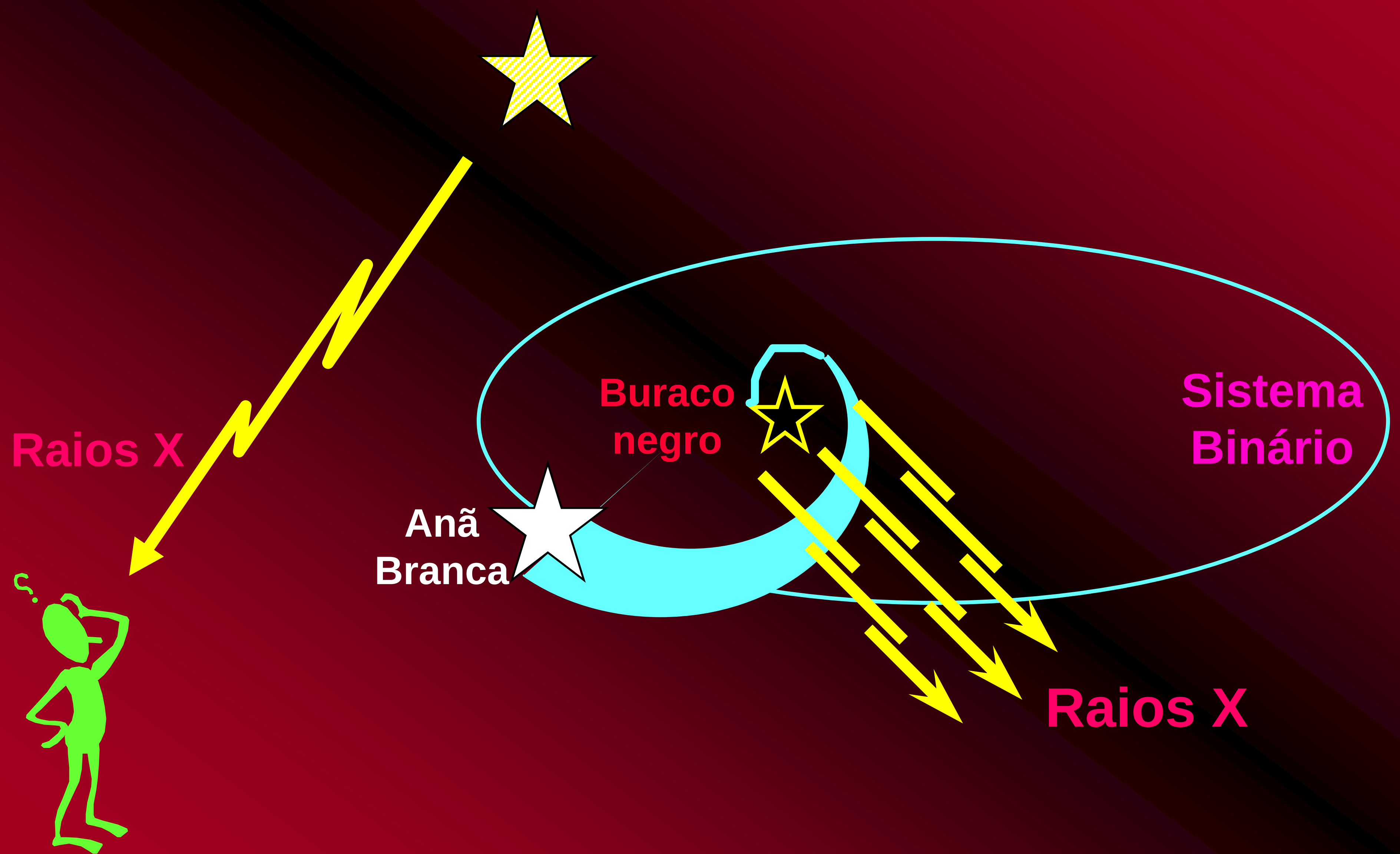
Sistema Binário de estrelas

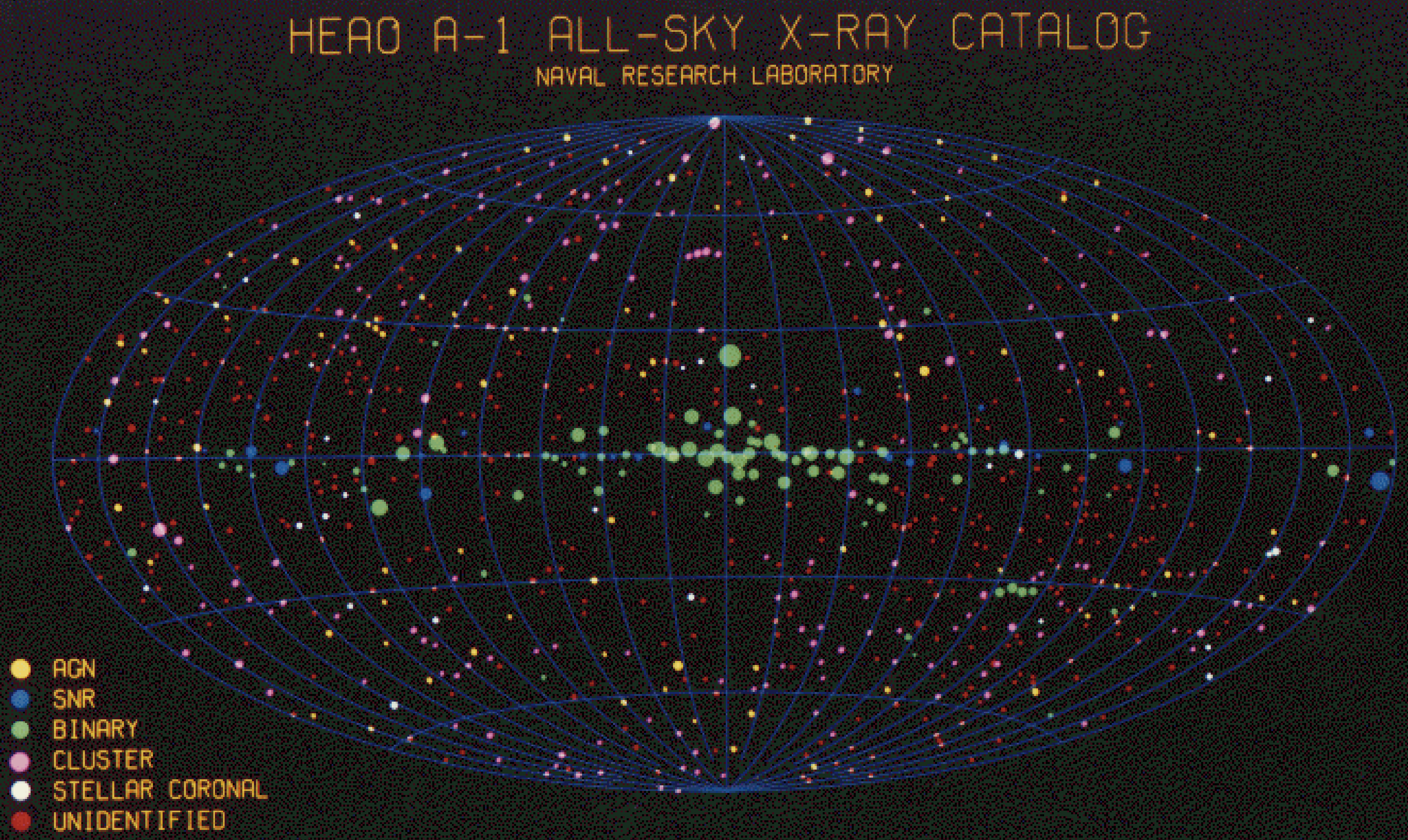


$m > 3\ m_{Sol}$

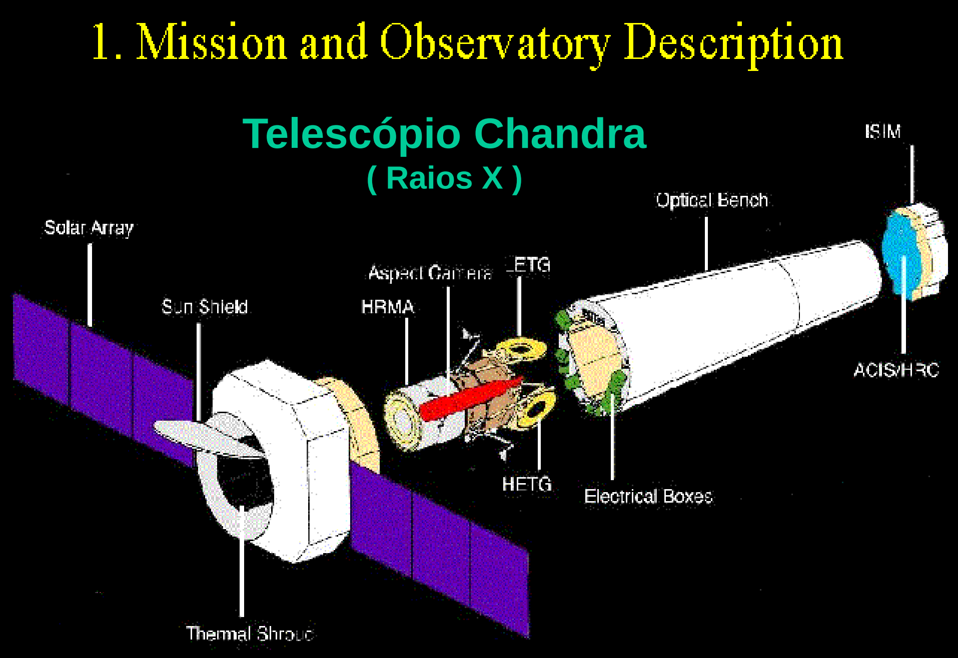
Buraco Negro !

Fontes de Raios X





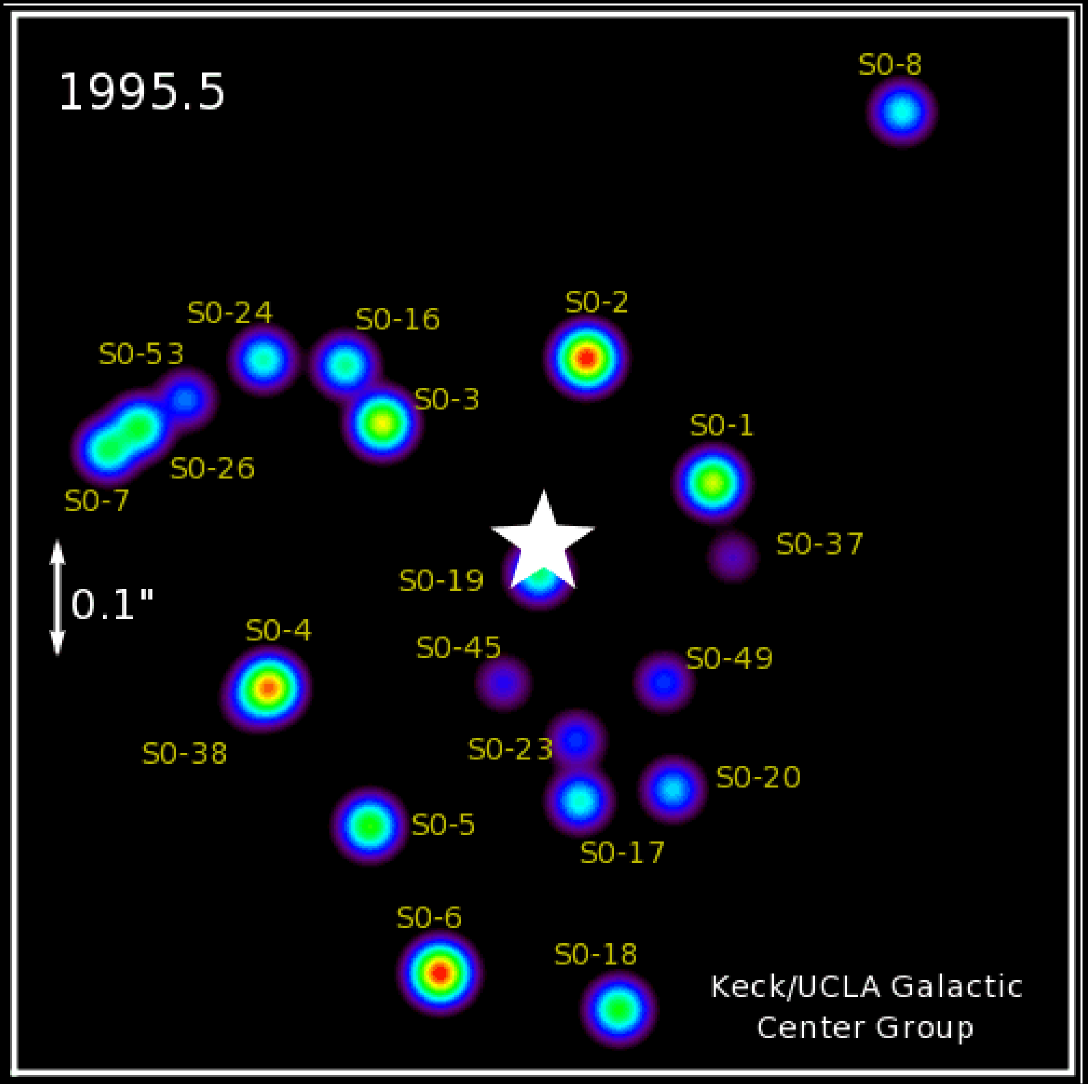
Fontes de Raios-X



Fontes de raios-X no centro da Galáxia

Foto em raios-X do Centro Galáctico

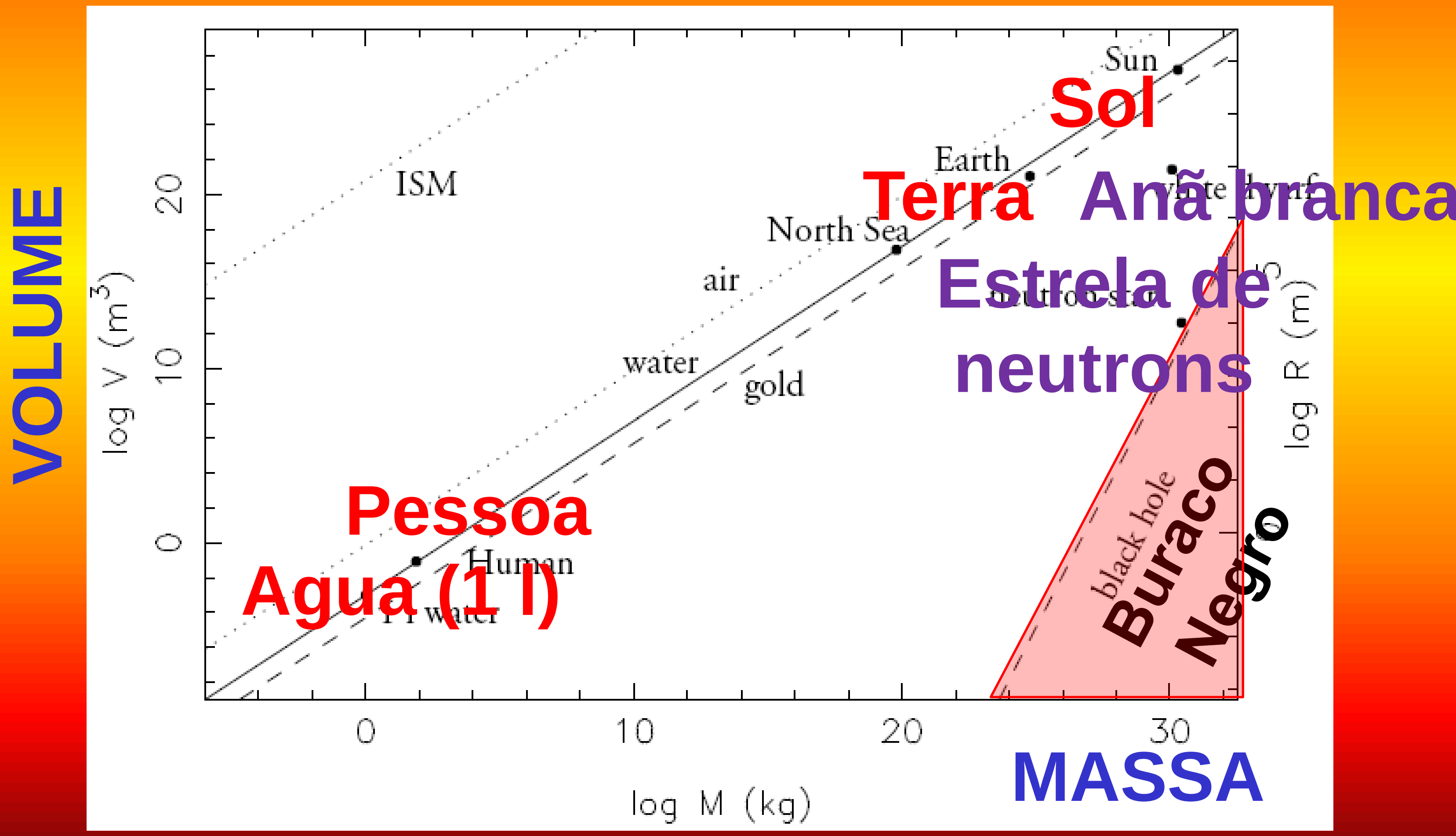
Buraco negro no centro da nossa galáxia



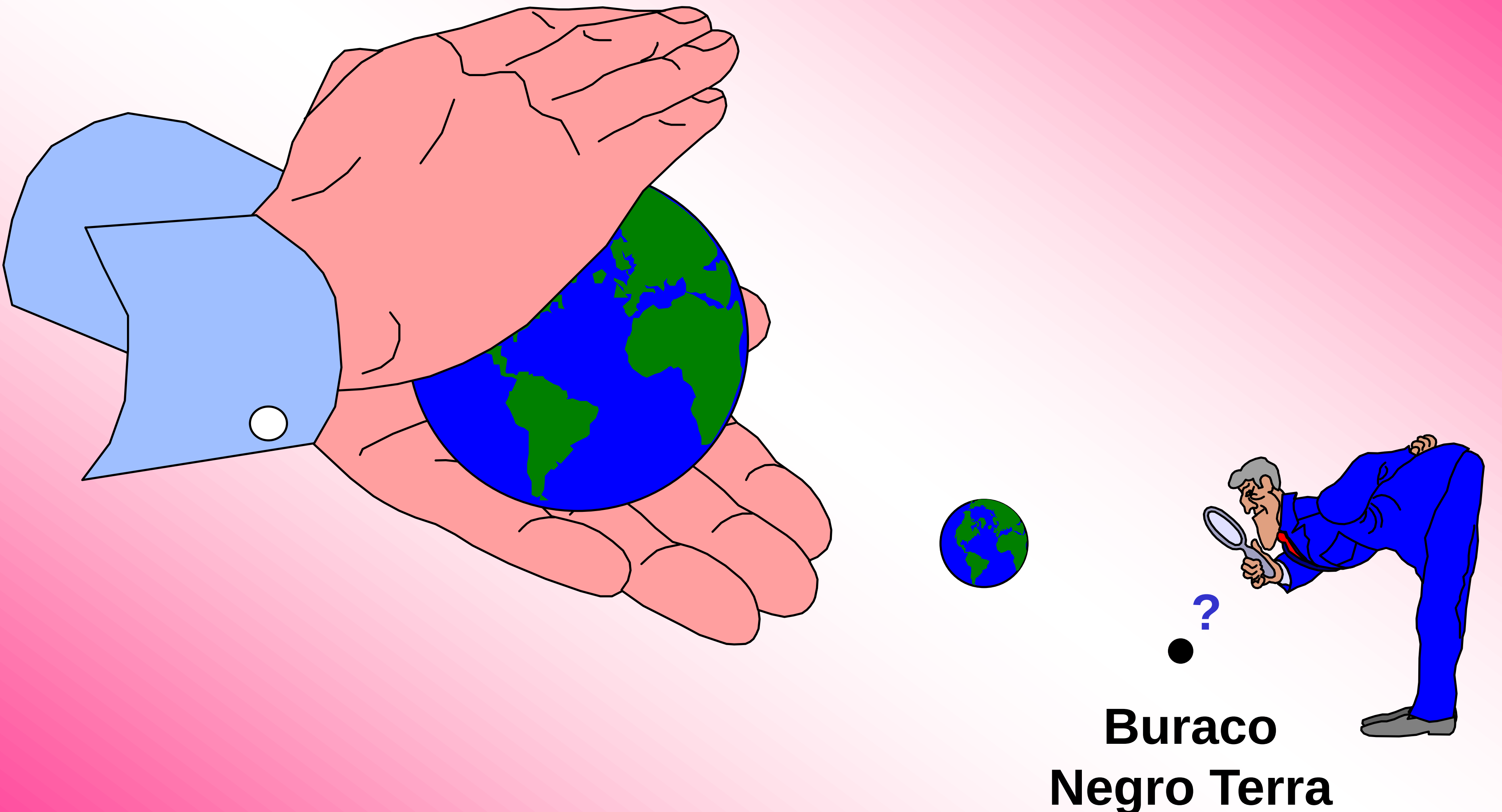
These orbits, and a simple application of Kepler's Laws, provide the best evidence for a supermassive black hole, which has a mass of 4 million times the mass of the Sun. Especially important are the stars S0-2, which has an orbital period of only 15.78 years, and S0-16, which comes a mere 90 A.U. from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

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

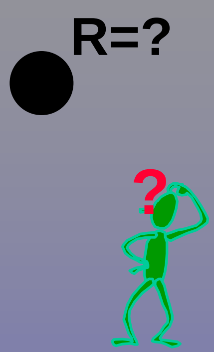
Não!



Fabricar um Buraco Negro !



Para se tornar um Buraco Negro



Raio de Schwarzschild:

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

Schwarzschild

Corpo / sistema	Massa $M_{Sol} = 2x10^{30}$ kg	Raio	Densid. g/cm³
Terra	3_x10^{-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}