

Um pouco da história da Astronomia

Registros mais antigos: ~3000 AEC (chineses, babilônios, assírios e egípcios)

Objetivos práticos: agricultura (fazer calendários) e astrologia (deuses)

Era áurea grega:

(~624-546 AEC) Tales de Mileto: traz geometria e astronomia (do Egito), prediz eclipse solar

(428-348 AEC) Platão: Terra imperfeita e mutável, céu perfeito e imutável

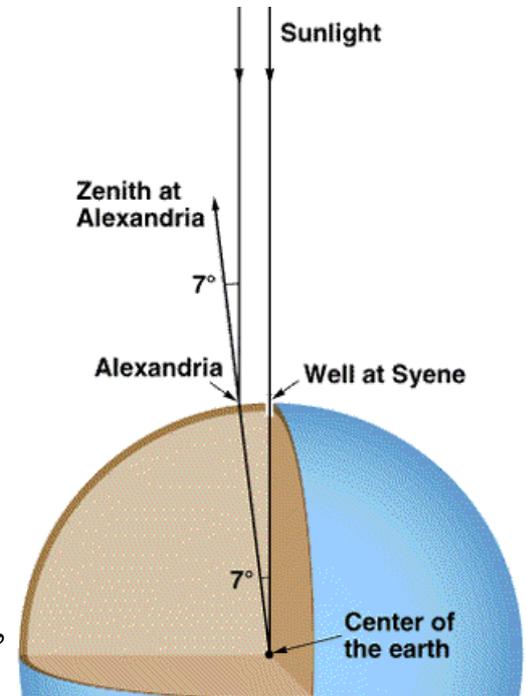
(384-322 AEC) Aristóteles de Estagira: Terra esférica, explica fases da Lua, cosmologia geocêntrica

(310-230 AEC) Aristarco de Samos: cosmologia heliocêntrica (prediz paralaxe → é “esquecido”) ***Falta de evidência não refuta uma hipótese**

(276-194 AEC) Eratóstenes de Cirênia: calcula o diâmetro da Terra (1% em desacordo com o valor correto)

(190-120 AEC) Hiparco de Nicéia: precessão dos equinócios (~26 mil anos), magnitude das estrelas

Cusiosidade: Colombo e as navegações: <https://pwg.gsfc.nasa.gov/stargaze/Scolumb.htm>

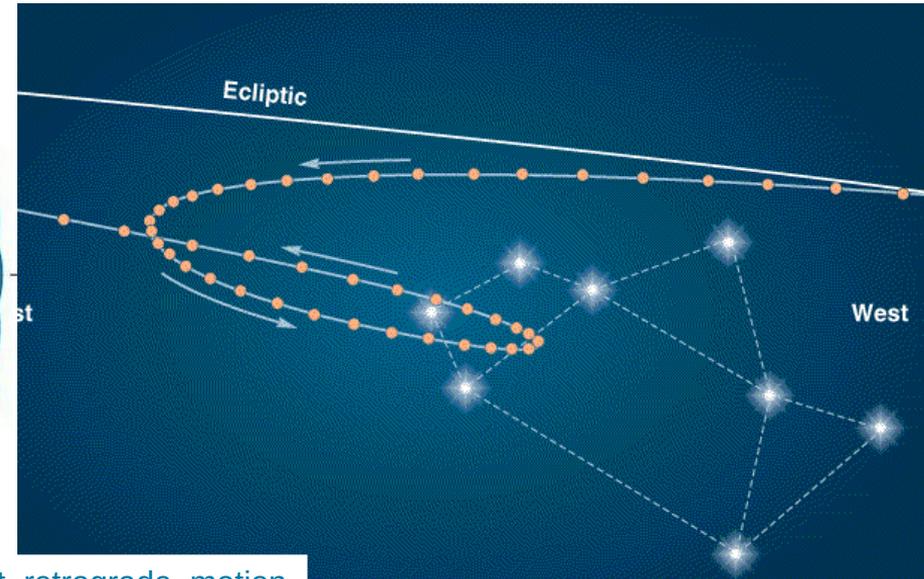
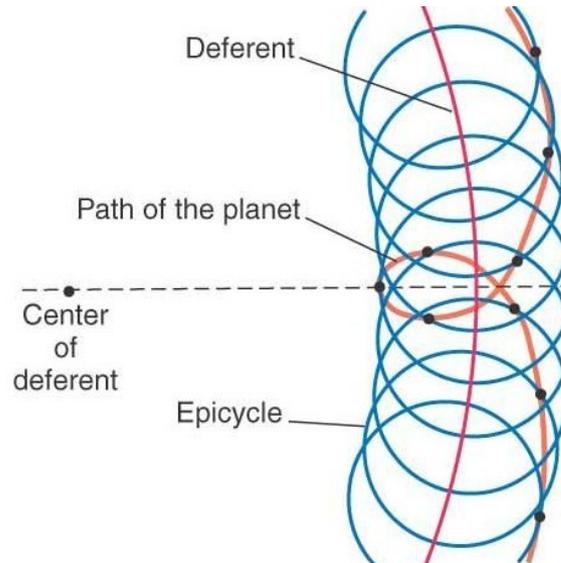
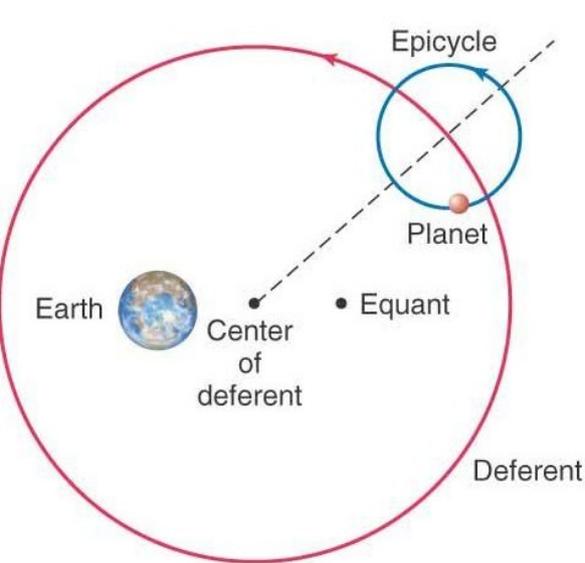


© 1997 Wadsworth Publishing Company/ITP

Um pouco da história da Astronomia

Era áurea grega:

(85-165 EC) Cláudio Ptolomeu: compilou uma série de treze volumes sobre astronomia: Almagesto
Sucesso do modelo geocêntrico com ciclos e epiciclos



Um pouco de estória

Renascência européia:

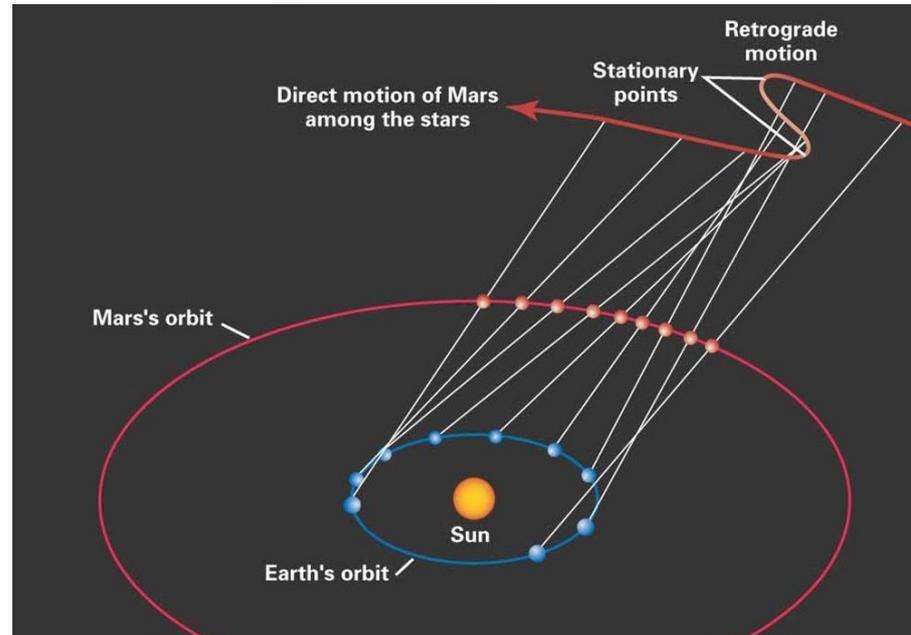
(1473-1543 CE) Nicolau Copérnico: modelo heliocêntrico (Aristarco) com órbitas circulares.

Ganhou suporte pela elegância em explicar o movimento retrógrado

<https://apod.nasa.gov/apod/ap011220.html>

Principais ideias/observações:

- Terra é apenas mais um planeta como os outros 5 conhecidos
- Determinou a ordem dos 6 planetas: Mercúrio...Saturno
- Determinou a distância relativa Sol-planetas
- Determinou que quanto mais próximo, maior é a velocidade angular do planeta



Um pouco da história da Astronomia

Renascença europeia:

Tycho Brahe

- medidas precisas

Johannes Kepler

- 3 leis de Kepler

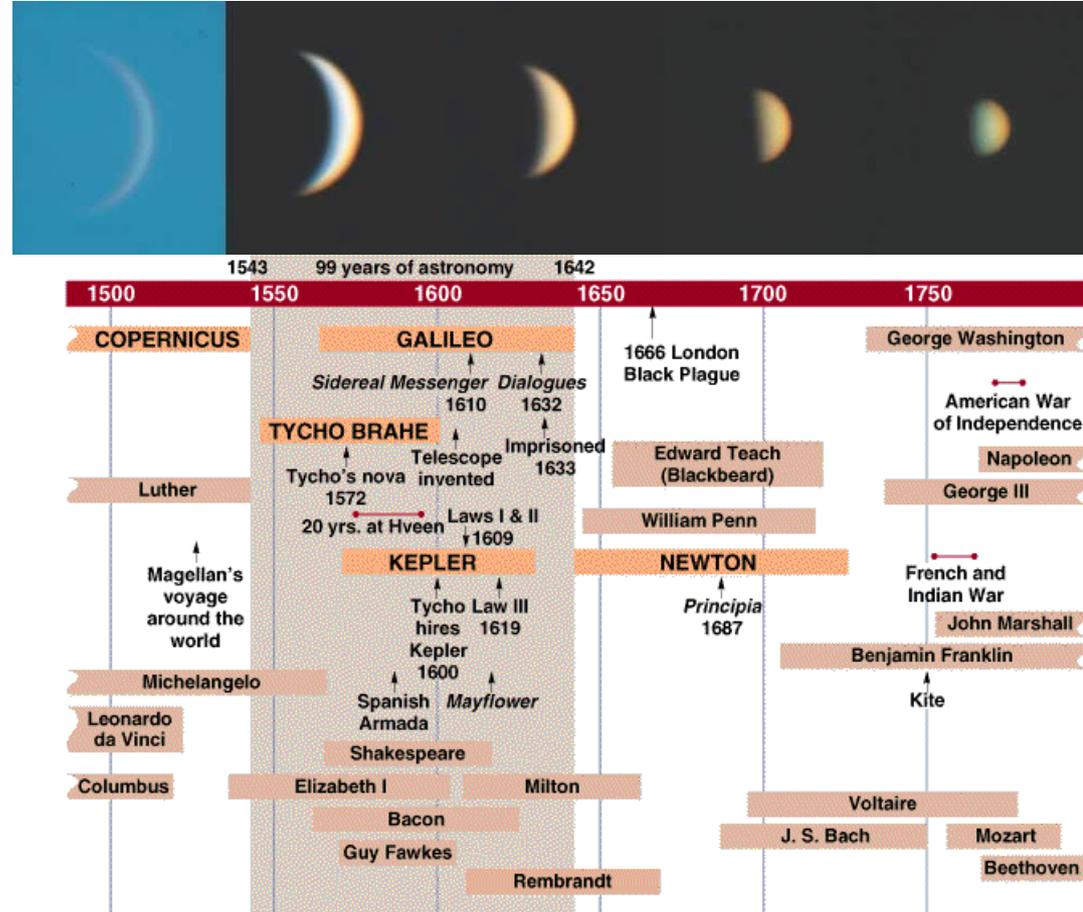
Galileu Galilei

- uso do telescópio
- fases de Vênus
- crateras na Lua
- luas de Júpiter

Isaac Newton

- 3 leis da mecânica
- gravitação

(marés, precessão dos equinócios, ...)



Um pouco de estória

Renascença europeia:

Johannes Kepler

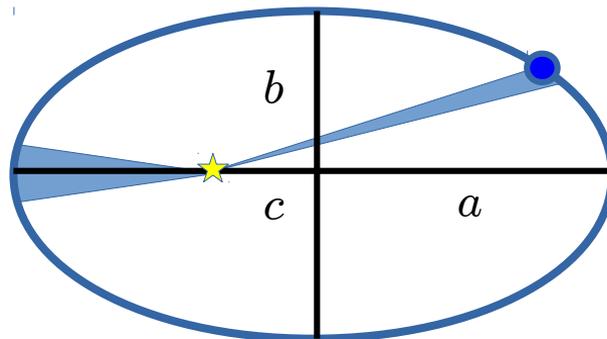
- Lei das órbitas $a^2 = b^2 + c^2, \quad e = \frac{c}{a}$

- Lei das áreas $\frac{dA}{dt} = \text{const}$

- Lei do períodos $\frac{T^2}{a^3} = \text{const}$

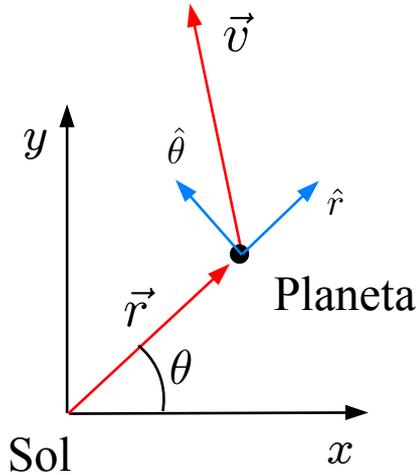
Isaac Newton:

$$\vec{F} = m\vec{r} = -\frac{GMm}{r^2}\hat{r}$$



Planeta	Massa (M_{\oplus})	a (UA)	e
Mercúrio	0.055	0.39	0.206
Vênus	0.815	0.72	0.007
Terra	1	1	0.017
Marte	0.107	1.52	0.093
Júpiter	318	5.20	0.049
Saturno	95.2	9.58	0.057
Urano	14.5	19.2	0.046
Netuno	17.1	30.1	0.009
Plutão	0.002	39.5	0.249

Gravitação: elipses, parábolas e hipérbolas



Gravitação universal: $\vec{F} = m\vec{r} = -\frac{GMm}{r^2}\hat{r}$

Conservação do momento angular (**força central**):

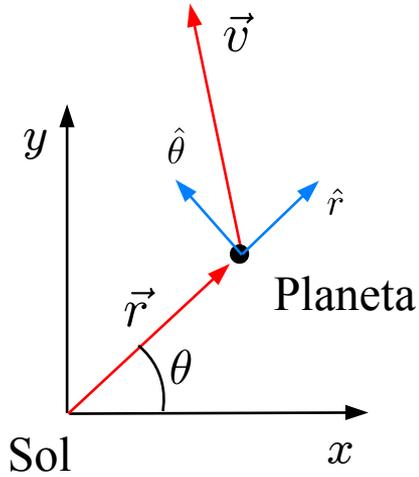
$$\text{torque} = \vec{N} = \vec{r} \times \vec{F} = \vec{0} = \frac{d\vec{L}}{dt}, \quad \Rightarrow \quad \vec{L} = \text{const}$$

Conservação da **direção** do momento angular \Rightarrow **trajetória planar**

Conservação da **magnitude** do momento angular \Rightarrow **Lei das áreas**

$$dA = \frac{1}{2}|\vec{r} \times d\vec{r}| = \frac{1}{2} \frac{|\vec{r} \times \vec{p}|}{m} dt, \quad \Rightarrow \quad \frac{dA}{dt} = \frac{|\vec{L}|}{2m} = \text{const}$$

Gravitação: elipses, parábolas e hipérbolas



Gravitação universal: $\vec{F} = m\vec{r} = -\frac{GMm}{r^2}\hat{r} \equiv -\frac{k}{r^2}\hat{r}$

Como obter a equação da trajetória?

- Uma alternativa é resolver a equação do movimento
- Outra alternativa é usar o **vetor de Laplace-Runge-Lenz**

$$\vec{Q} \equiv mk\hat{r} - \vec{p} \times \vec{L}$$

Note que $\vec{r} \cdot \vec{Q} = mk\vec{r} \cdot \hat{r} - \vec{r} \cdot (\vec{p} \times \vec{L})$

$$rQ \cos \theta = mkr - (\vec{r} \times \vec{p}) \cdot \vec{L} = mkr - L^2$$

Latus rectum: $\ell = \frac{L^2}{mk} = \frac{L^2}{GMm^2}$

Excentricidade: $e = \frac{Q}{mk} = \frac{Q}{GMm^2}$

$$\Rightarrow \boxed{r = \frac{\ell}{1 - e \cos \theta}}$$

Equação de uma **cônica** em coordenadas polares

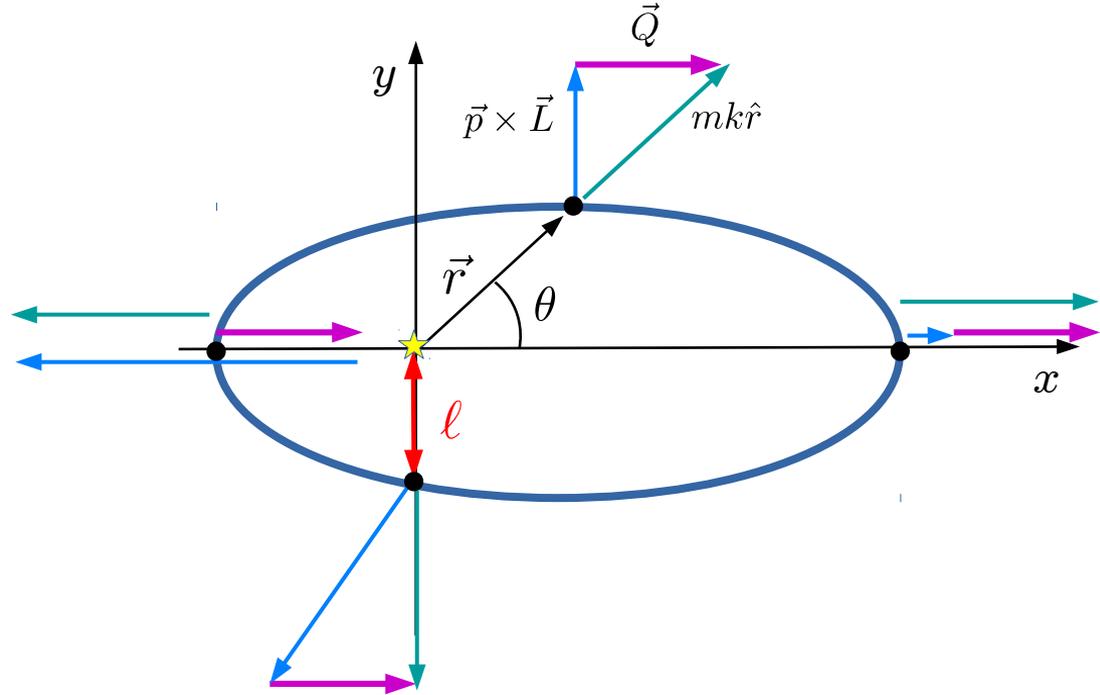
↓
desde que $\vec{Q} = \text{const}$

Gravitação: elipses, parábolas e hipérbolas

O vetor de Laplace-Runge-Lenz é uma quantidade **conservada**

Prova:

$$\begin{aligned}\frac{d\vec{Q}}{dt} &= \frac{d}{dt} (mk\hat{r}) - \frac{d}{dt} (\vec{p} \times \vec{L}) \\ &= mk (\dot{\theta}\hat{\theta}) - \vec{F} \times \vec{L} \\ &= mk\dot{\theta}\hat{\theta} - |\vec{F}| |\vec{L}| \hat{\theta} \\ &= \left[mk\dot{\theta} - \left(\frac{k}{r^2} \right) |\vec{r} \times m (\dot{r}\hat{r} + r\dot{\theta}\hat{\theta})| \right] \hat{\theta} \\ &= \left[mk\dot{\theta} - \left(\frac{k}{r^2} \right) (mr^2\dot{\theta}) \right] \hat{\theta} = \vec{0}\end{aligned}$$



Gravitação: elipses, parábolas e hipérbolas

O vetor de Laplace-Runge-Lenz, o vetor momento angular e a energia total

$$\text{trajetória planar} \Rightarrow \vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} = m\vec{r} \times (\dot{r}\hat{r} + r\dot{\theta}\hat{\theta}) = mr^2\dot{\theta}\hat{z}$$

$$\text{Energia total: } E = \frac{m}{2}v^2 - \frac{k}{r} = \frac{m}{2}(\dot{r}^2 + r^2\dot{\theta}^2) - \frac{k}{r}$$

$$\Rightarrow \vec{Q} \cdot \vec{Q} = (mk)^2 - 2mk\hat{r} \cdot (\vec{p} \times \vec{L}) + (\vec{p} \times \vec{L})^2$$

$$Q^2 = (mk)^2 - 2m^3k\hat{r} \cdot \left((\dot{r}\hat{r} + r\dot{\theta}\hat{\theta}) \times r^2\dot{\theta}\hat{z} \right) + m^4r^4\dot{\theta}^2 (\dot{r}^2 + r^2\dot{\theta}^2)$$

$$= (mk)^2 - 2m^3kr^3\dot{\theta}^2 + m^4r^4\dot{\theta}^2 (\dot{r}^2 + r^2\dot{\theta}^2)$$

$$= (mk)^2 + 2m \left(m^2r^4\dot{\theta}^2 \right) \left[-\frac{k}{r} + \frac{1}{2}m (\dot{r}^2 + r^2\dot{\theta}^2) \right]$$

$$\Rightarrow \boxed{Q^2 = (mk)^2 + 2mL^2E}$$

Gravitação: elipses, parábolas e hipérbolas

Cônica em função da energia total e do momento angular

$$\text{Excentricidade: } e^2 = \left(\frac{Q}{mk}\right)^2, \quad \Rightarrow \quad e = \sqrt{1 + 2mE \left(\frac{L}{mk}\right)^2} = \sqrt{1 + \frac{2E}{m} \left(\frac{L}{GMm}\right)^2}$$

	$E < 0,$	\Rightarrow	$e < 1$	(elipse)
\Rightarrow Se	$E = 0,$	\Rightarrow	$e = 1$	(parábola)
	$E > 0,$	\Rightarrow	$e > 1$	(hipérbole)

L e E são determinados
pelas condições iniciais

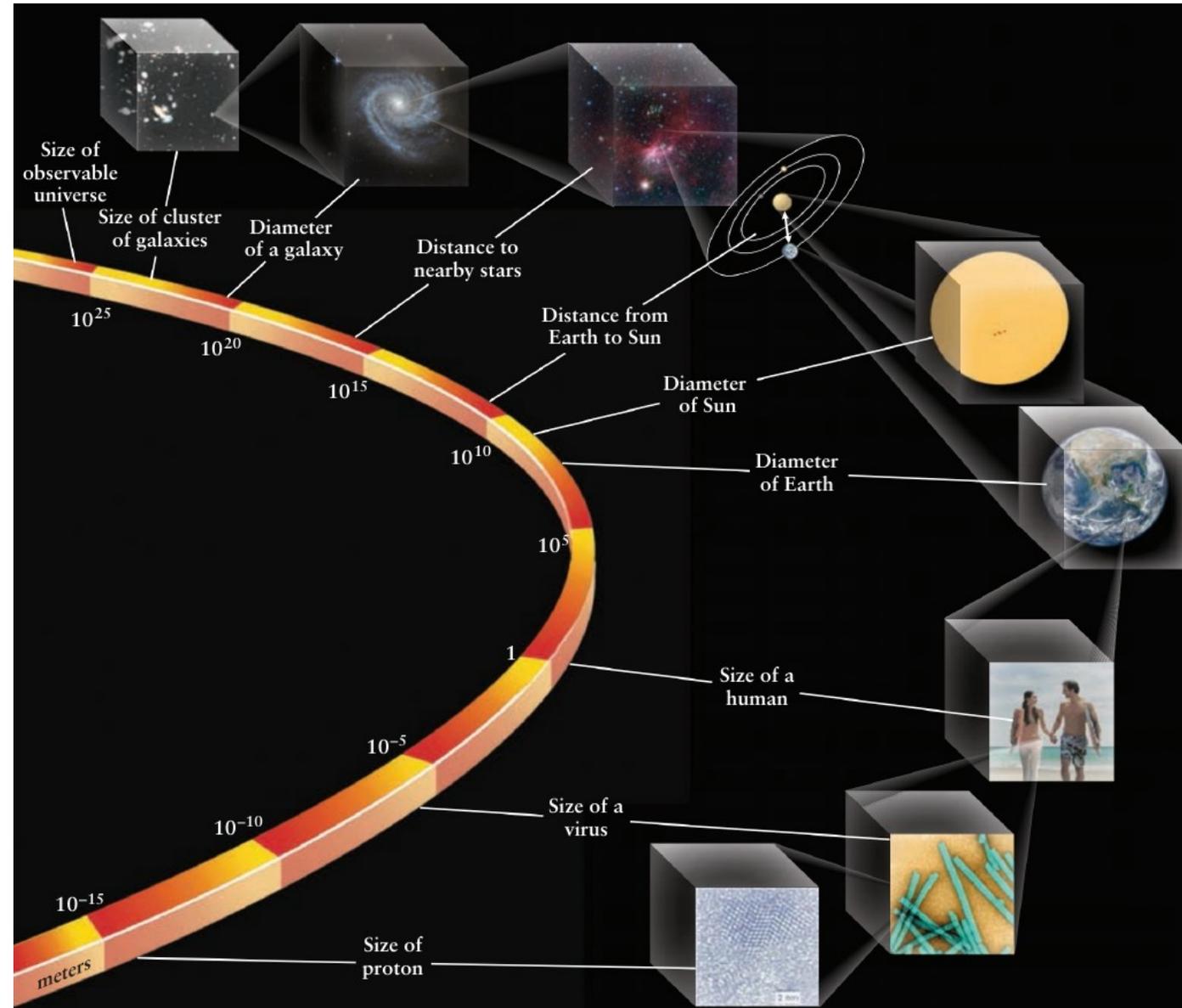
No caso de uma elipse:

$$\ell = a(1 - e^2), \quad \Rightarrow \quad a = \frac{k}{2|E|} = \frac{GMm}{2|E|}$$

O vazio do universo

<http://sciencenetlinks.com/tools/scale-universe-2/>

<https://www.youtube.com/watch?v=0fKBhvDjuy0>

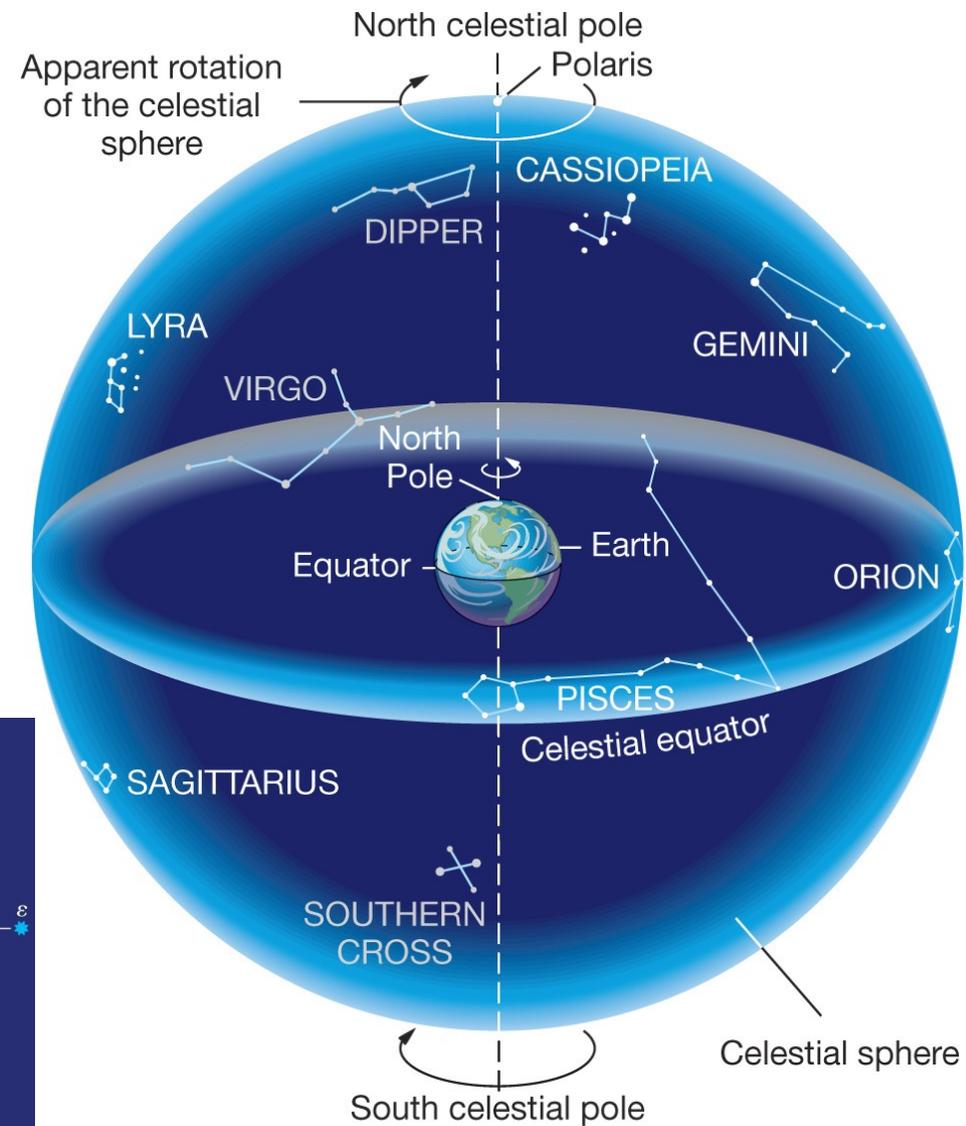
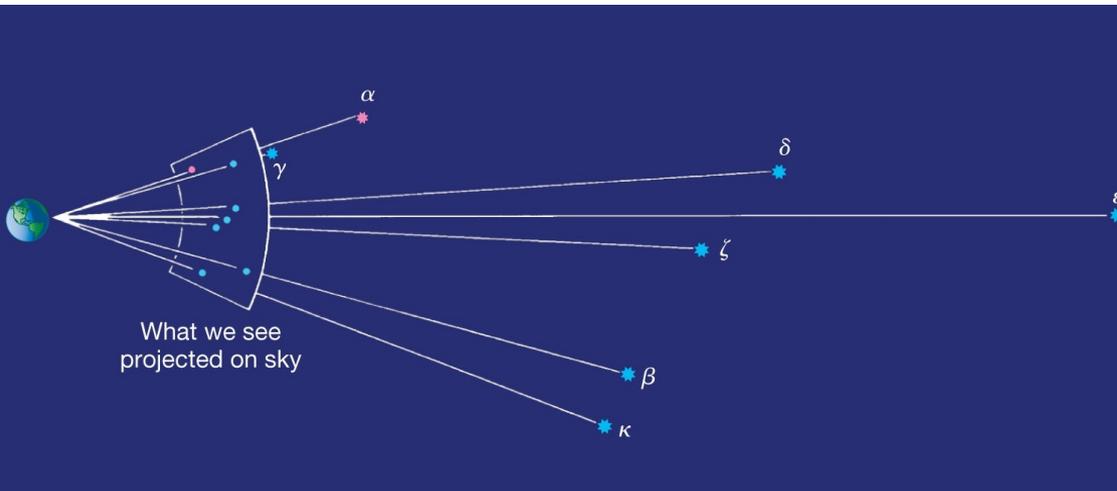


A esfera celeste

Mapa projetivo dos astros numa **esfera** (de raio **arbitrariamente grande**) concêntrica com a Terra.

(Este mapa nos fornece a **posição angular**, não radial das estrelas.)

2 ângulos são necessários



Coordenadas geográficas e esféricas

Longitude geográfica λ

Referência: meridiano de Greenwich

$$-180^\circ < \lambda < 180^\circ$$

$$(-12\text{h} < \lambda < 12\text{h}) \Leftrightarrow 24\text{h} \leftrightarrow 360^\circ$$

Latitude geográfica ϕ

Referência: Equador

$$-90^\circ < \phi < 90^\circ$$

Ângulo azimutal φ

$$0 < \varphi < 2\pi$$

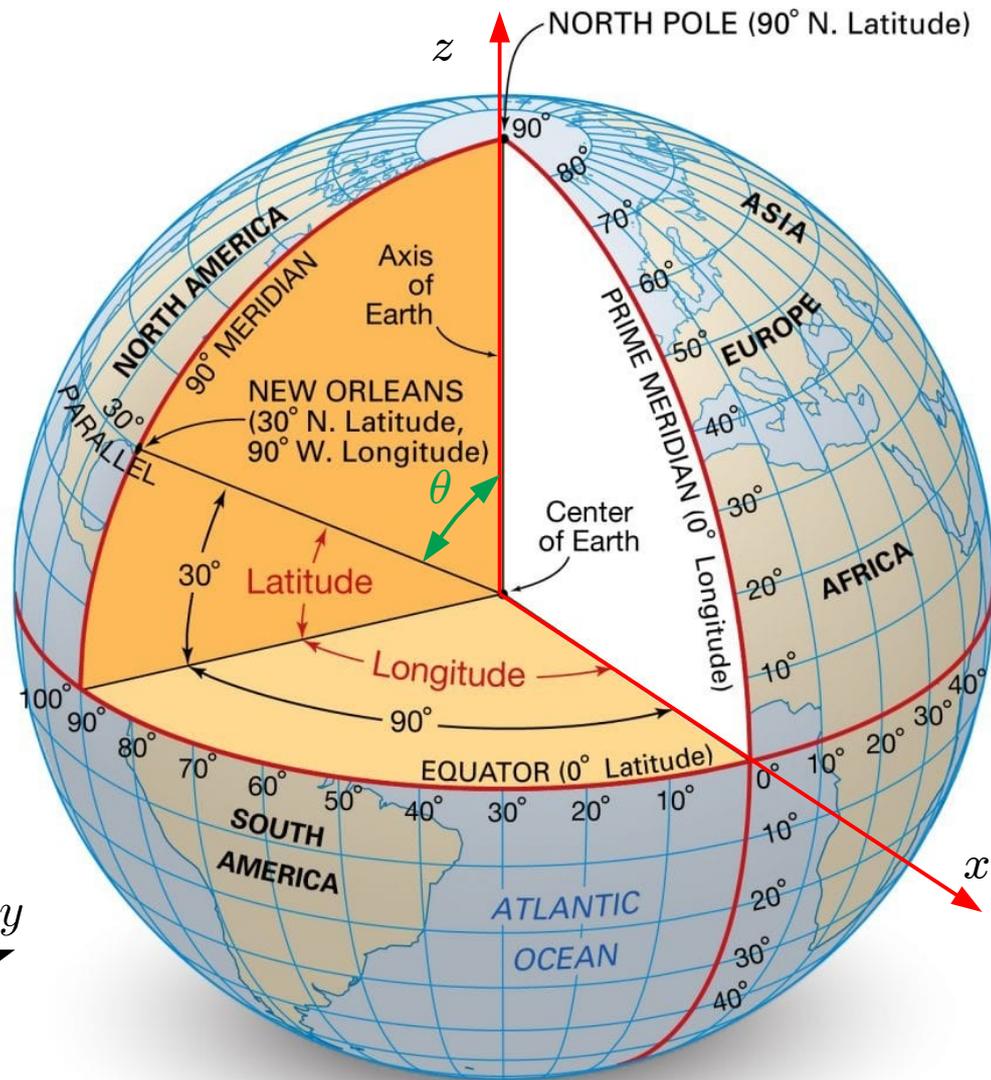
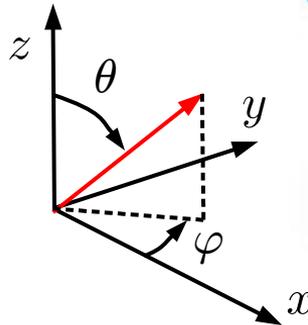
Referência: eixo x

Ângulo (ou distância) polar θ

Referência: eixo z $0 < \theta < \pi$

Equivalência:

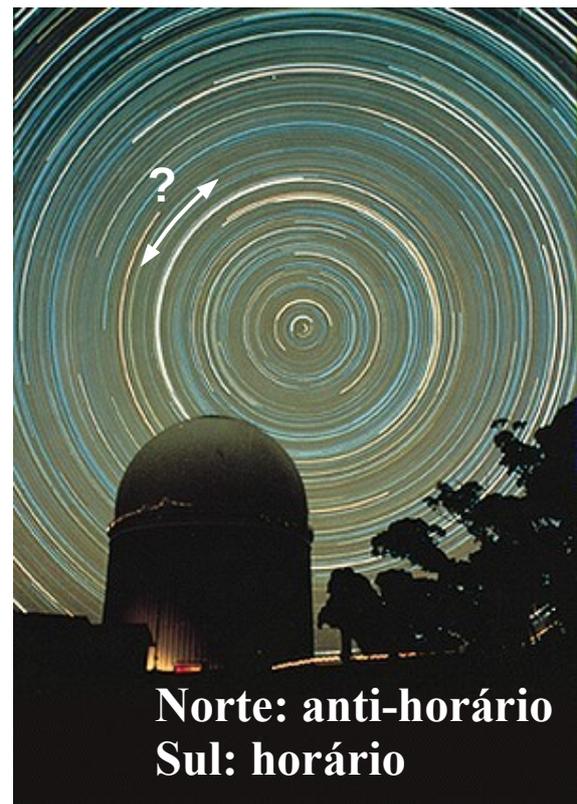
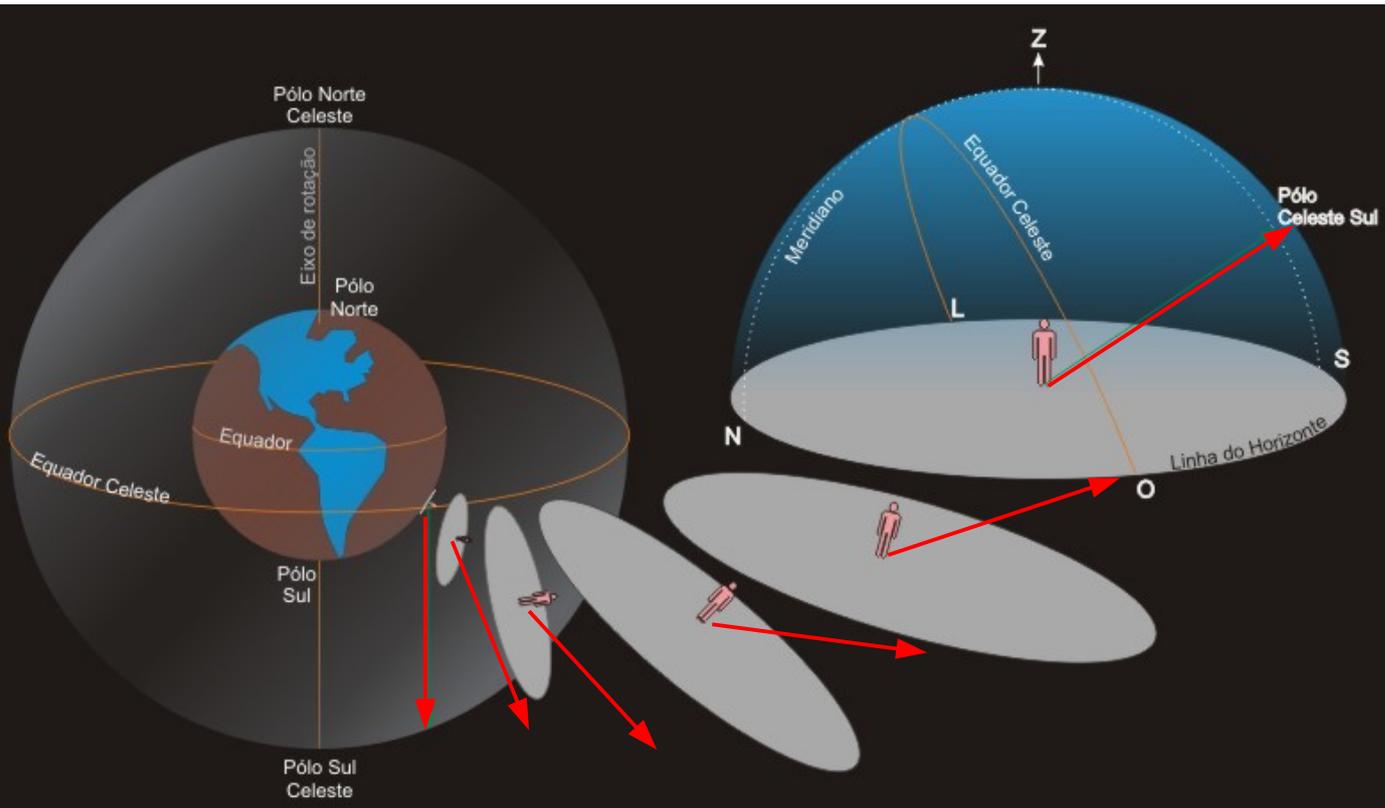
$$\lambda = \varphi \text{ e } \theta = \pi - \phi$$



A esfera celeste pelo observador terrestre

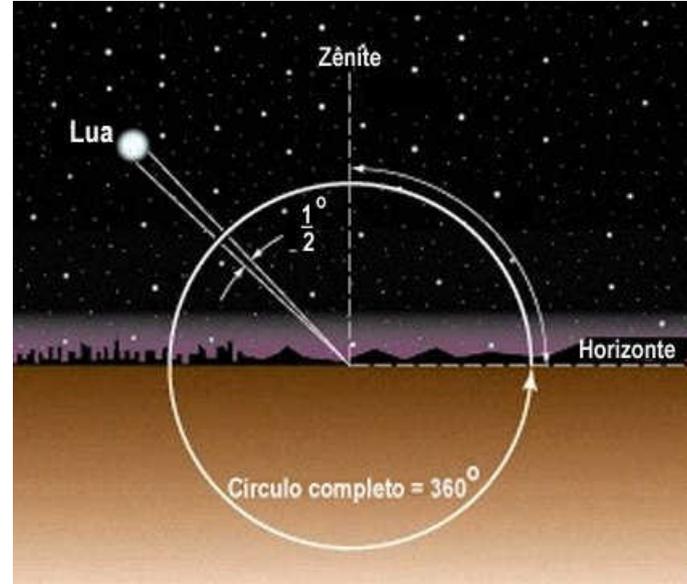
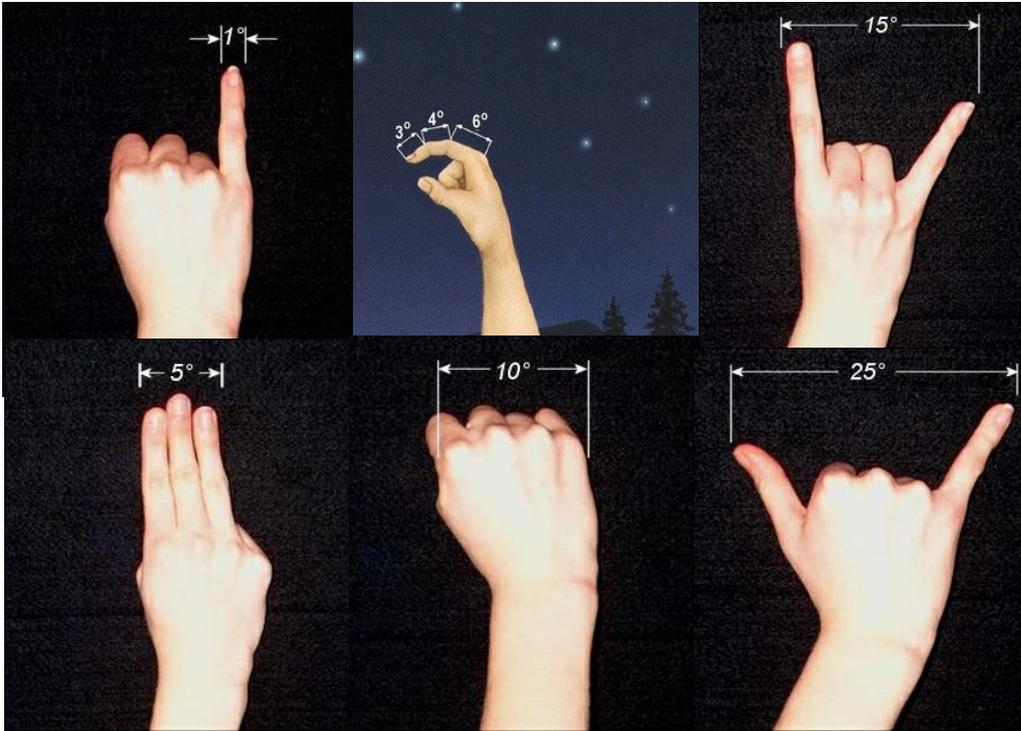
Rotação da Terra (de Oeste para Leste) → movimento aparente dos astros ([movimento diurno dos astros](#)).

Se o astro está “fixo” na esfera celeste → trajetória é um arco de circunferência centrado na projeção de um dos pólos celestes. O sentido da trajetória é de Leste para Oeste.



Norte: anti-horário
Sul: horário

Ângulos e intervalos de tempo



Ângulos: $\pi = 180^\circ$
 $1^\circ = 60' = 3600''$

Tempo: $1 \text{ h} = 60 \text{ min} = 3600 \text{ s}$

Por que a Terra gira em 24 horas, $\Rightarrow 24 \text{ h} \leftrightarrow 360^\circ \Rightarrow$

$1 \text{ h} \leftrightarrow 15^\circ$
 $1 \text{ min} \leftrightarrow 15'$
 $1 \text{ s} \leftrightarrow 15''$

Algumas definições

Zênite (local):

Ponto de interseção entre a normal ao Horizonte e a esfera celeste.

Equador celeste: projeção do Equador terrestre na esfera celeste

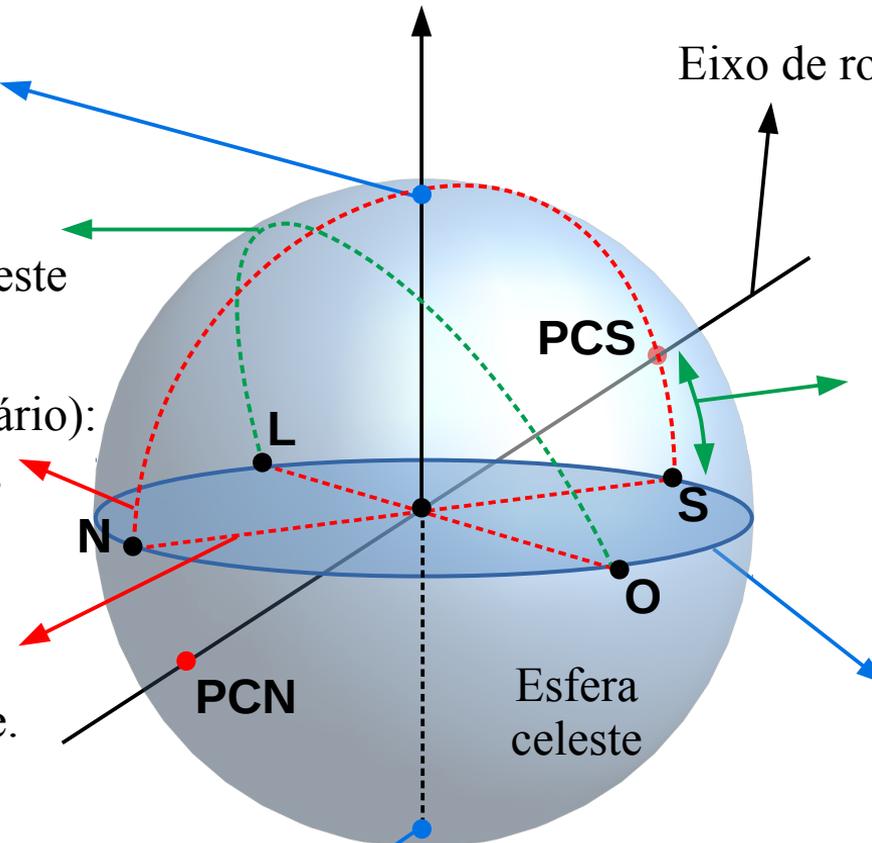
Meridiano local (ou círculo horário): **meridiano** que contém o Zênite, o ponto N e o Polo Celeste

Pontos cardeais (locais) N e S: Pontos de interseção entre o Meridiano local e o Horizonte.

Pontos cardeais (locais) L e O: Interseção entre o Equador celeste e o Horizonte

Nadir (local): **Ponto** diametralmente oposto ao Zênite.

Eixo de rotação da Terra

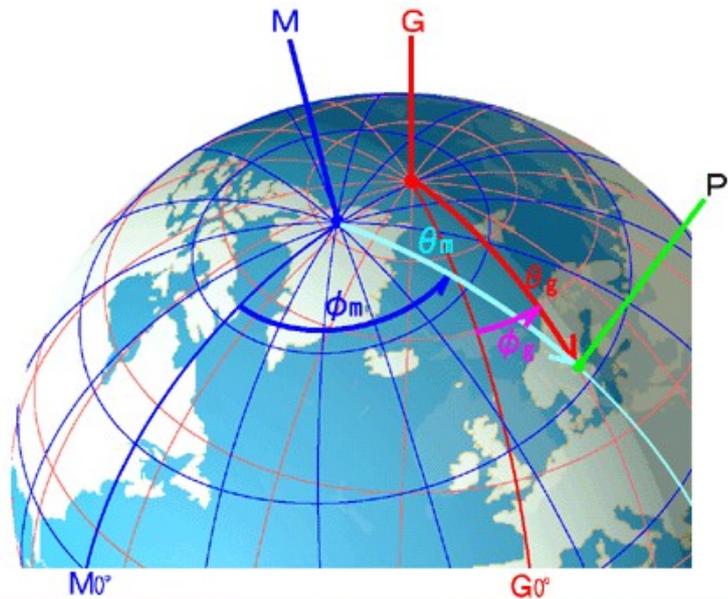


Latitude (local):

Ângulo entre o eixo de rotação da Terra e o Horizonte = ângulo entre o Equador e o eixo vertical ao Horizonte

Horizonte (local): Plano tangente à Terra onde se encontra o observador. Intercepta a esfera celeste (linha do horizonte) em um **círculo maior**.

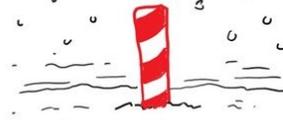
Pólos geográficos e magnéticos



G: polo geográfico M: polo magnético P: um ponto
 θ_g : colatitude geográfica ϕ_g : latitude geográfica
 θ_m : colatitude magnética ϕ_m : latitude magnética

Em 2018, o polo N geomag. está localizado em latitude 80,5 N e longitude 73,0 O, enquanto o polo S geomag. está localizado em latitude 80,5 S e longitude 107,0 L.

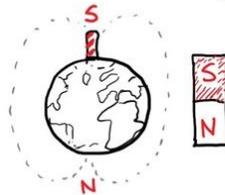
8 FACTS ABOUT THE MAGNETIC NORTH POLE



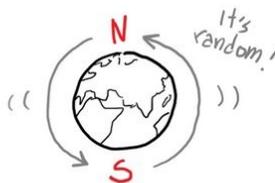
It TILTS 11 degrees OFF the Spin axis of the EARTH.



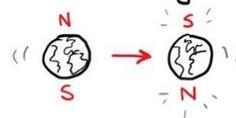
The **NORTH** POLE is actually the **MAGNETIC SOUTH**



The **NORTH** and **SOUTH** poles **REVERSE** every 0.1 - 50 Million Years



The **LAST** time the poles flipped was **780,000** years ago.



The direction is determined by the **MOTION** of the Earth's molten **CORE**



The **NORTH** POLE is slowly **DRIFTING** towards **SIBERIA**

JORGE CHAM © 2019



And it's getting weaker. It was twice as strong in **ROMAN TIMES** than it is today.



Not all planets have a magnetic field. Ours may one day **DISAPPEAR**.



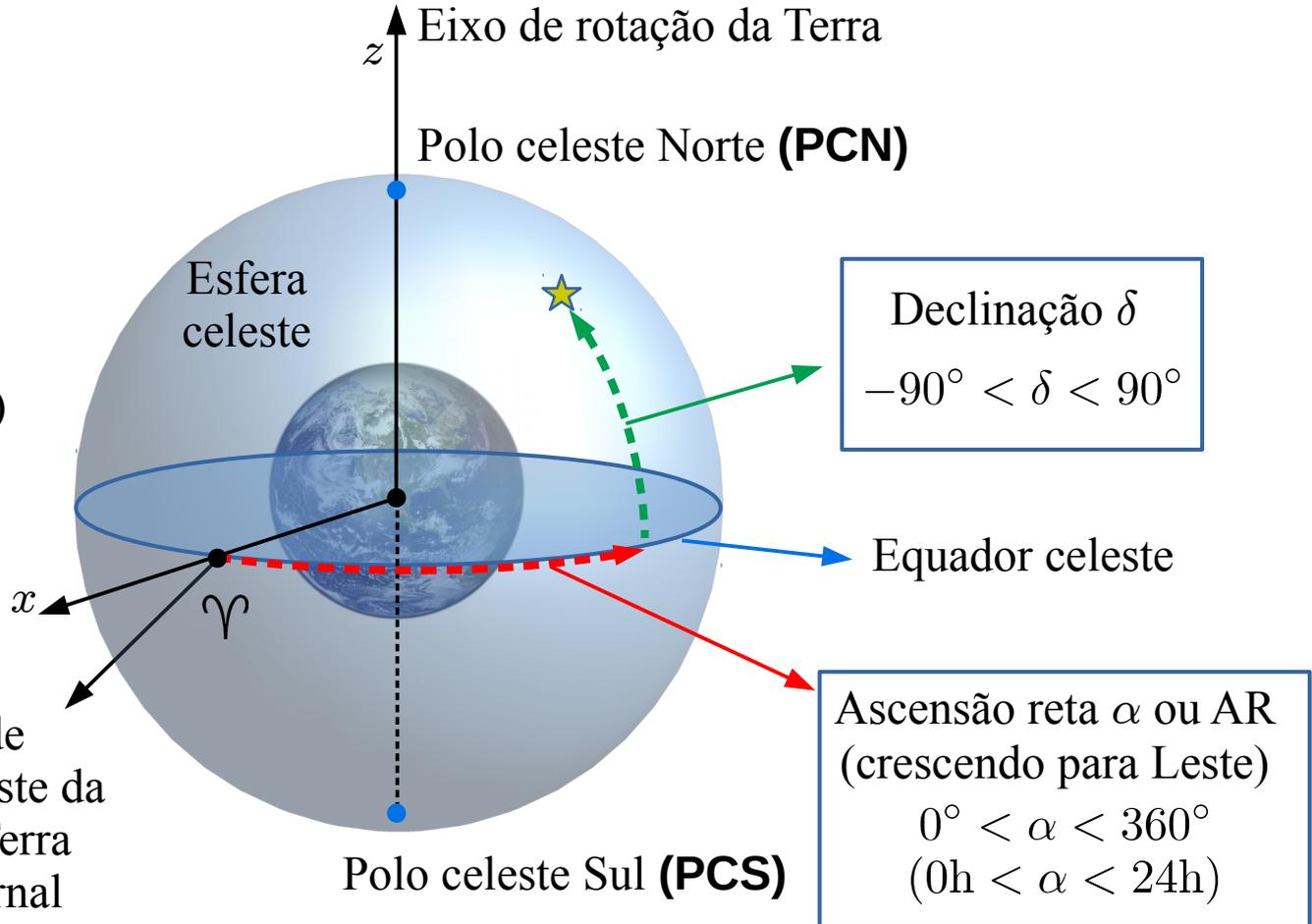
O sistema de coordenadas equatorial celeste

<https://www.iers.org>

Referencial universal
(eixos fixos nas estrelas distantes)

Plano xy : Plano equatorial celeste
Eixo x : aponta para o ponto vernal
(ou de Áries)
Eixo z : aponta para o **PCN**

Ponto vernal (ou primeiro ponto de Áries) Υ : Projeção na esfera celeste da direção que aponta do centro da Terra até o Sol quando no equinócio vernal (geralmente em 22 de março)



O sistema de coordenadas horizontal

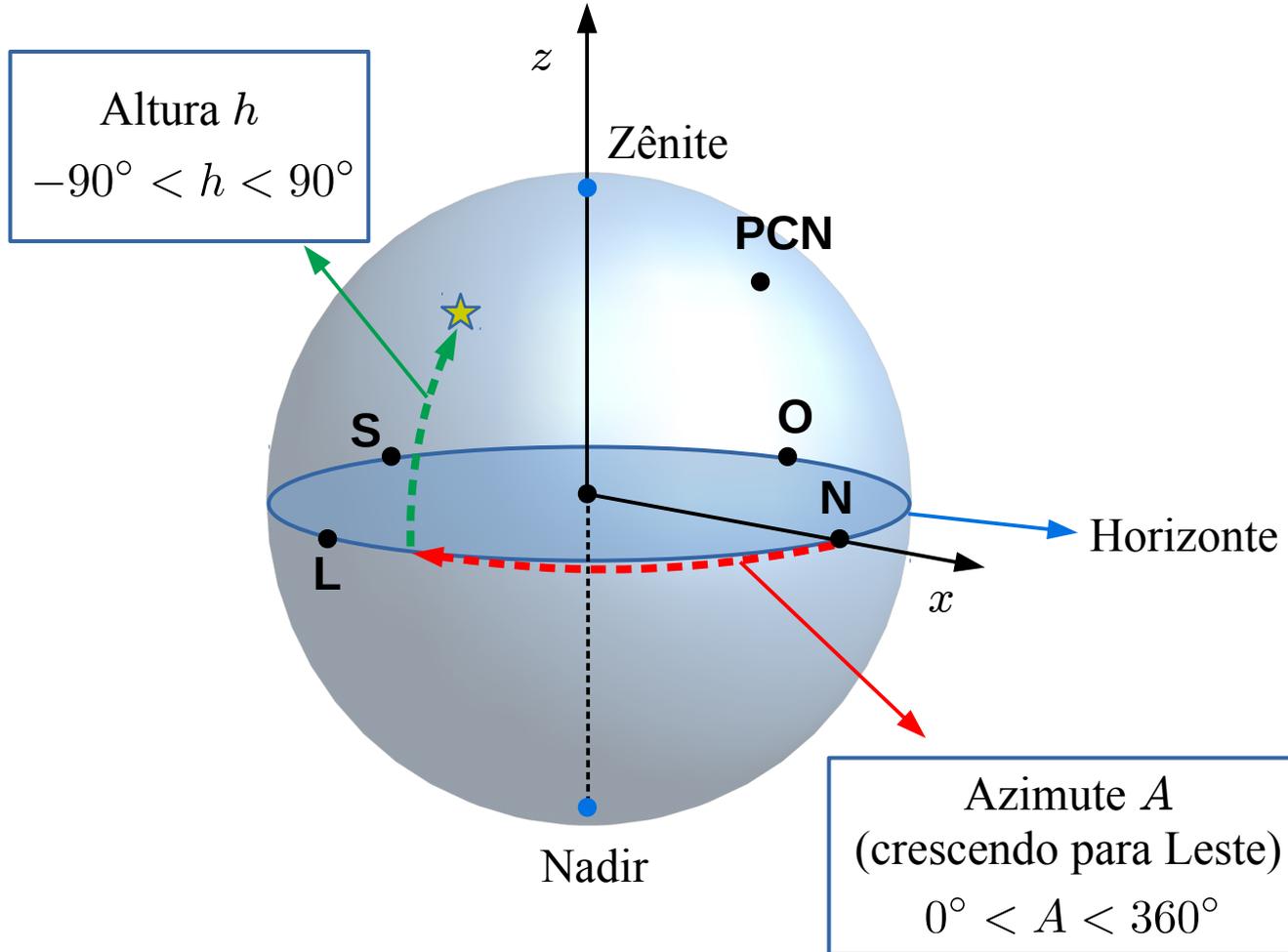
Referencial local

(eixos fixos na Terra → em relação às estrelas distantes, os eixos dependem do local e do instante da observação)

Plano xy : Horizonte

Eixo x : aponta para o Norte

Eixo z : aponta para o Zênite



O sistema de coordenadas equatorial horário

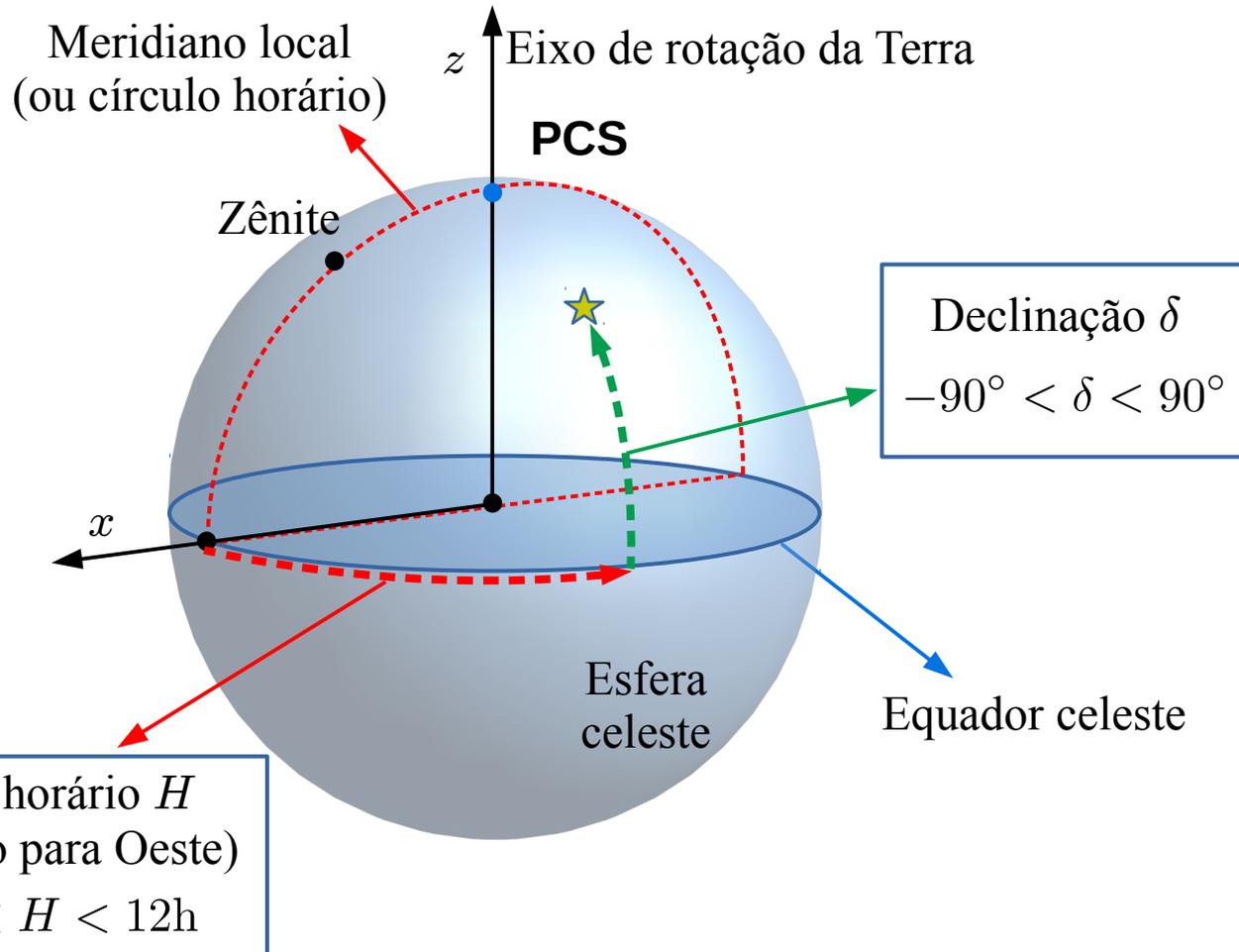
Referencial híbrido

(eixo z fixo nas estrelas,
eixos x e y fixos na Terra →
dependem do local e do instante da
observação)

Plano xy : Horizonte

Eixo x : aponta para a interseção do
Equador com o Meridiano local
(PCS-Z-PCN)

Eixo z : aponta para o **PCN** ou **PCS**

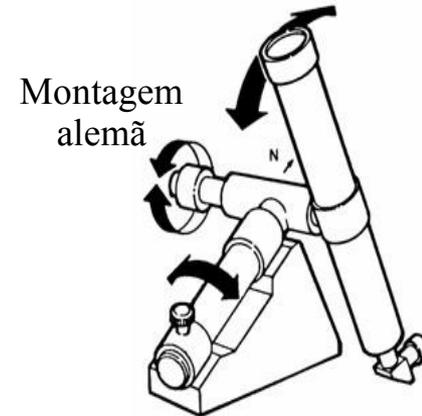
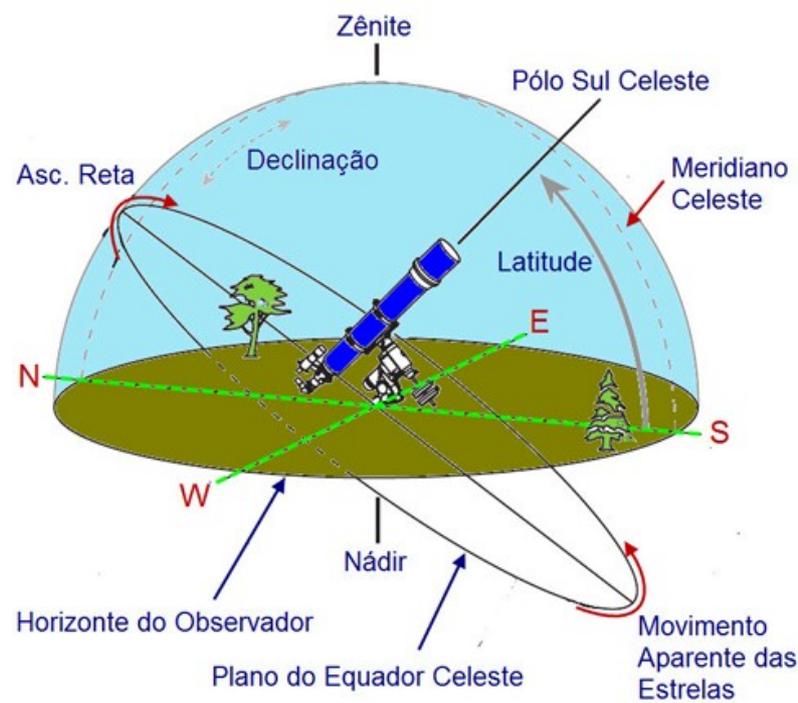


Montagem equatorial



Compatível com os sistemas de coordenadas equatorial celeste e horário

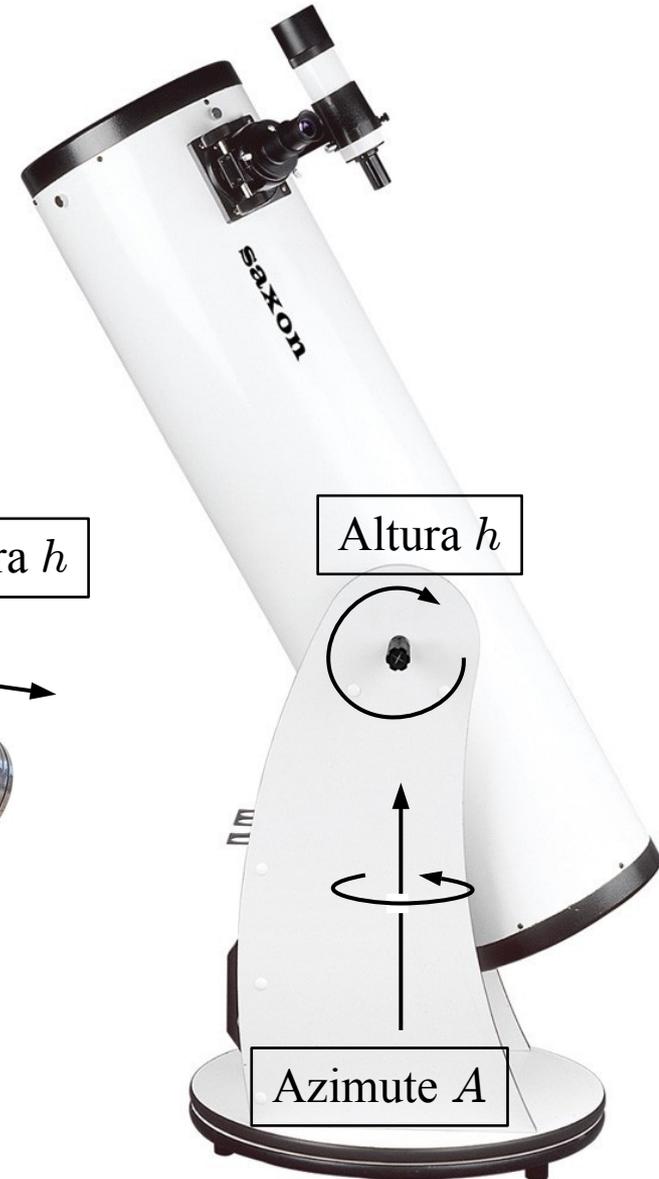
Conveniente para astrofotografia



Montagem azimutal

Compatível com o sistema de coordenadas horizontal

Simple, portátil e barata



Exercício

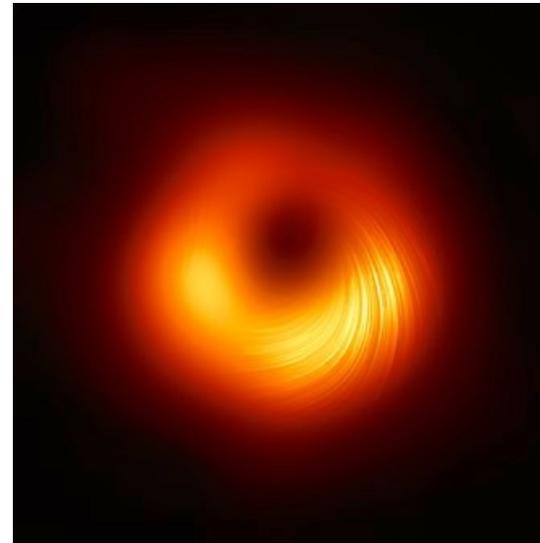
Qual a abertura angular do “furo” na figura ao lado?

Dados (aproximados):

M87 se encontra a 53,5 Mal de distância

O diâmetro do furo é de $100 T_m = 0,0105$ al.

- 1) 25 microsegundos de arco
- 2) 127 microsegundos de arco
- 3) 127 milisegundos de arco
- 4) 40 microsegundos de arco
- 5) 196 milisegundos de arco
- 6) 196 micrograus



Exercício

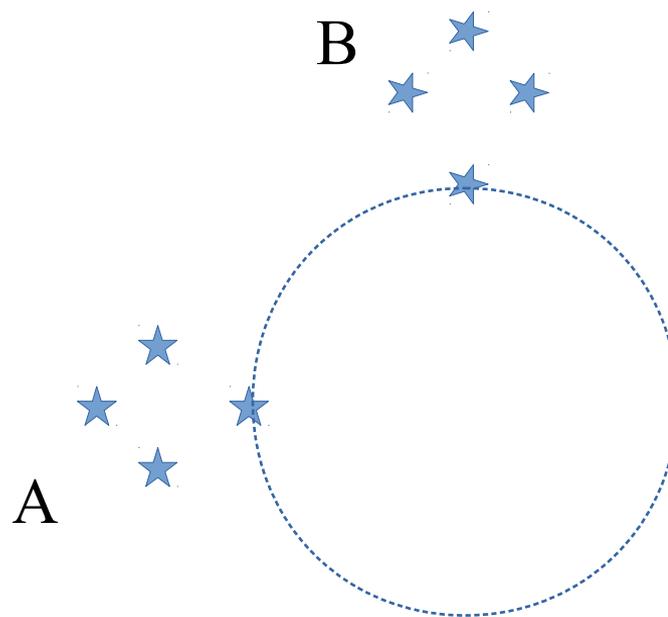
Assinale a resposta correta

- 1) A calota circumpolar é de $23,5^\circ$
- 2) A calota circumpolar ártica é de $23,5^\circ$ iniciando na latitude $66,5^\circ$
- 3) As estrelas circumpolares em São Carlos, SP tem declinações $< -68^\circ$
- 4) A calota circumpolar em São Carlos, SP é de 68°
- 5) A calota circumpolar em Macapá, AP é de 180°
- 6) Nenhuma das anteriores

Exercício

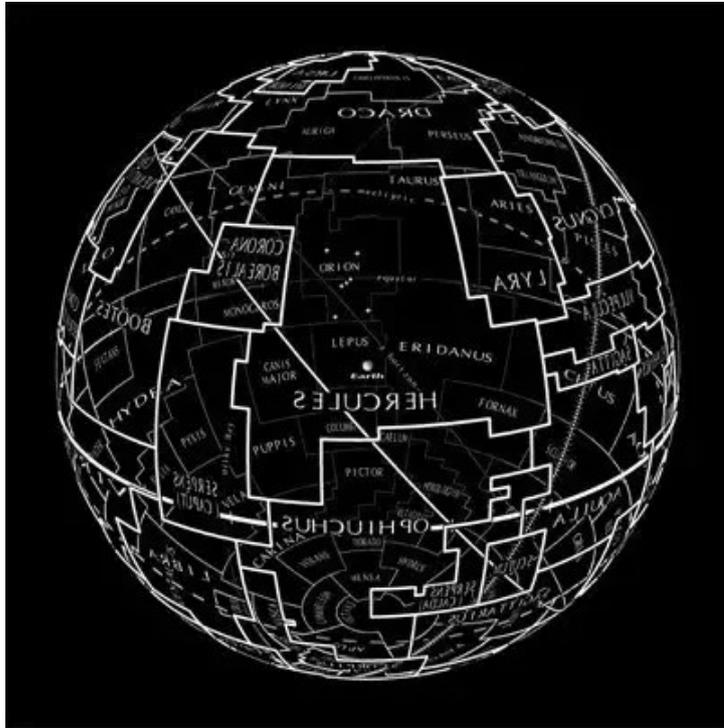
Em um determinado instante, a constelação no desenho se encontra na posição A. Após quantas horas ela se encontrará na posição B?

- 1) 3h, se no hemisfério Sul
- 2) 6h, somente se no hemisfério Norte
- 3) 6h, independente do hemisfério
- 4) 3h, se no hemisfério Norte
- 5) 18h, se no hemisfério Norte
- 6) 18h, se no hemisfério Sul

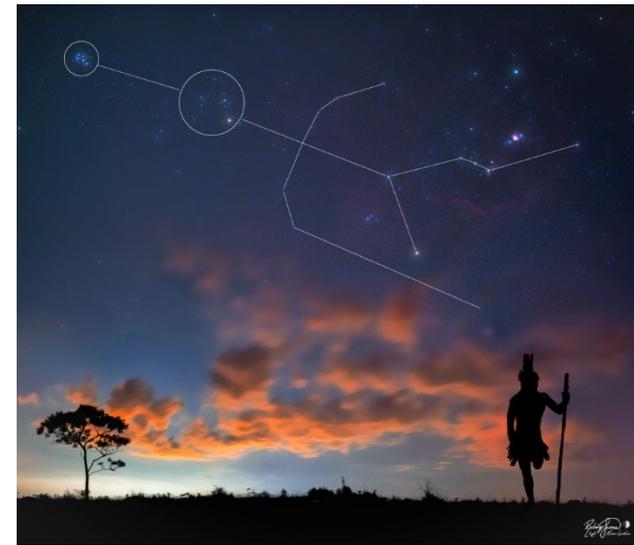


Constelações

Definição: Região na esfera celeste onde se reconhece um agrupamento **convencional** (e/ou conveniente) de estrelas visíveis. Atualmente, há 88 constelações de acordo com a “International Astronomy Union” (vide lista em <http://www.dibonsmith.com/constel.htm>).



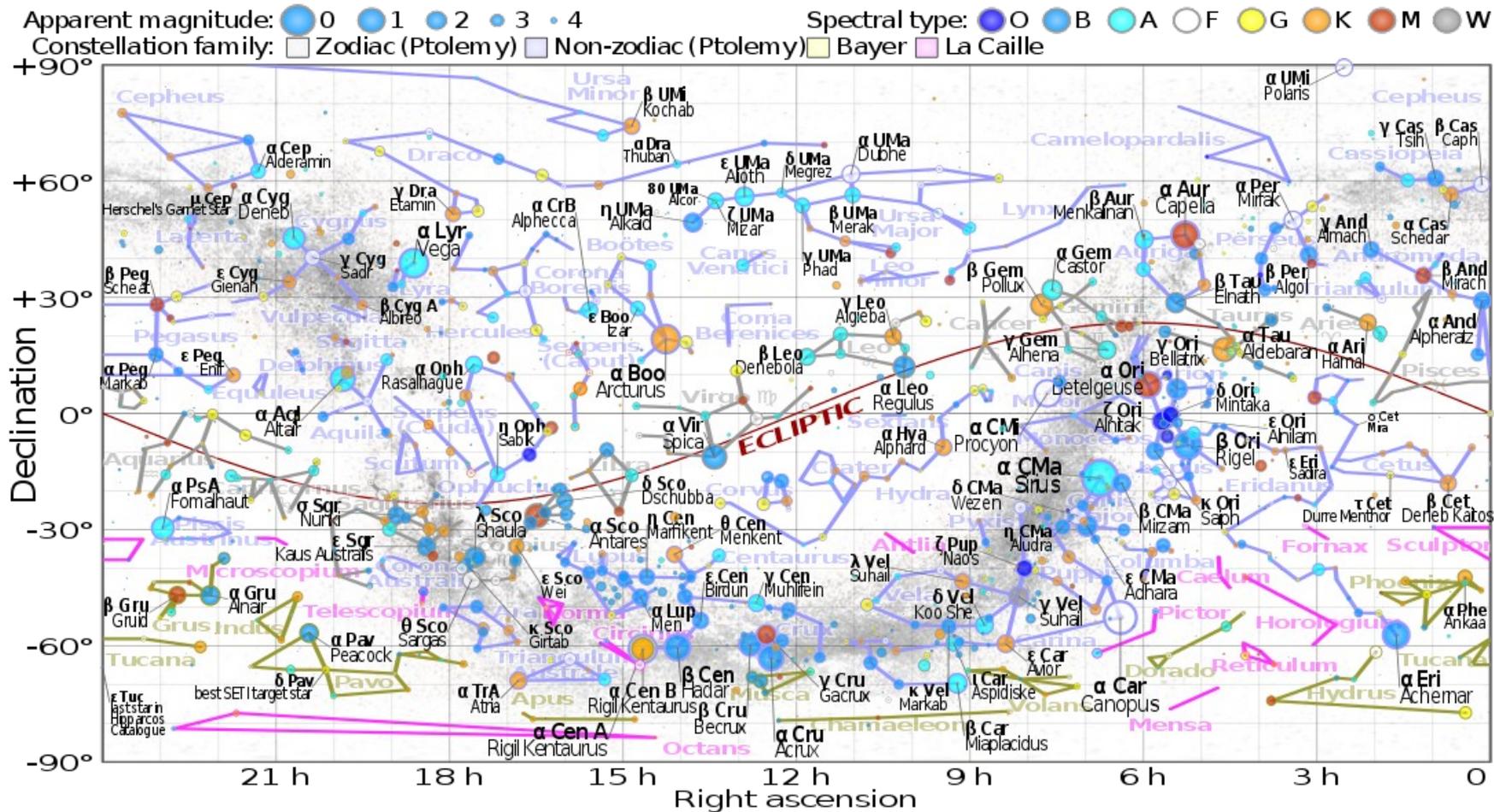
Origem na antiguidade em **mitologia**.



Constelação Tupi

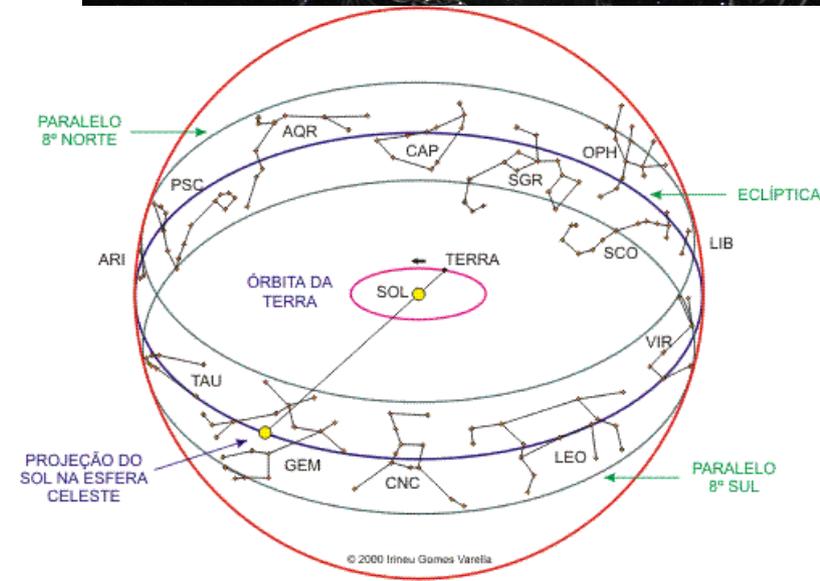
Constelações Incas em Mayu (o rio celestial)

Ema – constelação aborígene australiana



Andrômeda, Antlia (bomba de ar), Apus (ave do paraíso), Aquário, Aquila (águia), Ara (altar), Áries, Auriga (cocheiro), Boötes (pastor), Caelum (buril de escultor), Camelopardalis (girafa), Câncer, Canes Venatici (cães de caça), Canis Major, Canis Minor, Capricórnio, Carina (quilha do navio), Cassiopéia (mit.), Centauro, Cefeu, Cetus (baleia), Camaleão, Circinus (compasso), Columba (pomba), Coma Berenices (cabeleira), Corona Austrina (coroa austral), Corona Borealis (coroa boreal), Corvo, Crater (taça), Cruzeiro do Sul, Cisne, Delfim (golfinho), Dourado, Dragão, Cabeça de Cavallo, Eridano, Forno, Gêmeos, Grou, Hércules, Relógio, Hydra, Hydrus, Índio, Lagarto, Leão, Leão Menor, Lebre, Libra, Lobo, Lince, Lira, Montanha da Mesa, Microscópio, Unicórnio, Mosca, Régua, Octante, Ofiúco, Órion, Pavão, Pégaso, Perseu, Fênix, Cavalete do Pintor, Peixes, Peixe Austral, Popa (do Navio), Bússola, Reticulo, Flecha, Sagitário, Escorpião, Escultor, Escudo, Serpente, Sextante, Touro, Telescópio, Triângulo, Triângulo Austral, Tucano, Ursa maior, Ursa Menor, Vela (do Navio), Virgem, Peixe Voador, Raposa

Constelações e signos do Zodíaco



Note que Ofiúco (em homenagem ao médico Asclépius) é uma constelação do Zodíaco, não um signo.

	Constelação	Signo Tradicional	Atualmente (2011)	Duração
♈	Áries	22/03 - 21/04	20/04 - 14/05	25 dias
♉	Touro	22/04 - 21/05	15/05 - 21/06	38 dias
♊	Gêmeos	22/05 - 21/06	22/06 - 21/07	30 dias
♋	Cancêr	22/06 - 21/07	22/07 - 11/08	21 dias
♌	Leão	22/07 - 21/08	12/08 - 17/09	37 dias
♍	Virgem	22/08 - 21/09	18/09 - 31/10	44 dias
♎	Libra	22/09 - 21/10	01/11 - 22/11	22 dias
♏	Escorpião	22/10 - 21/11	21/11 - 30/11	08 dias
♐	Ofiúco	n.a.	01/12 - 18/12	18 dias
♑	Sagitário	22/11 - 21/12	19/12 - 20/01	33 dias
♒	Capricórnio	22/12 - 21/01	21/01 - 16/02	28 dias
♓	Aquário	22/01 - 21/02	17/02 - 12/03	24 dias
♈	Peixes	22/02 - 21/03	13/03 - 19/04	38 dias

Conhecer as constelações (e o céu) pode ser útil

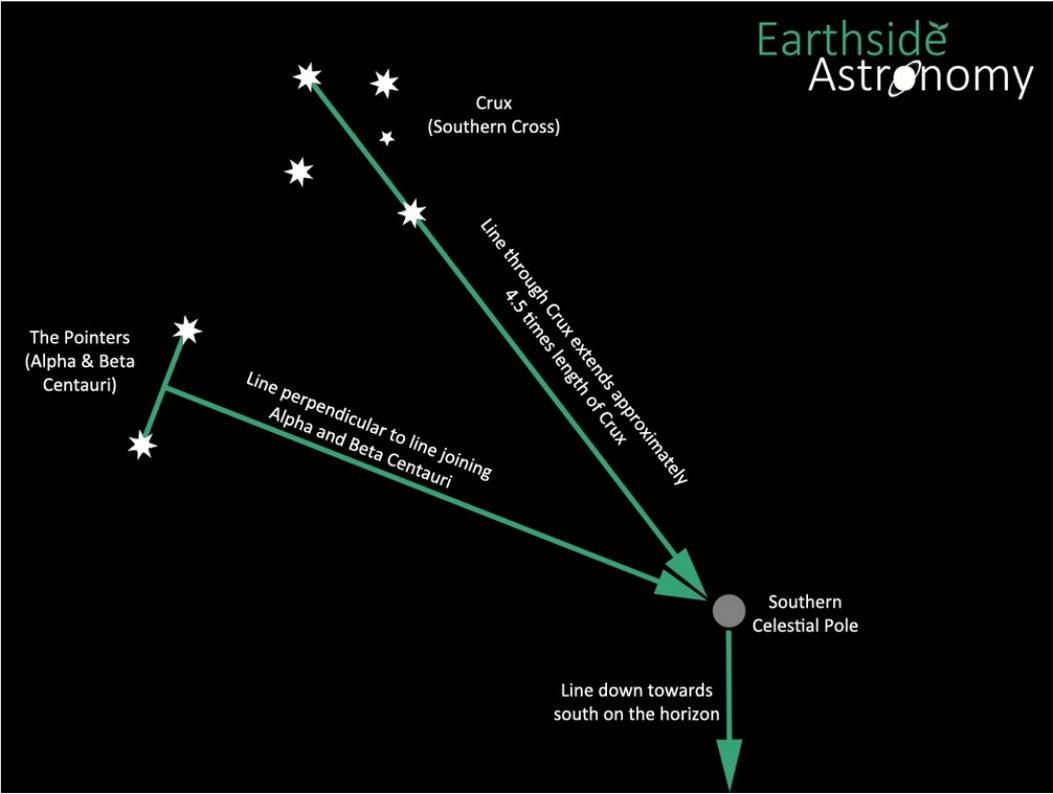
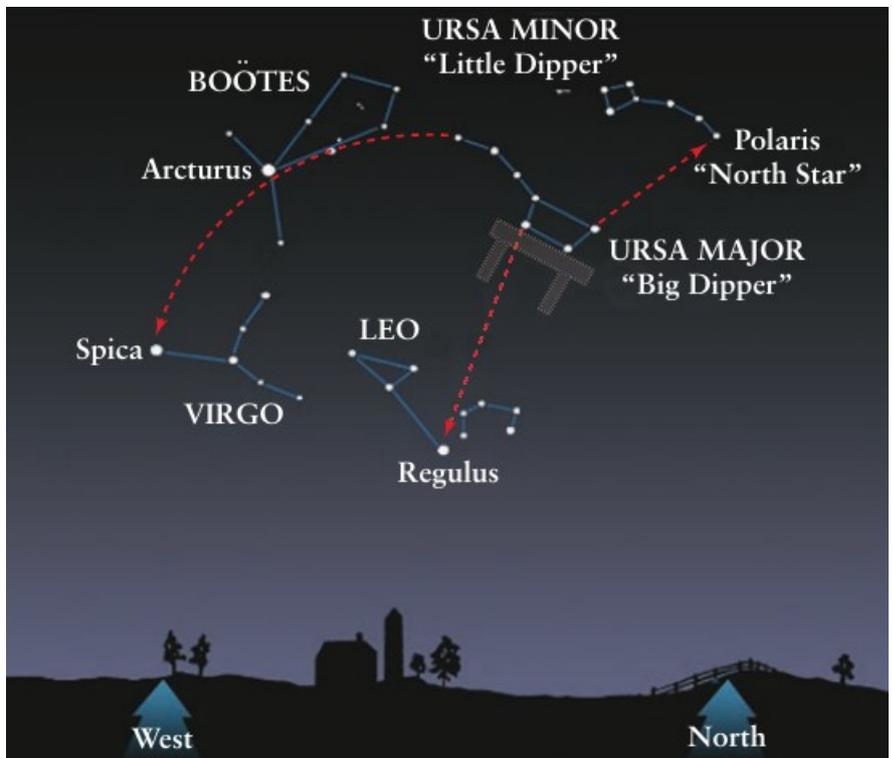
- Cultura popular/mitologia
- Localização
- Estações do ano

Asterismo: agrupamento conveniente de estrelas de uma ou mais constelações.

Ex.: Big dipper, teapot, ...



(Hi and Lois © 1992 King Features Syndicate)



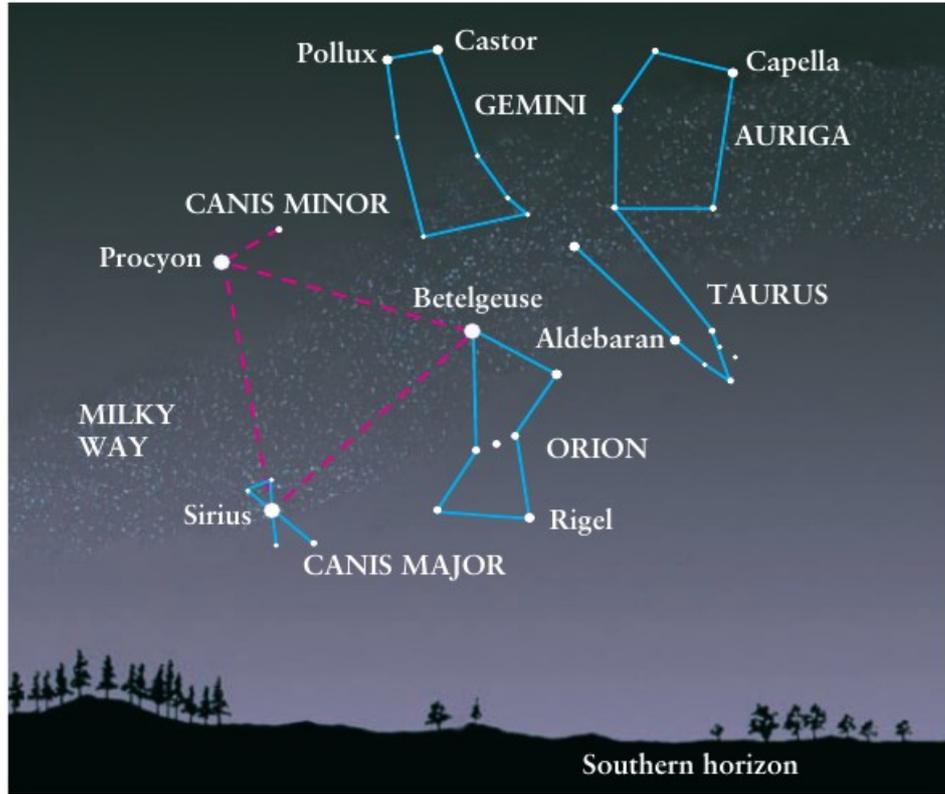


FIGURE 1-6 The Winter Triangle This star chart shows the

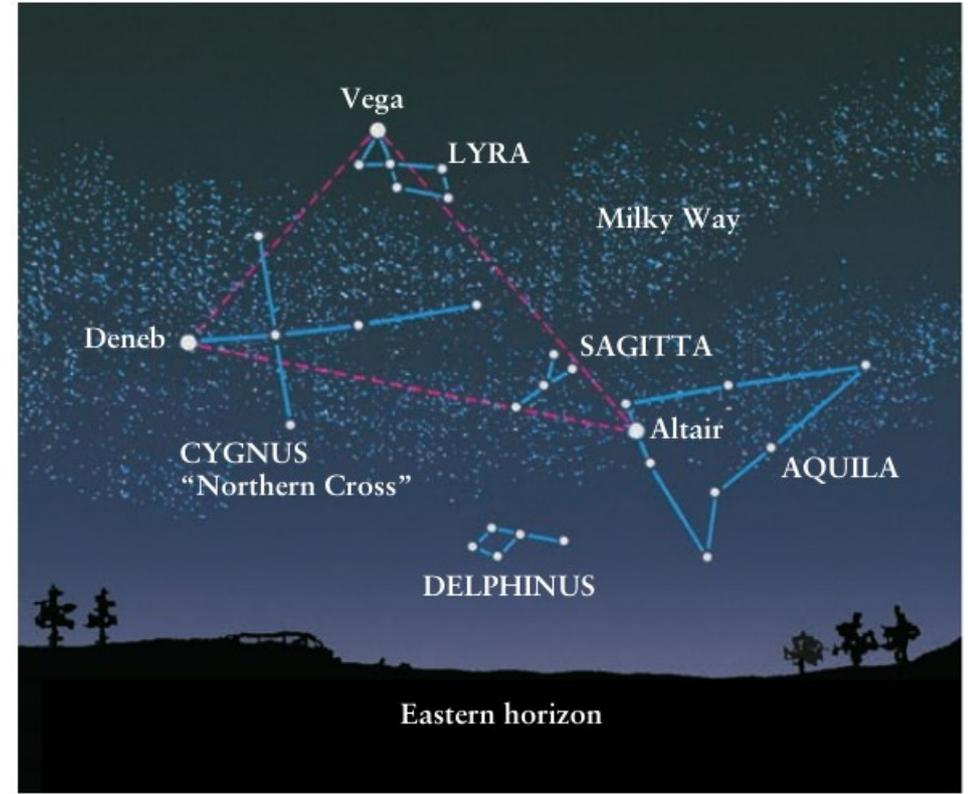


FIGURE 1-7 The Summer Triangle This star chart shows

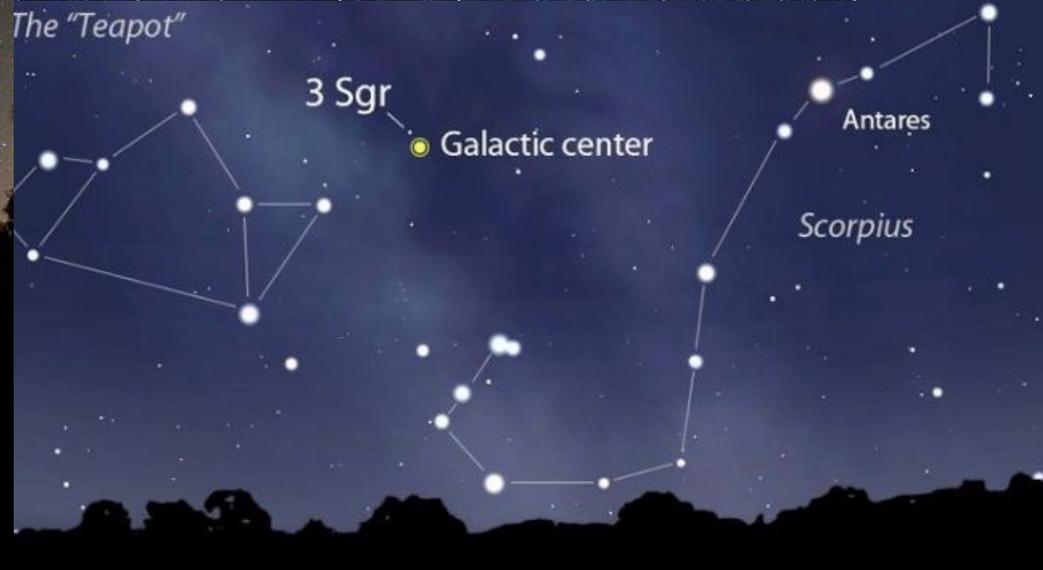
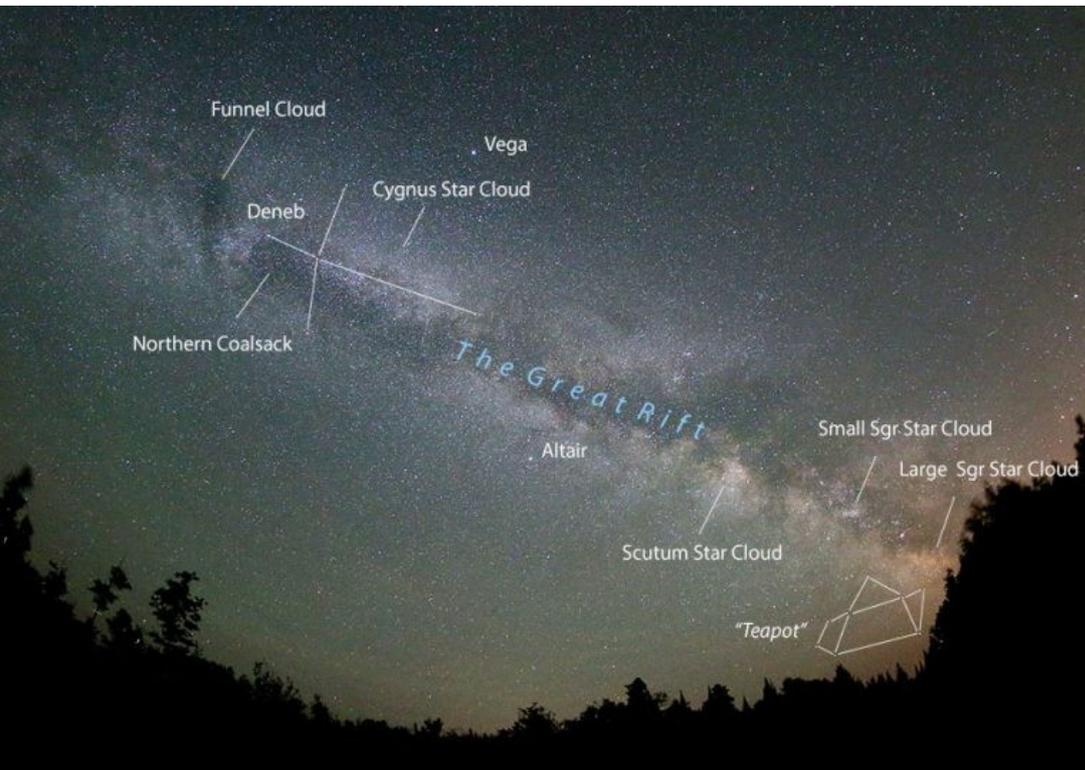
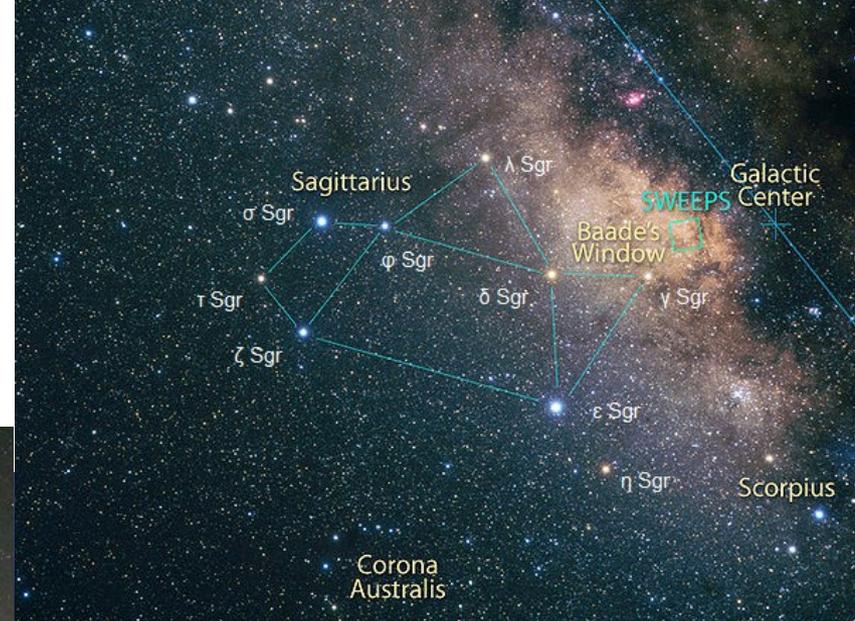
<http://www.astro.ucla.edu/~ghezgroup/gc/animations.html>

<https://apod.nasa.gov/apod/ap180729.html>

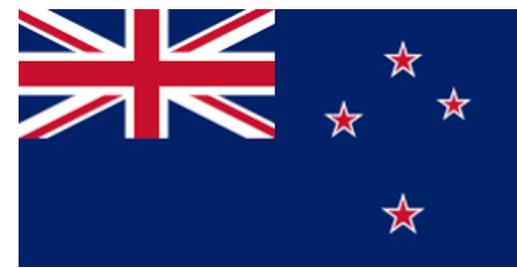
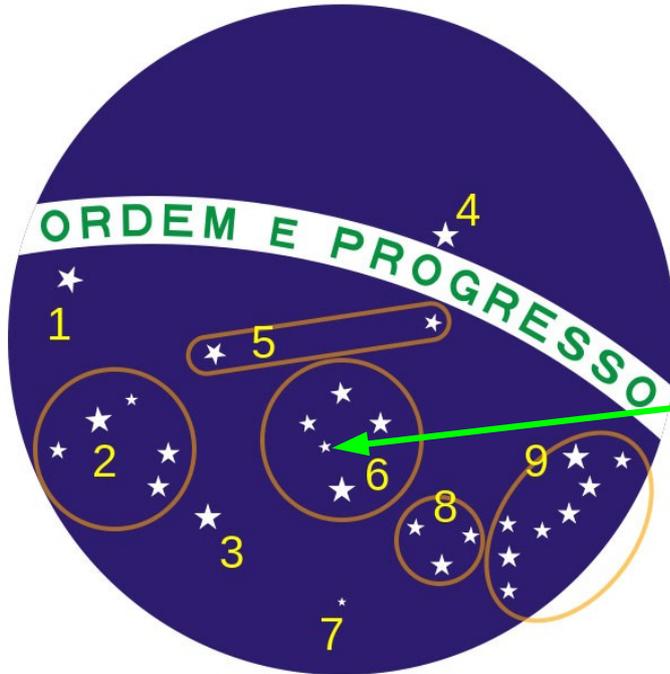
https://en.wikipedia.org/wiki/Sagittarius_A*

<https://apod.nasa.gov/apod/ap180512.html>

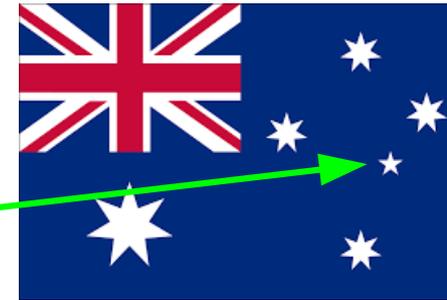
<https://earthsky.org/space/video-zoom-in-to-the-center-of-the-milky-way>



Astronomia e Vexcologia



Nova Zelândia



Austrália



Samoa



Papua Nova Guiné

?

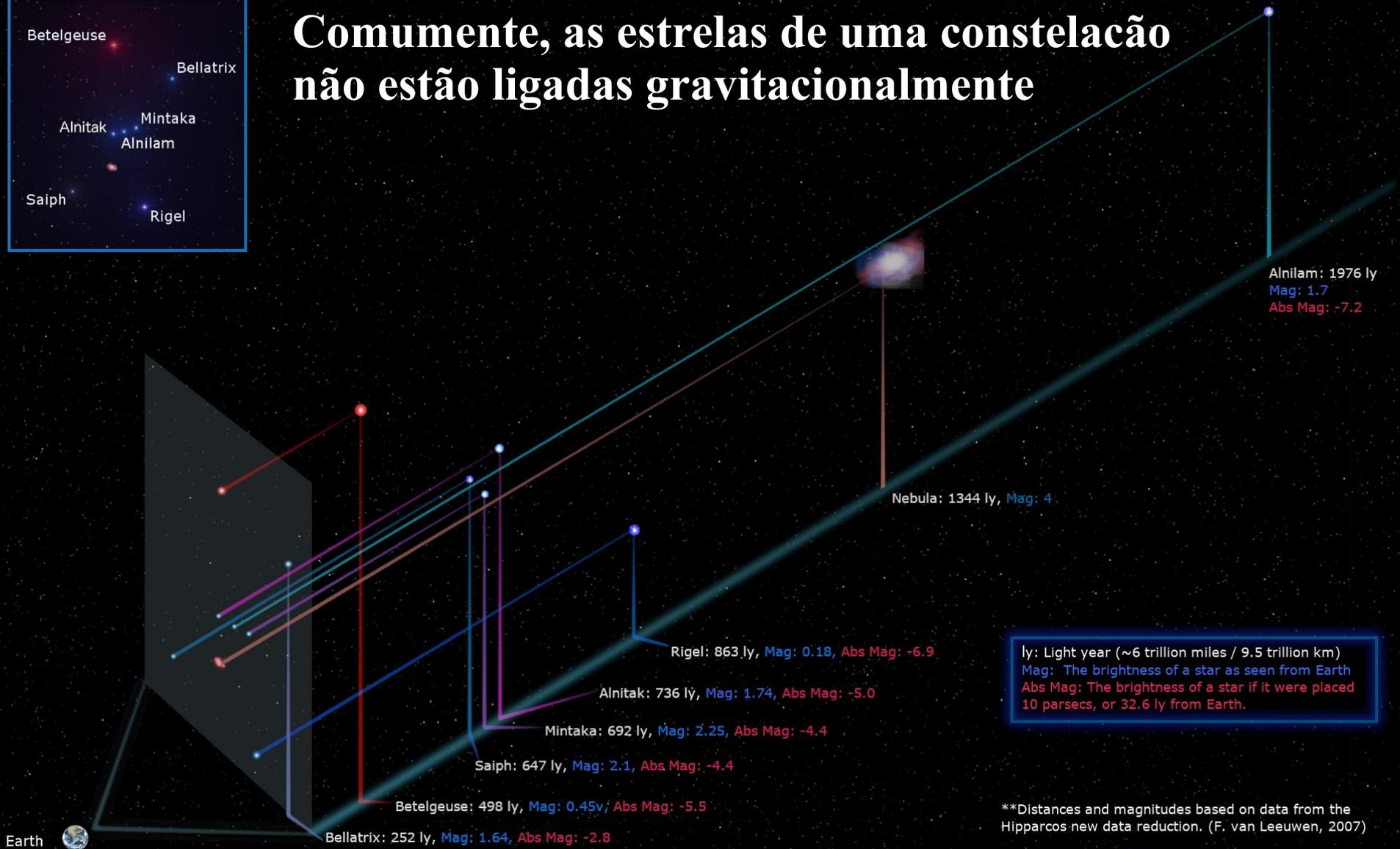
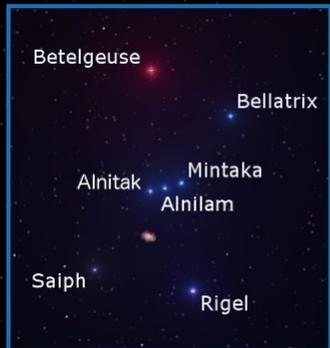
- 1) α Canis Minor (Cão Menor)
- 2) Canis Major (Cão Maior)
- 3) Canopus, α Carina (Quilha)
- 4) Spica, α Virgo (Virgem)
- 5) Hydra (Hidra Fêmea)
- 6) Crux (Cruzeiro do Sul)
- 7) σ Octans (Oitante) – estrela polar Sul (magnitude 5.4)
- 8) Triangulum Australe (Triângulo Austral)
- 9) Scorpius (Escorpião)

Exercício

Você concorda com Chip? Explique



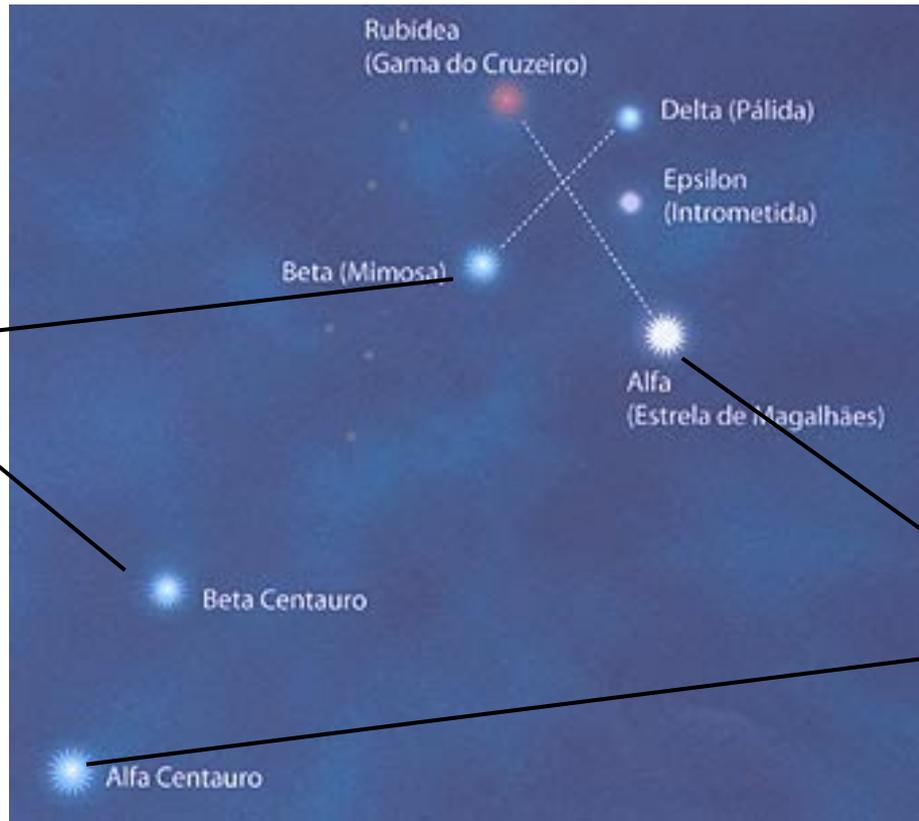
Comumente, as estrelas de uma constelação não estão ligadas gravitacionalmente



Designação (por brilho) nas constelações

Sequência de brilho:

α , β , γ , δ , ϵ , ζ , η , θ , ι ,
 κ , λ , μ , ν , ξ , \omicron , π , ρ , σ ,
 τ , υ , ϕ , χ , ψ , ω , etc.

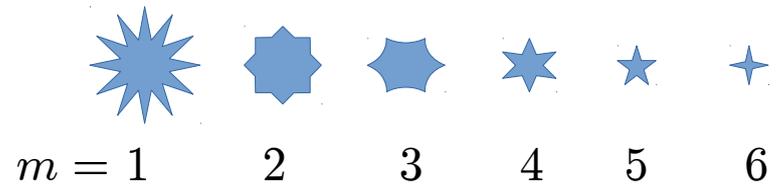


A segunda mais
brilhante

A mais brilhante

OBS: A sequência de brilho não é estática. As estrelas (e seus brilhos) evoluem no tempo.

Magnitude estelar



Hiparco (160-125 AEC) dividiu as estrelas visíveis a olho nu de acordo com seu **brilho**, atribuindo magnitude 1 à mais brilhante e 6 às mais fracas. Esta classificação fazia sentido porque na época achava-se que todas elas estavam à mesma distância da Terra.

Hoje sabemos que este não é o caso, e que o brilho depende de dois fatores: (i) distância e (ii) luminosidade própria (intrínseca da estrela). Por isso devemos falar de **brilho aparente**.

Em 1856, Sir Norman Robert Pogson (1829-1891) propôs (Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 17, p. 12) que o sistema, baseado na percepção de brilho do olho humano, é **logarítmico**, e convencionou que a **intensidade** correspondente a uma estrela de primeira magnitude ($m=1$) era 100 vezes mais brilhante que a de uma estrela de magnitude 6. Como relacionar a **intensidade do brilho** I com a **magnitude aparente** m ?

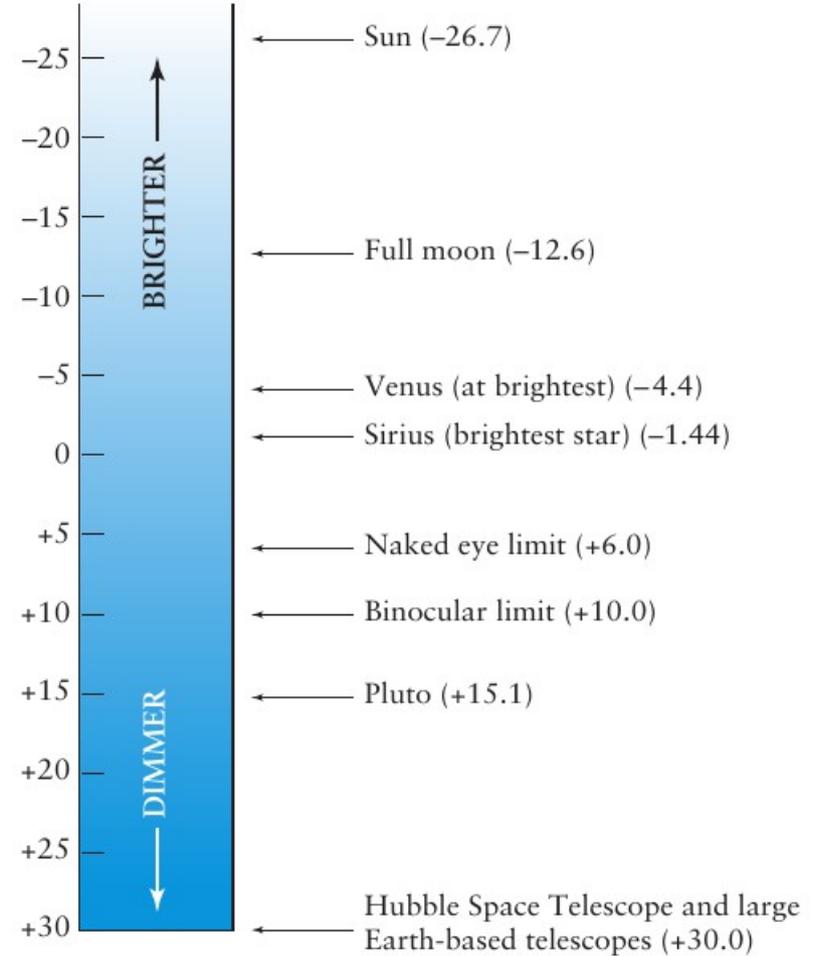
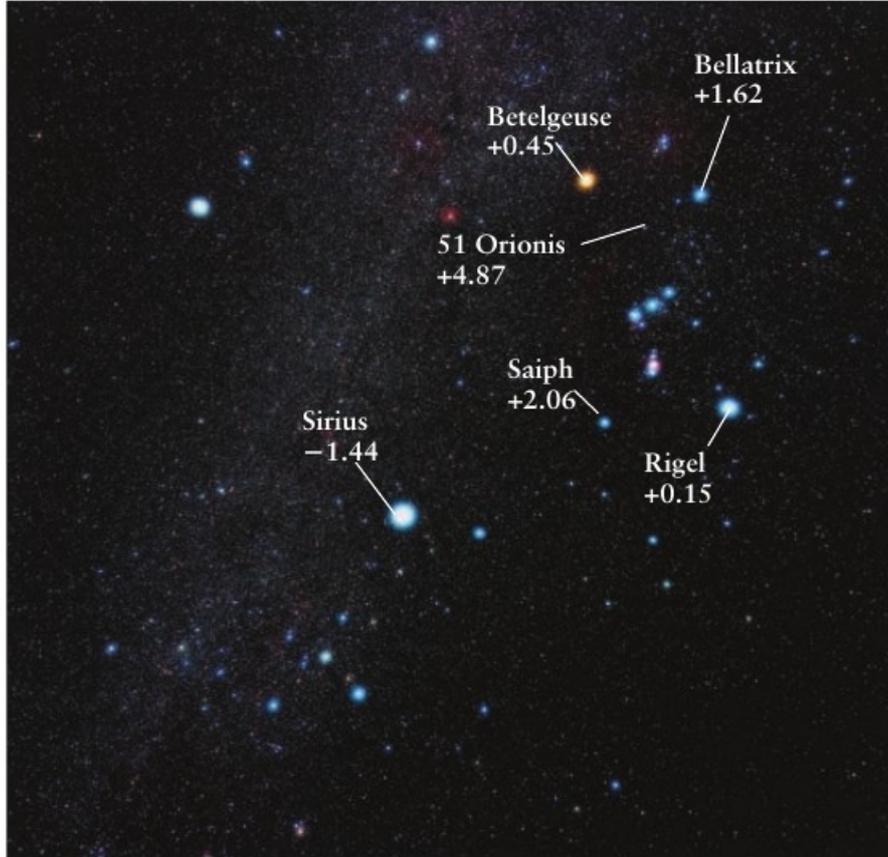
$$m = k \log(I/\mathcal{I})$$

Quanto vale k ? Lembre-se que $m = 1 = k \log(I_1/\mathcal{I})$ e $m = 6 = k \log(I_6/\mathcal{I})$

Como

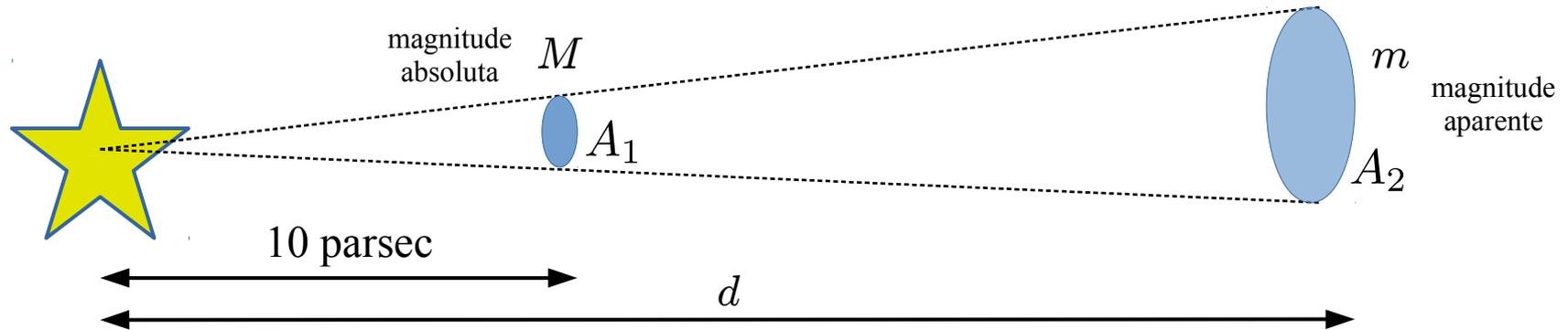
$$I_1 = 100I_6, \quad \Rightarrow \quad -5 = k \log 100 \quad \Rightarrow \quad k = -2.5$$

Magnitude estelar



Magnitude absoluta e aparente

Magnitude absoluta é magnitude aparente que um astro teria se estivesse a 10 parsec de distância.



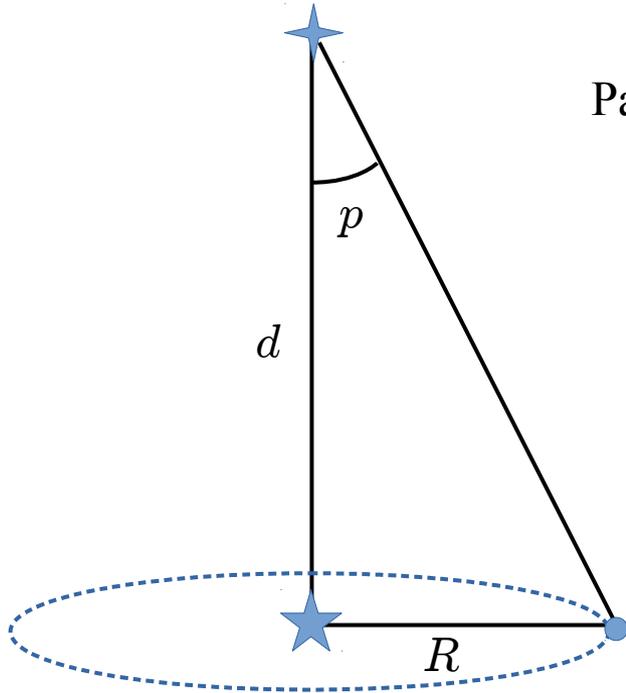
Como a intensidade I depende da distância?

$$I \equiv \frac{\text{energia}}{\text{tempo} \times \text{área}} = \frac{P}{A} = \frac{P}{4\pi r^2}, \quad \Rightarrow \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{A_2}{A_1} = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2 = \left(\frac{d}{10 \text{ pc}}\right)^2$$

$$M = m + k \log \left(\frac{I_1}{I_2}\right) = m + 2k \log \left(\frac{d}{10 \text{ pc}}\right) \quad \Rightarrow \quad \boxed{M = m + 5 \log \left(\frac{10 \text{ pc}}{d}\right)}$$

Parsec = parallax second

O parsec é a distância de um objeto cuja paralaxe anual média vale um segundo de arco ($1''$). Consequentemente, é a distância à qual se deveria situar um observador para ver uma unidade astronômica (UA) — distância da Terra ao Sol — sob o ângulo de um segundo de arco.



Paralaxe p : $\tan p = \frac{R}{d}$, $d \gg R \Rightarrow p \approx \frac{R}{d}$ (p em radianos)

Quando $p=1''$ e $R=1$ UA, então $d=1$ pc.

$$1 \text{ pc} \approx \frac{1 \text{ UA}}{1''} \approx 2.06 \cdot 10^5 \text{ UA}$$
$$\approx 3.09 \cdot 10^{16} \text{ m} \approx 3.27 \text{ al}$$

($1 \text{ UA} \approx 1.5 \cdot 10^{11} \text{ m}$)

Magnitude absoluta Solar

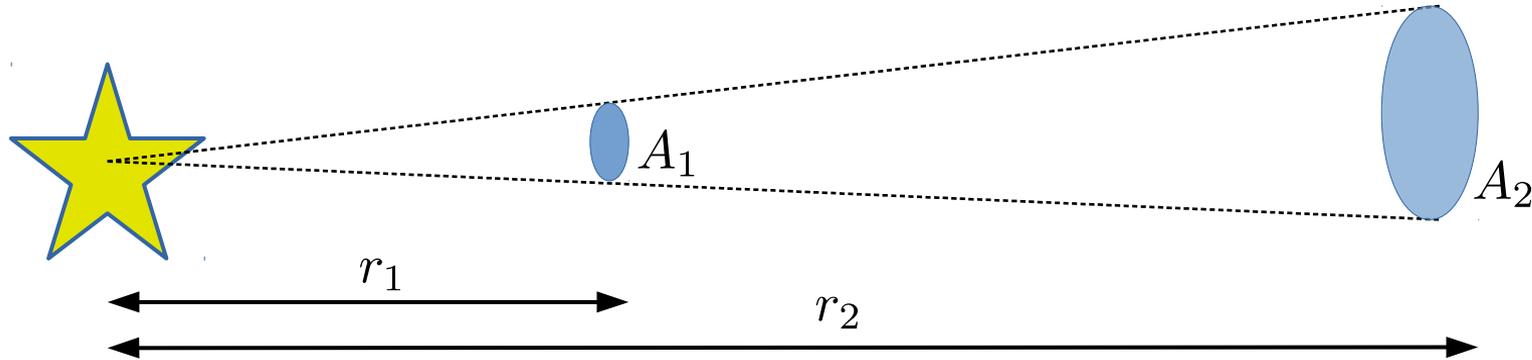
Qual a Magnitude absoluta do Sol dado $m = -26,7$?

$$M = m + 5 \log \left(\frac{10 \text{ pc}}{d} \right), \quad \Rightarrow \quad \boxed{M_{\odot} \approx 4.87}$$

Diz-se, por esse motivo, que o Sol é uma estrela de quinta grandeza.

Luminosidade estelar

Luminosidade é a potência média eletromagnética emitida por uma estrela.



Intensidade I de energia eletromagnética (atravessando uma área normal) e luminosidade L :

$$I \equiv \frac{\text{energia}}{\text{tempo} \times \text{área}} = \frac{P}{A} = \frac{L}{4\pi r^2}$$

Luminosidade Solar

Qual a luminosidade do Sol dado que a constante solar é de aproximadamente 1370 W/m^2 ?

$$I = \frac{L}{4\pi R_{\text{TS}}^2}, \quad \Rightarrow \quad L = 1.37 \cdot 10^3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \times 4\pi (1.5 \cdot 10^{11} \text{ m})^2 = \boxed{3.87 \cdot 10^{26} \text{ W}}$$

Curiosidade: Estima-se que a humanidade consumiu (excluindo comida) em 2013 a quantidade de $5.67 \times 10^{20} \text{ J}$ (vide https://en.wikipedia.org/wiki/World_energy_consumption).

Luminosidade de alfa Centauro

Qual a luminosidade de alfa Centauro dado que sua magnitude aparente é de $m = -0.01$ e dista de 1.32 parsecs?

Magnitude absoluta:

$$M = m + 5 \log \left(\frac{10 \text{ pc}}{d} \right), \quad \Rightarrow \quad \boxed{M_{\alpha\text{Cen}} \approx 4.39}$$

Magnitude absoluta e luminosidade:

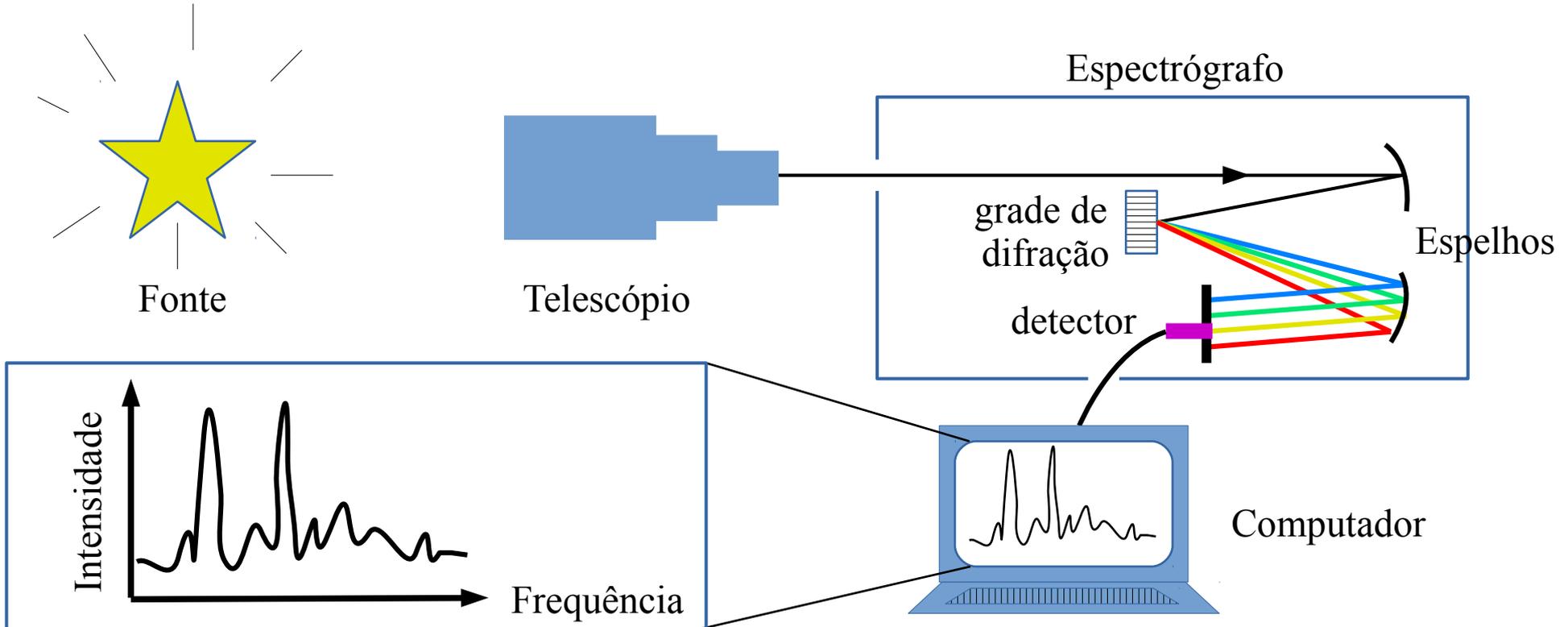
$$m = k \log \left(\frac{I}{\mathcal{I}} \right), \quad \Rightarrow \quad M = k \log \left(\frac{L}{4\pi (10 \text{ pc})^2 \mathcal{I}} \right) = k \log \left(\frac{L}{\mathcal{L}} \right)$$

Comparando com a luminosidade do Sol:

$$M_{\alpha\text{Cen}} - M_{\odot} = k \log \left(\frac{L_{\alpha\text{Cen}}}{L_{\odot}} \right), \quad \Rightarrow \quad L_{\alpha\text{Cen}} = 10^{\frac{M_{\alpha\text{Cen}} - M_{\odot}}{k}} L_{\odot} \approx 1.6 L_{\odot}$$

Espectro da luz

Quando falamos de luminosidade, devemos ter em mente que há partes do espectro da luz emitida pelas estrelas que não enxergamos. A luminosidade deve ser medida com detectores apropriados para captar a energia em todas as faixas do espectro electromagnético.



Espectro da luz

Frequência e comprimento de onda:

$$c = \lambda f$$

Frequência e energia (fóton):

$$E = hf = hc/\lambda$$

constante de Planck:

$$h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J s}$$

velocidade da luz:

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

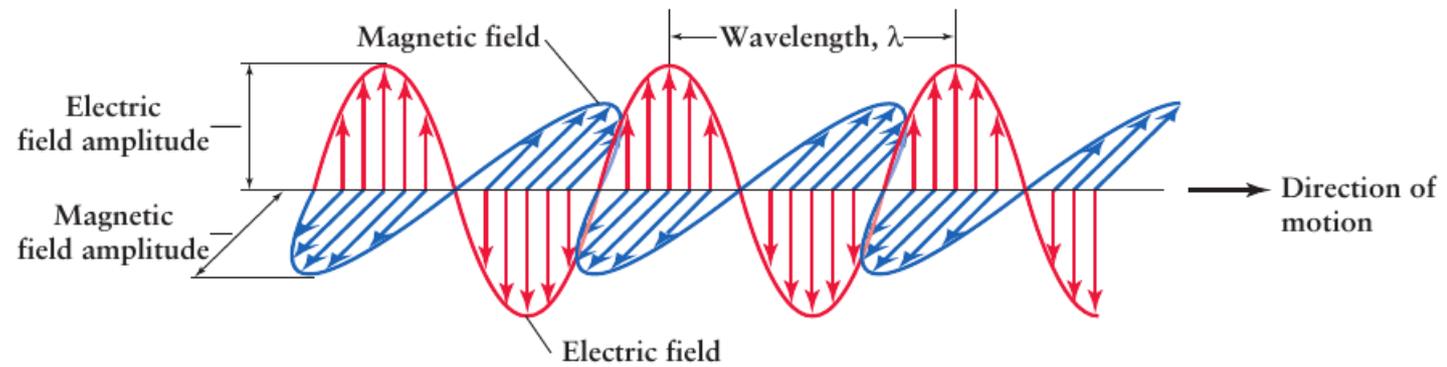
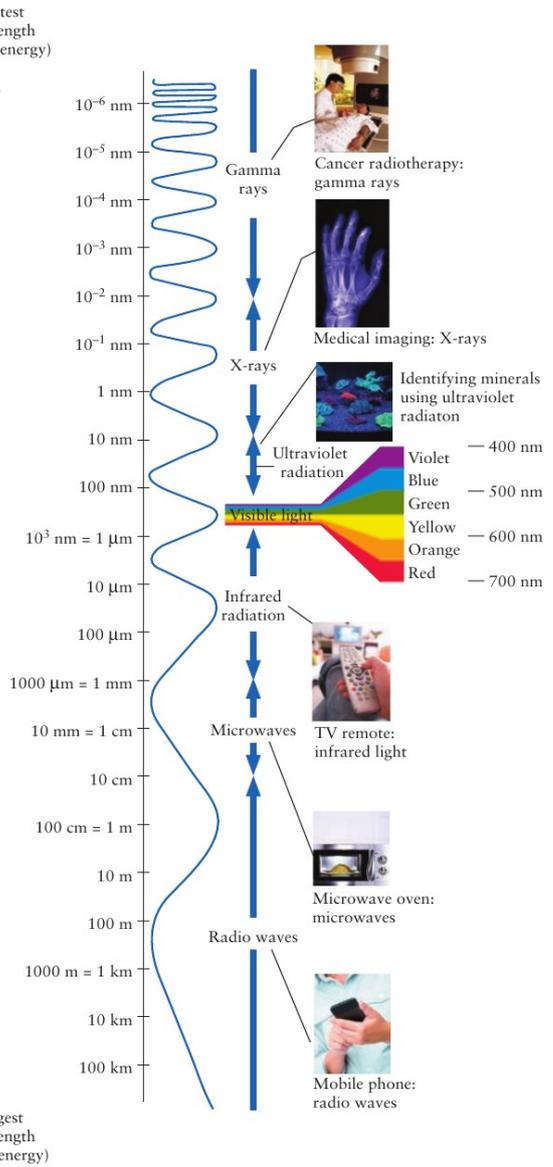
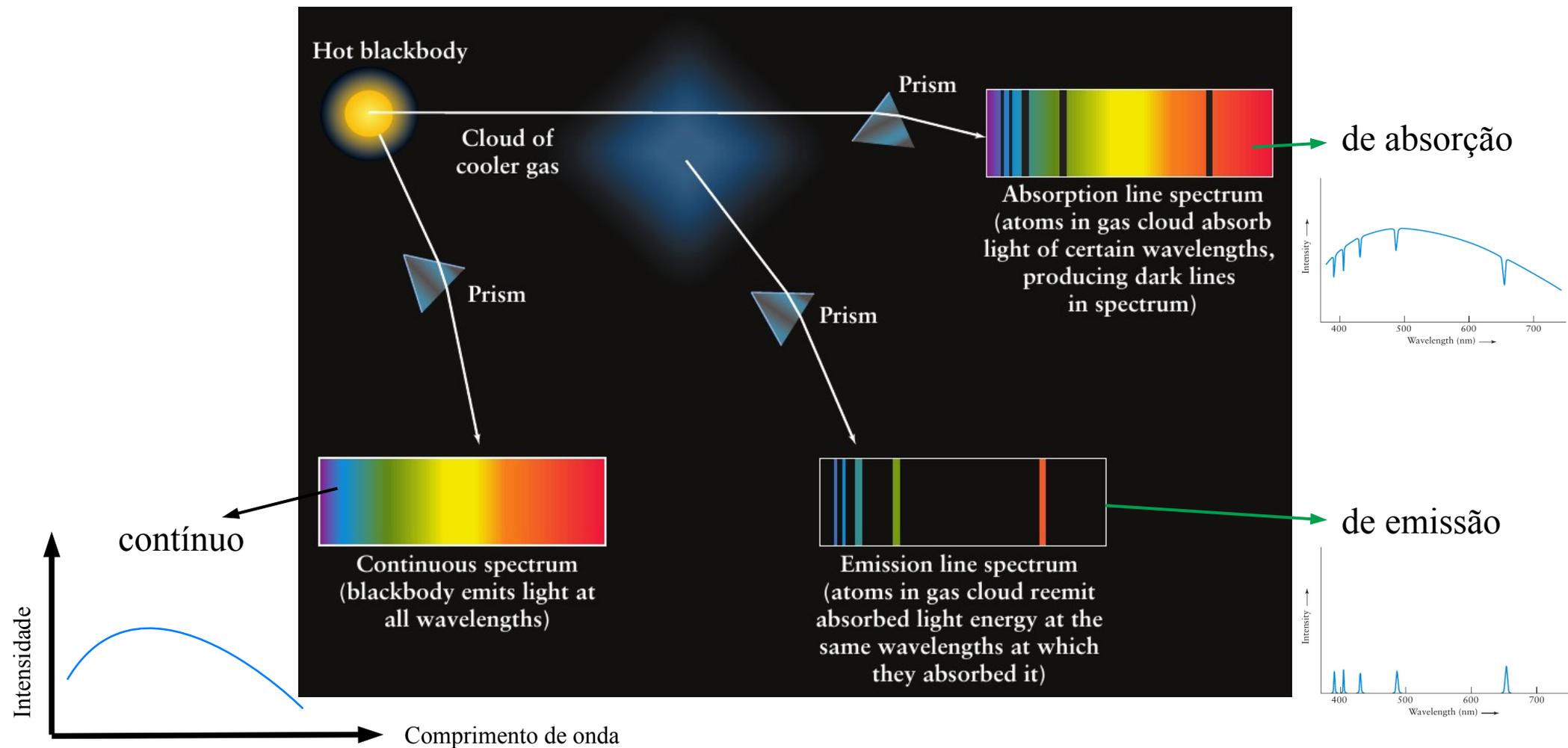
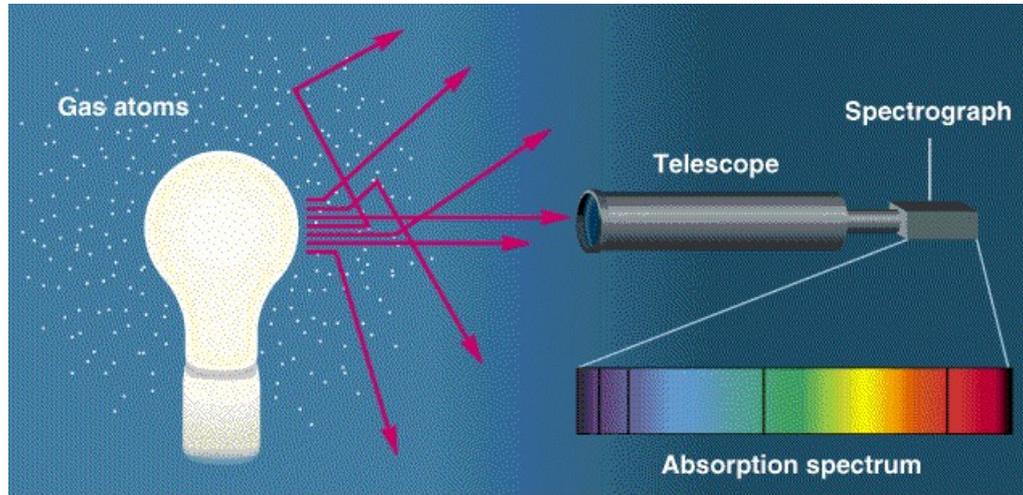


FIGURE 3-6 The Electromagnetic Spectrum The full array

Espectro contínuo, de emissão e de absorção

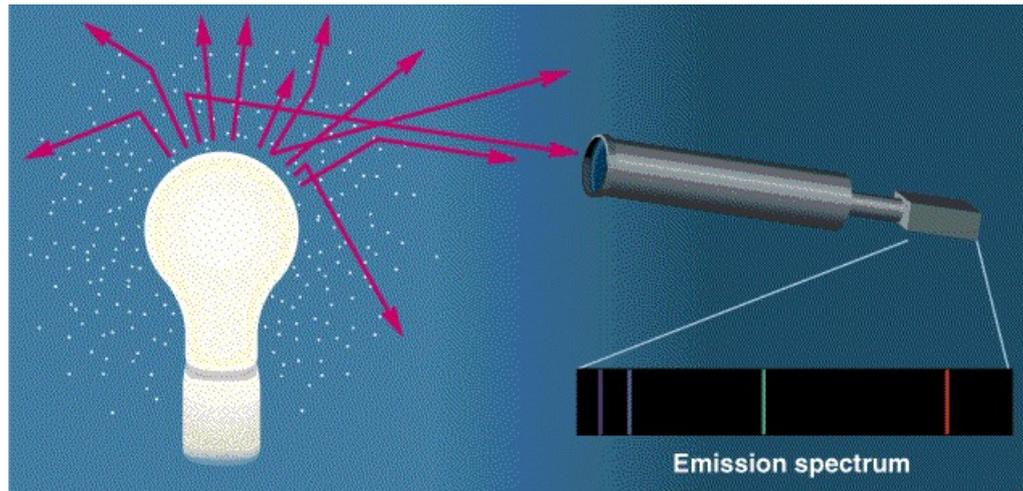


Origem dos espectros de absorção e emissão



© 1997 Wadsworth Publishing Company/ITP

O gás só pode absorver fótons de certos comprimento de onda/frequência/“cores”. O gás então reemite esses fótons em direções arbitrárias que raramente serão capturados pelo telescópio. Como consequência, o Espectro (contínuo) da fonte aparentemente apresentará algumas “cores” faltantes.

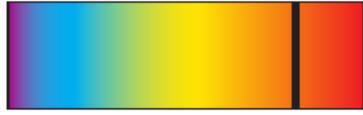


© 1997 Wadsworth Publishing Company/ITP

Apontado o telescópio para o gás (excluindo os fótons da fonte), então observa-se apenas os fótons que podem ser emitidos pelo gás.

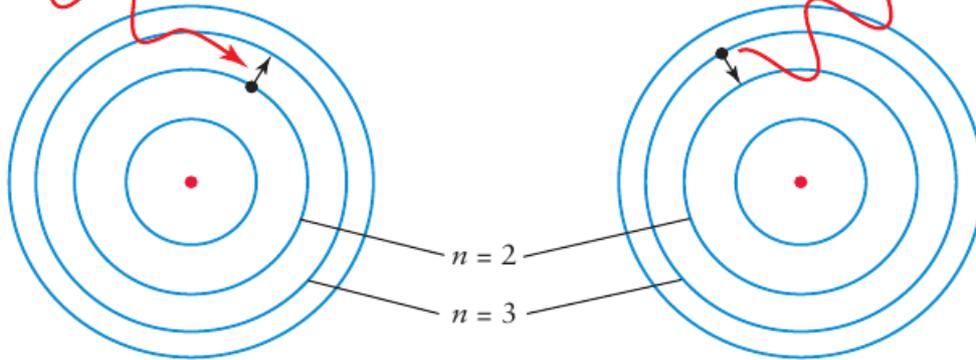
OBS.: Nesta discussão, estamos desconsiderando os fótons que podem ser “espalhados” pelo gás (espalhamento Rayleigh), um efeito de menor magnitude.

Origem dos espectros de absorção e emissão



Incoming photon,
 $\lambda = 656.3 \text{ nm}$

Emitted photon,
 $\lambda = 656.3 \text{ nm}$



a Atom absorbs a 656.3-nm photon; absorbed energy causes electron to jump from the $n = 2$ orbit up to the $n = 3$ orbit

b Electron falls from the $n = 3$ orbit to the $n = 2$ orbit; energy lost by atom goes into emitting a 656.3-nm photon

Absorção e emissão de um fóton (vermelho) $H\alpha$
(também conhecido como Balmer- α)

Os níveis de energia eletrônicos dos gases são quantizados e, portanto, apenas fótons com a energia “correta” são absorvidos/emitados.

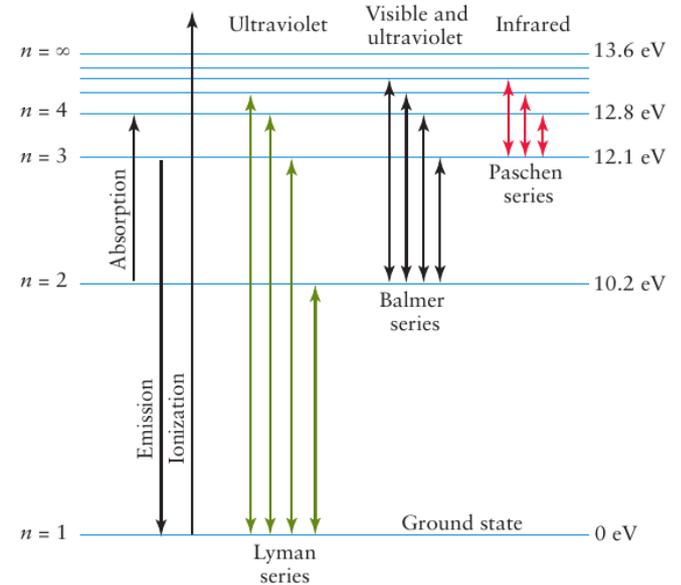


Figure 4-11 Energy Level Diagram of Hydrogen The activity of a hydrogen atom's electron is conveniently displayed in a diagram showing some of the energy levels, labeled n , at which the electron can exist. A variety of electron jumps, or transitions, are also shown, including those that produce the most prominent lines in the hydrogen spectrum.

Espectro contínuo: radiação do corpo negro

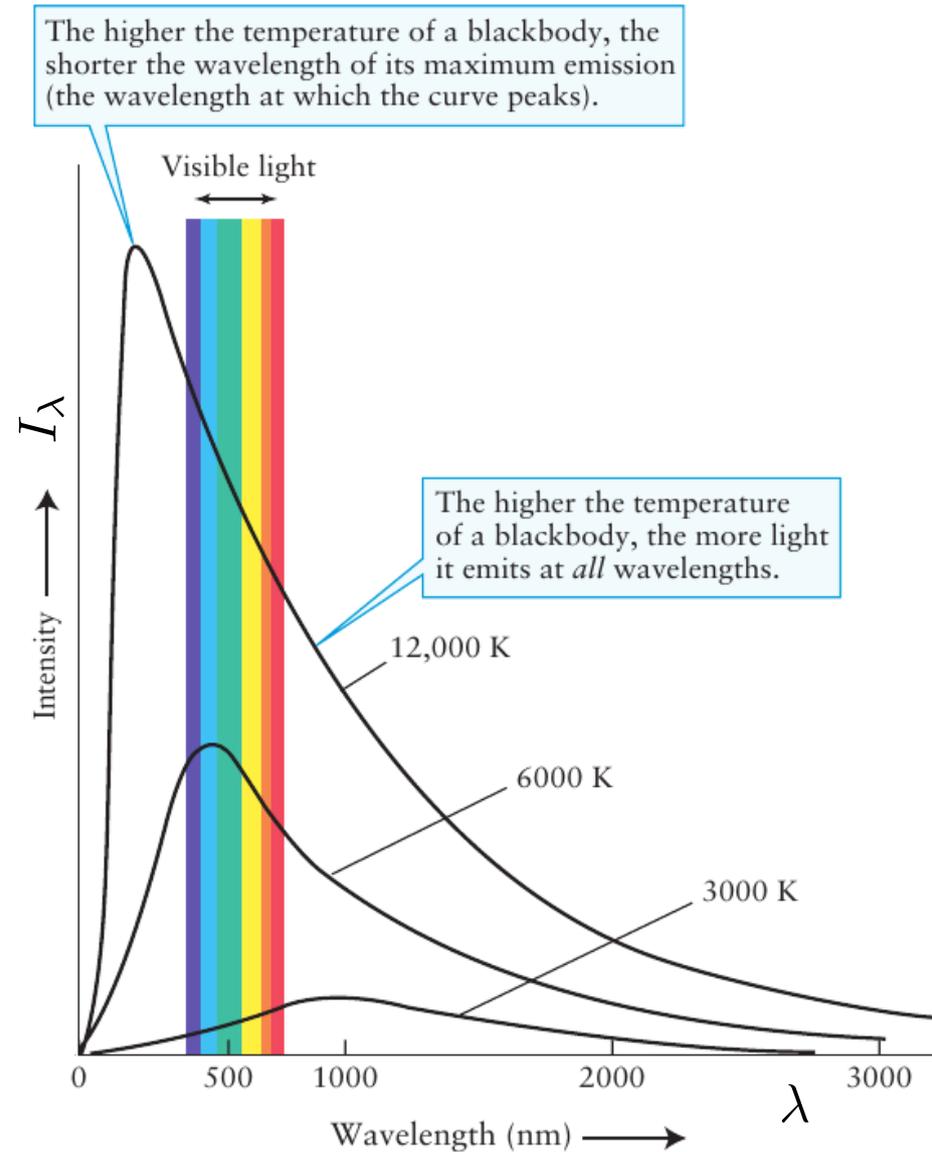
Corpo negro: Modelo de física estatística para entender a radiação electromagnética emitida pela matéria em equilíbrio térmico com a radiação.

Lei de Planck:

$$I_{\lambda} = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda T}} - 1}$$

$$\frac{hc/\lambda}{k_B T} = \frac{hf}{k_B T} = \frac{\text{Energia do fóton}}{\text{Energia térmica}}$$

constante de Planck: $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J s}$
constante de Boltzmann: $k_B = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
velocidade da luz: $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$



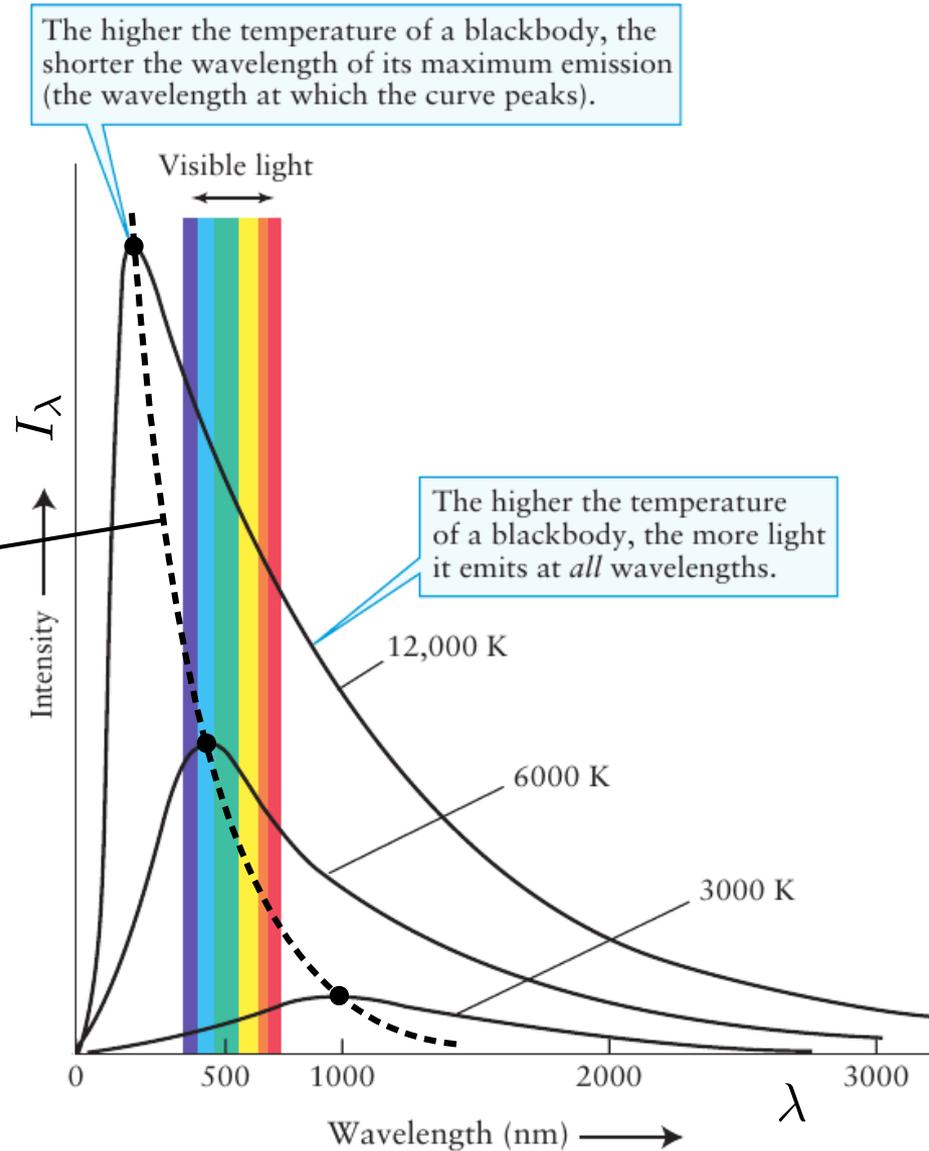
Espectro contínuo: radiação do corpo negro

Lei de Wien (temperatura vs. máximo de emissão)

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}, \quad b = 2.9 \times 10^{-3} \text{ K m}$$



Podemos “medir” a
temperatura das estrelas



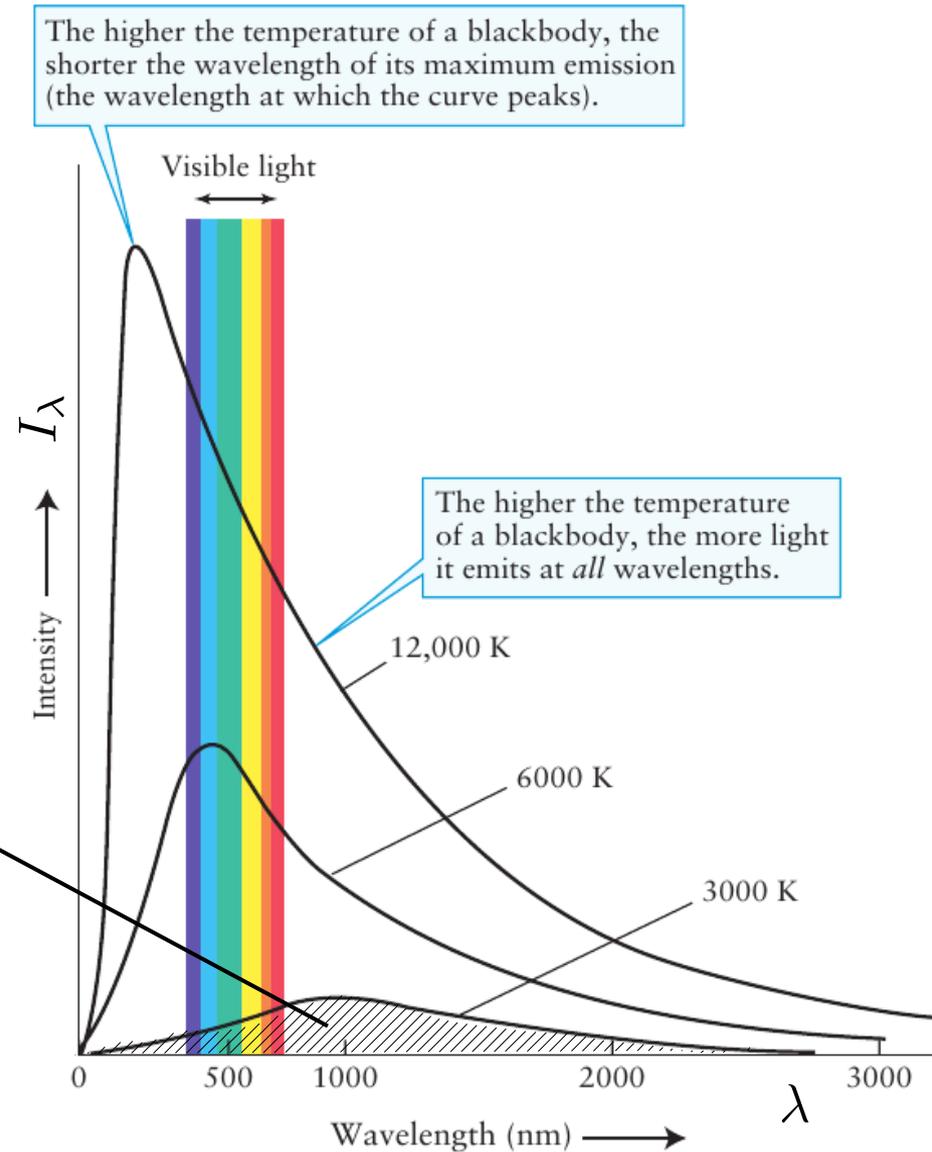
Espectro contínuo: radiação do corpo negro

Lei de Stefan-Boltzmann (potência vs. temperatura)

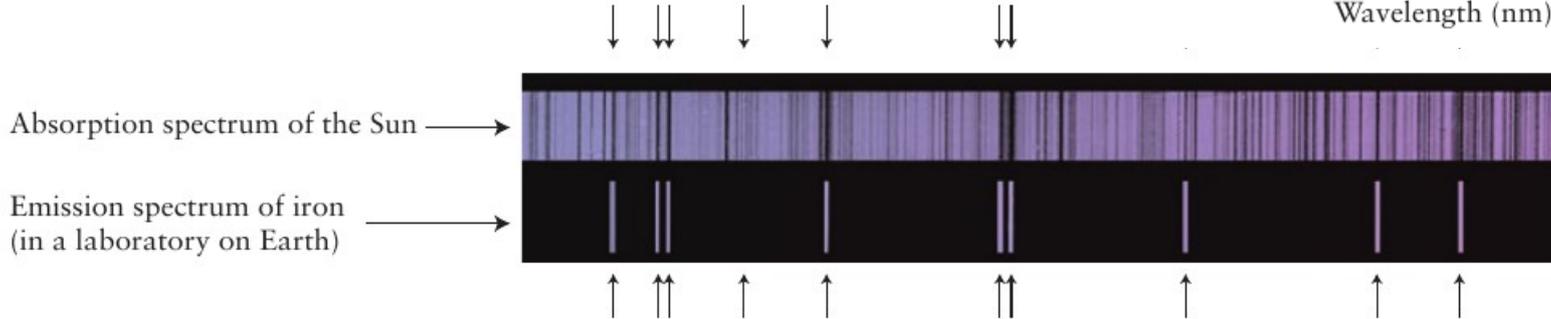
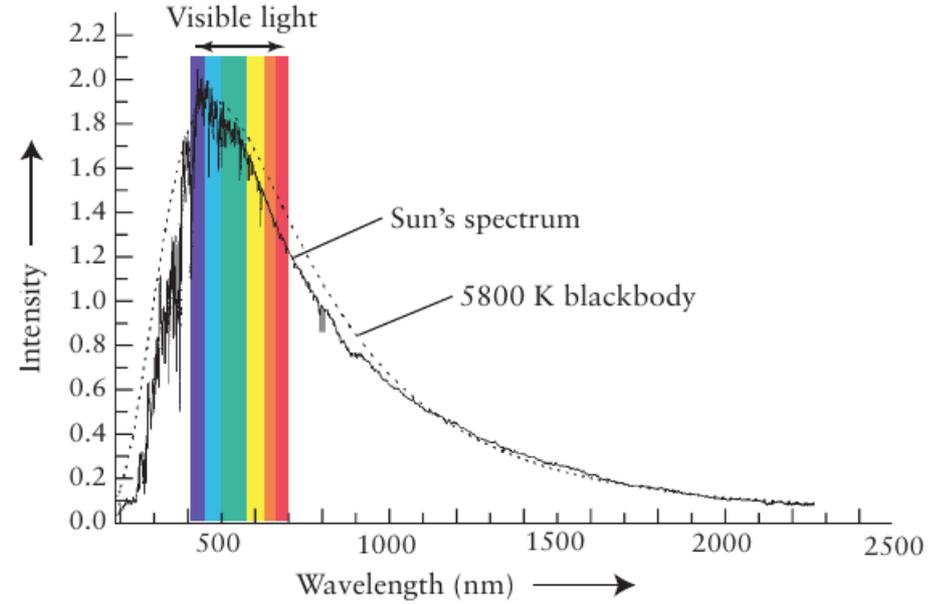
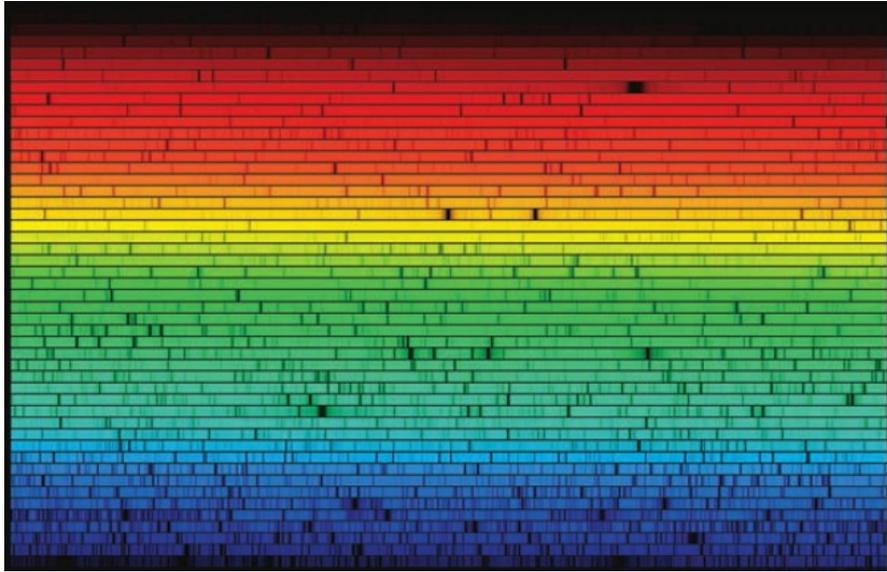
$$P = AI = A \int_0^{\infty} I_{\lambda} d\lambda = \sigma AT^4,$$

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}^4}$$

A = área superficial da fonte

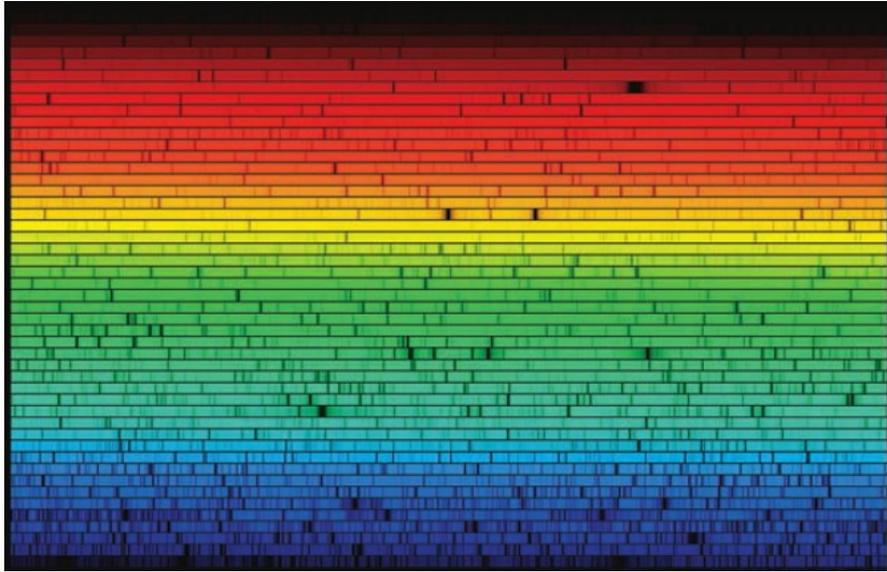


Espectro do Sol



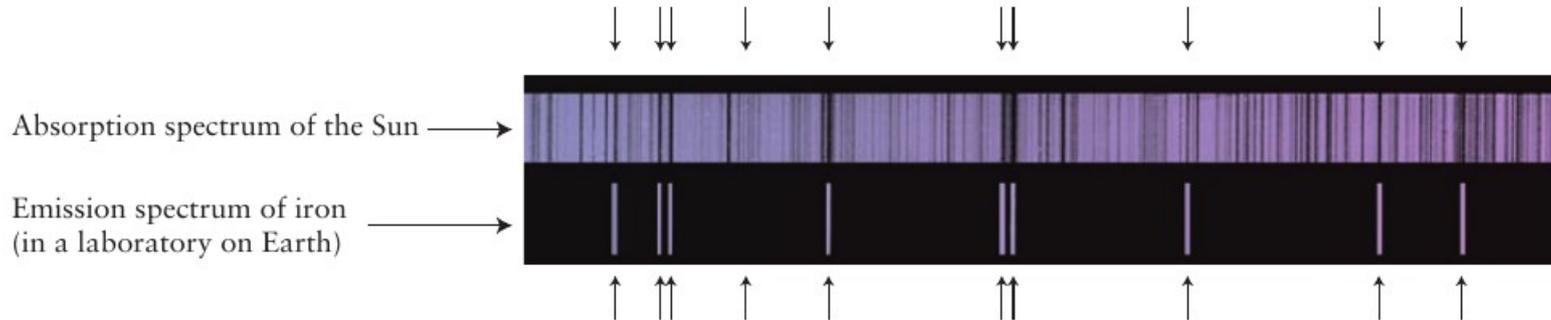
For each emission line of iron, there is a corresponding absorption line in the solar spectrum; hence, there must be iron in the Sun's atmosphere.

Espectro do Sol



A presença de diversos elementos químicos na atmosfera solar explica as características de espectro de absorção...

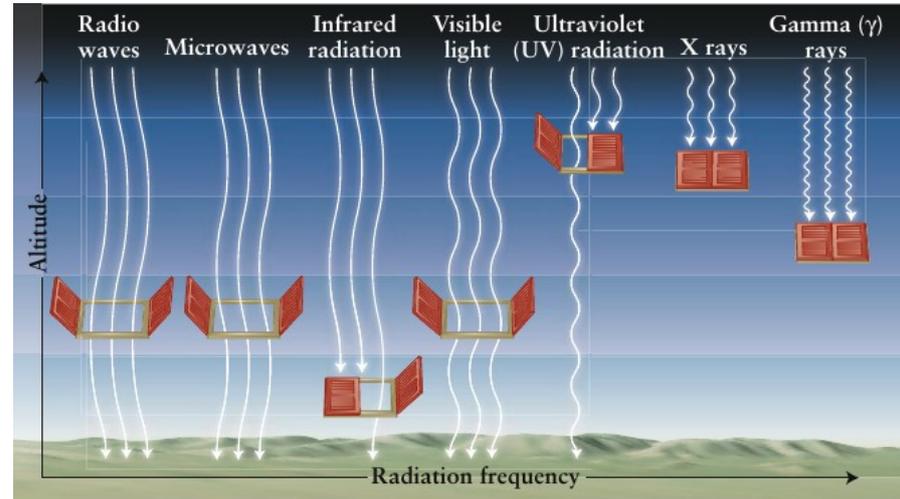
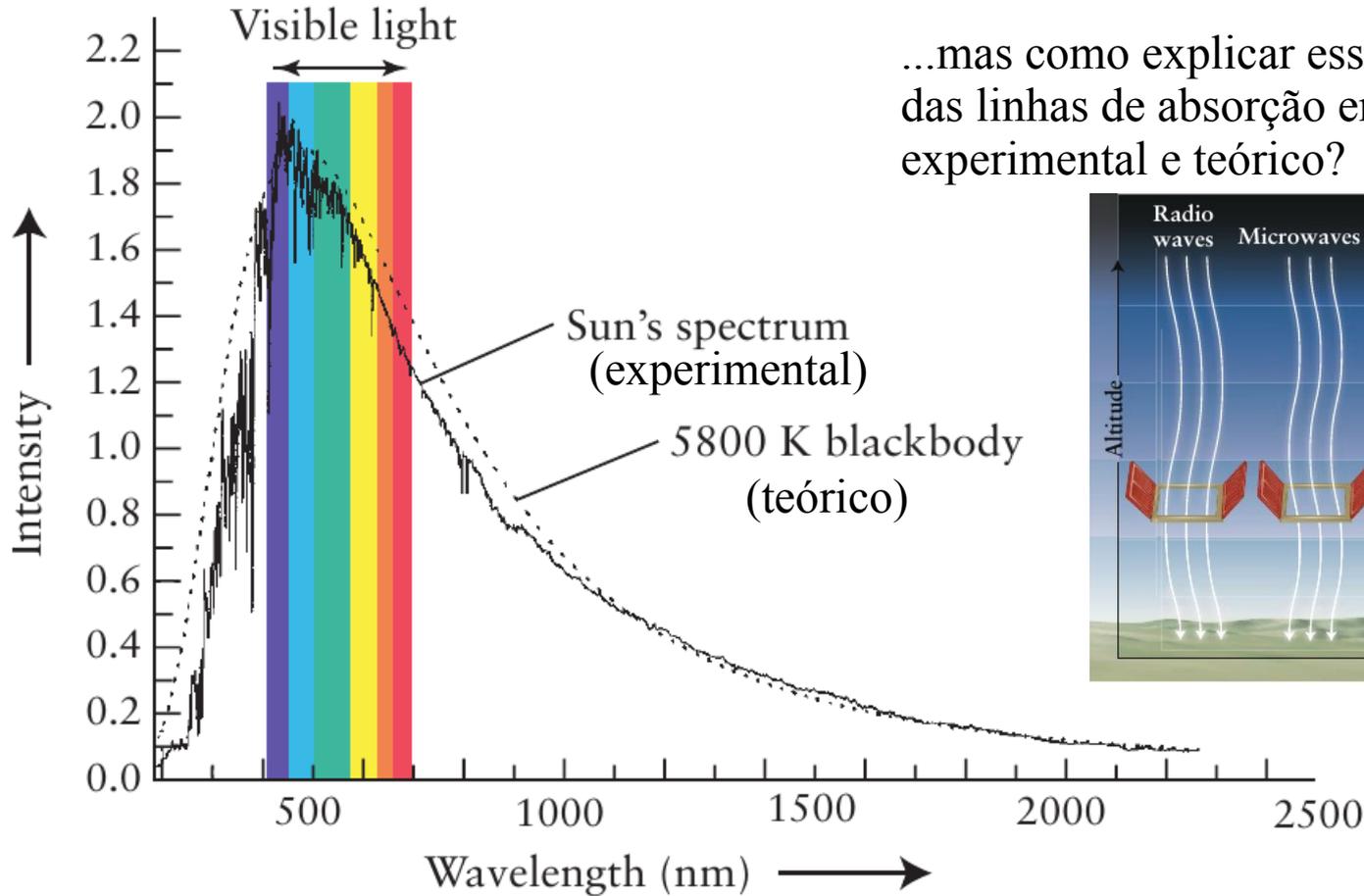
Pergunta: de onde veio o ferro presente na atmosfera Solar?



For each emission line of iron, there is a corresponding absorption line in the solar spectrum; hence, there must be iron in the Sun's atmosphere.

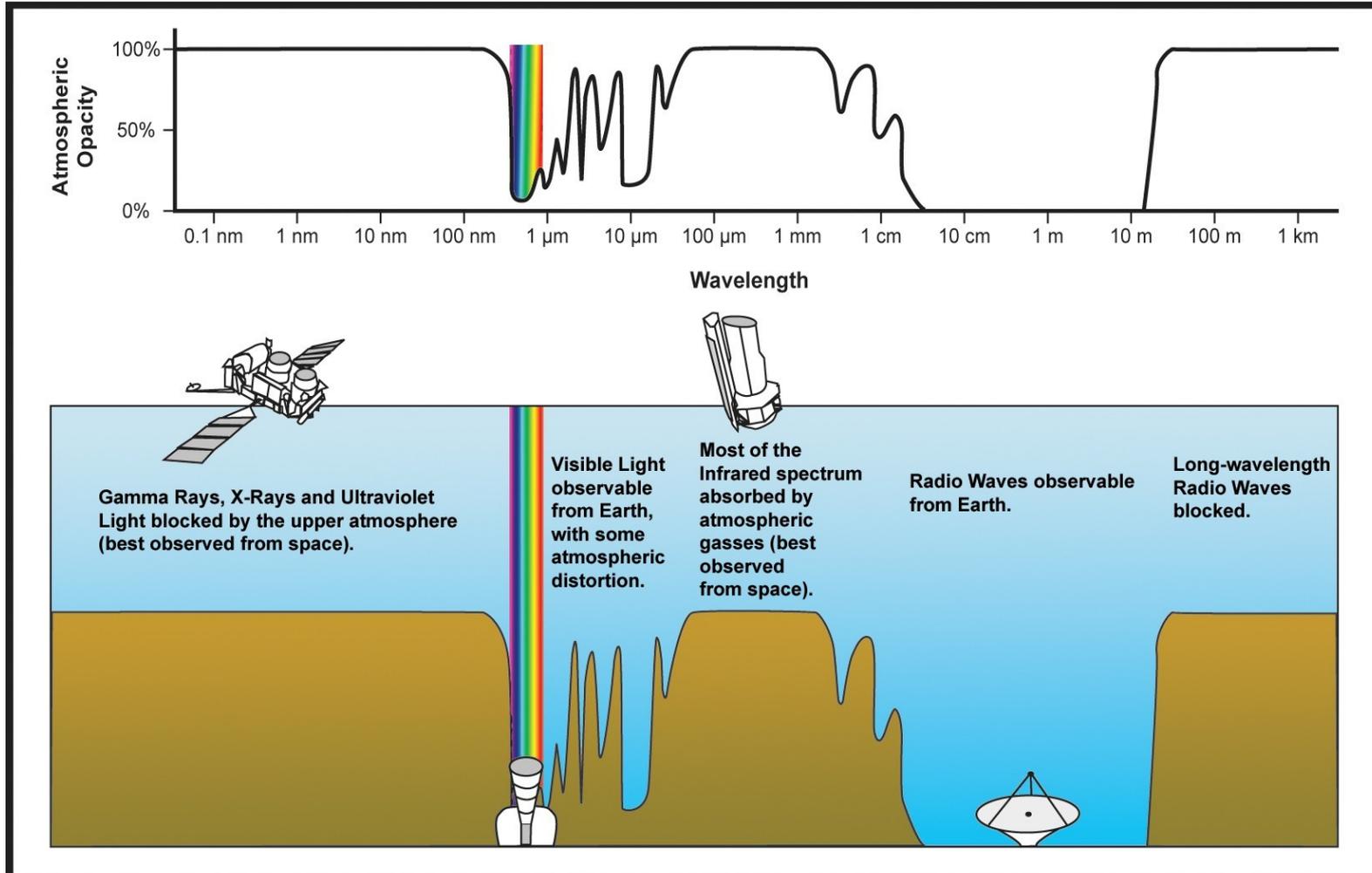
Espectro do Sol

...mas como explicar essa diferença que vai além das linhas de absorção entre os espectros experimental e teórico?



A atmosfera da Terra é opaca para a luz de diversos comprimentos de onda

Espectro de absorção da atmosfera



Espectro de absorção da atmosfera

