R. Boczko

Diferentes modos de se “ver” o céu

R. Boczko

Professor Doutor
Aposentado

Departamento de Astronomia

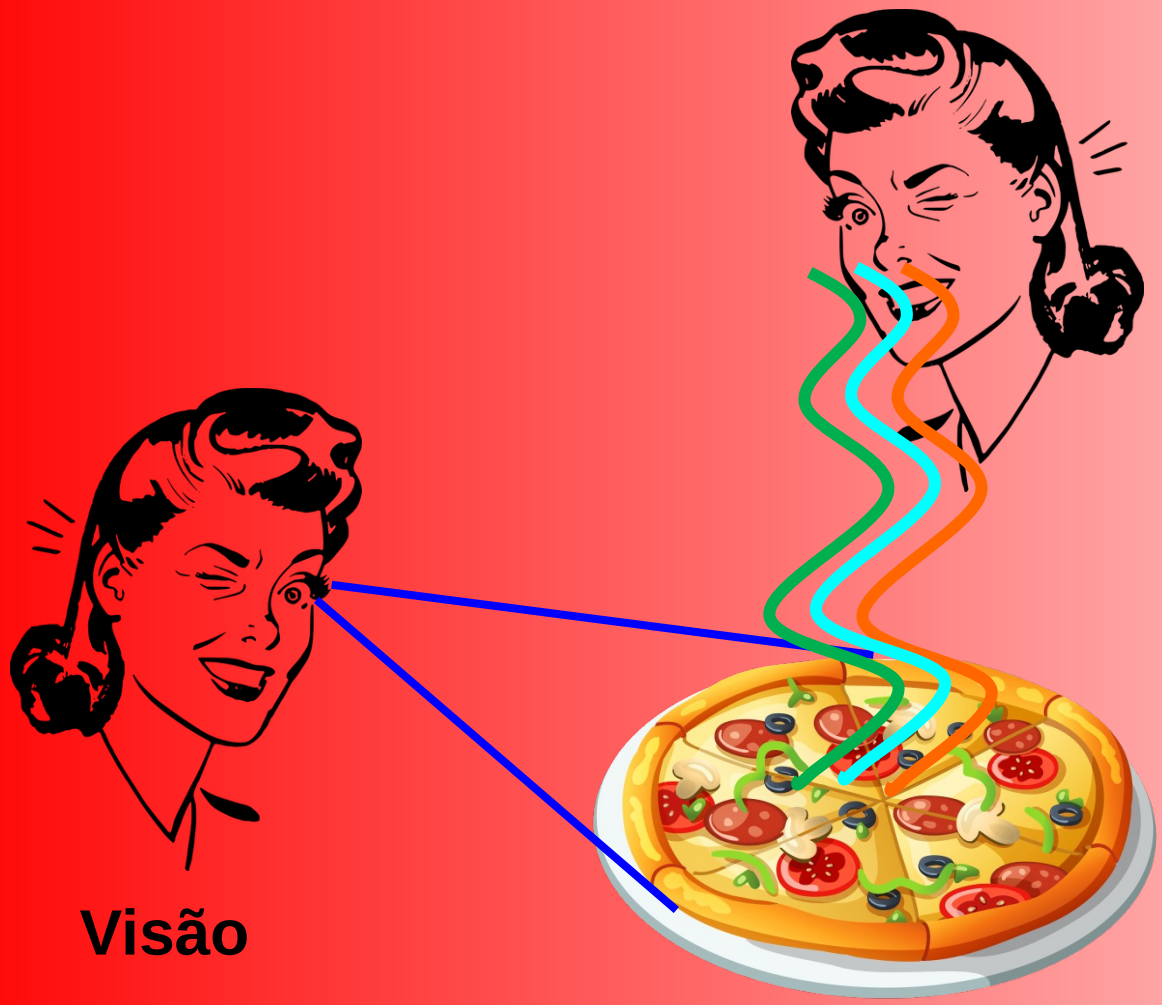
IAG-USP - Universidade de São Paulo

20
03
2019

Sentindo uma pizza

Experiência gastronômica

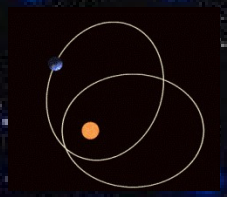
Olfato

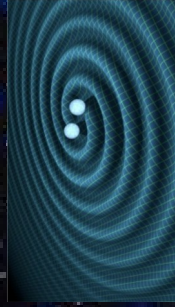


Visão

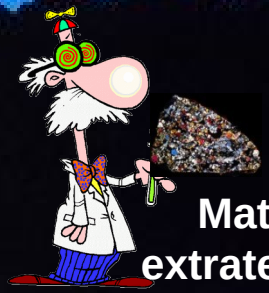
Paladar

Sentindo o céu





Ondas eletromagnéticas



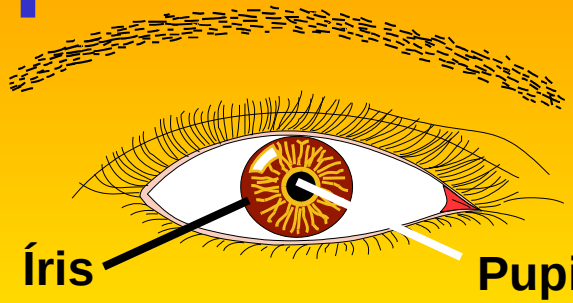
Material extraterrestre

Gravitação

Ondas gravitacionais

Céu diurno e noturno a olho nu

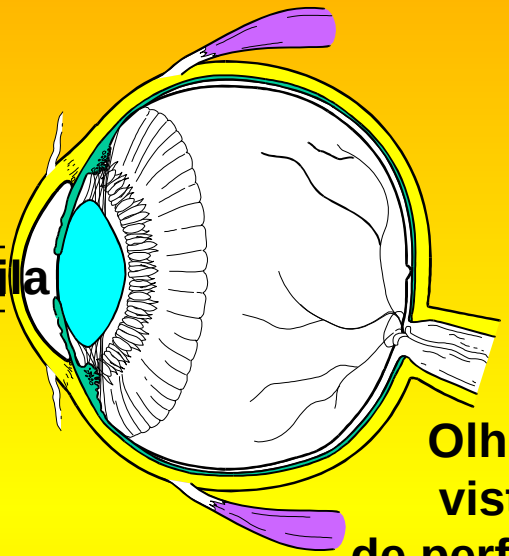
Por que usar um telescópio?



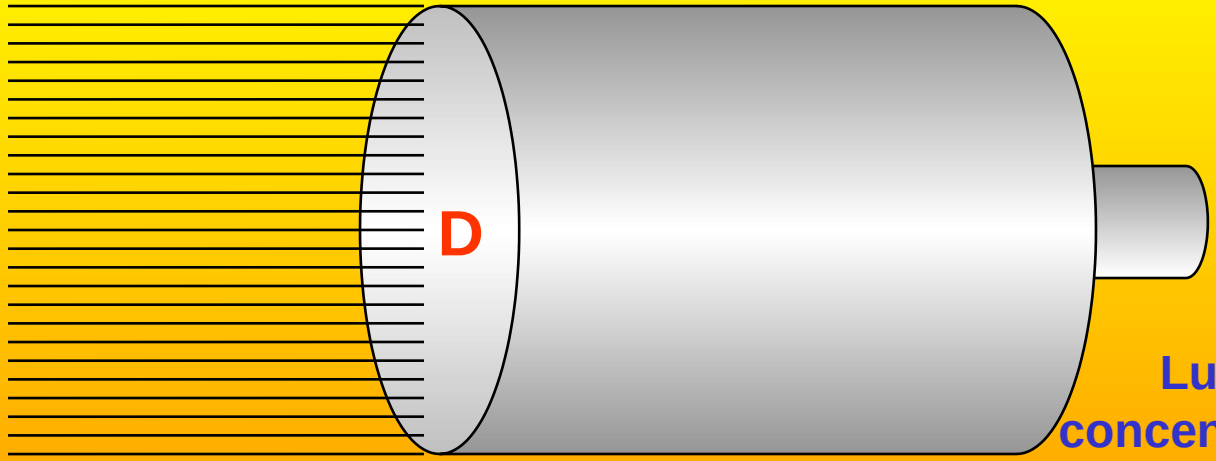
Mesma estrela

Pupila

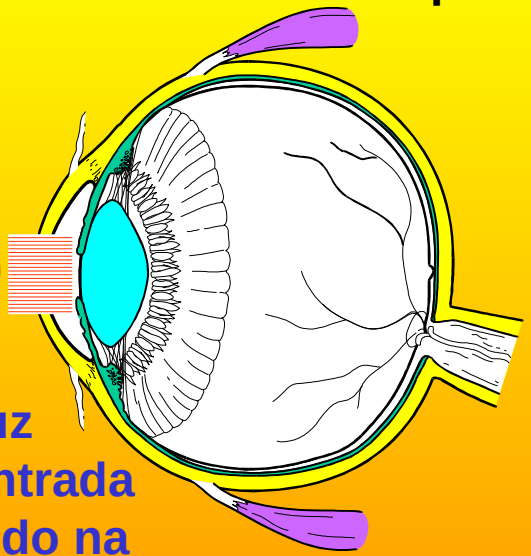
Pouca luz da estrela entra no olho



Olho visto de perfil

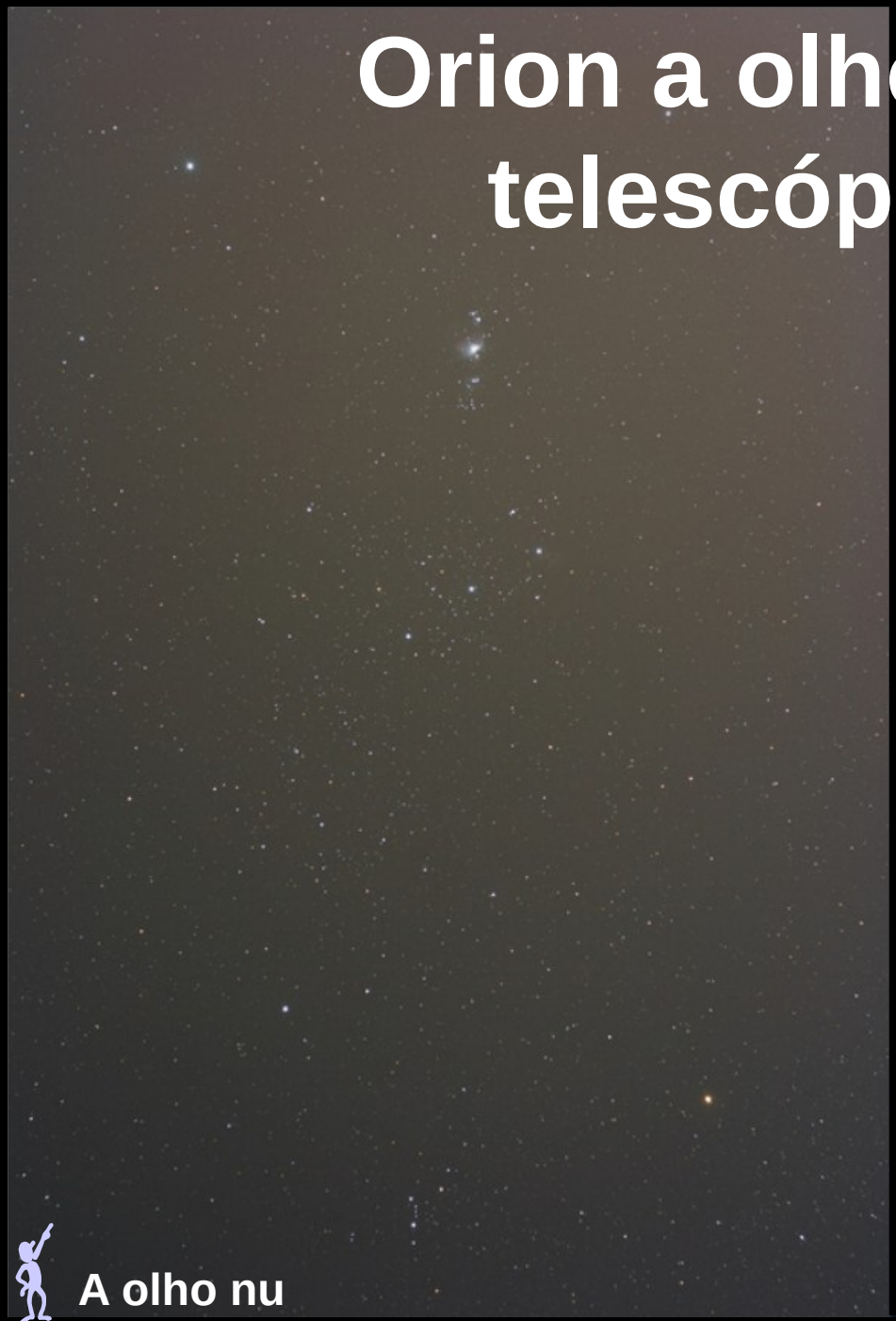


Telescópio capta bastante luz

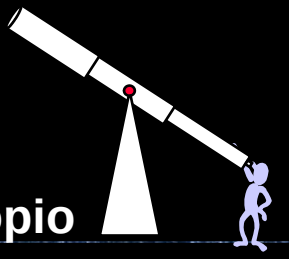


Luz concentrada entrando na pupila

Orion a olho nu e com telescópio óptico

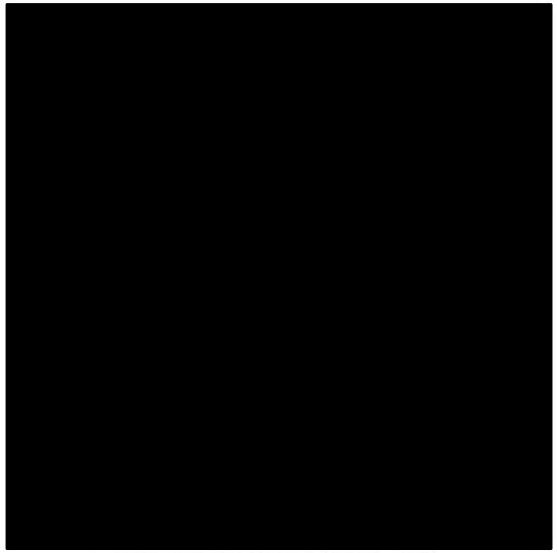


A olho nu

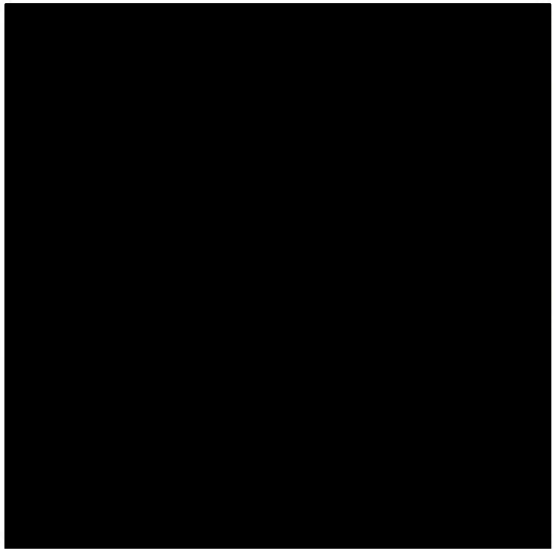


Com telescópio

Nebulosa do Caranguejo

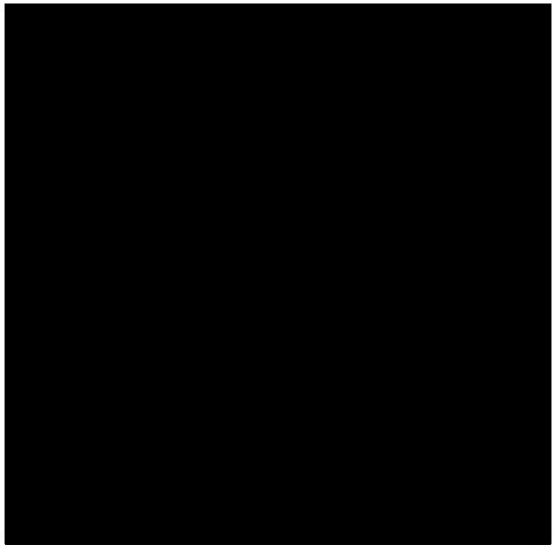


Ondas de rádio (VLA)

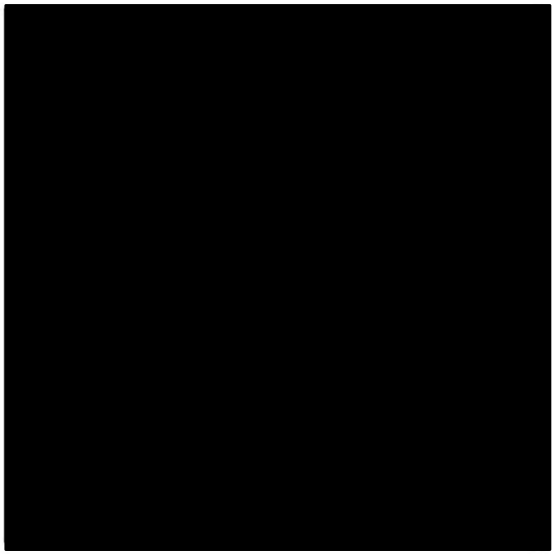


Infravermelho (Spitzer)

Luz visível (Hubble)



Ultravioleta (Astro-1)

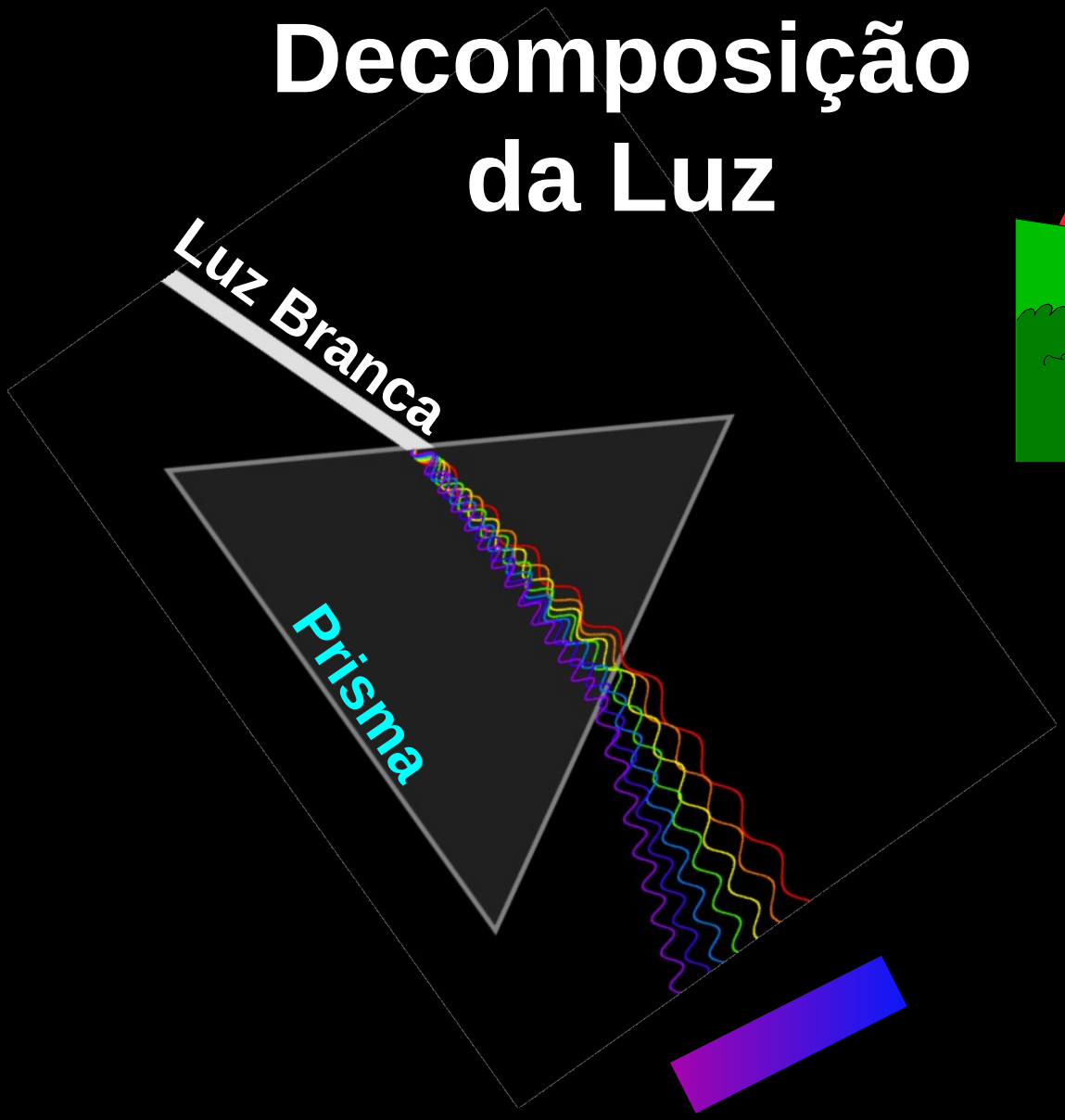


Raio X mole (Chandra)

Raio X duro (HEFT)

Olhando o céu com filtros coloridos

Decomposição da Luz



As cores do arco-íris

A luz branca contém todas as cores

Ondas eletromagnéticas

Vermelho

Alaranjado

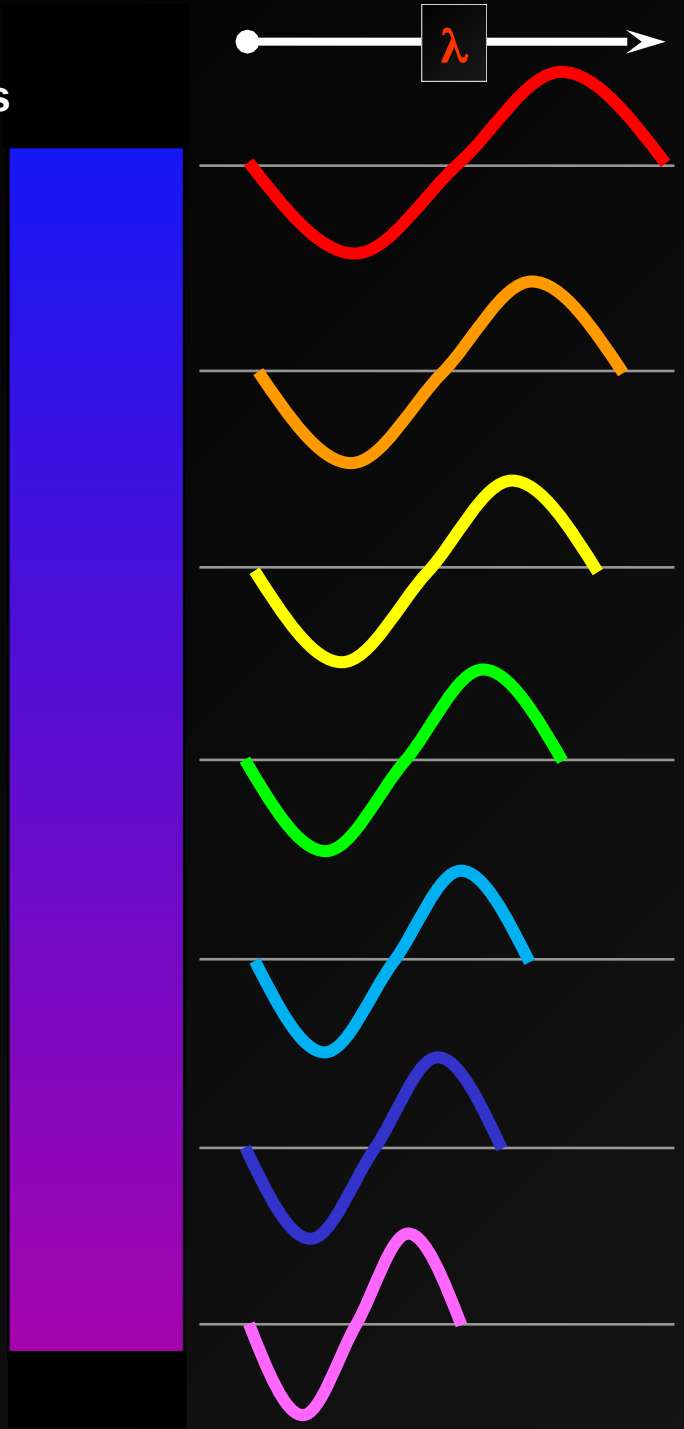
Amarelo

Verde

Azul

Anil

Violeta

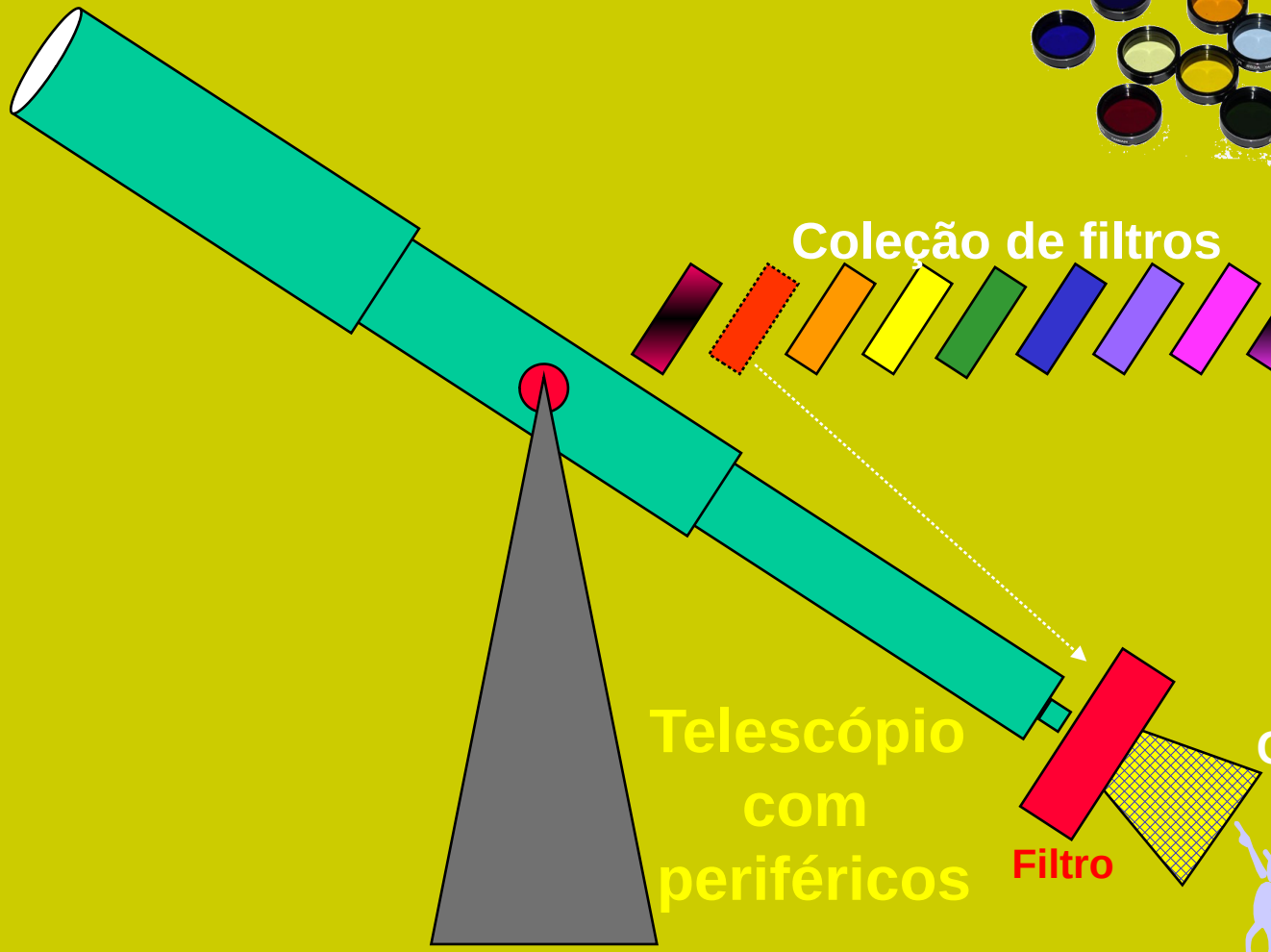


Espectro visível

Comprimento da onda

Olhando o céu através de filtros

Coleção de filtros



Telescópio com periféricos

Filtro

Fotômetro
Câmara fotográfica
Espectrógrafo
Polarímetro
etc.

Vendo o Sol com diferentes filtros

Visível

O céu “chegando” até nós

‘Estrela’ cadente

Meteoroides, Meteoros e Meteoritos

Pedra girando em torno do Sol: Meteoroide

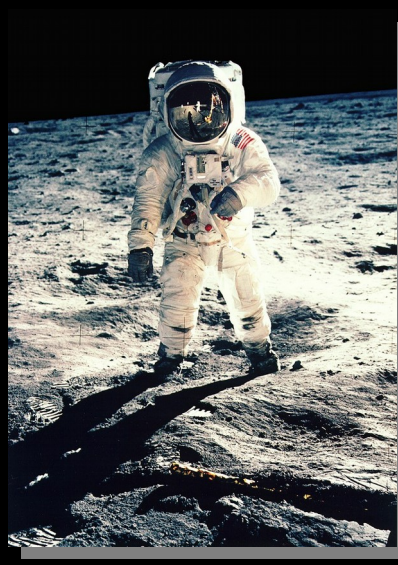
Pedra que entrou na atmosfera da Terra: Meteoro

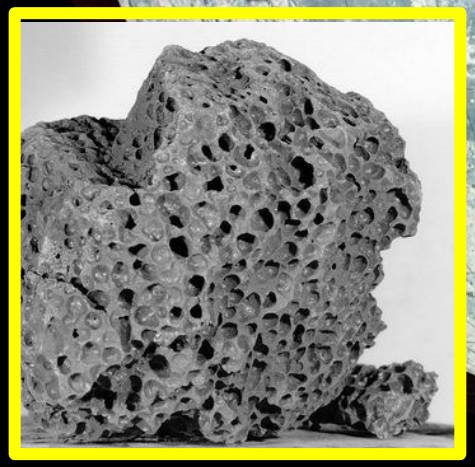
Pedra que chegou ao solo: Meteorito

Atmosfera

Terra

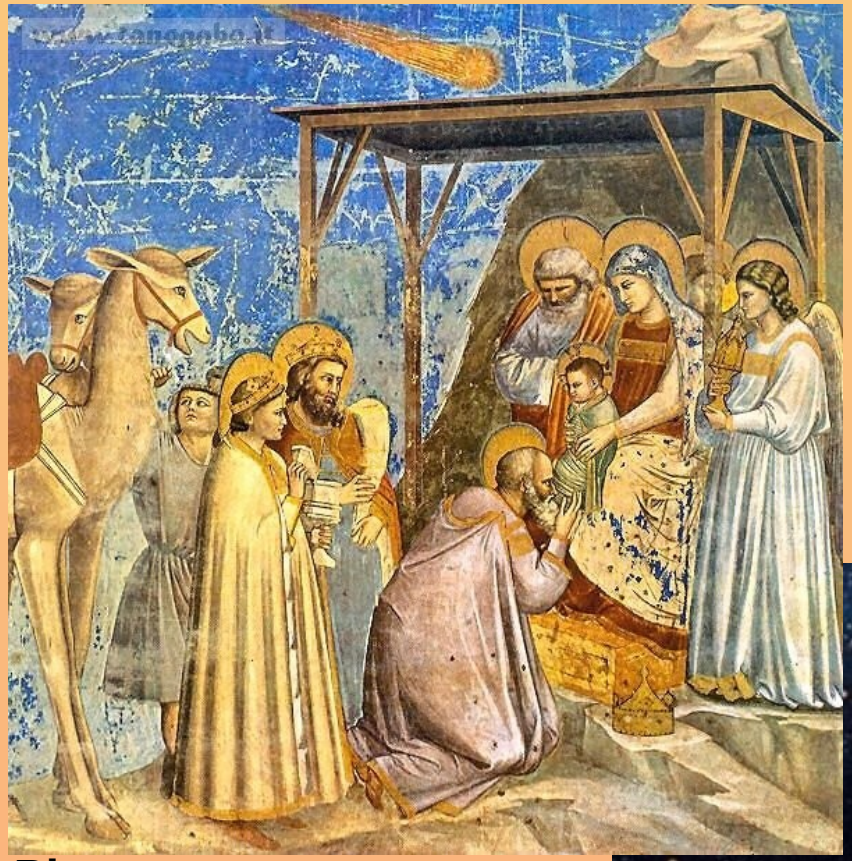
Nós
‘chegando ao céu’





Locais de pousos de missões espaciais lunares

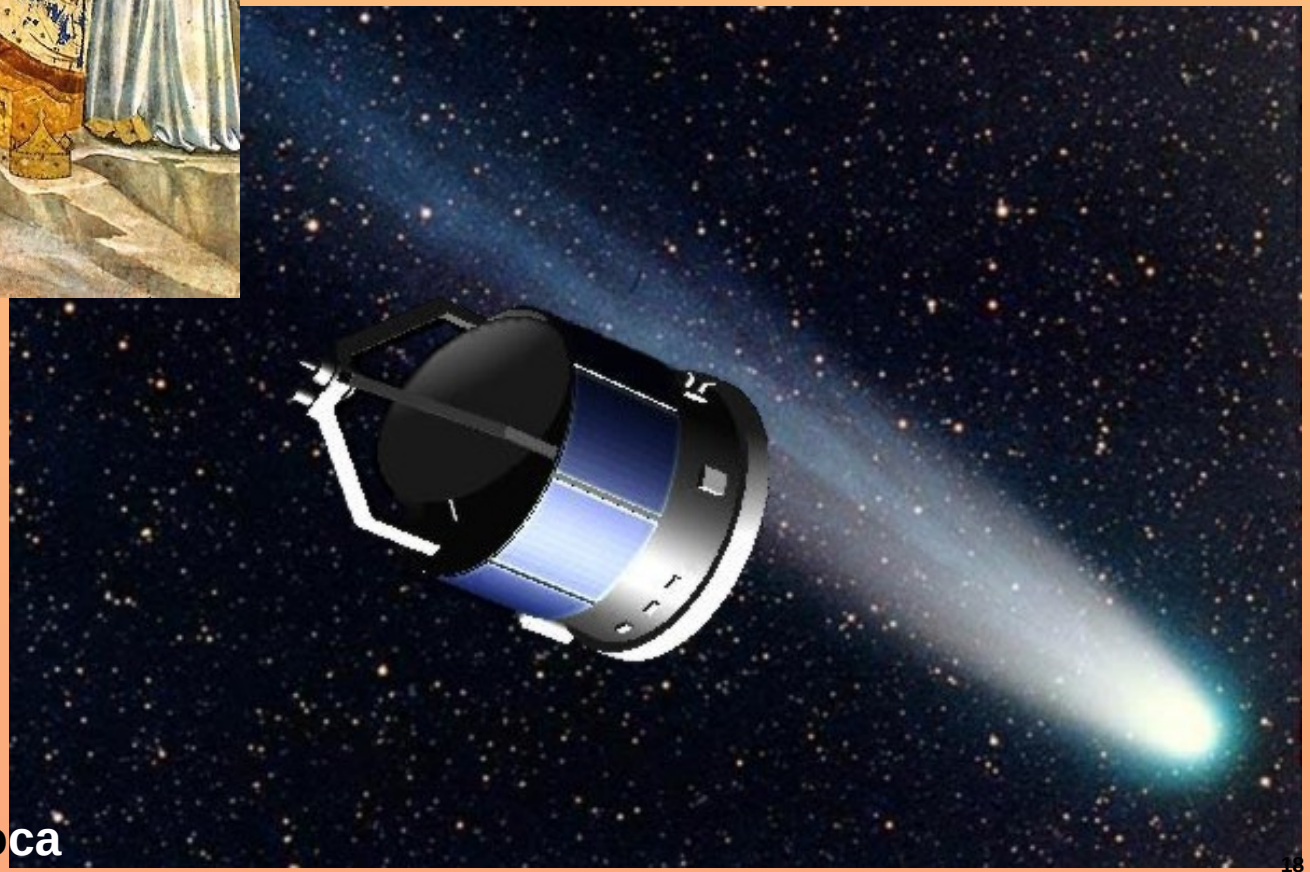
Missão Giotto ao Cometa Halley



Pintor:
Giotto

Quadro:
Adoração
dos Reis Magos

Motivo do
cometa no quadro:
Apareceu um naquela época



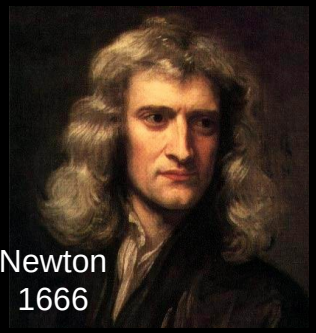
Olhando o céu “invisível”

Espectro eletromagnético

Hertz
1885

Ondas de rádio

Infravermelho
(calor)



Newton
1666

Visível

Vermelho
Laranja
Amarelo
Verde
Azul
Anil
Violeta

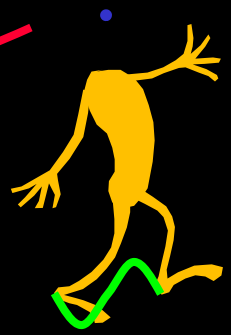
Ultravioleta

Roentgen
1895

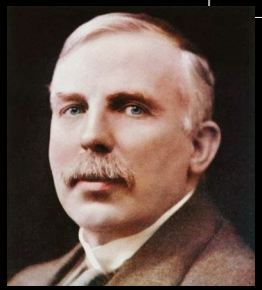
Raios X

Raios Gama

Herschel
1800

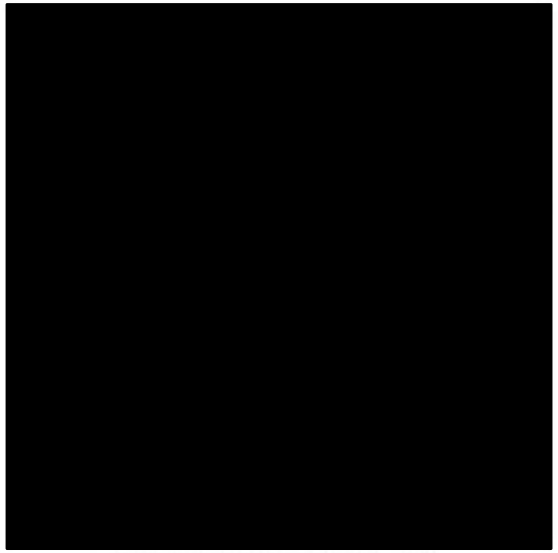


Ritter
1801

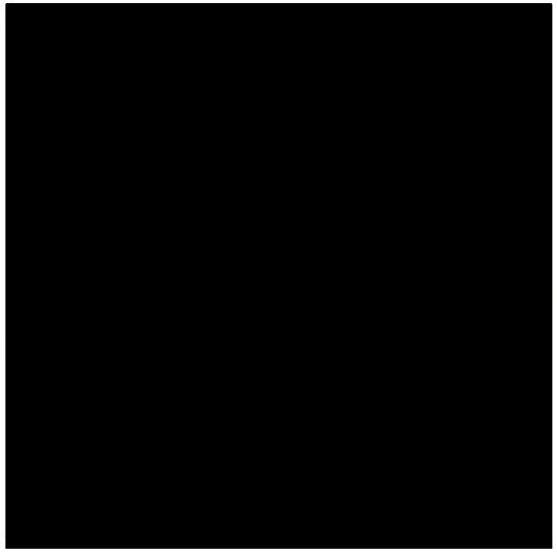


Riutherford
1914

Nebulosa do Caranguejo

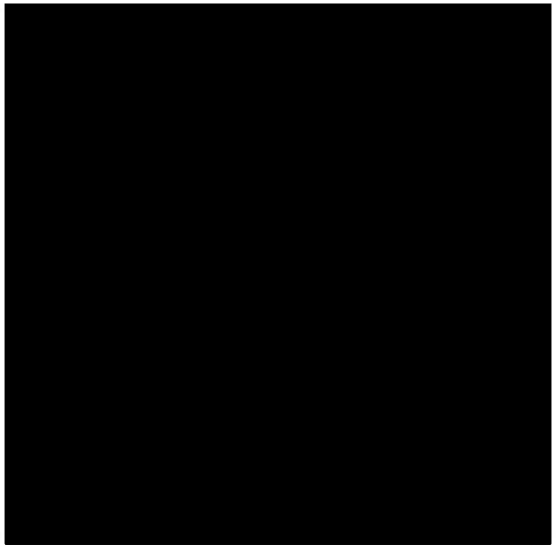


Ondas de rádio (VLA)

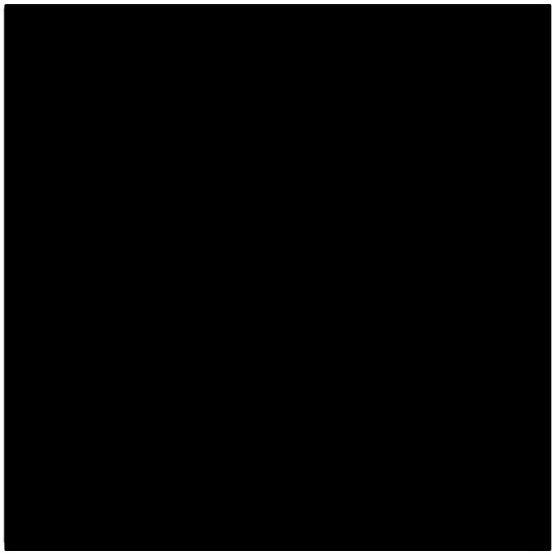


Infravermelho (Spitzer)

Luz visível (Hubble)



Ultravioleta (Astro-1)



Raio X mole (Chandra)

Raio X duro (HEFT)

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	4	4	4	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	2	2	0	5	5	2	2	2	1	1	0	0	0
0	1	1	2	3	5	5	3	3	3	3	1	0	0	0
0	0	1	2	3	4	5	3	5	4	3	2	1	0	0
0	0	0	1	3	3	3	3	5	5	3	2	1	1	0
0	0	0	1	1	2	2	2	5	5	0	2	2	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4	4	4	4	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Intensidade rádio em cada *pixel*

????
Fonte de rádio

Desenhando um objeto ‘visto’ em rádio

Convenção

0	1	2	3	4	5

Cor associada à intensidade de radiação

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	4	4	4	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	2	2	0	5	5	2	2	2	1	1	0	0	0
0	1	1	2	3	5	5	3	3	3	3	1	0	0	0
0	0	1	2	3	4	5	3	5	4	3	2	1	0	0
0	0	0	1	3	3	3	3	5	5	3	2	1	1	0
0	0	0	1	1	2	2	2	5	5	0	2	2	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4	4	4	4	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Cor associada a cada *pixel*

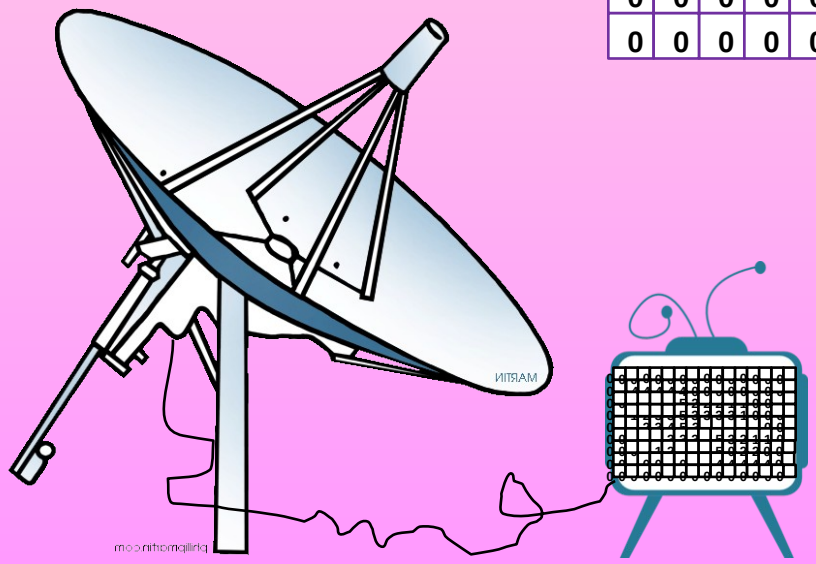
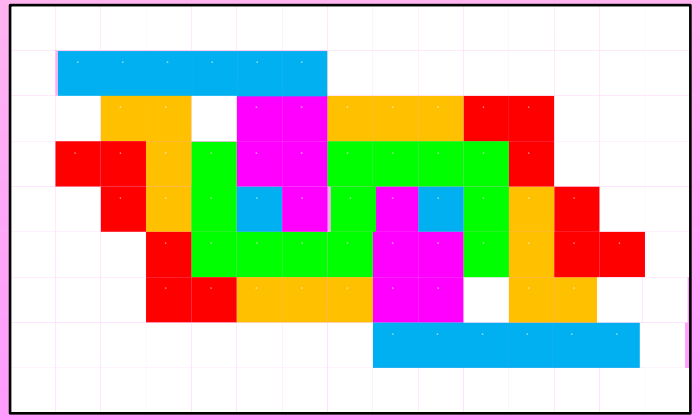
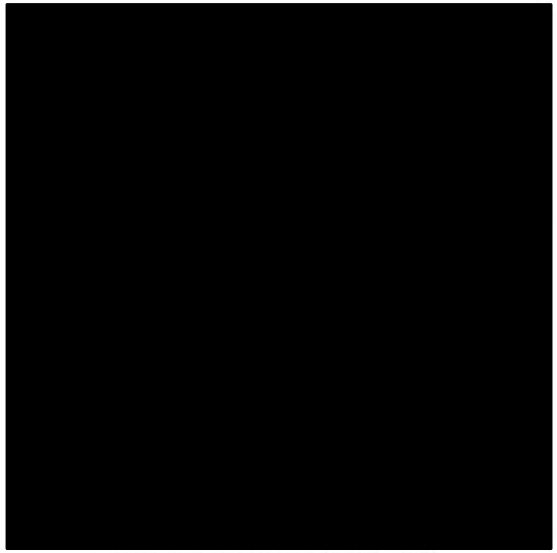


Imagem da fonte de rádio



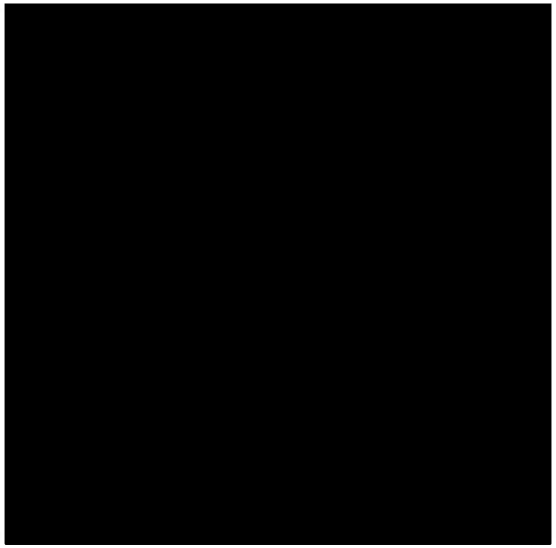
Nebulosa do Caranguejo



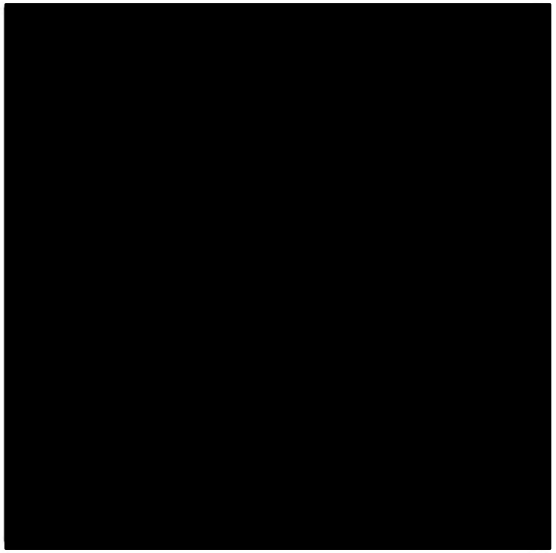
Ondas de rádio (VLA)

Infravermelho (Spitzer)

Luz visível (Hubble)



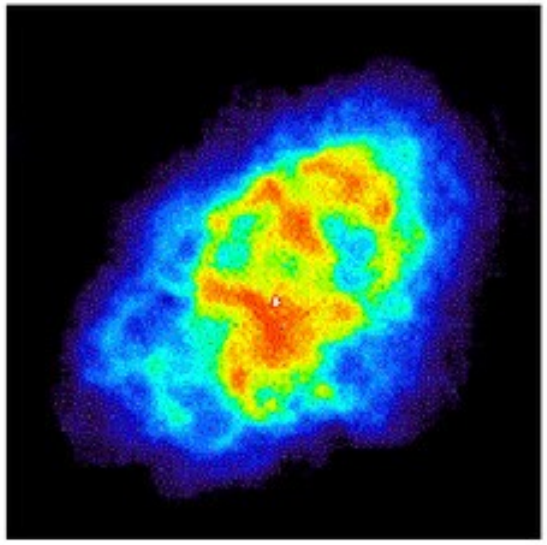
Ultravioleta (Astro-1)



Raio X mole (Chandra)

Raio X duro (HEFT)

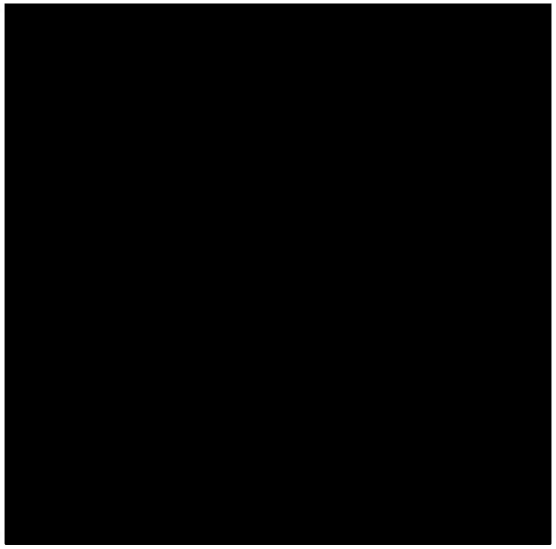
Nebulosa do Caranguejo



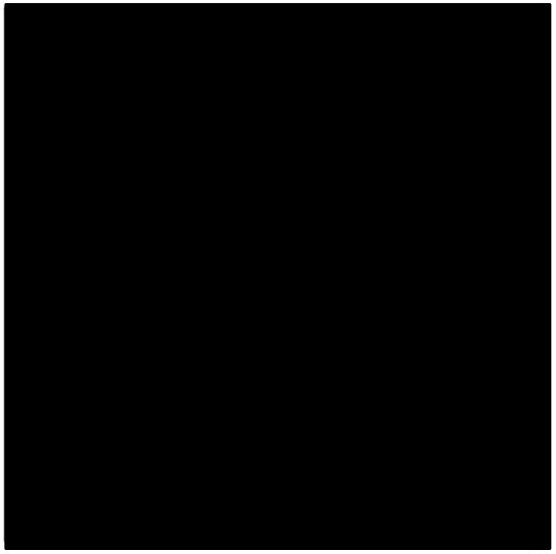
Ondas de rádio (VLA)

Infravermelho (Spitzer)

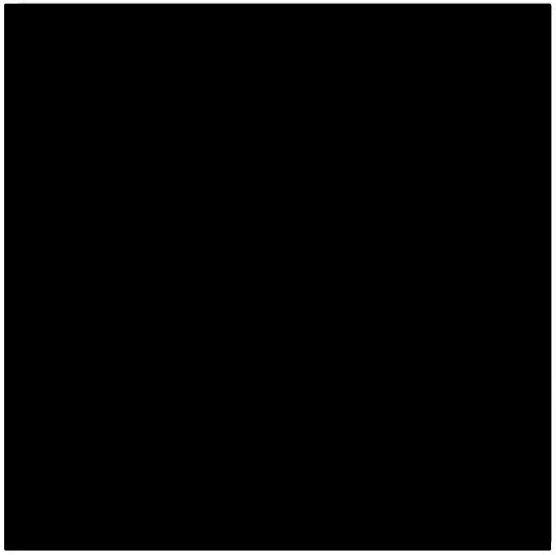
Luz visível (Hubble)



Ultravioleta (Astro-1)

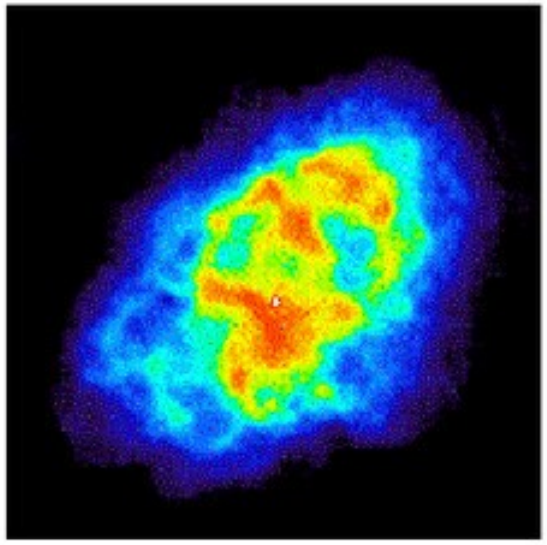


Raio X mole (Chandra)



Raio X duro (HEFT)

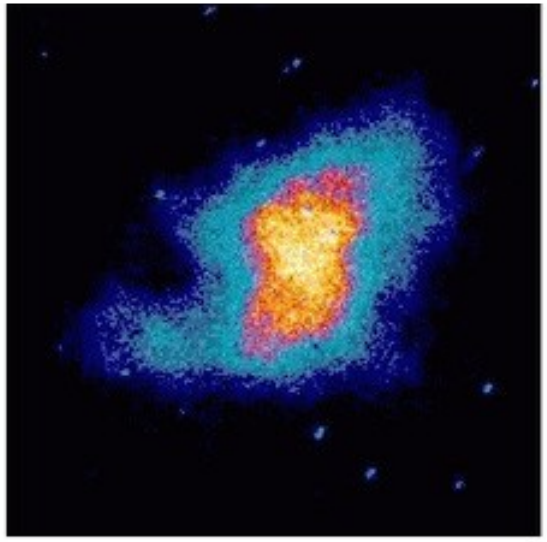
Nebulosa do Caranguejo



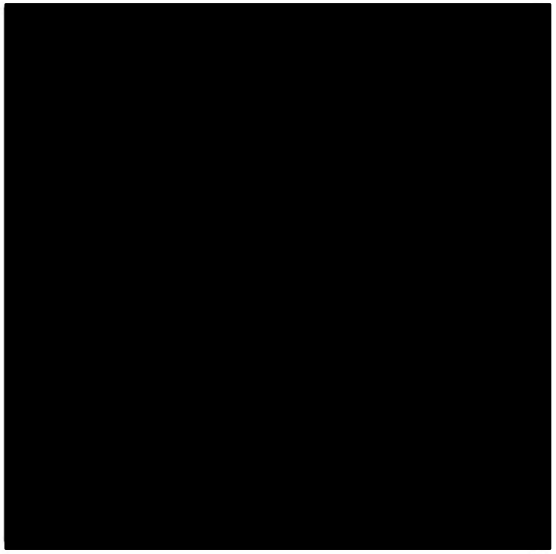
Ondas de rádio (VLA)

Infravermelho (Spitzer)

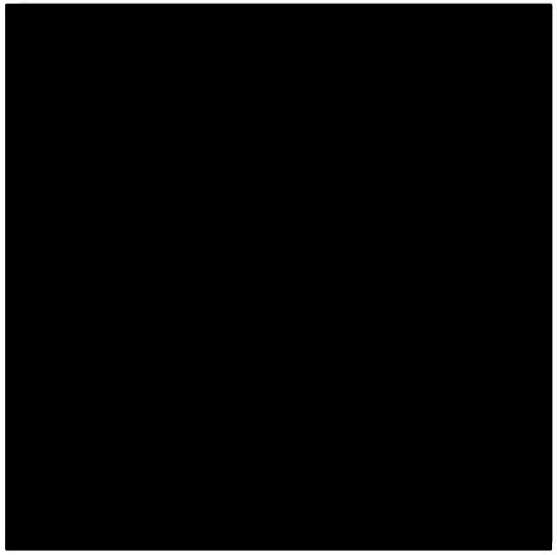
Luz visível (Hubble)



Ultravioleta (Astro-1)

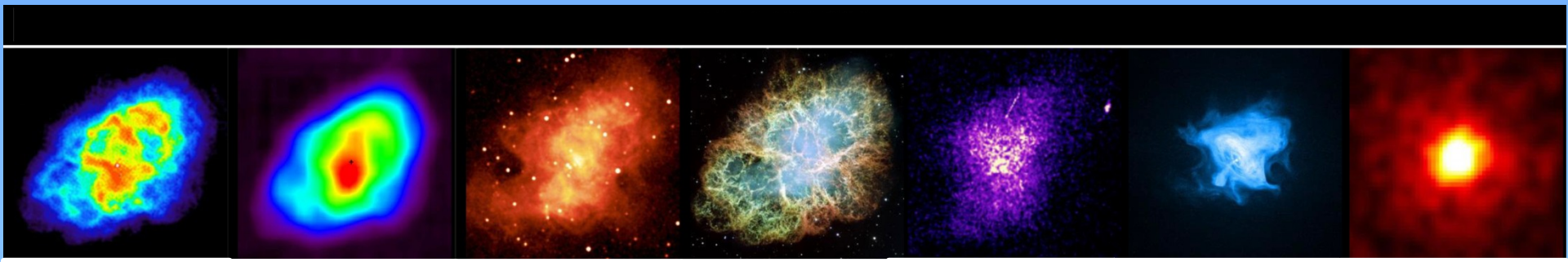


Raio X mole (Chandra)

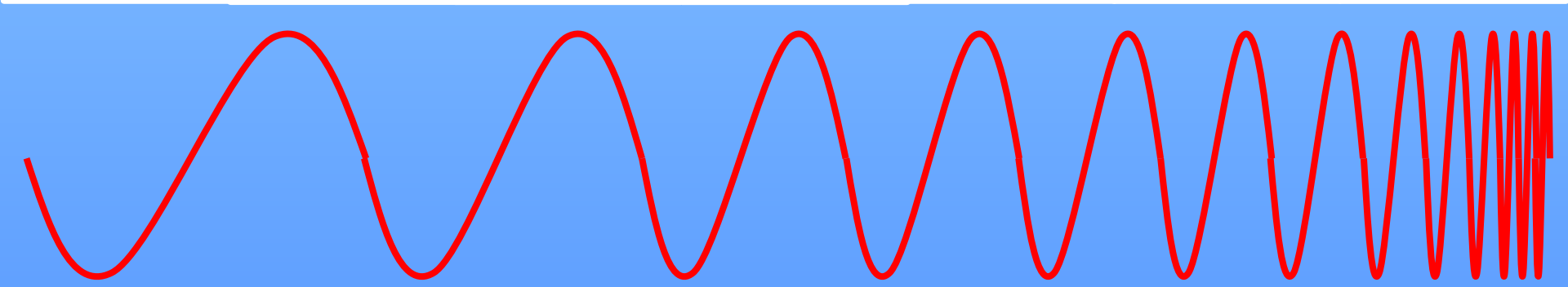


Raio X duro (HEFT)

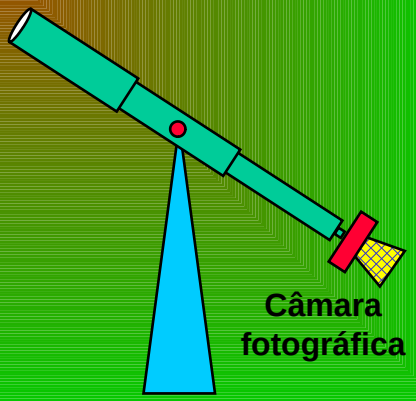
Nebulosa do Caranguejo



Ondas de rádio	Micro ondas	Infra vermelho	Luz visível	Ultra violeta	Raios X	Raios Gama

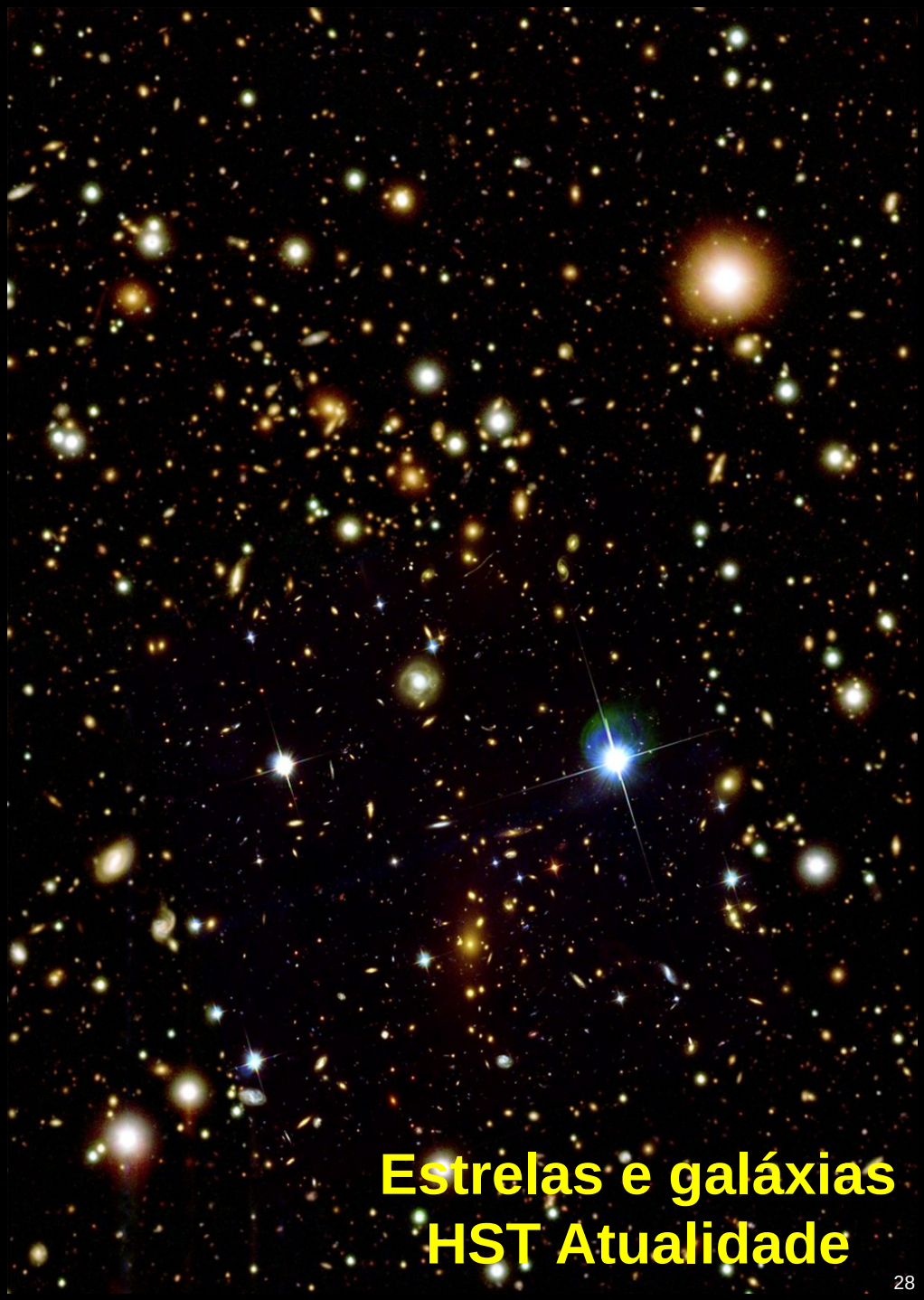


Democratizando a visão do céu



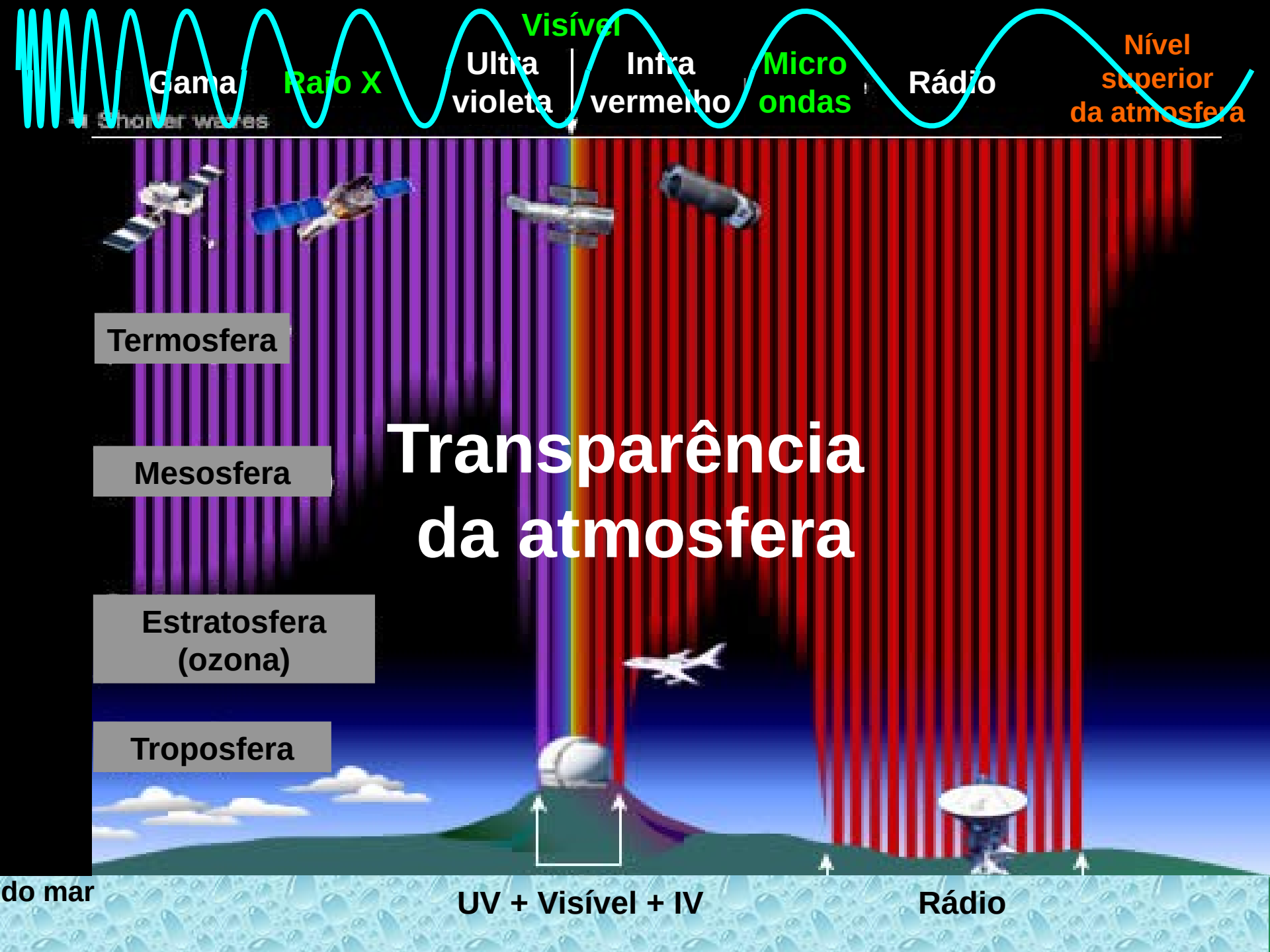
Lua 1839

Fotografia astronômica



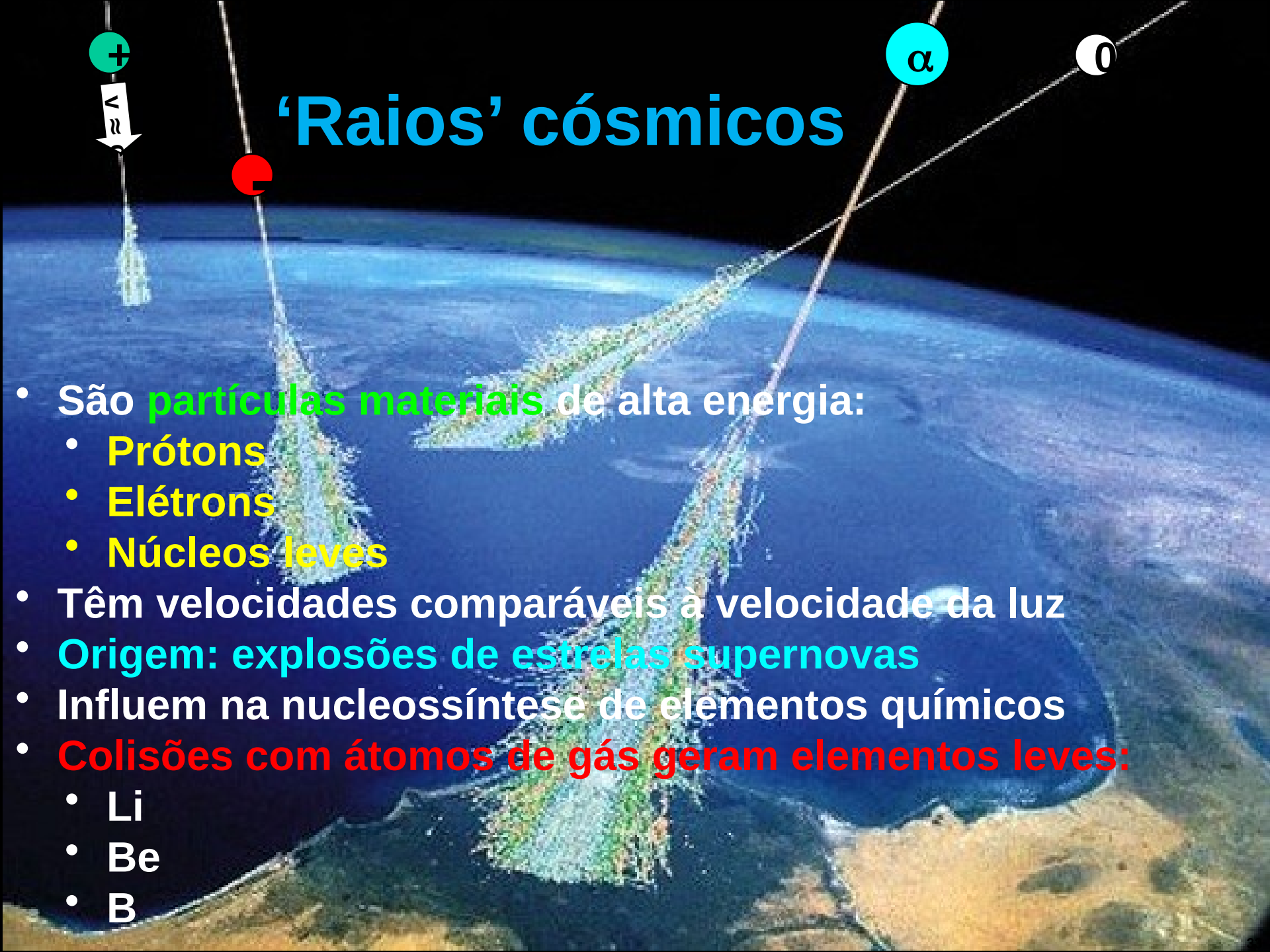
Estrelas e galáxias
HST Atualidade

Olhando o céu a partir do espaço


Visível
Gama
Raio X
Ultra violeta
Infra vermelho
Micro ondas
Rádio
Nível superior da atmosfera
Termosfera
Mesosfera
Transparência da atmosfera
Estratosfera (ozona)
Troposfera
do mar
UV + Visível + IV
Rádio

Detectando ondas

Olhando o céu em “raios” cósmicos

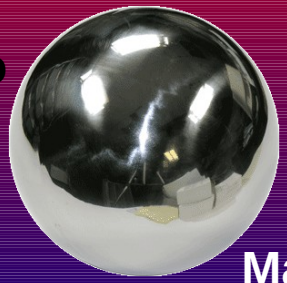


‘Raios’ cósmicos

- São partículas materiais de alta energia:
  - Prótons
  - Elétrons
  - Núcleos leves
- Têm velocidades comparáveis à velocidade da luz
- Origem: explosões de estrelas supernovas
- Influem na nucleossíntese de elementos químicos
- Colisões com átomos de gás geram elementos leves:
  - Li
  - Be
  - B

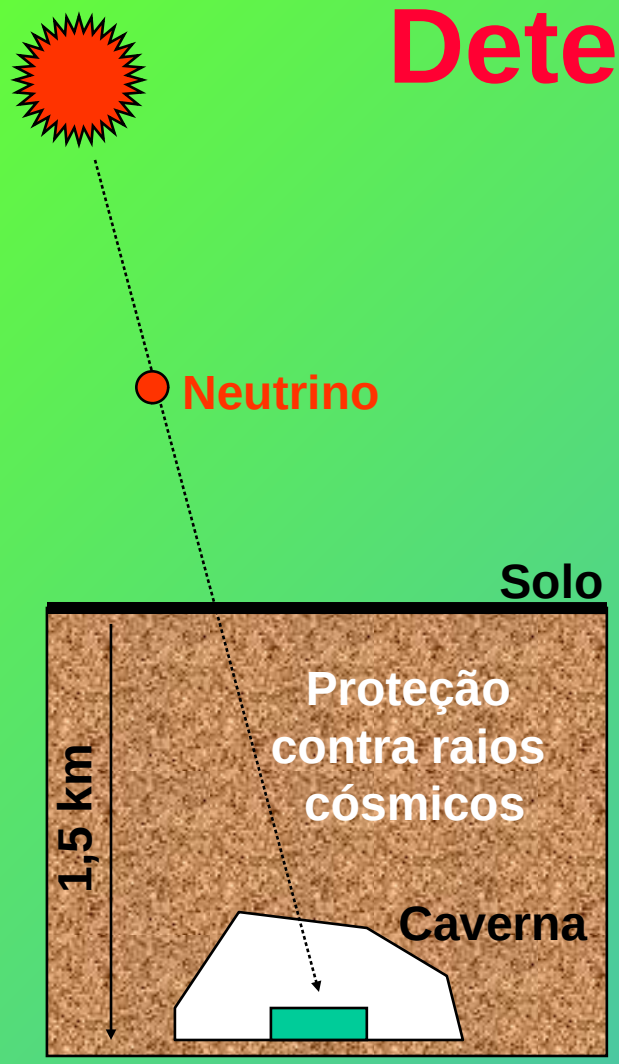
Olhando o céu através dos neutrinos

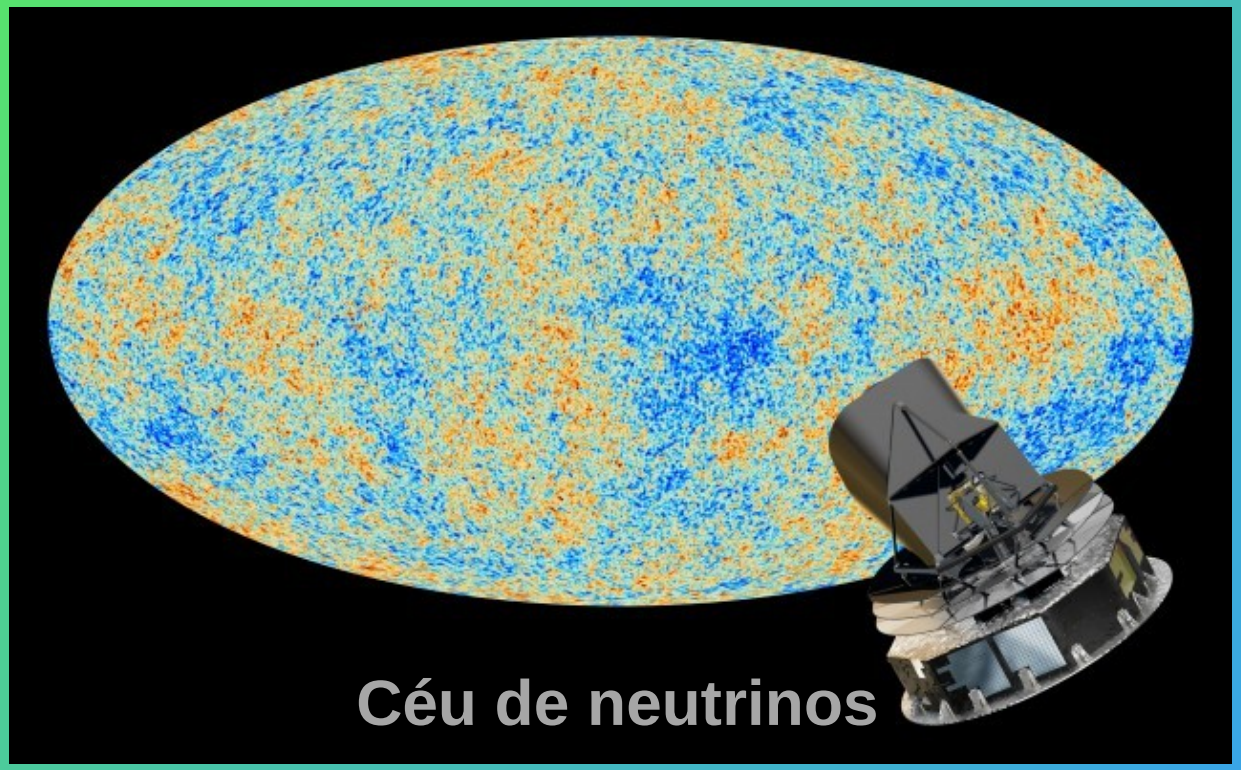
Carga elétrica zero



Massa muito pequena

Detecção dos neutrinos





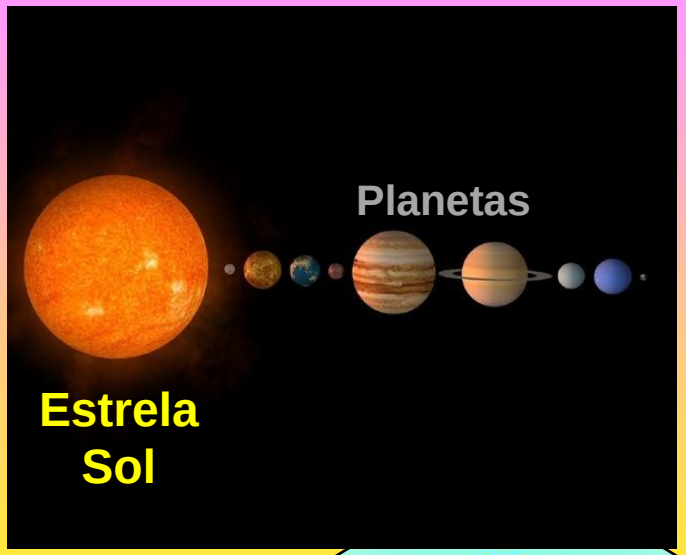
Tanque com 500 mil litros de percloroetileno C_2Cl_4 (detergente de cozinha) $2{,}2 \times 10^{30}$ átomos

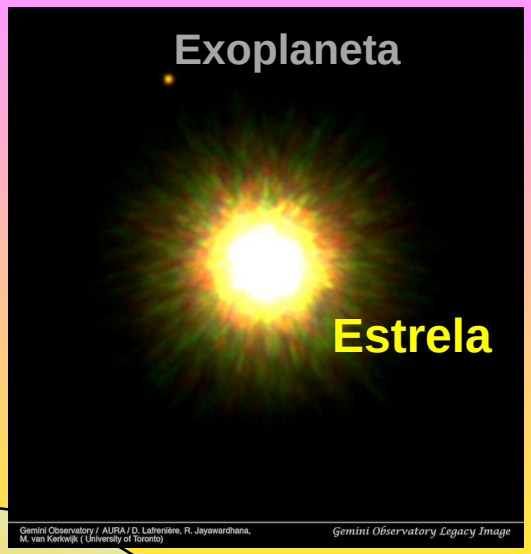
Neutrino transformando Cloro em Argônio

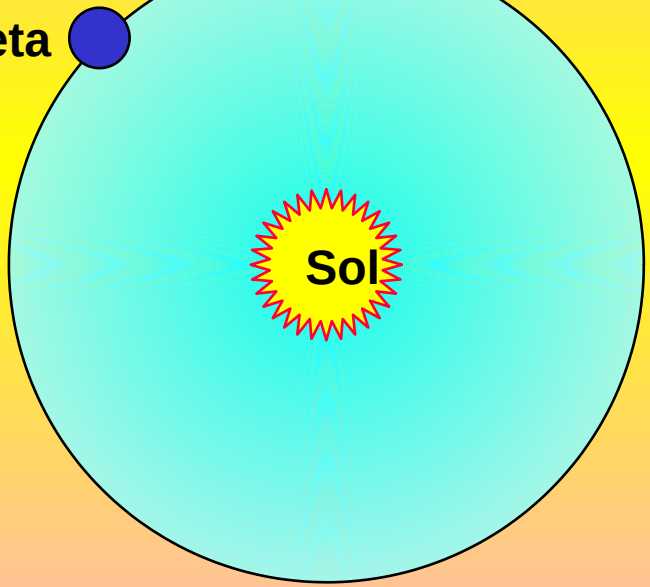
$$^{37}_{17}Cl + \nu \leftrightarrow {}^{37}_{18}Ar + e^-$$

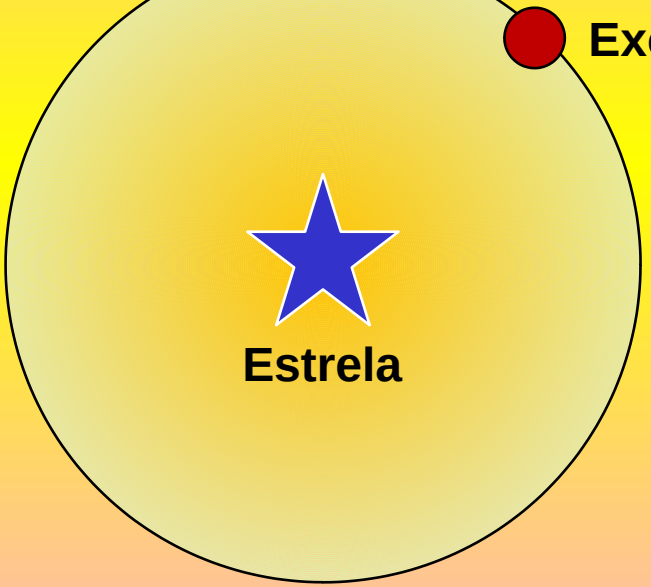
‘Vendo’ o céu por efeitos indiretos

Planeta e Exoplaneta





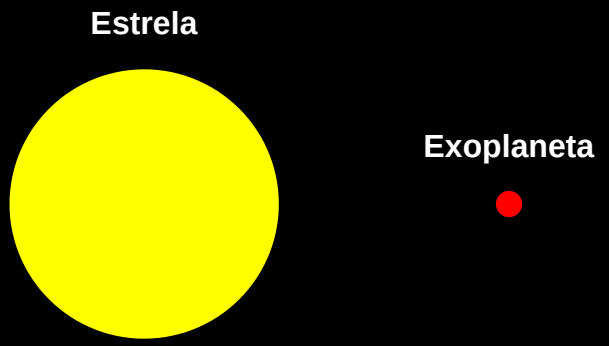




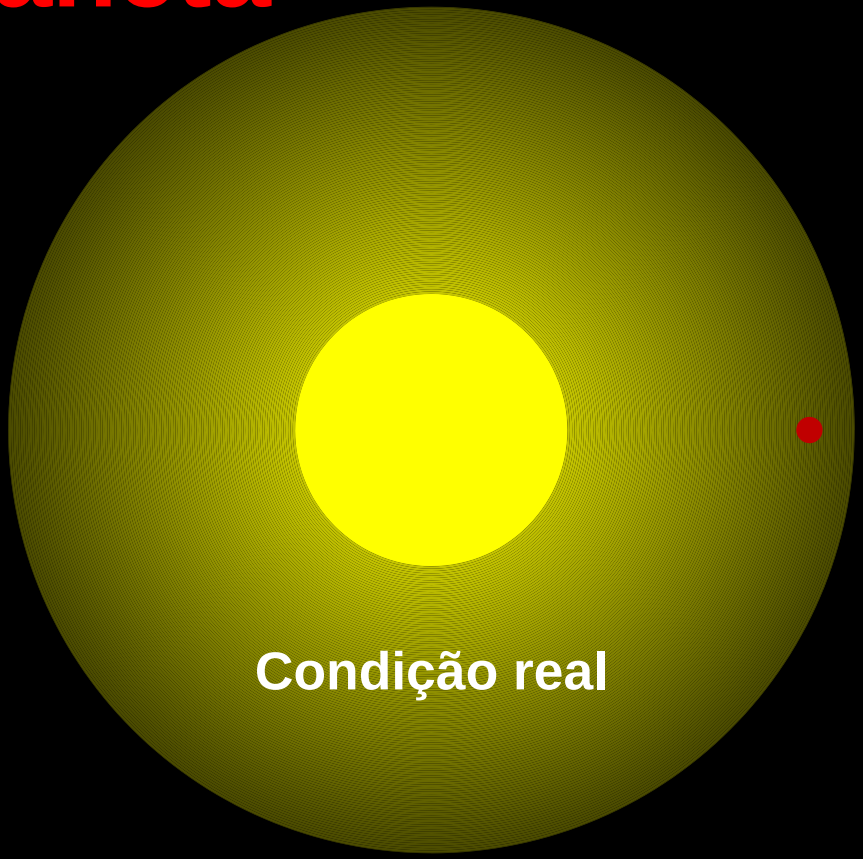
Planeta é um corpo, conforme definição da IAU, que gira em torno do Sol

Exoplaneta é um ‘planeta’ que gira em torno de uma estrela além do Sol

Dificuldade de se observar um exoplaneta



Condição ideal



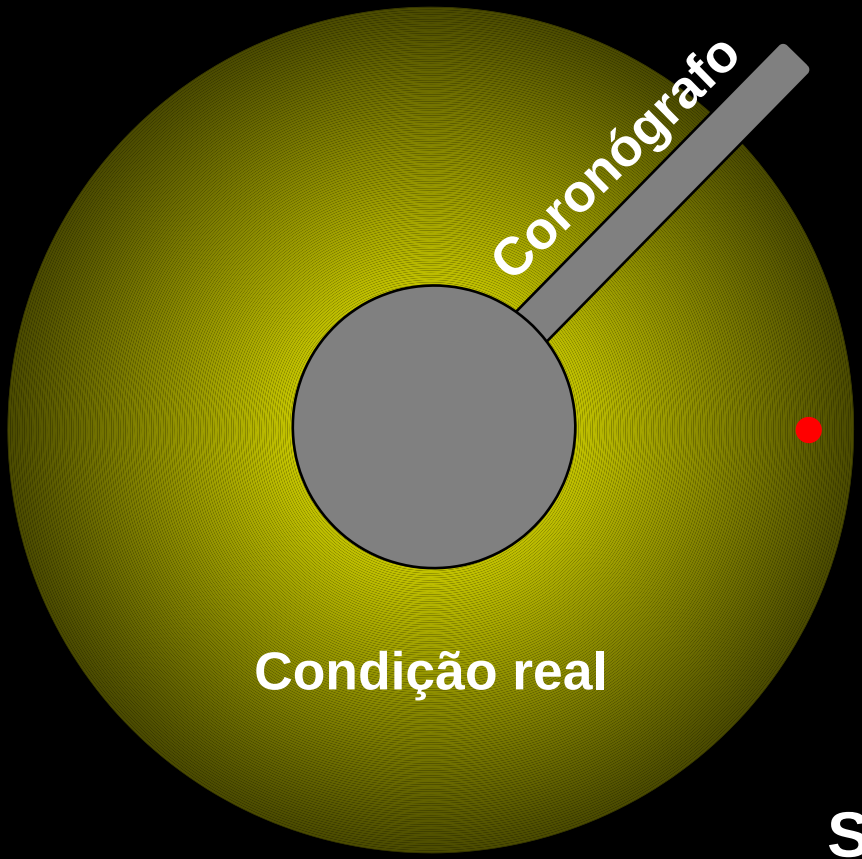
Condição real

Separação entre os brilhos da estrela e do planeta

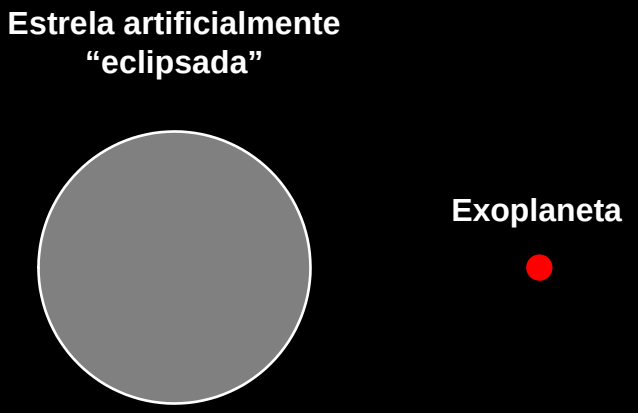
Como o brilho da estrela é muito maior que o do exoplaneta, ela ofusca o exoplaneta: diminui o contraste

Imageamento com coronógrafo

(eclipse artificial da estrela)



Condição real



Condição “idealizada”

Solução:

“Eclipsar” a estrela com um coronógrafo para barrar seu brilho e aumentar o contraste entre o fundo de céu e o brilho do exoplaneta.

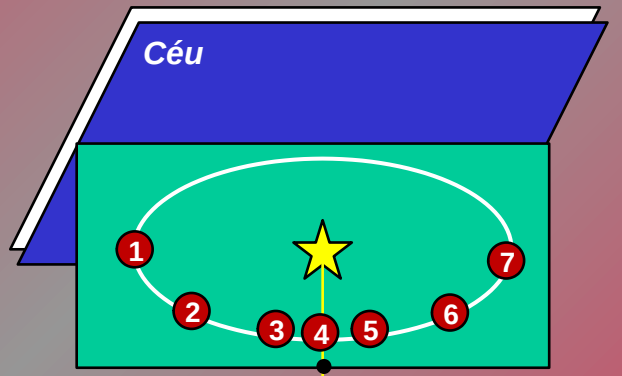
AB Pic

Sistema AB Pictoris

A luz da estrela central foi barrada por um coronógrafo especial

Ou é um exoplaneta de grande massa ou uma anã marron.

Fotometria de trânsito



Visão do observador

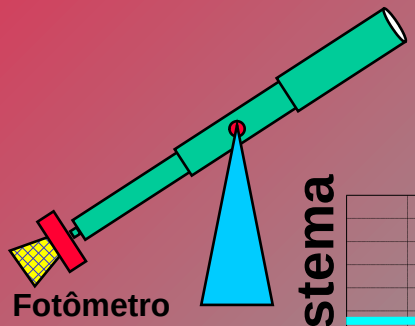
Estrela

Exoplaneta

1 2 3 4 5 6 7

Plano orbital contém a linha de visada do observador.

O exoplaneta eclipsa parcialmente a estrela.



Exoplaneta!

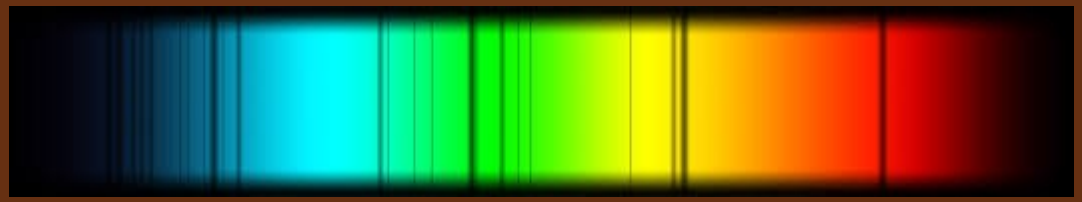
Fluxo recebido do sistema

O fluxo de luz recebido da estrela diminui durante o eclipse parcial.

Tempo

Fotômetro espacial Kepler

Linhas espectrais de uma estrela



Decomposição da Luz


Aquecendo uma barra de ferro

Luz Branca

Sólido aquecido

Prisma

Espectro contínuo

Gás Hidrogênio

Prisma

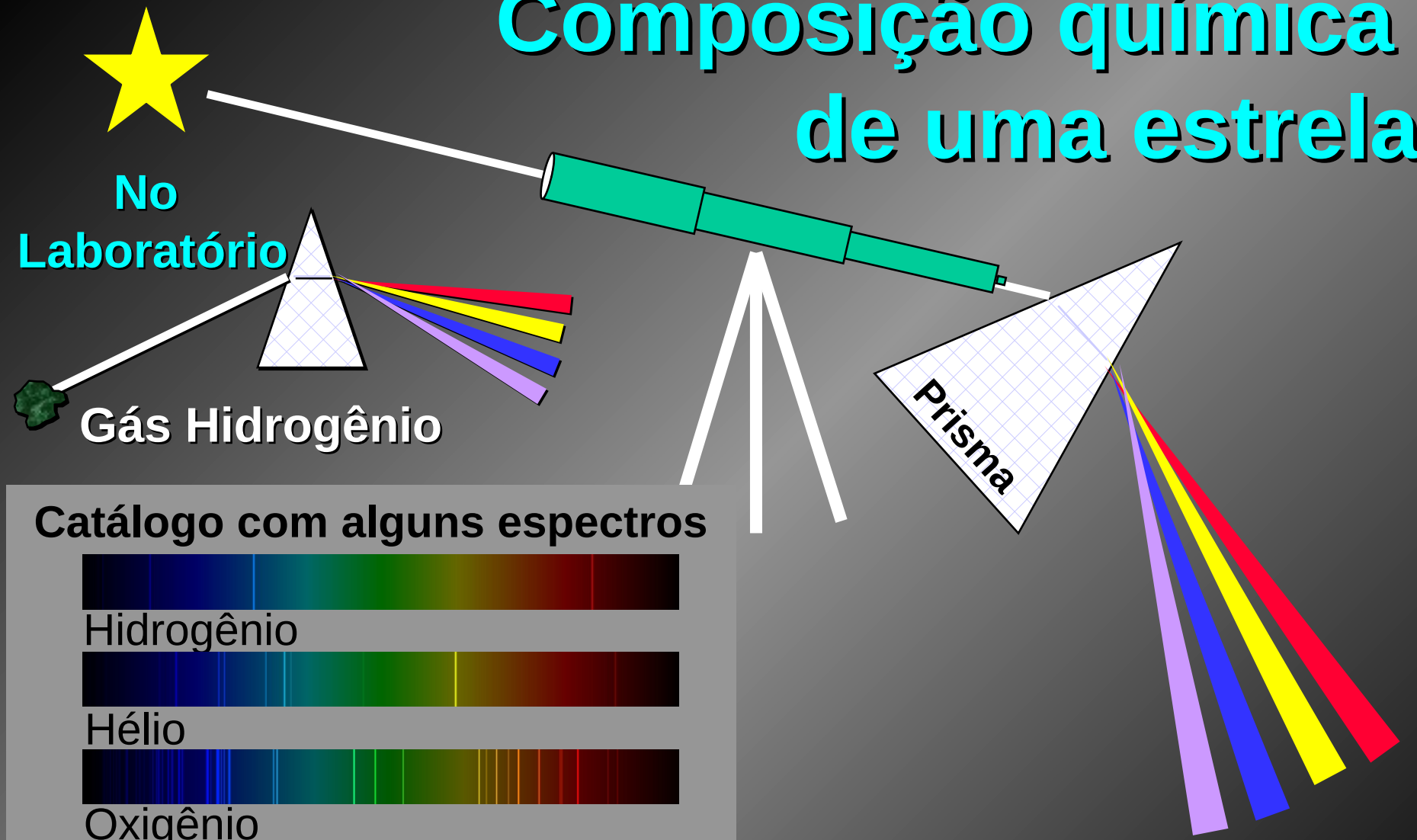
Espectro de linhas do Hidrogênio

Gás Hélio

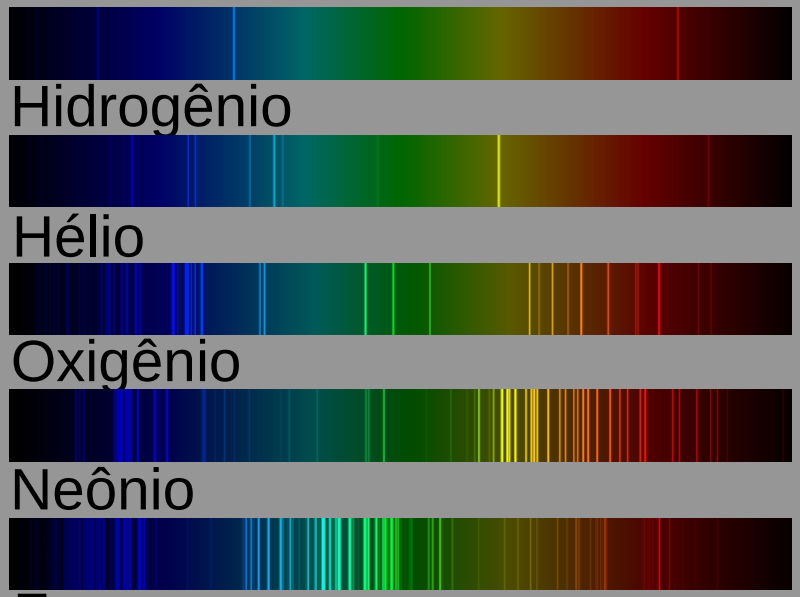
Prisma

Espectro de linhas do Hélio

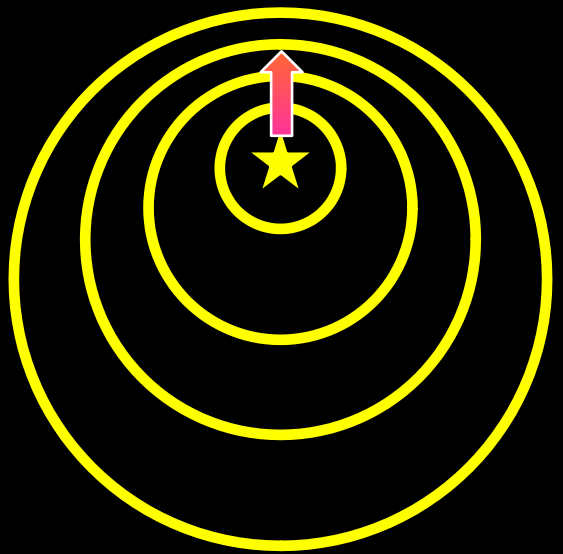
Composição química de uma estrela



Catálogo com alguns espectros



Efeito Doppler-Fizeau



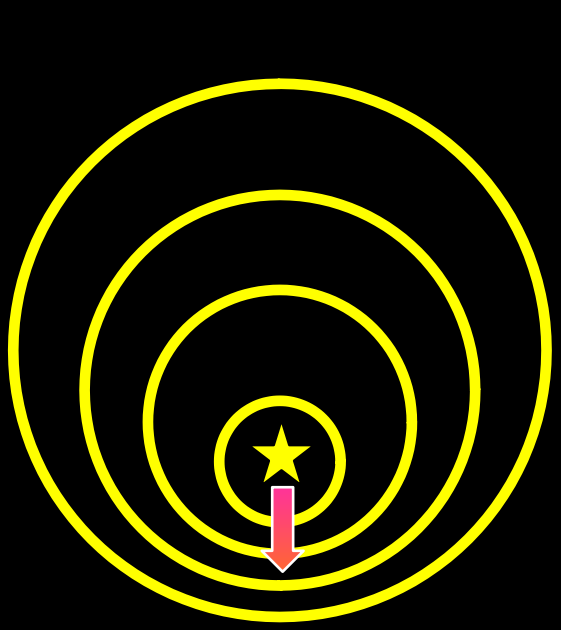
Fonte se afastando do observador

[estrela vista vermelha]

Estrela emitindo luz amarela

Fonte em repouso

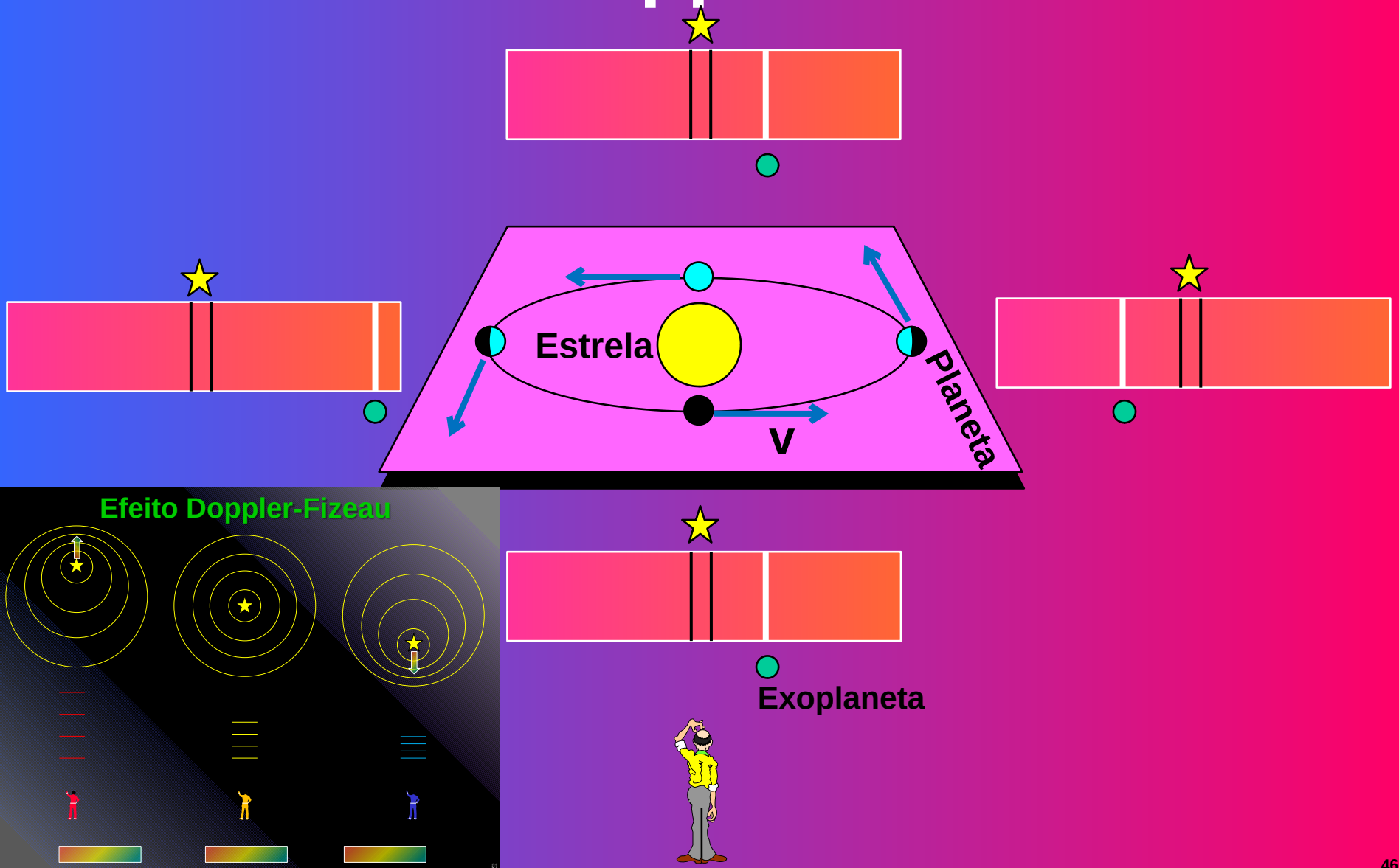
[estrela vista amarela]



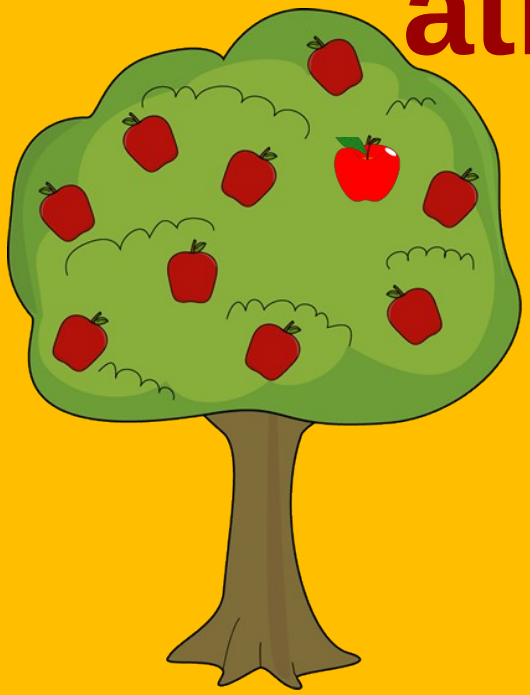
Fonte se aproximando do observador

[estrela vista azul]

Descobrindo exoplanetas pelo Efeito Doppler-Fizeau



Olhando o céu através de efeitos gravitacionais

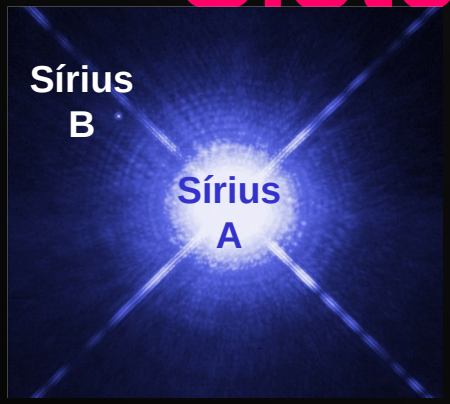


Princípio da Inércia

(Newton, 1642- 1727)

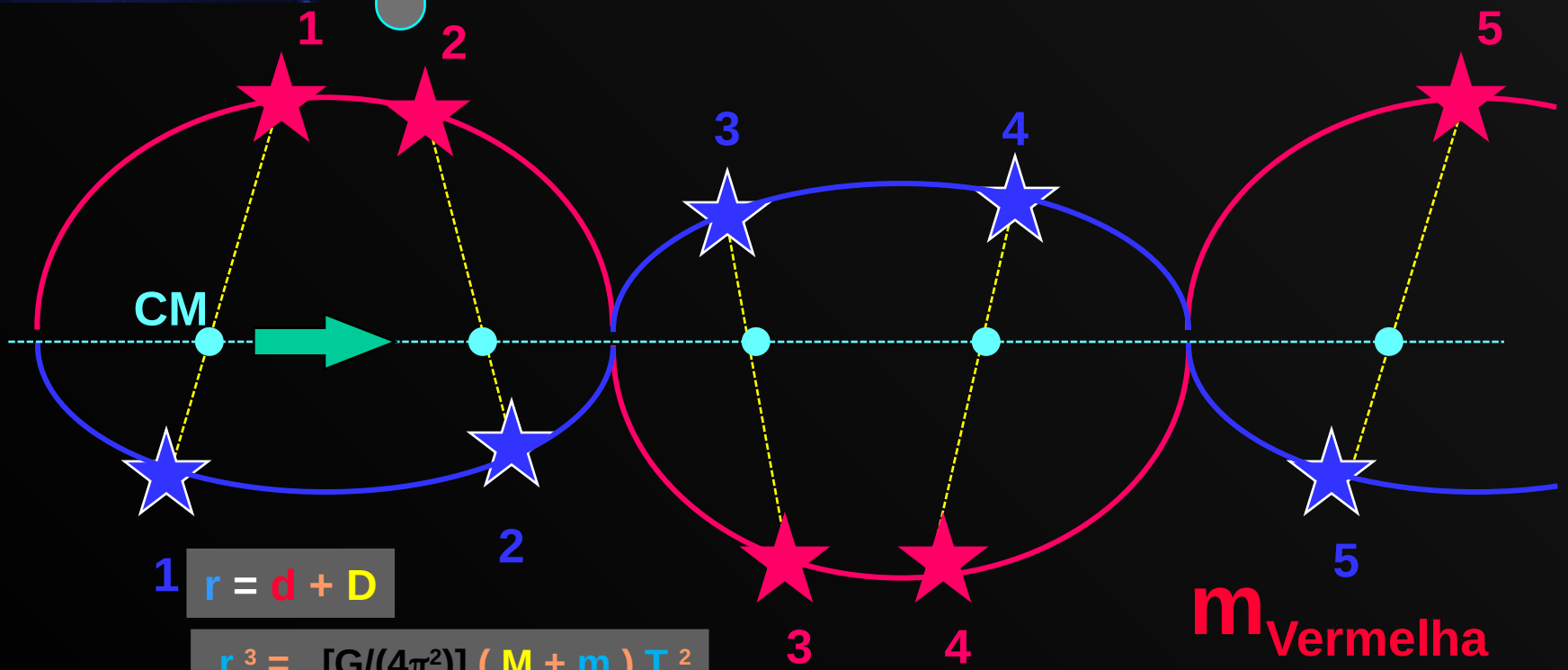
Um corpo, sobre o qual não age nenhuma força, tende a manter seu estado de movimento ou de repouso.

Sistema Binário de estrelas



Estrelas fixas de fundo

Movimento do sistema



$r = d + D$

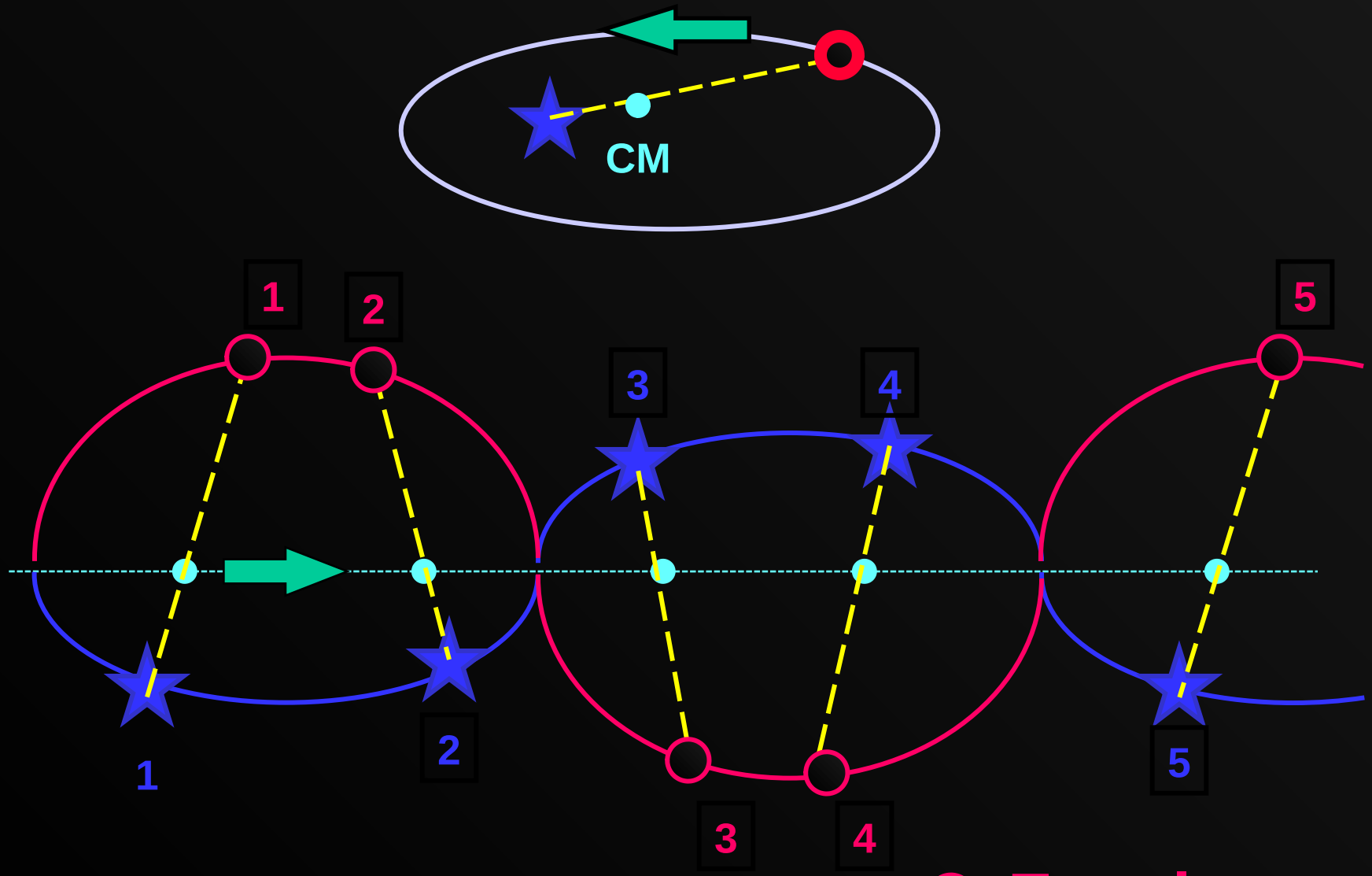
$r^3 = [G/(4\pi^2)]\,(M + m)\,T^2$

$M\,d = m\,D$

$m_{Vermelha}$

m_{Azul}

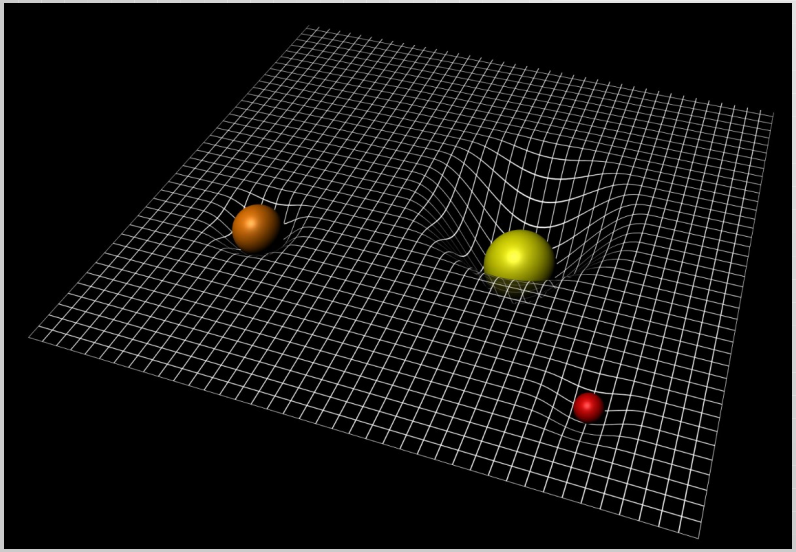
Sistema Planetário

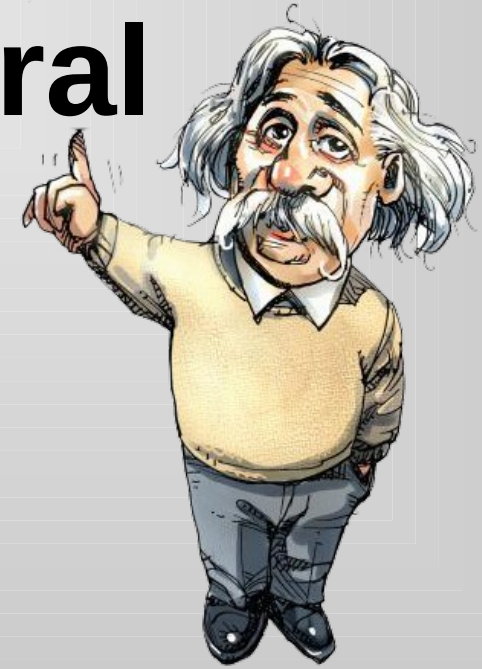


$m <<< m_{Sol}$

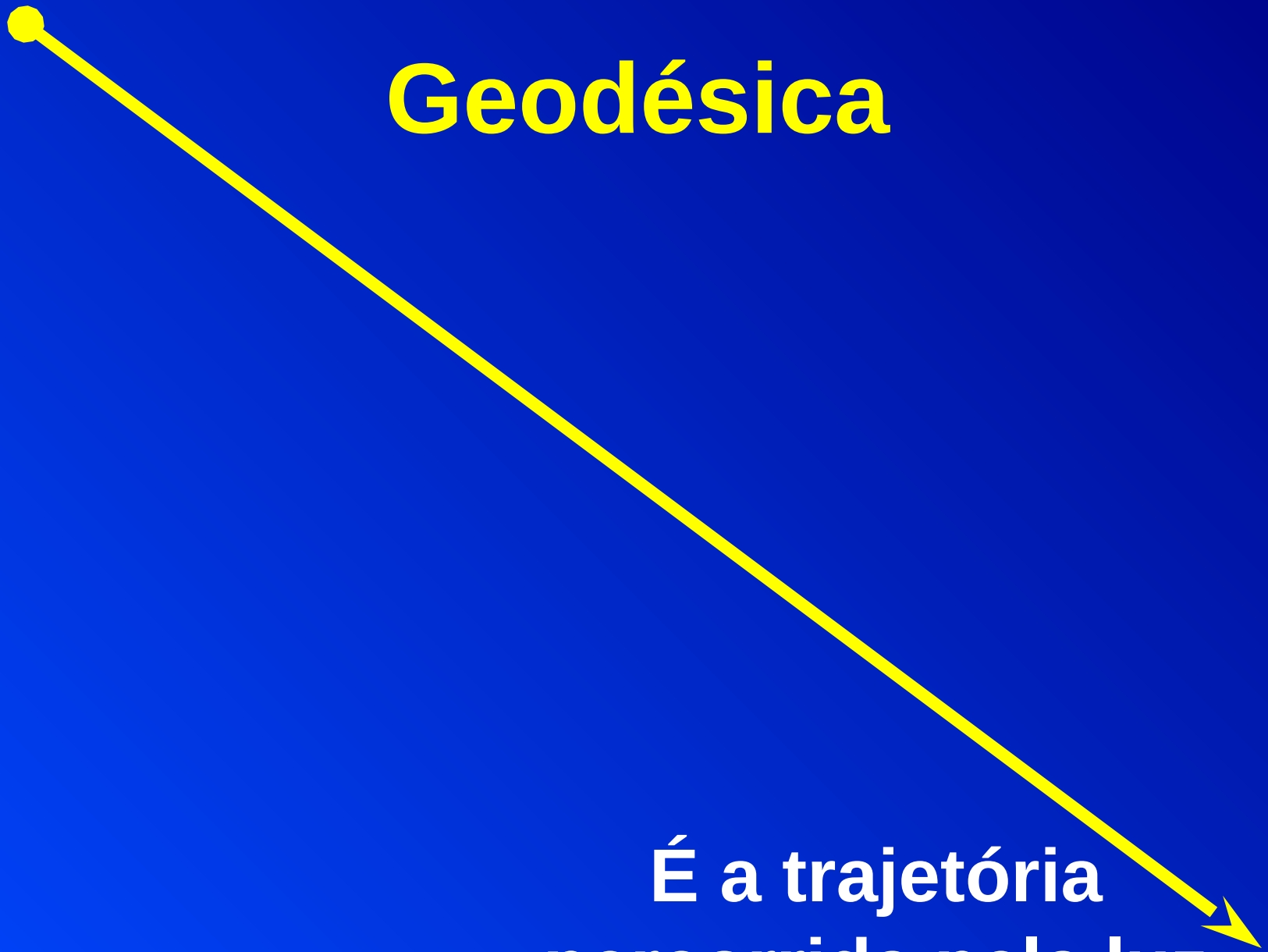
Exoplaneta !

Teoria da Relatividade Geral

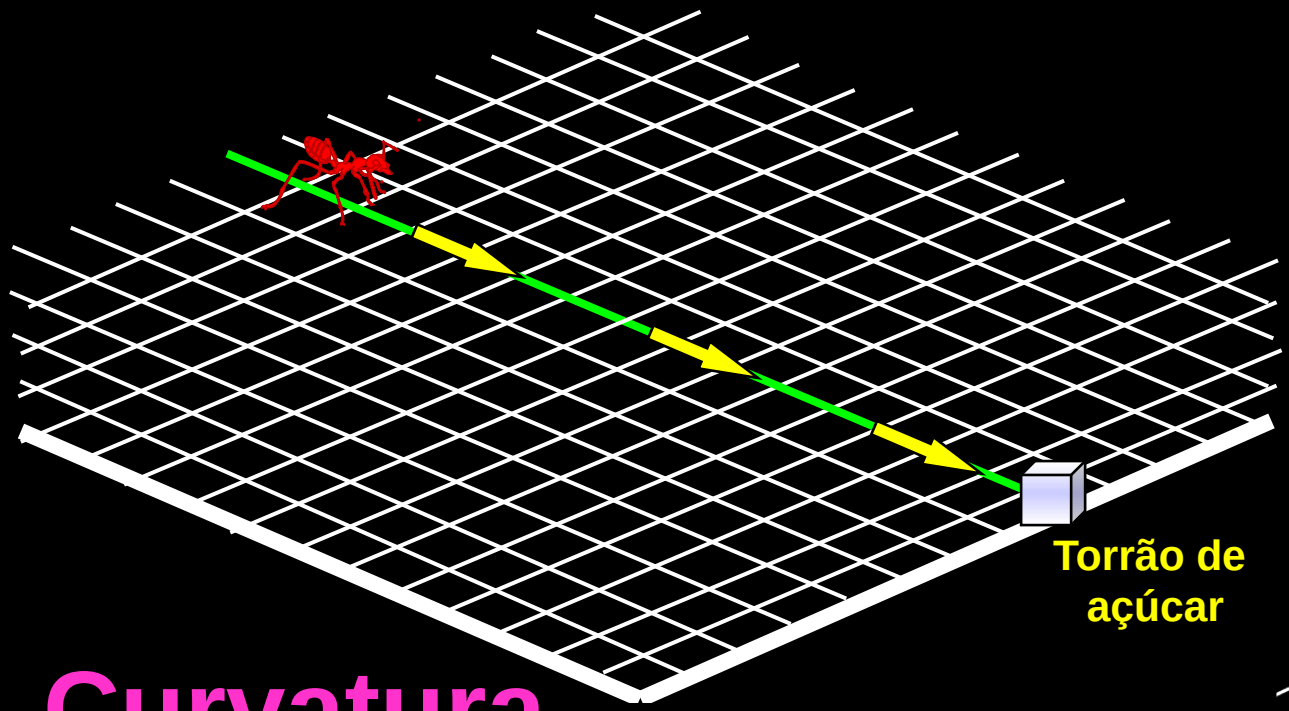




Geodésica

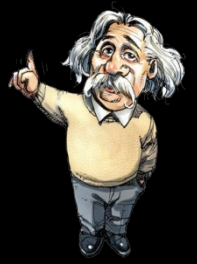


É a trajetória percorrida pela luz



Universo
Vazio

Geodésicas
retilíneas

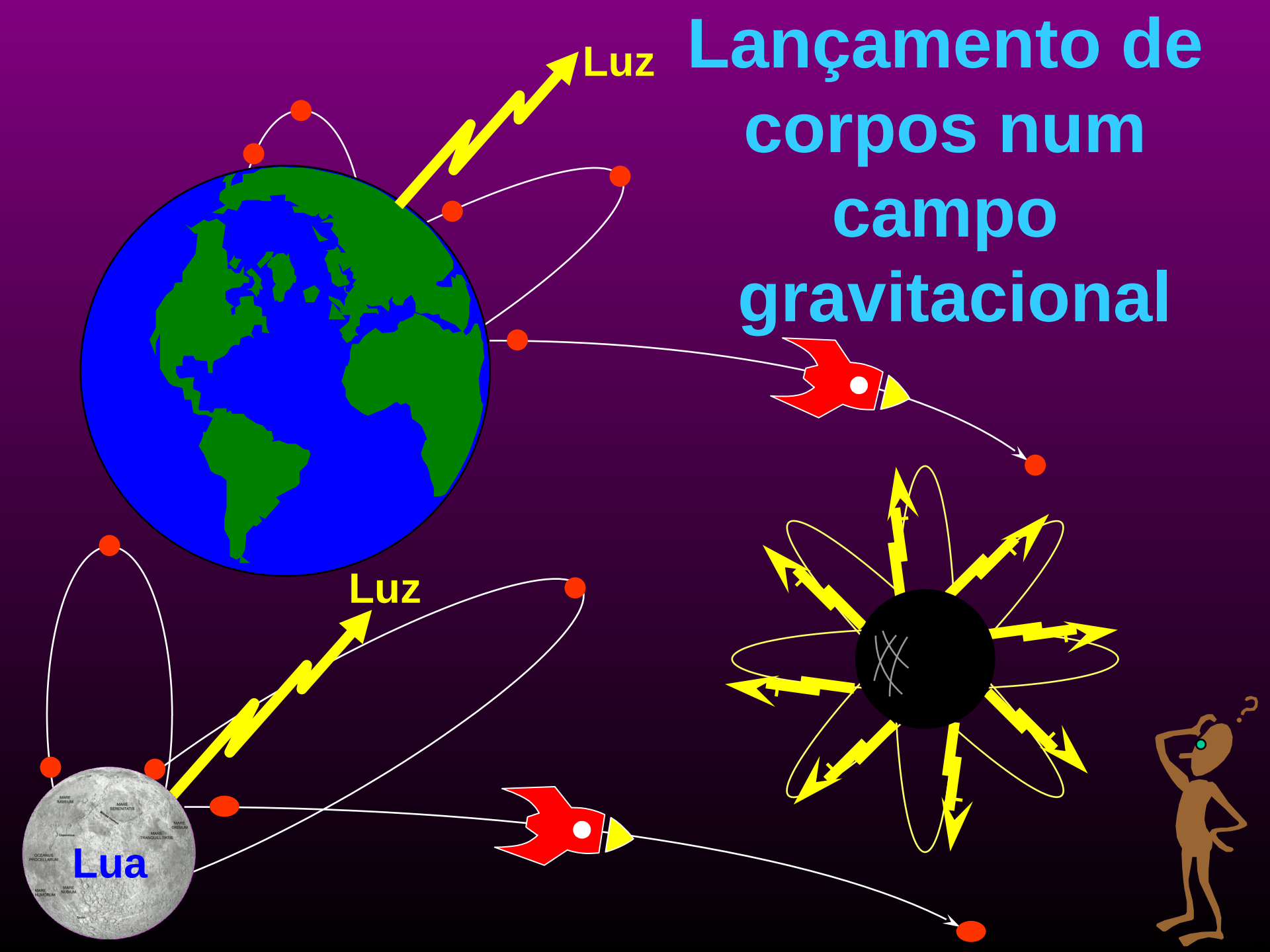


Curvatura do Universo

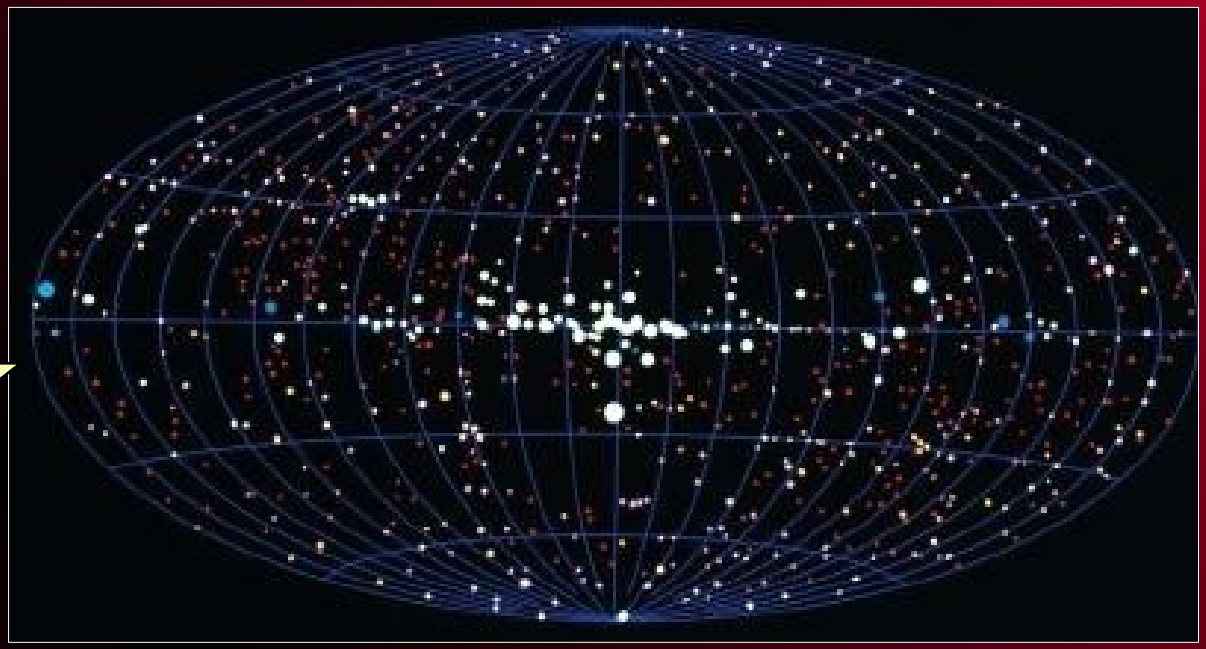
Universo
não vazio

Geodésicas
curvilíneas

Lançamento de corpos num campo gravitacional



Fontes de Raios X



Raios X

Buraco negro

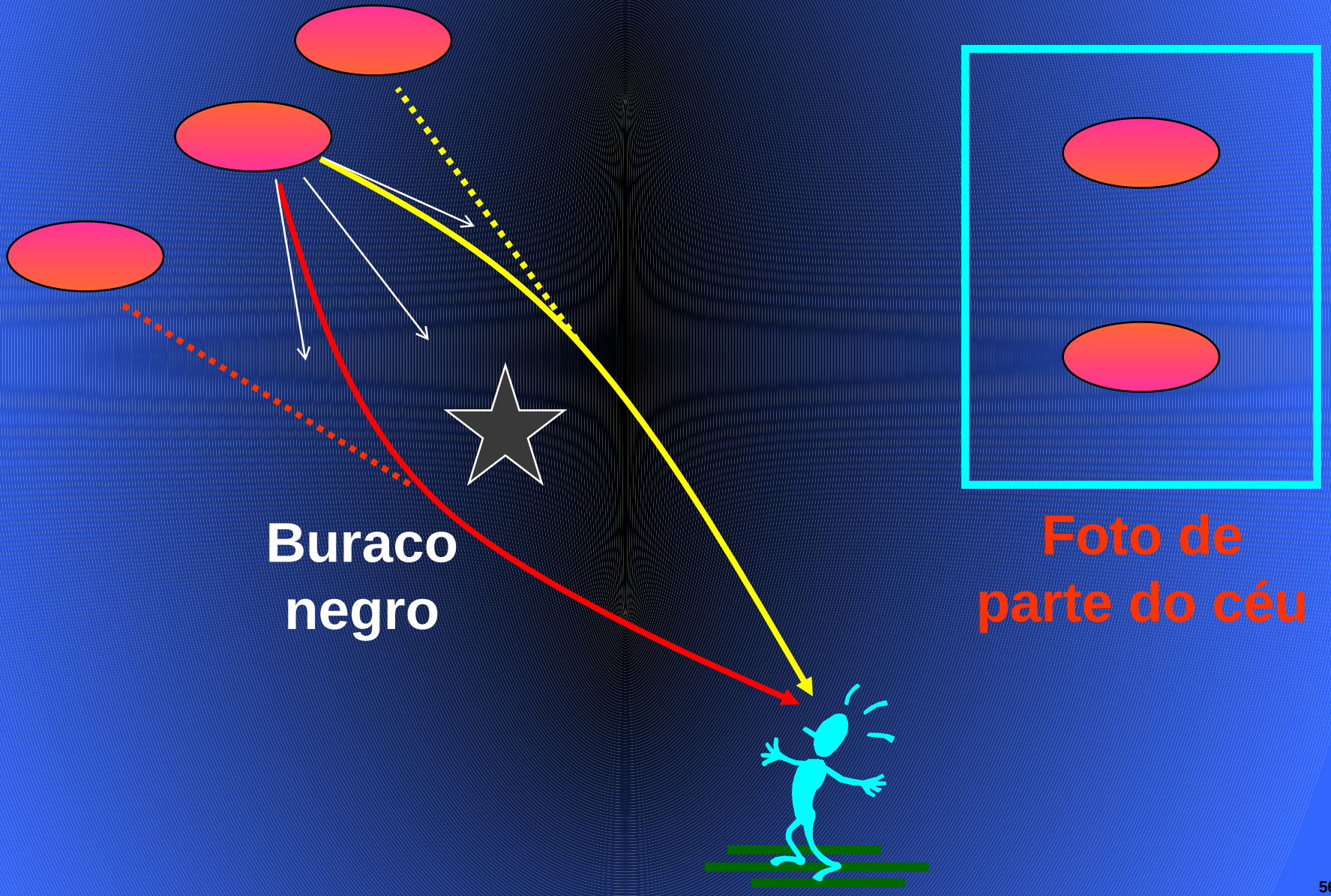
Sistema Binário

Anã Branca

Matéria (cargas elétricas) caindo na estrela central por atração gravitacional

Raios X

Detecção de Buraco Negro com Lente Gravitacional



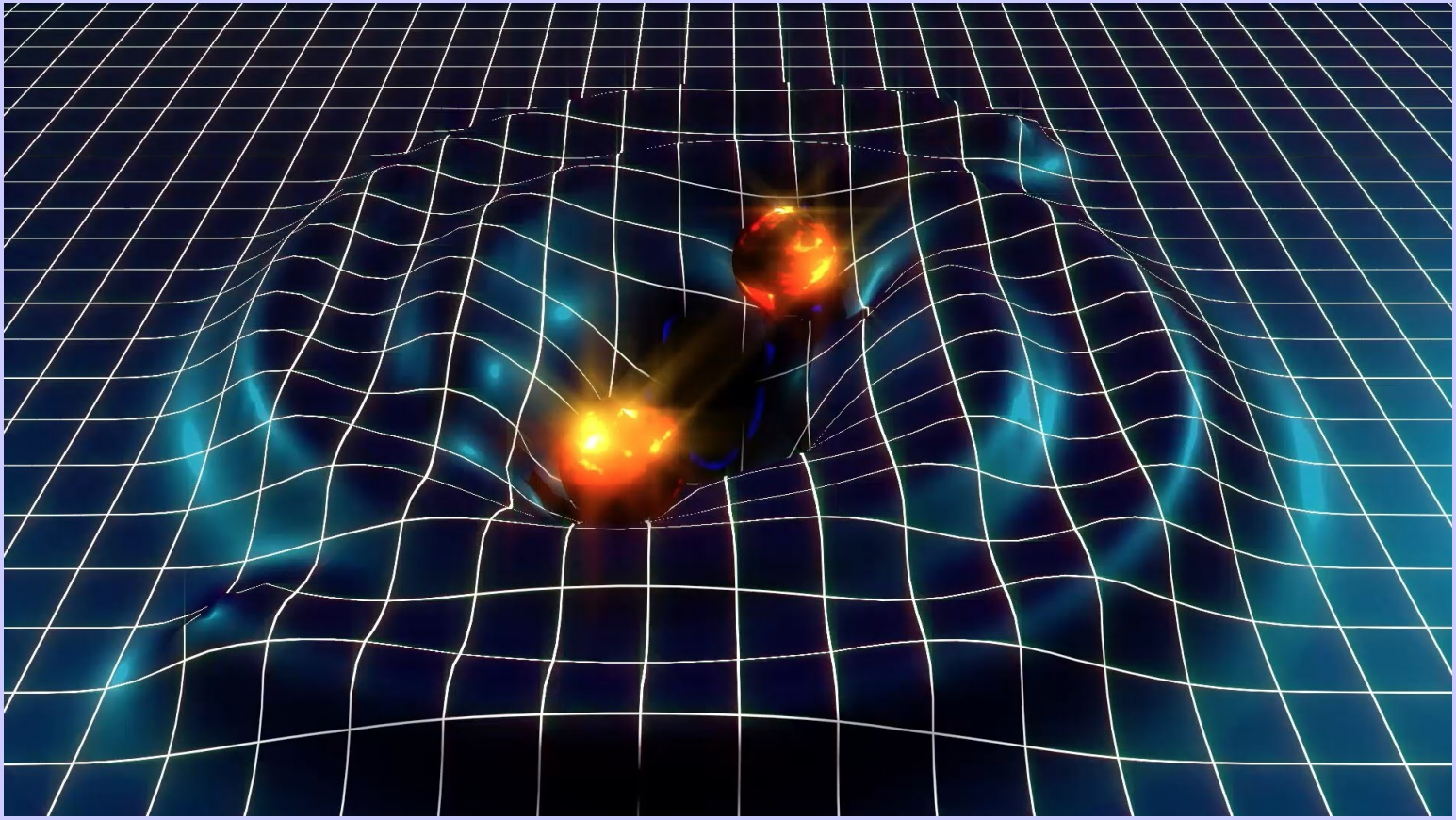
Lente gravitacional detectando galáxias muito distantes

Abell S1063

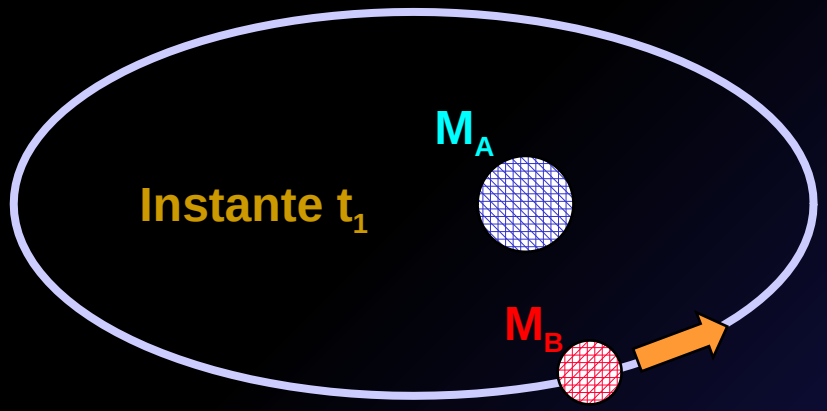
4 bi a.l.

As galáxias" "encurvadas" são imagens de um quasares distantes

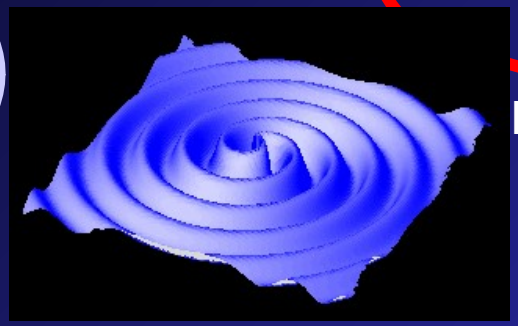
“Prova” da Teoria da Relatividade: Ondas gravitacionais



Geodésicas criadas por um sistema binário de estrelas de grandes massas



Redistribuição das massas



G_0

Geodésica que passaria por P se o universo fosse vazio

G_1

Geodésica que passaria por P se só houvesse a massa M_A

P

Geodésica que realmente passa por P

G_1 Antiga geodésica

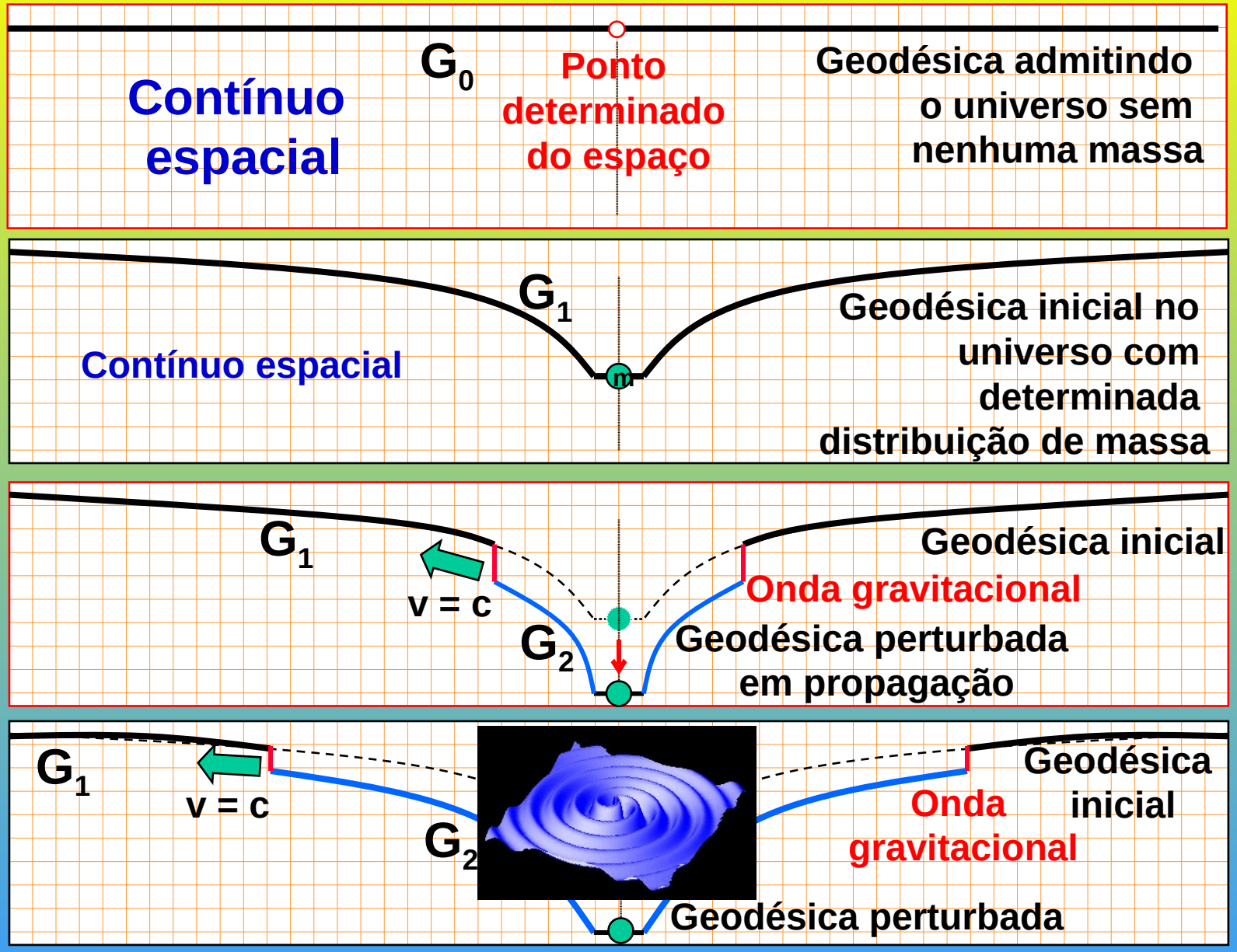
G_2

G_0

P

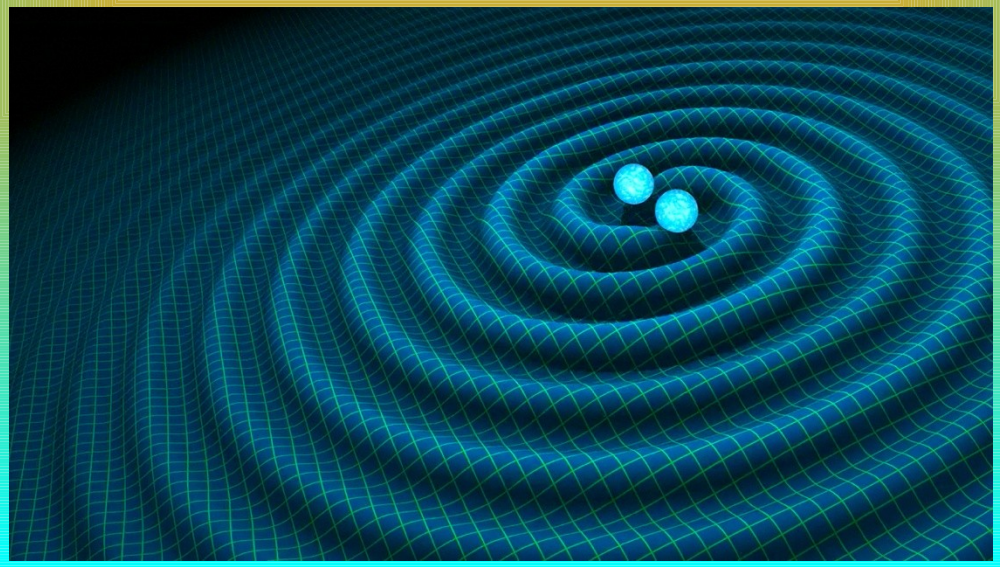
Nova Geodésica por P

Onda gravitacional



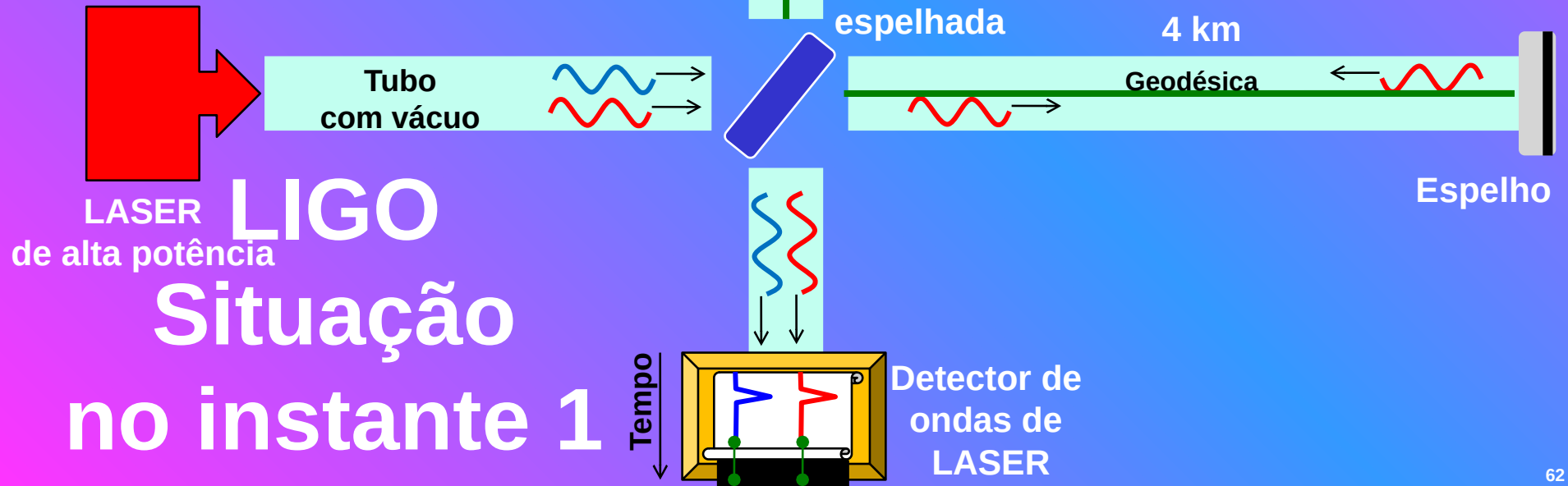
Onda Gravitacional = Deformação progressiva nas **geodésicas**

Detectando ondas gravitacionais



LIGO Interferômetro de ondas para detecção de ondas gravitacionais

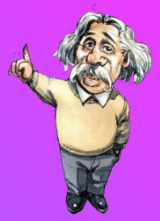
Velocidade da luz é uma constante no universo



LIGO Situação no instante 1

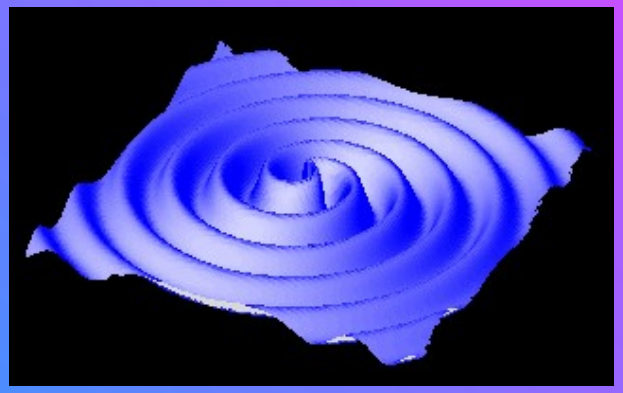
Espelho

Velocidade da luz é uma constante no universo



Geodésica não modificada

4 km



Lâmina semi espelhada

Nova Geodésica

Tubo com vácuo

Geodésica antiga

4 km

Espelho

LASER de alta potência

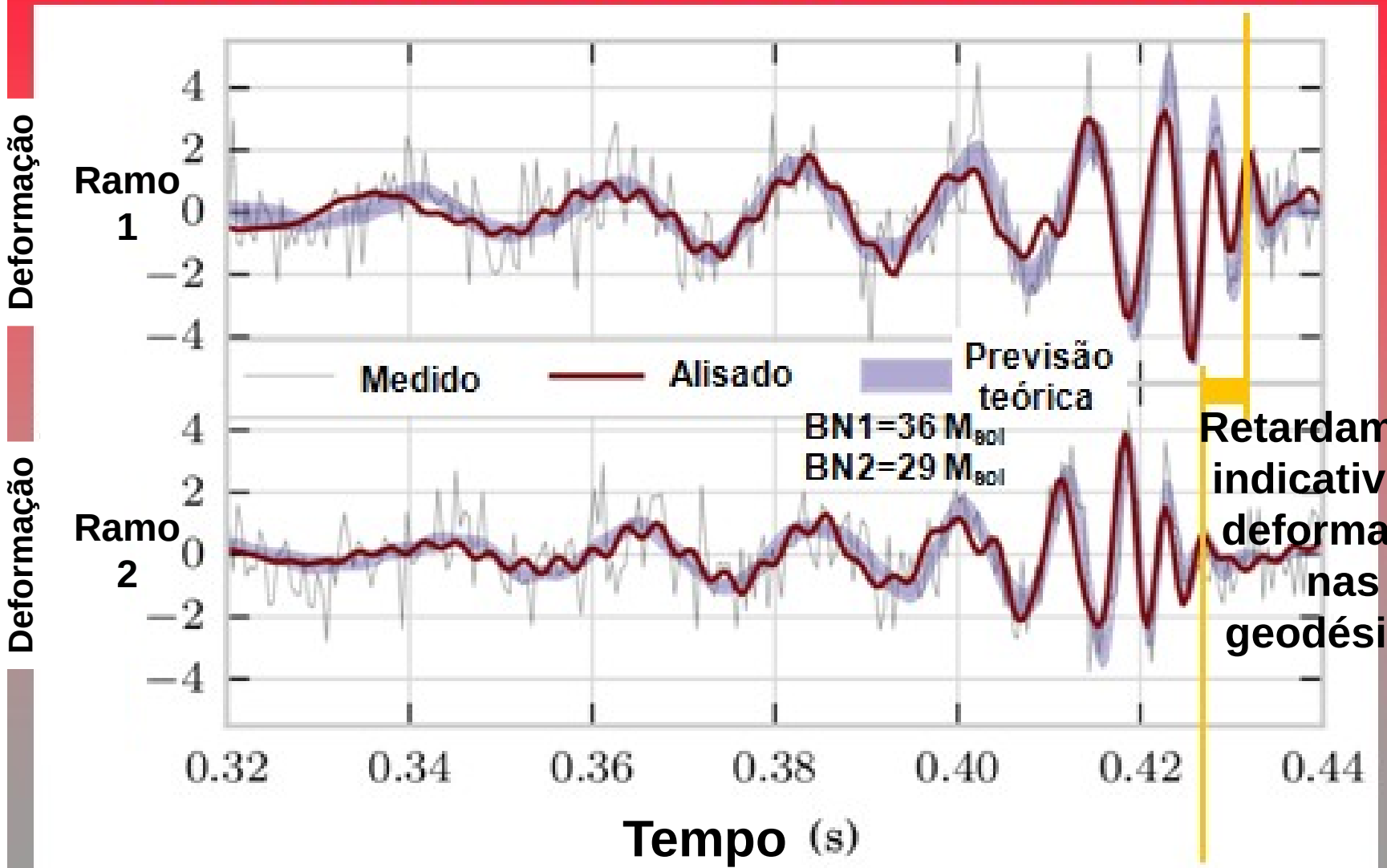
LIGO

Situação no instante 2

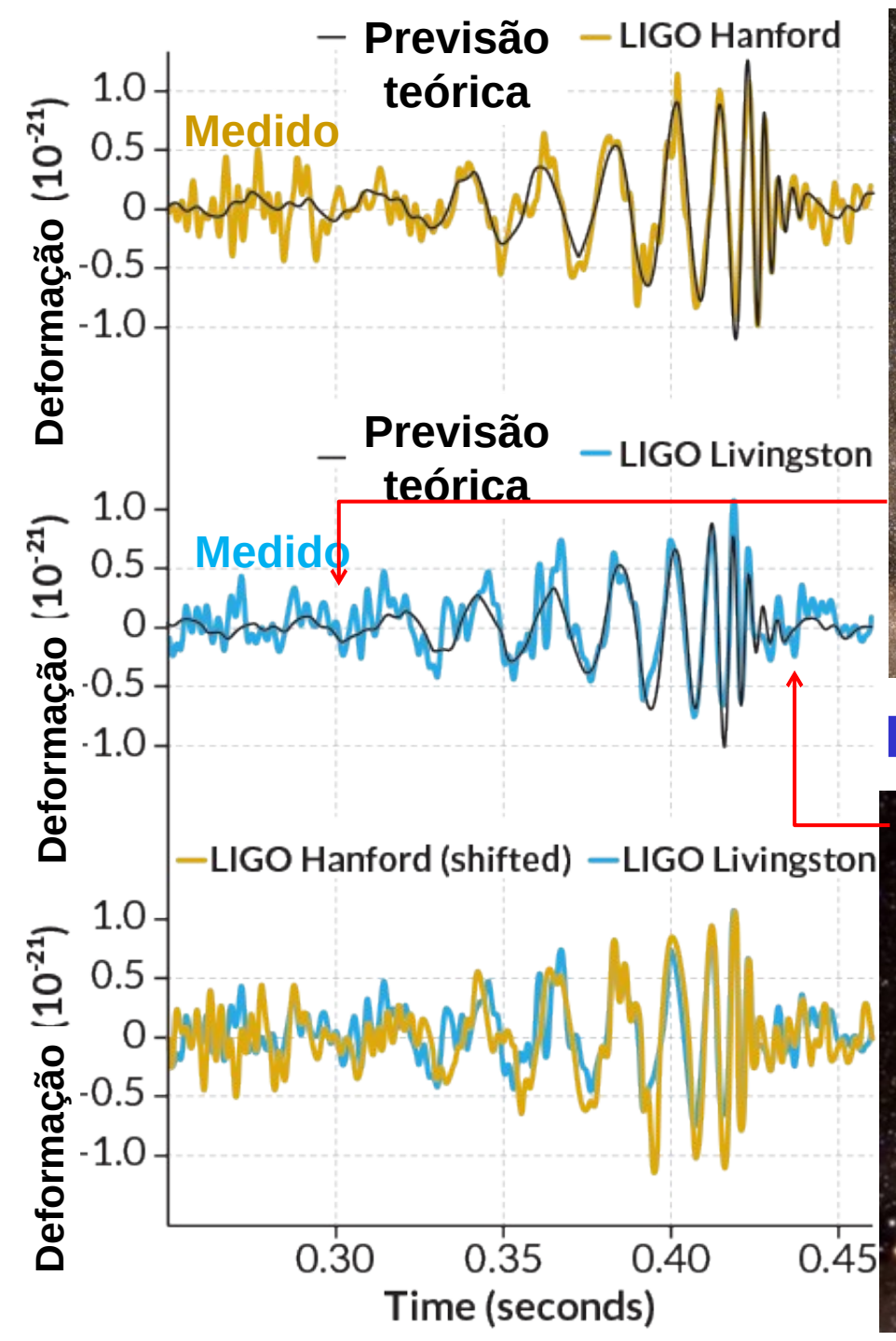
Tempo

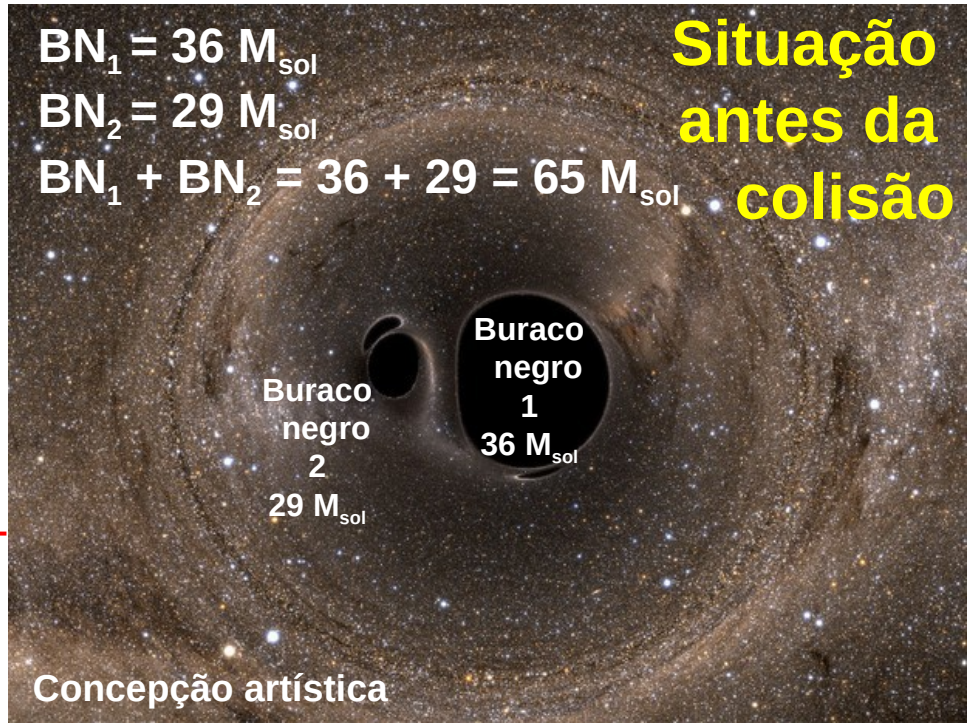
Detector de ondas de LASER

Ondas gravitacionais detectadas



Retardamento indicativo de deformação nas geodésicas!





Descoberta de buracos negros

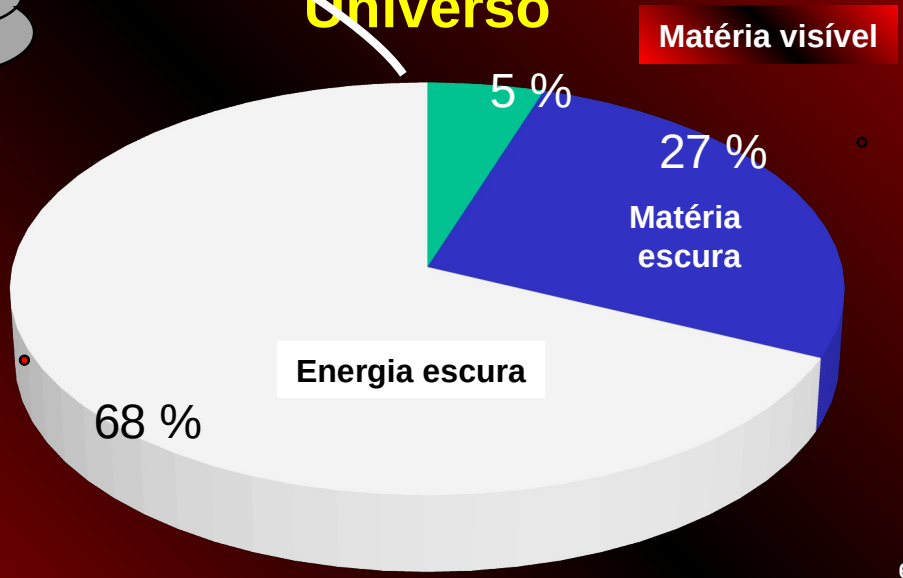
Próximo passo ...

Vendo o céu em ...

Big bang

Causa da expansão acelerada:
Energia escura?

Universo



Fim

R. Boczko