

Distâncias Astronômicas-1

A Importância da Informação da Distância

Escalas de Distâncias do Universo

Estimativas de Distância em Pequena Escala

...os métodos abaixo serão apresentados no avanço do curso...

Método da Paralaxe Trigonométrica

Método da Vela Padrão

<http://astroweb.iag.usp.br/~aga210/>

Sandra dos Anjos

JOURNEY INTO THE UNIVERSE THROUGH TIME AND SPACE

WHEN PRIMITIVE MAN gazed at the void of heaven, his eye discerned at most a few thousand stars—a serene and limited universe. But now, far beyond the range of feeble sight, out on the limitless curve of space and time, science has revealed a universe of unimaginable size and inconceivable violence. Billions upon billions of stars—like our sun—burn with the energy of a thermonuclear furnace. Many die in explosions that litter the reaches of space with gas and dust from which new stars and planets are born.

When time began—perhaps as long as twenty billion years ago—all mass and energy were compressed almost to infinite density and heated to trillions upon trillions of degrees. A cosmic explosion rent that featureless mass, creating a rapidly expanding fireball. It has been cooling and slowing ever since.

But what came before the big bang, and how will it all end? Billions of years hence, will gravity overcome the expansion and pull all matter back into its primordial state—in a big crunch? And if the universe is closed, might another big bang follow, with another expansion? Or, as many astronomers now believe, will an ever expanding, or open, universe end in a whimper, its galaxies scattered irretrievably, their star fires spent and cold? For now, the questions are the domain of the philosopher as well as the astronomer.

WELBURN I. GARRETT, EDITOR
 DEBRA K. CASPER, JR., CHIEF CARTOGRAPHER
 ANDREW J. DAUFY, SENIOR ASSOCIATE EDITOR
 JOHN Y. WU, ASSOCIATE EDITOR
 WASHINGTON: JUNE 1983

Designer: John F. Don, Bell Press
Compilation: Charles F. Case, Research, Lasky & Rogers
Text: Alice J. Hall, Kenneth F. Weaver, Art, Lloyd K. Thomas
Principal Consultants: George D. Abell, Herbert Friedman

Beyond the Milky Way we have located galaxies in every direction. Our own is part of a loosely bound cluster of some 20 galaxies, called prosaically the Local Group. "Galaxies are to astronomy what atoms are to physics," astronomer Allan Sandage has said, and this group illustrates the variations.

The Milky Way, its sister Andromeda (M31), and the smaller M33 are fast-rotating spirals. Hundreds of star clusters and dust clouds lie within the Andromeda galaxy, itself once mistakenly identified as a nebula or cloud in the Milky Way galaxy.

NGC 105 is an elliptical galaxy, consisting mainly of old stars. The Large and Small Magellanic Clouds are irregular galaxies, described as haze in the southern sky by Magellan's crew in 1520. These member galaxies, all moving in random paths, are held together by gravity, even as the universe expands.

In whatever direction we look into deep space, we can detect clusters of galaxies and superclusters, all moving away from us. Toward the observable horizon, we see quasars—quasi-stellar objects—and the uniform glow of radiation from the big bang. There is no center; any observer anywhere would see this same effect. The universe is isotropic; that is, it looks the same in

Quasars, the most distant objects yet observed, are among the most curious and the most energetic. Each of the brightest quasars emits the energy of hundreds of galaxies from a volume far smaller than our Milky Way; such is probably the violent nature of a distant galaxy. The furthest quasars are rushing away from us at more than 90 percent the speed of light. Their light traveled billions of years to reach us. During that time they evolved, and what they are like today we have no way of knowing. To look at such objects is to see the universe as it was billions of years ago.

- ☛ Superclusters
- ☛ Clusters of Galaxies
- ☛ Quasars

Cylinders II through VI, with grids measured in light-years, show increasingly large volumes of space. The grids help calculate the distance of celestial objects from an imaginary center, not from each other, while green drop lines help locate the relative positions of objects within the cylinders. The known universe (6) is presented on a flat disk with a radius of 20 billion

Letters and numbers refer to catalog listings, such as A 2514 in the *ATLAS* catalog of rich clusters. M stands for Messier, and NGC for New General Catalogue.

Only now was thought to be the place where until discoveries in the 1930s we knew it is only one of billions of galaxies. It is a gravitationally binding congregation of billions of billions of stars. The average glows with the light of 100 billion stars. Globular clusters contain a galaxy's oldest stars—perhaps as old as 10 to 15 billion years. Gas and dust condensing in the spiral arms are now forming new stars. In one arm alone circles the galaxy center every 200 million years, traveling at 100 km/sec. New evidence suggests the galaxy is enveloped by a large halo of hydrogen and dark, unseen matter.

A vast cloud of gas and dust collapses some 4.6 billion years ago. Compression spawns a star in the hub of the rotating, disk-shaped mass, and our sun's thermonuclear furnace fires up. Various materials condense from the cooling disk, collide, and coalesce to form the planets and other features of our solar system. The three terrestrial, or earthlike, planets shown here are solid spheres with metallic cores. Earth and Venus possess atmospheres, but only earth's sustains life. When our middle-aged sun exhausts its hydrogen fuel, it will expand, devouring Mercury and Venus and turning the earth into a scorching inferno.

Clusters of galaxies—like fleets of ships—congregate in superclusters, the largest of celestial formations. Virgo, the closest rich cluster to our Local Group, is some 50 million light-years away, near the center of our local supercluster. It is considered rich because it has thousands of member galaxies.

Exciting new observations of superclusters have shown enormous volumes of relatively empty space, or voids, between superclusters. Some cosmologists speculate that the universe resembles a sponge in which the superclusters are interconnected, resembling thin filaments stretching between giant voids.

Astronomers calculate the masses of rich clusters as one way to estimate the density of matter in the universe. If that density is at or below a critical number, matter will fly apart forever in the expansion initiated by the big bang. If the density is greater, gravitational braking will slow the motion until the universe falls back together.

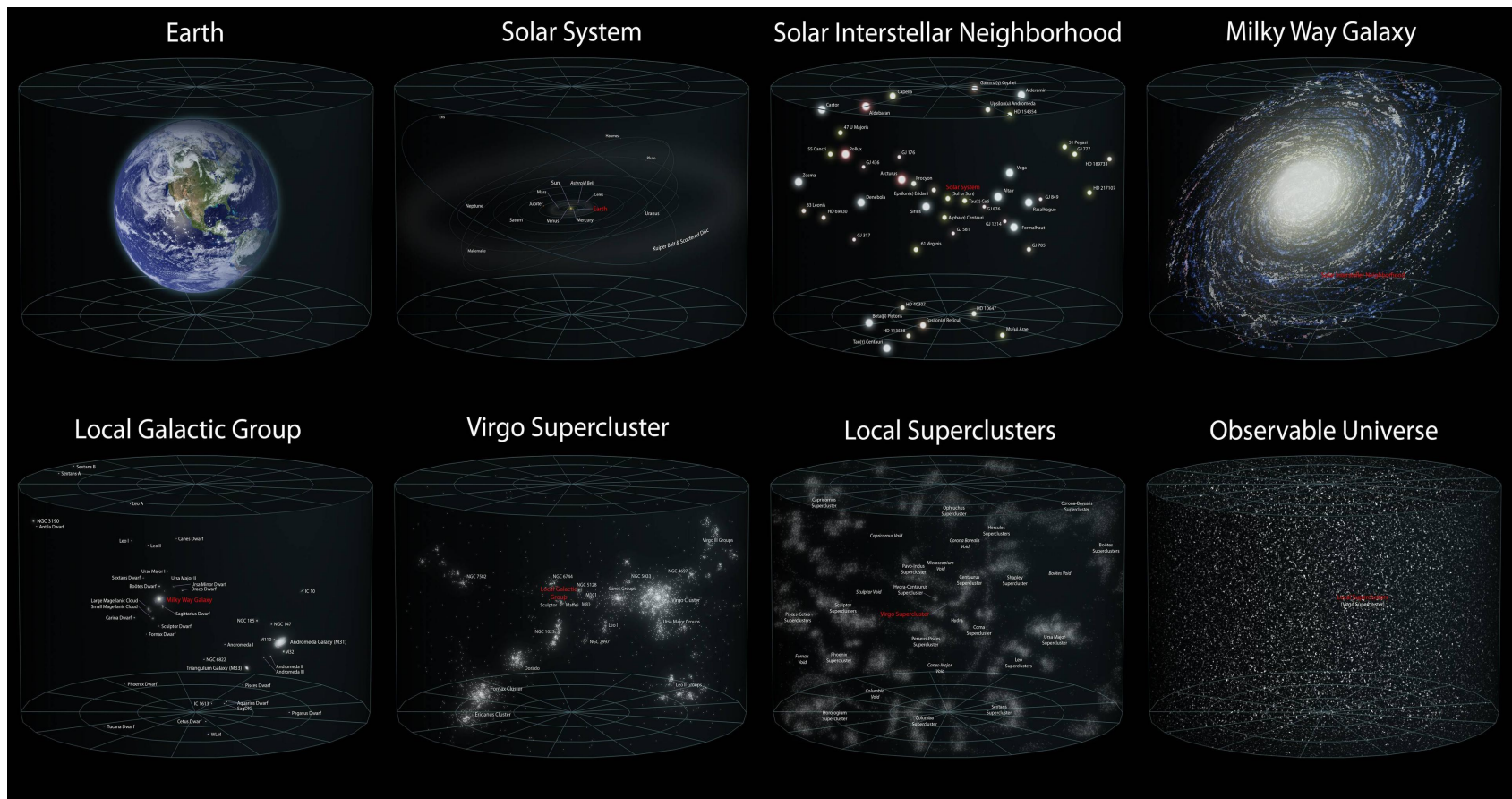
- Clusters of Galaxies
- Single Galaxies

The sun is in universal terms an ordinary yellow star, shown here with its 20 closest neighbors. Distances are given in light-years—how far light travels in one year, at almost 300,000 kilometers (186,000 miles) a second. For instance, to take a full 8 minutes to cross the 150 million km to our windows. That same light travels 4 more hours before reaching the planet Mars or six days to reach Earth. It touches Alpha Centauri, our nearest stellar neighbor, 4.3 light-years, or 40 trillion km, away.

Alpha Centauri is actually a multiple system with three stars locked in a gravitational embrace that has lasted for eons. Indeed, many stars are binary or multiple. Single stars, though, seem more likely to have planetary systems like our own. The Space Telescope is to spend much of its time studying a small star system associated with Barnard's star, almost 6 light-years away.

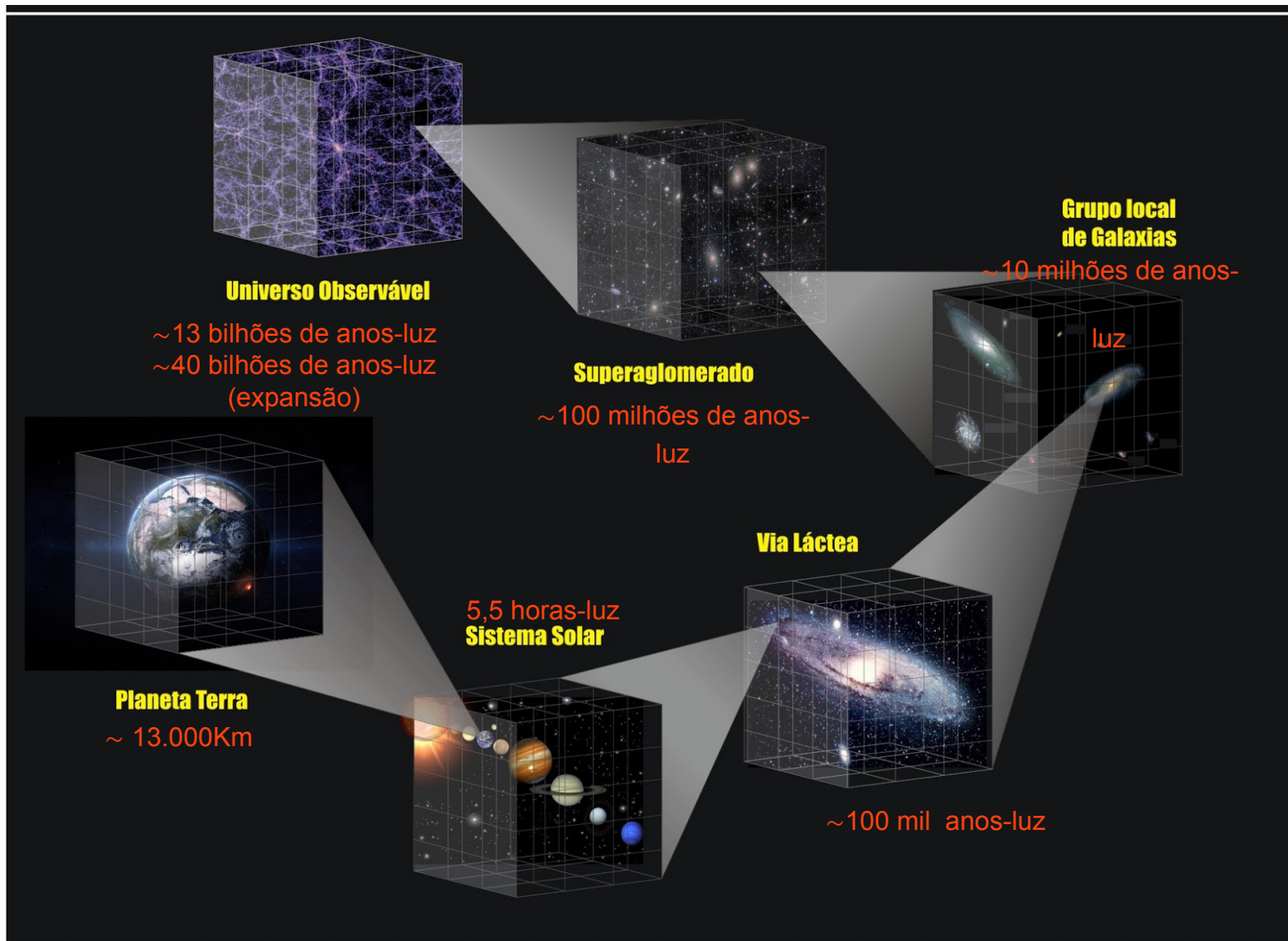
- -26.8 (the sun) to $+6$, visible to the unaided eye.
- $+6$ to $+10$, visible with binoculars or a small telescope.
- $+10$ to $+15$, most are visible with a 20cm (8in) telescope.

Colors of stars indicate their temperature: red to blue-white, the hottest.



Mas....,surpreendentemente, em escalas maiores do que da ordem de bilhões de anos-luz (“grande escala”) → Universo é HOMOGÊNEO...!

Escalas de Dimensões no Universo → “anos-luz”



Vamos ver então como é definido “ano-luz” seus múltiplos e submúltiplos....e outras unidades utilizadas na Astronomia e Astrofísica

Escalas de Dimensões e Distâncias no Universo

O sistema de unidades oficial utilizado por Físicos e Astrônomo é o “Sistema Internacional – SI”

- Distâncias (**D**) são expressas em metros (**m**)
- Massas (**M**) em kilograma (**kg**)
- Tempo (**T**) em segundos (**s**)

Para lidar com a amplitude de valores utilizados em Astronomia e Astrofísica, utiliza-se notação científica, nos quais os números são expressos em **potências de 10**. Abaixo, damos alguns exemplos aproximados para entender a necessidade deste tipo de notação.

--> **Dimensões atômicas típicas = 0,0000000001 m = 10^{-10} a 10^{-9} m**

--> **Dimensões Planetas = 1.000.000 = 10^6 a 10^7 m**

--> **Distância Terra-Sol = 150.000.000 km = 1.5×10^8 km = 1 UA**

--> **Dimensão do Sistema Solar = 10.000.000.000 km = 1×10^{10} km**

--> **Dimensão da Via Láctea = 120.000.000.000.000.000 km = 1.2×10^{17} km**

--> **Dimensão de SuperAglom. = 1.000.000.000.000.000.000.000 km = 1×10^{21} km**

Definição de algumas Unidades Especiais Convenientes na Astronomia

Algumas unidades especiais são utilizadas por astrônomos para facilitar a compreensão, manipulação e comparação de medidas, são elas:

- **Unidade Astronômica (U.A)** = Definida como sendo a distância Terra-Sol

$$1 \text{ UA} = 1,5 \times 10^{11} \text{ m} \text{ ou } 1,5 \times 10^8 \text{ km}$$

- **Ano-luz (A.L)** = Distância que a luz percorre em 1 ano, no vácuo, com velocidade da luz (c). É, portanto, uma síntese, uma medida de distância em 4 dimensões (pois leva em conta 3 dimensões espaciais e uma de tempo – ver relatividade aulas 8 e 9).

$$1 \text{ AL} = 9,5 \times 10^{15} \text{ m} \text{ ou } 9,5 \times 10^{12} \text{ km}$$

- **Parsec (pc)** = Distância na qual um astro teria com uma “paralaxe” de 1 seg. de arco

$$1 \text{ pc} = 3,26 \text{ A.L}$$

* Paralaxe é diferença na posição aparente de um objeto visto por observadores em locais distintos. A medida da paralaxe é feita a partir de medidas de triangulação para obtenção de um ângulo....

Vamos entender melhor a seguir, os submúltiplos de Ano-Luz (AL) e a definição de Parsec (pc)

Ano-Luz e Sub-Multiplos

É comum e útil utilizarmos também as sub-unidades do ano-luz tais como a hora-luz, o minuto-luz e o segundo-luz

Uma **hora-luz** é a distância percorrida pela luz em uma hora. Ela corresponde a

1 079 252 820 km

Um **minuto-luz** é a distância percorrida pela luz em um minuto. Ele corresponde a

17 987 547 km.

Um **segundo-luz** é a distância percorrida pela luz em um segundo. Ele corresponde a **299 792 km.**

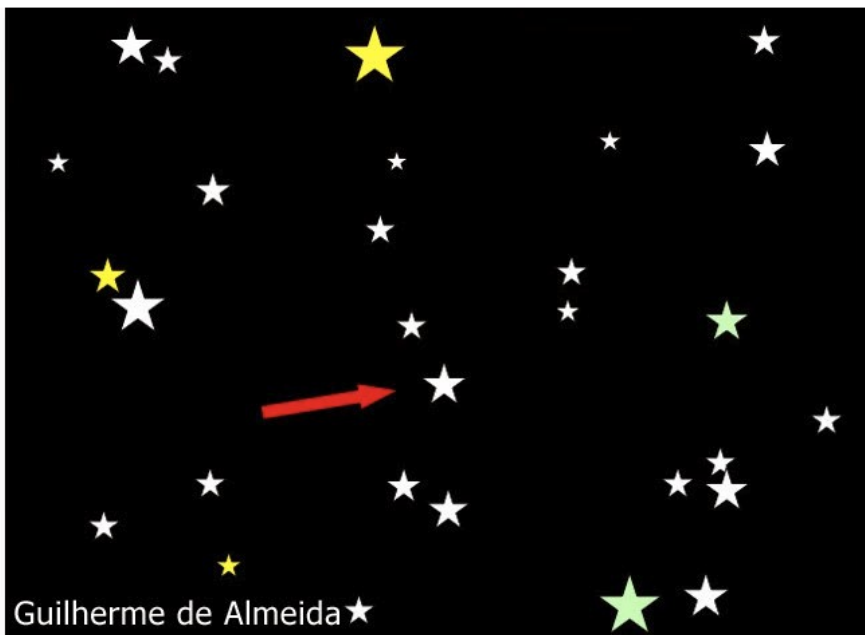
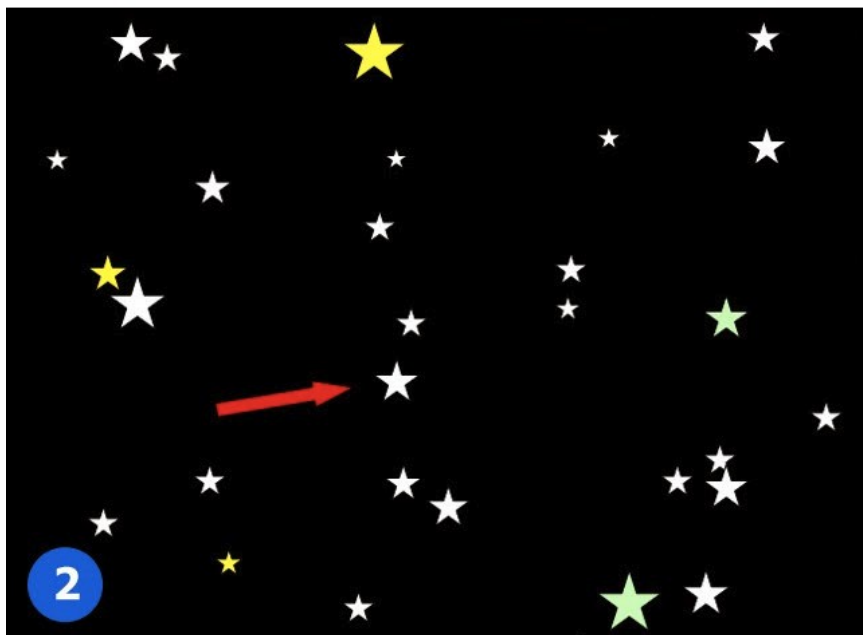
Importante: o ano-luz e seus submúltiplos, hora-luz, minuto-luz e segundo-luz, **são unidades de medida de distância e não de tempo.**



Olho esquerdo



Olho direito



Algumas considerações sobre o parsec...



Definição de Paralaxe

Alteração aparente de um objeto contra um fundo (de estrelas) devido ao movimento do observador. (Fig.1)

É o ângulo (p) formado pelas semirretas que partem do centro de um astro e vão ter, uma ao centro da Terra, outra ao ponto onde se acha o observador.

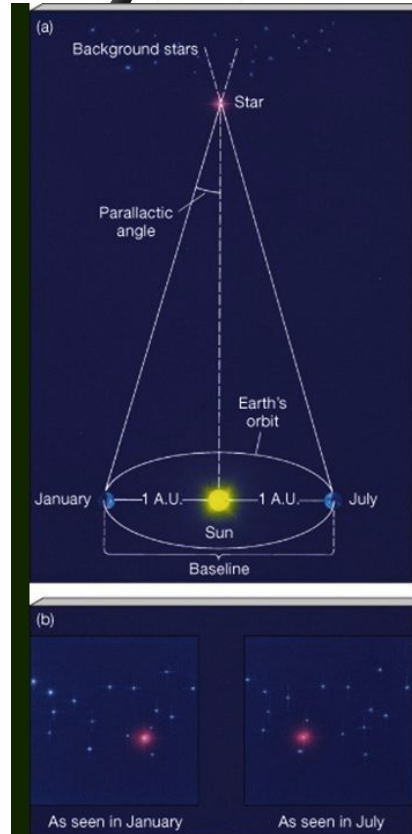


Fig.1

II. Paralaxe estelar

- Estende-se a linha de base para o diâmetro da órbita da terra
- definição: 1pc = distância sol-estrela se a paralaxe medida for de 1''

$$D(\text{pc}) = \frac{1}{\text{paralaxe}('')}$$

aplicável as estrelas mais próximas (até ~ 30 pc)

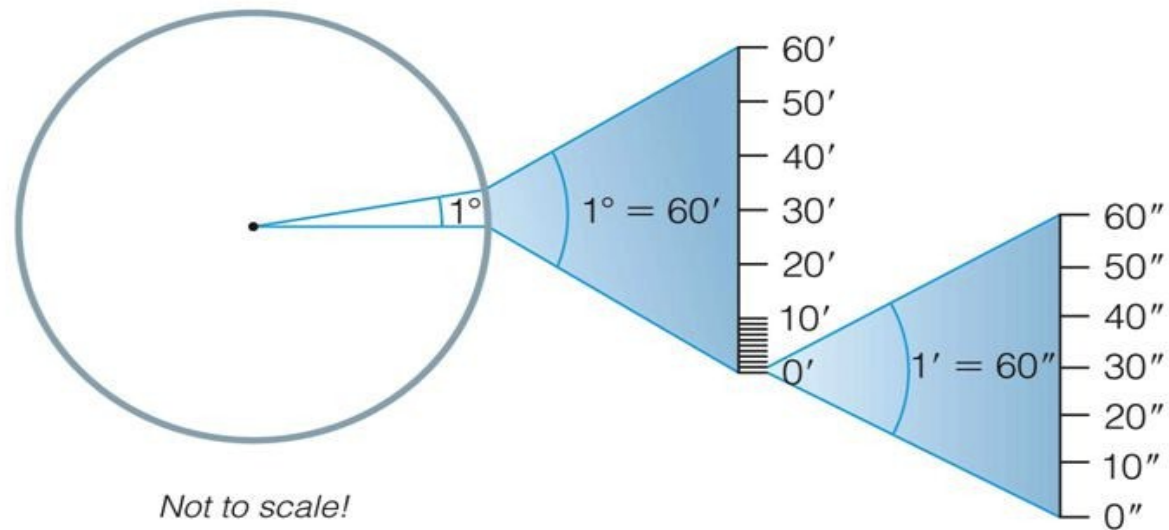
alguns milhares de estrelas

método dependente do *seeing*

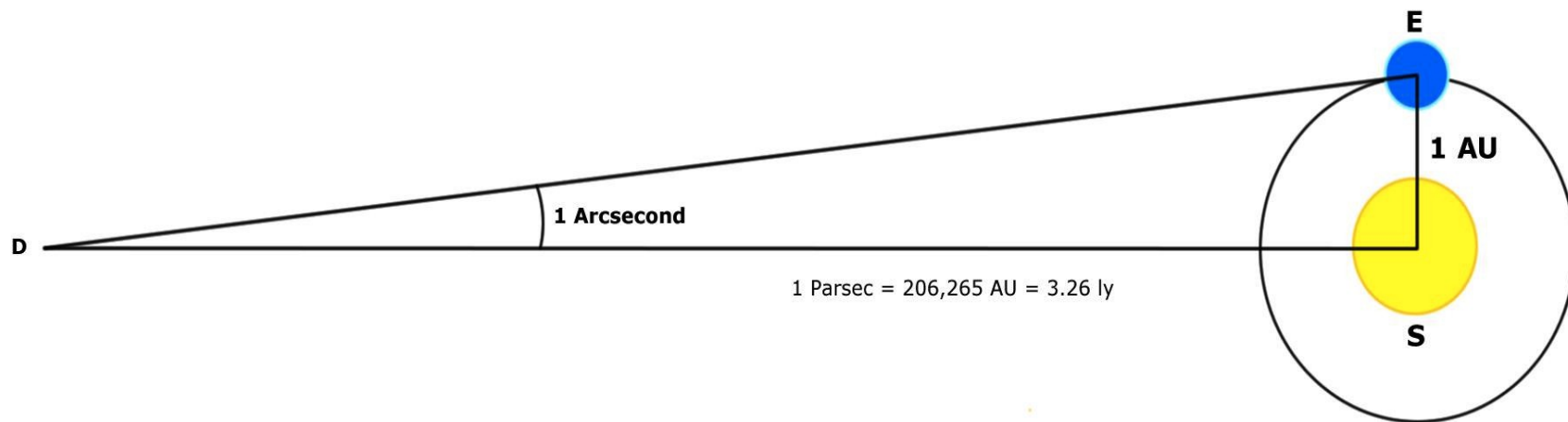
Parsec: unidade de distancia definida a partir do raio de órbita da Terra quando é visto sob um ângulo de 1'' → 1 pc = 3,26 A.L

Para tanto, é preciso lembrar de algumas definições de medidas angulares:

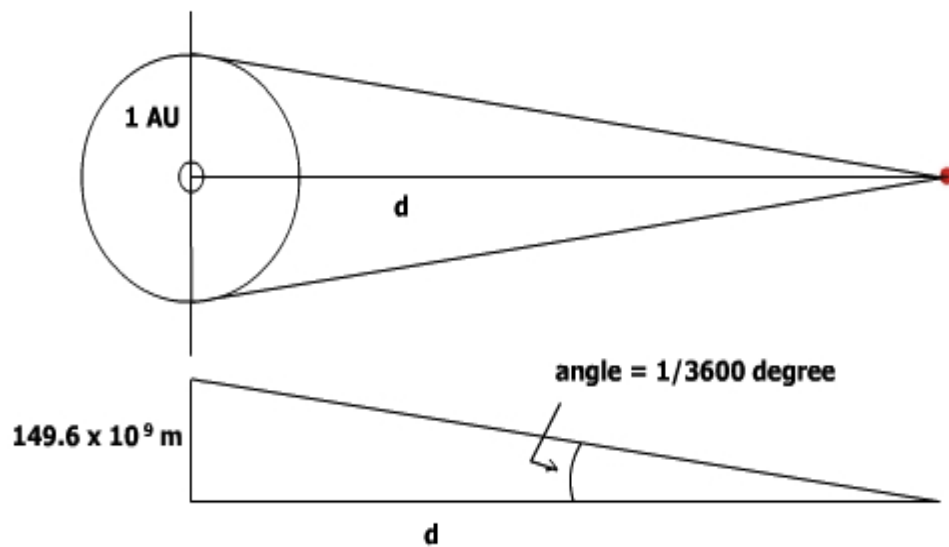
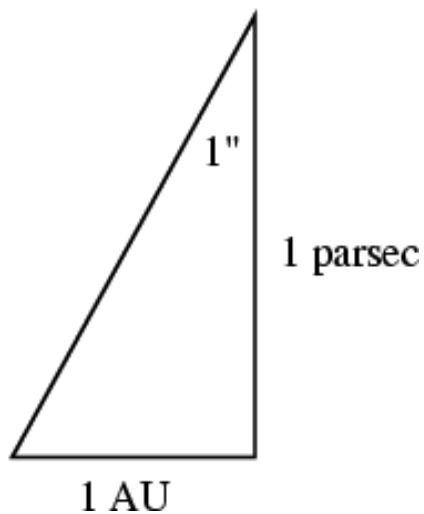
- Full circle = 360°
- $1^\circ = 60'$ (arcminutes)
- $1' = 60''$ (arcseconds)



Not to scale!



$$\tan(1'') = \frac{1 \text{ AU}}{1 \text{ pc}}$$



$$\tan(1/3600) = \frac{149.6 \times 10^9 \text{ m}}{d} \quad \text{so } d = \frac{149.6 \times 10^9 \text{ m}}{\tan(1/3600)} = 3.08 \times 10^{16} \text{ m}$$

Tabela 1 – Unidades e Medidas Astronômicas

Length:

1 angstrom (Å)	= 10^{-10} m	atomic physics, spectroscopy
1 nanometer (nm)	= 10^{-9} m	
1 micron (μm)	= 10^{-6} m	interstellar dust and gas
1 centimeter (cm)	= 0.01 m	in widespread use
1 meter (m)	= 100 cm	throughout all
1 kilometer (km)	= 1000 m = 10^3 m	astronomy
Earth radius ($R_{\oplus}$)	= 6378 km	planetary astronomy
Solar radius ($R_{\odot}$)	= 6.96×10^8 m	solar system, stellar evolution
1 astronomical unit (A.U.)	= 1.496×10^{11} m	
1 light year (ly)	= 9.46×10^{15} m = 63,200 A.U.	galactic astronomy, stars and star clusters
1 parsec (pc)	= 3.09×10^{16} m = 3.26 ly	
1 kiloparsec (kpc)	= 1000 pc	galaxies, galaxy clusters,
1 megaparsec (Mpc)	= 1000 kpc	cosmology

Mass:

1 gram (g)		in widespread use in many different areas
1 kilogram (kg)	= 1000 g	
Earth mass ($M_{\oplus}$)	= 5.98×10^{24} kg	planetary astronomy
Solar mass ($M_{\odot}$)	= 1.99×10^{30} kg	“standard” unit for all mass scales larger than Earth

Time:

1 second (s)		in widespread use throughout astronomy
1 hour (h)	= 3600 s	planetary and stellar scales
1 day (d)	= 86400 s	
1 year (yr)	= 3.16×10^7 s	virtually all processes occurring on scales larger than a star

Tabela 2 – Constantes Úteis e Medidas Físicas

Some Useful Constants and Physical Measurements*

astronomical unit	1 A.U. = 1.496×10^8 km (1.5×10^8 km)
light year	1 ly = 9.46×10^{12} km (10^{13} km; 6 trillion miles)
parsec	1 pc = 3.09×10^{13} km = 3.3 ly
speed of light	$c = 299,792.458$ km/s (3×10^5 km/s)
Stefan-Boltzmann constant	σ [Greek sigma] = 5.67×10^{-8} W/m ² · K ⁴
Planck's constant	$h = 6.63 \times 10^{-34}$ Js
gravitational constant	$G = 6.67 \times 10^{-11}$ Nm ² /kg ²
mass of the Earth	$M_{\oplus} = 5.97 \times 10^{24}$ kg (6×10^{24} kg; about 6000 billion billion tons)
radius of the Earth	$R_{\oplus} = 6378$ km (6500 km)
mass of the Sun	$M_{\odot} = 1.99 \times 10^{30}$ kg (2×10^{30} kg)
radius of the Sun	$R_{\odot} = 6.96 \times 10^5$ km (7×10^5 km)
luminosity of the Sun	$L_{\odot} = 3.90 \times 10^{26}$ W
effective temperature of the Sun	$T_{\odot} = 5778$ K (5800 K)
Hubble constant	$H_0 \approx 75$ km/s/Mpc
mass of the electron	$m_e = 9.11 \times 10^{-31}$ kg
mass of the proton	$m_p = 1.67 \times 10^{-27}$ kg

**The rounded-off values used in the text are shown in parentheses.*

Conversions between English and Metric Units

1 inch	=	2.54 centimeters (cm)	1 mile	=	1.609 kilometers (km)
1 foot (ft)	=	0.3048 meters (m)	1 pound (lb)	=	453.6 grams (g) or .4536 kilograms (kg) (on Earth)

Outras Escalas e Medidas Úteis

- Distancias: U.A, a.l, pc, Kpc (10^3), M (10^6)pc
- Unidades de tempo: Mega-ano = My (10^6), Giga-ano = Gy (10^9)
- Unidades de Energia e seus Múltiplos:

Eletron- volt (eV) - é a quantidade de energia cinética ganha por um único elétron quando acelerado por uma diferença de potencial elétrico de um volt, no vácuo.

$$1 \text{ eV} = 1,602 \ 177 \ 33 \ (49) \times 10^{-19} \text{ joules.}$$

$$1 \text{ keV (quilo eV): mil elétrons-volt} = 10^3 \text{ elétrons-volt (eV)}$$

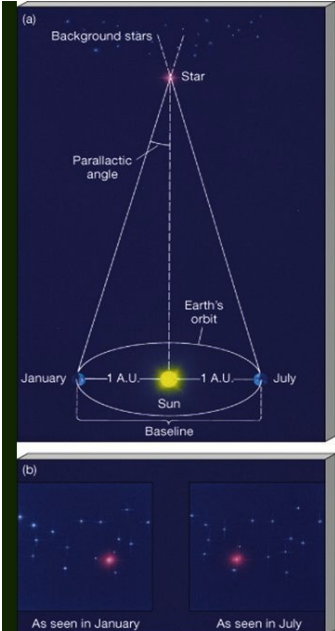
$$1 \text{ MeV (mega eV): 1 milhão de elétrons-volt} = 10^6 \text{ eV}$$

$$1 \text{ GeV (giga eV): 1 bilhão (mil milhões) de elétrons-volt} = 10^9 \text{ (eV)}$$

$$1 \text{ TeV (tera eV): 1 trilhão (mil bilhões) de elétrons-volt} = 10^{12} \text{ (eV)}$$

Distâncias

Vimos que no Sistema Solar é comum utilizar unidades de distância tais como Unidade Astronomica e Parsec.



II. Paralaxe estelar

- Estende-se a linha de base para o diâmetro da órbita da terra
- definição: 1pc = distância sol-estrela se a paralaxe medida for de 1"

$$D(\text{pc}) = \frac{1}{\text{paralaxe}(")}$$

aplicável as estrelas mais próximas (até ~ 30 pc)

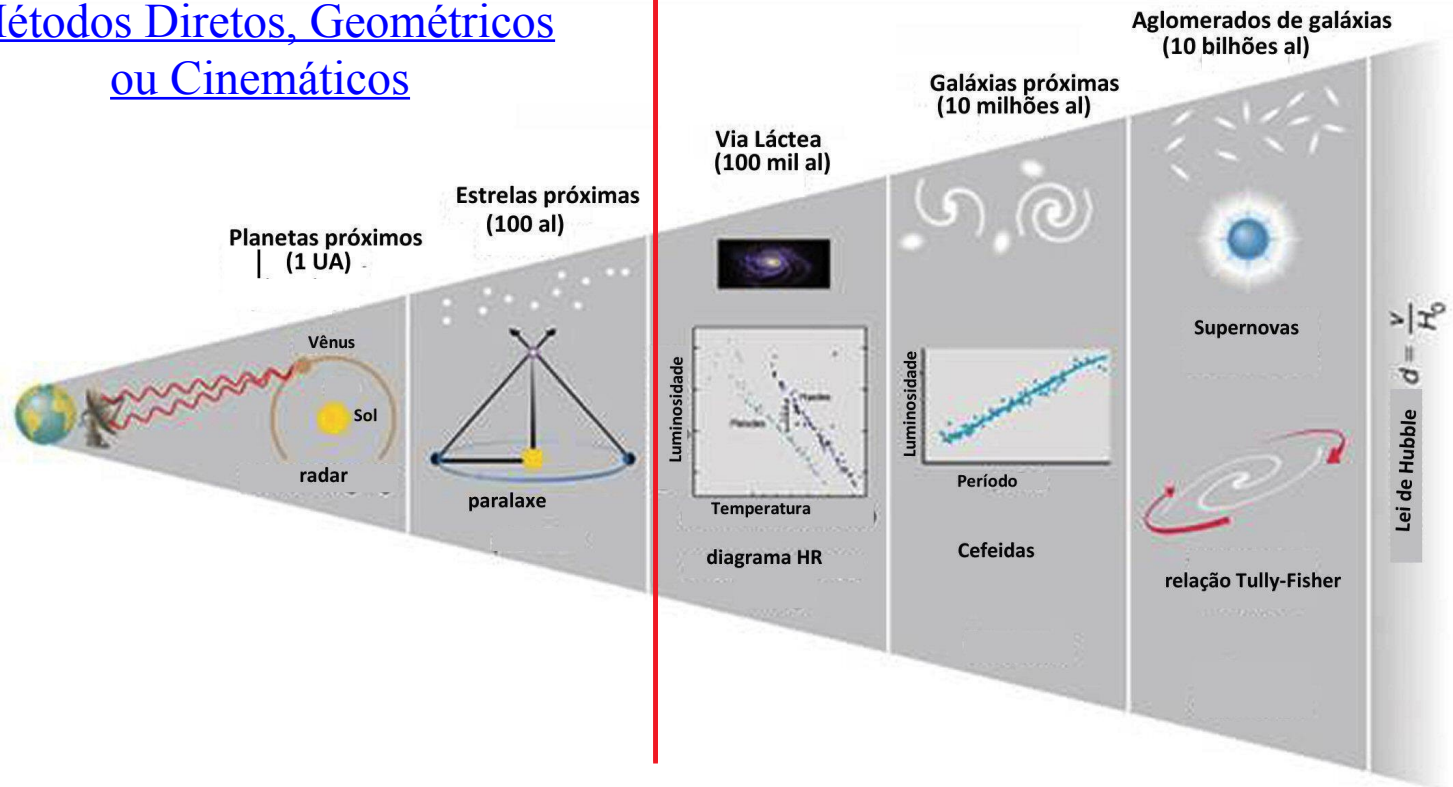
alguns milhares de estrelas

método dependente do *seeing*

Veremos outros métodos que permitem obter distância de objetos mais longínquos, já que este método é limitado

Métodos Indiretos que usam luminosidade = “Vela Padrão” (L)

Métodos Diretos, Geométricos ou Cinemáticos



Por que é fundamental estimar a distância de objetos astronômicos?

A **distância** é uma informação fundamental, apesar de **não** ser considerada uma **grandeza física fundamental**. Entretanto, esta informação nos permite obter algumas grandezas físicas fundamentais, como por exemplo, a **luminosidade, temperatura, dimensão, índice de cor, massa e composição química**. No caso de estrelas, pode estruturar e consolidar o estudo da Formação e Evolução Estelar.

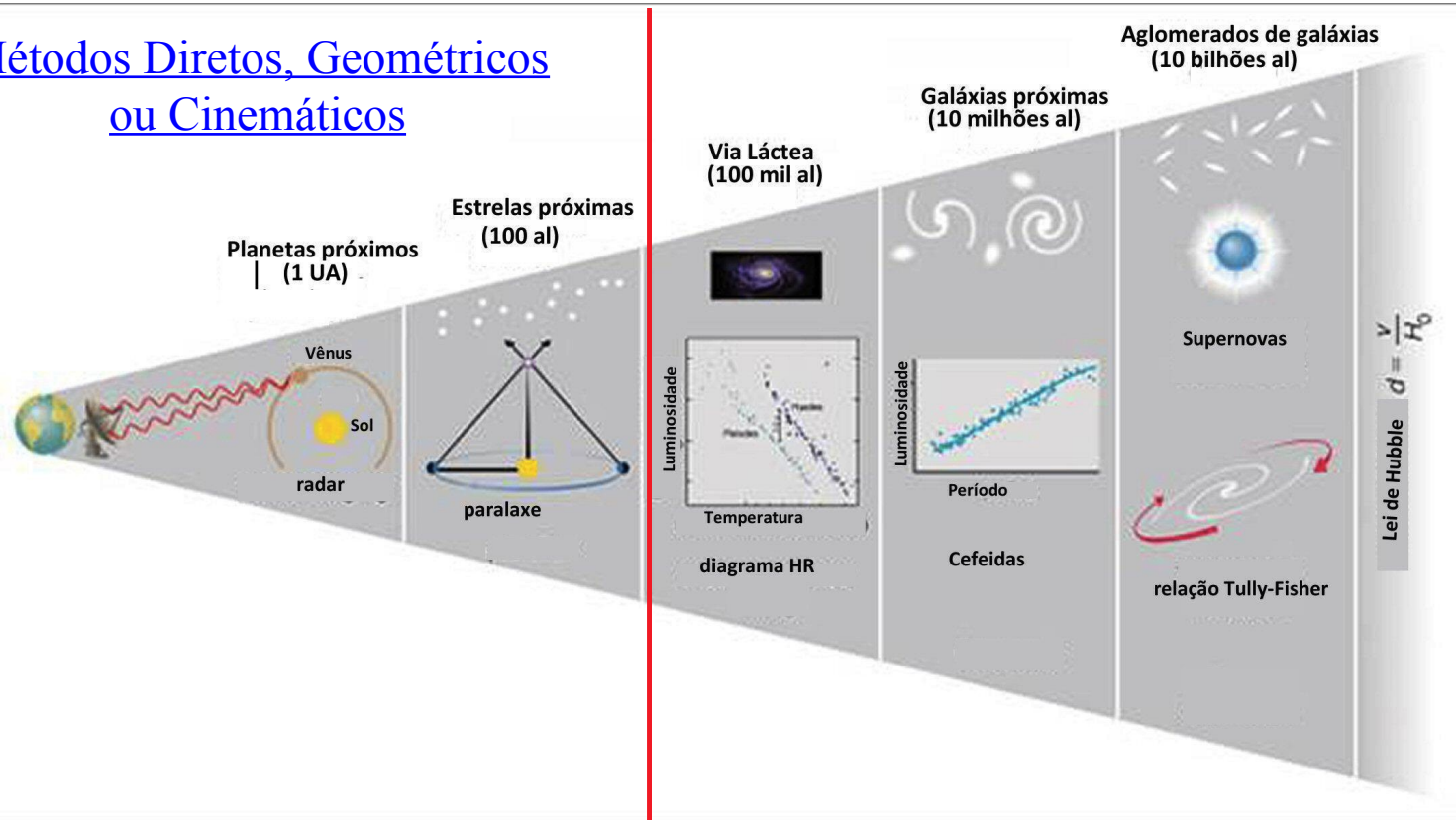
Existem da ordem de dezenas de métodos para se determinar a distância de estrelas, que agrupados poderiam ser representados por 2 categorias: **diretos ou cinemáticos**, e os **indiretos obtidos via luminosidade**.

Acabamos de ver que no Sistema Solar é possível aplicar métodos trigonométricos e cinemáticos até um **limite de distância de 100 a.l.**

Agora vamos ver outros métodos que permitem obter distâncias acima deste valor...

Métodos Indiretos que usam luminosidade = “Vela Padrão” (L)

Métodos Diretos, Geométricos ou Cinemáticos



Como estrelas tem movimento real, **métodos cinemáticos** são aplicados para se obter distâncias utilizando técnicas de **astrometria** - que permite medir a **posição das estrelas e a distância** e que podem medir a componente transversal do movimento através do chamado “**movimento próprio**”, como veremos a seguir.

Astrometria

medidas de posição e distância...

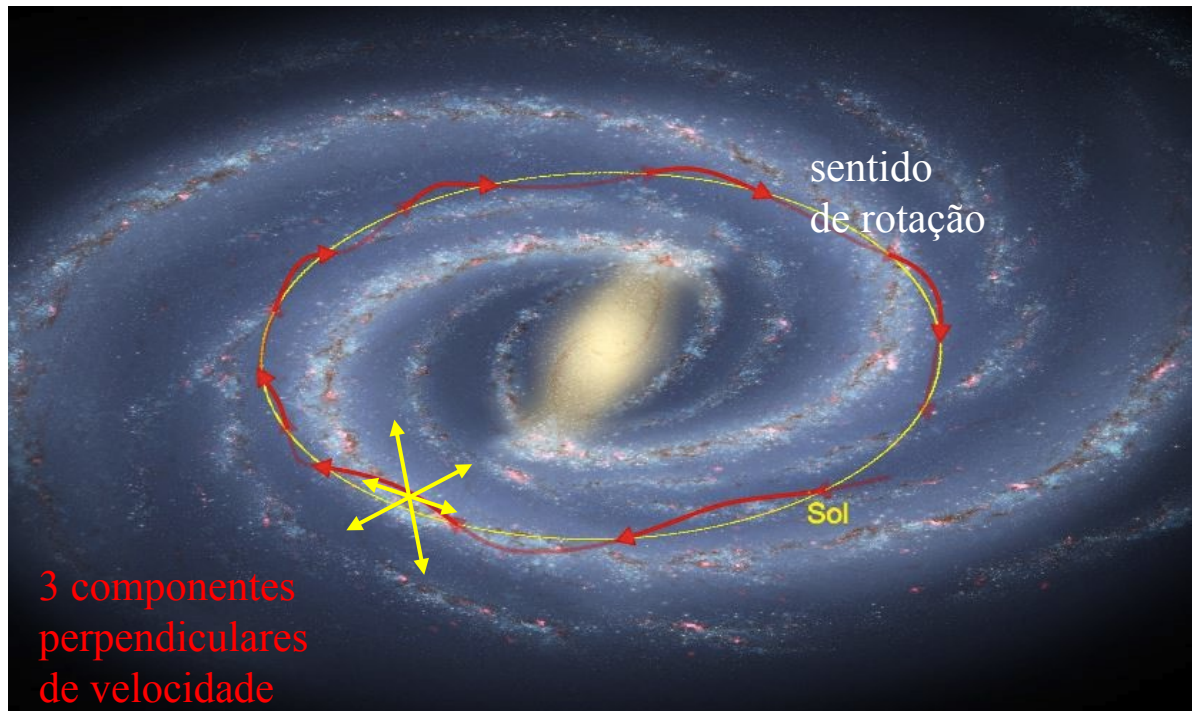
Medidas de posições de estrelas são importantes por vários motivos:

- 1- Repetidas medidas de posição podem revelar **movimentos de estrelas**.
- 2- Os **movimentos** permitem obter as distâncias das estrelas, já que o ângulo formado nestes movimentos pode ser medido. As distâncias estimadas fornecem a distribuição das estrelas, e consequentemente, a **estrutura da Galáxia**. Veremos a seguir....
- 3- Determinação da distância **de aglomerados de estrelas, onde o conjunto de estrelas** nasceu junto, permite estabelecer que a diversidade observada nas propriedades encontradas pode ser atribuídas a evolução.

Vimos anteriormente que distâncias de **estrelas próximas, até centenas de parsec**, podem ser obtidas através de **técnicas de trigonometria**, ou seja, através de **paralaxe estelar**. **A paralaxe estelar pode ser medida através do movimento da Terra em torno do Sol, e mede o movimento aparente causado pela paralaxe.** (ver próximo slide →)

Movimentos das Estrelas

...velocidade espacial das estrelas....



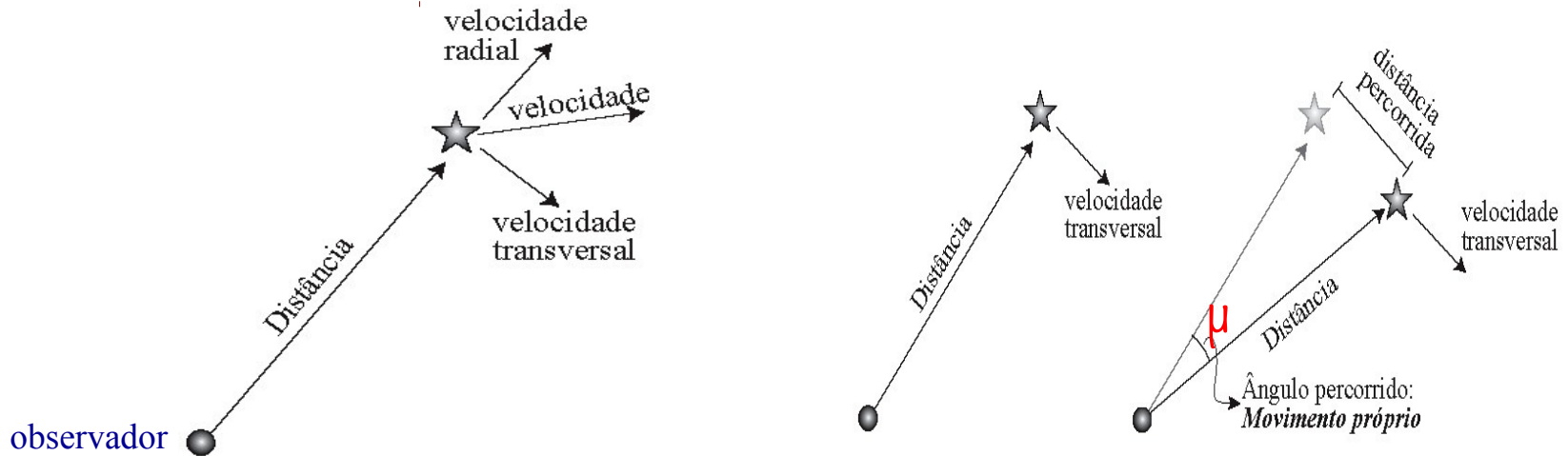
As estrelas giram em torno do centro Galáctico em um movimento organizado conhecido como **rotação diferencial**.

- Na posição do Sol a velocidade de rotação (v_r) é de ~ 220 km/s.
- As estrelas **também têm** uma velocidade aleatória ou dispersão de velocidade superposta, adicional, à rotação.
- Para estrelas próximas do Sol esta velocidade $V \sim 10 - 40$ km/s.

Movimento das Estrelas

...velocidade espacial pode ser decomposta em velocidade radial + velocidade tangencial

A componente radial, na linha de visada é **medida via Efeito Doppler**



A velocidade total, que resulta do movimento espacial, se decompõe em 2 componentes **mensuráveis**:

- (1) **velocidade tangencial ou transversal (V_t)** medida pelo movimento em relação às estrelas distantes (movimento próprio) + (2) **velocidade radial (v_r)** medida via ef. Doppler

$$V^2_{\text{total}} = V_t^2 + V_r^2$$

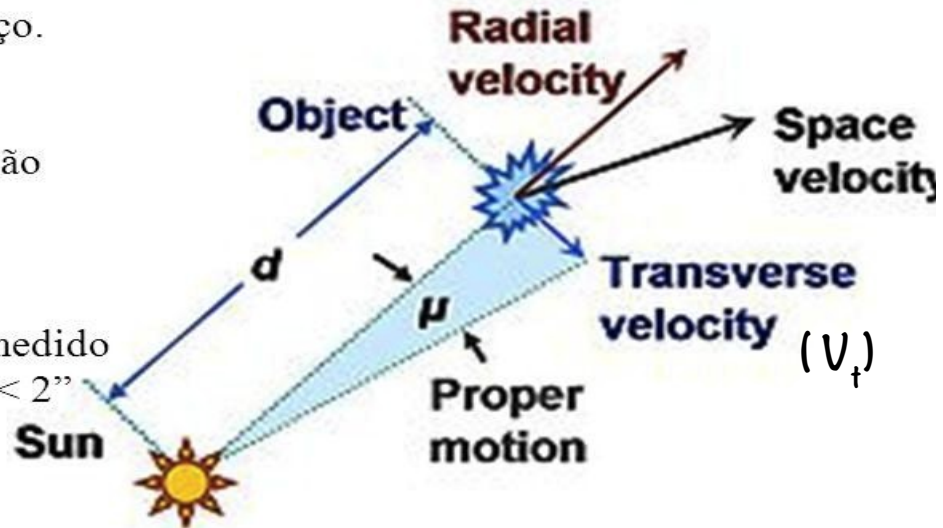
Movimento próprio das estrelas

Movimento espacial
das estrelas causado pelo
movimento do Sol no espaço.

- V_r , velocidade radial
componente de V , na direção
Sol-Objeto

- V_t , Velocidade tangencial
- μ , deslocamento angular medido
em segundos de arco / ano $< 2''$

$$\sim \mu = V_t/d \quad d = V_t/\mu$$

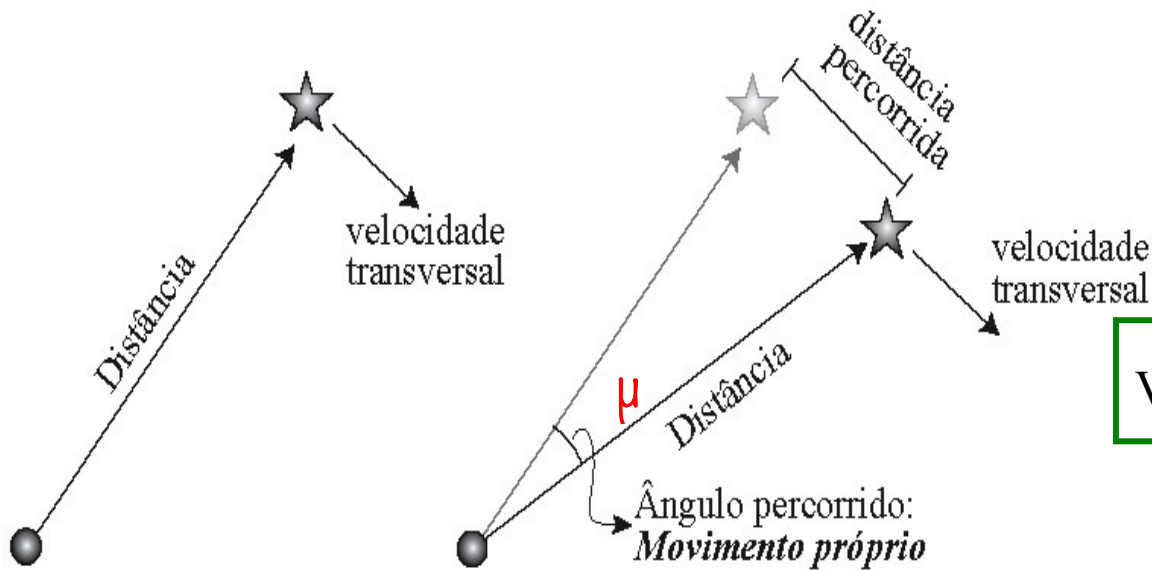


Miriani Pastoriza

Então, para se obter a **velocidade tangencial** de uma estrela, a distancia **d** e **μ** devem ser observáveis conhecidos.

Astrometria – Medidas de **Movimento Próprio**

...mede a componente transversal (V_t) do movimento espacial



$$V^2_{\text{total}} = V_t^2 (\text{km/s}) + V_r^2 (\text{km/s})$$

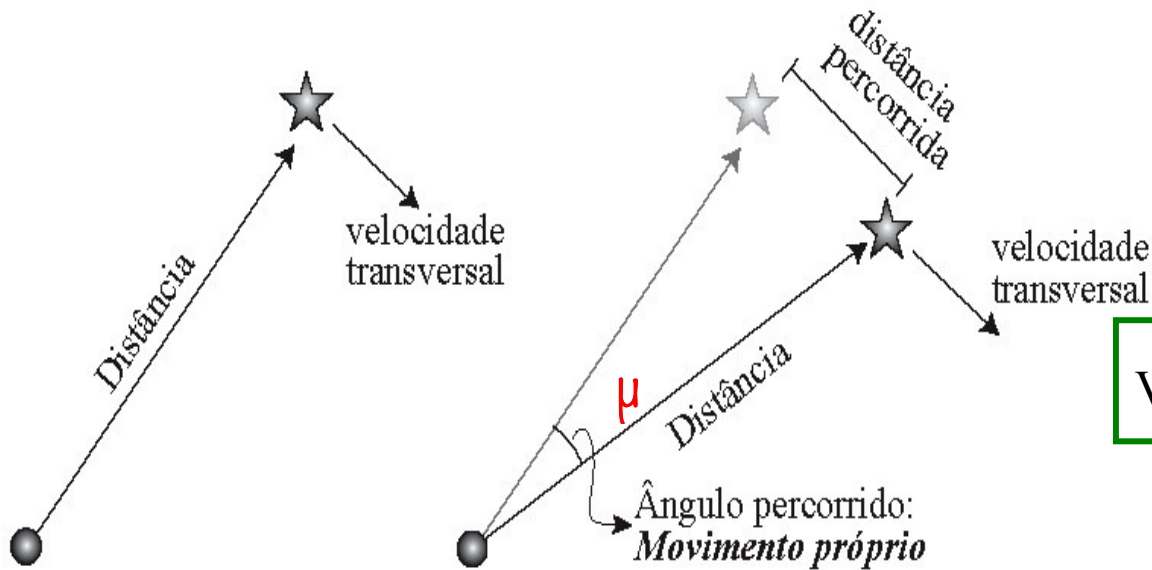
Lembrem-se que $d \text{ (pc)} = 1/p''$; $1 \text{ pc} = 206265 \text{ UA}$; $1 \text{ UA/ano} = 4,74$

E que $\sin \mu = \mu = \frac{V_t}{d \text{ (pc)}}$, mas $V_t = \frac{\mu \text{ (rad/ano)} (\text{pc/ano})}{p''} = \frac{\mu \text{ (\"/ano)} (\text{pc/ano})}{206265 p''}$

$$V_t = 4,74 \frac{\mu \text{ (\"/ano)} \text{ Km/s}}{p \text{ (\")}}$$

Astrometria – Medidas de **Movimento Próprio**

...mede a componente transversal (V_t) do movimento espacial



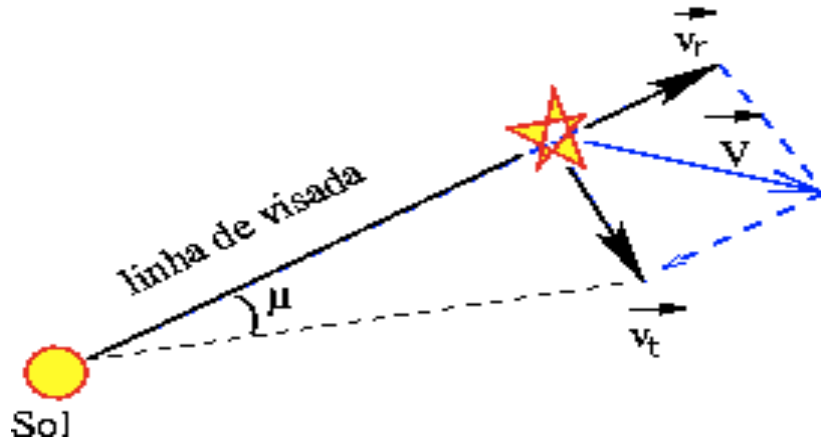
$$V^2_{\text{total}} = V_t^2 (\text{km/s}) + V_r^2 (\text{km/s})$$

Lembrem-se que $d (\text{pc}) = 1/p''$; $1 \text{ pc} = 206265 \text{ UA}$; $1 \text{ UA/ano} = 4,74$

$$\text{Sen } \mu = \mu = \frac{V_t}{D (\text{pc})} \text{ mas } V_t = \frac{\mu (\text{rad/ano}) (\text{pc/ano})}{p''} = \frac{\mu (''/\text{ano}) (\text{pc/ano})}{206265 p''} \quad V_t = 4,74 \frac{\mu (''/\text{ano})}{p (')} \text{ Km/s}$$

Astrometria – Medidas de **Movimento Próprio**

...mede a componente transversal (V_t) do movimento espacial



$$V^2_{\text{total}} = V_t^2 + V_r^2$$

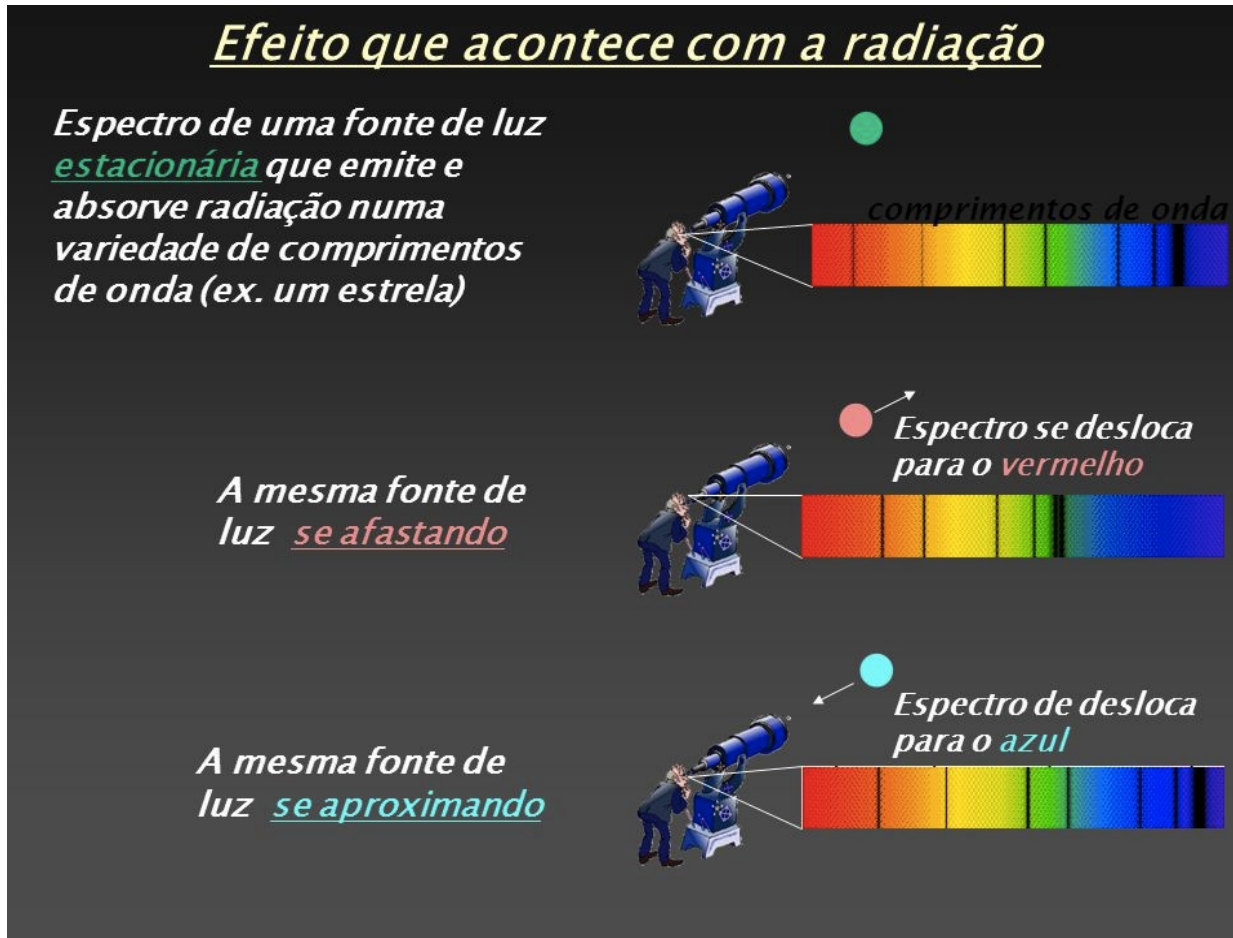
$$V_t = 4,74 \frac{\mu \left(\frac{''}{\text{ano}} \right) \text{Km/s}}{p('')}$$

- Quanto maior a velocidade transversal, maior o movimento próprio.
- Mas quanto maior a distância, menor o movimento próprio.

...mas ainda precisamos da Velocidade Radial...vejam a seguir....

$V_{\text{rad}} \rightarrow$ obtido via Efeito Doppler
...espectroscopia

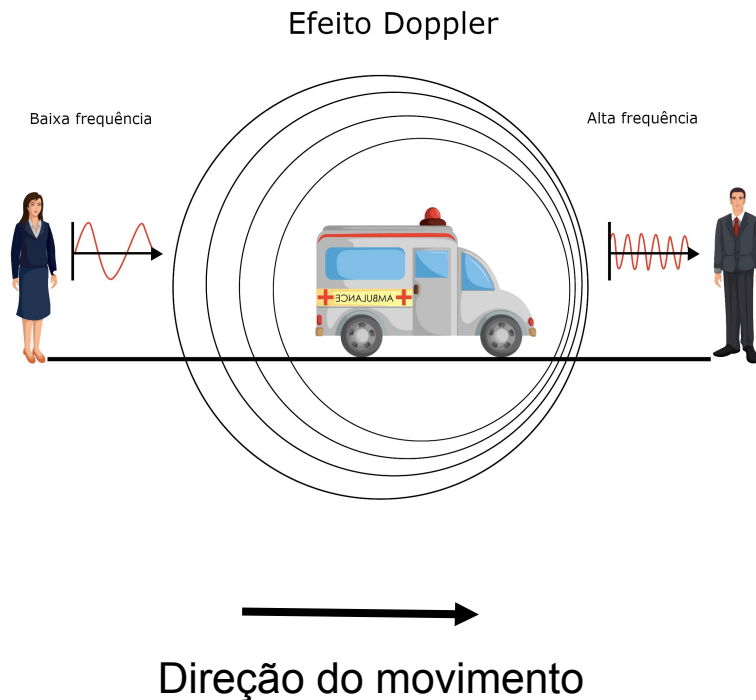
Se o movimento for de afastamento, a **frequência diminui** e dizemos que ocorreu um "desvio para o vermelho" (redshift).



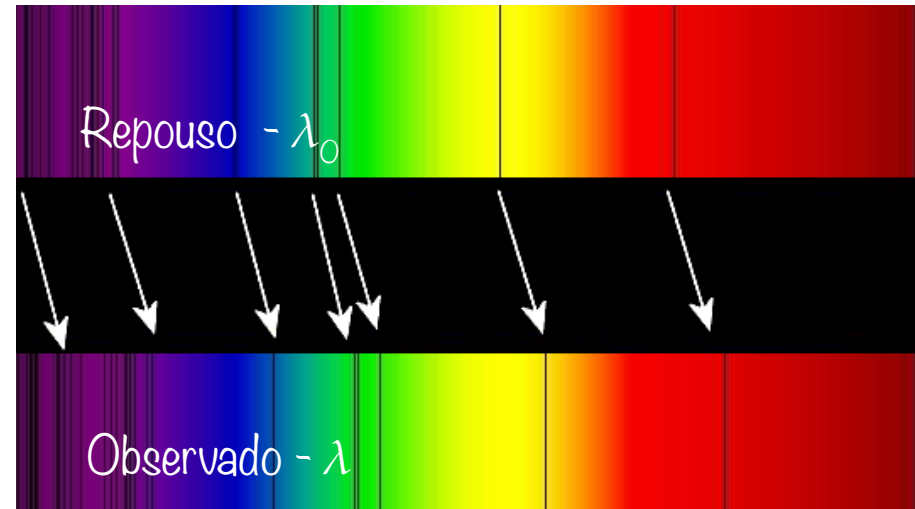
Se o movimento for de aproximação, a **frequência aumenta** e dizemos que ocorreu um "desvio para o azul" (blueshift).

...e fazendo analogia do efeito Doppler sonoro com o Doppler da luz

Sirene de um carro de polícia altera o som quando passa por observador



Fonte em movimento altera a Frequência e o Comprimento de Onda em relação ao obs.



A comparação das linhas em repouso e observada mostram deslocamento ($\Delta\lambda$), dado por

→
$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0$$

A velocidade V_{rad} da fonte pode ser obtida por:

←
$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{V_{\text{rad}}}{c}$$

Temos, portanto, condições de calcular a velocidade espacial dada por:

$$V^2_{\text{total}} = V_t^2 + V_r^2, \text{ onde:}$$

$$V_t = 4,74 \frac{\mu \text{ (\"/ano)}}{p \text{ (\")}} \text{ Km/s} \quad \text{e}$$

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{V_{\text{rad}}}{c} \longrightarrow V_{\text{rad}} = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} \times c$$

Com avanços tecnológicos como os lançamentos de satélites Hipparcos, Hubble e o **Gaia**, foi possível aumentar a precisão de medidas de paralaxe, o que permitiu pesquisar distâncias que anteriormente eram da ordem de 100 pc e passaram então a atingir 1000 pc (1Kpc).

Vamos ver o caso do Telescópio Espacial GAIA:

Tecnologia de altíssima geração para determinação de distâncias, entre outros...,exoplanetas, estrelas marrons, teste para Relatividade , etc...



O MAPA DA VIA LÁCTEA
Satélite europeu Gaia fará um censo de 1 bilhão de estrelas da nossa galáxia

INSTRUMENTOS

- > Dois telescópios idênticos com câmeras de alta resolução
- > Fotômetros azuis e vermelhos
- > Espectrômetro de velocidade radial

A MISSÃO

- > Mapear a Via Láctea durante **5 ANOS**, a fim de determinar sua organização
- > Adicionalmente, o satélite descobrirá entre **10 MIL E 50 MIL** planetas fora do Sistema Solar
- > **1 EM CADA 200 ESTRELAS** da galáxia serão estudadas, com medição precisa de sua órbita e velocidade

Este satélite vai recolher uma grande variedade de dados sobre nossa galáxia e além, além de poder provar a teoria da relatividade de Einstein

01011
10111
00101

1.000.000.000.000.000

O satélite transmitirá um petaocteto de dados (equivalente a 250.000 DVD)



1.000.000.000

estrelas serão pesquisadas



1.000.000.000

de pixels de sensibilidade da câmera de Gaia



500.000

quasares para estudar

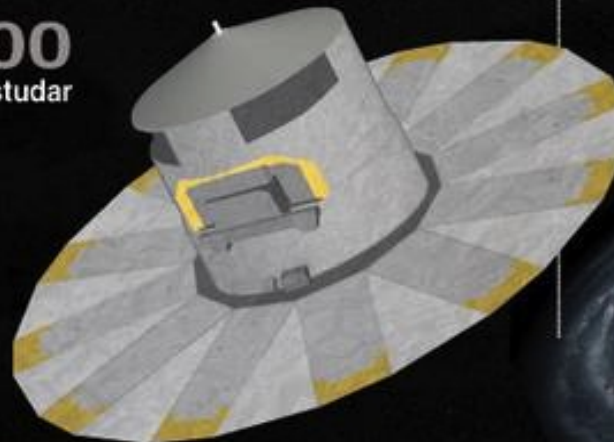


15.000

exoplanetas
a descobrir



Lançamento
19 de dezembro
Kourou, Guiana Francesa



A Via Láctea

100 bilhões de estrelas

Formação:

13,2 bilhões de anos

80.000
anos-luz

Sol

Fonte: CNES

AFP

Veremos no decorrer do curso na **Aula Distâncias – P2**
outras formas de se obter a distância dos astros