



Orientação pelas estrelas

Laurindo Sobrinho

24 de março de 2017

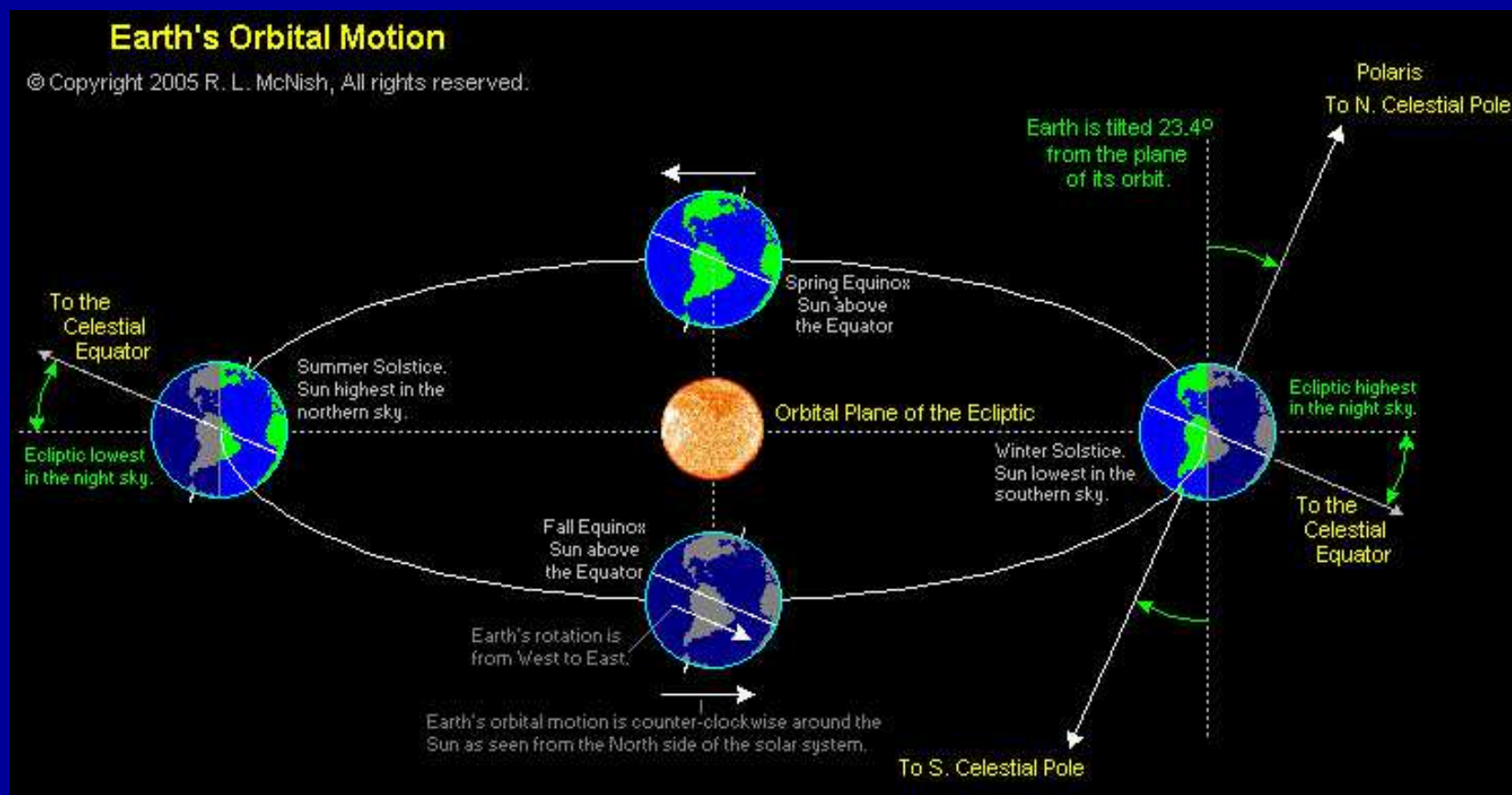


A Terra roda em torno do Sol a cada 365.24 dias

A Terra roda sobre si mesma a cada 24h.

Inclinação do eixo de rotação da Terra: 23.4°

Latitude da Madeira: aprox. 32°N .

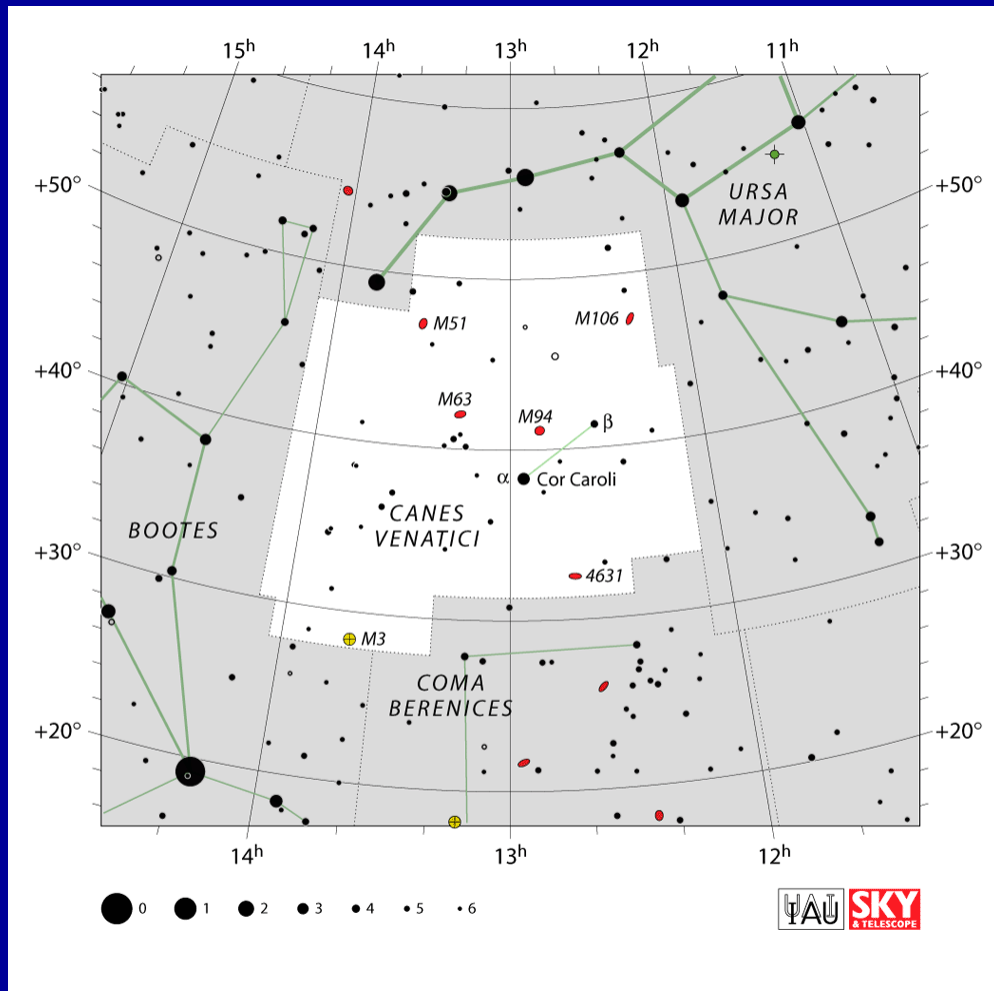




Constelações

Na Astronomia atual uma constelação é uma área definida artificialmente (e aceite internacionalmente) sobre a esfera celeste. Estas áreas agrupam-se geralmente em torno de conjuntos de estrelas brilhantes. A União Astronómica Internacional reconhece atualmente **88 constelações**.





Constelação de Canes Venatici (Cães de Caça)

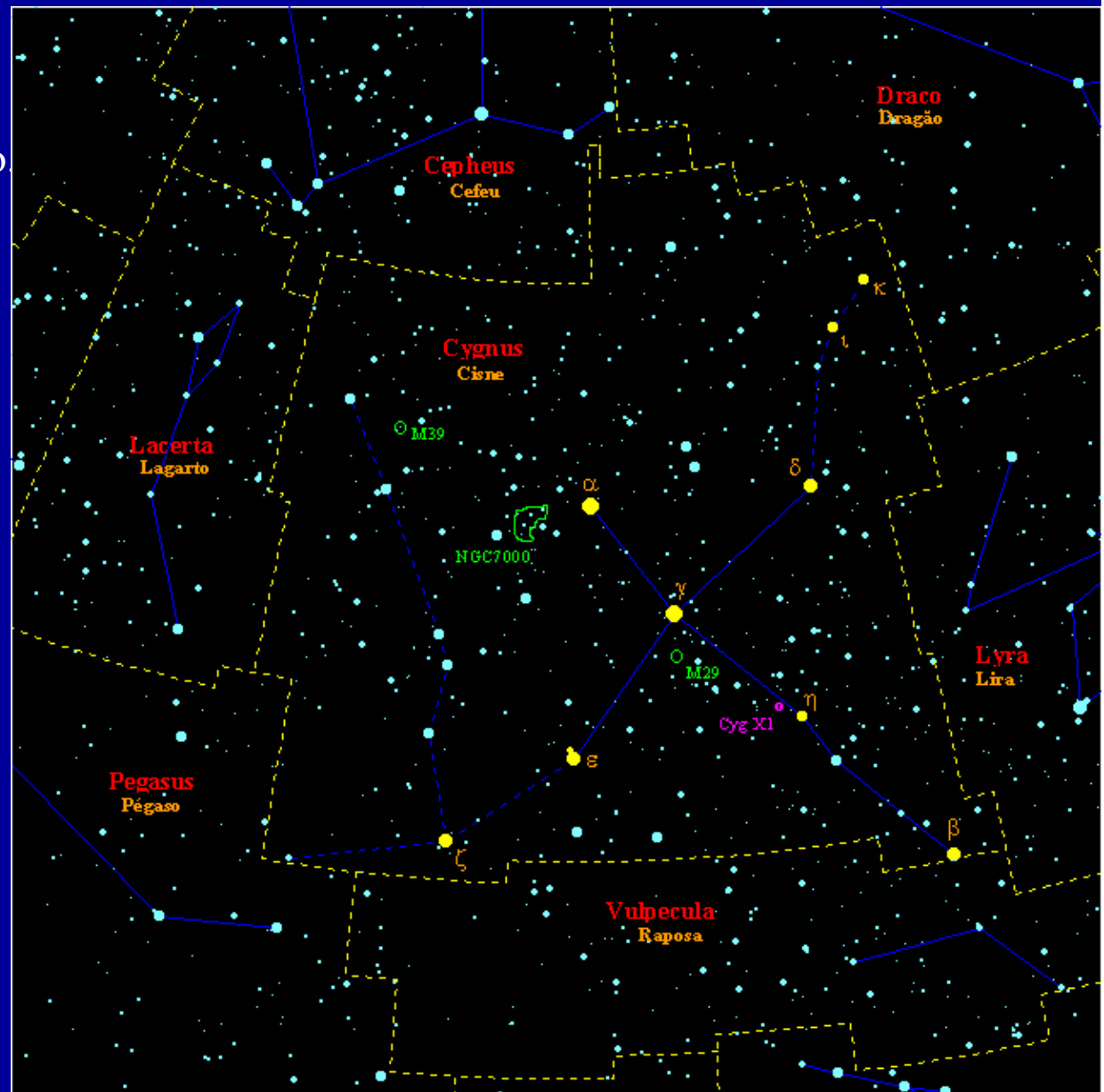
De notar que uma constelação não é apenas uma figura (ligando estrelas brilhantes) mas sim toda uma zona sobre a esfera celeste.

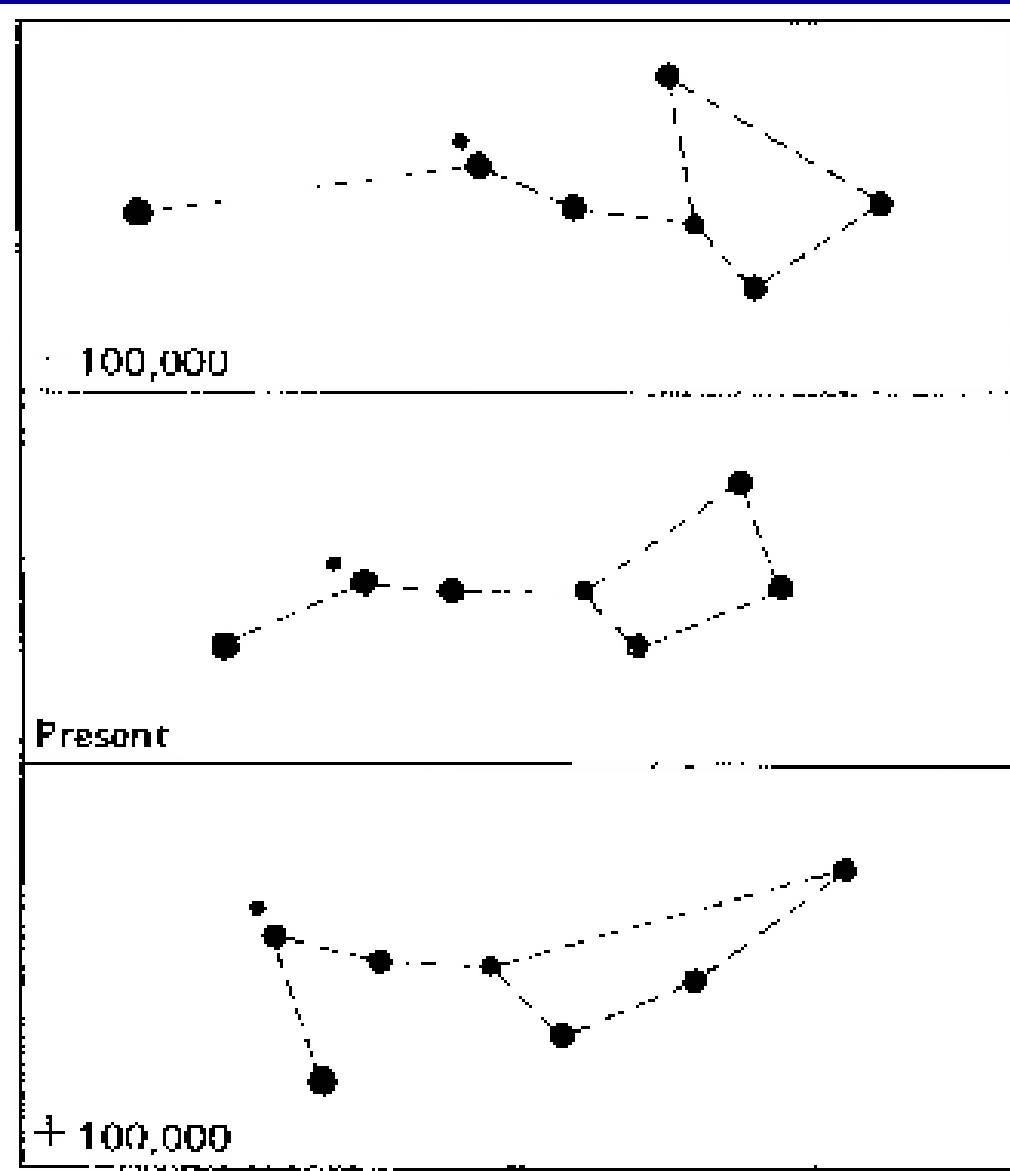
Ao olharmos para o céu não temos a noção de profundidade. Contudo, os objetos que podemos observar numa determinada constelação estão a distâncias muito variadas pelo que, em geral, não existe qualquer relação física entre eles.



Em geral não existe qualquer relação entre as estrelas de uma constelação. Elas estão a distâncias bastante diferentes entre si.

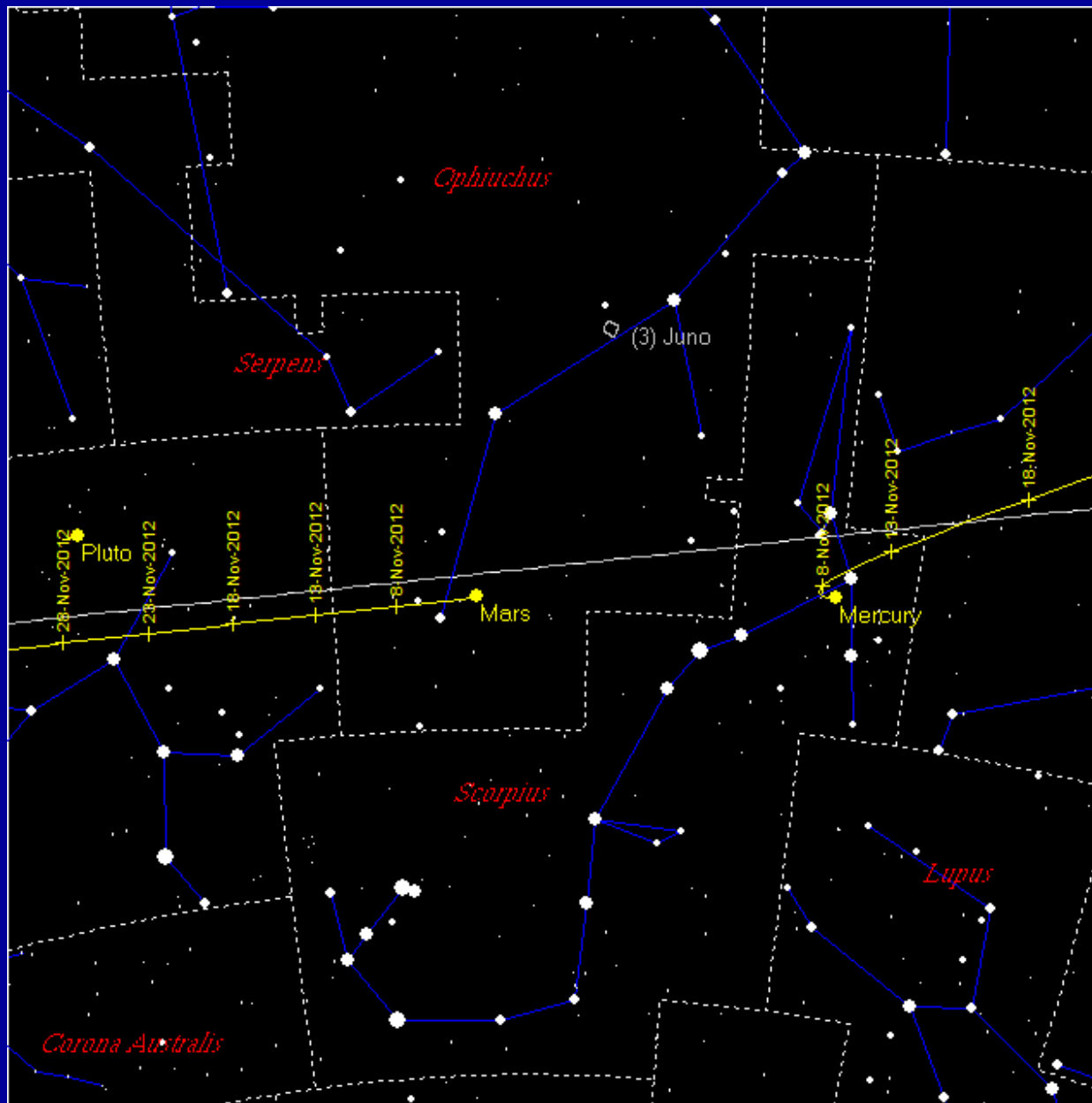
Nome	Designação	Distância (AL)
Deneb	alfa Cyg	2000
Sadr	gama Cyg	800
-	eta Cyg	200
Albireo	beta Cyg	400
-	zeta Cyg	200
-	epsilon Cyg	70
-	delta Cyg	150
-	iota Cyg	100
-	kapa Cyg	150





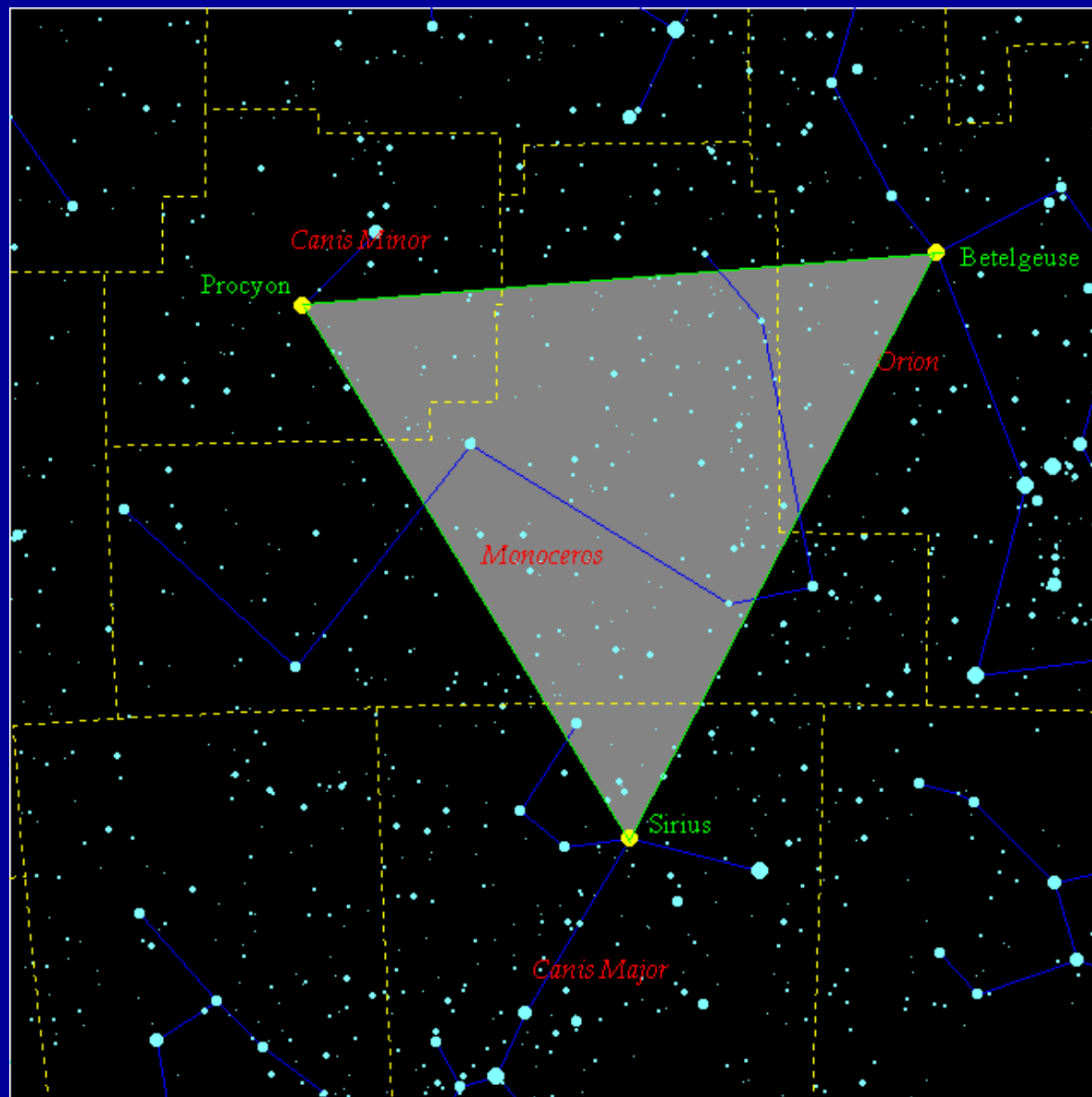
As estrelas distantes passam largos milhares de anos sem alterarem aparentemente a sua posição (mantendo-se na mesma constelação nas mesmas posições).

Na imagem do lado temos uma simulação do **movimento próprio** de algumas estrelas da Ursa Maior a intervalos de 100 000 anos.

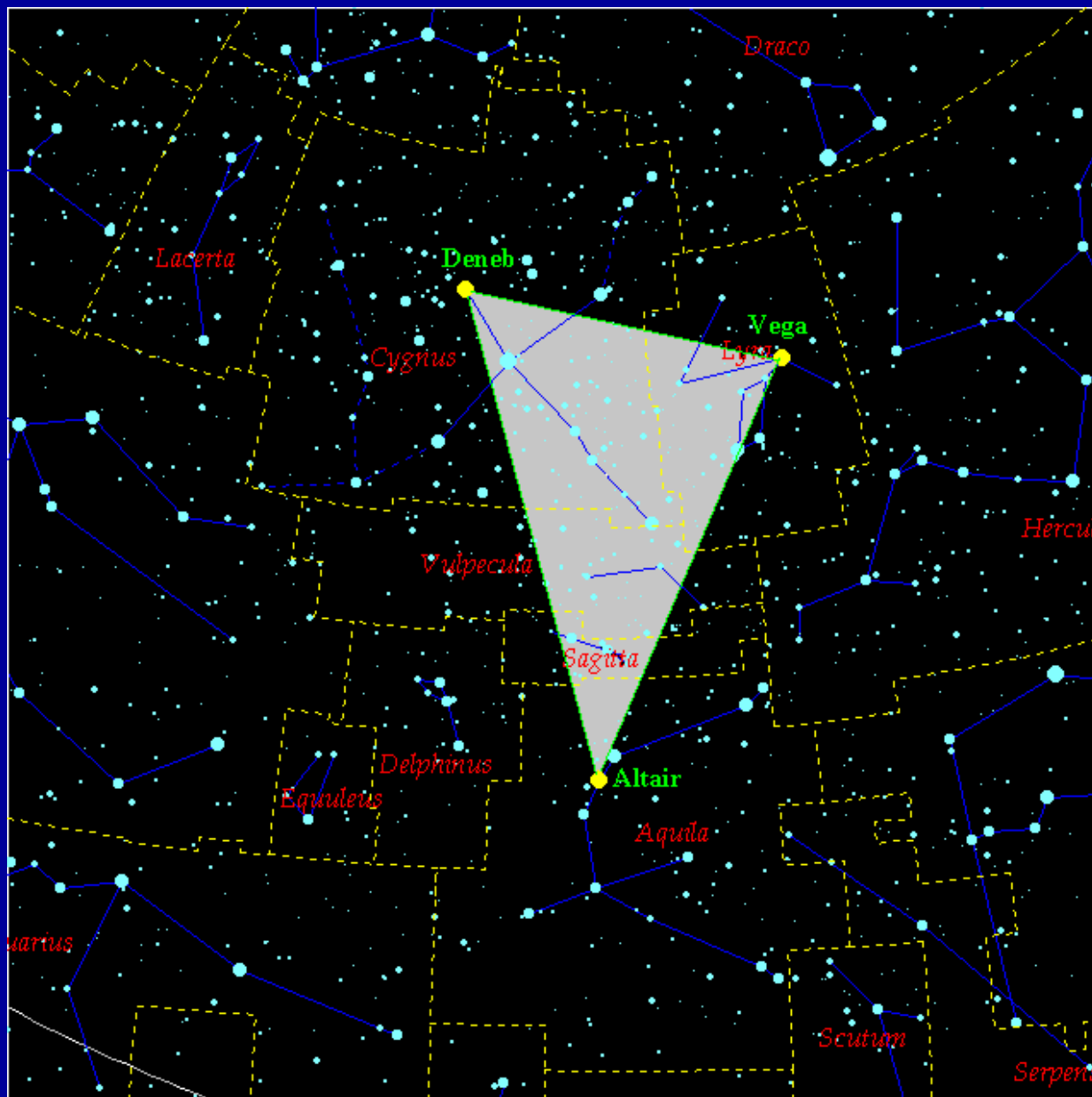


Os planetas, por estarem muito mais próximo, têm movimentos muito mais perceptíveis. Por exemplo, Marte a 3 de novembro de 2012 estava na constelação de Ofiúco e a 12 de novembro de 2012 já estava em Sagitário.

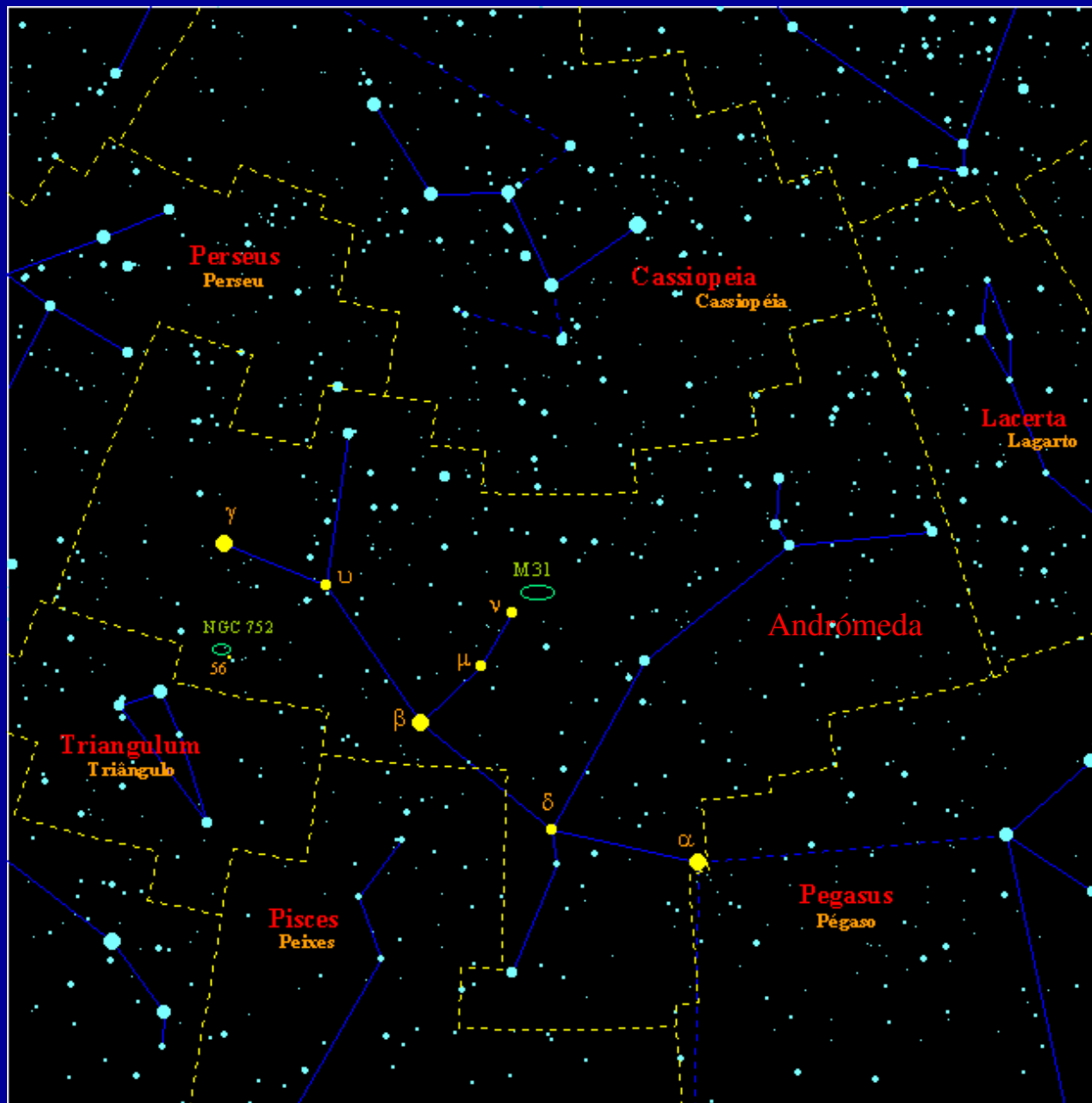
Por esta razão os planetas eram designados na antiguidade por “*corpos errantes*”.



Triângulo de Inverno: os vértices são 3 das estrelas mais brilhantes no céu durante os meses de inverno (Sirius, Betelgeuse, Procyon).



Triângulo de Verão: os vértices são 3 das estrelas mais brilhantes no céu durante os meses de verão (Vega, Deneb e Altair).



A constelação de Andromeda. Nesta constelação fica a galáxia M31, também designada por **galáxia de Andromeda** – o objecto mais distante que podemos ver a olho nu (fica a 2.5 milhões de anos luz).



Movimento “aparente” das estrelas ao longo da noite

A aparência do céu muda ao longo da noite.

Devido ao movimento de rotação da Terra, à medida que vai passando a noite, verificamos que a esfera celeste roda como um todo em torno da Terra (em sentido contrário ao da rotação da Terra).

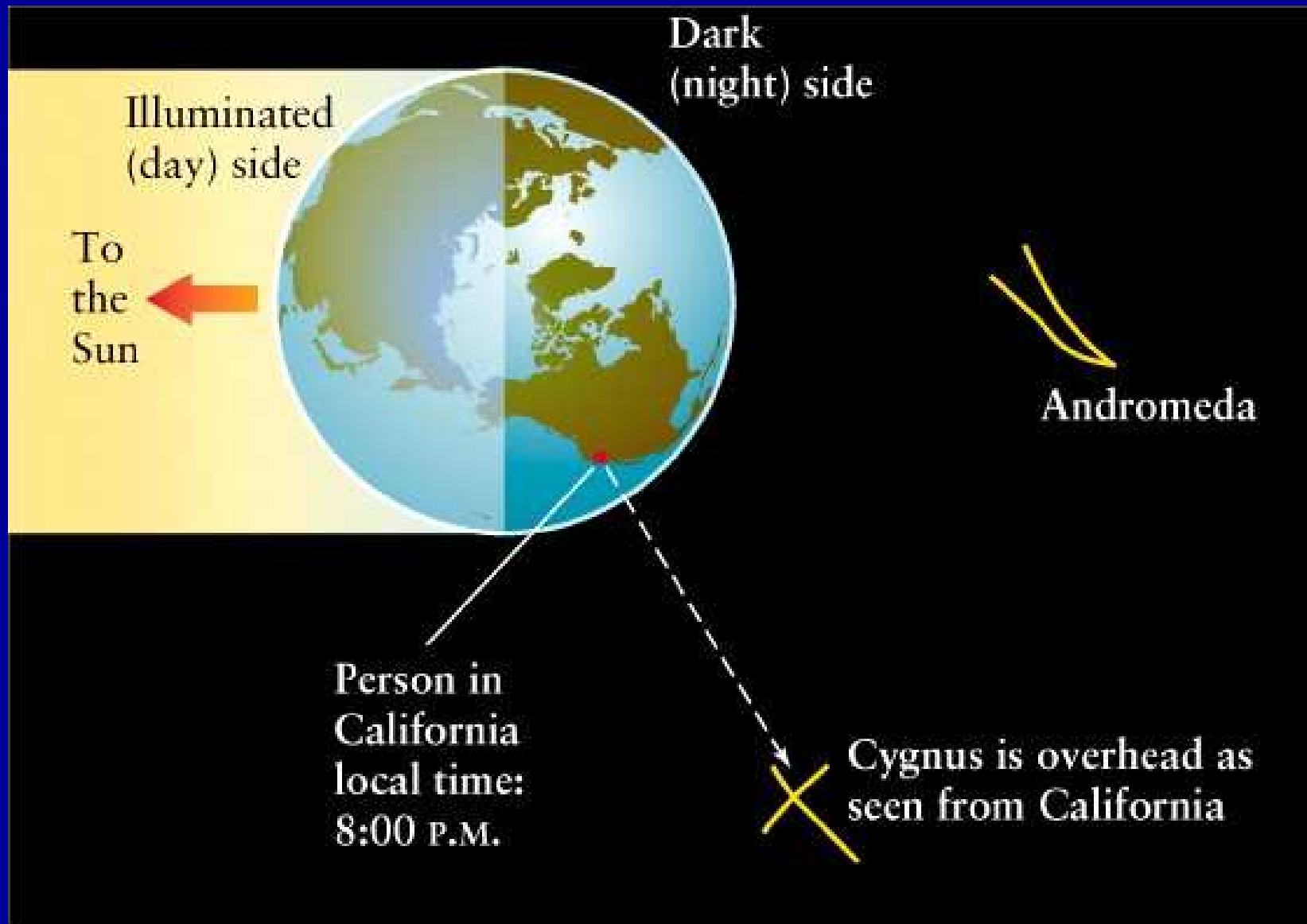
Pela mesma razão, durante o dia vemos o Sol nascer, subir no horizonte e se pôr do outro lado ao fim da tarde.

Estes movimentos são uma consequência direta do movimento de rotação da Terra.

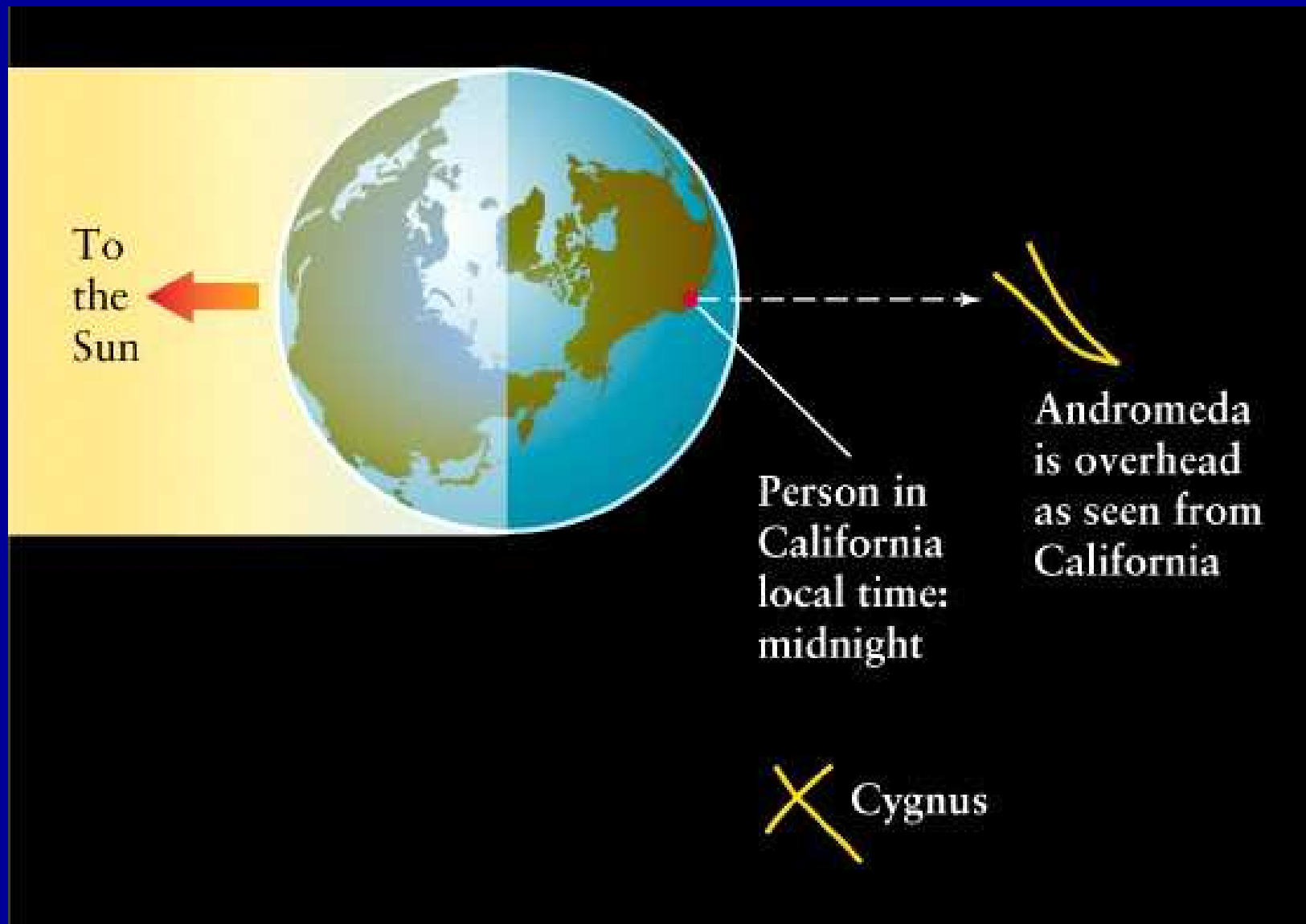


Universidade da Madeira

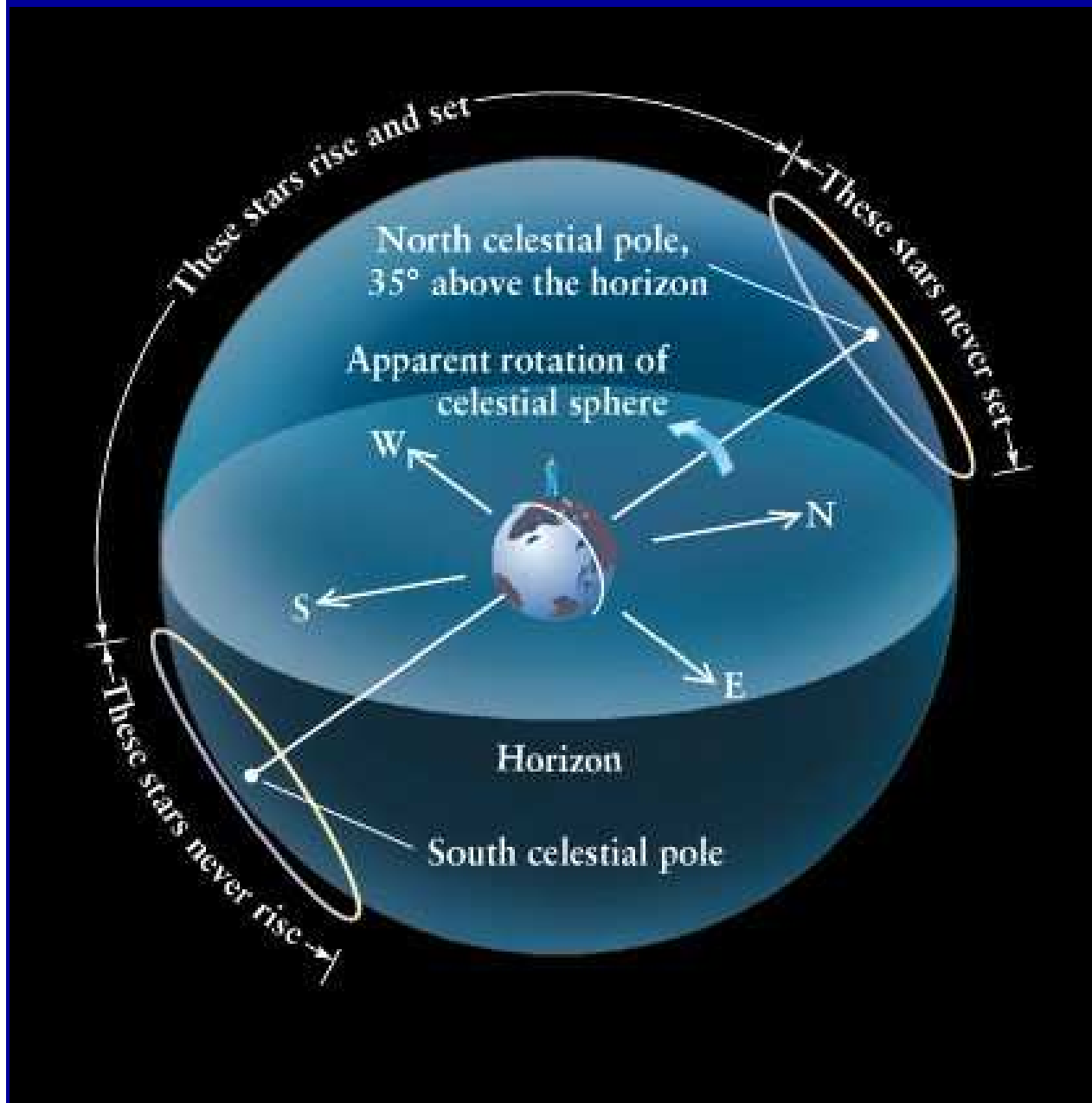
Grupo de Astronomia



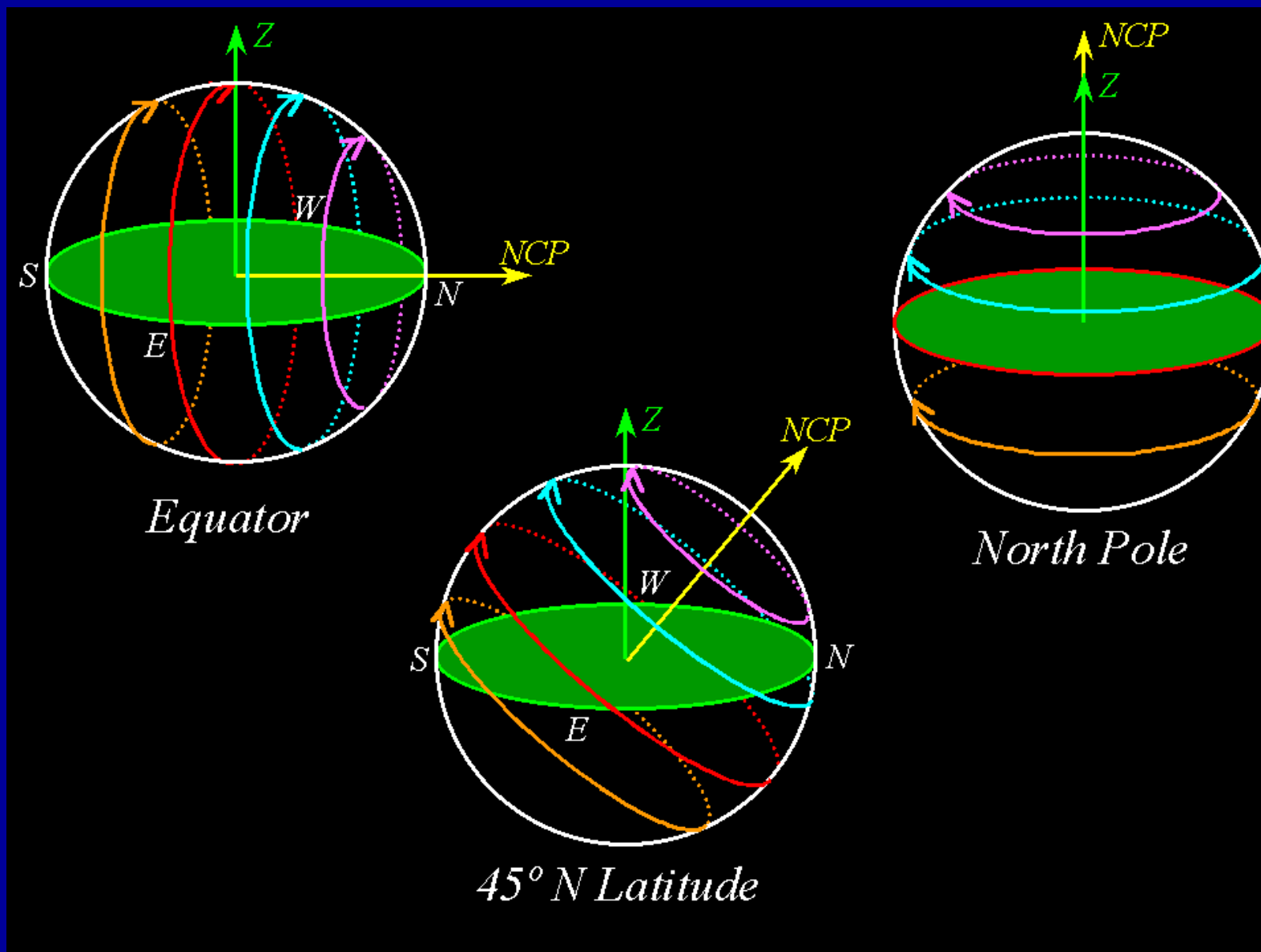
a Earth as seen from above the north pole

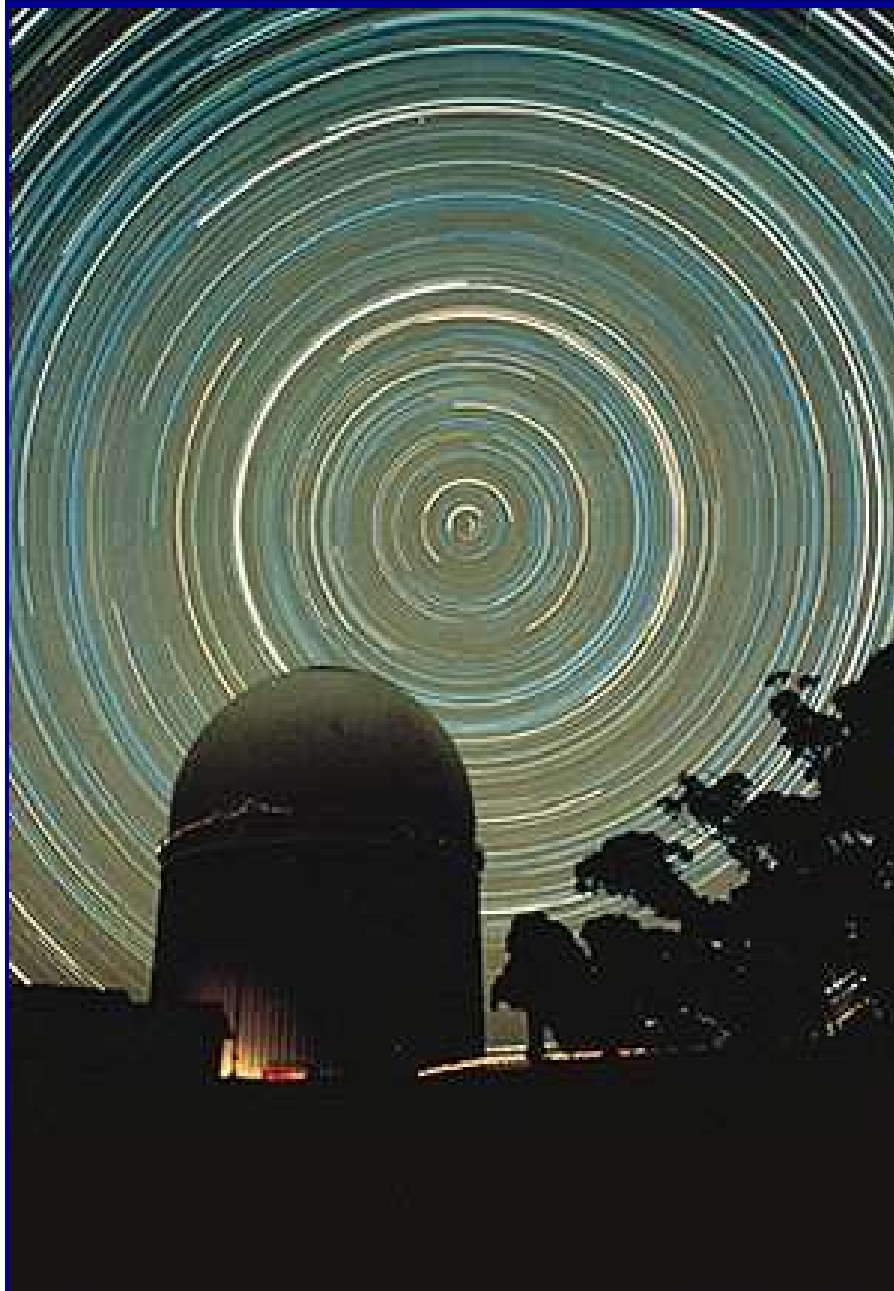


b 4 hours later



Movimento aparente das estrelas para um observador situado a 35°N





Exposição longa mostrando o movimento das estrelas circumpolares em torno do eixo de rotação da Terra. Próximo do centro temos a *Estrela Polar*.

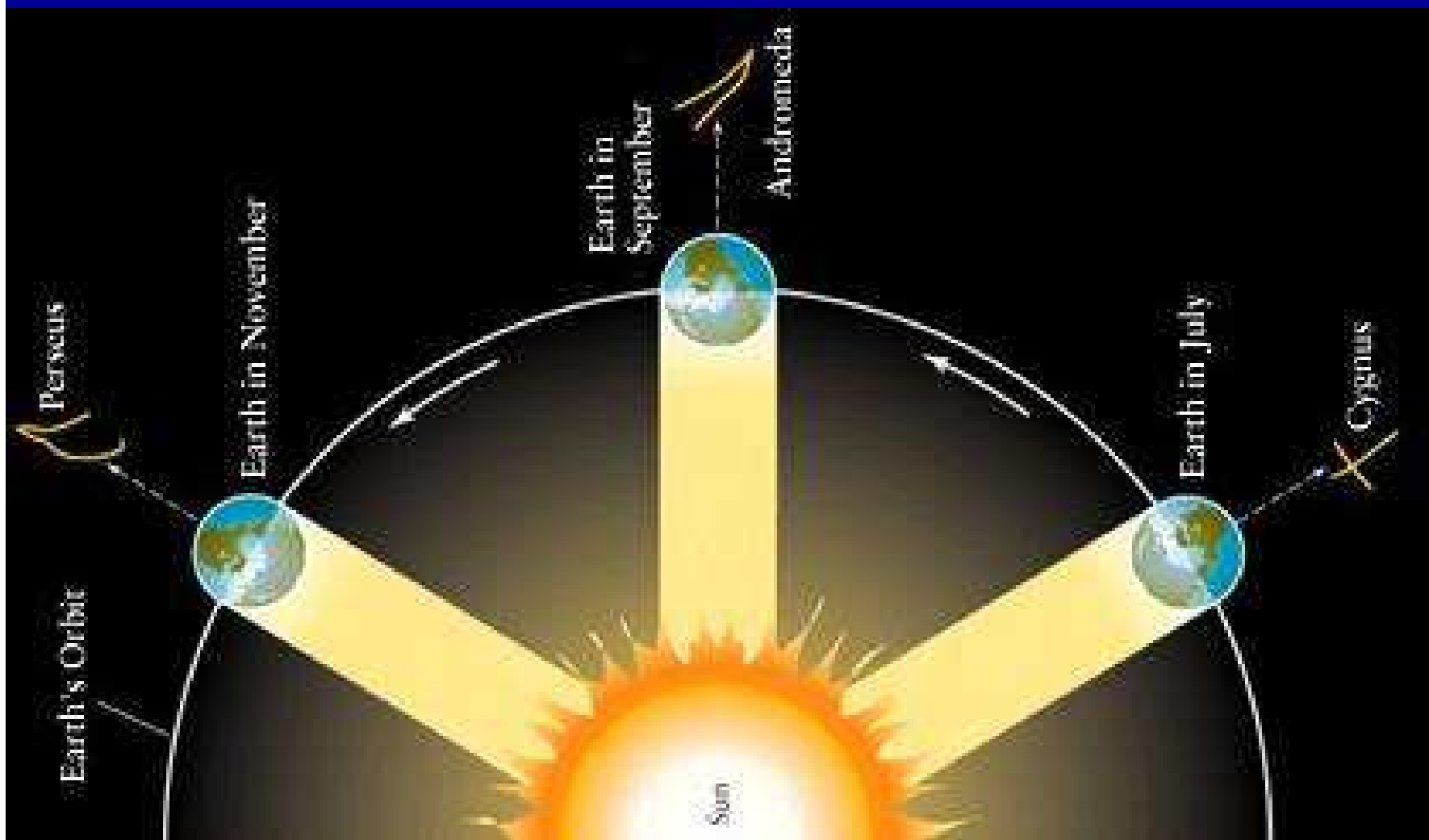


Movimento “aparente” das estrelas ao longo do ano

Se a Terra não tivesse movimento de translação, de noite para noite, à mesma hora veríamos a esfera celeste exatamente da mesma forma.

No entanto, como o **movimento de translação** existe, no dia seguinte à mesma hora o que vemos é uma esfera celeste ligeiramente adiantada à do dia anterior.

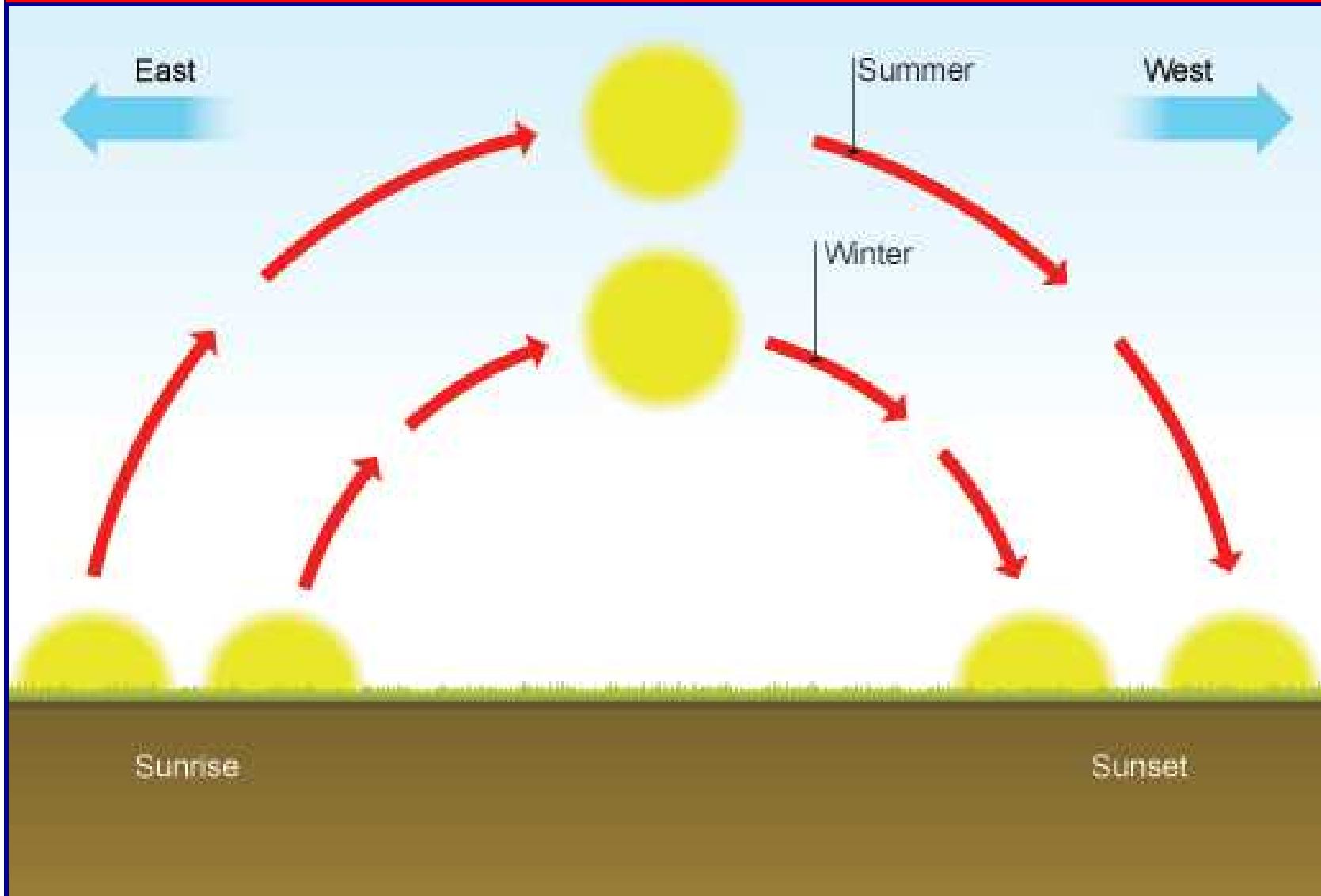
Esse adiantamento corresponde a cerca de **3.8 minutos**.





Movimento aparente do Sol

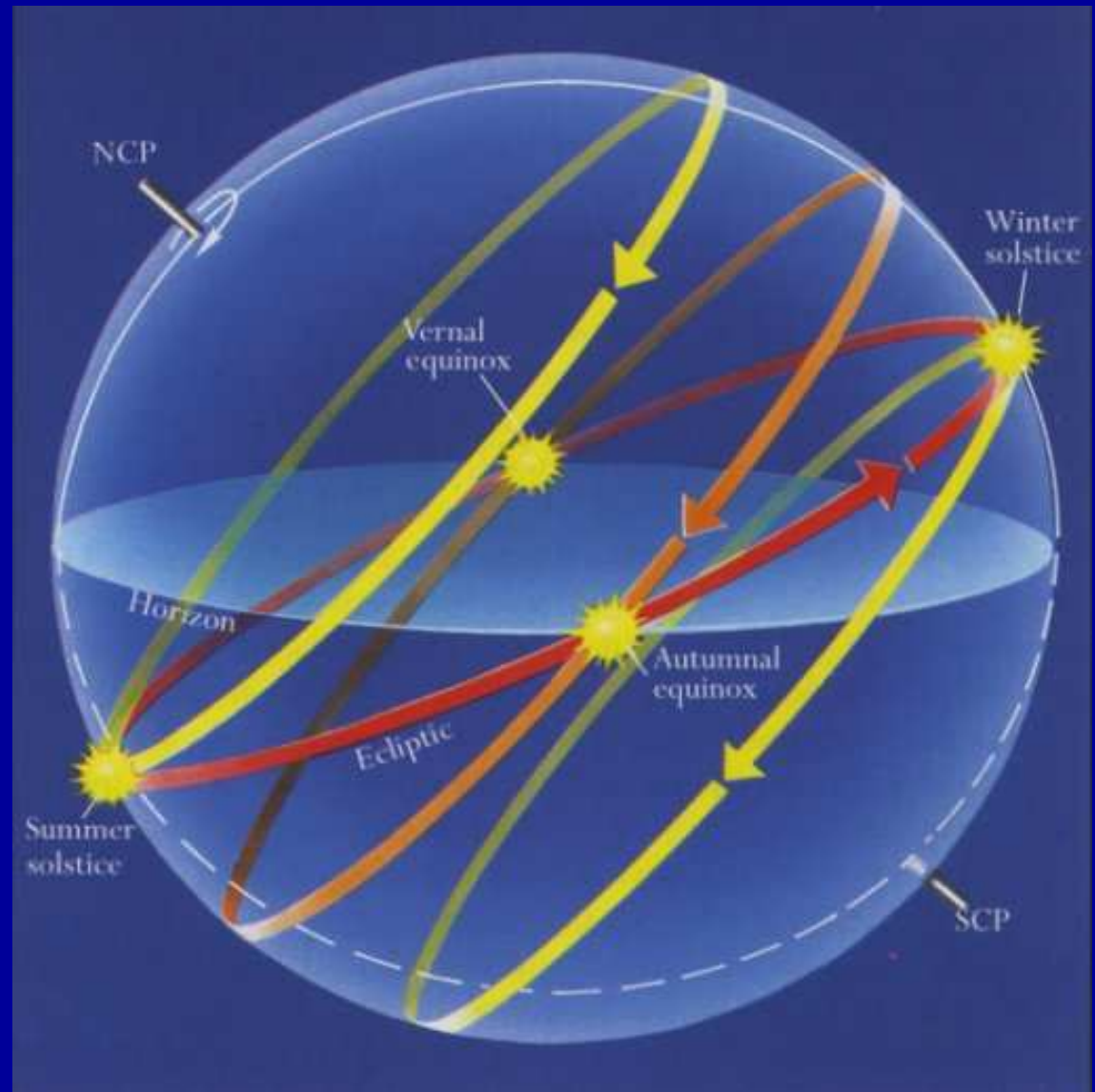
Grupo de Astronomia





Eclíptica : percurso aparente do Sol ao longo de um ano sobre a esfera celeste.

Está **inclinada 23.5°** em relação ao equador celeste (devido à inclinação do eixo de rotação da Terra) intersectando este em apenas dois pontos: **equinócios** (dia igual à noite).



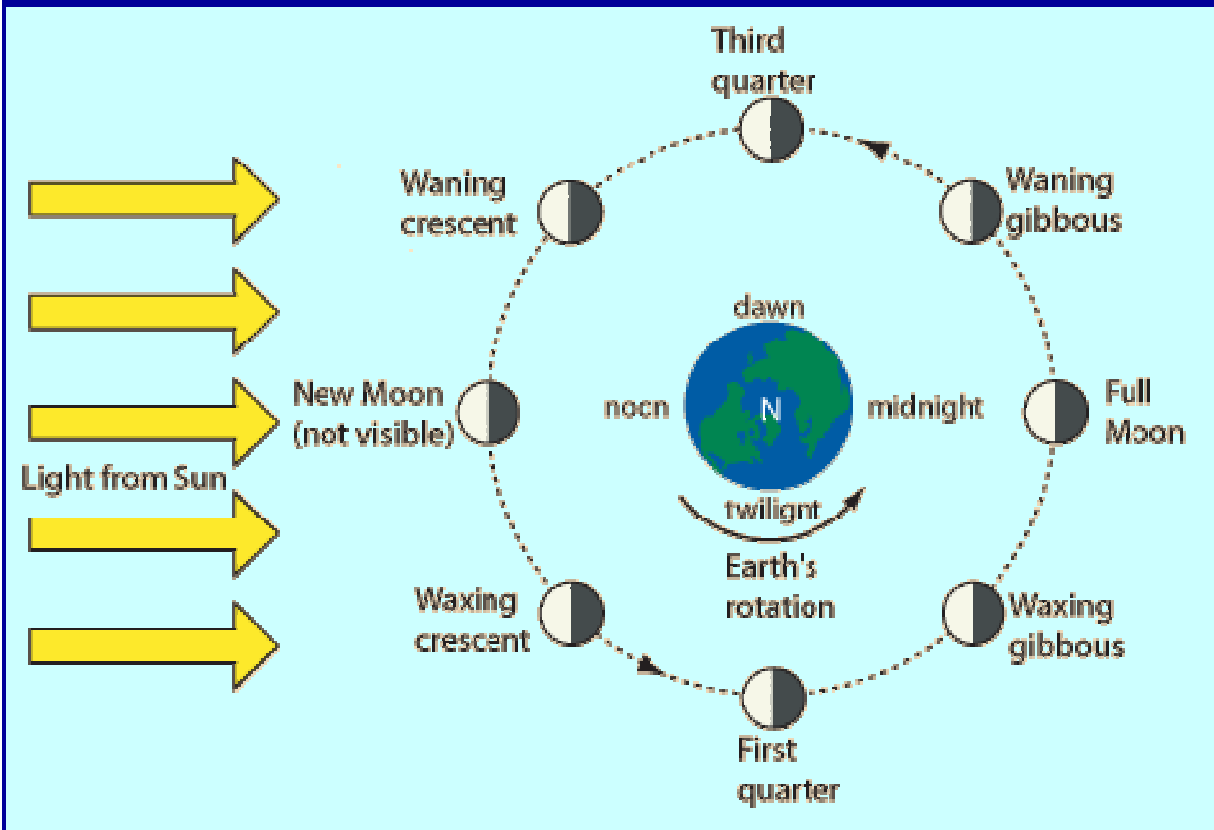


Movimento da Lua



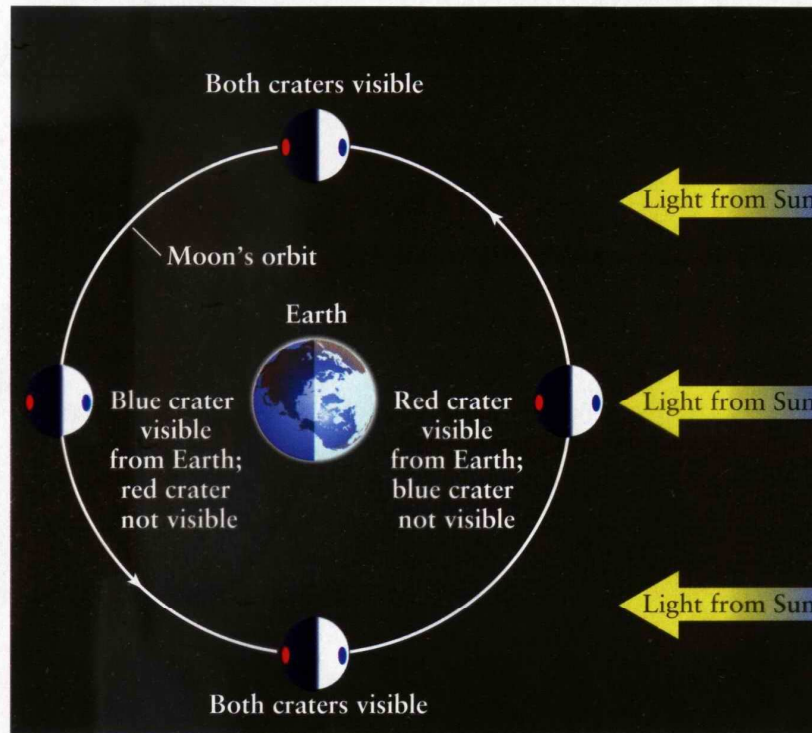
A Lua está a sempre visível a partir de um determinado ponto da Terra.



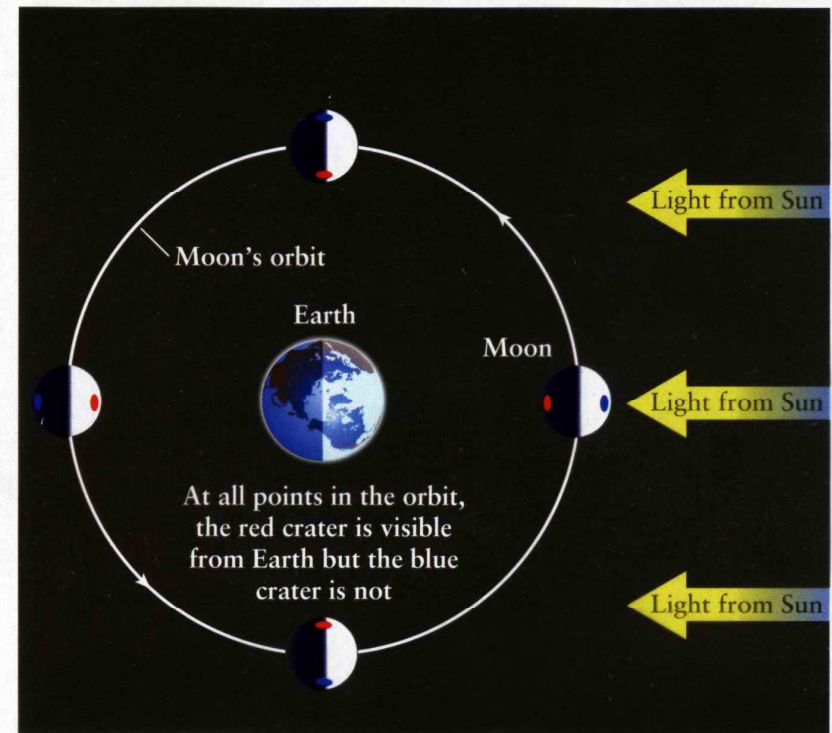


<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/solar/moonphase.html>

A Lua apresenta sempre a mesma face virada para a Terra. À medida que os dias vão passando vemos diferentes frações dessa face iluminada: são as chamadas **fases lunares**.



a If the Moon did not rotate, we could see all sides of the Moon



b In fact the Moon does rotate and we see only one face of the Moon

<http://crab0.astr.nthu.edu.tw/~hchang/ga1/ch03-01.htm>

Vemos sempre a mesma face da Lua a partir da Terra (figura da direita). Poderíamos então pensar que a Lua não roda sobre si própria (figura da esquerda). Esta ideia é errada. Se a Lua não tivesse movimento de rotação em torno de si mesma não veríamos sempre a mesma face virada para nós.

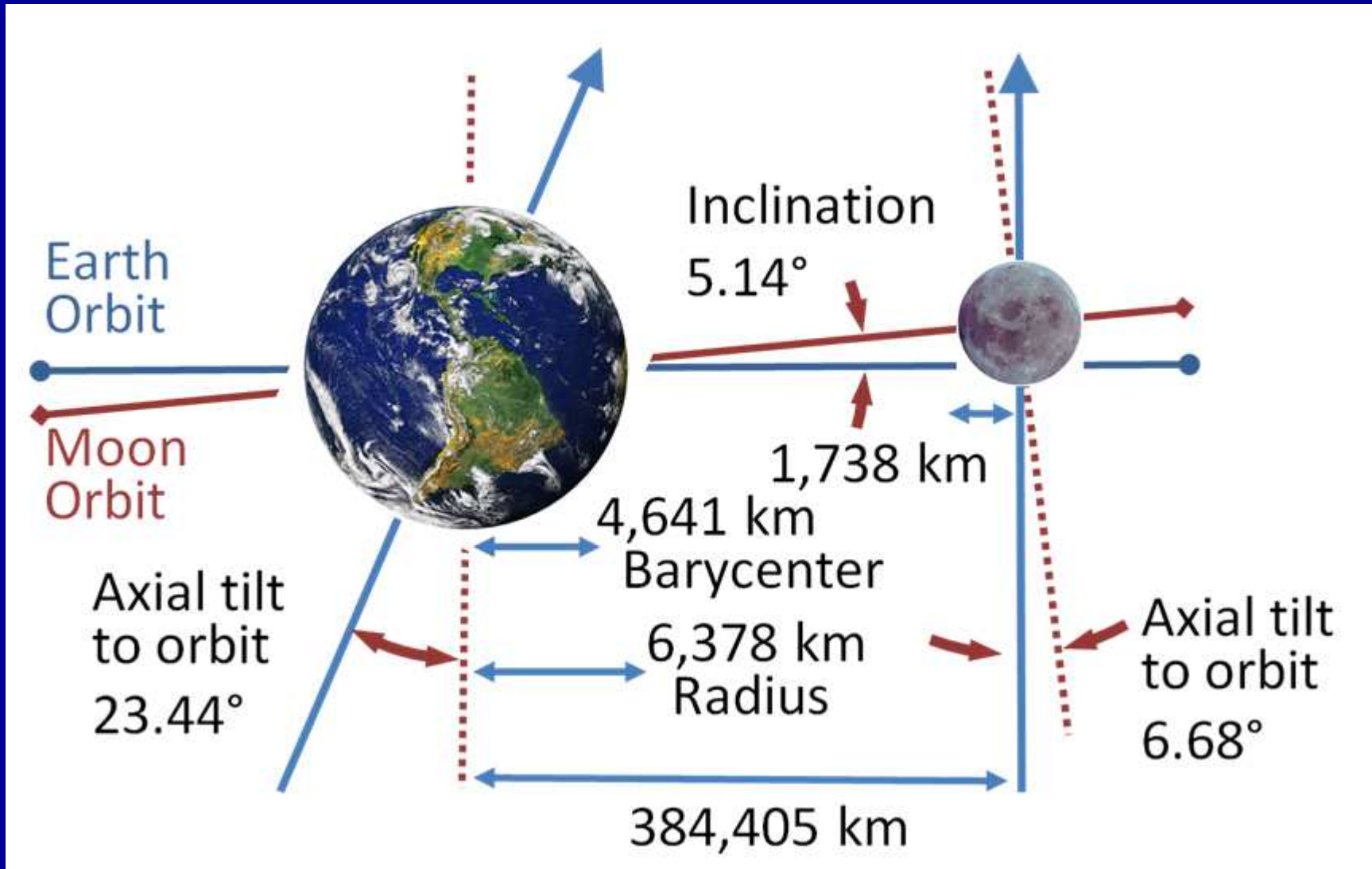


Vemos sempre a mesma face da Lua a partir da Terra.

Isso acontece porque a Lua demora exatamente o mesmo tempo a dar uma volta sobre si própria e a completar uma volta em torno da Terra (cerca de 28 dias).

Para um observador na Lua o Sol nasce e põe-se no horizonte tal como acontece aqui na Terra. Assim, não existe de facto o designado lado escuro da Lua. Faz mais sentido falarmos em lado mais próximo e lado mais distante da Lua.

Um dia lunar são cerca de 28 dias terrestres. Entre o nascer e o pôr do Sol, num dado ponto da Lua, passam em média cerca de duas semanas.

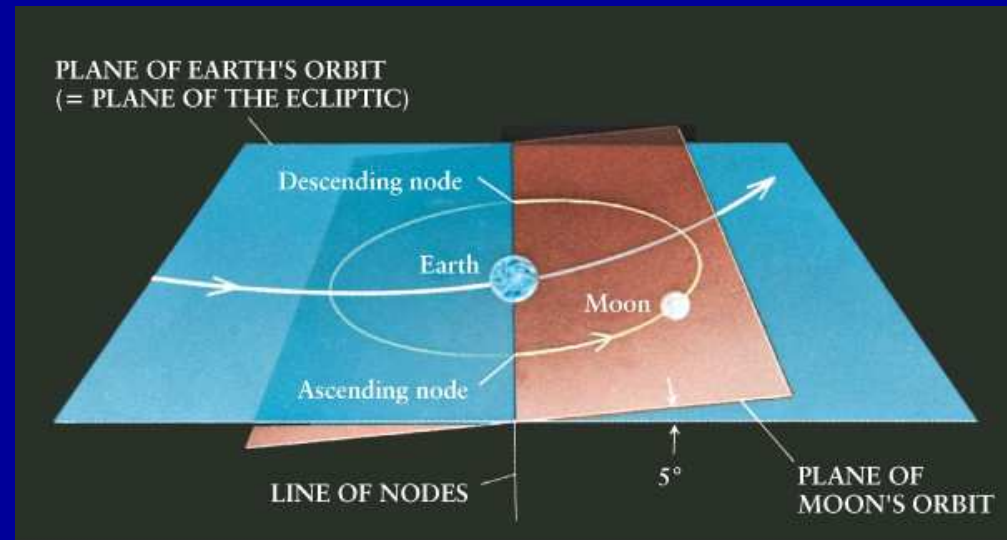


Earth-image from NASA; arrangement by brews_ohare - NASA <http://visibleearth.nasa.gov/>



A Lua e os Eclipses

Um eclipse lunar ou solar ocorre quando a Lua, a Terra e o Sol estão alinhados numa dada direção.

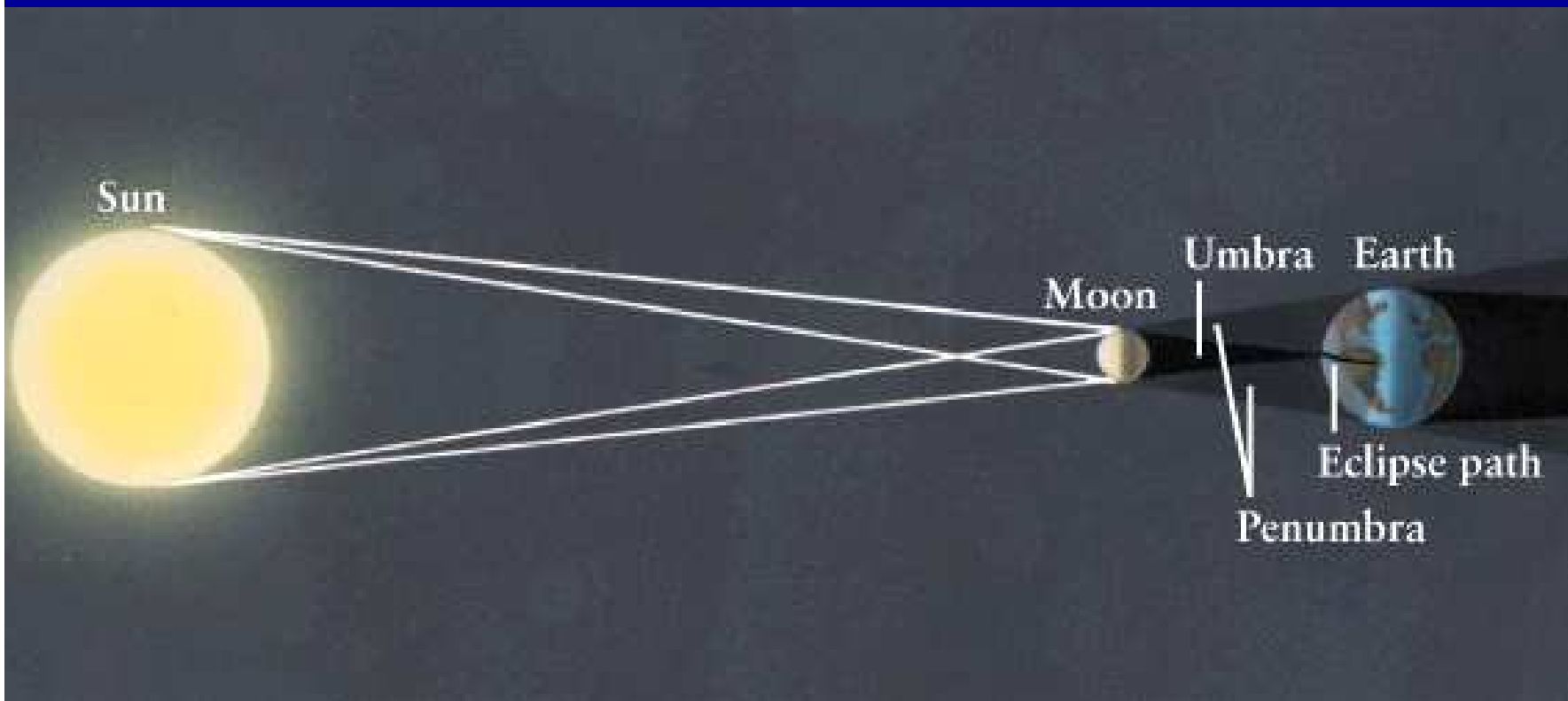


Se o plano orbital da Lua não estivesse ligeiramente inclinado (em relação ao plano orbital da Terra em torno do Sol) teríamos eclipses de duas em duas semanas. Devido à essa inclinação de cerca de 5° os eclipses acabam por ser eventos relativamente raros. No máximo podemos ter cinco eclipses solares e sete lunares num ano.



Os eclipses solares podem ser parciais, totais ou anelares.

Apenas numa estreita faixa ao longo do globo o eclipse atinge a totalidade. A ladear essa faixa temos uma região onde o eclipse é apenas parcial e fora dessa região não temos eclipse.





Vistos da Terra o Sol e a Lua têm praticamente o mesmo diâmetro angular (cerca de 0.5°).

No entanto, como a órbita da Lua em torno da Terra é ligeiramente elíptica acontece que o diâmetro angular da Lua varia ligeiramente.

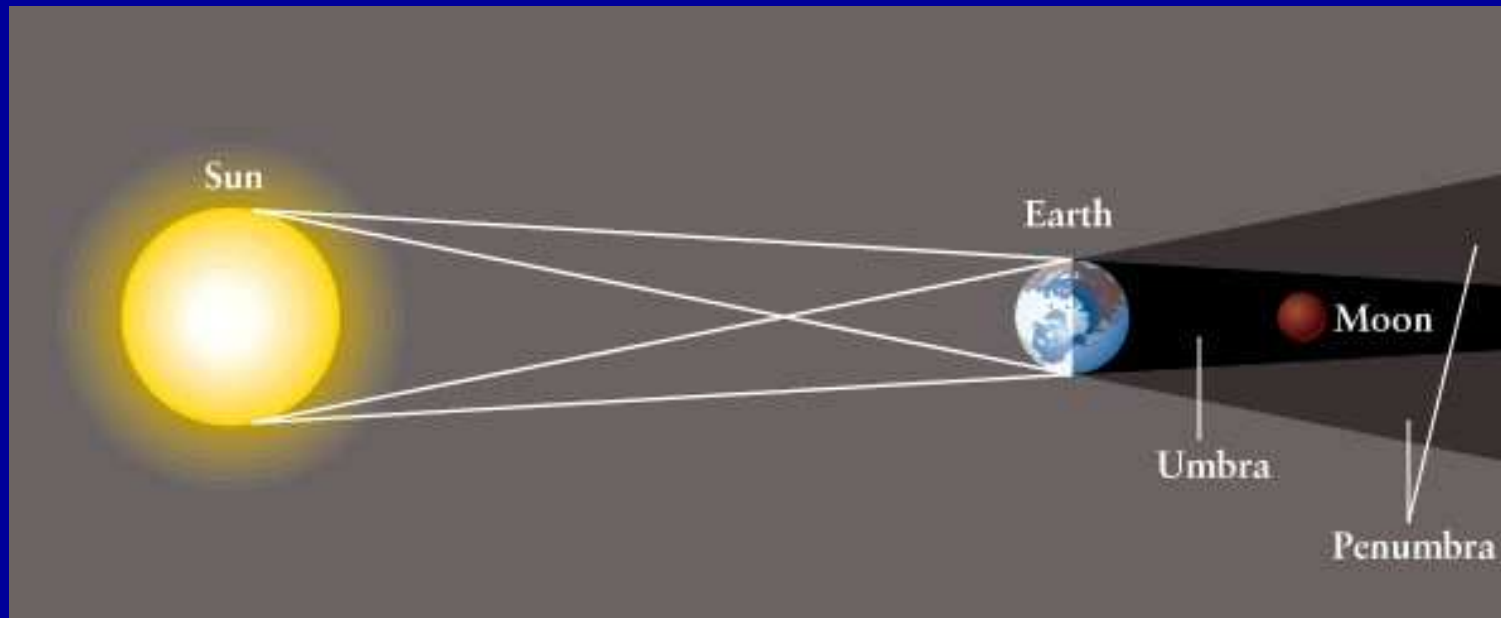
Em particular quando a Lua está no ponto mais afastado da Terra o seu diâmetro angular é menor e já não consegue cobrir completamente o Sol. Neste caso temos um **eclipse anelar**.



A Terra cria no lado oposto ao Sol uma zona de sombra. Essa zona de sombra divide-se em duas partes:

Umbra – escuridão total (não se vê o Sol)

Penumbra – zona de sombra onde se vê apenas parte do Sol.



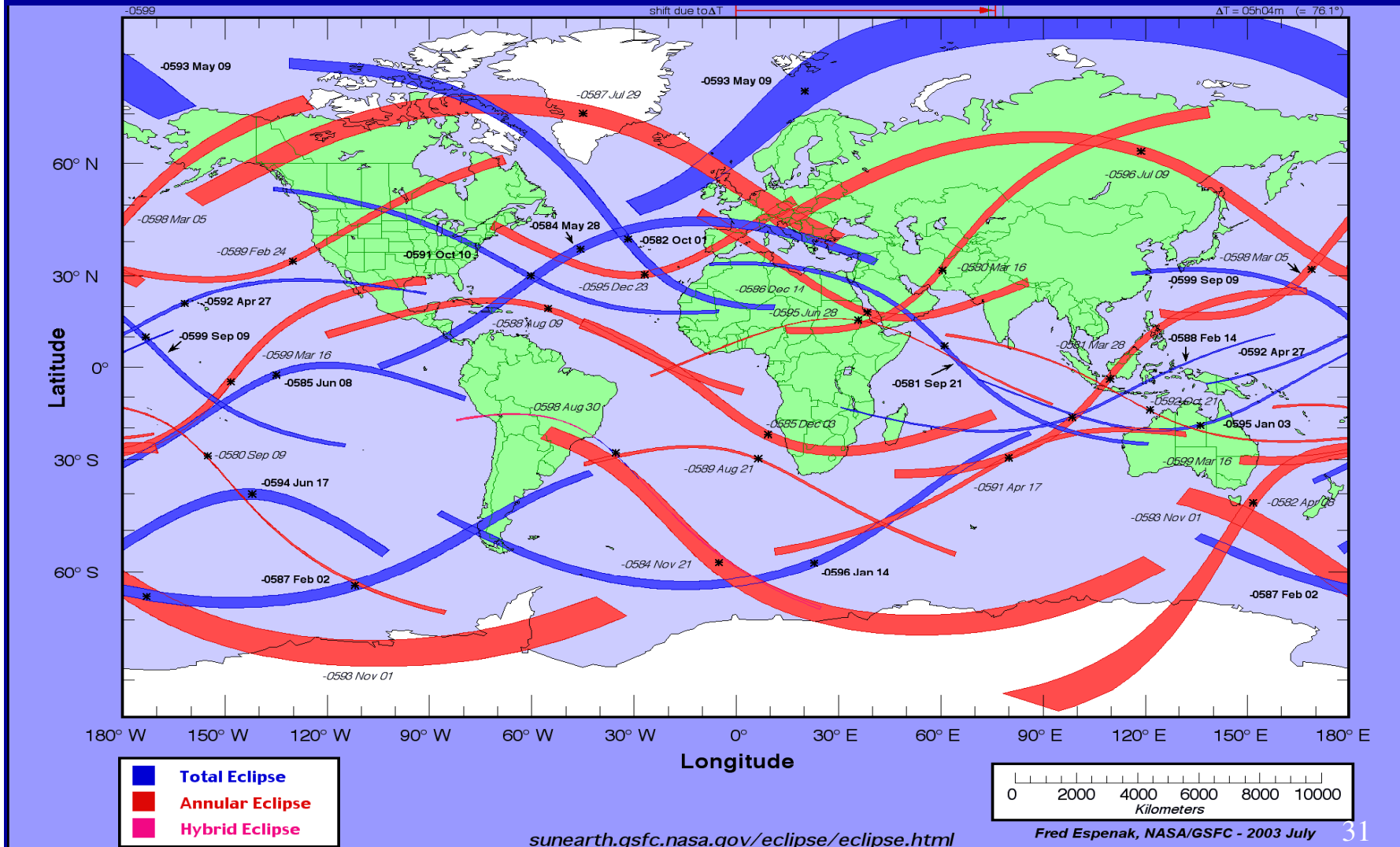
Os eclipses lunares podem ser **parciais** (apenas parte da Lua passa pela umbra, **totais** (Lua passa toda pela umbra) ou **penumbrais** (Lua só passa pela penumbra. Em média 1/3 de todos os eclipses lunares são totais, 1/3 são parciais e 1/3 são penumbrais.



Universidade da Madeira

Sabemos atualmente como determinar com bastante precisão a ocorrência de eclipses (passado e futuro).

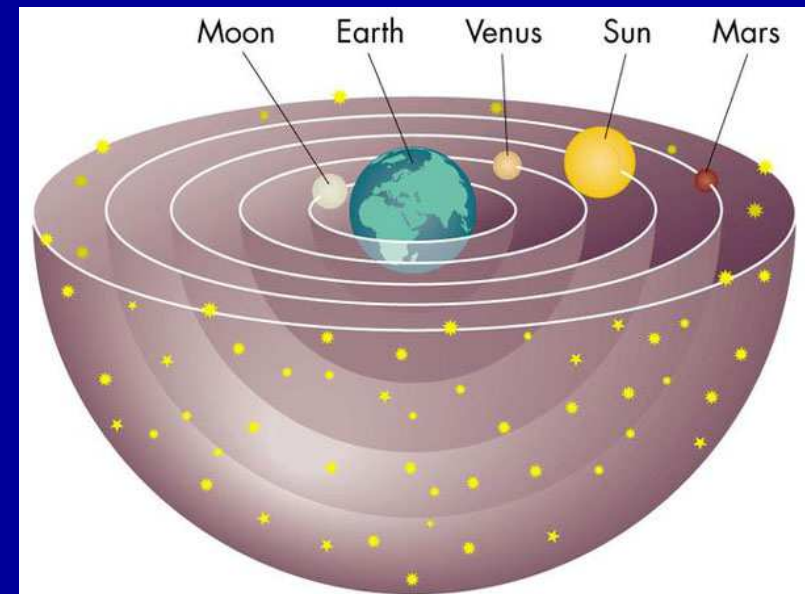
Grupo de Astronomia

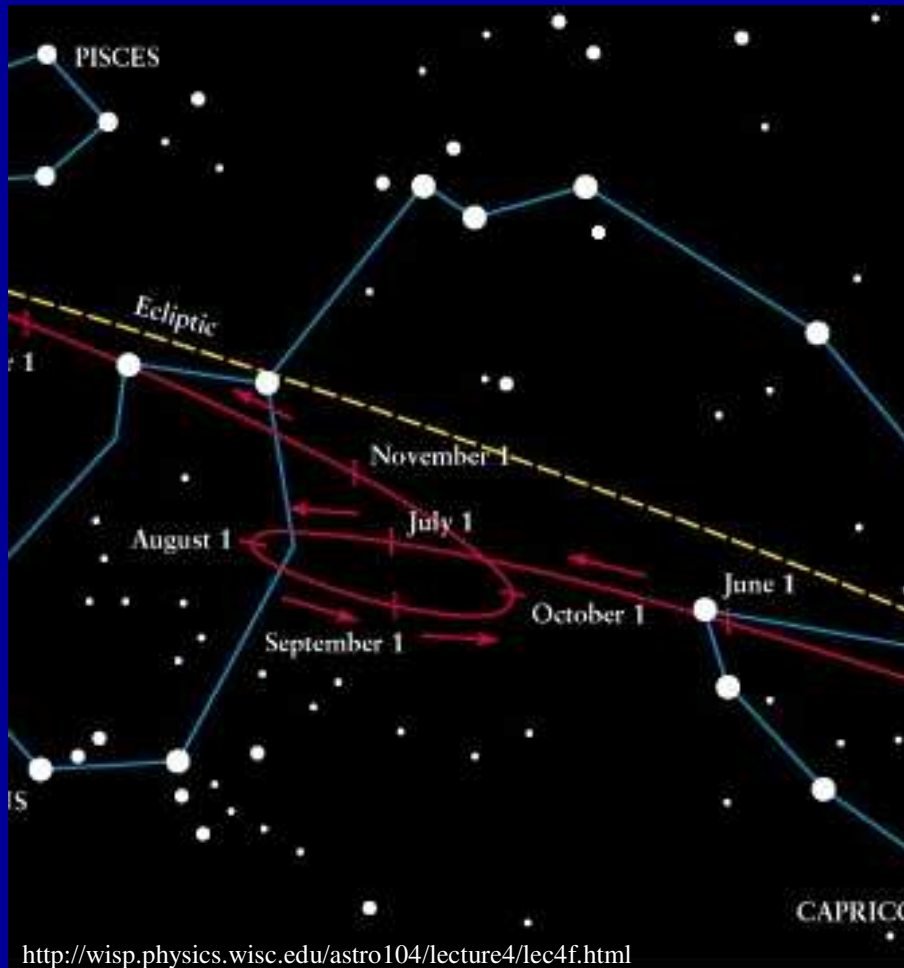




Modelo geocêntrico e modelo heliocêntrico

Modelo geocêntrico – este modelo coloca a Terra no centro do Universo. A esfera celeste com todas as suas estrelas era considerada imutável e rodava como um todo em torno da Terra uma vez por dia.

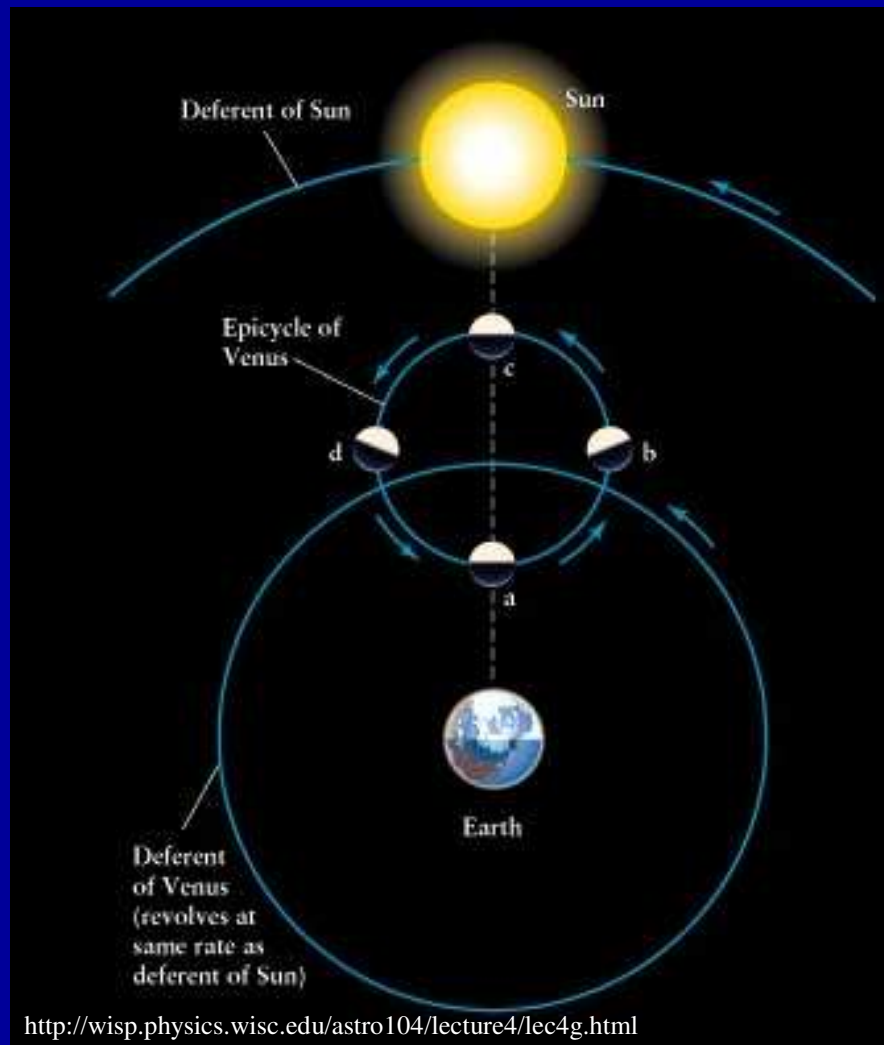




Um dos maiores problemas de qualquer modelo do Universo, incluindo o geocêntrico, era o explicar devidamente o movimento das chamadas estrelas errantes (que hoje sabemos serem os planetas).

O Sol e a Lua deslocam-se ao longo do tempo de forma uniforme sob a esfera celeste não levantando qualquer problema ao modelo.

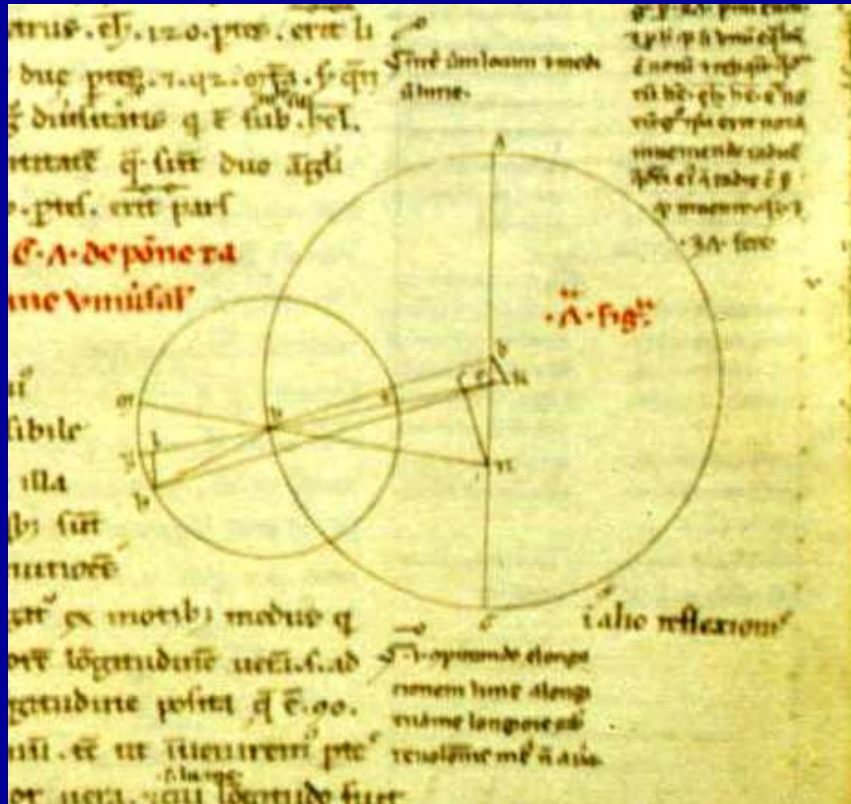
Os planetas não apresentam esse comportamento uniforme, uma vez que, por vezes eles invertem o sentido do seu movimento.



<http://wisp.physics.wisc.edu/astro104/lecture4/lec4g.html>

Para contornar esta questão Ptolomeu desenvolveu um modelo no qual os planetas descreviam **epiciclos** cujo centro, chamado **deferente**, se deslocava numa órbita circular em torno da Terra.

Isto permitia de facto explicar o movimento retrogrado dos planetas.



<http://ircamera.as.arizona.edu/NatSci102/NatSci102/lectures/ptolemy.htm>

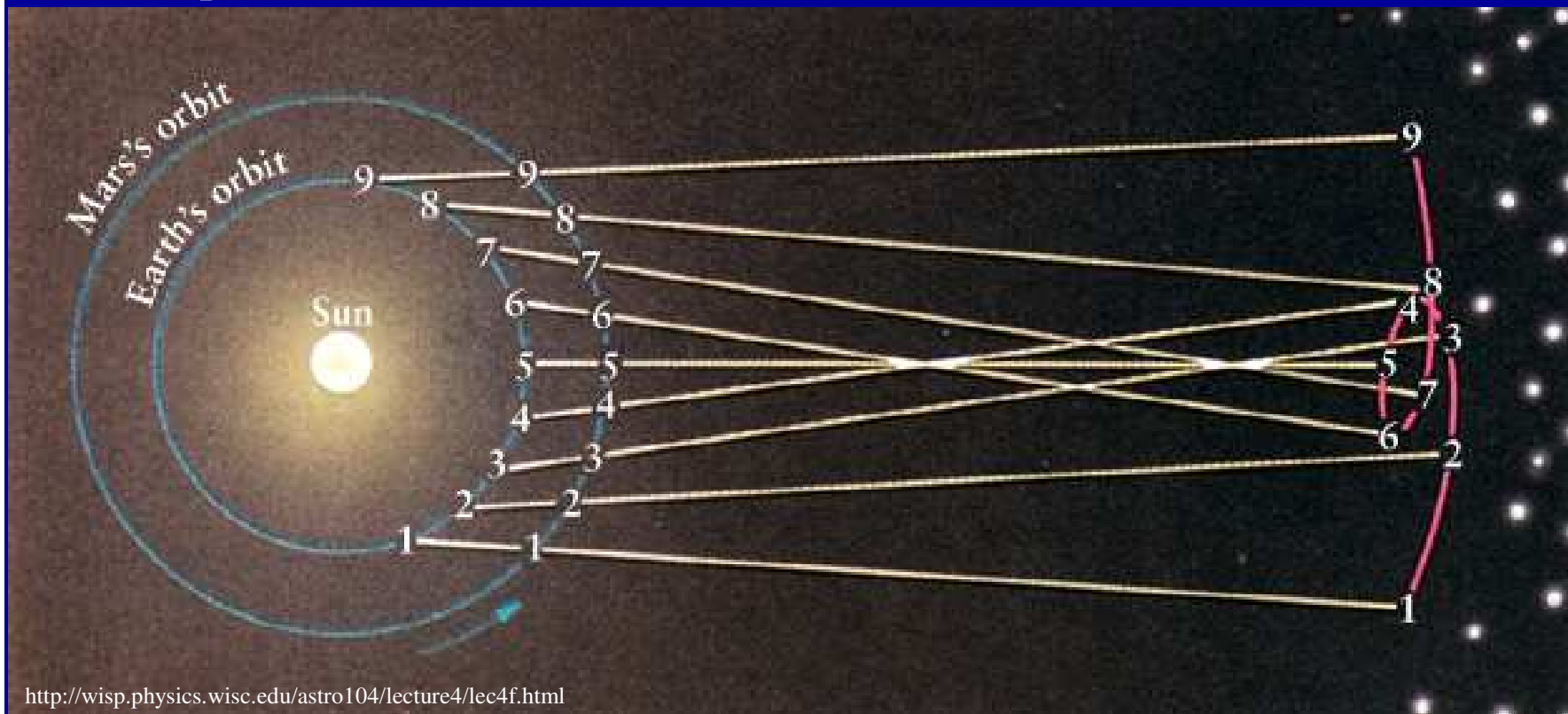
Ptolomeu compilou o seu modelo em 13 volumes: *Almagest*.

O modelo permitia determinar as posições do Sol, Lua e planetas com um rigor sem precedentes até então e, por isso, mesmo, esteve em vigor mais de 1000 anos.

O grande problema com este modelo era o facto de tratar todos os planetas de forma independente.



O **modelo heliocêntrico** de Copérnico colocava o Sol no centro e permitia explicar o movimento dos planetas de uma forma mais simples. Em particular, o modelo permitia explicar o movimento retrógrado e tratava todos os planetas da mesma forma.

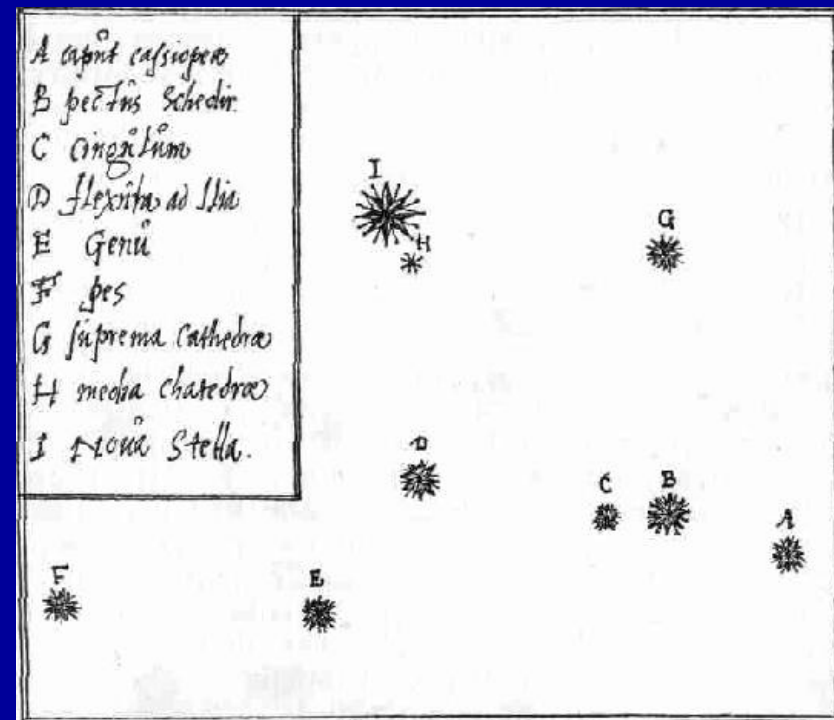




Universidade da Madeira

O modelo de Copérnico era mais simples que o de Ptolomeu mas não fazia previsões mais rigorosas ou outro tipo de previsões. Era apenas mais simples e não havia, na altura, qualquer outra razão para escolher entre um e outro.

A 11 de novembro de 1572 uma estrela bastante brilhante apareceu na constelação de Cassiopeia tendo acabado por desvanecer e desaparecer completamente cerca de 18 meses depois (hoje sabemos que se tratou da explosão de uma nova).



<http://www.physics.uc.edu/~hanson/ASTRO/LECTURENOTES/F01/Lec4/Page6.html>



Universidade da Madeira

Grupo de Astronomia

Tycho Brahe tentou medir a paralaxe dessa estrela utilizando o melhor equipamento da época mas não foi capaz. A estrela estava muito mais longe do que se julgava. Foi o primeiro indício de que a esfera celeste não era imutável como se pensava.





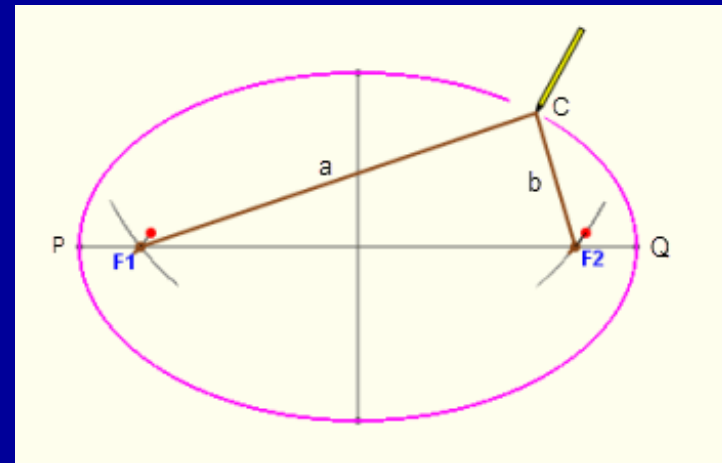
Leis de Kepler

Johannes Kepler no início do século XVII procurou desenvolver um modelo planetário utilizando a grande quantidade de dados precisos que Tycho Brahe registou ao longo dos anos.

Uma das primeiras constatações de Kepler foi que as órbitas dos planetas deveriam ser elípticas e não simplesmente circulares como era então aceite.

Primeira Lei de Kepler (1609):

A órbita de um planeta em torno do Sol é uma elipse com o Sol num dos focos.



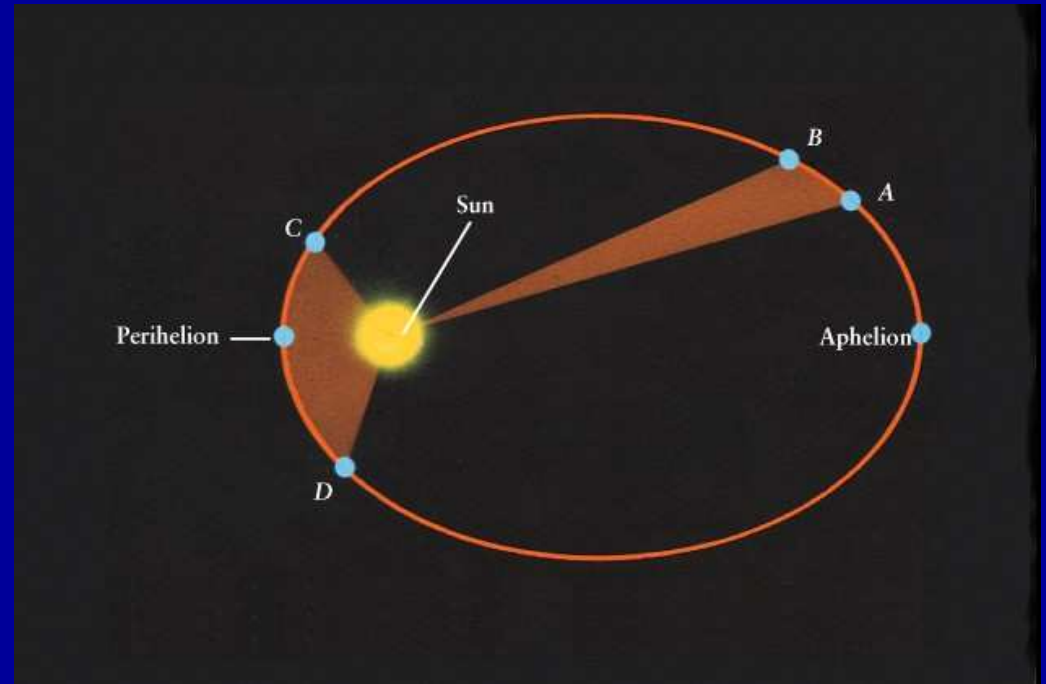


Quando um planeta descreve uma órbita elíptica a sua distância ao Sol varia. O ponto de maior aproximação ao Sol chama-se **periélio** e o ponto de maior afastamento chama-se **afélio**.

Kepler constatou que a velocidade com que se desloca o planeta é maior no periélio e menor no afélio.

Segunda Lei de Kepler (1609):

Um planeta no seu movimento elíptico em torno do Sol varre áreas iguais em intervalos de tempo iguais.





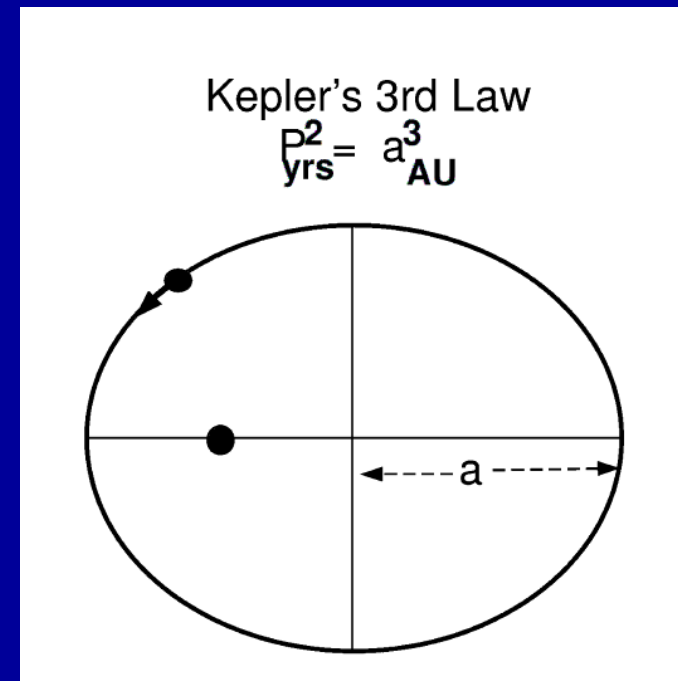
Kepler também deduziu, a partir dos dados de Tycho, uma relação que permite comparar o movimento de diferentes planetas.

Terceira Lei de Kepler (1618):

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{G(M_1 + M_2)} a^3$$

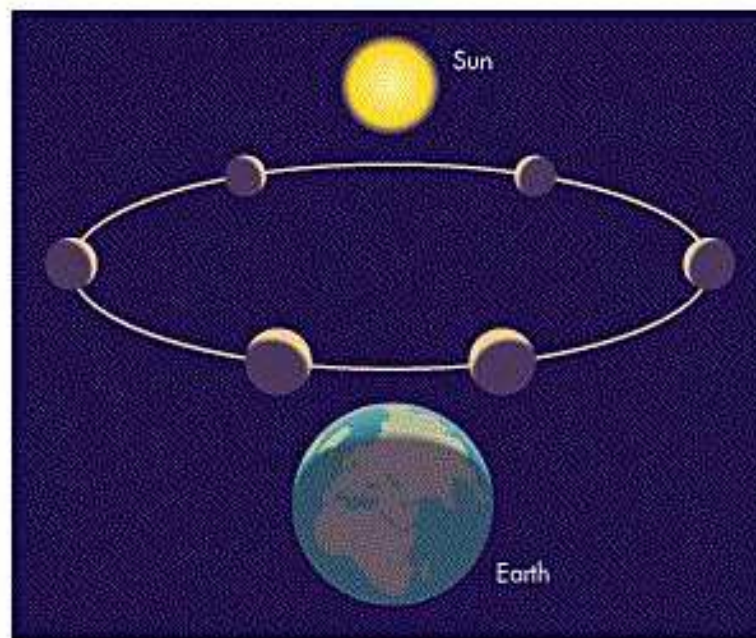
O quadrado do período sideral de um planeta é diretamente proporcional ao cubo do semieixo maior da sua órbita.

É de realçar que Kepler apenas estabeleceu as leis sem ter explicado a razão pela qual os planetas obedecem a essas leis. Esse trabalho seria feito por Galileu e por Newton.

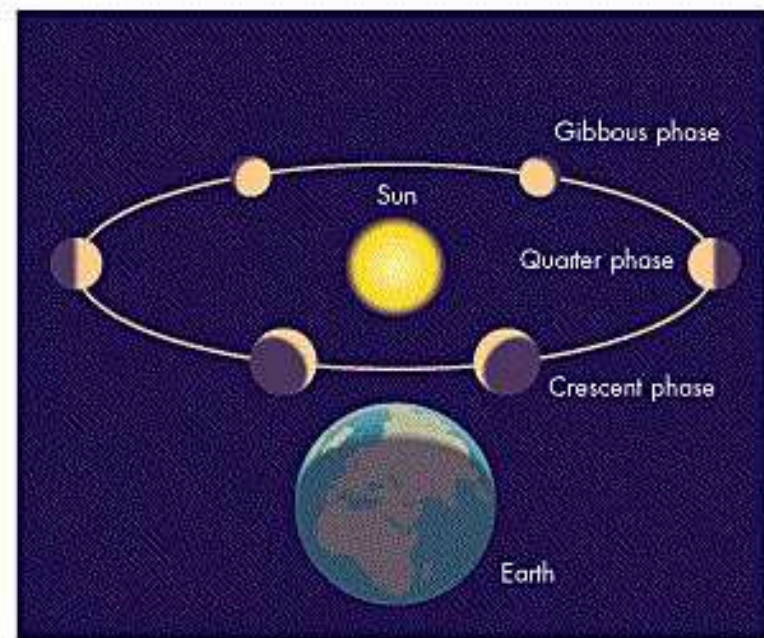




Galileu foi o primeiro a apontar um telescópio para o céu (1610). Fez várias descobertas. Uma das mais importantes foi a da **existência de fases em Vénus** semelhantes às que observamos na Lua. No sistema de Ptolomeu Vénus não poderia exibir algumas dessas fases dado estar sempre mais próximo da Terra do que o Sol.



A The Ptolemaic system



B The Copernican system



Outra importante descoberta de Galileu foi a das quatro maiores luas de Júpiter (atualmente designadas por satélites Galileanos). Essas luas andavam em torno de Júpiter e não em torno da Terra. Júpiter era, assim, uma espécie de ‘sistema heliocêntrico’ em miniatura.



<http://www.noao.edu/outreach/aop/observers/jupmoon.html>



Newton mostrou que as Leis de Kepler não são de natureza empírica mas sim uma consequência direta das Leis fundamentais da Física. As Leis de Newton aplicam-se a objetos tanto na Terra como nos céus.

Halley utilizou a mecânica Newtoniana para prever a próxima passagem do **cometa Halley**.

O **planeta Neptuno** foi descoberto aplicando a mecânica Newtoniana ao problema das perturbações verificadas na órbita do planeta Úrano.

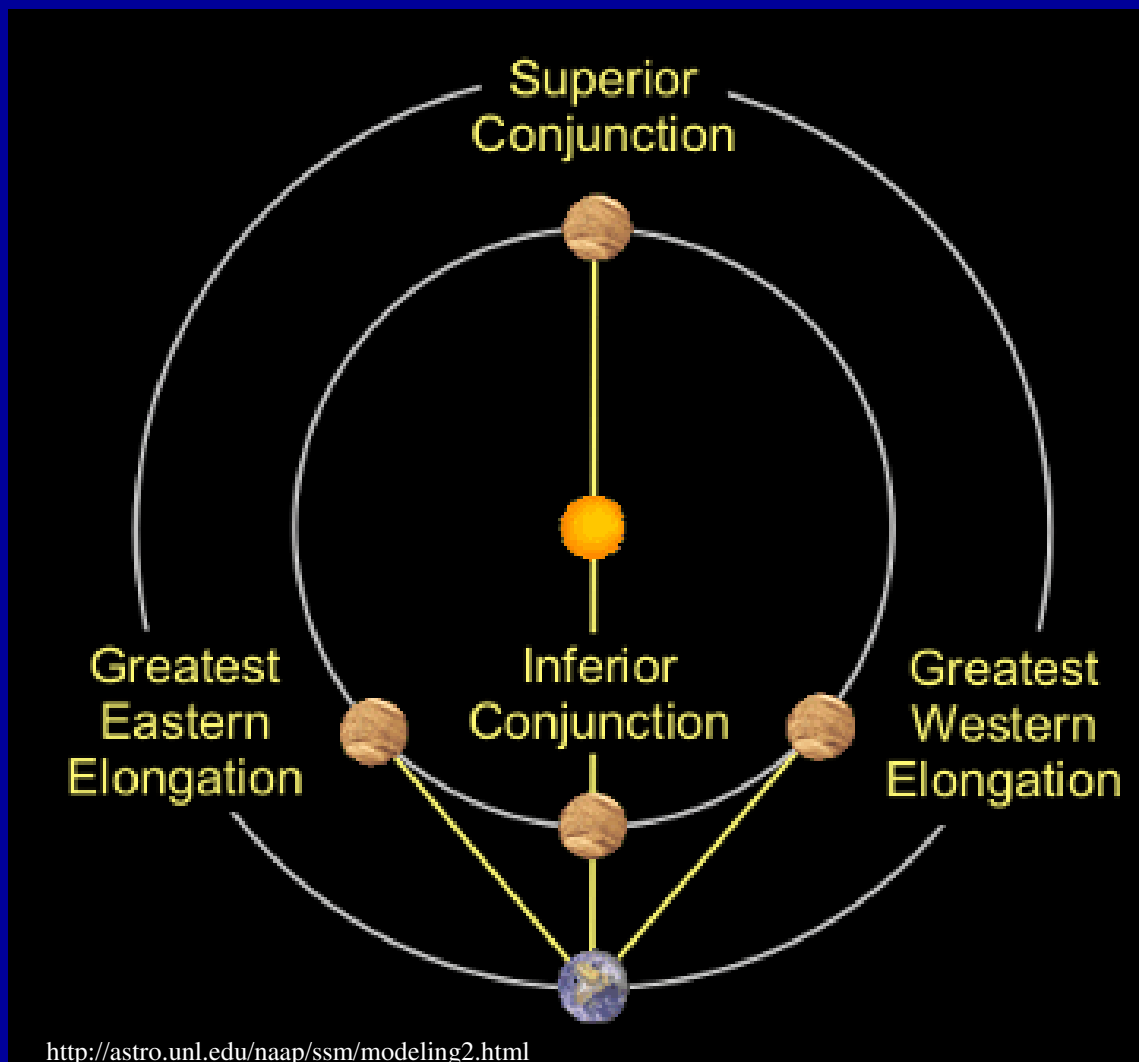
A mecânica Newtoniana foi amplamente aceite por resolver muitos dos problemas em aberto. Contudo existem domínios onde a mecânica Newtoniana deve ser substituída por outras teorias mais gerais: Mecânica Quântica, Relatividade Especial e Relatividade Geral.



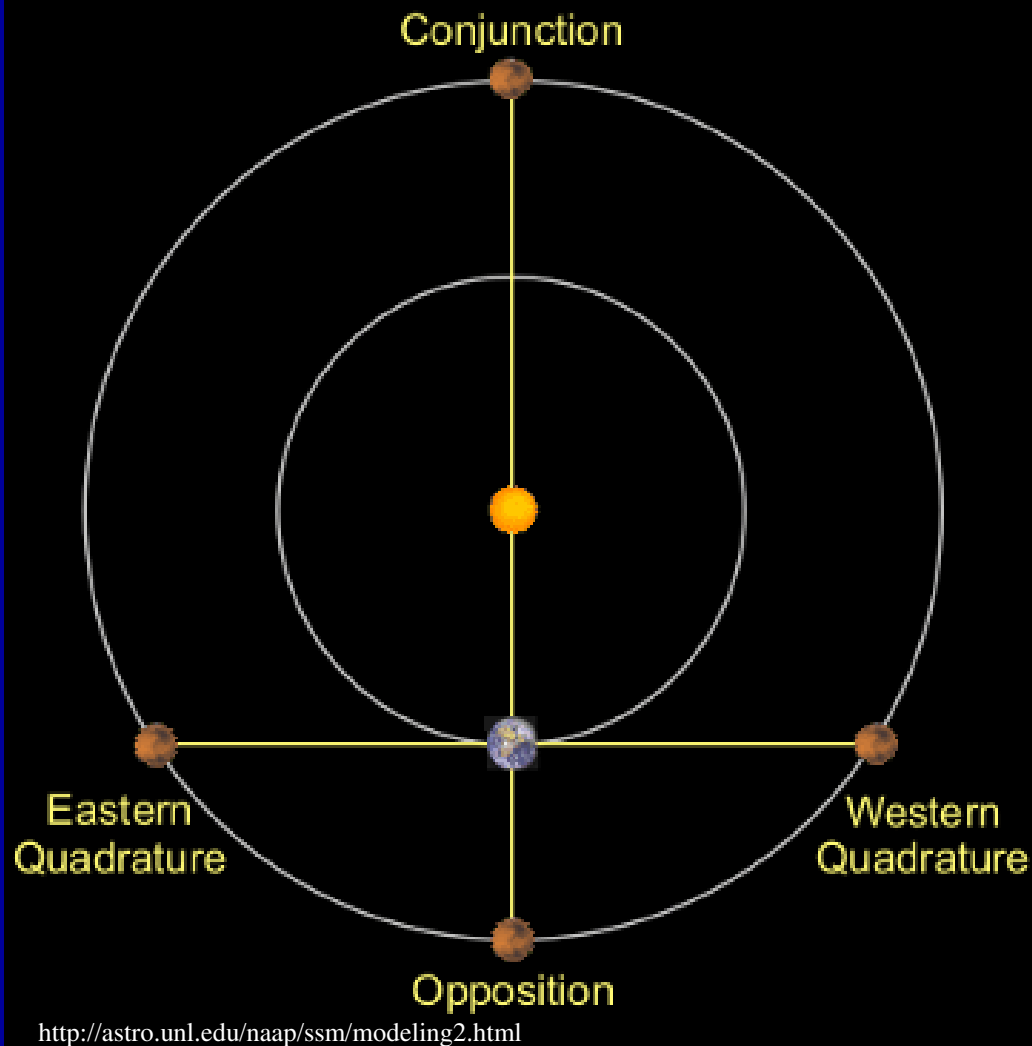
Elongação de um planeta: ângulo entre o Sol e o planeta do ponto de vista de um observador sobre a superfície terrestre



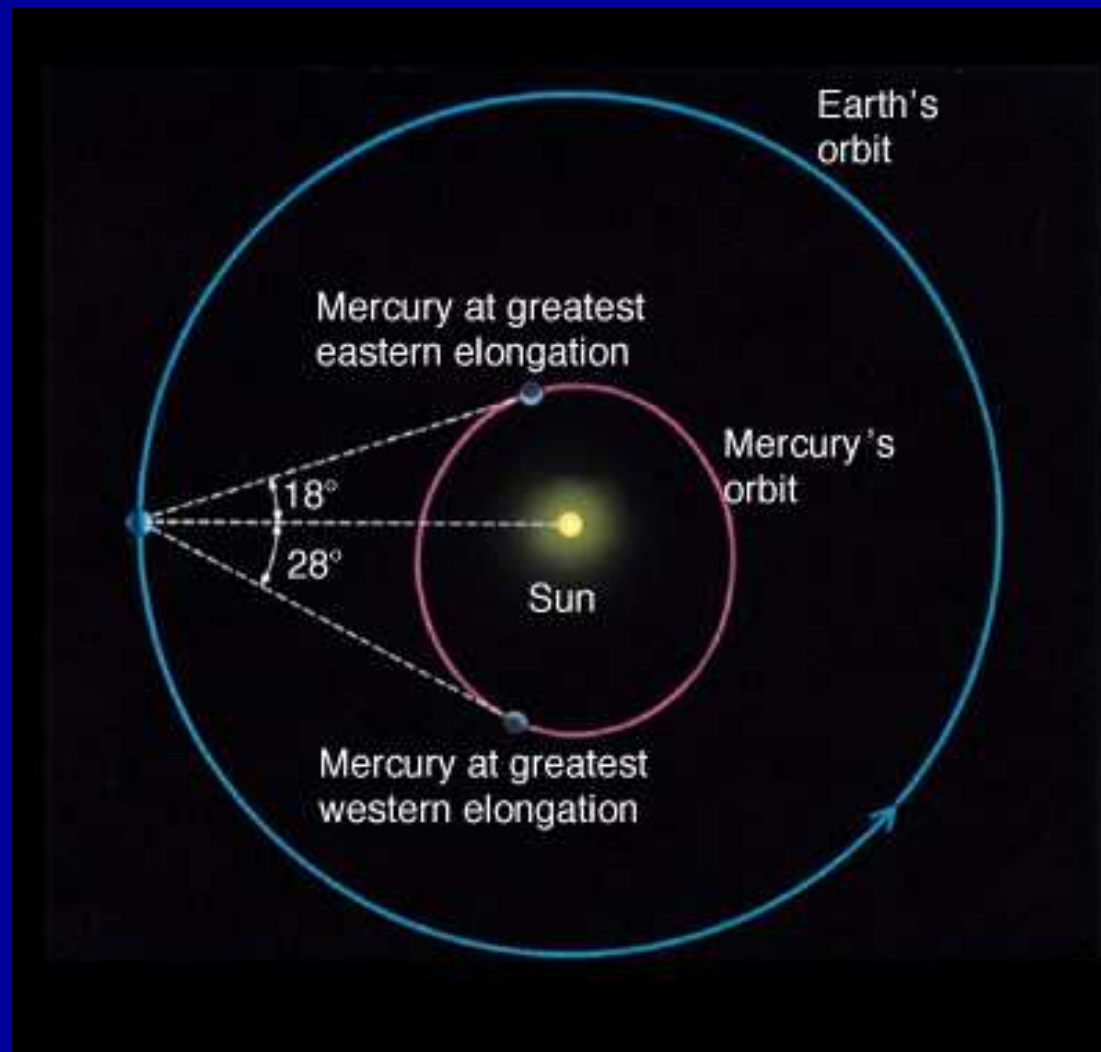
<http://astro.unl.edu/naap/ssm/modeling2.html>



Configurações para um planeta inferior



Configurações para
um planeta superior



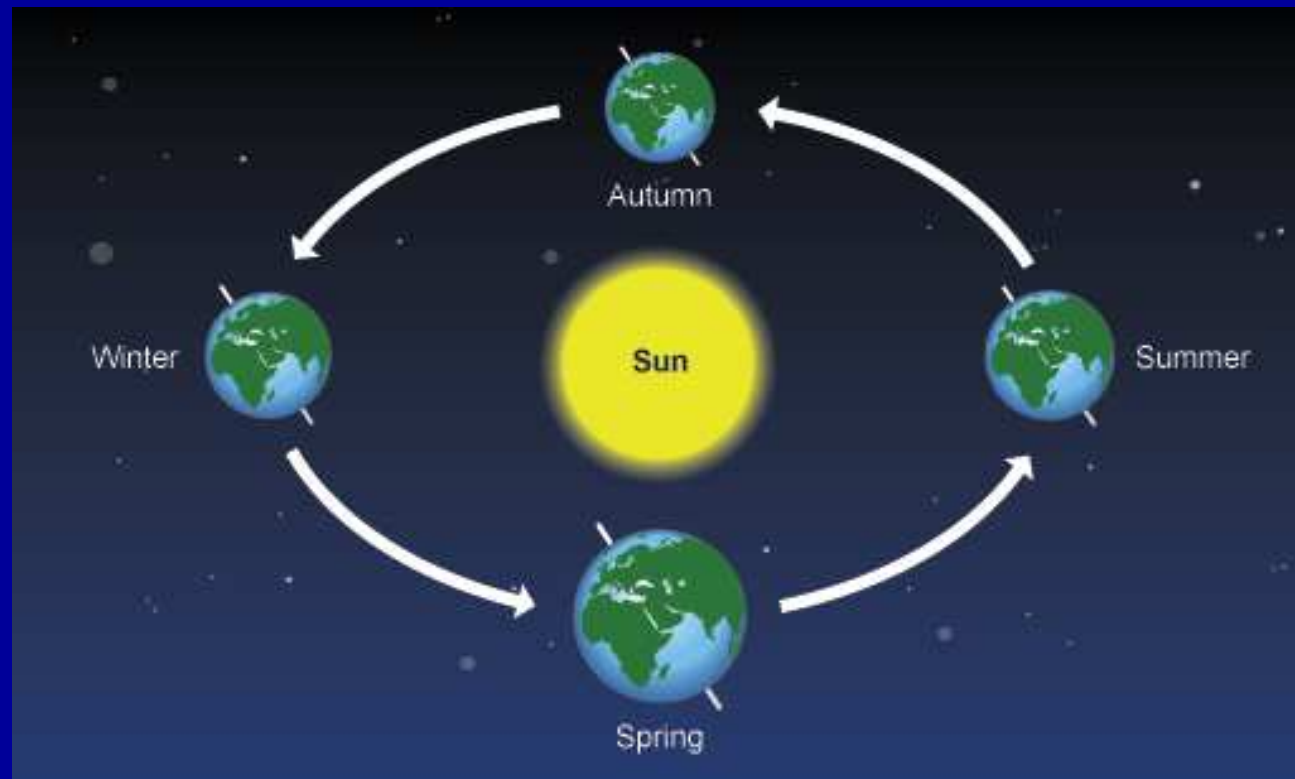
Mercúrio nunca sobe mais do que 28° em relação à linha do horizonte.

Pode ser observado antes do nascer do Sol ou logo depois do pôr do Sol.

Na melhor das hipóteses está acima do horizonte cerca de duas horas.

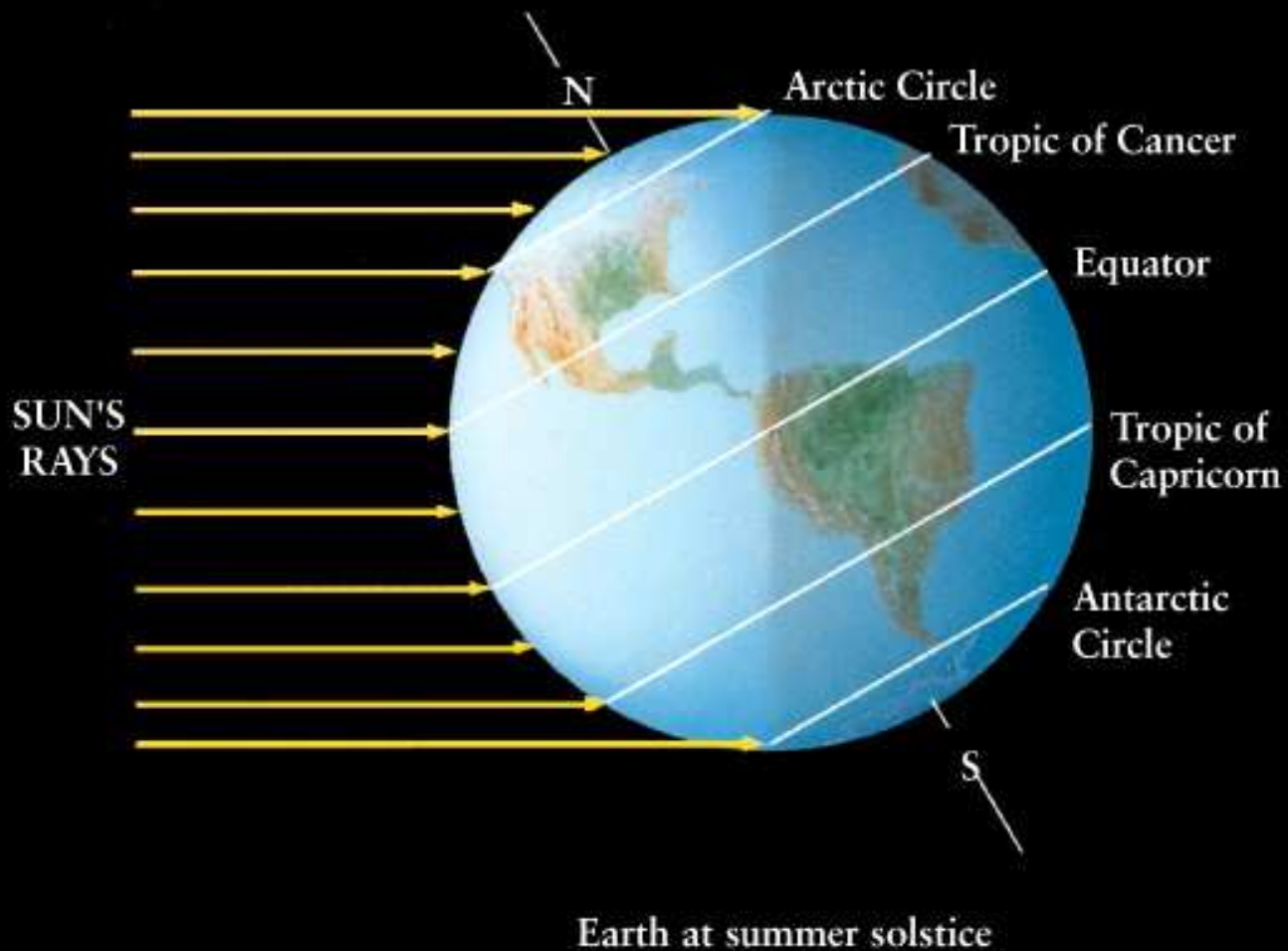


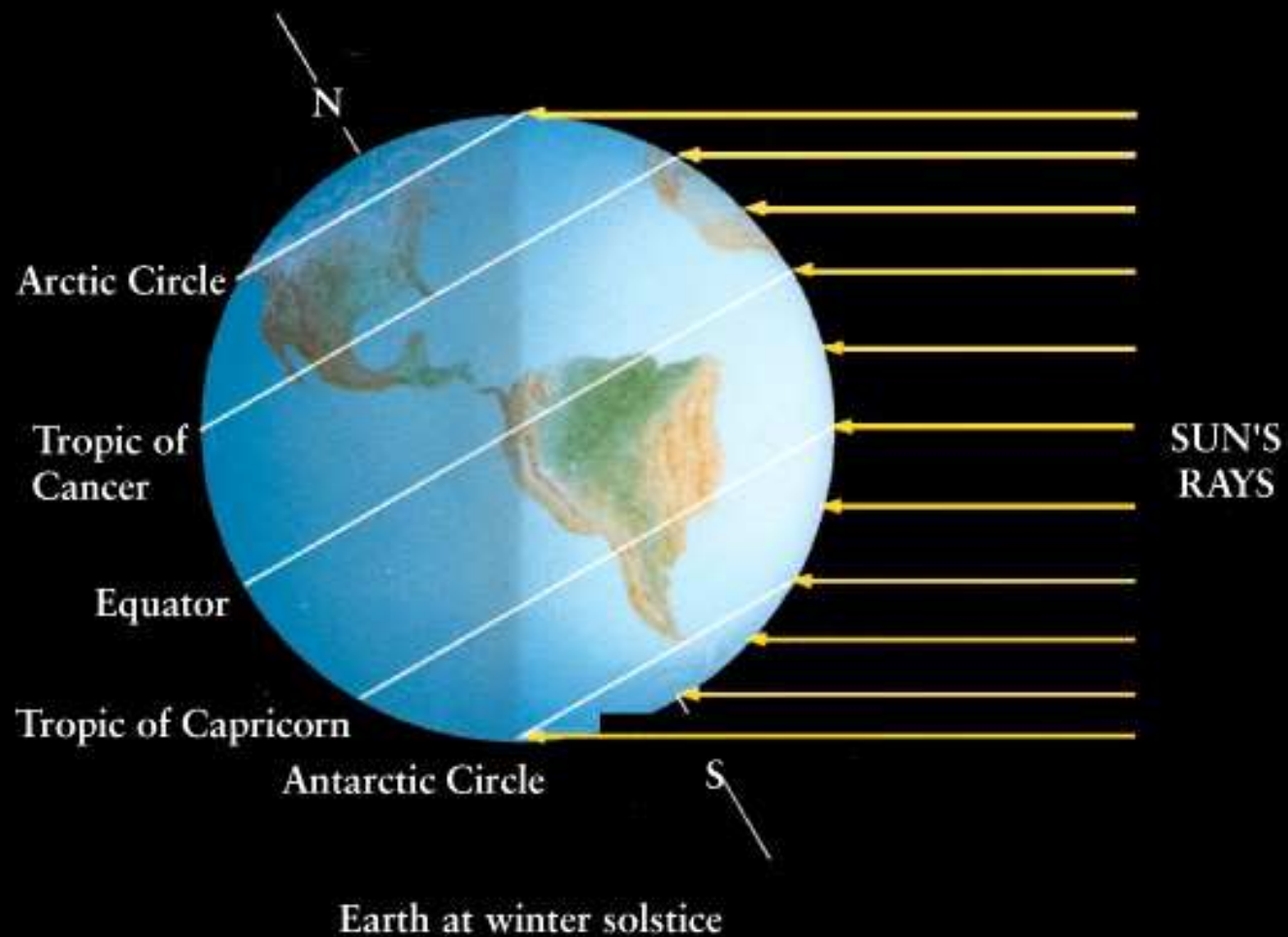
Inclinação do eixo de rotação da Terra



http://www.bbc.co.uk/schools/ks3bitesize/science/environment_earth_universe/astronomy_space/revise5.shtml

A inclinação do eixo de rotação da Terra é o responsável pela existência de **estações** uma vez que, no decurso do ano, diferentes frações de cada hemisfério são iluminadas pelo Sol e durante intervalos de tempo diferentes.

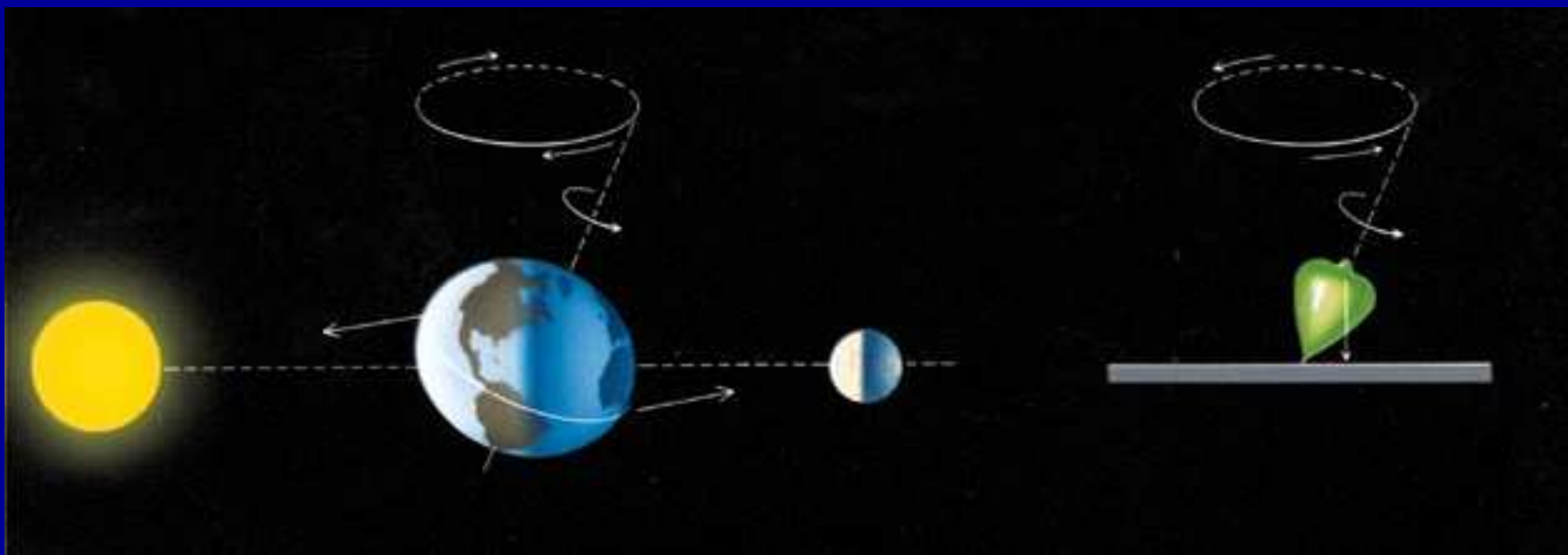




<http://wisp.physics.wisc.edu/astro104/lecture2/lec2h.html>



O eixo de rotação da Terra não mantém sempre a mesma orientação. Ele executa o chamado **movimento de precessão** (como o eixo de um pião a rodar) completando um ciclo a cada **26 000 anos**. Este movimento resulta de uma ação conjugada entre a Lua e o Sol.



<http://wisp.physics.wisc.edu/astro104/lecture2/lec2i.html>



Neste momento o eixo de rotação da Terra aponta numa direção que dista 1° da **Estrela Polar**.

Há 5000 anos a estrela que estava mais próximo do PNC era **Thuban** na constelação do Dragão. Daqui por 12000 anos será **Vega** na constelação de Lyra.

A mudança de orientação do eixo de rotação da Terra acarreta também consigo a mudança dos equinócios....





A Astronomia na época dos descobrimentos

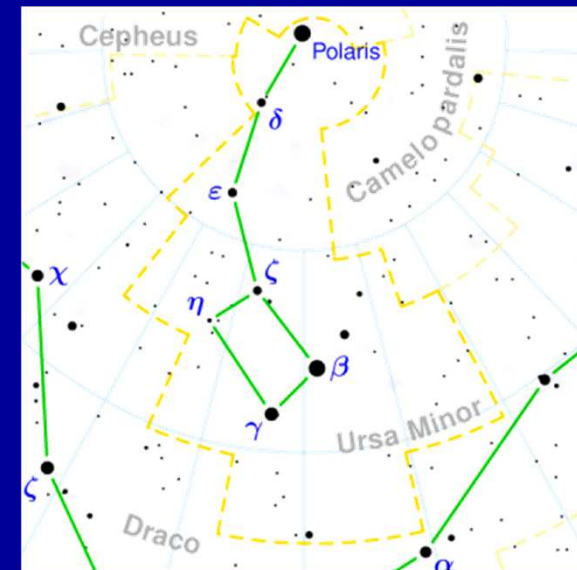
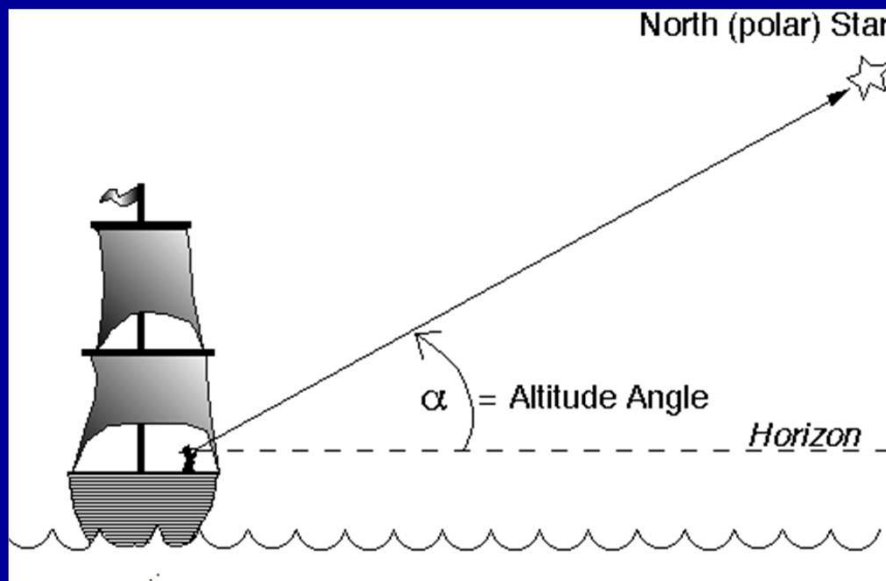


Os descobrimentos portugueses não teriam sido possíveis sem o recurso a alguns conhecimentos de **Astronomia**. Especialmente quando se navegava em alto mar, pois era a partir da posição dos astros na esfera celeste que os marinheiros determinavam a **latitude** e a **longitude** do ponto onde se encontravam.



Universidade da Madeira

Para determinar a **latitude**, os marinheiros recorrem à **estrela polar**. O processo é simples e direto: a altura da estrela polar em relação à linha do horizonte indica a latitude do local de medição.



A cada 24 horas a Terra dá uma **volta completa** sobre o seu eixo de rotação. Daqui resulta o **movimento aparente** das estrelas em torno de um ponto fixo (o Pólo Norte Celeste). Para um observador no Hemisfério Norte existe uma estrela da constelação da **Ursa Menor** muito próxima desse ponto: é a **estrela polar**.



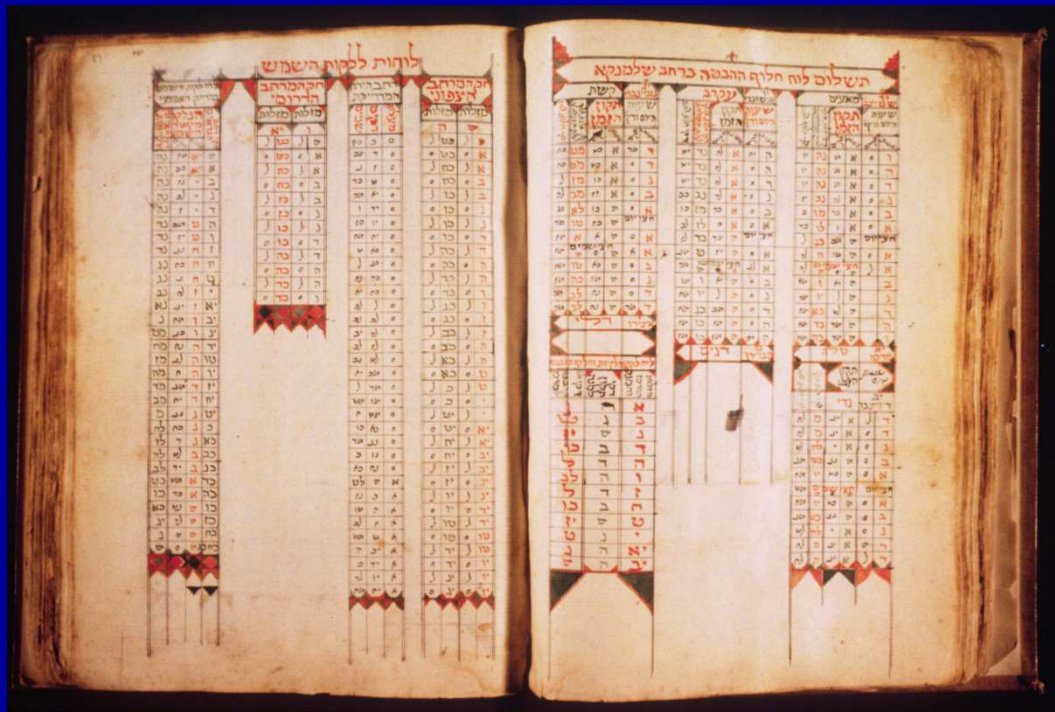
Ao passar-se a linha do Equador a estrela polar deixa de ser visível. No Hemisfério Sul não existe uma estrela particularmente brilhante na direção do eixo de rotação da Terra. Os marinheiros tomaram então, como referência para a determinação da latitude, a constelação do **Cruzeiro do Sul**. No entanto esta constelação fica a cerca de 30° do **pólo sul celeste** pelo que eram cometidos erros grosseiros de navegação.



<http://epod.usra.edu/blog/2009/06/southern-hemisphere-circumpolar-star-trails.html>



Uma das soluções encontradas foi a da utilização do Sol. Como o Sol não é um corpo fixo em relação à Terra existiam almanaques, elaborados por astrónomos, que indicavam a posição do Sol para várias latitudes e para todos os dias do ano. Assim, bastava medir a altura do Sol e consultar o almanaque.



Tabelas de declinação solar elaboradas por Abraham Zacuto entre 1473 e 1478.



A medição da longitude era um problema bem mais delicado. Era utilizada a posição da Lua em relação às estrelas ou planetas. A Lua é vista em diferentes posições do firmamento consoante a longitude do ponto de observação. As diferenças são, no entanto, muito pequenas e eram muito difíceis de medir a bordo dos navios.

Apenas no século XVIII, com a invenção do **cronómetro**, foi possível determinar a longitude com mais precisão, pois era possível medir tempos com erros de poucos segundos.



Sistema de coordenadas horizontal local

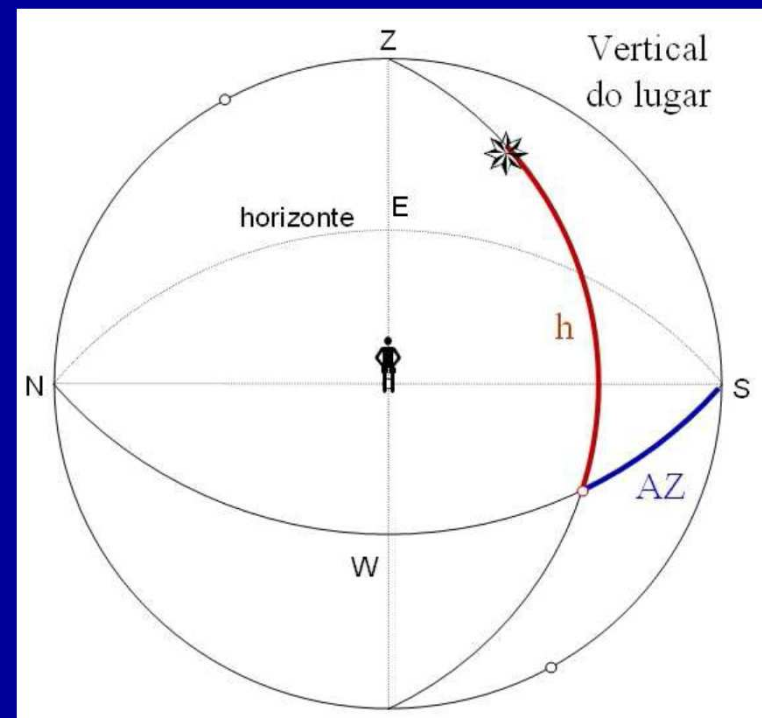
zénite : ponto mais alto no céu.

nadir : ponto situado no lado oposto ao zénite

horizonte local : circunferência máxima que define a linha do horizonte.

verticais : infinidade de semicircunferências máximas que ortogonais ao horizonte.

vertical do lugar : é a vertical que passa no ponto cardeal sul.



Augusto et al. 2009

<http://www3.uma.pt/Investigacao/Astro/Grupo/Publicacoes/Abstracts/pub2011a.htm>



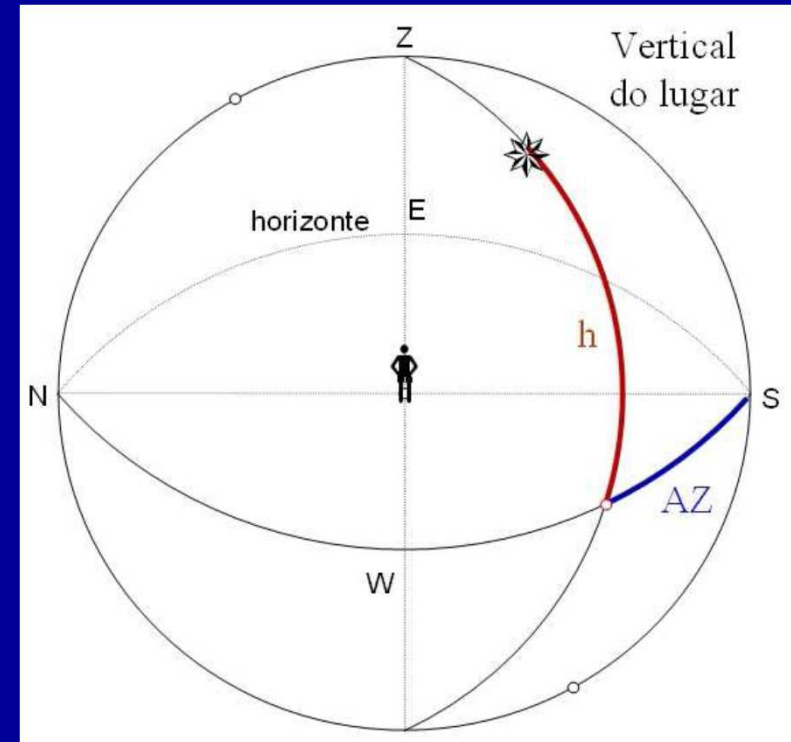
Sistema de coordenadas horizontal local

Coordenadas:
azimute (AZ) e altura (h)

Azimute : medido a partir do ponto cardeal sul variando de **0° a 360°** (no sentido sul-oeste...)

Altura : varia de **-90° a +90°**.

As alturas negativas não são vistas pelo observador (supondo este ao nível do mar).



Augusto et al. 2009
<http://www3.uma.pt/Investigacao/Astro/Grupo/Publicacoes/Abstracts/pub2011a.htm>

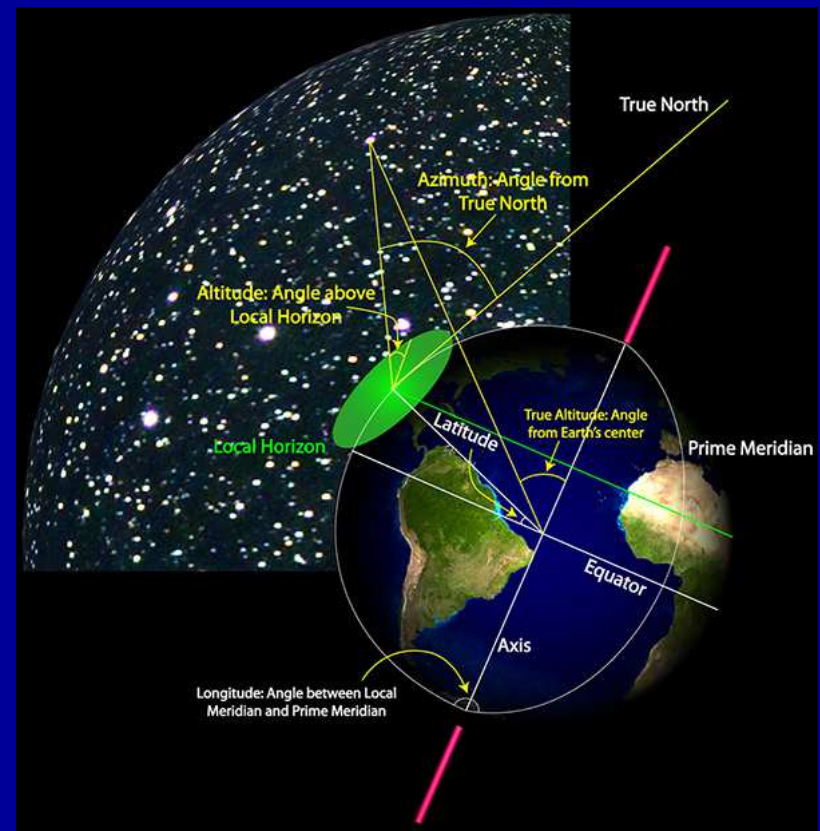


Sistema de coordenadas horizontal local

As coordenadas dadas pelo Sistema horizontal local variam consoante a localização do observador sobre a Terra.

O horizonte não é, por exemplo, o mesmo para um observador na Madeira e para um observador na América do Sul.

Torna-se, assim, importante definir um sistema de coordenadas comum a todos os observadores.



<http://essayweb.net/astronomy/coordinates.shtml>



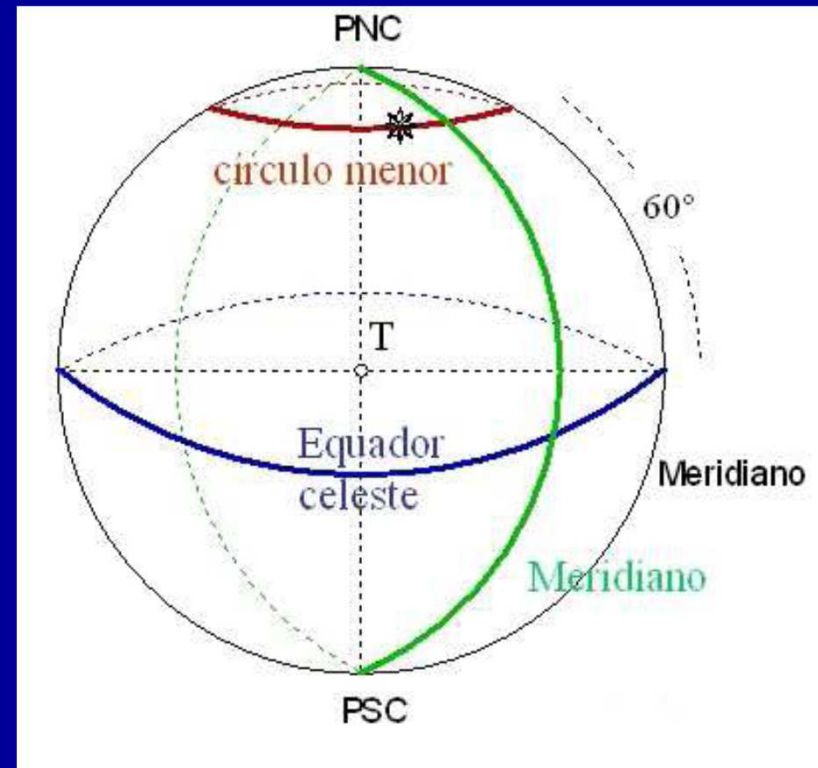
Sistema de coordenadas equatorial local

Esfera celeste : por definição é uma esfera com raio arbitrário e onde se encontram todos os astros.

Na interseção do eixo de rotação da Terra com a esfera celeste temos o **polo sul celeste (PSC)** e o **polo norte celeste (PNC)**

O **equador celeste** é o conjunto de todos os pontos à mesma distância dos PNC e PSC.

É como que um prolongamento até ao infinito do plano equatorial terrestre.



Augusto et al. 2009
<http://www3.uma.pt/Investigacao/Astro/Grupo/Publicacoes/Abstracts/pub2011a.htm>

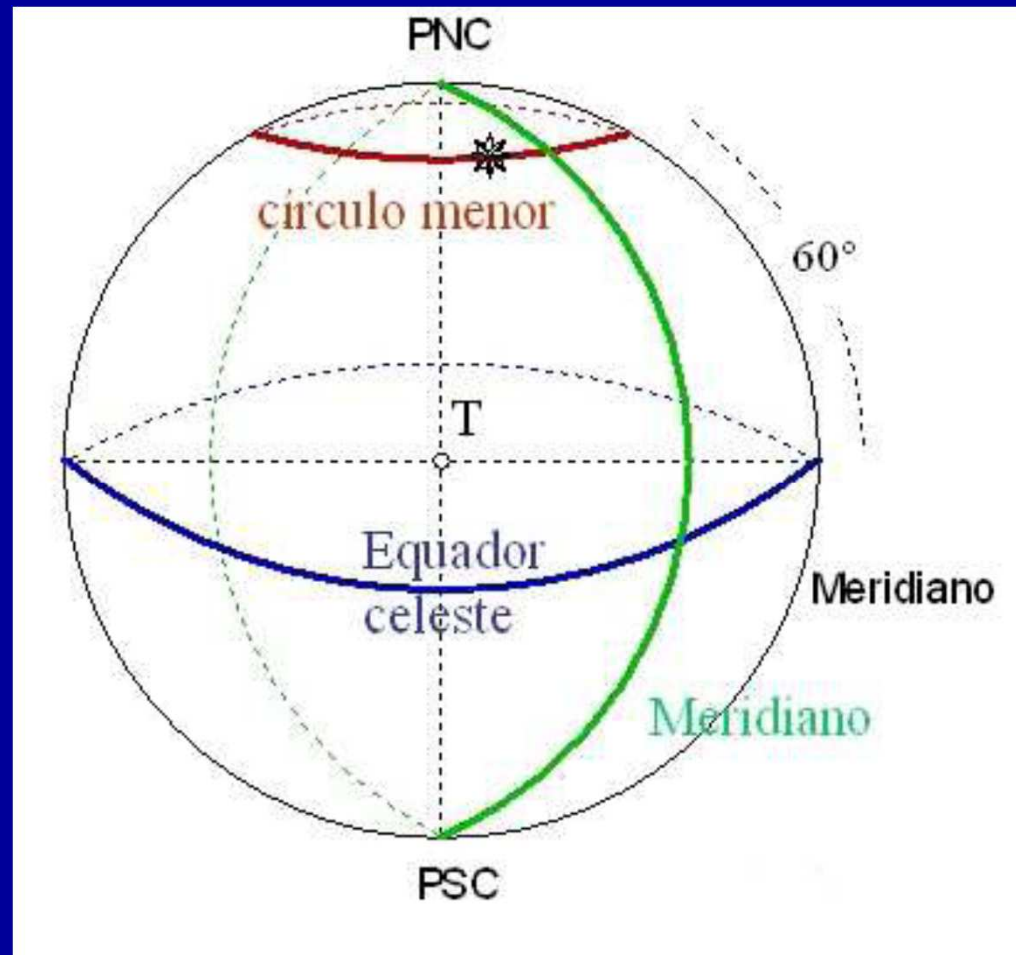


Sistema de coordenadas equatorial local

Meridianos :

semicircunferências máximas, perpendiculares ao equador celeste (ligando o PNC ao PSC).

Meridiano do lugar : aquele que passa pelo ponto cardeal Sul.



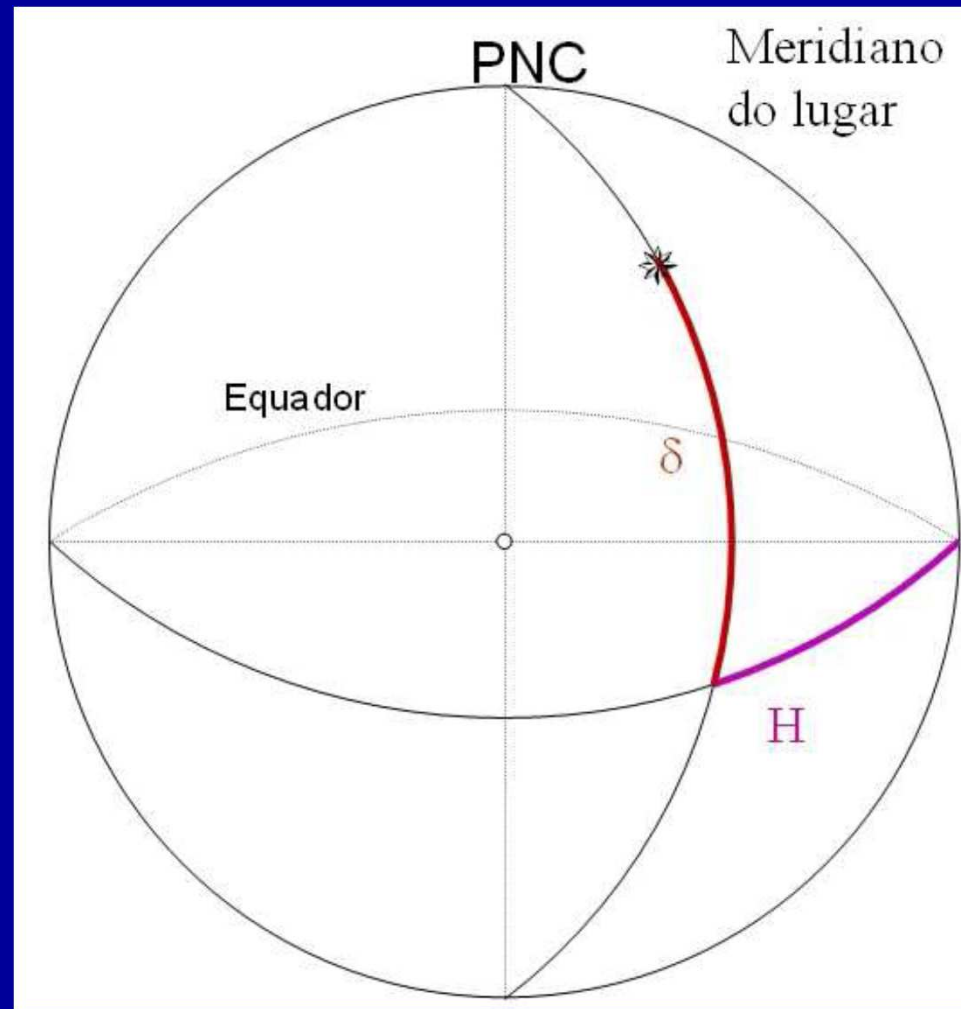


Sistema de coordenadas equatorial local

Coordenadas:
ângulo horário (H) e
declinação (δ).

ângulo horário : medido a partir do *meridiano do lugar* (que passa no ponto cardeal sul) variando de 0h a 24h.

declinação : varia de -90° a $+90^\circ$, valendo 0° sobre o equador celeste.



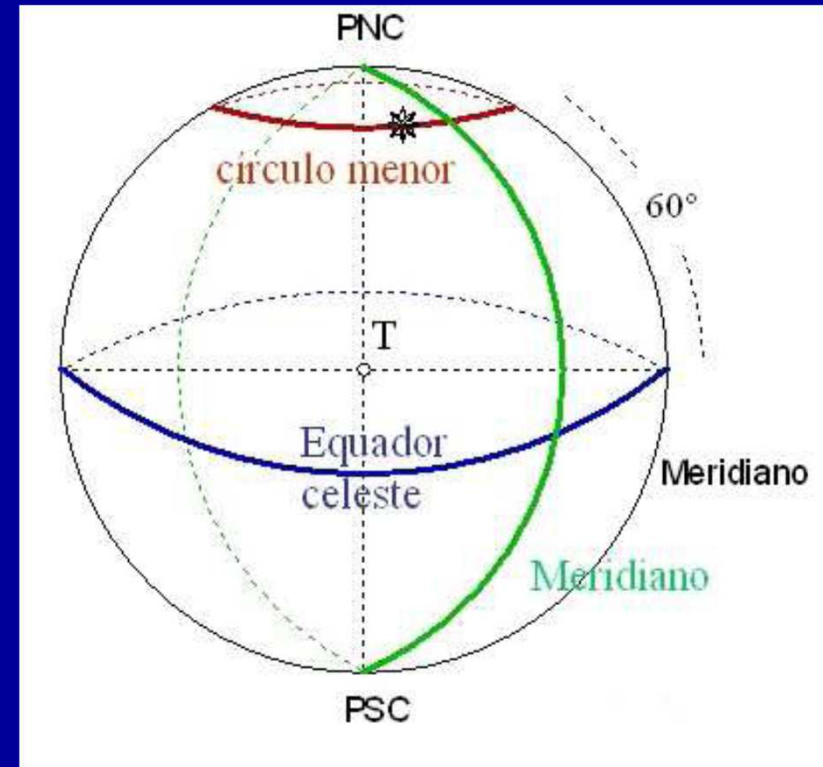


Sistema de coordenadas equatorial local

Todos os astros se deslocam sobre círculos menores, paralelos ao equador celeste.

O valor da **declinação** é constante para uma dada estrela ao passo que o **ângulo horário varia** ao longo do dia de 0h a 24h.

Se fixarmos uma origem para o ângulo horário então teremos um sistema fixo e igual para todos os observadores terrestres.

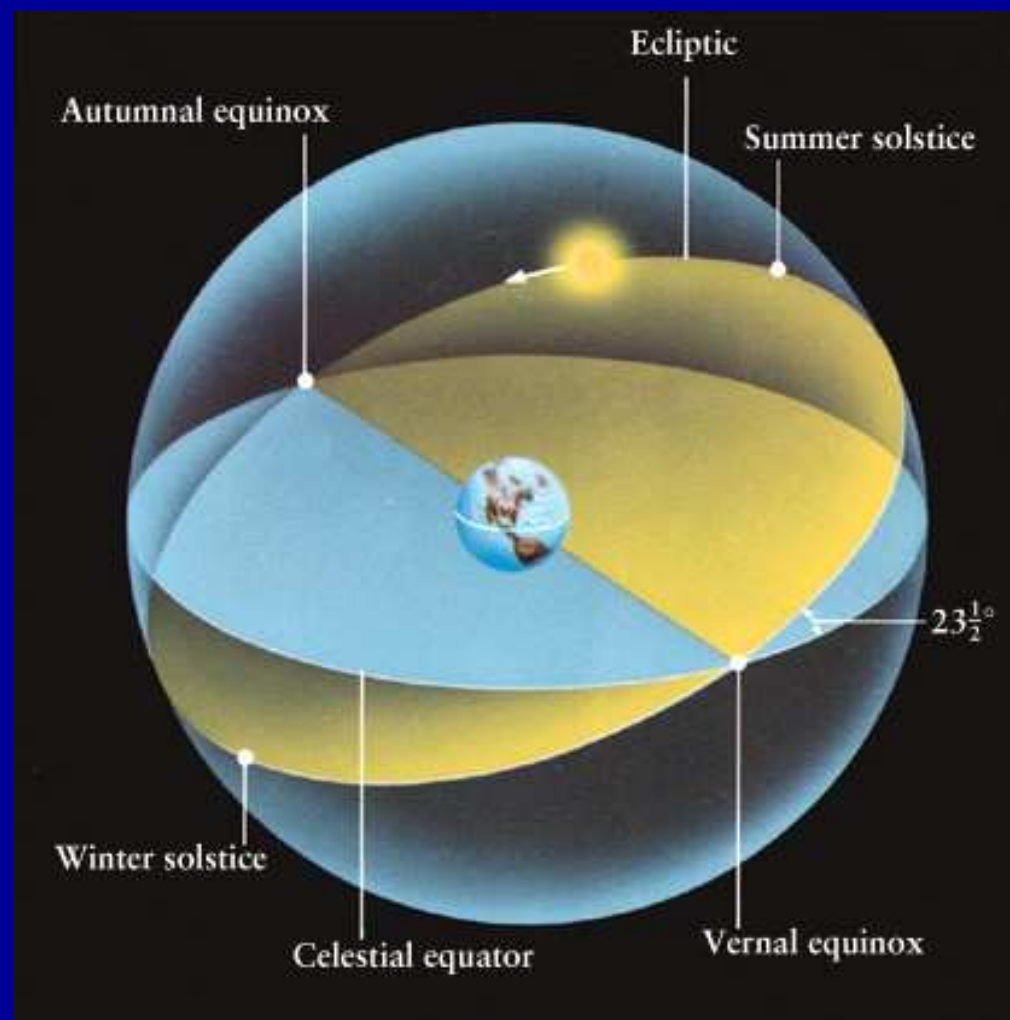


Augusto et al. 2009
<http://www3.uma.pt/Investigacao/Astro/Grupo/Publicacoes/Abstracts/pub2011a.htm>



Sistema de coordenadas equatorial celeste

O ponto mais a norte da eclíptica corresponde ao **solstício de Verão** (maior dia do ano no hemisfério norte) e o ponto mais a sul corresponde ao **solstício de Inverno** (dia mais pequeno do ano no hemisfério norte).



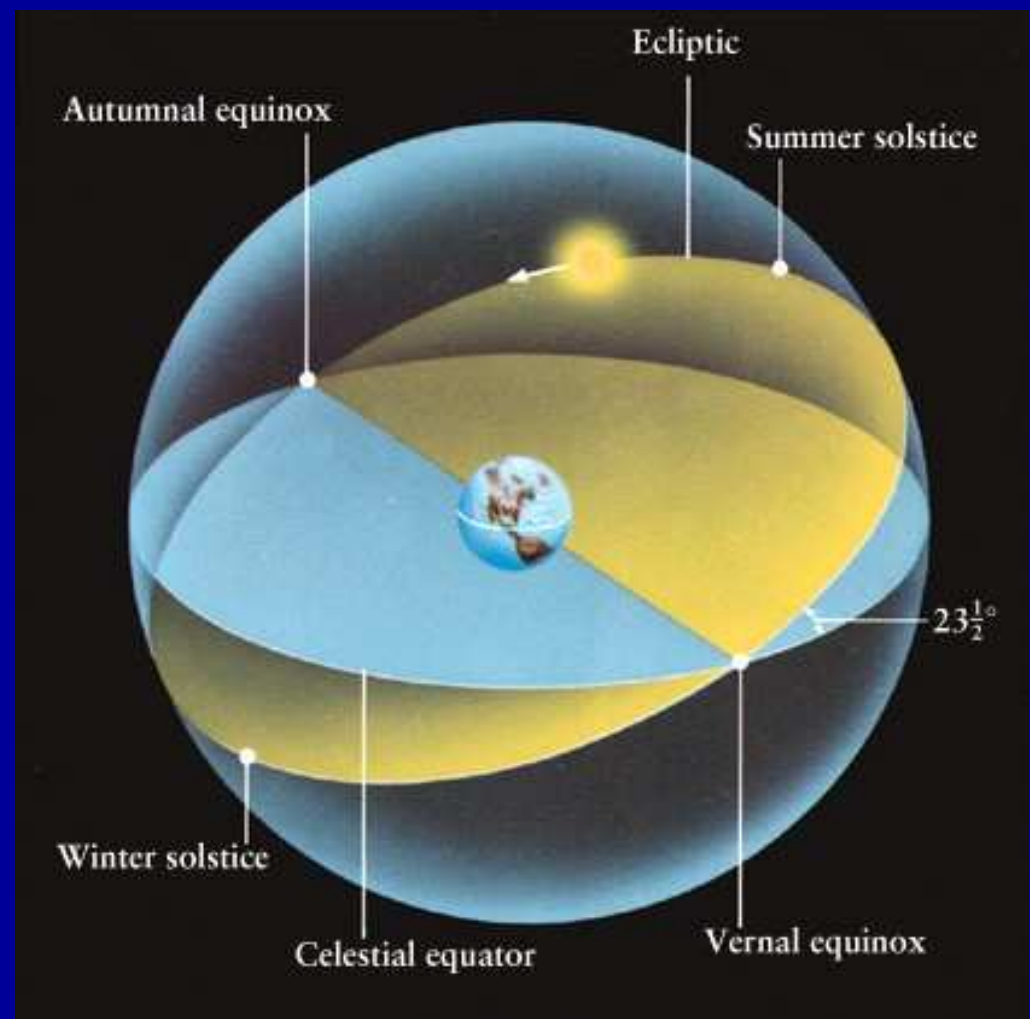
<http://www.physics.unc.edu/~evans/pub/A31/Lecture02-Sky-Motions/>



Sistema de coordenadas equatorial celeste

Estes pontos (equinócios e solstícios) coincidem com o início das estações do ano.

Em particular, o equinócio que ocorre por volta de 21 de Março e marca o início da primavera é designa-se por **equinócio Vernal**.

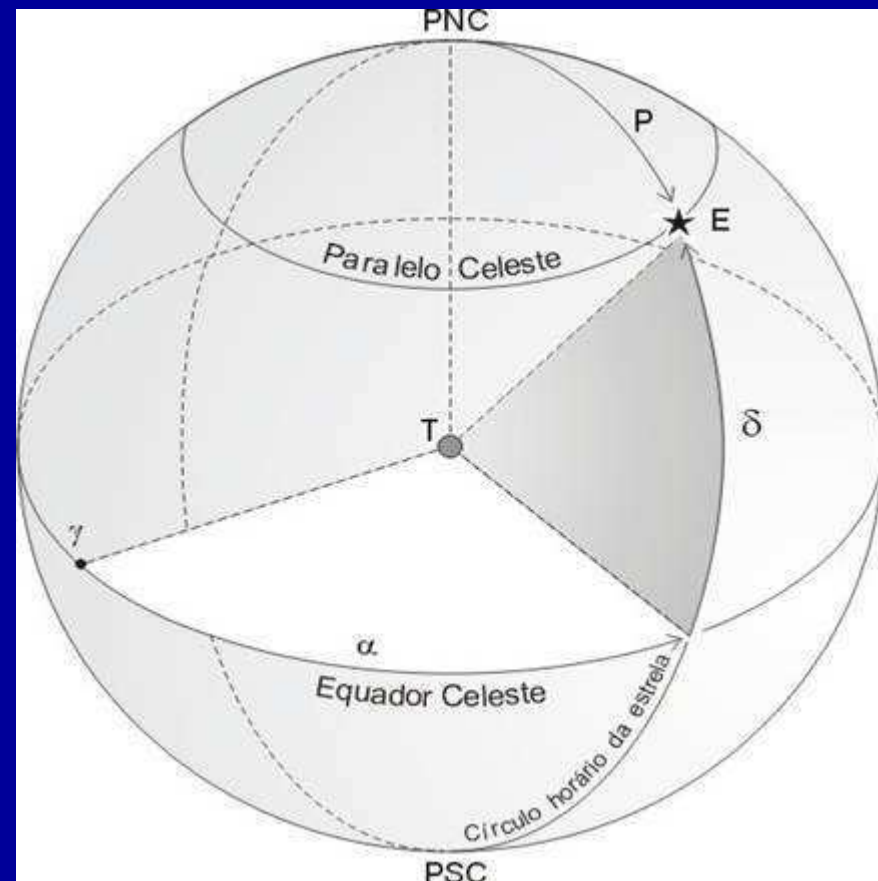


<http://www.physics.unc.edu/~evans/pub/A31/Lecture02-Sky-Motions/>



Sistema de coordenadas equatorial celeste

O **ponto Vernal (γ)** é o ponto em que o Sol cruza o equador celeste marcando o início da Primavera. Por convenção é este ponto que se toma como origem para a medida do ângulo horário que agora passa a chamar-se **ascensão reta (RA)**. Definimos assim o sistema de coordenadas equatorial celeste igual para todos os observadores.



<http://w3.math.uminho.pt/~fmena/tp30maio.pdf>



Relação entre o
Sistema de coordenadas horizontal local
Sistema de coordenadas equatorial celeste

Para um observador situado sobre um dos polos terrestres os sistemas horizontal local e equatorial celeste coincidem.

Para um observador localizado sobre o equador da Terra o sistema horizontal local faz um ângulo de 90° com o sistema equatorial celeste. Para esse observador, de facto, o horizonte é perpendicular ao equador.

O ângulo entre os dois sistemas é dado pela latitude do lugar. Assim para um observador localizado na Madeira o sistema horizontal local faz um ângulo de cerca de 32° com o sistema equatorial celeste.

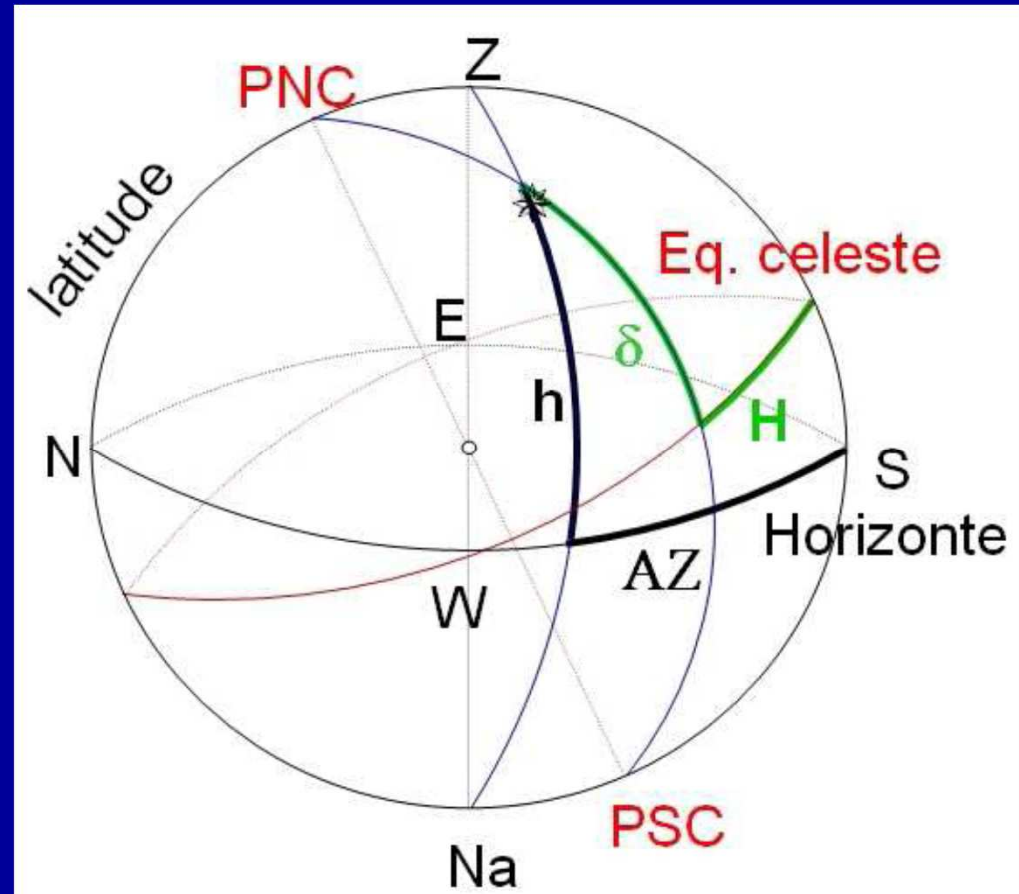


Um qualquer astro tem o seu conjunto de coordenadas:

(AZ,h) – depende do local e da hora

(RA, δ) - fixo

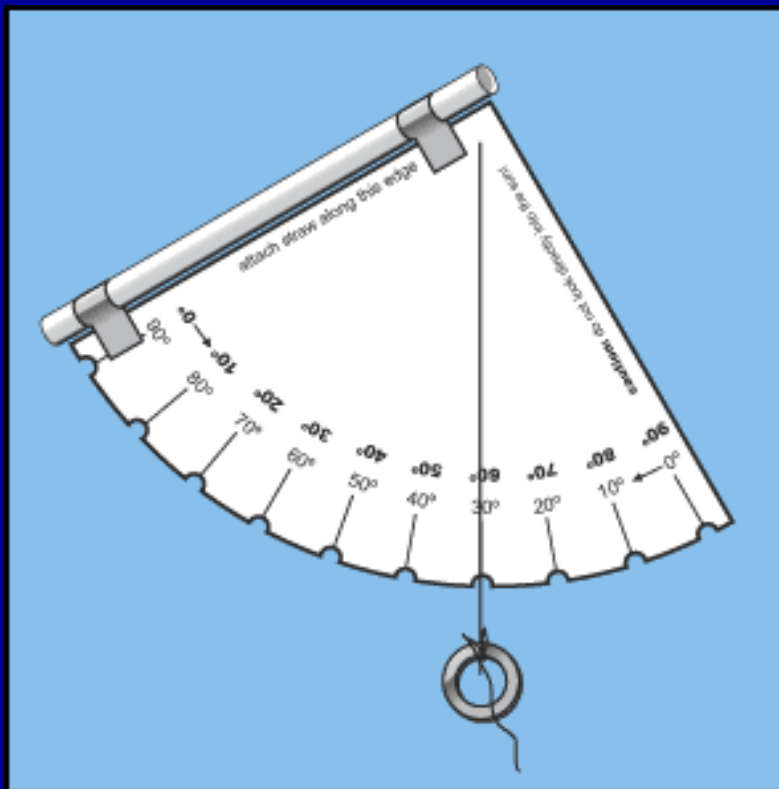
É possível converter umas nas outras, graças à trigonometria esférica.



Augusto et al. 2009
<http://www3.uma.pt/Investigacao/Astro/Grupo/Publicacoes/Abstracts/pub2011a.htm>



Astronomia *hands-on*



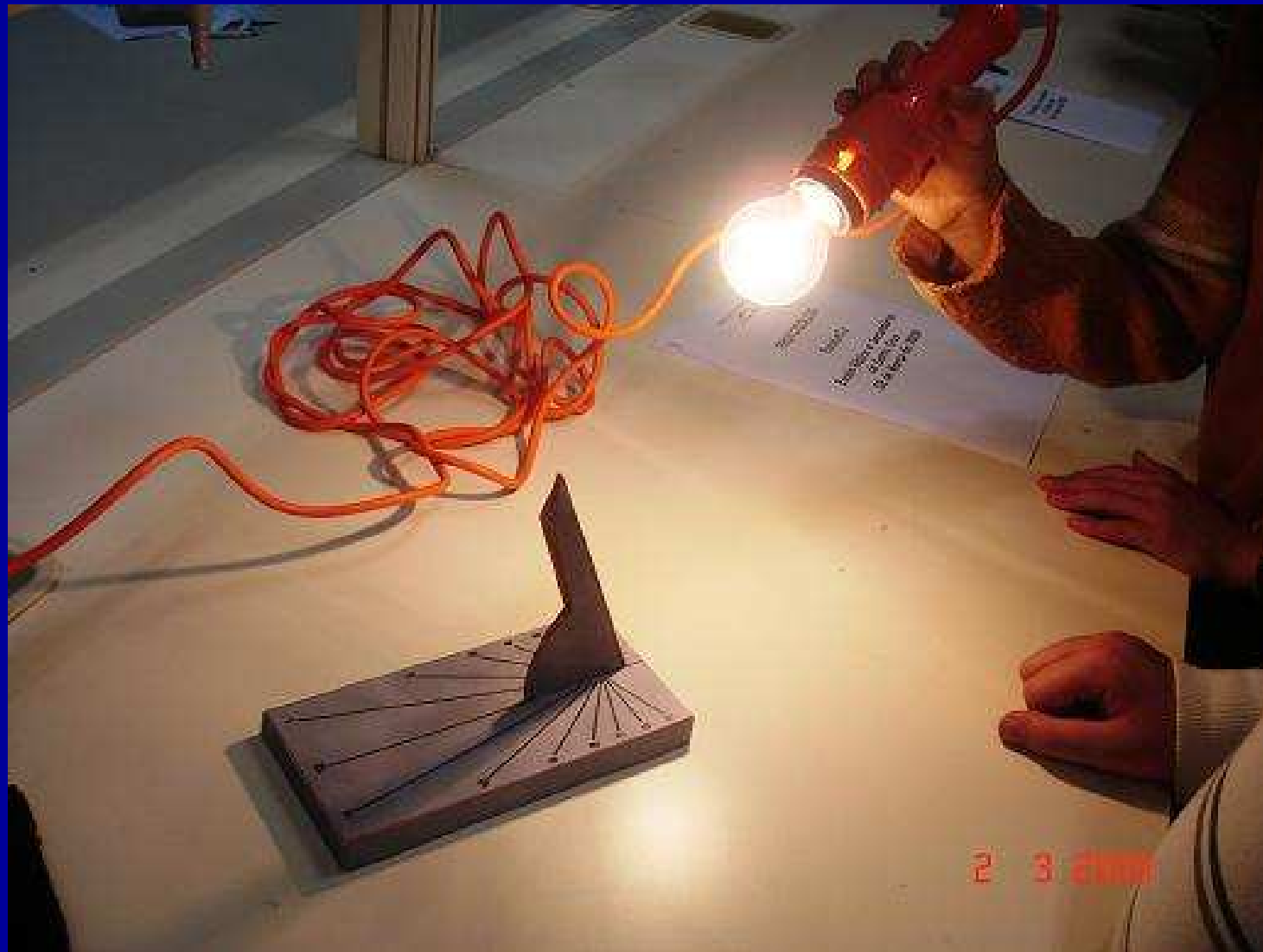
Construção de um **astrolábio** com a ajuda de uma palhinha e de um transferidor.

Medindo o ângulo entre a estrela polar e o horizonte obtemos a **latitude** do lugar.

http://ese.ssl.berkeley.edu/AtHomeAstronomy/activity_07.html



Relógio Solar – a sombra da haste indica a hora do dia





Universidade da Madeira

Relógio Estelar: com o relógio virado para a estrela polar por forma a vermos neste as constelações de Ursa Menor, Ursa Maior e Cassiopeia na mesma configuração que estas apresentam no céu, selecionamos o mês em que estamos e ficamos a saber a hora aproximada.





Universidade da Madeira

Grupo de Astronomia



<http://www3.uma.pt/Investigacao/Astro/Grupo/index.htm>
astro@uma.pt

(c) Grupo de Astronomia da Universidade da Madeira 2017