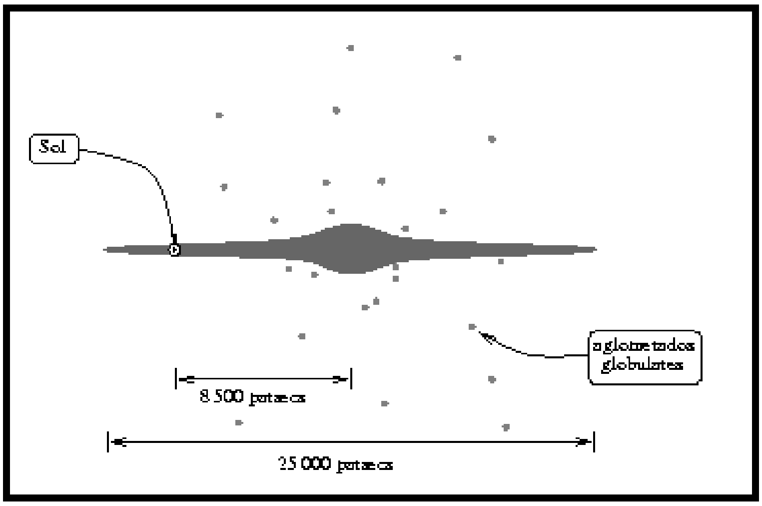
A Via-Láctea

(O texto foi extraido quase que em sua integra de : http://www.if.ufrgs.br/ast/index.html)

Em noites claras e sem lua, longe das luzes artificiais das áreas urbanas, pode-se ver claramente no céu uma faixa nebulosa atravessando o hemisfério celeste de um horizonte a outro. Chamamos a essa faixa Via Láctea, devido à sua aparência, que lembrava aos povos antigos um caminho esbranquiçado como leite. Sua parte mais brilhante fica na direção da constelação de Sagitário, sendo melhor observável no Hemisfério Sul durante as noites de inverno.

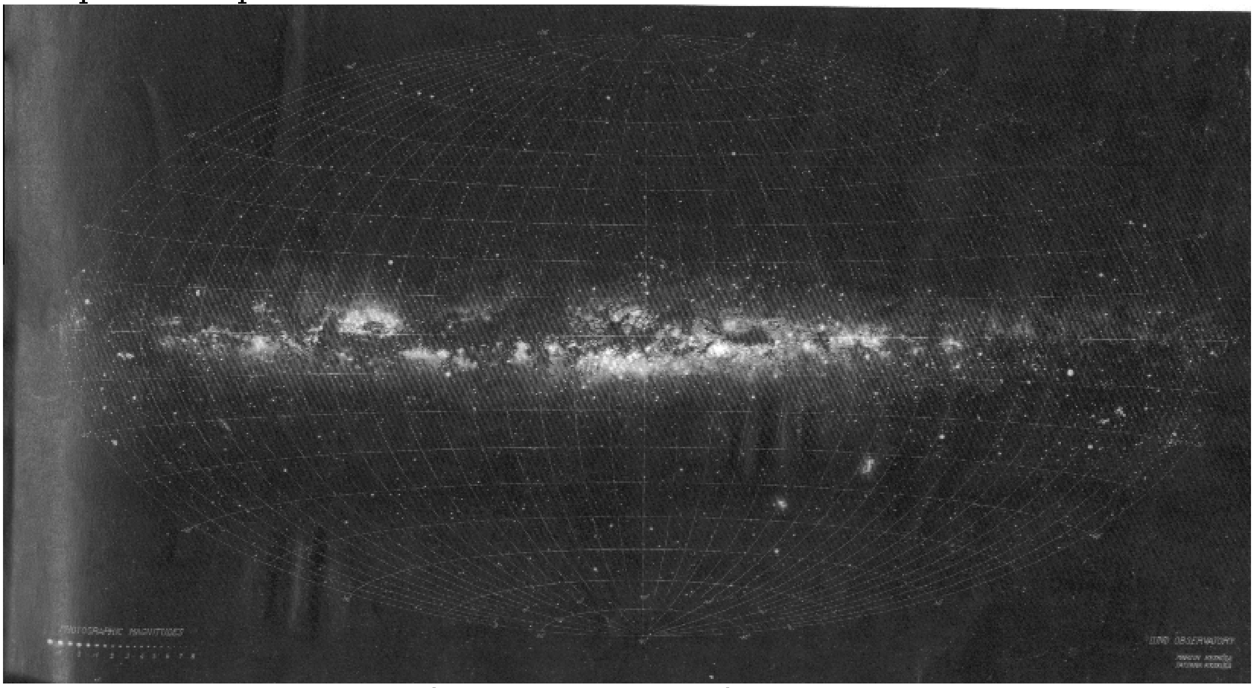
No início do século XVII, Galileo Galilei (1564-1642), ao apontar seu telescópio para a Via Láctea, descobriu que ela consistia de uma multitude de estrelas. No final do século XVIII, o astrônomo alemão William Herschel (1738-1822), que já era famoso por ter descoberto o planeta Urano, mapeou a Via Láctea e descobriu tratar-se de um sistema achatado. O Mesmo observou que a distribuição de estrelas aumentava quando se aproximava da Via-Láctea, concluindo desta forma que se tratava de um disco. Segundo seu modelo, o sol ocupava uma posição central na galáxia, mas hoje sabemos que essa conclusão estava errada. A primeira estimativa do tamanho da Via Láctea foi feita no início do século XX, pelo astrônomo holandês Jacobus Kapteyn (1851-1922). Na segunda década do século, Harlow Shapley (1885-1972), estudando a distribuição de sistemas esféricos de estrelas chamados aglomerados globulares, determinou o verdadeiro tamanho da Via Láctea e a posição periférica do Sol nela. Shapley descobriu que os cúmulos globulares (150 deles), que formam um halo em volta na nossa galáxia, estavam concentrados em uma direção; nenhum deles era visto na direção oposta. Ele concluiu que o Sol não está no centro de nossa galáxia. Assumindo que o centro do halo formado pelos cúmulos globulares coincide com o centro de nossa galáxia, ele deduziu que estamos a 30 mil anos luz do centro da Via Láctea, que está na direção da constelação do Sagitário.



Distribuição de Aglomerados glubulares na Galáxia

O maior cúmulo globular da nossa Galáxia chama-se NGC2419, localizado na constelação do Lince e tem mais de um milhão de estrelas e um diâmetro de 1800 anos-luz.

As regiões escuras na figura a seguir são conhecidas como nuvens moleculares e são formadas por: CaII, NI, SiO_4, etc. Já as partes brilhantes representam as regiões de formação estelar (regiões H II) e são formadas principalmente por H I.



A banda nebulosa da Via-Láctea, em todo o céu.

Os pontos claros acima do disco galáctico são os aglomerados globulares.

Sistema de coordenadas

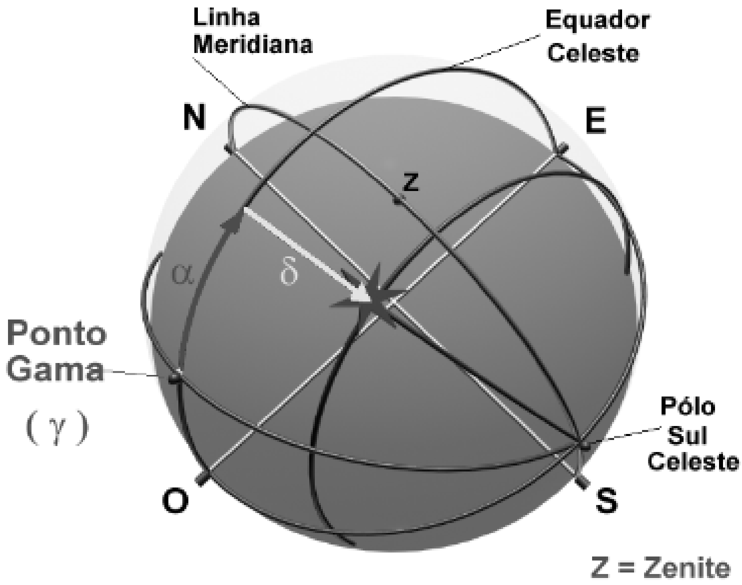
Coordenadas equatoriais (α, δ)

Este sistema adapta-se ao movimento natural das estrelas. Usa a mesma idéia das coordenadas geográficas, latitude e longitude. Imagine a esfera celeste "contendo" a esfera terrestre. O equador terrestre, projetado para o firmamento, gera o **equador celeste.** O eixo de rotação da Terra, prolongado, forma os pólos celestes. A linha no céu que vai do pólo norte ao pólo sul celeste e que passa sobre a cabeça de um determinado observador, constitui o **meridiano** local deste observador (o Sol está no meridiano ao meio-dia, em latim meridies - daí o nome). Podemos entender o meridiano como a projeção da linha da longitude local sobre o firmamento.

Em Geografia aprendemos que a definição da latitude é fácil, conhecendo-se pólos e Equador. Para a origem da longitude, no entanto, foi necessário estabelecer, por convenção, a longitude de Greenwich como longitude 0°. No céu estabelece-se um determinado ponto entre as estrelas, chamado **ponto vernal** ou **ponto gama (γ - gama)**, como origem. Esse ponto corresponde a intersecção do Sol com o Equador celeste no instante em que o mesmo passa do hemisfério sul para o norte celeste.

Define-se como **declinação (δ - delta)** de uma estrela, o ângulo entre o equador celeste e a estrela, medido sobre o meridiano desta. As declinações do hemisfério norte são positivas e as do hemisfério sul são negativas . No equador $\delta = 0°$.

Define-se como **ascensão reta (α- alfa)** o ângulo entre o ponto gama e o meridiano da estrela medido sobre o equador celeste, no sentido para o leste.



Coordenadas Equatoriais

A definição de ascensão reta e declinação na esfera celeste vista "por fora" é fácil de entender. Um pouco mais difícil é entender a situação do observador situado no interior da esfera celeste, em seu centro. Para este observador todos os meridianos, em especial o meridiano local e o meridiano da estrela em estudo passam por um mesmo ponto, o pólo celeste. Ascensão reta e declinação podem ser imaginadas da maneira como são ilustrados na figura.

Ascensão reta e declinação de uma estrela variam pouquíssimo à medida que passa o tempo. Esta variação somente pode ser detectada com modernos instrumentos de precisão; na antigüidade as estrelas eram chamadas de **estrelas fixas** por esta razão. No entanto as coordenadas equatoriais dos planetas, do Sol e da Lua variam muito, fato também já conhecido na antigüidade (planeta significa viajante).

Resumindo:

Ascensão reta (α ou **AR)**: ângulo medido sobre o equador, com origem no meridiano que passa pelo ponto Áries, e extremidade no meridiano do astro. A ascensão reta varia entre 0h e 24h (ou entre 0° e 360°) aumentando para leste.

$$0\,h \leq \alpha \leq 24\,h$$

O **Ponto Áries**, também chamado **Ponto Gama (** γ **)**, ou **Ponto Vernal**, é um ponto do equador, ocupado pelo Sol no equinócio de primavera do hemisfério norte (mais ou menos em 22 de março de cada ano).

declinação (δ **)**: ângulo medido sobre o meridiano do astro, com origem no equador e extremidade no astro. A declinação varia entre -90º e +90°

$$-90° \leq \delta \leq +90°$$

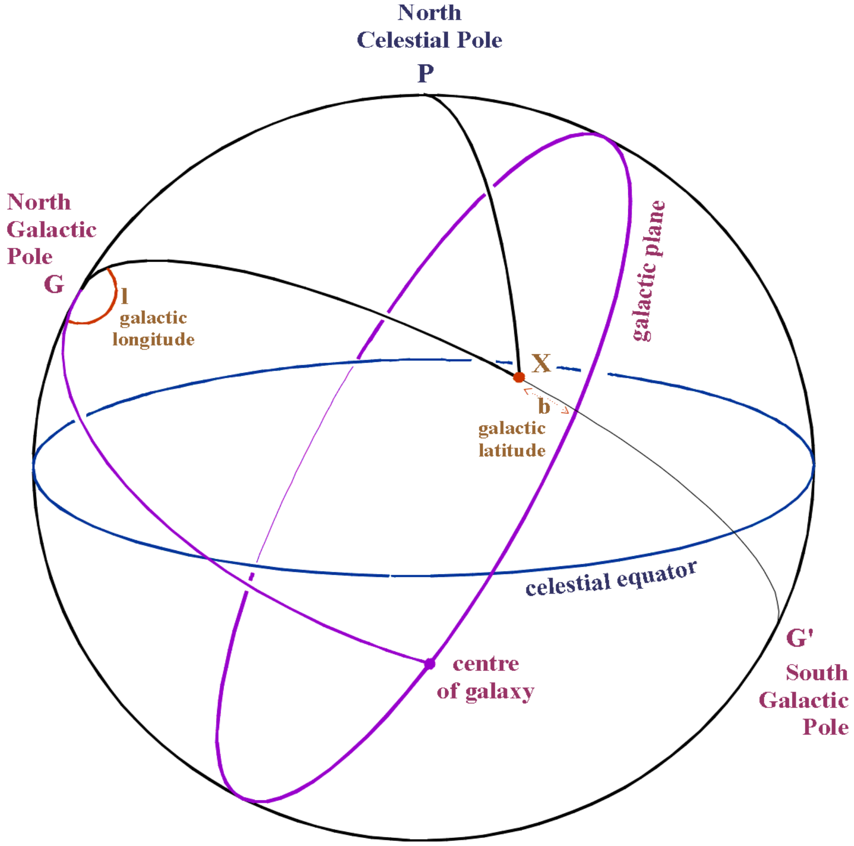
O sistema equatorial celeste é fixo na esfera celeste e, portanto, suas coordenadas não dependem do lugar e instante de observação. A ascensão reta e a declinação de um astro permanecem praticamente constantes por longos períodos de tempo.

Coordenadas Galáticas (l, b)

O sistema de coordenadas equatoriais é o sistema comumente mais utilizado na astronomia. Mas o **Sistema de coordenadas galácticas** as vezes se torna útil, por que nos permite ver como os objetos estão distribuídos no plano galático, ou seja caso desejemos obter o gradiente de abundância galático por exemplo este sistema de coordenadas será útil. Para estudos da Via-láctea o plano de referêcia mais natural é o plano da Via-Láctea. Como o Sol se encontra bem próximo ao plano, podemos por a origem no Sol. Desta vez o plano de referência é o plano do disco da Via-Láctea.

A **longitude galática** (l), contada ao longo do plano do disco, tem origem na direção ao centro da Galáxia. Note que é difícil definir o centro da Via-Láctea, o que torna este sistema sujeito a revisões mais freqüentes do que os anteriores. A longitude galática é medida no sentido anti-horário (como a assenção reta) a partir da direção do centro da Via-Láctea (Sagitário $\alpha = 17\,\mathrm{h}\,42.4\,\mathrm{min}\,;\delta = -28°55'$).

A l**atitude galática** (b) é usualmente denotada pela letra b, podendo, assim como a declinação, assumir valores entre -90° < b < 90°. A direção ao centro da Galáxia (ou seja, l=0°) situa-se na constelação de Sagitário, ao passo que o polo norte galáctico (ou seja, b = +90°) fica na constelação da Cabeleira de Berenice. Este sistema de coordenadas é mais aplicado em estudos que envolvem a distribuição de objetos dentro da Via-Láctea.



Equações de conversão de coordenadas equatoriais para galácticas e vice-versa:

De coordenadas equatoriais para galácticas:

$\cos b \cos(l - 33^o) = \cos \delta \cos (\alpha - 282.25^o)$

$\cos b \sin(l - 33^o) = \cos \delta \sin (\alpha - 282.25^o) \cos 62.6^o + \sin \delta \sin 62.6^o$

$\sin b = \sin \delta \cos 62.6^o - \cos \delta \sin (\alpha - 282.25^o) \sin 62.6^o$

De coordenadas galácticas para coordenadas equatoriais:

$\sin \delta = \cos b \sin (l - 33^o) \sin 62.6^o + \sin b \cos 62.6^o$

$\cos \delta \sin (\alpha - 282.25^o) = \cos b \sin (l - 33^o) \cos 62.6^o - \sin b \sin 62.6^o$

Nota: Deve-se usar o equinócio de 1950.

Resumindo:
A longitude galática (l): é a medida de 0-360° sobre o plano galáctico.
A latitude galática (b): é medida de (polo sul) -90° a +90° (polo norte)

Determinação de distâncias em Astronomia

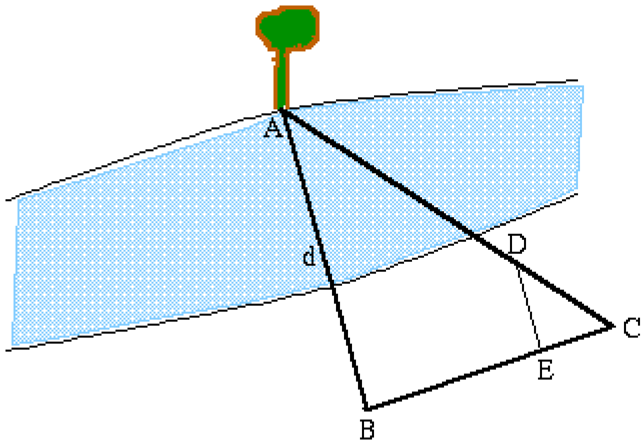
Uma tarefa aparentemente fácil é a determinação de distâncias. De um modo geral dizer o quão distante está uma cidade da outra é fácil, desde que tenhamos uma maneira de determiná-la.

Entretanto na astronomia esta tarefa pode ser bem árdua, pois a unica maneira de obtermos informações a respeito de um astro é através da luz por ele emitida ou refletida (lua e planetas).

Paralaxe trigonométrica

Um método eficaz de se medir grandes distâncias vem sendo usado há milênios: observar um objeto a partir de dois pontos diferentes, determinando a distância ao objeto através do uso da trigonometria. O objeto, ao ser visto de pontos diferentes, parecerá mudar de posição com relação às coisas que estão ainda mais distantes e que compõem o fundo sobre o qual o objeto está projetado. O deslocamento angular, chamado de paralaxe, é um ângulo de um triângulo e a distância entre os dois pontos de observação, bem como a distância ao objeto, são lados do mesmo triângulo. Relações trigonométricas básicas entre os lados de um triângulo e os seus ângulos são então usadas para calcular todos os elementos do triângulo. Este é o método da **paralaxe trigonométrica.**

Na figura abaixo está esquematizado, como exemplo, a maneira de medir a distância de uma árvore localizada do outro lado de um rio, sem atravessá-lo, utilizando apenas noções de trigonometria.



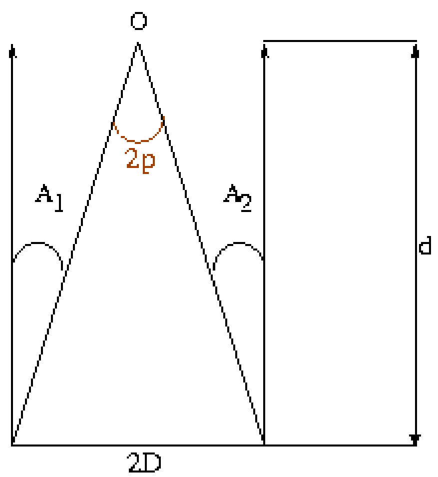
Tomando a árvore como um dos vértices, construímos os triângulos semelhantes ABC e DEC. BC é a linha de base do triângulo grande, AB e AC são os lados, que são as direções do objeto (a árvore) vistas de cada extremidade da linha base. Logo:

$$AB = \frac{BC \times DE}{EC}$$

Como posso medir BC, DE e EC, posso calcular o lado AB e então, conhecer a distância da árvore.

Vemos que a direção da árvore, vista de B, é diferente da direção da árvore vista de C. Esse deslocamento aparente na direção do objeto observado devido à mudança de posição do observador chama-se paralaxe. Os astrônomos, no entanto, medem o dobro desse deslocamento, como está ilustrado na figura abaixo.

A figura abaixo ilustra o mesmo problema em termos dos ângulos envolvidos.



Suponha que o ponto O seja o objeto cuja distância eu quero medir (a árvore da figura anterior). 2D é a linha de base do triângulo, e os ângulos A_1 e A_2 e são os ângulos entre a direção do objeto visto de cada extremidade da linha base e a direção de um objeto muito mais distante, tomado como referência (pode ser uma montanha no horizonte, no exemplo anterior).

Pela trigonometria, sabemos que $\tan(p) = \frac{D}{d}$

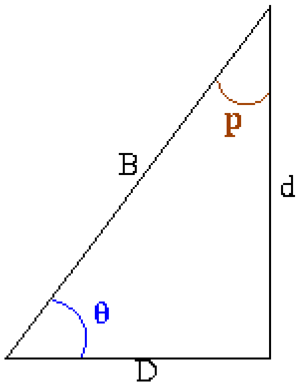
Como p é conhecido ($p = \frac{(A_1 + A_2)}{2}$), e D também é conhecido, podemos medir a distância d. Para ângulos pequenos, a tangente do ângulo é aproximadamente igual ao próprio ângulo medido em radianos. Se $p \leq 4°, \tan p \approx p(rad)$.

Então:

$$d = \frac{D}{p(rad)}$$

Como p é medido em radianos, d terá a mesma unidade de D.

Para um triângulo de base D, altura d, diagonal B e ângulo Θ entre D e B,



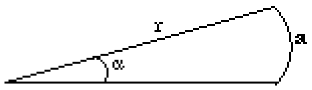
e na paralaxe medimos o ângulo p entre B e d, temos

$$\tan(p) = \frac{D}{d} \rightarrow d = \frac{D}{\tan(p)} \approx \frac{D}{p(rad)}$$

para ângulos p menores que 4 graus.

Transformação de graus em radianos

Em radianos, um ângulo é medido pelo arco que ele encerra, dividido pelo raio. Na figura abaixo, o arco de circunferência a corresponde ao ângulo α . Logo o valor de α em radianos é $\alpha(radianos) = \frac{a}{r}$



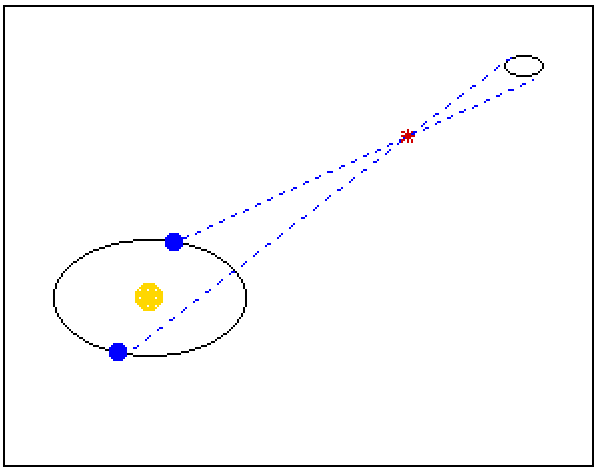
O valor, em graus, de 1 radiano, será:

$$1\,rad = \frac{360°}{2\pi} = 57{,}29°$$

$$\alpha(radianos) = \alpha(graus)\frac{\pi}{180°} \rightarrow \alpha(graus) = \alpha(radianos)\frac{180°}{\pi}$$

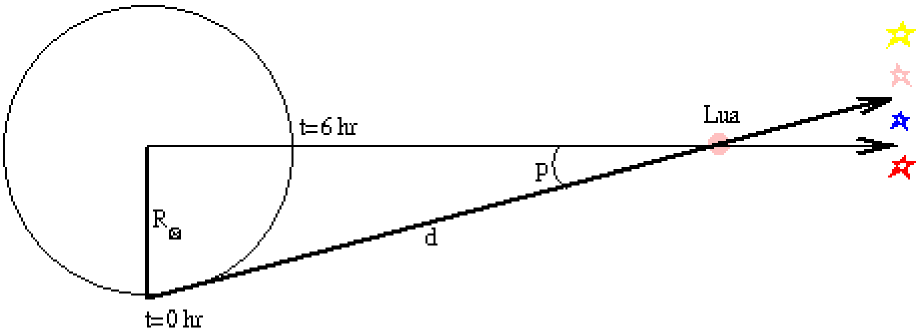
Paralaxe geocêntrica e heliocêntrica

O mesmo método de triangulação explicado acima é usado para medir a distâncias de objetos astronômicos. Mas como esses objetos estão muito distantes, é necessário escolher uma linha de base muito grande. Para medir a distância da Lua ou dos planetas mais próximos, por exemplo, pode-se usar o diâmetro da Terra como linha de base. Para se medir a distância de estrelas próximas, usa-se o diâmetro da órbita da Terra como linha de base.



Paralaxe geocêntrica

Atualmente a determinação de distâncias de planetas é feita por radar, e não mais por triangulação, mas antes da invenção do radar os astrônomos mediam as distâncias da Lua e de alguns planetas usando o diâmetro da Terra como linha de base. A figura abaixo ilustra o problema para a determinação da distância da Lua.

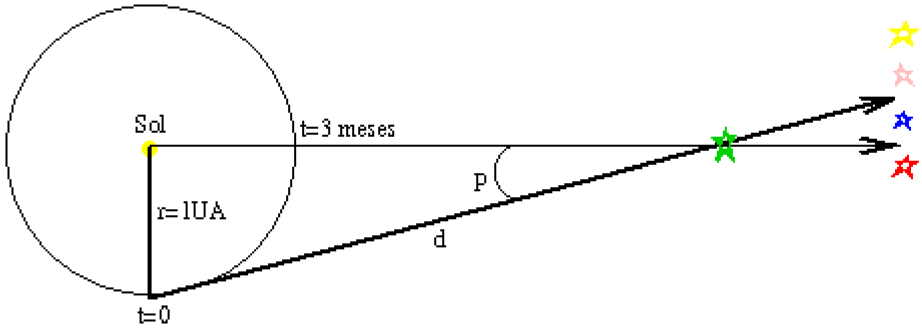


A posição da Lua em relação às estrelas distantes é medida duas vezes, em posições opostas na Terra, e a paralaxe corresponde à metade da variação total na direção observada dos dois lados opostos da Terra. Essa paralaxe é chamada paralaxe geocêntrica, e é expressa por:

$$p(\mathrm{rad}) = \frac{R_{\mathrm{Terra}}}{d} \rightarrow d = \frac{R_{\mathrm{Terra}}}{p(\mathrm{rad})}$$

para **p** sendo a paralaxe geocêntrica.

Paralaxe heliocêntrica



A paralaxe heliocêntrica é usada para medir a distância das estrelas mais próximas. À medida que a Terra gira em torno do Sol, podemos medir a direção de uma estrela em relação às estrelas de fundo quando a Terra está de um lado do Sol, e tornamos a fazer a medida seis meses mais tarde, quando a Terra está do outro lado do Sol. A metade do desvio total na posição da estrela corresponde à paralaxe heliocêntrica, que é expressa por:

$$p(\mathrm{rad}) = \frac{\text{raio da órbita da Terra}}{d} \rightarrow \frac{1\,\mathrm{UA}}{p(\mathrm{rad})} = d$$

para **p** sendo a paralaxe heliocêntrica.

A unidade astronômica

A primeira estimativa correta do valor da Unidade Astronômica ocorreu em 1 de outubro de 1672, quando o planeta Marte estava muito próximo da estrela brilhante Phi Aquarii, e próximo do perigeu. Com as observações simultâneas de Jean Richer (1630-1696) em Cayenne, na Guiana Francesa, Jean Picard (1620-1682) e Olaus Roemer (1644-1710) em Paris, Giovanni Domenico Cassini (1625-1712) estimou a paralaxe de Marte como 18" e, considerando que Marte está a 1,52 UA do Sol, estimou o valor da UA como 140 milhões de km. O valor correto é de 149,597870691 milhões de km. Para comparação, o olho humano só consegue detectar ângulos maiores que cerca de 4'.

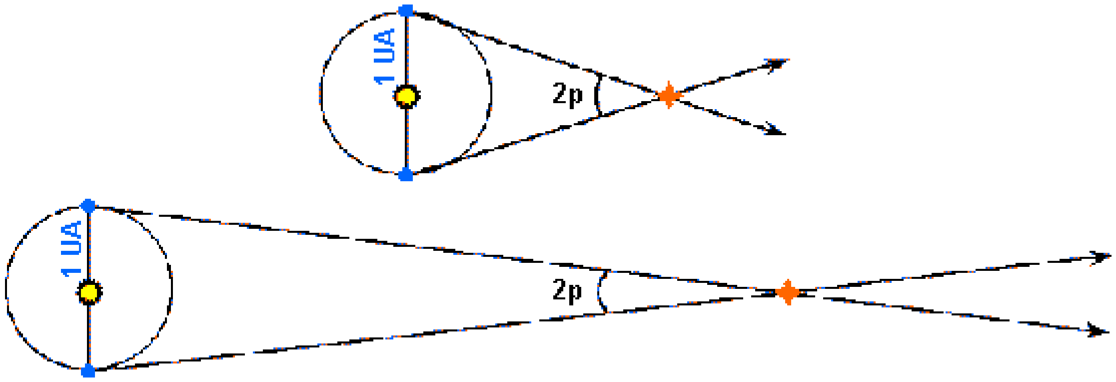
A técnica mais acurada para determinar o comprimento da unidade astronômica é por radar. No entanto, a determinação não pode ser feita diretamente, pois se um sinal de rádio fosse emitido diretamente ao Sol, seu eco ficaria perdido no meio de todos os sinais de rádio que o Sol emite. Portanto se usa uma medida indireta. Por exemplo:

Suponha que um sinal de radar é enviado a Marte, quando este planeta está em oposição, sendo encontrado que sua distância à Terra é 78 389 294 Km. A distância média de Marte ao Sol é determinada pela terceira lei de Kepler como sendo de 1,52 UA. A distância entre Terra e Marte, para Marte em oposição, é portanto 0,52 UA. Então

$$1\,\mathrm{UA} = \frac{77790890\,\mathrm{km}}{0{,}52} = 1{,}496 \times 10^{8}\,\mathrm{km}$$

A distância de qualquer objeto, com paralaxe heliocêntrica p, calculada em unidades astronômicas, é dada por:

$$d(\mathrm{UA}) = \frac{1}{p(\mathrm{rad})}$$



Quanto mais distante o objeto, **menor** a paralaxe.

O ano-luz

O ano-luz (AL) é a distância percorrida pela luz em um ano. Essa distância equivale a:

$$1\,AL = vel.\,da\,luz\,x\,1\,ano = 3\,x10^{5}\,Km/s\,x\,3{,}2\,x\,10^{7}\,s \approx 9{,}6\,x\,10^{12}\,Km$$

O Parsec

1 Parsec é a distância de um objeto tal que, um observador nesse objeto veria o raio da órbita da Terra com um tamanho angular de 1”, ou em outras palavras, é a distância de um objeto que apresenta paralaxe heliocêntrica de 1”.

A distância em unidades astronômicas, corresponde a

$$d(UA) = \frac{1}{p(rad)}$$

Mas um ângulo de 1”, expresso em radianos, vale

$$1'' = \left(\frac{1°}{3600}\right)\left(\frac{2\pi}{360°}\right) = 4{,}848\,x\,10^{-6}\,rad$$

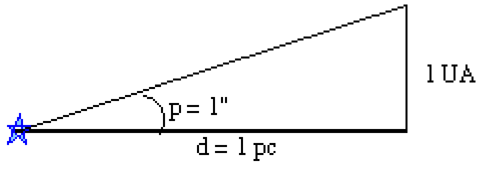
Logo:

$$1\,pc = \frac{1\,UA}{4.848\,x10^{-6}} = 206265\,UA$$

A distância de um objeto, expressa em parsecs, é dada por:

$$d(pc) = \frac{1}{p('')}$$

Um parsec, portanto, é igual a 206 265 UA, e é igual a 3,26 AL.



Resumindo as três unidades, para uma estrela com paralaxe heliocêntrica qualquer, sua distância será:

$$d(UA)=\frac{1}{p(rad)}=\frac{206\,265}{p('')}$$

$$d(pc)=\frac{1}{p('')}$$

$$d(anos-luz)=\frac{3{,}26}{p('')}$$

A estrela mais próxima da Terra, Próxima Centauri, está a uma distância de 4,3 AL, que é maior do que 1 pc (1,32 pc). Logo mesmo para a estrela mais próxima a paralaxe é menor do que $1''$ (na verdade é $0{,}76''$).

Determinação da distância via Fotometria

Para Recordar:

Magnitudes

Magnitude Aparente

O brilho aparente de um astro é o fluxo medido na Terra e, normalmente, é expresso em termos da magnitude aparente m, que por definição é dada por:

$$m=-2{,}5\log F+const$$

Porque o brilho de um astro é medido em magnitudes? Há 2000 anos, o grego Hiparco (160-125 a.C.) dividiu as estrelas visíveis a olho nú de acordo com seu brilho aparente, atribuindo magnitude 1 à mais brilhante e 6 às mais fracas. Na definição de Hiparco, as de magnitude=1 são as vinte primeiras estrelas que aparecem após o pôr-do-sol.

Em 1856, Norman Robert Pogson (1829-1891) verificou que o sistema, baseado na percepção de brilho do olho humano, é logarítmico, e o fluxo correspondente a uma estrela de primeira magnitude (m=1) era 100 vezes mais brilhante que uma estrela de magnitude 6, de modo que:

$$m_1-m_2=K\log\left(\frac{F_1}{F_2}\right)\rightarrow 1-6=K\log\left(\frac{F_1}{F_2}\right)$$

$$-5=K\log(100)\rightarrow k=-2{,}5$$

como na definição acima. Logo:

$$m_1-m_2=-2{,}5\log\left(\frac{F_1}{F_2}\right)$$

Mais precisamente, $2{,}512^5=100$. A constante const. na definição de magnitude acima define o ponto zero da escala. Normalmente utiliza-se a magnitude aparente da estrela Vega como m=0.

Magnitude Absoluta

A magnitude aparente de uma estrela mede seu brilho aparente, que depende de sua distância. Por exemplo, qual estrela é intrinsicamente mais brilhante, Sírius, com m=-1,42 ou Vega, com m=0? Claro que visto aqui da Terra, Sírius é mais brilhante. Para podermos comparar os brilhos intrínsecos de duas estrelas, precisamos usar uma medida de brilho que independa da distância. Para isso, definimos como magnitude absoluta (M) a magnitude teórica que a estrela teria se estivesse a 10 parsecs de nós.

$$M=-2,5\log[F(10\,pc)]+const$$

A diferença entre a magnitude aparente e a absoluta é dada por:

$$m-M=-2,5\log[F(r)]+2,5\log[F(10\,pc)]=-2,5\log\left(\frac{F(r)}{F(10\,pc)}\right)$$

Como

$$\frac{F(r)}{F(10\,pc)}=\frac{\dfrac{F(R)4\pi R^2}{4\pi r^2}}{\dfrac{F(R)4\pi R^2}{4\pi(10\,pc)^2}}=\frac{(10\,pc)^2}{r^2}=\frac{100\,pc^2}{r^2}$$

onde R é o raio da estrela, ou seja,

$$m-M=-2,5\log\left(\frac{100\,pc^2}{r^2}\right)$$

Da onde podemos facilmente chegar a:

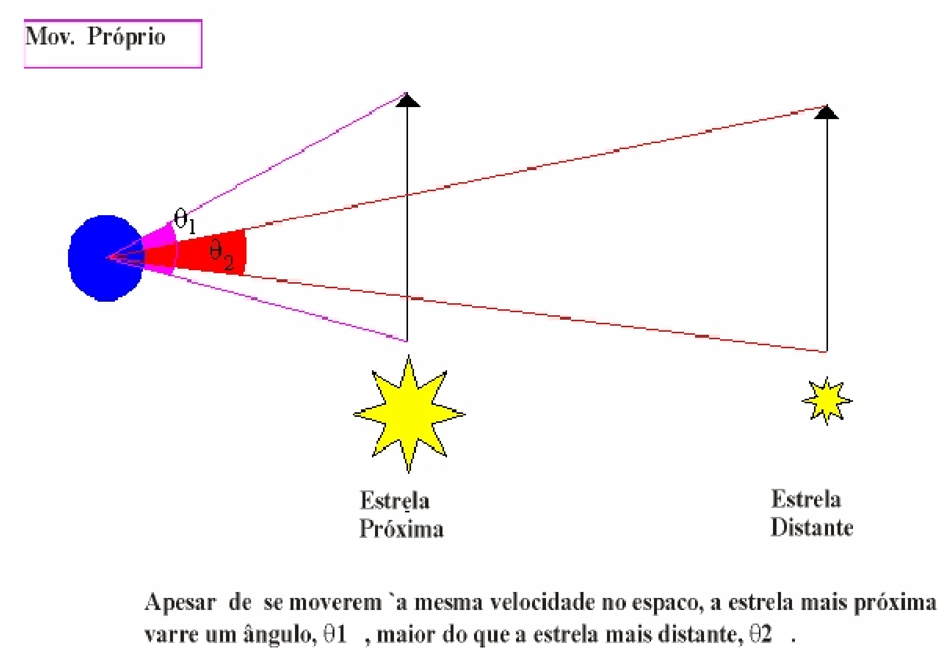
$$m-M=5\log(r)-5$$

A expressão acima é chamada de **Módulo da distância**

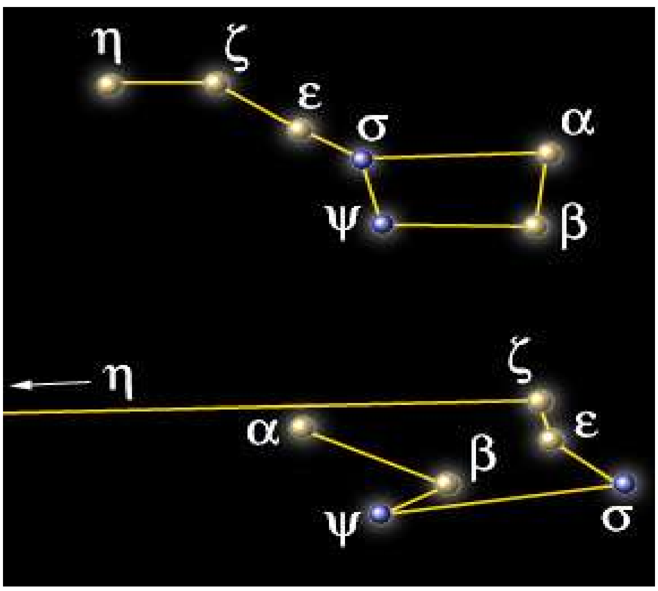
Quando há a presença de poeira interestelar o módulo da distância é dado pela expressão: $m-M=5\log(r)-5+A$, onde m é a magnitude aparente, M é a magnitude absoluta (A magnitude absoluta é a medida do brilho intrínseco de uma estrela, ou seja, a medida de sua luminosidade), r é a distância do observador ao objeto e A é a absorção da luz, devido à extinção interestelar, em magnitudes. Considerando a magnitude na banda V, podemos escreve: $A_V=R_V E(B-V)$, onde $E(B-V)$ é o excesso de cor e R_V é a razão entre a extinção total e a seletiva, tipicamente $R_V\approx 3$.

Movimentos Próprios:

Embora as estrelas pareçam estar fixas no céu, elas na verdade se movem no espaço com velocidades altas, da ordem de dezenas ou centenas de km/s. Suas distâncias gigantescas fazem com que estes movimentos sejam quase imperceptíveis. O movimento aparente das estrelas no céu, embora pequeno, é mensurável. A ele chamamos de movimento próprio.



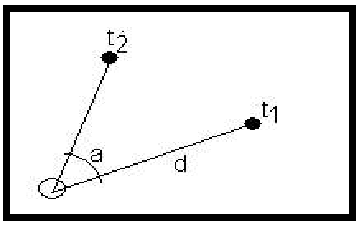
As estrelas mais próximas apresentam em geral movimentos próprios maiores. A estrela com maior movimento próprio é a estrela de Barnard. Ela se desloca no céu por um ângulo de 10" a cada ano. Somente algumas estrelas possuem movimentos próprios maiores do que 1" ao ano. Assim, a forma das constelações que as estrelas delineiam no céu pouco se altera com o tempo. No diagrama abaixo vemos a forma de uma constelação boreal, a Ursa Maior, no presente (parte superior) e daqui a 10000 anos.



Note que nosso Sol também se move no interior de nossa Galáxia, carregando consigo seus nove planetas e corpos menores. Assim sendo, na direção do movimento do Sol, as estrelas parecem estar divergindo de um ponto à nossa frente, chamado de ápex. Na direção contrária, elas parecem convergir para um ponto, chamado de anti-ápex. O efeito é semelhante ao de um automóvel em uma estrada; as bordas da estrada à nossa frente parecem se abrir à medida em que avançamos, enquanto que atrás de nós elas parecem se fechar.

Outra maneira de determinar a distância de uma estrela é através da **paralaxe secular ou estatística,** neste caso a estrela descreve uma órbita, ou seja é o movimento próprio da estrela. Então a distância pode ser determinada pela expressão:

$$V_t = K \alpha d$$



Onde k é uma constante (vale 4.74 para que α expresso em ``/ano), α é o ângulo entre a medida da posição em t_1 e t_2 , V_t é a velocidade tangencial e d é a distância ao objeto.

Determinação da distância via espectroscopia

Outra maneira de determinarmos a distância de um objeto é apartir das linhas de seu espectro (linhas em emissão ou absorção) fazendo uso do efeito Doppler. A posição observada e a posição de laboratório de uma linha se relacionam da seguinte forma:

Se a velocidade for muito menor que a da luz

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c}$$

Se a velocidade for comparavel a velocidade da luz:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c}\cos(\theta)\left(\frac{1}{1-\frac{v^2}{c^2}}\right)$$

Para usarmos espectros estelares (linhas em absorção em sua maioria) devemos levar em conta o movimento relativo ao Sol. A velocidade do Sol em relação as estrelas em sua vizinhança é de 20 km/s.