



Universidade Federal do ABC

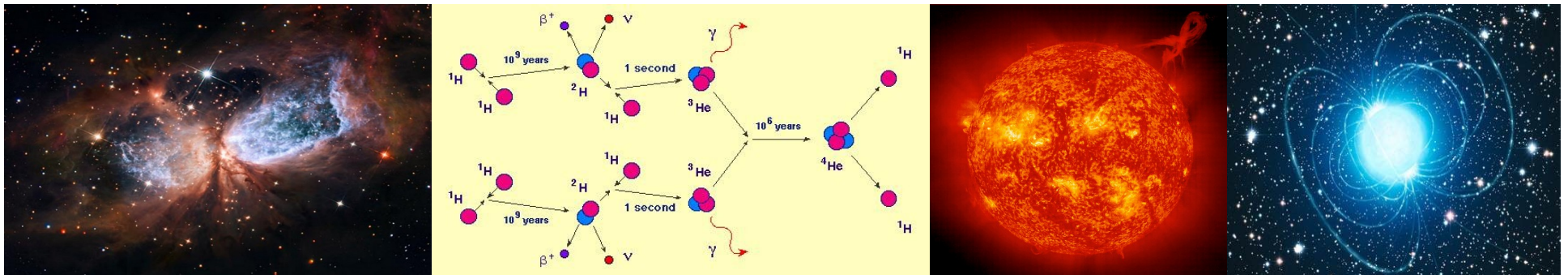
Introdução à Física Estelar

1. O que são Estrelas, Conceitos gerais da Astronomia I

Prof. Pieter Westera

pieter.westera@ufabc.edu.br

<http://professor.ufabc.edu.br/~pieter.westera/Estelar.html>



Astronomia

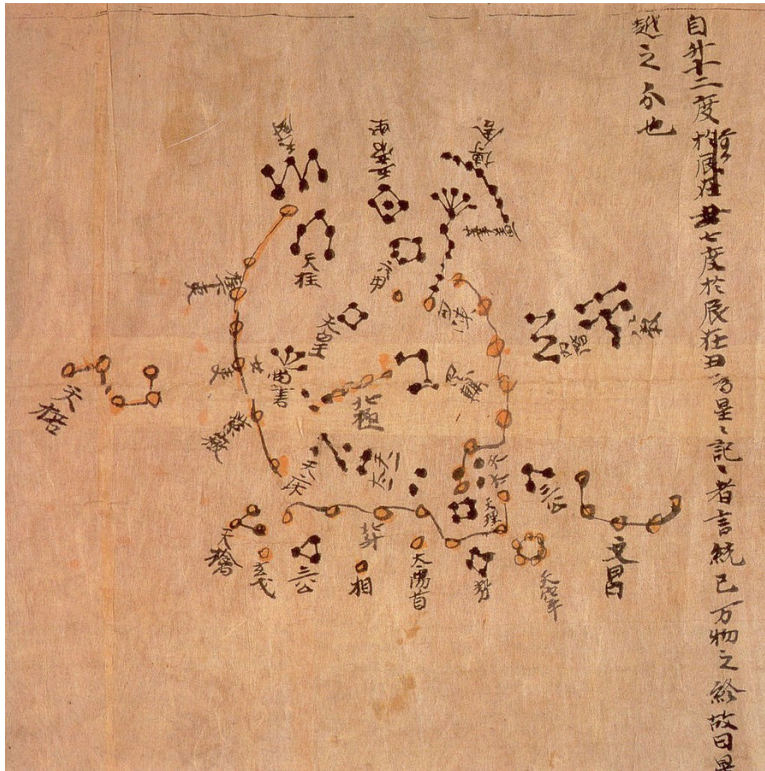
Wikipedia:

A **Astronomia**, ou **Astrofísica** (do grego astron (ἄστρον), "estrela" e nomos (νόμος), "lei" ou "cultura") é uma **ciência natural** que estuda **corpos celestes** (como estrelas, planetas, cometas, nebulosas, aglomerados de estrelas, galáxias) e fenômenos que se originam **fora da atmosfera da Terra** (como a radiação cósmica de fundo em micro-ondas). Ela está preocupada com a **evolução**, a **física**, a **química**, e o **movimento** de **objetos celestes**, bem como a **formação** e o **desenvolvimento** do **Universo**.

!! Astronomia **não** é **Astrologia**, q. d. **não** trata de horoscópios e afins.

O que são Estrelas?

Elas já estão sendo observados desde que a humanidade existe.



Carta celeste feita na China entre os séculos 3 e 4 a. C. O mais antigo mapa estelar conhecido

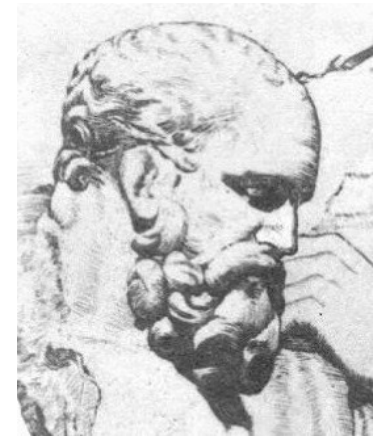


Constelação Guaraní da Ema

O que são Estrelas?

Na **Grécia antiga** (Anaximandro, sexto século a. C.; seu aluno Anaximenes; Platão, ~350 a. C., seu aluno Eudócio de Cnido, Aristóteles, Ptolomeu e outros) e na **idade média** (Copérnico), estrelas eram os **pontinhos luminosos**, “de fogo” na **Esfera das Estrelas Fixas***, ou **Firmamento** (ou abóboda) ou, alternativamente, **furinhos** nesta esfera, através daqueles passa a **luz divina**.

*Sem necessidade de chamá-las de “fixas”. Não houve estrelas “não-fixas”.



Anaximandro



Anaximenes



O que são Estrelas?

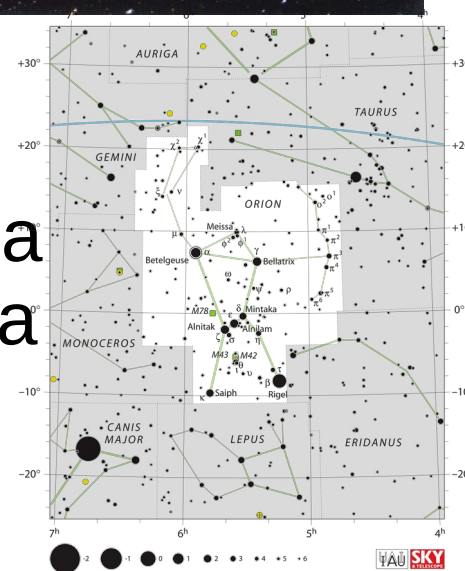
Nesta esfera, as estrelas são agrupadas em **constelações** simbolizando deuses e outras entidades da mitologia grega.

Asterismo é um padrão reconhecível de estrelas no céu noturno da Terra, mas não necessariamente uma constelação.

Hoje, uma constelação é uma região da esfera celeste (que idealmente contém as estrelas da constelação grega do mesmo nome).
O céu é subdividido em 88 constelações.



A constelação Orion



O que são Estrelas?

Anaxágoras de Clazômenas

(500 a.C. – 428 a.C.) e

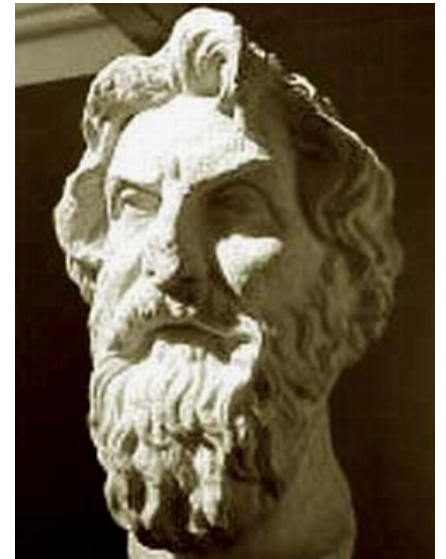
Aristarco de Samos (310 - 230 a. C.)

suspeitavam que as **estrelas** poderiam ser “**Sois**”, só que muito mais **distantes** que o Sol, mas esta hipótese não pegou na época.

(Aristarco também propôs um **modelo heliocêntrico** quase 2000 anos à frente do seu tempo)



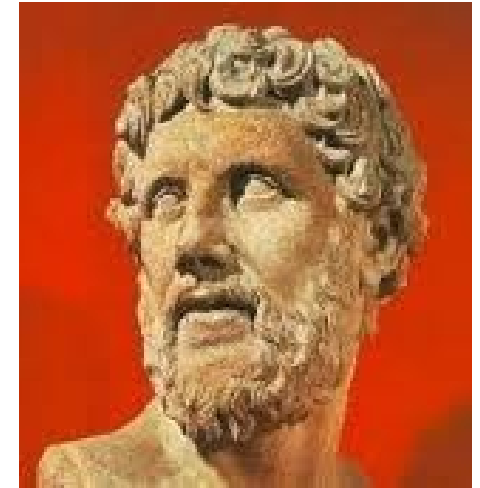
Άναξαγόρας



Αρίσταρχος

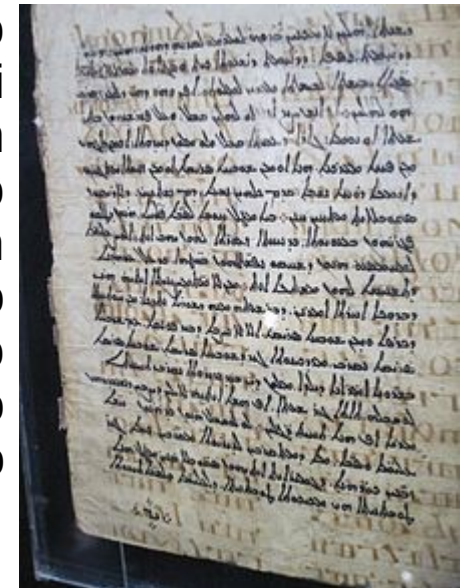
O que são Estrelas?

Um dos primeiros **catálogos estelares** foi compilado por **Hiparco** de Nicea por volta de 135 a. C. e continha pelo menos 850 estrelas, com suas posições dadas em latitude e longitude equatorial.



Hiparco

Uma folha do Codex Climaci Rescriptus, um palimpsesto descoberto em 2022 contendo parte do catálogo do Hiparco



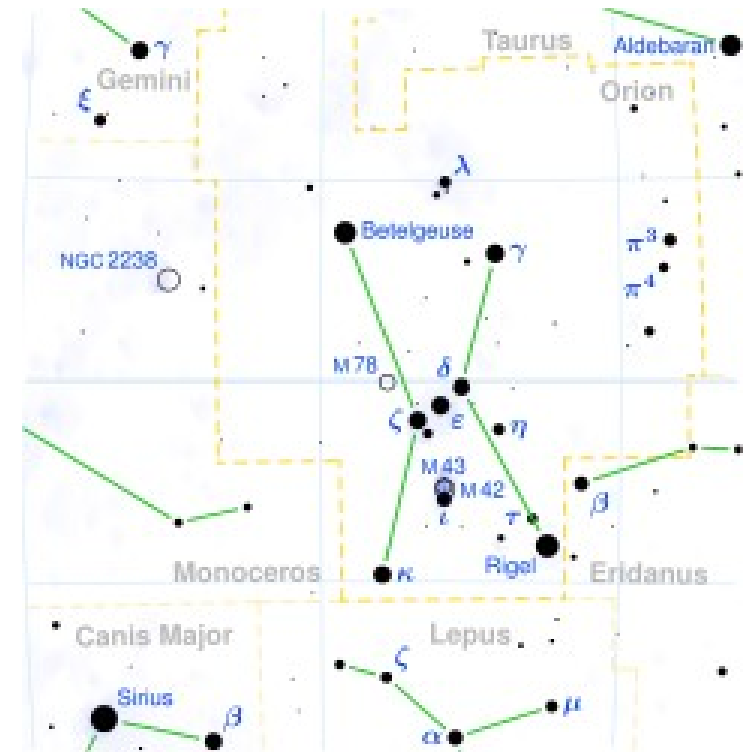
O que são Estrelas?

Nomes

Algumas estrelas têm nomes próprios: Vega, Sirius, Arcturus, ...

Estrelas também podem ser designadas pelo nome da constelação, daquela elas fazem parte, precedido por uma letra grega, que indica o brilho (aparente) da estrela, α significando a estrela mais brilhante da constelação (designação de Bayer):
Exemplo: α Orionis = Betelgeuse.

Um sistema similar, usando números em lugar de letras gregas e ordenando por uma coordenada celeste, é o de Flamsteed, naquele Betelgeuse é 58 Orionis.



O que são Estrelas?

Nomes

Já que hoje conhecemos muito mais estrelas, este sistema de nomeação não é mais viável.

Elas têm, em geral, números em catálogos. Exemplo: uma estrela no catálogo de Henry Draper se chama HD225300.

Às vezes, sondas ou telescópios produzem seus próprios catálogos:

Exemplo: A estrela Kepler-186 foi observada pela sonda Kepler.



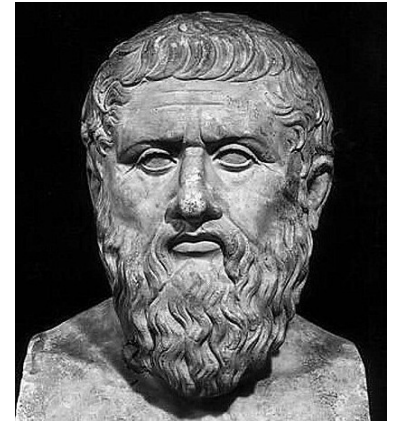
O observatório Pan-STARRS, responsável por um catálogo de mais de 3 bi. de estrelas

O que são Estrelas?

Voltando pros Gregos:

A **esfera** de **estrelas gira** ao **redor** da **Terra** em aproximadamente 23 horas e 56 minutos, em torno de um **eixo** que passa pelo **polo** norte **celeste** (e pelo polo sul celeste, mas

este é invisível a partir da Grécia e do resto da Europa), no sentido do **leste** para o **oeste**.



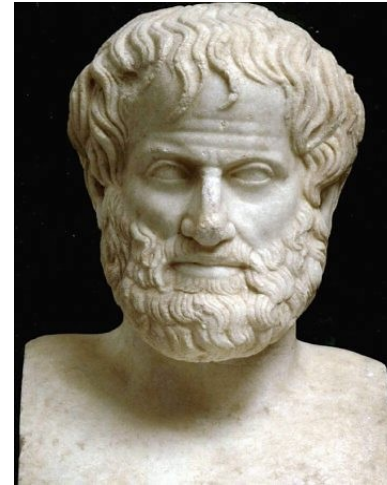
Platão



Foto de longa exposição do céu noturno

O que são Estrelas?

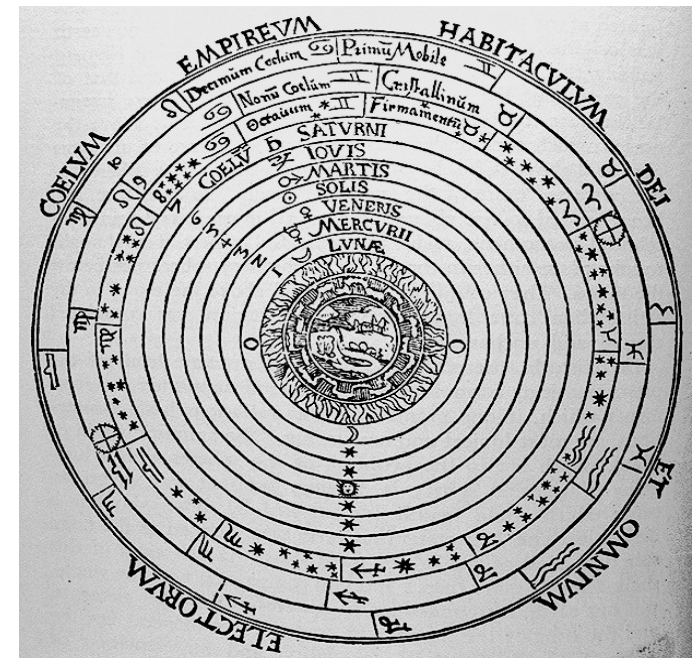
Além das estrelas, houve **sete astros** que **não** seguem este **movimento** exatamente, mas **orbitam a Terra** em outras maneiras, e foram chamados de **planetas** (“estrelas errantes”):
O **Sol**, a **Lua**, **Mercúrio**, **Vênus**, **Marte**, **Júpiter** e **Saturno**.



Aristóteles



Ptolomeu



Representação esquemática do modelo geocêntrico

O que são Estrelas?

Heráclides do Ponto (388 - 315 a. C.):

Foi o primeiro a propor, que o **movimento aparente** das **estrelas** seria devido à **rotação** da **Terra**.

A Terra giraria em torno do seu eixo em um dia na direção do oeste pro leste (“refutado” por Aristóteles). Assim, o **firmamento** fica realmente **fixo**.



Heráclides do Ponto

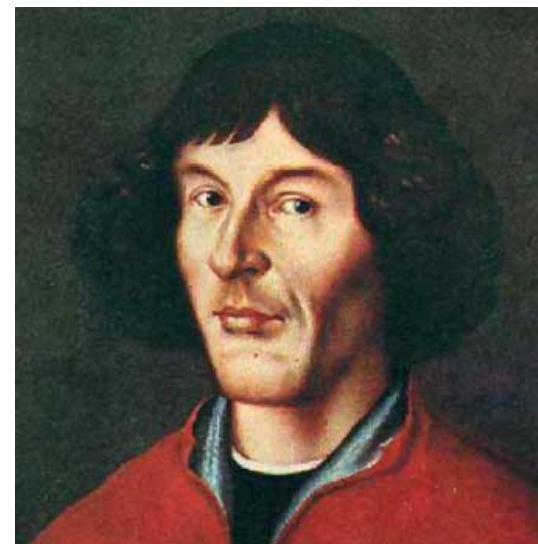
O que são Estrelas?

1543: Copérnico: Modelo Heliocêntrico

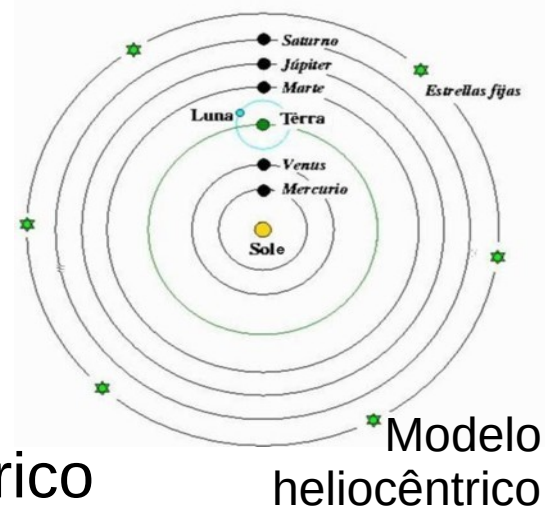
O Copérnico propôs isto também, e que o **centro** da **esfera** não fosse a Terra, mas o **Sol**, segundo ele **imóvel** (e não é mais considerado um planeta).

A **Terra** (que agora é um planeta) e os outros **planetas** (Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno) **giram** em torno do **Sol**, (A Lua, que é nem estrela, nem Sol, nem planeta, gira realmente em torno da Terra.) Es estrelas fixas continuam presas no firmamento, que agora é imóvel.

Mais sobre os modelos geocêntrico vs. heliocêntrico nas disciplinas Noções de Astronomia e Cosmologia e História da Astronomia.



Nicolau Copérnico

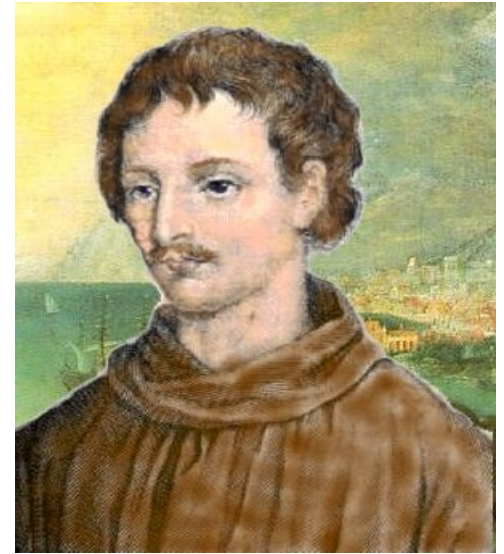


O que são Estrelas?

Giordano Bruno (1548-1600):

Frade dominicano italiano, teólogo, filósofo e escritor, sugeriu que o **Universo** seria **infinito**, que o **Sol** seria uma **estrela** como as estrelas fixas (igual como Anaxágoras e Aristarco), que existiriam **planetas** girando em torno de **outras estrelas**, e que nestes poderia existir **vida inteligente**.

Foi condenado e queimado pela inquisição.



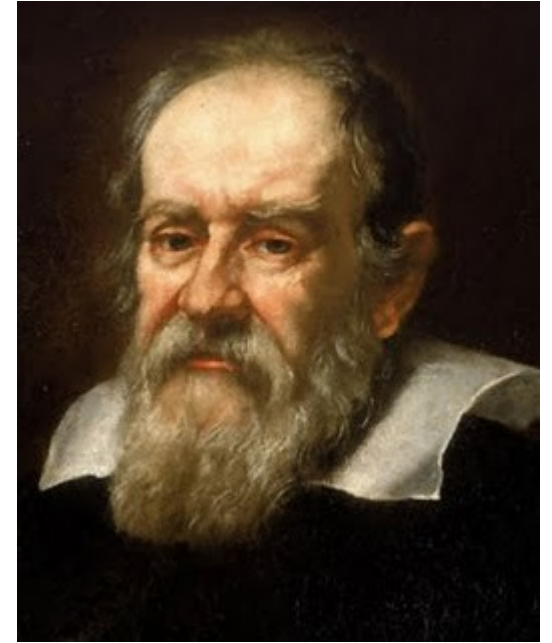
Giordano Bruno

O que são Estrelas?

Galileu Galilei (1564-1642) foi o primeiro a apontar um telescópio pro céu (1609), e é considerado o pai da **astronomia observacional moderna**.

Ele observou que há **mais estrelas**, do que aquelas **visíveis a olho nu**, i. e. a **Via Láctea** não é simplesmente uma nuvem, mas consiste de **estrelas**.

Além disso, ele observou pela primeira vez as **crateras da Lua**, as **manchas solares**, as **fases da Vênus** e as **Luas de Júpiter**, **corroborando** o modelo **heliocêntrico** de Copérnico, e fez contribuições importantes para a mecânica.



Galileu Galilei



A luneta de Galileu

O que são Estrelas?

Em 1718, Edmund **Halley** confirmou a hipótese de **Macrobius** (AD 400), de que as **estrelas** se **movimentam** no céu.

Halley conseguiu mostrar, que Sirius, Arcturus e Aldebaran tinham se deslocado por $> 0.5^\circ$ no céu em relação à posição determinada por Hiparco 1850 anos antes.

Movimento **angular** no “plano” do céu é chamado **movimento próprio**.

Movimento na direção da **linha de visada** é chamado **movimento radial**, e pode ser detectado relativamente facilmente pelo **efeito Doppler** da luz emitida pela estrela.



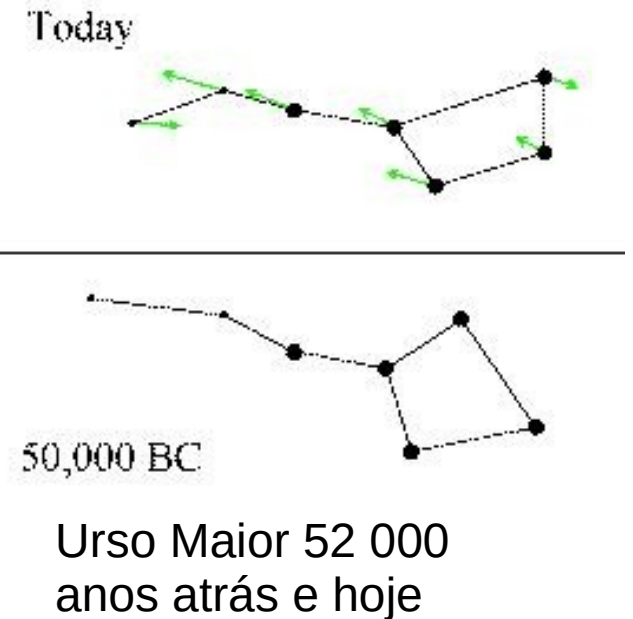
O que são Estrelas?

Por isto, as constelações mudam de aparência no decorrer das milênias.

A maioria das estrelas se movimentam por poucos milissegundos de arco por ano.

A estrela com o maior movimento próprio, a estrela de Barnard, se desloca por $\sim 10.3''$ /ano.

Nada de estrelas fixas!



O que são Estrelas?

Quão Longe são as Estrelas?

O primeiro a medir a **distância** até uma estrela fixa foi **Friedrich Bessel**, em 1838, por um método chamado **paralaxe**, um tipo de triangulação usando a órbita da Terra como base (vide daqui a pouco).

Ele achou que 61 Cygni se encontra a $\sim 10^{14}$ km daqui, distância típica para as estrelas mais próximas.

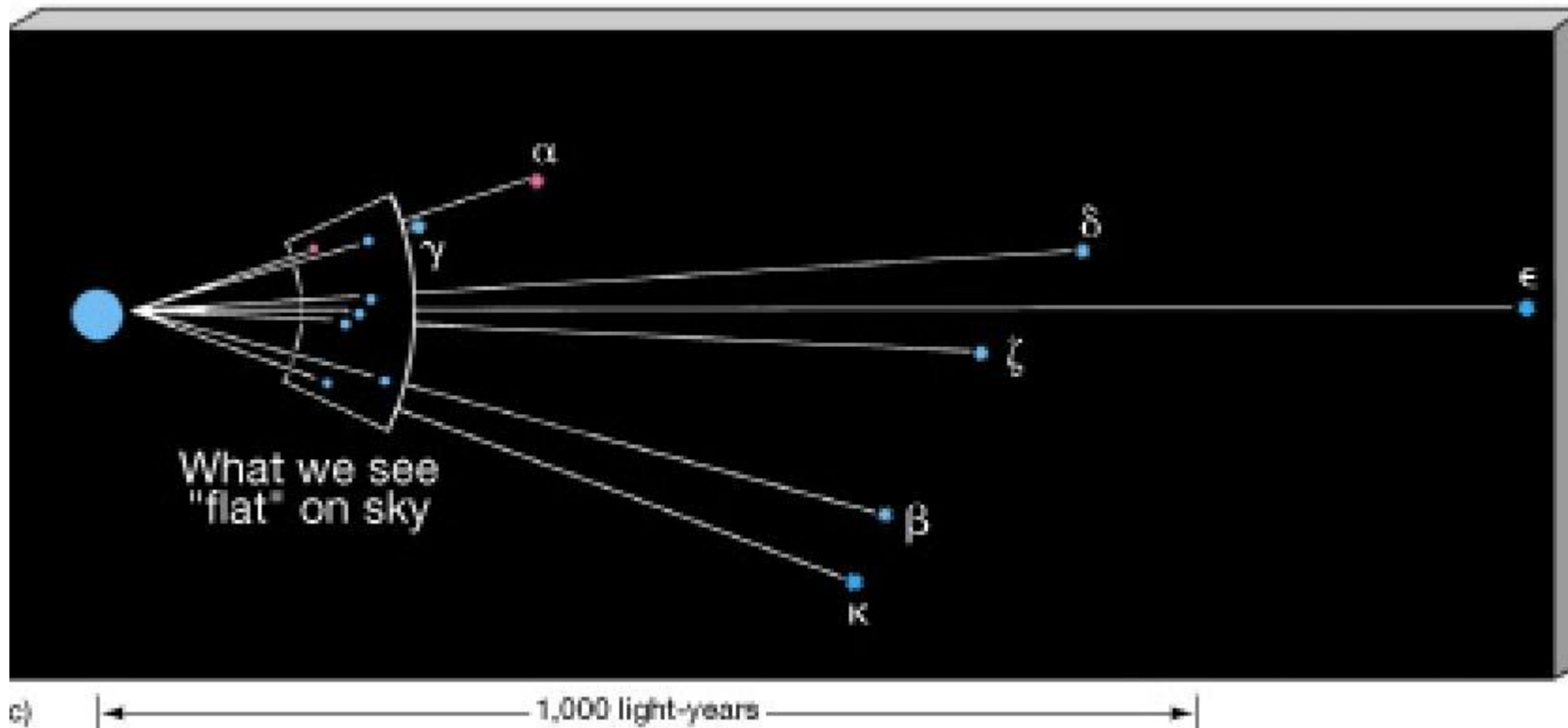
Estrelas são **muito distantes** mesmo!



Friedrich Wilhelm Bessel
(1784-1846)

O que são Estrelas?

Quão Longe são as Estrelas?



Resultado colateral: A medição das distâncias até as estrelas mostra, que as **constelações não** são **agrupamentos** reais de estrelas.

O que são Estrelas?

Para serem visíveis em distâncias tão altas por um tempo tão longo (pelo menos umas milhares de anos, mas podem ser Giga-anos (Gyr)), estrelas precisam de uma **fonte de energia** bem **forte**.

A maioria das fontes que conhecemos (energia potencial gravitacional*, química, radioativa, ...) não são suficientemente rendosos.

*A energia potencial gravitacional pode ser muito alta, sim, mas só para massas muito mais concentradas que em estrelas comuns, i. e. Buracos Negros.

A fonte de energia que explica a alta luminosidade das estrelas é a **fusão nuclear**, pois neste processo, massa é transformada em energia, o fator de conversão sendo $c^2 = 9 \cdot 10^{16} \text{ m}^2/\text{s}^2$ (=> aulas Interior das Estrelas, Nucleossíntese).

O que são Estrelas?

=> Def. **Estrela**: Uma grande e luminosa **esfera** de **plasma** ou **gás quente**, que possui **luz própria** e cuja fonte de energia é a **fusão nuclear estável** no seu interior.

Esta definição classifica os pontinhos luminosos como estrelas, mas não objetos menos luminosos como Anãs Marrons (“estrelas frustradas”, que podem fazer alguma fusão nuclear no interior, mas não estável), planetas, Anãs Brancas (“cadáveres de estrelas de baixa massa”), Estrelas de Nêutrons (“cadáveres de estrelas massa mais alta”), ...

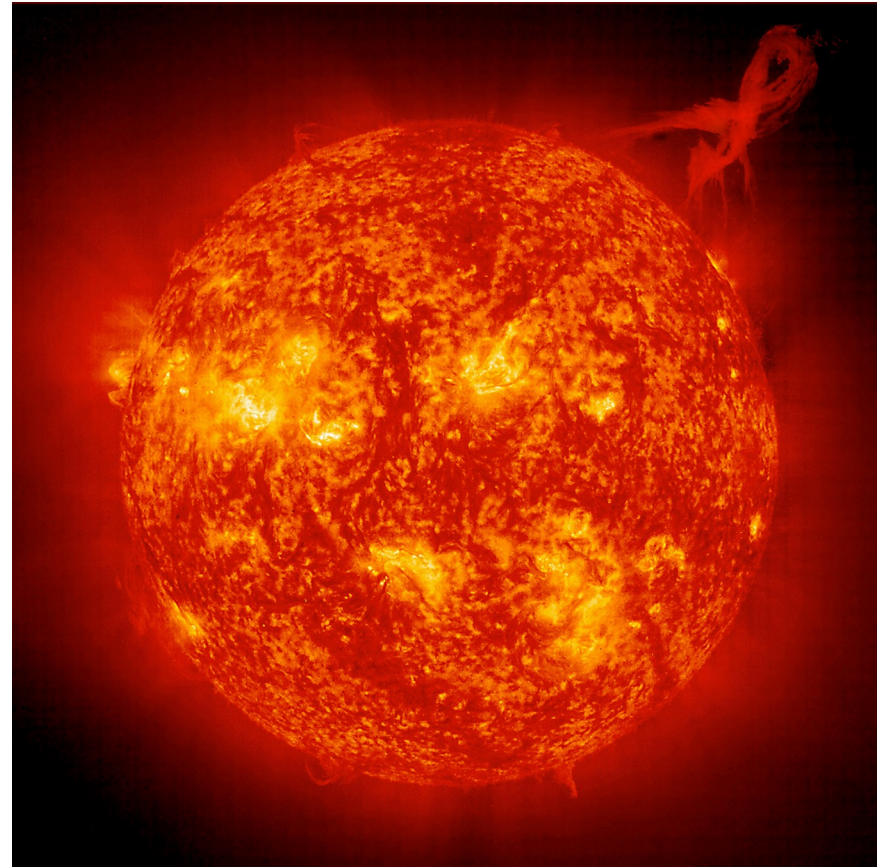
O que são Estrelas?

Segundo esta definição, o **Sol** também é uma **estrela** (e não um planeta).

Por se encontrar muito mais **próximo** da Terra que as outras estrelas, a $1 \text{ AU} = 150 \cdot 10^6 \text{ km}$, o Sol é de longe a estrela **melhor estudada**.

Até faz pouco, era a única estrela observável com uma certa **resolução angular**

(e ainda é quase a única, e as poucas outras podem ser resolvidas em poucos píxels).



O que são Estrelas?

Para muitos estudos de estrelas, o **Sol** serve como **referência**.

Usa-se, por exemplo, as unidades

massa solar:

$$M_{\odot} = 1.989 \cdot 10^{30} \text{ kg},$$

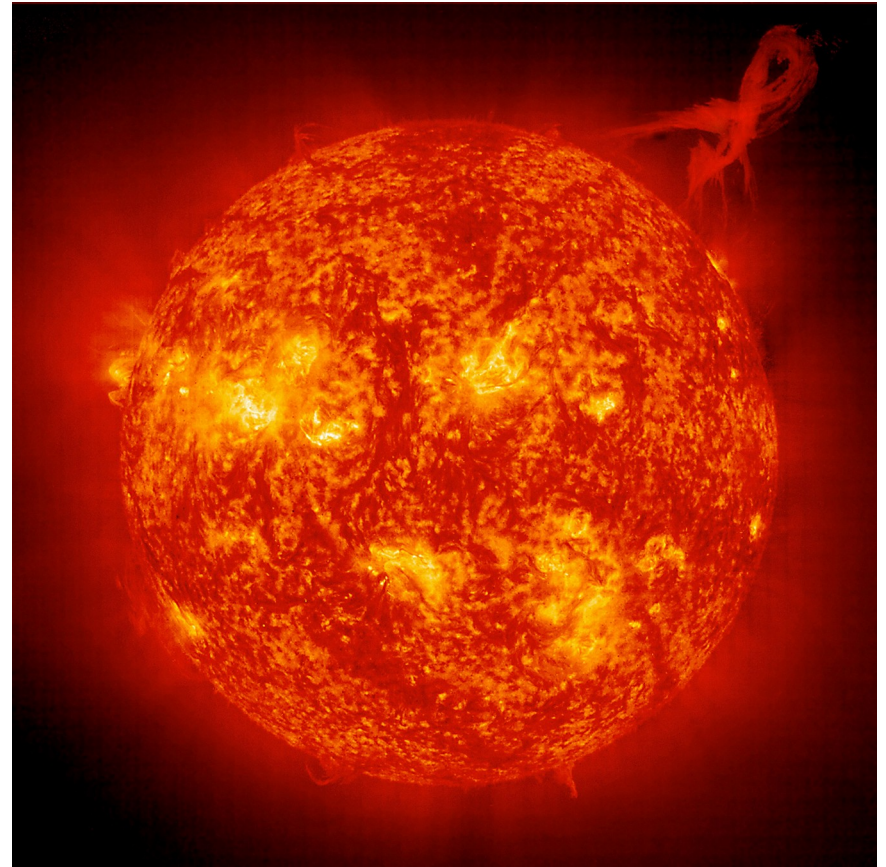
luminosidade solar:

$$L_{\odot} = 3.827 \cdot 10^{26} \text{ W},$$

e **raio solar:**

$$R_{\odot} = 6.960 \cdot 10^8 \text{ m}.$$

Terá uma aula sobre o Sol.



Algumas Unidades de Distância

1 **AU** (unidade astronômica, o siglo é do inglês *astronomical unit*) é a **distância média** entre o **Sol** e a **Terra**, o “raio” da órbita da Terra:

$$1 \text{ AU} = 1.496 \cdot 10^{11} \text{ m} \approx 150 \text{ mio. km}$$

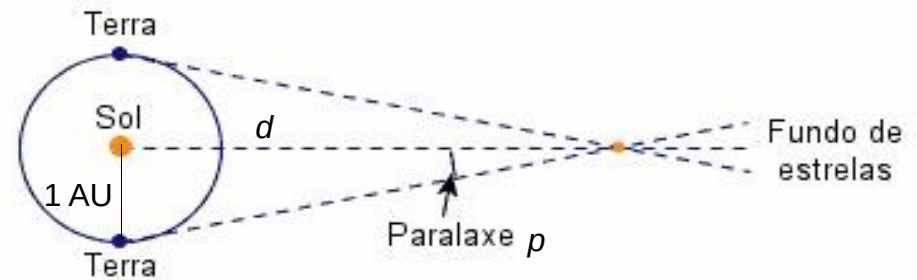
É normalmente usada para distâncias dentro do **Sistema Solar** (ou sistemas de tamanho comparável).

1 **ly** (ano-luz ou *lightyear*) é a distância, que a **luz** percorre em **um ano**:

$$\begin{aligned} 1 \text{ ly} &= 1 \text{ ano} \cdot c = 1.15569 \cdot 10^7 \text{ s} \cdot 299\,792\,458 \text{ m/s} \\ &= 9.46 \cdot 10^{15} \text{ m} \approx 9.5 \text{ trio. km} \end{aligned}$$

Algumas Unidades de Distância

1 **pc** (parsec) é a distância de um objeto cuja **paralaxe anual** (\Rightarrow desenho) mede um **segundo de arco** ($''$) (abreviação de *parallax of one second of arc*):



$$1 \text{ pc} = 1 \text{ AU} / \tan^{-1} 1'' = 206\,265 \text{ AU} = 3.26 \text{ ly} \\ = 3.086 \cdot 10^{16} \text{ m} \approx 30 \text{ trilho. km}$$

A distância d até um objeto com paralaxe anual p é:

$$d = 1 \text{ AU} / \tan^{-1} p \approx^* 1 \text{ AU} / p = 1 \text{ pc} / p['],$$

onde $p[']$ é a paralaxe em unidades de segundo de arco.

* Aproximação válida, se p é pequeno ($\Rightarrow d \gg 1 \text{ AU}$), que é o caso para objetos fora do Sistema Solar.

Algumas Unidades de Distância

1 pc é uma **distância típica** entre **estrelas vizinhas**:
A estrela mais próxima de Sol, Proxima Centauri, ou α Centauri C é a 1.3 pc daqui.

O método de paralaxe só pode ser usado para objetos (estrelas) **próximos**.
Senão, p é pequeno demais para ser medida.

O satélite Hipparcos conseguiu medir as paralaxes de $\sim 118\,000$ a 1 mi. estrelas, considerado a vizinhança do Sol.



Satélite Hipparcos

O satélite Gaia (lançado em 2013) está fazendo medidas de ~ 10 microssegundos de arco de precisão, assim conseguindo determinar as paralaxes de 20 a 200 mi. estrelas (até 10 kpc), boa parte da Via Láctea.

Alguns Métodos de Medir Distâncias

Velas Padrão

Para distâncias além do alcance da paralaxe podem ser usados vários tipos de **Velas Padrão**

Vela Padrão: Objeto, cuja **luminosidade intrínseca** L é **conhecida**.

Medindo o **fluxo** F da luz do objeto que chega em nós, e usando o fato de que o fluxo cai com o quadrado da distância d :

$$F = L/4\pi d^2,$$

dá para determinar a **distância** até o objeto: $d = \sqrt{L/4\pi F}$

Alguns Métodos de Medir Distâncias

Velas Padrão

Algumas velas padrão são: a **Sequência Principal** de **aglomerados estelares** (=> aula Evolução Estelar), **RR Lyrae** (um tipo de estrelas variáveis, => aula Estrelas Variáveis), **Cefeidas** (outro tipo de estrelas variáveis), **galáxias espirais** (relação Tully-Fisher), **Supernovas Ia** (=> aula Supernovas), e outras.

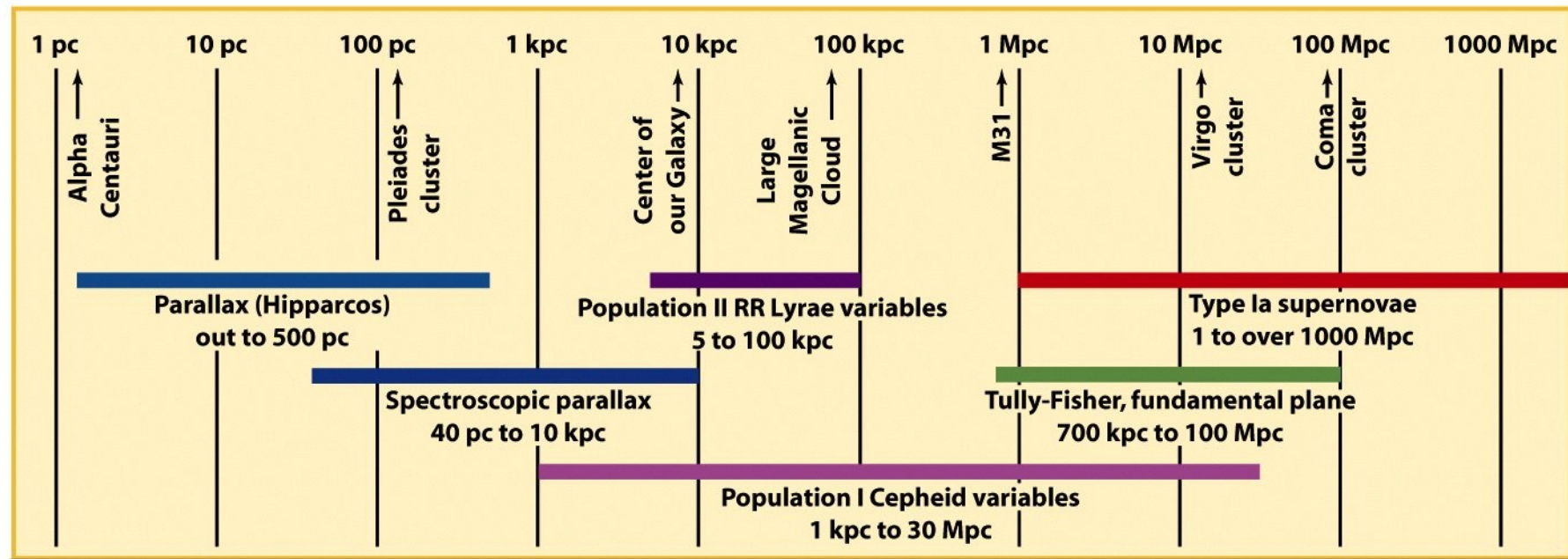
Problemas:

- Para cada tipo de vela padrão, o método tem que ser **calibrado**, i.e. a distância até um destes objetos tem que ser determinado por um outro método (ou a luminosidade intrínseca por modelos).
=> **Escala de distâncias cósmicas**.
- **Poeira interestelar** (=> aula Matéria Interestelar e Formação Estelar) pode **absorver** parte da **luz**, levando a uma sobreestimação da distância até o objeto (ou até o objeto usado pra calibração).

Alguns Métodos de Medir Distâncias

O Redshift

E como se **mede** as **distâncias** até **galáxias** muito distantes? Maioria deles são tão **longes**, que os métodos que conhecemos até agora (paralaxe, Velas Padrão como Cefeidas, etc.) não funcionam, por que não dá pra observar paralaxes, estrelas individuais, Cefeidas, etc.



Alguns métodos de medição de distâncias

Alguns Métodos de Medir Distâncias

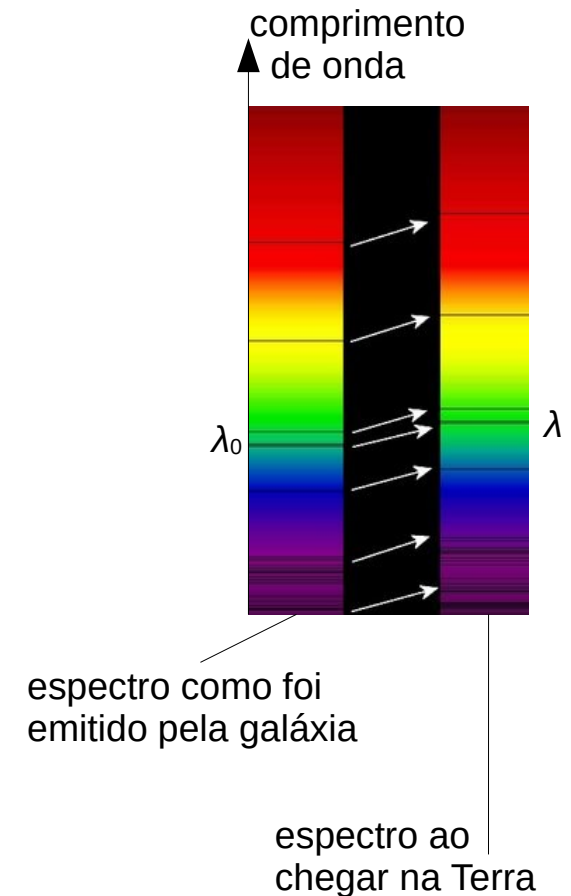
O *Redshift*

Em 1914, V. M. **Slipher** descobriu, que os **espectros** da maioria das **galáxias** são **deslocados** para **comprimentos de onda maiores** que os de repouso.

Eles sofrem um ***redshift*** (“deslocamento para o vermelho”).

Interpretando este ***redshift*** como um **efeito Doppler**, isto significaria, que estas galáxias estariam se **afastando** de nós.

Uma exceção notável é a galáxia de Andrômeda, cujo espectro sofre um ***blueshift***, e que está se aproximando.



Alguns Métodos de Medir Distâncias

O Redshift

Na verdade, **não** é exatamente um **efeito Doppler**. É a **expansão do Universo** (=> aulas Cosmologia), que “**estica**” os **comprimentos de onda** da luz que o permea.

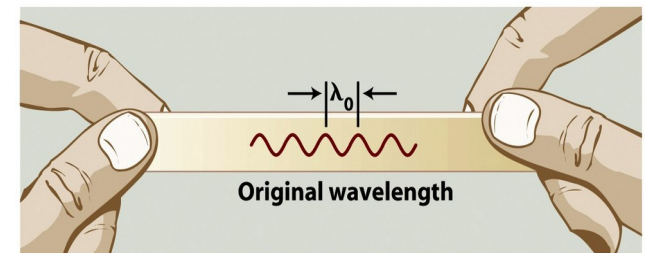
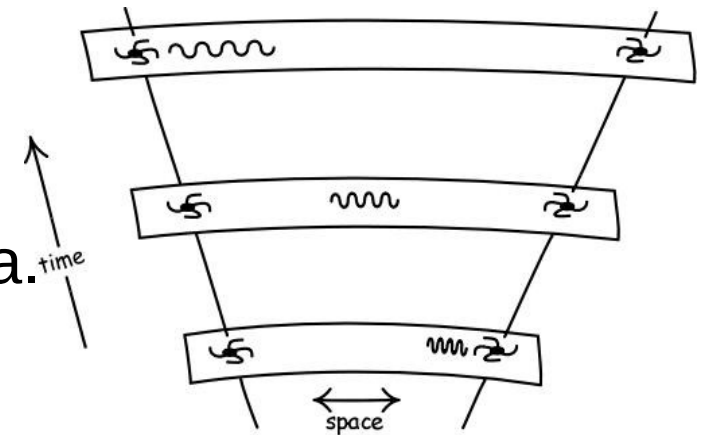
Os comprimentos de onda são esticados por um fator $1+z$, onde z é chamado de **redshift (cosmológico)**:

$$\lambda = (1+z) \cdot \lambda_0$$

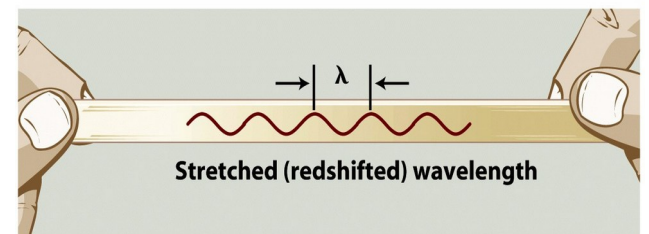
Para z pequenos ($\ll 1$), uma galáxia com redshift z está se **afastando** com velocidade

$$v = c \cdot z$$

! As próprias **galáxias não** estão **expandindo**. Elas são **gravitacionalmente ligadas**. É o **espaço entre as galáxias** que está **expandindo**.



(a) A wave drawn on a rubber band ...



(b) ... increases in wavelength as the rubber band is stretched.

Alguns Métodos de Medir Distâncias

Lei de Hubble-leMaître (1929, até 2018 Lei de Hubble):

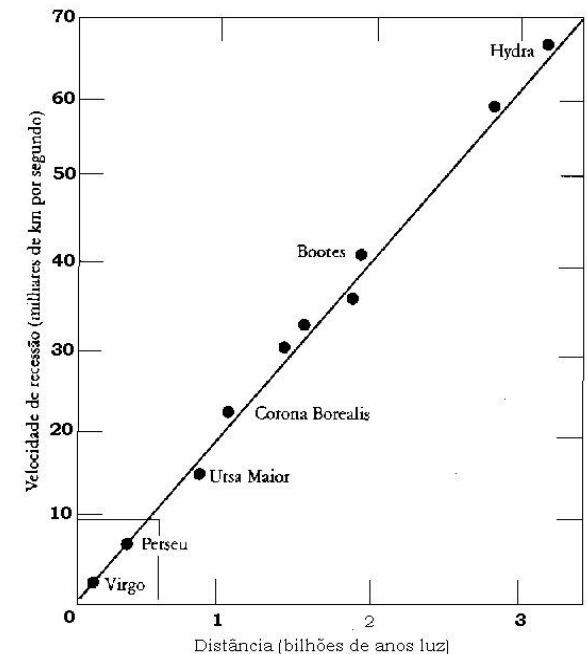
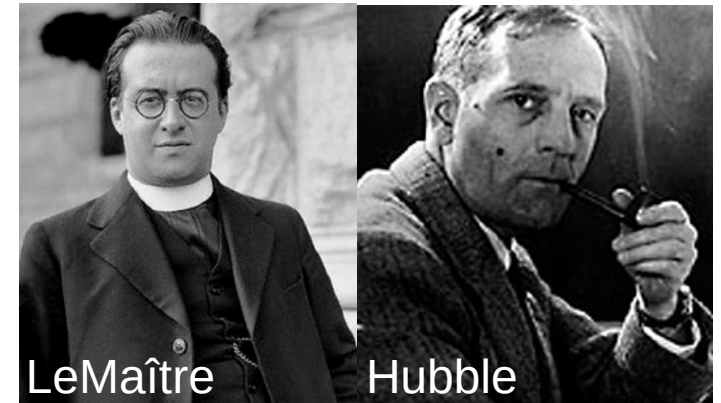
Edwin Hubble (e independentemente, Georges leMaître em 1927) descobriu, que estas **velocidades** de **recessão** das **galáxias** distantes são **proporcionais** às **distâncias** até elas (medidas usando cefeidas):

$$v = H_0 \cdot d$$

H_0 : **constante de Hubble**, medida para a **taxa da expansão** (inclinação da reta no gráfico).

O valor da constante de Hubble foi um assunto controverso por décadas, mas hoje as opiniões convergiram para um valor de $\sim 70 \text{ km}/(\text{s} \cdot \text{Mpc})$.

Diagrama de Hubble: velocidade vs. distância.



Alguns Métodos de Medir Distâncias

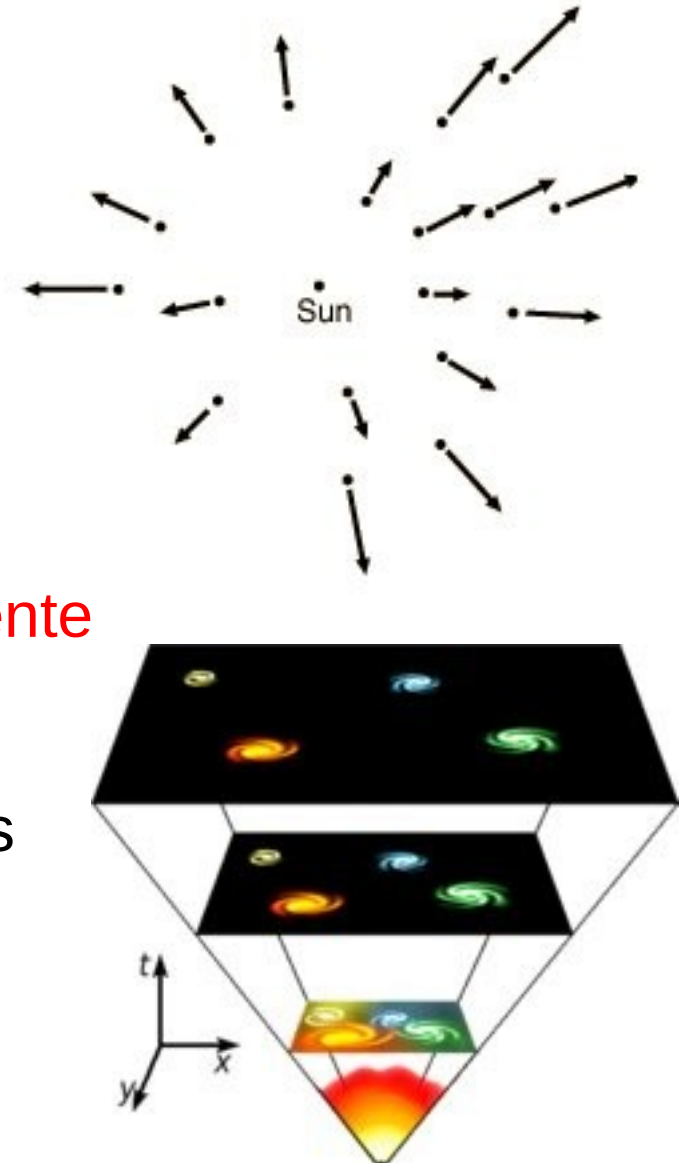
Lei de Hubble-leMaître (1929):

Se as velocidades de recessão das galáxias são proporcionais às suas distâncias até nós, então estamos no **centro** da **expansão**?

Afinal, a Terra é o **centro** do **Universo**?

Não, num Universo **expandindo uniformemente** (homogenea- e isotropicamente), **qualquer ponto** “vê” os outros pontos se afastando com velocidades proporcionais às suas distâncias.

=> **Qualquer ponto** se “sente” o **centro** do **Universo**.



Alguns Métodos de Medir Distâncias

Lei de Hubble-leMaître (1929):

Além de provar a expansão do Universo, a Lei de Hubble-leMaître nós fornece um **método para medir a distância** até uma galáxia:

medir z através de uma linha espectral conhecida:

$$z = \lambda/\lambda_0 - 1$$

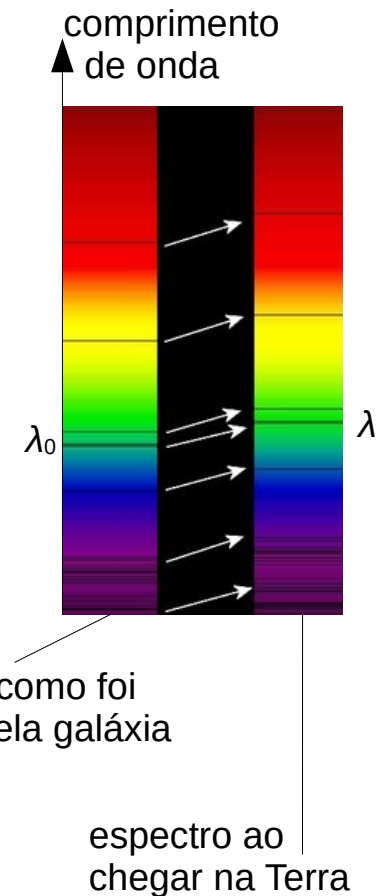
=> **Distância** $d = v/H_0 = c \cdot z/H_0$ válido para $z \leq 0.13$

até um *redshift* de 2, a fórmula

$$d \approx c/H_0 \cdot [(z+1)^2 - 1] / [(z+1)^2 + 1]$$

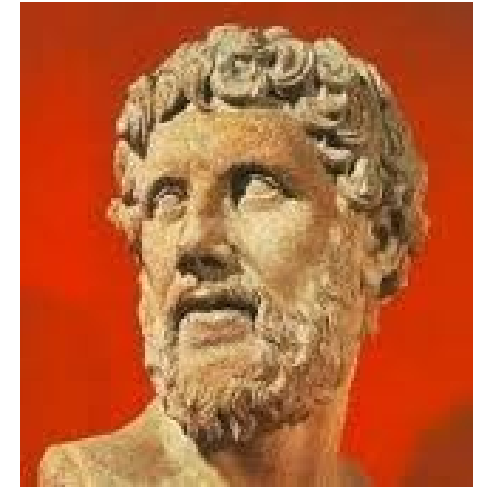
é uma boa aproximação.

Mais sobre *redshift*, expansão do Universo e assuntos relacionados nas disciplinas Noções de Astronomia e Cosmologia e Introdução à Cosmologia.



Magnitudes Aparentes

Mais de 2000 anos atrás,
o astrônomo grego **Hiparco**
(o mesmo do catálogo estelar)
inventou um sistema para classificar
as estrelas visíveis por
brilho aparente no céu,
o sistema de **magnitudes**:



Hiparco

As estrelas **mais brilhantes** eram de **1^a magnitude**,
as **mais visíveis** de **6^a magnitude**.

Magnitudes Aparentes

Como no século XIX se achava que o olho humano percebe brilho de maneira **logarítmica**, e estrelas de 1a magnitude são da ordem de **100 vezes** mais brilhantes que as de 6a magnitude, aproximaram as magnitudes por (exercício pra casa):

$$m = -2.5 \cdot \log_{10} F/F_0 = -2.5 \cdot \log_{10} F + C,$$

onde F é a intensidade da radiação observada, e F_0 , aquela de uma estrela de 0a magnitude e $C = 2.5 \cdot \log_{10} F_0$; Por muito tempo se usava a estrela Vega como “ponto zero” da escala (pelo menos na faixa do visível).

! A escala de magnitudes é **decrecente** !

Magnitudes Aparentes

As magnitudes aparentes de alguns objetos:

Sol: -26.74

Lua: -2.50 a -12.74

Vênus: -3.82 a -4.89

Júpiter: -1.61 a -2.94

Marte: 1.84 a -2.91

Mercúrio: 5.73 a -2.45

Sirius (estrela mais brilhante tirando o Sol): -1.44

Saturno: 1.47 a -0.49

objeto mais fraco já observado: ~36

Magnitudes Absolutas

A **intensidade observada** F depende da **luminosidade intrínseca** L do objeto e da sua **distância** d : $F = L/4\pi d^2$

$$\Rightarrow m = -2.5 \cdot \log_{10}(L/4\pi d^2) + C$$

A **magnitude absoluta** M é a magnitude aparente que o objeto teria, caso se encontrasse a 10 pc de distância:

$$M = -2.5 \cdot \log_{10}(L/4\pi(10 \text{ pc})^2) + C$$

É fácil de mostrar (casa) que

$$M = m - 5 \cdot \log_{10}(d/10 \text{ pc}) \Rightarrow d = 10^{(m-M+5)/5} \text{ pc}$$

A grandeza $m - M = 5 \cdot \log_{10}(d/10 \text{ pc})$ é chamada **módulo de distância**.

Magnitude Bolométrica

Caso nas fórmulas para as magnitudes é usada o **fluxo bolométrico**, quer dizer integrada sobre **todos os comprimentos de onda**,

$$F_{\text{bol}} = \int_0^{\infty} F_{\lambda} d\lambda$$

se fala de **magnitude bolométrica**:

$$m_{\text{bol}} = -2.5 \cdot \log_{10}(\int_0^{\infty} F_{\lambda} d\lambda) + C_{\text{bol}}$$

$$\text{e } M_{\text{bol}} = m_{\text{bol}} - (m - M)$$

!! C_{bol} , que seria $2.5 \cdot \log_{10} F_{0,\text{bol}}$ não é ligado à Vega; foi escolhido livremente (\Rightarrow dois slides pra frente), tal que $F_{0,\text{bol}}^*$ não tem significado.

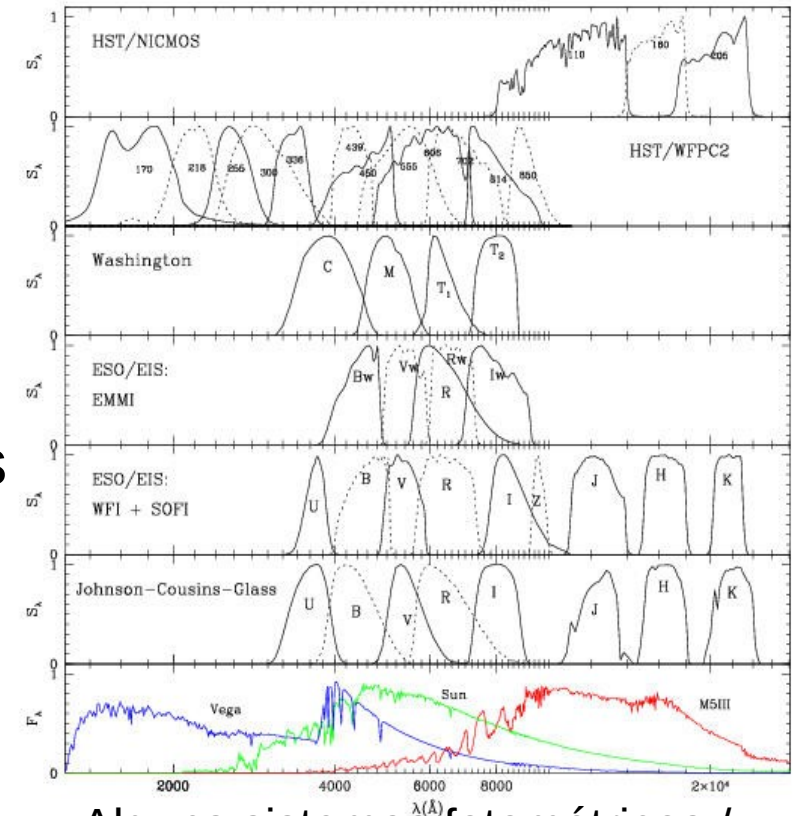
*Para quem quer saber: $F_{0,\text{bol}} = 2.518 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2$.

Bandas Fotométricas

Na prática, não se mede o fluxo em todos os comprimentos de onda, mas usando **detectores** (p. e. câmeras digitais chamadas câmeras CCD), cujas **sensibilidades** dependem do **comprimento de onda** seguindo funções características, S_λ , chamadas **bandas** ou **filtros fotométricos**.

O conjunto de bandas fotométricas de uma câmera se chama **sistema fotométrico**. Ex. No sistema Johnson-Cousins, a banda V mede no visível (verde), B no azul, e U no ultravioleta próximo.

Ex.: O fluxo que se mede no visível é $F_V = \int_0^\infty S_V \cdot F_\lambda d\lambda$
 $\Rightarrow m_V = -2.5 \cdot \log_{10} F_V + C_V$ e $M_V = m_V - (m - M)$



Alguns sistemas fotométricos / espectros de três estrelas

Bandas Fotométricas

Os **pontos zero** em **cada banda** são um assunto chato:

Até recentemente, se usava com frequência um sistema chamado VegaMag, naquele Vega servia como ponto zero:
 $m_{X,\text{VegaMag}}(\text{Vega}) = 0$ em todas as bandas X .

Hoje, é mais comum usar um sistema chamado ABmag, baseado num espectro “cinza” (naquele o fluxo por unidade de frequência é constante para todas as frequências), i.e. um hipotético astro com espectro cinza tem a mesma magnitude em todas as bandas. O “espectro cinza nível zero” foi escolhido tal, que seu fluxo coincide com o da Vega na banda V :

$$m_{V,\text{ABmag}} = m_{V,\text{VegaMag}}$$

Para quem quer saber: o fluxo por unidade de frequência de um astro cinza ponto zero é $F_\nu = 3.63 \cdot 10^{-20} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ Hz}^{-1}$.

Bandas Fotométricas

Há vários outros sistemas de pontos zero. A **conversão** entre eles se dá **somando/subtraindo constantes**, que idealmente podem ser encontrados em tabelas online.

Cores

A diferença entre m_{bol} e m_X , $BC_X = m_{\text{bol}} - m_X = M_{\text{bol}} - M_X$
 $= -2.5 \cdot \log_{10}(F_{\text{bol}}/F_X) + C_{\text{bol}} - C_X = -2.5 \cdot \log_{10}(\int F_\lambda d\lambda / \int S_X \cdot F_\lambda d\lambda) + C_{\text{bol}} - C_X$
é chamada **correção bolométrica** para a banda X , e é normalmente negativa para estrelas. (Era para ser sempre negativa, mas bobearam na escolha de C_{bol} ; Observe que não é possível definir o “ponto zero ABmag”, já que um espectro “cinza” tem fluxo bolométrico infinito).

Grandezas como

$$B - V := m_B - m_V = -2.5 \cdot \log_{10}(F_B/F_V) + C_{B-V}$$
$$= -2.5 \cdot \log_{10}(\int S_B \cdot F_\lambda d\lambda / \int S_V \cdot F_\lambda d\lambda) + C_{B-V},$$

onde $C_{B-V} = C_B - C_V$,

se chamam **cores**.

Cores

exemplo: a cor $B - V = -2.5 \cdot \log_{10}(F_B/F_V) + C_{B-V}$,
quantifica, se o objeto é mais brilhante no verde ou no azul,
então $B - V$, $U - B$, etc. dão uma dica sobre a **cor** do objeto.
Normalmente, a banda concentrada em comprimentos de
onda menores entra com sinal positivo e a banda de
comprimentos de onda maiores, com sinal negativo.

Em geral: Quanto **maior** é a **cor**, tanto mais o espectro é
concentrado em **comprimentos de onda longos**
(Na língua dos astrónomos: tanto mais **vermelho** é o objeto;
para o caso oposto, ele diz: tanto mais **azul** é o objeto.).

Vega tem cor **zero** em **todas** as **cores**, i.e. todos os pares de
bandas fotométricos no sistema **VegaMag** (já que $0 - 0 = 0$),
e um astro com **espectro cinza**, no sistema ABmag.

Cores

Não é difícil mostrar, que a **cor** de um objeto **independe** da sua **distância** (bom exercício para casa).

Uma consequência disso é que se pode usar tanto **magnitudes aparentes**, quanto **magnitudes absolutas** para calcular a **cor** de um objeto

(afinal uma magnitude absoluta é nada outro que a magnitude aparente numa dada distância, i.e. 10 pc):

$$M_X - M_Y = m_X - m_Y = X - Y.$$

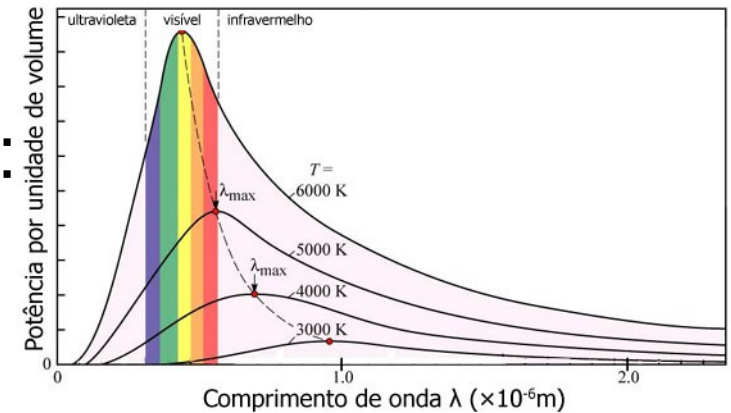
Cores

Lembrete de Estrutura da Matéria, Física Quântica, etc. (Corpo Negro):

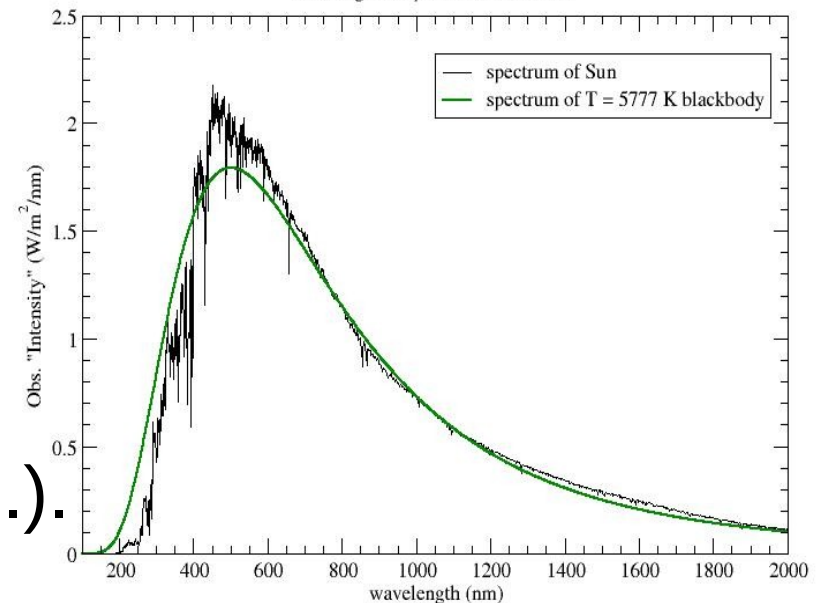
A **cor** de um corpo que brilha por **conta própria** (i. e. uma estrela) é correlada com a sua

temperatura:

Quanto **maior** é $B - V$ (ou outra cor), tanto **mais baixa** é a **temperatura** da estrela (podem existir exceções, já que o espectro de uma estrela não é exatamente o de um Corpo Negro.).



Sun's Spectrum vs. Thermal Radiator
of a single temperature $T = 5777$ K



Espectro do Sol e de um Corpo Negro da mesma temperatura



Universidade Federal do ABC

Introdução à Física Estelar

FIM PRA HOJE

