



José Laurindo Sobrinho

Grupo de Astronomia da Universidade da Madeira

Fevereiro 2014

Movimento real e aparente das estrelas e dos planetas

1 – O Movimento da Lua

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** (Figura 1).

Pelo facto de vermos sempre a mesma face da Lua voltada para a Terra poderíamos pensar que a Lua não roda sobre si própria. Esta ideia é errada. De facto, se a Lua não tivesse movimento de rotação em torno de si mesma então não veríamos sempre a mesma face da Lua (Figura 2).

O facto de vermos sempre a mesma face da Lua voltada para a Terra significa que a sua **rotação** está **sincronizada** com o seu movimento orbital. Isto significa que a Lua demora exactamente o mesmo tempo a dar uma volta sobre si própria e a completar uma volta ao redor da Terra.

Inicialmente a rotação da Lua não estava sincronizada com o seu movimento orbital. Foram as forças de maré provocadas pela Terra que alteraram progressivamente o movimento orbital do nosso satélite natural. Deste modo a Lua perdeu momento angular baixando, assim, a sua velocidade de rotação. O fenómeno não é exclusivo do sistema Terra-Lua. O mesmo acontece, por exemplo, com os quatro maiores satélites de Júpiter ou com o par Plutão-Charon. A Lua também exerce uma força de maré sobre a Terra atrasando a rotação do nosso planeta em cerca de 0.0015 segundos por século. Daqui por um milhão de anos o dia terá mais uma hora

Embora a Lua apresente sempre a mesma face voltada para nós, um observador na Terra consegue ver até cerca de 59% da superfície lunar devido ao chamado **movimento de libração da Lua**. Este movimento, que se traduz numa pequena oscilação do disco lunar, deve-se sobretudo ao facto da órbita da Lua em torno da Terra não ser perfeitamente circular e ao facto do plano orbital da Lua fazer um ângulo de cerca de 5° em relação ao plano orbital da eclíptica (plano orbital da Terra em torno do Sol).

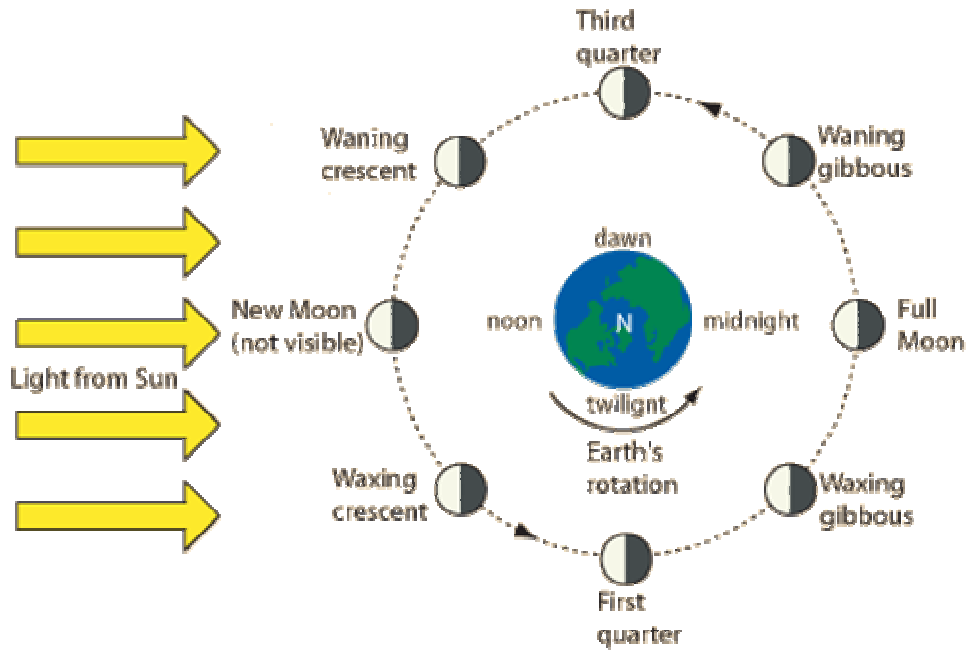


Figura 1 - As fases da Lua [<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/solar/moonphase.html>]

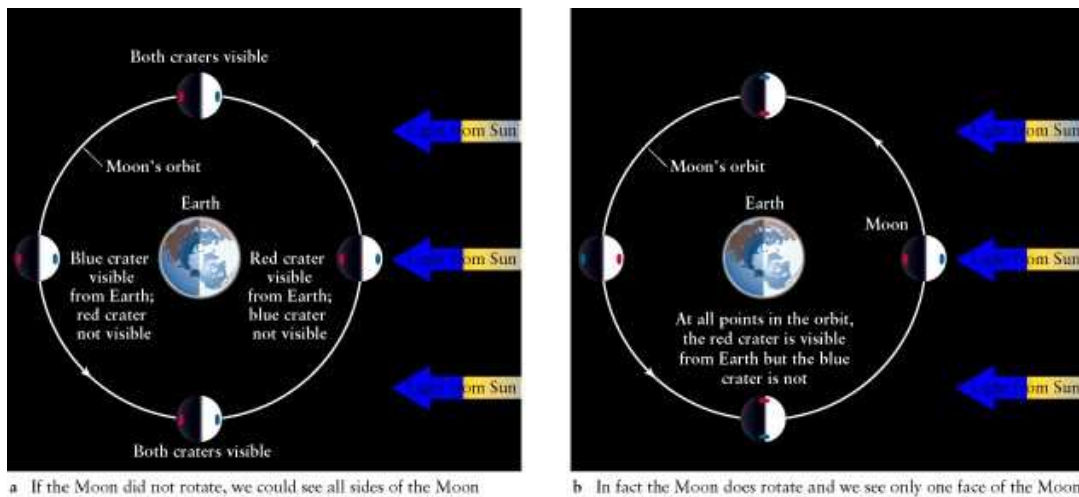


Figura 2 – Se a lua não tivesse movimento de rotação então não veríamos sempre a mesma face da Lua voltada para a Terra. [<http://crab0.astr.nthu.edu.tw/~hchang/ga1/ch03-01.htm>]

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 (em relação à Terra). Um dia lunar são cerca de 28 dias terrestres. Assim, entre o nascer e o pôr do Sol, num dado ponto da Lua, passam em média cerca de duas semanas.

Mês sideral – tempo correspondente a uma volta completa da Lua em torno da Terra medido em relação às estrelas. Um mês sideral são 27.32 dias.

Mês sinódico - tempo correspondente a uma volta completa da Lua em torno da Terra medido em relação ao Sol, ou seja, o tempo que decorre até que se complete um ciclo de fases lunares. Um mês sinódico são 29.53 dias.

O mês sinódico é maior do que o mês sideral por causa do movimento de translação da Terra em torno do Sol que a Lua acaba por acompanhar necessariamente (Figura 3)

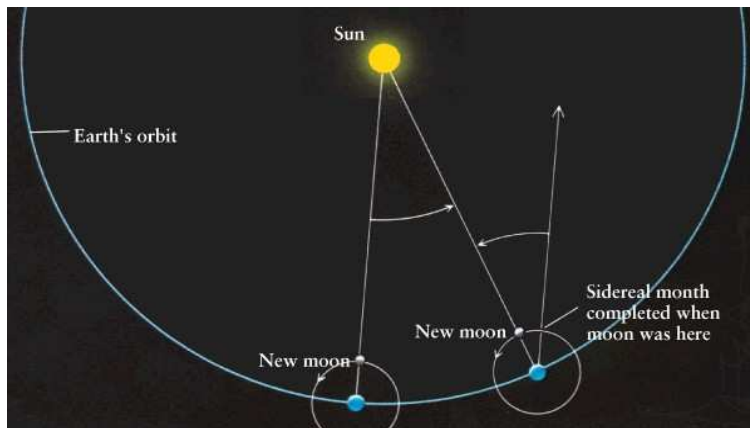


Figura 3 – O mês sideral e o mês sinódico.

[http://wisp.physics.wisc.edu/astro104/homework/homework1_soln.html]

2 - 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 (plano da eclíptica) teríamos eclipses de duas em duas semanas. Devido à 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 pontos onde a lua cruza a plano da eclíptica designam-se por **nodos**. Unindo estes pontos entre si obtemos a linha a chamada **linha dos nodos** (Figura 4). Teremos um eclipse apenas se a linha dos nodos apontar na direção do Sol no momento em que é atravessada pela Lua.

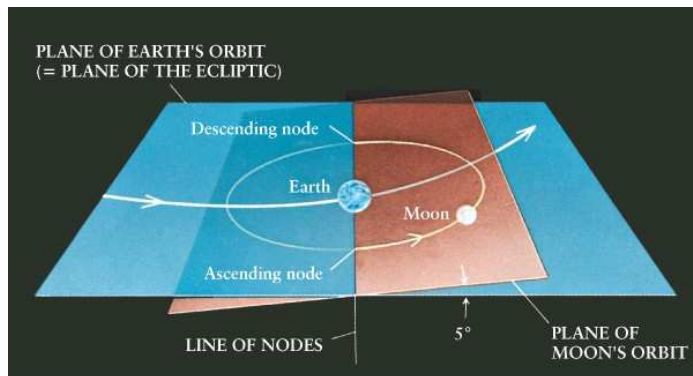


Figura 4 – O plano orbital da Terra (plano da eclíptica), o plano orbital da Lua e a linha dos nodos [http://crab0.astr.nthu.edu.tw/~hchang/ga1/ch03-02.htm]

2.1 - Eclipses lunares

Os eclipses lunares podem ser **parciais**, **totais** ou **penumbrais**. 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.

Se a Lua atravessar a umbra temos um eclipse lunar total (a sua duração é de 1h42m). Se apenas parte da Lua passar pela umbra então temos um eclipse lunar parcial. Se a Lua passar apenas pela penumbra então temos um eclipse penumbral. Neste caso a Lua apenas fica um pouco menos brilhante razão pela qual os eclipses penumbrais muitas vezes passam despercebidos (Figura 5).

Mesmo num eclipse lunar total existe sempre alguma luz solar que é refratada pela atmosfera da Terra e acaba por atingir a Lua. Essa luz é essencialmente vermelha. Dai a razão pela qual a silhueta da Lua durante os eclipses tem um aspeto avermelhado.

Em média 1/3 de todos os eclipses lunares são totais, 1/3 são parciais e 1/3 são penumbrais.

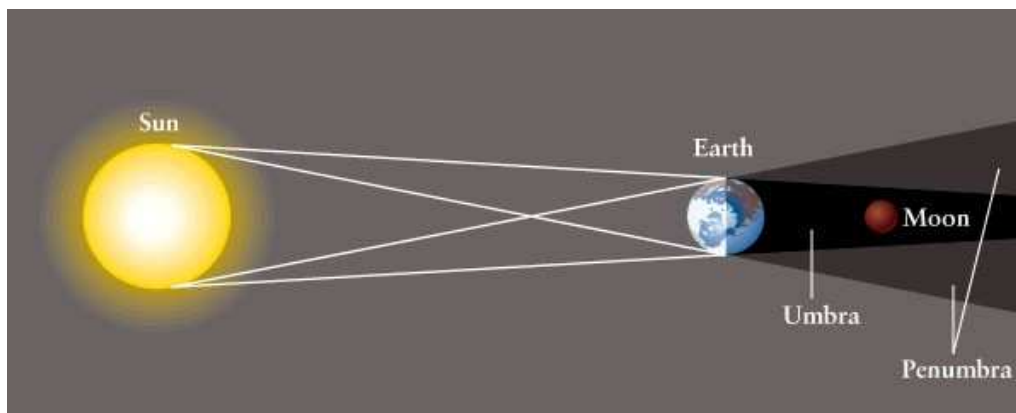


Figura 5 – A zona da Umbra e da Penumbra e os eclipses lunares
[\[http://wisp.physics.wisc.edu/astro104/lecture3/lec3j.html\]](http://wisp.physics.wisc.edu/astro104/lecture3/lec3j.html)

2.2 - Eclipses solares

Só acontecem quando temos Lua Nova. Podem ser **parciais**, **totais** ou **anelares**. Vistos da Terra Sol e Lua têm praticamente o mesmo diâmetro angular (cerca de 0.5°).

Um eclipse solar total é acompanhado por um decréscimo da temperatura e da velocidade do vento. Os animais reagem como se fosse de noite.

Quando a Lua tapa completamente o Sol podemos ver a coroa do Sol. Apenas neste momento podemos olhar para o Sol sem qualquer perigo para a nossa vista. No entanto, como este momento é breve não é aconselhável de modo nenhum fazê-lo.

Apenas numa estreita faixa ao longo do globo o eclipse atinge a totalidade. A ladear essa faixa temos duas regiões onde o eclipse é apenas parcial e fora dessa região não temos eclipse (Figura 6).

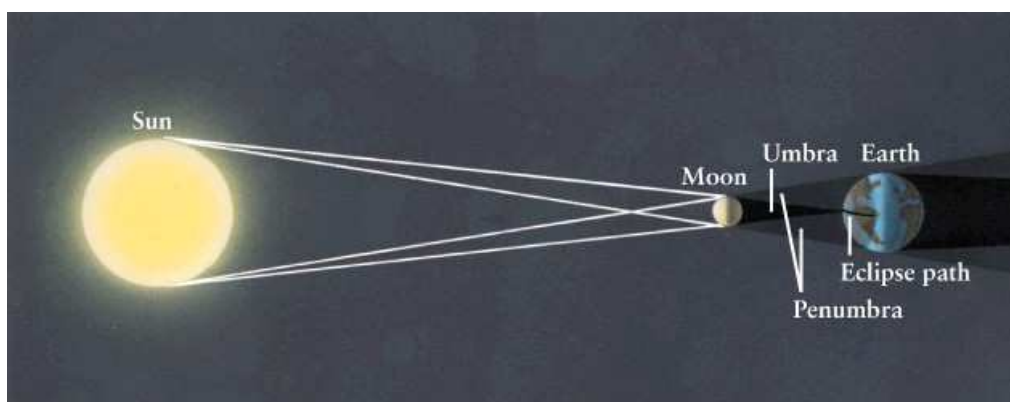


Figura 6 – Os eclipses solares ocorrem apenas quando temos Lua Nova. O eclipse é total apenas ao longo de uma estreita faixa da superfície terrestre.
[\[http://wisp.physics.wisc.edu/astro104/lecture3/lec3k.html\]](http://wisp.physics.wisc.edu/astro104/lecture3/lec3k.html)

Como a órbita da Lua em torno da Terra é elíptica acontece que o diâmetro angular da Lua é variável. Em particular quando a Lua está no seu apogeu (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** (Figura 7).

Por outro lado quando a Lua está no perigeu (ponto mais próximo da Terra) o seu diâmetro angular é máximo. É nesta situação que os eclipses totais têm maior duração (cerca de 7.5 minutos).



Figura 7 – Evolução de um eclipse anelar. Nunca é atingida a totalidade nestes casos.
[[<http://wisp.physics.wisc.edu/astro104/lecture3/lec3k.html>]]

Sabemos atualmente como determinar com bastante precisão a ocorrência de eclipses. Isto permite-nos não só prever a ocorrência de eclipses no futuro mas, também relacionar eventos históricos com eclipses ocorridos no passado. Os Medos travavam uma batalha com os Lídios junto ao rio Halys (algures no centro da atual Turquia). A batalha foi subitamente interrompida por um eclipse do Sol. Os soldados de ambos os lados cessaram os combates e declararam a paz. Analisando os eclipses que tiveram lugar no passado conclui-se que a batalha foi travada em 585AC.

2.3 – Trânsitos de Vénus e de Mercúrio

Quando, num alinhamento favorável Mercúrio ou Vénus cruzam o disco solar dizemos que temos um **trânsito planetário** (não se trata de um eclipse). O último trânsito de

Vênus ocorreu em junho de 2012 e o próximo será em dezembro de 2117. No passado este fenômeno raro revestia-se de grande importância era o único meio ao nosso alcance para determinar a distância da Terra ao Sol. Atualmente, com a conquista do espaço, já o conseguimos fazer por outros meios. O último trânsito de Mercúrio ocorreu em novembro 2006 e o próximo será em maio de 2016.

3 - Modelo geocêntrico e modelo heliocêntrico

3.1 – Modelo Geocêntrico

O Modelo geocêntrico 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 (Figura 8).

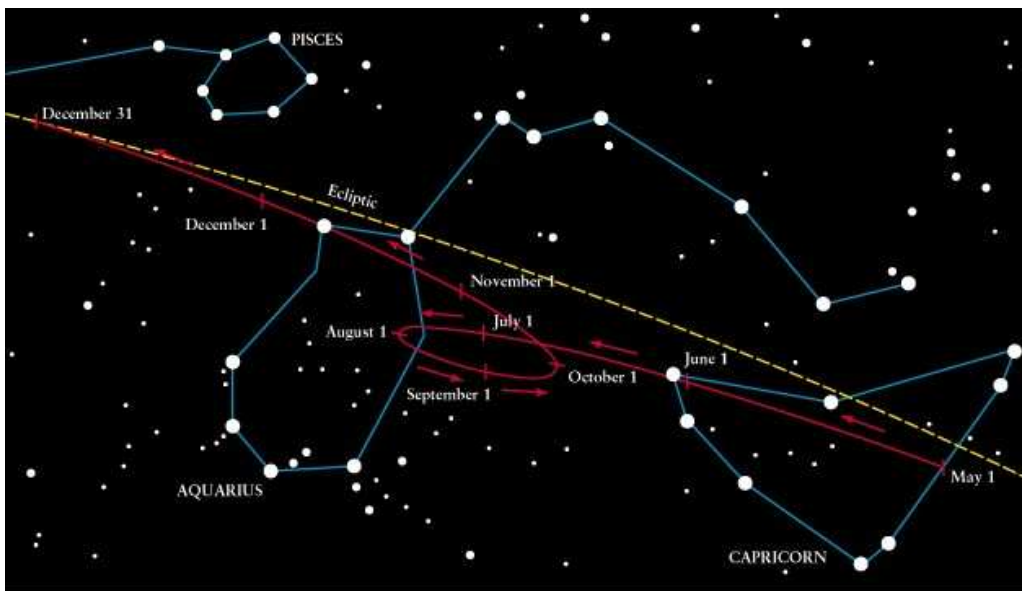


Figura 8 – Movimento seguido pelo planeta Marte em relação ao fundo de estrelas
[<http://wisp.physics.wisc.edu/astro104/lecture4/lec4f.html>]

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 (Figura 9). Isto permitia de facto explicar o movimento retrógrado dos planetas.

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.

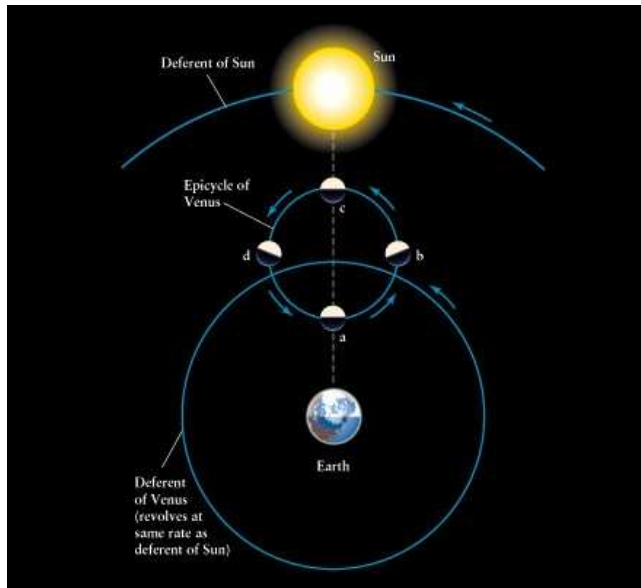


Figura 9 – O modelo geocêntrico de Ptolomeu com a Terra ao centro e os epiciclos associados à órbita do planeta Vénus [<http://wisp.physics.wisc.edu/astro104/lecture4/lec4g.html>]

3.2 - Modelo Heliocêntrico

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 (Figura 10).

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). Foi o primeiro indício de que a esfera celeste se calhar não era imutável como se pensava.

Tycho Brahe tentou medir a paralaxe de diversas estrelas. Havendo paralaxe significava que era a Terra que andava em torno do Sol e não o contrário. Como não conseguiu medir (pois como sabemos hoje os ângulos de paralaxe estelar são extremamente pequenos) concluiu que talvez o modelo de heliocêntrico não fosse o melhor.

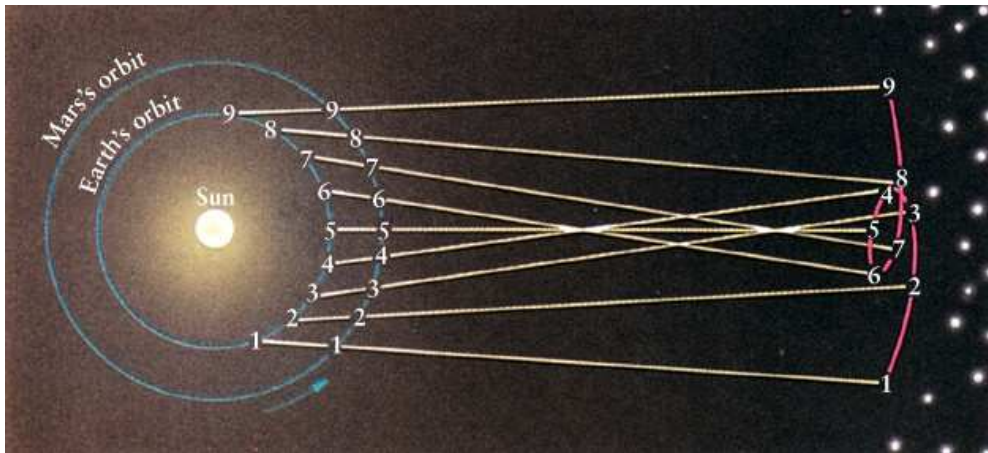


Figura 10 – O modelo de Copérnico e o movimento orbital do planeta Marte quando visto da Terra [http://wisp.physics.wisc.edu/astro104/lecture4/lec4f.html]

3.3 - 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. Assim nasceu a **Primeira Lei de Kepler** (1609):

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

Em geometria uma elipse é uma curva fechada definida por dois pontos chamados **focos**. Os pontos da elipse são aquelas para os quais a soma das respectivas distâncias aos focos é constante, sendo essa distância igual ao comprimento do eixo maior da elipse (Figura 11).

A **excentricidade** de uma elipse é por definição dada pela relação da distância entre os focos ($2c$) e o comprimento maior da elipse ($2a$):

$$\varepsilon = \frac{c}{a}$$

O valor de ε varia entre zero (caso da circunferência) e um (elipse bastante alongada) – ver Figura 12. Um círculo é uma elipse de excentricidade nula e, portanto, a Primeira Lei de Kepler não exclui as órbitas perfeitamente circulares. Contudo verifica-se que, em geral, todos os planetas apresentam órbitas com alguma excentricidade.

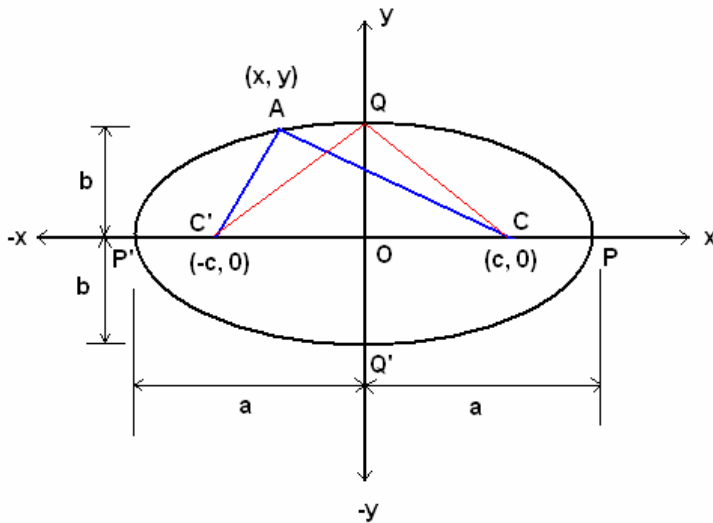


Figura 11 - Exemplo de uma elipse. Os focos são os pontos $(-c,0)$ e $(c,0)$. O eixo maior da elipse mede $2a$ e o eixo menor mede $2b$. Os pontos (x,y) da elipse são aqueles tais que a soma das respectivas distâncias aos focos é igual a $2a$ (constante).

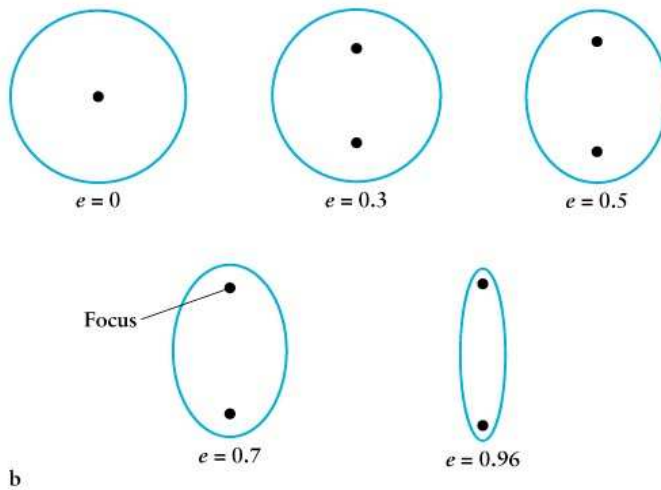


Figura 12- Exemplo de elipses com diferentes valores de excentricidade.

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 de um planeta é maior no periélio e menor no

afélio. Depois de muitos cálculos Kepler acabou por estabelecer aquela que agora é designada por **Segunda Lei de Kepler** (1609) – ver Figura 13:

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

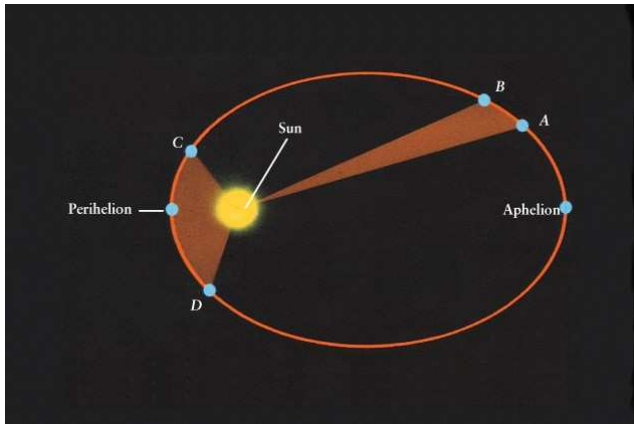


Figura 13 – De acordo com a Segunda Lei de Kepler se o planeta demorar o mesmo tempo a se deslocar entre A e B do que entre C e D então varrerá áreas iguais em ambas as situações

Kepler também deduziu, a partir dos dados de Tycho, uma relação que permite comparar o movimento de diferentes planetas. Esta veio a ser designada por **Terceira Lei de Kepler** (1618):

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

Matematicamente a Terceira Lei de Kepler traduz-se pela expressão:

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

onde T é o período orbital do planete, a é o semi-eixo maior da elipse, M_1 é a massa do Sol, M_2 a massa do planeta e G a Constante de Gravitação Universal.

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.

3.4 - Galileu e Newton

Galileu Galilei foi o primeiro a apontar um telescópio para o céu (1610) tendo feitas 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 (Figura 14).

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.

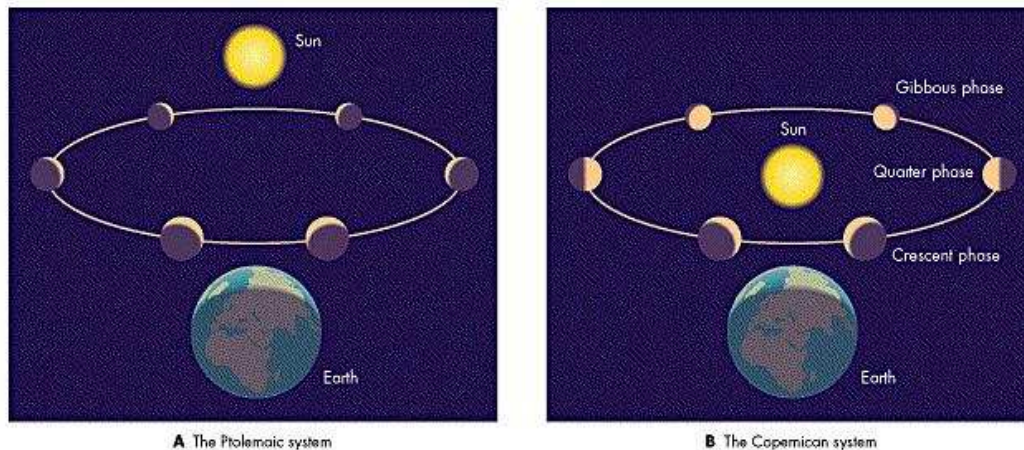


Figura 14 – As fases do planeta Vénus de acordo com o Sistema Geocêntrico de Ptolomeu (A) e o Sistema Heliocêntrico de Copérnico (B).

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.

Assim a mecânica Newtoniana foi amplamente aceita 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.

3.5 – Elongações e configurações

A **Elongação** de um planeta é dada pela medida do ângulo entre o Sol e o planeta do ponto de vista de um observador sobre a superfície terrestre. Se o planeta estiver na mesma direção que o Sol então o seu ângulo de elongação é de 0° . Se o planeta estiver no ponto oposto em relação ao Sol então o seu ângulo de elongação é de 180° .

Note-se todavia que apenas os **planetas superiores** (órbitas com raio superior ao da órbita da Terra) conseguem atingir ângulos de elongação de 180° . Os **planetas inferiores** (Vénus e Mercúrio) têm ângulos de **elongação máxima** inferior a 180° . A elongação máxima do planeta Vénus é ligeiramente inferior a 50° . No caso de Mercúrio, que está mais próximo do Sol, o ângulo de elongação máxima não ultrapassa os 30° . Assim, estes planetas apenas se podem observar logo ao anoitecer ou antes do amanhecer (nunca a meio da noite).

Na Figura 15 estão representadas diversas configurações para um planeta inferior. Quando o planeta está alinhado com a Terra e o Sol dizemos que está em **conjunção**. Se o planeta estiver do lado oposto ao Sol dizemos que está em **conjunção superior** e se estiver entre a Terra e o Sol dizemos que está em **conjunção inferior**. Nestas situações a elongação do planeta é muito próxima de 0° (será 0° se o alinhamento for perfeito). É no caso das conjunções inferiores que pode ocorrer o trânsito do planeta sobre o disco solar.

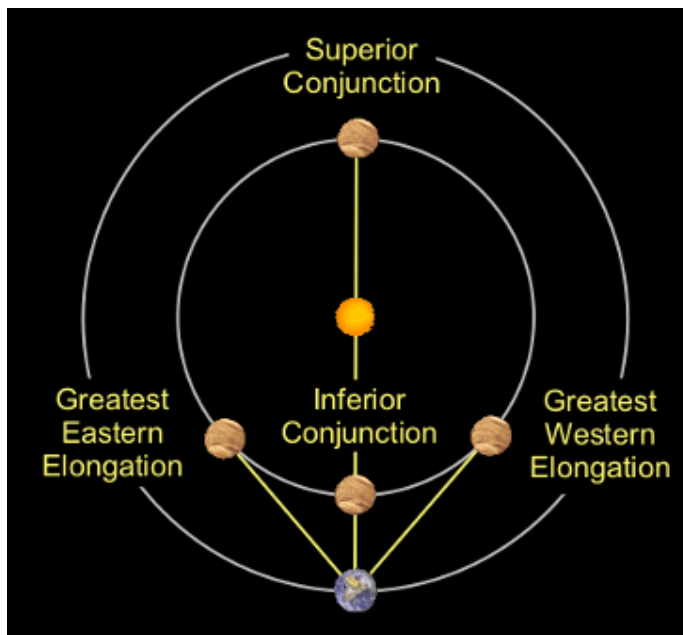


Figura 15 – Configurações para um planeta inferior.

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

Na Figura 16 estão representadas diversas configurações para um planeta superior. Quando o planeta está alinhado com a Terra e o Sol dizemos que está em **conjunção** se estiver do lado oposto ao Sol (elongação de 0°) e que está em **oposição** se estiver do mesmo lado do Sol que a Terra (elongação de 180°). Outra configuração especial para planetas superiores é a chamada **quadratura** a qual corresponde a uma elongação de 90° .

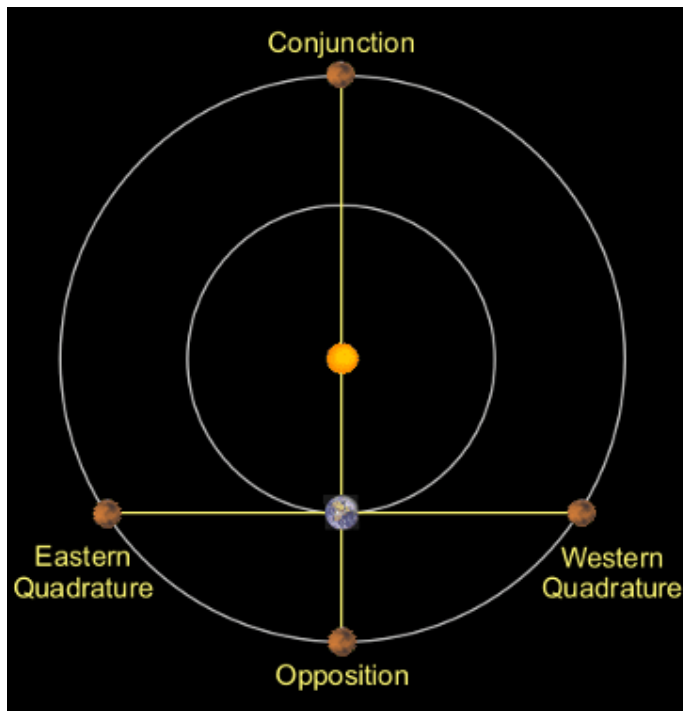


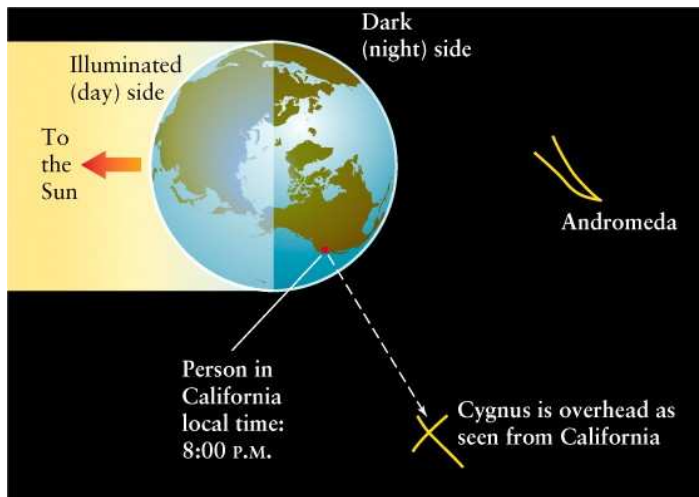
Figura 16 – Configurações para um planeta superior.

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

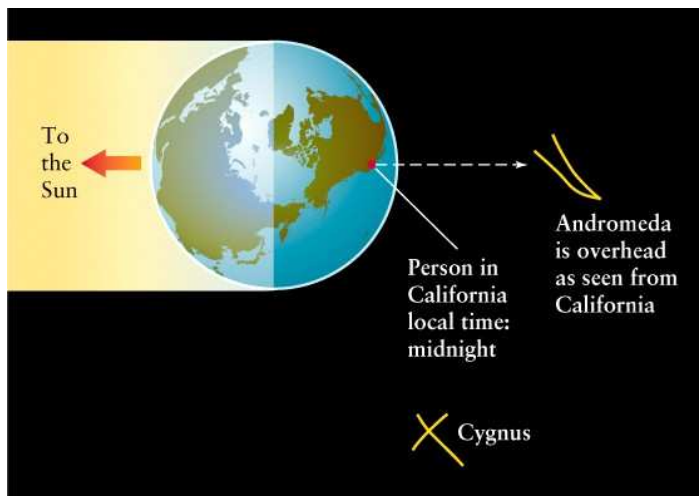
4 - Movimento aparente das estrelas

4.1 - 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, temos a sensação de que é a esfera celeste que roda como um todo em torno da Terra e não o contrário. Pela mesma razão, durante o dia vemos o Sol nascer, subir no horizonte e desaparecer do outro lado ao fim da tarde. Estes **movimentos aparentes** são uma consequência direta do movimento de rotação da Terra (Figura 17).



a Earth as seen from above the north pole



b 4 hours later

Figura 17 – Na situação retratada na imagem (a) o observador tem por cima de si ao cair da noite a constelação de Cisne. A constelação de Andrómeda começa a subir no horizonte Leste. Na mesma noite, cerca de quatro horas mais tarde (b), o mesmo observador constata que a constelação de Andrómeda está no ponto mais alto do céu ao mesmo tempo que Cisne vai descendo no horizonte do lado Oeste.

[<http://wisp.physics.wisc.edu/astro104/syllabuspr.html>]

Um observador situado no Hemisfério Norte verifica que o céu roda durante a noite em redor da estrela polar. A estrela polar fica aproximadamente fixa pois a sua direção é muito próxima da direção definida pelo eixo de rotação da Terra. O ângulo de elevação da estrela polar em relação ao horizonte é igual à latitude geográfica do local.

No caso da Madeira, por exemplo, a estrela polar apresenta-se a cerca de 32.6° acima do horizonte. Todas as estrelas que estejam a menos de 32.6° da estrela polar estão sempre visíveis durante todo o dia. Estas estrelas designam-se por **estrelas circumpolares**. Da mesma forma existe uma porção da Esfera Celeste localizada no lado oposto (num raio

de 32.6° em torno do Polo Sul Celeste) cujas estrelas nunca se conseguem ver da Madeira. As estrelas que estão na região situada entre estes dois extremos surgem no horizonte no lado nascente, sobem até uma certa altura máxima no céu e desaparecem no lado poente. Quando a estrela atinge o ponto de altura máxima dizemos que está em **trânsito**.

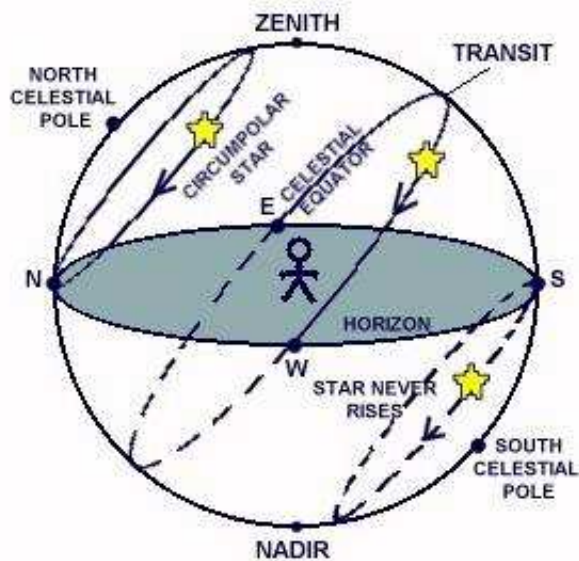


Figura 18 - A dinâmica da Esfera Celeste para um observador situado no Hemisfério Norte numa latitude semelhante à da Madeira.

[<http://www.empirenet.com/tajames/astronomy/notes-celestial-sphere.html>]

4.2 - 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 em relação à do dia anterior. Esse adiantamento corresponde a cerca de 4 minutos. Depois da Terra dar uma volta completa em torno do Sol volta tudo ao início (Figura 19).

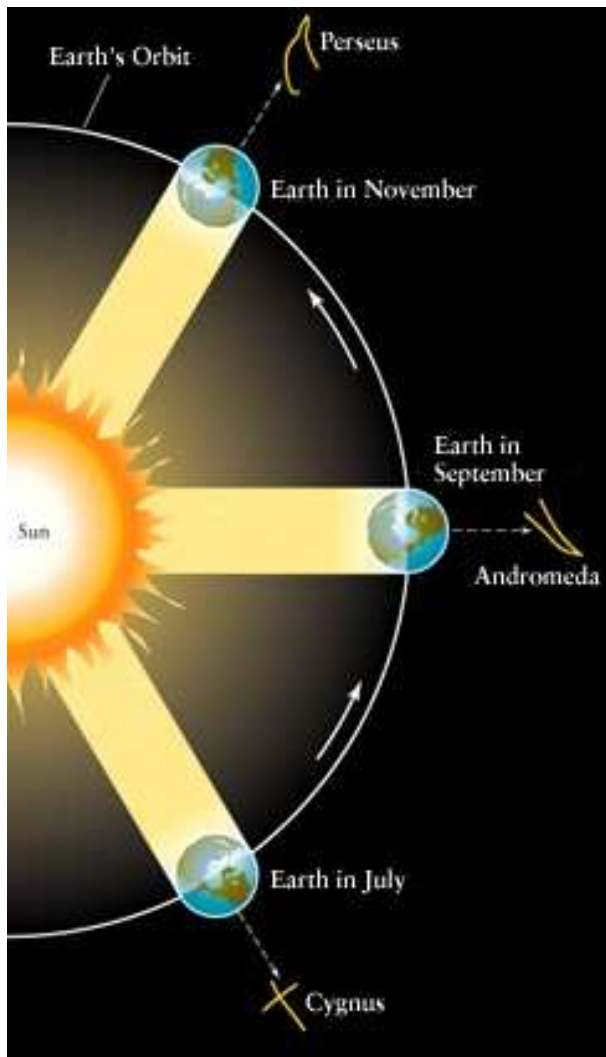


Figura 19 – No mês de julho a meio da noite um observador (situado no Hemisfério Norte) observa bem alto no céu a constelação de Cisne. A constelação de Andrómeda começa a subir no horizonte do lado Leste e a constelação de Perseu não está visível. No mês de setembro, à mesma hora da noite, o mesmo observador constata que agora tem a constelação de Andrómeda bem alta no céu ao passo que a constelação de Cisne está a descer no horizonte do lado poente e a constelação de Perseu já aparece no lado nascente. No mês de novembro, à mesma hora da noite, o mesmo observador constata que agora é a constelação de Perseu que se apresenta bem alta no céu, com a constelação de Andrómeda a descer do lado poente onde já não consegue ver a constelação de Cisne.

4.3 – Inclinação do eixo de rotação da Terra

O eixo de rotação da Terra está **inclinado cerca de 23.5°** em relação ao plano orbital do planeta (ou seja, em relação à eclíptica). Esta inclinação do eixo 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 (Figura 20).

Para além da inclinação do eixo de rotação, outro factor determinante para a existência de estações climáticas é a variação da distância do planeta ao Sol. No caso da Terra essa variação não tem influência significativa nas estações.

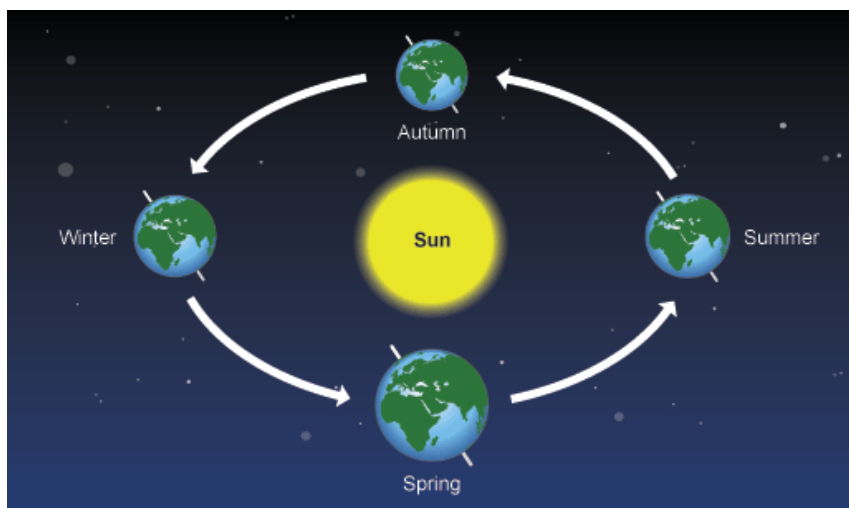


Figura 20 – A inclinação do eixo de rotação da Terra e as estações do ano.

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

4.4 - Movimento de Precessão

O eixo de rotação da Terra não mantém sempre a mesma orientação. Ele executa o chamado **movimento de precessão** (como acontece no caso do eixo de rotação de um pião) completando um ciclo a cada 26000 anos. Este movimento resulta de uma ação conjugada entre a Lua e o Sol (Figura 21).

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 (Figura 22). A mudança de orientação do eixo de rotação da Terra acarreta também consigo a mudança dos equinócios. Neste momento o ponto Vernal localiza-se na constelação de Peixes mas em 2600 estará na constelação de Aquário.

Devido a estas alterações graduais os catálogos estelares são preparados para uma determinada época (e.g. o calendário para a época de 2000 é preciso no dia 1 de janeiro de 2000 exigindo apenas ligeiras correções nas décadas seguintes).

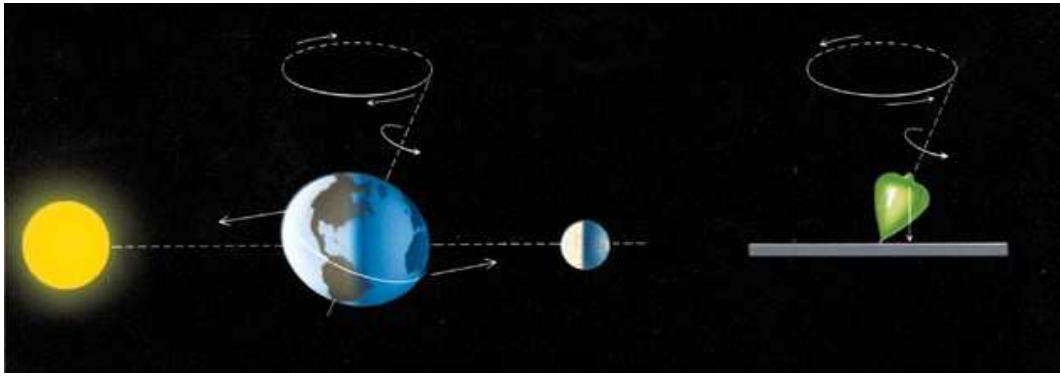


Figura 21 – Movimento de precessão do eixo de rotação da Terra.
[\[http://wisp.physics.wisc.edu/astro104/lecture2/lec2i.html\]](http://wisp.physics.wisc.edu/astro104/lecture2/lec2i.html)



Figura 22 – Alteração do PNC devido ao movimento de precessão da Terra.
[\[http://wisp.physics.wisc.edu/astro104/lecture2/lec2i.html\]](http://wisp.physics.wisc.edu/astro104/lecture2/lec2i.html)

5 – Movimento aparente do Sol ao longo do ano

Durante um ano a Terra dá uma volta completa em torno do Sol. Como consequência disso, para um observador na Terra, o Sol aparenta mover-se em relação ao fundo de estrelas. Como um ano são cerca de 365 dias e uma volta completa correspondem a 360°

temos que o movimento aparente do Sol é de cerca de 1° por dia. Por definição o plano orbital da Terra designa-se por eclíptica. Assim o movimento aparente do Sol ao longo da Esfera Celeste ocorre também sobre a eclíptica (Figura 23).

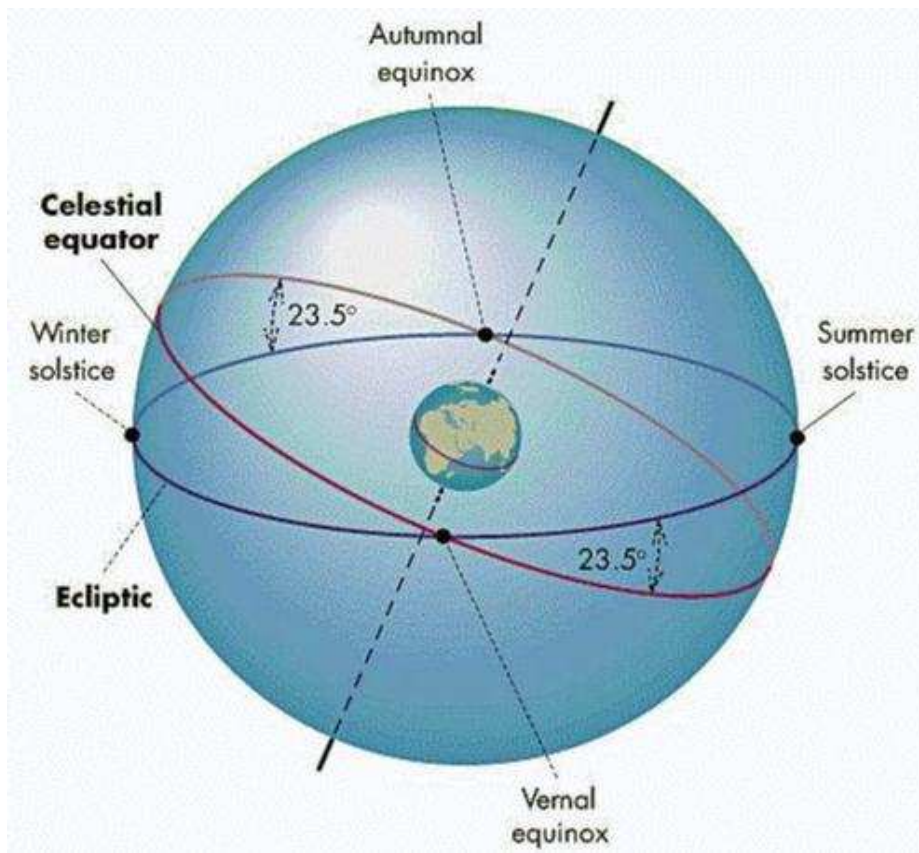


Figura 23 – Movimento aparente do Sol ao longo do ano.

[<http://spaces.imperial.edu/russell.lavery/Ast100/Lectures/Ast100Topic02.html>]

O Equador Celeste obtém-se prolongando o equador terrestre. Se o eixo de rotação da Terra não estivesse inclinado então o movimento anual do Sol seria sempre sobre o Equador Celeste. Devido à inclinação de 23.5° no eixo de rotação da Terra, durante o Verão o Sol sobe até um máximo de 23.5° acima do Equador Celeste. Esse máximo corresponde ao solstício de Verão. No inverno acontece o contrário: o Sol desce até 23.5° abaixo da linha do Equador Celeste. Nesse ponto temos o solstício de inverno.

Consideremos o Sol no solstício de Verão, isto é no seu ponto mais alto em relação ao Equador Celeste. Com o passar dos dias o Sol vai descrevendo círculos cada vez mais baixos (os dias vão ficando cada vez mais pequenos). Haverá um ponto em que o Sol cruza a linha do Equador Celeste: trata-se do equinócio de Primavera caracterizado por termos o dia igual à noite. Depois o Sol continua a descer até atingir os 23.5° abaixo do Equador Celeste. Temos o solstício de Inverno (dia mais pequeno do ano). A partir deste ponto o Sol começa a subir e os dias tornam-se cada vez maiores. Haverá um

ponto em que o Sol cruza a linha do Equador Celeste: trata-se agora do equinócio de Outono. O Sol continua a subir até atingir de novo o Solstício de Verão.

6 – Movimento real das estrelas

As estrelas parecem fixas nas suas posições dada a grande distância a que estão. O único movimento que parecem ter é o movimento aparente em consequência da rotação e translação da Terra. No entanto, as estrelas têm também movimentos próprios. Na Figura 24 vemos algumas das estrelas da constelação da Ursa Maior e os respectivos vectores velocidade. É também indicada com era a configuração desta constelação há cerca de 50000 anos.

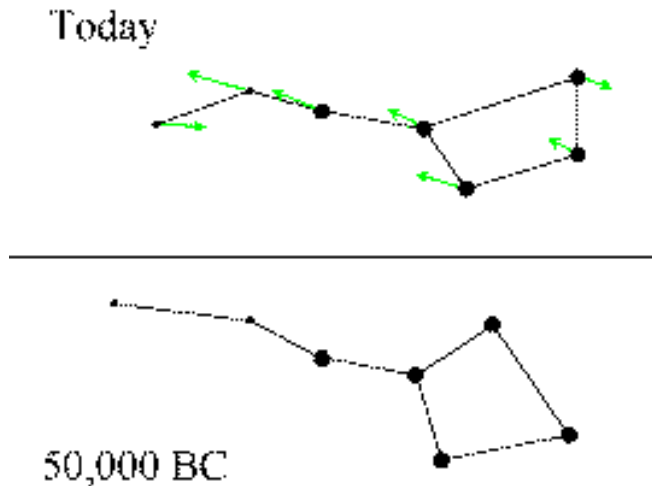


Figura 24 – O movimento próprio das estrelas da Ursa Maior.

[<http://www.astronomy.ohio-state.edu/~pogge/Ast162/Unit1/motions.html>]

A velocidade de uma estrela em relação ao Sol pode decompor-se em duas componentes: velocidade radial (v_r) e velocidade tangencial (v_t), como se mostra na Figura 25, de tal forma que:

$$v^2 = v_r^2 + v_t^2$$

A componente tangencial da velocidade da estrela é dada por:

$$v_t = 4.74\mu d \quad (\text{km/s})$$

onde d corresponde à distância à estrela em parsec e μ é o deslocamento próprio da estrela em arcsec/ano. A componente radial da velocidade da estrela é determinada com a ajuda do efeito Doppler:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = v_r / c$$

onde c é velocidade da luz, λ é comprimento de onda da luz emitida pela estrela e $\Delta\lambda$ é o desvio de comprimento de onda devido ao efeito Doppler.

Regra geral, a componente radial da velocidade é fácil de medir. Desde que a estrela seja suficientemente brilhante a partir do desvio das suas linhas espectrais conseguimos determinar se ela está a se aproximar ou a afastar-se de nós e com que velocidade.

A componente tangencial da velocidade não é tão fácil de medir. Em primeiro lugar é preciso conhecer a distância a que está a estrela e depois é preciso medir o seu movimento próprio (μ). Para estrelas não muito distantes este valor pode até ser grande. No caso de estrelas mais distantes o valor de μ pode obter-se caso existam medições feitas com décadas de intervalo.

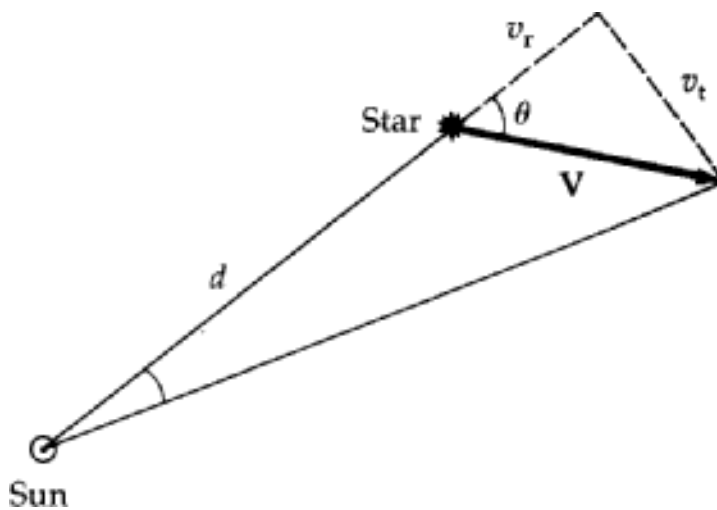


Figura 25 – As componentes radial e tangencial da velocidade própria de uma estrela.

[<http://burro.cwru.edu/Academics/Astr222/Galaxy/Distances/clusters.html>]

7 – Movimento de Paralaxe

A direção segundo a qual vemos uma determinada estrela altera-se ligeiramente (de forma cíclica) à medida que a Terra roda em torno do Sol. Chama-se a este movimento paralaxe e ao ângulo correspondente **ângulo de paralaxe**. Este ângulo será tanto maior quanto mais próxima estiver a estrela.

Todas as estrelas conhecidas (com a exceção do Sol) têm ângulos de paralaxe inferiores a 1 arcsec. **Proxima Centauri**, que é a estrela mais próxima do Sol, tem um ângulo de paralaxe de 0.772 arcsec.

O satélite Hipparcos mediu a paralaxe de cerca de 118000 estrelas até 0.001 arcsec permitindo, assim, fazer um mapa 3D da nossa zona da galáxia num raio de cerca de 3260 anos luz.