

Capítulo 5: Lua, suas fases & Eclipses*Docente: Valente A. Cuambe**Monitor: Bivar Garces*

4 Origem da Lua

É imperativo pensar que a formação da Lua (o satélite natural da Terra) surgiu principalmente através de processos físicos e não químicos. No entanto, os processos químicos só começaram a desempenhar um papel importante depois que a Lua se formou fisicamente. Portanto, a reorganização química da matéria e da concepção da forma actual da Lua foi um processo longo (~ 4.5 bilhões de anos).

Várias explicações foram propostas para a formação da Lua. Actualmente acredita-se na hipótese que o sistema Terra- Lua se formou como resultado de um gigantesco impacto, durante qual um corpo do tamanho de Marte, denominado Theia, colidiu com a recém-formada proto-Terra, projetando material para a sua órbita que se aglutinou até formar a Lua.

A formação da Lua começou a partir duma nuvem gasosa, que estava presente no sistema proto-Solar (havia apenas uma nuvem gasosa em uma região da Via Láctea antes da formação do sistema Solar). A Lua iniciou o processo de formação simultaneamente com outros planetas incluindo suas Luas¹. É mais convincente usar o termo "evoluir" do que "formação" porque este processo não ocorreu instantaneamente.

Os planetas e as Luas evoluíram através de um processo contínuo de evolução e todos eles ainda continuam evoluindo em uma escala de tempo quase imperceptível a escala humana.

Exercício:

1. Usando a terceira Lei de Kepler, calcule a massa da Lua:

$$(M_T + M_L) = \frac{a^3}{P^2} \quad (1)$$

em que M_T é a massa da Terra, M_L é a massa da Lua, a é a distância de separação entre a Terra e a Lua, e P é o período orbital da Lua.

4.1 Fases da Lua

As fases da Lua são causadas pelo seu movimento orbital. Visto da Terra, tanto o Sol como a Lua aparentam mover-se de oeste para leste na esfera celeste - isto é, movimento relativo às estrelas de fundo, mas com taxas de tempo muito diferentes.

¹Satélite natural de qualquer planeta

O Sol leva um ano para dar uma volta completa ao redor da esfera celeste (imaginária) ao longo da **eclíptica**. Por outro lado, a Lua leva apenas cerca de quatro semanas para rodar em torno da Terra.

No passado, esses movimentos semelhantes levaram a algumas pessoas a acreditar que o Sol e a Lua orbitam em torno da Terra. É do nosso conhecimento que o sistema Terra-Lua como um todo (Figura 1) orbita em torno do Sol. Uma diferença fundamental entre o Sol e a Lua é a natureza da



Figure 1: Terra e Lua iluminados pelo Sol

luz que se recebe desses astros. O Sol emite sua própria luz. Então, as estrelas, que são objetos como o Sol, mas localizados a grande distâncias emitem luz própria como se fossem lâmpadas comum. Em contraste, a luz que é observada na Lua é apenas um reflexo da luz do Sol.

A Figura 1 mostra tanto a Lua como a Terra, visto a partir de uma nave espacial. Quando esta imagem foi gravada, o Sol estava situado a uma distância mais a direita. Assim, apenas metade dos hemisférios do lado direito foram iluminados pelo Sol;

Da mesma forma, quando se observa a Lua à partir da Terra, vemos apenas a metade da Lua que está iluminada pelo Sol. No entanto, nem toda parte iluminada da Lua está necessariamente voltada para a Terra. À medida que a Lua se desloca ao longo de sua trajetória ao redor da Terra, de uma noite para a outra, observa-se que diferentes quantidades da Lua ficam completamente iluminada. Estas diferentes aparências da Lua são chamadas de **fases lunares**.

A Figura 2 mostra a relação entre a fase lunar visível da Terra e a posição da Lua em sua órbita. Por exemplo, quando a Lua está na **posição A**, nós a vemos aproximadamente a mesma direção no Céu com o Sol.

Assim, o hemisfério escuro da Lua fica voltado para Terra. Esta fase, na qual a Lua é visível por um dia, é chamada de **Lua nova**. Uma vez que uma nova Lua só pode ser localizada perto do Sol, **ela nasce ao nascer do Sol e se põe ao do pôr-do-Sol**.

À medida que a Lua continua se movendo em torno de sua órbita a partir da posição A na Figura 2, mais de sua metade iluminada fica exposta à nossa visão. O resultado mostrado na **posição B**,

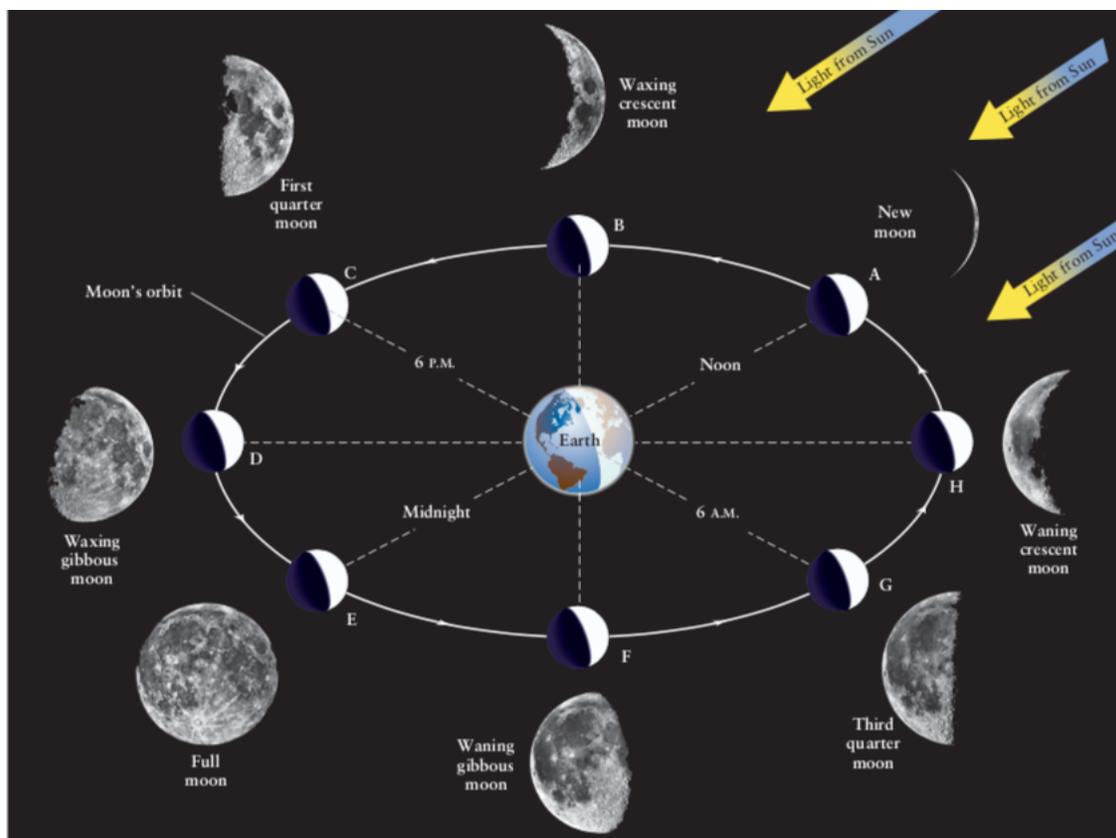


Figure 2: Posições da Lua em sua órbita.

indica a fase chamada **Lua crescente**.

Cerca de uma semana após a Lua nova, a Lua está na **posição C**; Por um dia, vemos uma metade do hemisfério da Lua iluminado e outra metade escura. Esta fase é denominada de **primeiro quarto de Lua**.

Como é visto da Terra, o primeiro quarto de Lua, está a 1/4 da trajetória ao redor da esfera celeste em relação ao Sol. Ela nasce e se põe em cerca de 1/4 da rotação da Terra, ou seja 6 horas depois do Sol: **a Lua nasce durante o meio dia, e se põe durante a meia-noite**. A Lua se encontra mais alta no céu por volta das 18h.

Cerca de quatro dias depois, a Lua atinge a **posição D** na Figura 2. Ainda uma boa parte do hemisfério iluminado pode ser visto da Terra, dando-nos a fase chamada **Lua gibbosa crescente**.

Duas semanas após a Lua nova, quando a Lua está em frente ao Sol no céu (**posição E**), vemos o hemisfério totalmente iluminado. Esta fase é chamada de **Lua cheia**. Porque uma Lua cheia é oposta ao Sol na esfera celeste, **ela nasce ao pôr do Sol e se põe no nascer do Sol**.

Durante as duas semanas seguintes, vemos cada vez menos o hemisfério iluminado da Lua enquanto continua ao longo de sua órbita, e a Lua está a diminuir. Enquanto diminui, seu lado iluminado fica localizado mais para o leste.

As fases são chamadas de **Lua minguante gibosa** (posição F), **Lua do terceiro quarto** (posição G, também chamada de último quarto de Lua) e **Lua crescente** (posição H). O terceiro quarto da Lua aparece a 1/4 da trajetória ao redor da esfera celeste em relação ao Sol, mas do lado oposto da esfera celeste em relação ao **primeiro quarto de Lua**. Por isso, uma Lua do terceiro quarto nasce e se põe em cerca de 1/4 da rotação da Terra, ou 6 horas antes do Sol: **o nascer da Lua é cerca da meia-noite e se põe cerca de meio dia**.

A Lua leva cerca de quatro semanas para completar uma órbita em torno da Terra, então também leva cerca de quatro semanas para um ciclo completo de fases de Lua nova a Lua cheia e de volta à Lua nova. Uma vez que a posição da Lua em relação ao Sol na esfera celeste está em constante mudança e, como nosso sistema de tempo é baseado no Sol, os tempos do nascer e se pôr da Lua são diferentes em noites diferentes. Em média, a Lua nasce e se põe aproximadamente uma hora depois em cada noite.

De qualquer local na Terra, cerca de metade da órbita da Lua é visível a qualquer momento. Por exemplo, se for meia-noite em sua localização, o observador se encontra localizado no meio do lado escuro da Terra que fica longe do Sol. Naquele momento, pode-se ver facilmente a Lua se estiver localizado nas posições C, D, E, F ou G. Se for meio dia na localização do observador, então ele se encontra localizado no meio do lado iluminado da Terra, e a Lua será facilmente visível nas posições A, B, C, G ou H. (A Lua é tão brilhante que pode ser vista mesmo contra o azul brilhante do céu).

Pode-se ver que a Lua é proeminente no céu a meia-noite por cerca de metade de sua órbita, e proeminente no céu ao meio-dia pela outra metade.

4.2 Face visível da Lua

Embora as fases da Lua estejam em constante mudança, um aspecto importante de sua aparência permanece o mesmo: A Lua sempre mantém essencialmente o mesmo hemisfério, ou face, em direção à Terra. Assim, é possível observar sempre as mesmas crateras e montanhas na Lua, não importa o momento que se olhe para ela; A única diferença será o ângulo em que essas características da superfície são iluminadas pelo Sol.

4.2.1 A rotação síncrona da Lua

Por que é que só vemos uma face da Lua? Você pode pensar que é porque a Lua não gira (ao contrário da Terra, que gira em torno de seu eixo de simetria). Para ver que a Lua deve girar, considere a Figura 3. Esta figura mostra a Terra e a Lua em órbita a partir de um ponto muito acima do pólo norte da Terra. Nesta figura, duas crateras na superfície lunar foram coloridas, uma em vermelho e outra em azul. Se a Lua não girou em seu eixo, como no painel à esquerda da Figura 3, algum dia a cratera vermelha seria visível da Terra, enquanto outras vezes a cratera azul seria visível. Assim, veríamos diferentes partes da superfície lunar ao longo do tempo, o que não acontece na realidade.

Na verdade, a Lua sempre mantém a mesma face em nossa direção porque está girando, mas de uma maneira muito especial: é preciso tanto tempo para que a Lua gire em seu eixo para fazer

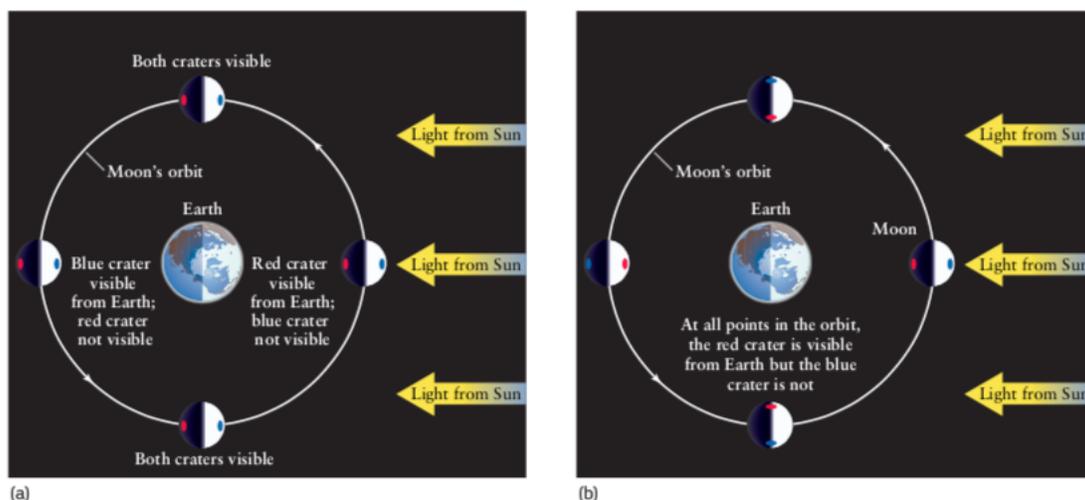


Figure 3: A Lua sempre mantém a mesma face em relação a Terra.

uma órbita em torno da Terra. Esta situação é chamada de **rotação síncrona**. O painel do lado direito da Figura 3 mostra, que a cratera em vermelho está sempre voltada para a Terra, de modo que sempre vemos a mesma face da Lua.

Existe um "lado escuro da Lua" permanentemente? De modo nenhum. Para entender isso, considere a cratera vermelha no painel à direita da Figura 3. A cratera vermelha passaria duas semanas (metade da órbita lunar) na escuridão e nas duas semanas seguintes à luz Solar. Assim, nenhuma parte da Lua fica perpetuamente na escuridão. O lado da Lua que constantemente fica voltada a Terra é chamado de *far side*.

A Lua gira de forma especial: Ela gira exatamente uma vez por órbita.

4.3 Meses Sidereais e Sinodais

Demora cerca de quatro semanas para a Lua completar um ciclo de suas fases, visto da Terra. Este ciclo regular de fases inspirou nossos antepassados a inventar o conceito de *Mês*. Por motivos históricos, o calendário que usamos hoje tem meses de diferentes tamanhos. Os astrônomos acham útil para outros tipos de meses, dependendo se o movimento da Lua é medido em relação às estrelas ou ao Sol e nem correspondem exatamente aos meses familiares do calendário.

O **mês sideral** é o tempo que a Lua leva para completar uma órbita completa em volta da Terra, conforme medido em relação às estrelas. O Período Sideral é o tempo que a lua leva para girar em torno do seu eixo (movimento de rotação) e é cerca de 27,32 dias e esse também é o tempo que ela leva para orbitar em volta da Terra (movimento de translação).

O **mês sinódico**, ou o mês lunar é o tempo que a Lua leva para completar um ciclo de fases (isto é, da Lua nova à Lua nova ou da Lua cheia até a Lua cheia) e, portanto, é medido em relação ao Sol ao invés das estrelas.

Qual é a duração de um "dia" na Lua? Na Terra, um dia dura cerca de 24 horas que mede o tempo médio entre dois nascer do Sol sucessivos (ou pôr do Sol sucessivos). Portanto, um dia na Terra é medido em relação ao Sol e é chamado dia sinódico. O "dia" lunar também é o tempo desde o nascer até o nascer do Sol visto da superfície da Lua, e isso é exatamente o que define o mês sinódico da Lua; Um dia lunar é igual ao mês sinódico.

O mês sinódico é mais longo do que o mês sideral porque a Terra está orbitando o Sol enquanto a Lua passa por suas fases.

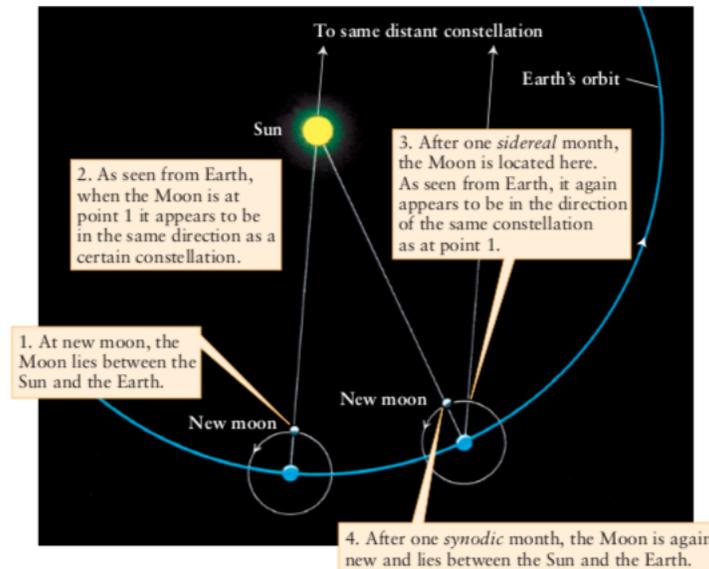


Figure 4: Meses Siderais e Sinódicos.

Como mostra a Figura 4, a Lua deve viajar mais de 360 graus ao longo de sua órbita para completar um ciclo de fases (de uma Lua nova para a próxima).

Tanto o mês sideral como o mês sinódico variam um pouco de uma órbita para outra, o último em até meio dia. A razão é que a gravidade do Sol às vezes faz com que a Lua acelere ou desacelere ligeiramente em sua órbita, dependendo das posições relativas do Sol, da Lua e da Terra. Além disso, a órbita da Lua muda ligeiramente de um mês para o outro.

4.4 Eclipses Solares & lunares

De tempos em tempos, o Sol, a Terra e a Lua encontram-se ao longo de uma linha recta. Quando isso ocorre, a sombra da Terra pode cair sobre a Lua ou a sombra da Lua pode cair sobre a Terra. Tais fenômenos são chamados de **Eclipses**. Eles são os melhores eventos astronômicos que podem ser vistos a olho nu.

Um **eclipse lunar** ocorre quando a Lua passa pela sombra da Terra. Isso ocorre quando o Sol, a Terra e a Lua estão em linha recta, com a Terra entre o Sol e a Lua para que a Lua esteja na fase completa (posição E na Figura 2). Neste ponto, na órbita da Lua, a face visível da Lua visto

da Terra normalmente seria totalmente iluminada pelo Sol. Em vez disso, parece bastante fraco porque a Terra lança uma sombra na Lua.

Portanto, o mês sideral é considerado aproximadamente 2,25 dias mais curto do que o mês sinódico. ocorre quando a Terra passa através da sombra da Lua. Visto da Terra, a Lua se move em frente ao Sol. Mais uma vez, isso só pode acontecer quando o Sol, a Lua e a Terra estão alinhados. No entanto, para que um eclipse Solar ocorra, a Lua deve estar entre a Terra e o Sol. Portanto, um eclipse Solar pode ocorrer somente na Lua nova (posição A na Figura 2).

Para que o Sol, a Terra e a Lua estejam alinhados para ocorrer o eclipse, a Lua deve estar no mesmo plano da órbita da Terra ao redor do Sol. Este plano é chamado de **plano eclíptico** porque é o mesmo plano aparente do Sol ao redor do céu, ou o seja a **eclíptica**. Assim, quando ocorre um eclipse, a Lua aparenta da Terra como se estivesse na eclíptica - é assim que a eclíptica recebe seu nome.

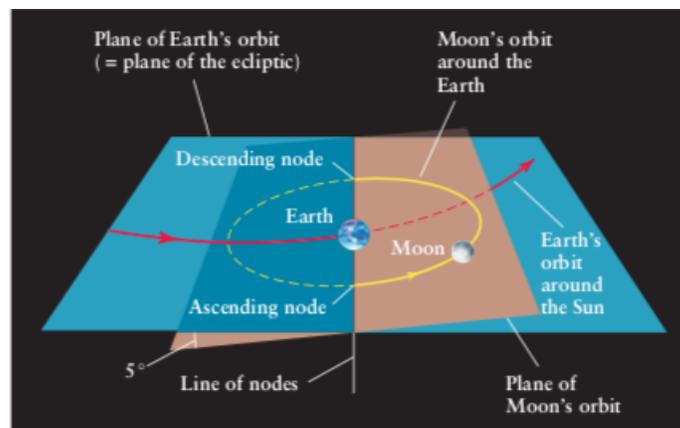


Figure 5: A inclinação da órbita da Lua.

Os planos da órbita terrestre e a órbita da Lua se cruzam ao longo de uma linha chamada **linha de nodos** mostrada na Figura 5. A linha de nodos passa pela Terra e aponta em uma dada direção particular no espaço.

Os eclipses podem ocorrer somente se a linha dos nodos aponta para o Sol, ou seja, se o Sol se encontra na linha ou perto dela, e se, ao mesmo tempo, a Lua se encontra na linha dos nodos ou muito perto dela. Só então o Sol, a Terra e a Lua encontram-se numa linha recta para que o eclipse ocorra (Figura 6). Observe que o alinhamento necessário para os eclipses não tem nada a ver com os Solstícios ou os equinócios.

Quem quer prever os eclipses deve conhecer a orientação da linha de nodos. Mas esta linha muda gradualmente por causa da atração gravitacional do Sol na Lua. Como resultado, ela gira lentamente para o oeste. Os astrônomos calculam esses detalhes para corrigir as datas e horas dos próximos eclipses.

Há pelo menos dois - mas nunca mais do que cinco eclipses Solares a cada ano. O último ano em que ocorreram cinco eclipses Solares foi em 1935. Os poucos eclipses possíveis (dois Solares, zero lunares) ocorreram em 1969. Os eclipses lunares ocorrem tão freqüentemente quanto os eclipses Solares, mas o número máximo possível de eclipses (lunar e Solar) combinado em um único ano é

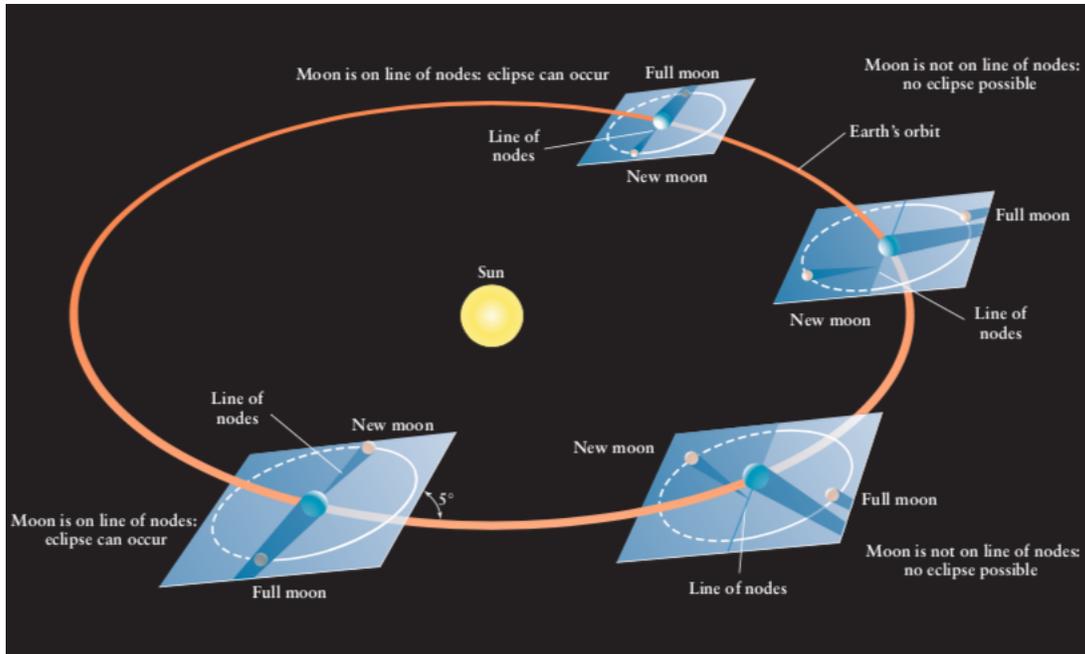


Figure 6: Condições para ocorrência de eclipses.

sete.

4.4.1 Eclipses lunares

A característica de um eclipse lunar depende exatamente de como a Lua viaja através da sombra da Terra. Como mostra a Figura 7, a sombra da Terra tem duas partes distintas. Para imaginar como a superfície da Lua seria iluminada, imagine um observador na Lua enquanto a Lua passa pela sombra. Na umbra, nenhuma porção da superfície do Sol pode ser vista da Lua: esta é a parte mais escura da sombra. Por outro lado, uma parte da superfície do Sol é visível, o que, portanto, não é tão escuro. A maioria das pessoas observa um eclipse lunar somente se a Lua passar para a umbra da Terra.

A inserção na Figura 7 mostra as diferentes maneiras pelas quais a Lua pode passar para a sombra da Terra. Quando a Lua passa através da penumbra da Terra (percurso 1), vemos um eclipse penumbral.

Durante o eclipse penumbral, a Terra bloqueia apenas uma parte da luz do Sol e, portanto, nenhuma superfície lunar está completamente sombreada. Porque a Lua ainda parece cheia, mas apenas um pouco mais fraca do que o habitual, os eclipses penumbrais são muito fáceis de perder. Se a Lua viaja completamente na umbra (percurso 2), ocorre um eclipse lunar total. Se apenas parte da Lua atravessa a umbra (percurso 3), vemos um eclipse lunar parcial.

Se você estivesse na Lua durante um eclipse lunar total, o Sol ficaria escondido atrás da Terra. Mas alguma luz Solar seria visível através do anel fino de atmosfera em torno da Terra. Como resultado, uma pequena quantidade de luz atinge a Lua durante um eclipse lunar total, e assim a Lua não desaparece completamente do céu, como visto da Terra. A maior parte da luz Solar que

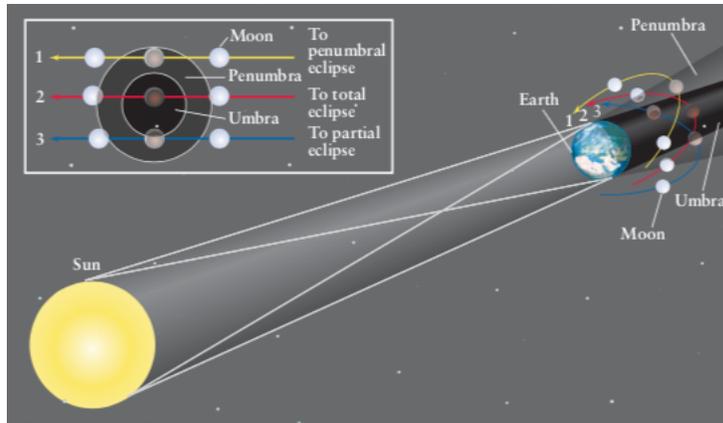


Figure 7: Três tipos de eclipses lunares.

atravessa a atmosfera da Terra é vermelha e, portanto, a Lua do eclipse brilha levemente em tons avermelhados, como mostra a Figura 8.

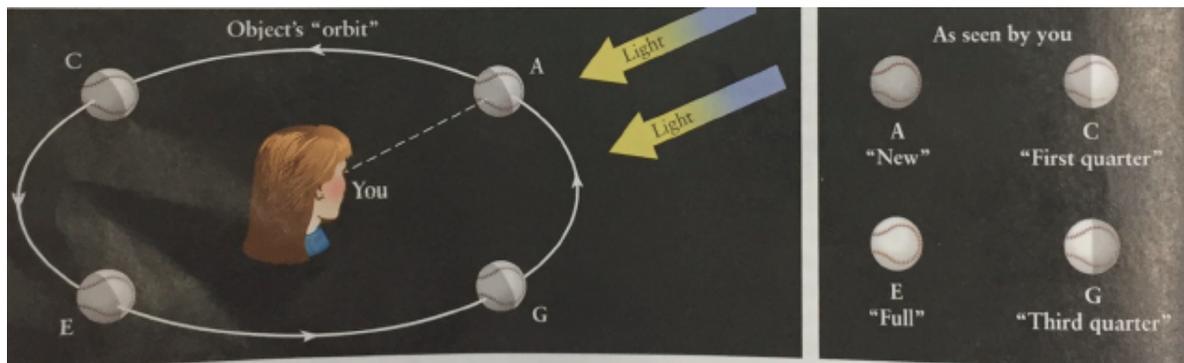


Figure 8: Eclipse lunar Total.

Os eclipses lunares ocorrem na Lua cheia, quando a Lua fica diretamente em frente ao Sol. Por isso, um eclipse lunar pode ser visto em qualquer lugar na Terra, onde o Sol está abaixo do horizonte (onde é o próximo). Um eclipse lunar tem a duração máxima possível se a Lua viajar diretamente pelo centro da umbra.

A velocidade da Lua através da sombra da Terra é aproximadamente 1 km por segundo (3600 km / h) - o período em que a Lua está completamente dentro da umbra da Terra - pode durar até 1 hora e 42 minutos. Em média dois ou três eclipses lunares ocorrem por ano.

4.4.2 Eclipses Solares

Conforme visto da Terra, o diâmetro angular da Lua é quase o mesmo que o diâmetro angular do Sol quando se encontra distante, e é cerca de 0.5 graus. Graças a essa coincidência da natureza, a Lua apenas "se encaixa" em frente ao Sol durante o eclipse Solar total.

4.4.3 Eclipse Solar Total

Um eclipse Solar total é um evento dramático. O céu começa a escurecer, a temperatura diminui, e os ventos aumentam quando a Lua cobre gradualmente cada vez mais o disco Solar. À medida que os últimos raios de luz Solar aparecem por trás da borda da Lua, o eclipse se torna total, a paisagem ao seu redor fica banhada por uma cor cinza ou, com menos frequência, em faixas brilhantes de luz e escuridão. Finalmente, durante alguns minutos, a Lua bloqueia completamente o deslumbrante disco Solar. A coroa Solar - a atmosfera externa fina e quente do Sol, que normalmente é muito fraca para ser vista a olho nu - se abre no céu escuro do dia (Figura 9).

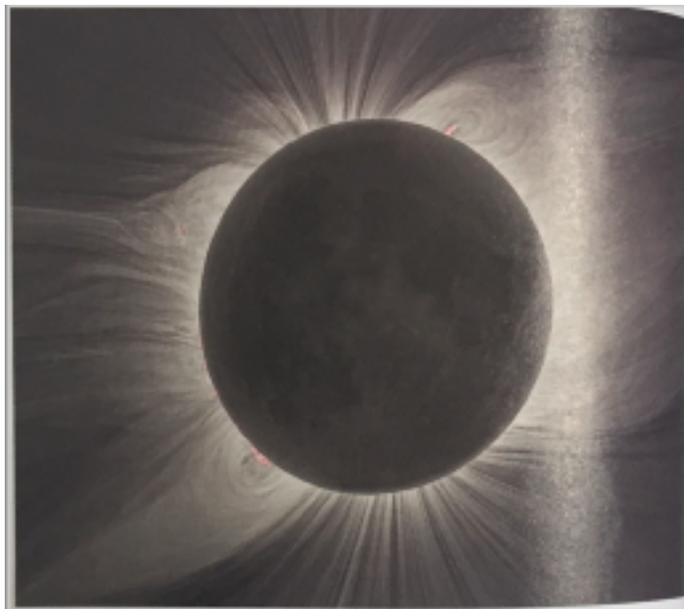


Figure 9: Eclipse Solar Total.

Para ver o notável espetáculo do eclipse Solar total, o observador deve estar dentro da parte mais escura da sombra da Lua, também chamada de **umbra**, onde a Lua bloqueia completamente o Sol. Como o Sol e a Lua têm quase o mesmo diâmetro angular visto da Terra, apenas a ponta da umbra da Lua atinge a superfície da Terra (Figura 10). À medida que a Terra gira, a ponta da umbra traça um percurso de eclipse através da superfície da Terra. Somente aqueles locais dentro do percurso do eclipse são abrangidos com o espetáculo de um eclipse total.

4.4.4 Eclipse Solar parcial

Imediatamente em torno da umbra da Lua, a região da sombra parcial é chamada **penumbra**. Visto desta área, a superfície do Sol aparece apenas parcialmente coberta pela Lua. Durante um eclipse Solar, a penumbra da Lua cobre uma grande parte da superfície da Terra, e qualquer pessoa que esteja dentro da penumbra vê um eclipse Solar parcial. Se você estiver no percurso do eclipse, você verá um eclipse parcial antes e depois do breve período de totalidade.

O tamanho do percurso do eclipse depende principalmente da distância Terra-Lua durante a total-

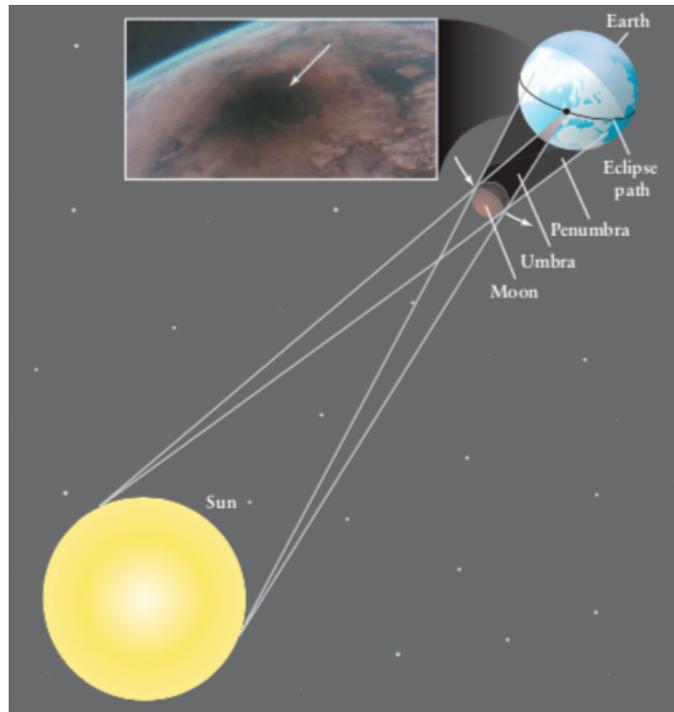


Figure 10: Geometria de eclipse Solar Total.

idade do eclipse. O percurso do eclipse é mais longo se a Lua estiver no **perigeu**, o ponto da órbita mais próxima da Terra. Neste caso, o tamanho do percurso do eclipse pode atingir cerca 270 km. Na maioria dos eclipses, no entanto, o percurso é muito mais curto.

4.4.5 Eclipse Solar Anular

Em alguns eclipses, a umbra da Lua não atinge todo o percurso até a superfície da Terra. Isso pode acontecer se a Lua estiver perto do **apogeu**, o ponto mais distante da Terra. Neste caso, a Lua parece pequena para cobrir o Sol completamente. O resultado é o terceiro tipo de eclipse Solar, chamado de **eclipse anular**.

Durante um eclipse anular, um anel fino do Sol é visto ao redor da borda da Lua. O comprimento da umbra da Lua é de cerca de 5000 km a menos do que a distância média entre a Lua e a superfície da Terra. Assim, a sombra da Lua muitas vezes não atinge a Terra mesmo quando o Sol, a Lua e a Terra estejam devidamente alinhados para ocorrer um eclipse. Por isso, o eclipse anular é um pouco mais comum - bem como muito menos dramático - que os eclipses totais.

Mesmo durante um eclipse total, a maioria das pessoas ao longo do percurso do eclipse observa a totalidade por alguns instantes. A rotação da Terra, juntamente com o movimento orbital da Lua, faz com que a umbra se arraste para o leste ao longo do percurso do eclipse a uma velocidade superior a 1700 km/h. Por causa da alta velocidade da umbra, a totalidade do eclipse nunca dura mais de 7.5 min.

Em um eclipse Solar típico, o alinhamento Sol-Lua-Terra e a distância Terra-Lua são tais que a

totalidade dura muito menos do que esse máximo.